

Avaliação de materiais utilizados em compósitos com estrutura sanduíche para aplicação em pranchas de surfe

Matheus Vinícius Gregory Zimmermann^{1*} 
Gabriel Augusto Tereza Silva¹

Resumo

A evolução das tecnologias aplicadas em pranchas de surfe apresentou um crescimento acelerado nos últimos anos. Não apenas o design das pranchas mudou, mas também os materiais utilizados na produção das pranchas apresentaram uma grande evolução. Neste trabalho foi realizado um estudo investigativo e comparativo entre diferentes tipos de materiais utilizados para produção de compósitos e de estruturas sanduíche utilizados em pranchas de surfe. Foram avaliadas 2 matrizes poliméricas termorrígidas (poliéster insaturado e epóxi), 4 tipos de fibras na forma de mantas bidirecionais (vidro, carbono, poliaramida e algodão) e 3 tipos de núcleos na forma de espumas (poliuretano, poliestireno expandido e cortiça). O processamento dos compósitos foi realizado em escala laboratorial, mas seguindo os mesmos procedimentos utilizados na produção de uma prancha, ou seja, laminação manual. Para produção da estrutura sanduíche, os compósitos (epóxi) foram laminados sobre a superfície da espuma, utilizando duas camadas de tecidos. Os principais resultados indicam uma melhor eficiência do núcleo de poliuretano. Já nos compósitos laminados, entre as formulações avaliadas, a amostra epóxi com carbono apresentou propriedades mecânicas superiores.

Palavras-chave: Compósitos; Espumas poliméricas; Estrutura sanduíche; Fibras de reforço.

Evaluation of materials used in sandwich composites for application on surfboards

Abstract

The evolution of technologies applied to surfboards has shown an accelerated growth in recent years. Not only has the design of the boards changed, but the materials used in the surfboards production have also evolved greatly. In this sense, in this work an investigative and comparative study was carried out between different types of materials used for the production of composites with sandwich structures used in surfboards. It was evaluated two thermoset polymeric matrices (unsaturated polyester and epoxy), 4 types of fibers in the form of blankets (glass, carbon, polyaramid and cotton) and 3 types of cores in the form of foams (polyurethane, expanded polystyrene and cork). The composite processing was carried out on a laboratory scale, but following the same procedures used in the surfboard production, that is, manual lamination by hand lay up. For the production of the sandwich structure, the composites (epoxy) were laminated on the foam surface, using two layers of glass fabrics and different cores. The main results indicate a better efficiency of the polyurethane core. In laminated composites, among the evaluated formulations, epoxy with carbon sample showed superior mechanical properties.

Keywords: Composites; Polymeric foams; Sandwich structure; Reinforcement fibers.

1 Introdução

A prática do surfe é uma modalidade esportiva que vem gradativamente ganhando novos adeptos, e com isso despertado novos desenvolvimentos tecnológicos que maximizem a performance das pranchas utilizadas na modalidade. Tradicionalmente, as melhorias nas pranchas de surfe são realizadas por meio de mudanças nos materiais constituintes ou pelas características do design, onde o

equilíbrio destas características é muito importante do ponto de vista econômico e de desempenho [1].

Embora algumas pranchas ainda sejam produzidas em madeira, a grande maioria das pranchas atualmente utilizadas são produzidas com materiais compósitos, com estruturas tipo sanduíche. Estes produtos são compostos por duas ou mais camadas de materiais com diferentes propriedades

¹Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Criciúma, SC, Brasil.

*Autor correspondente: matheus.vgz@gmail.com



físicas, químicas e mecânicas, fornecendo vantagens de custo, leveza, resistência mecânica e praticidade. Estes materiais geralmente são compostos por um núcleo poroso (ou espuma polimérica) e faces altamente rígidas composta por compósitos laminados, o que confere a estes materiais um excelente balanço de desempenho mecânico aliado a baixas densidades [2]. As propriedades estruturais dos compósitos com estrutura sanduíche, bem como a aplicação destes materiais, dependem do conhecimento e compreensão dos materiais constituintes (faces, núcleos e/ou adesivos), bem como das condições e parâmetros de ensaios mecânicos a serem observados [3].

Os principais materiais utilizados como núcleo poroso em pranchas de surfe são o poliuretano (PU) e o poliestireno expandido (EPS). Recentemente a cortiça também passou a ser utilizada por algumas empresas por ser um material com menor impacto ambiental quando comparado aos poliméricos sintéticos [3,4].

As espumas de poliuretanos podem ser projetadas e produzidas para exibir uma ampla gama de propriedades e morfologias celulares, que compreende desde de células abertas flexíveis a espumas rígidas de células fechadas, e a resposta mecânica desses materiais celulares depende da arquitetura das paredes celulares (largura da parede, distribuição de tamanho e forma das células) e as propriedades intrínsecas do polímero constituinte [5]. Estes materiais são geralmente produzidos pela combinação de um polioliol com um isocianato em composições termorrígidas, ou seja, não são materiais recicláveis. O uso do EPS para produção de pranchas é mais recente, e surgiu como uma alternativa ao uso do poliuretano. É um material com baixa densidade e custo, porém limitado ao tipo de resina a ser utilizado na laminação das camadas externas. Para usar núcleos de EPS, a matriz deve ser epóxi, pois o EPS se dissolve na presença da resina de poliéster insaturado, o que pode tornar este sistema mais caro [6]. Em compensação o EPS geralmente é mais barato que o PU, e o resíduo gerado da usinagem / recorte do bloco de EPS é reciclável. Deste modo, a compreensão das propriedades da espuma utilizada na prancha é fundamental para maximizar a eficiência deste produto. A utilização de espumas de densidades distintas na formação dos núcleos pretende estabelecer uma relação de proporcionalidade direta entre resistência necessária e carga por unidade de área, com o objetivo de maximizar o rendimento da performance através do estabelecimento de um equilíbrio.

Como já citado anteriormente, as principais matrizes poliméricas utilizadas atualmente na produção de pranchas de surf são o poliéster insaturado e resina epóxi. Como fibras de reforço, as fibras de vidro ainda dominam o mercado, principalmente por suas elevadas propriedades mecânicas, baixo custo e transparência quando combinado com resinas. Porém, observa-se um crescimento no uso de fibras alternativas, como a fibra de carbono, poliaramida e fibras vegetais [6,7].

Existe um grande número publicações e informação a respeito de compósitos de poliéster e epóxi reforçados

com os mais diversos tipos de fibras, porém, existe pouca informação comparativa entre estes materiais principalmente visando a aplicação em pranchas de surfe. Com base nesta larga opção de materiais disponíveis para produção de pranchas em estruturas sanduíche, este estudo tem como objetivo realizar uma investigação comparativa dos principais materiais utilizados na produção de compósitos com estruturas sanduíche, com aplicabilidade em pranchas de surfe.

2 Materiais e métodos

2.1 Materiais

Os reagentes para produção da espuma de poliuretano foram fornecidos pela empresa Redelease Produtos Para Industrias Ltda. Os reagentes foram fornecidos na forma de Componente A (polioliol e aditivos) e Componente B (isocianato e aditivos). Segundo o fabricante o *grade* fornecido é específico para produção de espumas rígidas, com células fechadas, com aplicação na produção de pranchas de surfe. A densidade teórica prevista para estes materiais é de 30 kg.m⁻³. As folhas de cortiça, com dimensões de 600×450×5 mm foram fornecidos pela empresa Cortiarte Quadros e Cortiças Ltda. Este material é constituído de particulados de cortiça, que foram aglomerados na forma de uma placas. Para produção dos corpos de prova, 5 placas de cortiças foram coladas, utilizando uma cola de silicone Tecbond. A espessura dos corpos de prova de cortiça foram de 25 mm. As placas de EPS ISOPOR®, com dimensões de 1000×50×25 mm foram fornecidos pela empresa Isopack Soluções em EPS.

A resina de poliéster do tipo insaturado ortoftálico foi adquirida da empresa Redelease Produtos Para Industrias Ltda, com catalisador à base de metil-etil-cetona (Butanox), na proporção de 1% em massa, conforme indicação do fornecedor. A resina epóxi transparente (cod. fabricante 2001) e endurecedor (cod. fabricante 3154) foram fornecidos pela empresa Redelease Produtos Para Industrias Ltda. A proporção de endurecedor para resina utilizada foi de 50%, conforme orientação do fabricante.

As fibras foram utilizadas na forma de tecido bidirecional tramado. A Fibra de vidro *E-glass* GF200 (gramatura 200 g.m⁻²), carbono (gramatura 200 g.m⁻²), poliaramida (gramatura 210 g.m⁻²) foram fornecidos pela empresa Texiglass Indústria e Comércio Têxtil e o tecido de algodão foi fornecido pela empresa Cootegal - Cooperativa Têxtil Galópolis (gramatura do tecido 150 g.m⁻²). Antes da utilização, todas as fibras foram secas em estufa térmica por 4 h a 80 °C

2.2 Preparação das amostras

As espumas de PU foram produzidas pelo método de batelada com expansão livre. Para este experimento, 100

partes do componente A foram adicionados a 110 partes do Componente B. A mistura dos componentes A e B foi realizada utilizando um misturador Fisaton modelo 715 com velocidade de rotação de 2500 rpm por um período de aproximadamente 1 minuto e após, o conteúdo foi despejado em moldes com dimensões de 300×300×300 mm. A expansão das espumas foi realizada sem pressão e em ambiente com temperatura controlada (23 °C). O tempo de cura das espumas foi de 72 h, e após foi realizado o corte para obtenção de corpos de prova.

A produção de compósitos com as matrizes de epóxi e poliéster foi realizada por laminação manual (*hand lay up*) com 2 camadas de cada tecido bidirecional (fibras de carbono, vidro, aramida e algodão). Os tecidos foram cortados nas dimensões de 150×200 e laminados sob a superfície de uma placa de silicone. A espessura média dos compósitos obtidos foi de 1 mm.

A fração mássica de fibra para resina foi de aproximadamente 40% para todas as composições (40% fibra e 60% resina). Para uma secagem controlada da resina, as amostras foram colocadas em uma estufa a 60°C durante 4 h, posteriormente um período de descanso de 48 h a 23 °C e uma pós cura a 120 °C por 1 hora. Após este período, foi realizado o corte dos corpos de prova.

A fabricação da estrutura sanduíche foi realizada pela laminação direta (*hand lay up*) do tecido de fibra de vidro GF200 na superfície das espumas de PU, EPS e cortiça. Para o mesmo, foram utilizadas placas de 250×150×25 mm do núcleo poroso, 2 camadas de tecido de fibra de vidro GF00 nas faces superior e inferior com resina epóxi. A escolha da resina epóxi ocorreu em função do uso do núcleo poroso de EPS, que não permite a utilização do poliéster insaturado em função da dissolução do núcleo quando em contato com poliéster. A laminação foi realizada manualmente, com auxílio de pincel e espátula. A metodologia adotada de laminação direta do compósito sobre a espuma é o processo mais usual de produção de pranchas de surfe.

A Figura 1 apresenta a imagem fotográfica das amostras após o corte dos corpos de prova dos compósitos com estrutura sanduíche com diferentes núcleos e dos laminados de epóxi com diferentes tipos de fibras.

2.3 Caracterizações

A morfologia da superfície fraturada das espumas foi avaliada por microscopia eletrônica de varredura (MEV) usando um equipamento marca ZEISS, modelo EVO MA 10. Todas as amostras foram previamente revestidas com ouro.

A densidade aparente das espumas e dos compósitos foi obtida pela relação entre a massa (g) e o volume (cm³) das amostras. Foram realizadas as medições em sete corpos de prova. A análise da densidade foi realizada na temperatura de 23±1 °C, segundo orientações da norma ASTM D1622-08 [8].

As propriedades mecânicas de compressão das espumas foram avaliadas utilizando uma máquina universal de ensaios EMIC DL10000, com corpos de prova de dimensões 50×50×25 mm (Comprimento × Largura × Espessura) e velocidade de ensaio de 5 mm.min⁻¹.

Foi avaliada a tensão necessária para reduzir a espessura do corpo de prova em até 80% da sua espessura inicial conforme norma ASTM D3574-11 [9]. A resistência à tração dos compósitos foi realizada utilizando uma máquina universal de ensaios EMIC DL10000, com corpos de prova com dimensões de 100×25×1 mm (C×L×E).

Foi utilizada uma velocidade de ensaio de 2 mm.min⁻¹. O ensaio de resistência à flexão dos compósitos foi realizado utilizando os mesmos corpos de prova (100×25×1 mm) (C×L×E), com velocidade de ensaio de 5 mm.min⁻¹ e distância entre apoios de 50 mm. O ensaio de resistência à flexão dos compósitos sanduíche foi realizado com corpos de prova de 200×25×25 mm (C×L×E). Foi utilizada velocidade de ensaio de 1 mm.min⁻¹ e distância entre apoios de 110 mm.

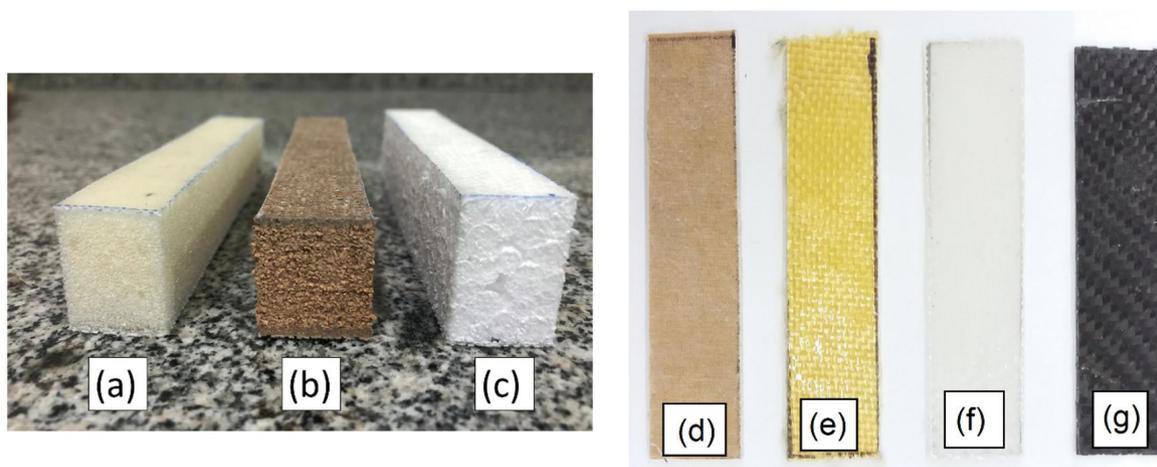


Figura 1. Corpos de prova do compósito com estrutura sanduíche, com núcleo de (a) poliuretano, (b) cortiça e (c) EPS e dos laminados de epóxi com (d) fibra de algodão; (e) poliaramida; (f) vidro e (g) carbono.

3 Resultados

3.1 Caracterização mecânica dos compósitos laminados

A Tabela 1 apresenta os dados dos ensaios mecânicos de resistência à tração e flexão dos compósitos de epóxi e poliéster laminados com diferentes tipos de fibras. Entre as fibras analisadas, observa-se que os compósitos produzidos com fibra de carbono apresentaram maior eficiência e superioridade de resistência mecânica quando comparado aos demais compósitos. A única exceção foi observada na análise de resistência à flexão da amostra Epóxi/carbono, que apresentou resultados similares aos da amostra Epóxi/vidro. Este comportamento superior da fibra de carbono é descrito por vários autores [10,11]. De todas as fibras de reforço, as fibras de carbono oferecem o maior módulo específico e resistência mecânica. As fibras de carbono são um dos reforços mais versáteis para aplicações em compósitos, devido a sua resistência extremamente alta e baixa densidade. Além disso, eles são quimicamente inertes, eletricamente condutores e infusíveis [12]. Porém, uma das principais desvantagens deste material está no seu alto custo, o que por vezes inviabiliza sua aplicação em muitos segmentos e produtos. Este material também limita a produção de artefatos de cor preta, o que ser restritivo em algumas aplicações com de diferentes cores e conceitos artísticos do produto.

Os compósitos produzidos com a fibra de vidro foram classificados como a segunda melhor performance mecânica entre as opções analisadas. A fibra de vidro é o material mais corriqueiro utilizado para produção de pranchas de surfe, principalmente devido a propriedades mecânicas elevadas, alta transparência e baixo custo.

Os compósitos produzidos com a fibra de poliaramida apresentaram uma redução significativa na resistência à flexão quando comparado aos compósitos produzidos com fibra de vidro e carbono. A resistência à tração também apresentou um decréscimo, mas menos pronunciado. Na análise das fibras utilizadas, a pior performance mecânica observada foi nos compósitos reforçados com a fibra de algodão, tanto na composição com poliéster como em epóxi. Observa-se uma redução expressiva das propriedades mecânicas destes compósitos reforçados com algodão quando comparado aos demais materiais. Também é observado uma redução significativa na capacidade de deformação dos compósitos com o tecido de algodão.

Quando comparado as resinas epóxi e poliéster, é possível observar que as amostras Poliéster/carbono e Poliéster/vidro apresentaram resultados superiores de resistência à flexão quando comparado aos seus análogos produzidos em Epóxi, porém na observação dos resultados de resistência à tração, a maior resposta foi da amostra Epóxi/carbono. As amostras produzidas com a fibra de poliaramida e algodão apresentaram resultados e comportamentos similares quando comparadas na produção do poliéster e epóxi.

A densidade dos compósitos é apresentada na Tabela 2. É possível observar que os compósitos produzidos com a fibra de poliaramida apresentaram menor densidade, tanto na composição do epóxi como do poliéster. Já os compósitos produzidos com a fibra de vidro apresentam maior densidade, resultado já esperado em função da densidade superior da fibra de vidro quando comparado aos demais elementos de reforço. Comparativamente, o epóxi e o poliéster apresentaram resultados similares de densidade.

Tabela 1. Propriedades mecânicas de resistência à tração e flexão dos compósitos laminados

Amostra	Resistência à tração (MPa)	Deformação (%)	Módulo elástico (MPa)	Resistência à flexão (MPa)
Epóxi/carbono	492.3 ± 54.13	12.2 ± 0.2	6212 ± 684	255.8 ± 7.1
Epóxi/vidro	206.4 ± 20.8	9.5 ± 0.5	2807 ± 542	265.5 ± 12.5
Epóxi/poliaramida	194.3 ± 21.79	11.8 ± 0.4	2069 ± 494	75.2 ± 7.2
Epóxi/algodão	33.8 ± 1.14	4.0 ± 0.5	1349 ± 373	74.6 ± 10.2
Poliéster/carbono	345.7 ± 60.3	10.1 ± 1.7	4136 ± 512	580.1 ± 41.5
Poliéster/vidro	237.0 ± 36.84	11.6 ± 0.3	2786 ± 231	392.9 ± 55.1
Poliéster/poliaramida	187.0 ± 29.6	11.1 ± 0.2	2340 ± 397	71.3 ± 15.5
Poliéster/algodão	48.2 ± 0.40	8.2 ± 0.1	914 ± 34	78.5 ± 1.4

Tabela 2. densidade dos compósitos laminados de epóxi e poliéster com diferentes tipos de fibras de reforço

Fibra utilizada	Densidade (g.cm ⁻³)	
	Epóxi	Poliéster insaturado
Algodão	1.03 ± 0.03	1.06 ± 0.01
Carbono	1.12 ± 0.07	1.16 ± 0.05
Vidro	1.38 ± 0.11	1.41 ± 0.01
Poliaramida	0.91 ± 0.07	0.92 ± 0.14

3.2 Caracterização do núcleo expandido

A análise da densidade aparente apresentou os seguintes valores: o PU apresentou densidade de $0.028 \pm 3 \text{ g.cm}^{-3}$, a amostra de EPS $0.023 \pm 1 \text{ g.cm}^{-3}$ e a placa aglomerada de cortiça foi igual a $0.35 \pm 2 \text{ g.cm}^{-3}$.

A Figura 2 apresenta as curvas de tensão por deformação em um ensaio de compressão das espumas de PU, EPS e cortiça, bem como as micrografias obtidas por MEV destes materiais. Pela análise das curvas de tensão por deformação, no ensaio de resistência à compressão, é possível observar que a cortiça apresentou maior resposta mecânica e menor capacidade de deformação quando comparada ao PU e EPS. Este fato está associado a maior densidade da placa de cortiça aglomerada em relação às demais amostras. O EPS e PU apresentaram resultados similares de resistência a compressão, deformação máxima bem como densidade. Na análise morfológica é possível destacar maior tamanho de células observadas na amostra de PU. O EPS e a cortiça apresentaram tamanho de células similares, menores que o PU, porém na amostra de cortiça é possível observar a presença de vazios maiores, decorrentes do processo da produção de chapas aglomeradas de particulados de cortiça.

3.3 Caracterização mecânica dos compósitos com estrutura sanduíche

A Figura 3 apresenta os gráficos do ensaio de resistência à flexão dos compósitos com estrutura sanduíche (compósito laminado de Epóxi/vidro e diferentes núcleos) e a imagem fotográfica dos corpos de prova após o ensaio

mecânico. Em todas amostras, é possível observar dois eventos de deformação (elástico e plástico). Na região de deformação plástica, são observados 2 eventos nas curvas, classificadas como fratura do núcleo e densificação do núcleo. Na fratura do núcleo ocorre a ruptura dos particulados que compõem a cortiça e o EPS, com descolamento do núcleo com as bases (faces) da estrutura sanduíche. Este fenômeno é observado pelo comportamento de declive na curva do gráfico apresentado. Já na densificação do núcleo é observado um efeito similar ao observado na compressão na espuma, e no qual a curva no gráfico apresenta um aclave na resposta mecânica nesta fase.

Reis e Silva, 2009 [13] descreveram o comportamento mecânico no ensaio de flexão em compósitos com estrutura sanduíche, com núcleos de cortiça e camadas externas de epóxi e fibra de carbono, onde também são reportadas o evento de fratura do núcleo durante o ensaio. Neste sentido, é reportado que, o comportamento do corpo de prova no ensaio de flexão pode ser resumido em três etapas: (I) na primeira etapa, ao iniciar o ensaio, ocorre um regime viscoelástico linear (regime elástico), em seguida no regime plástico, após (II) a nucleação das fissuras no núcleo expandido, onde formam-se poucas fissuras macroscópicas até (III) uma fissura principal, que se propaga ao longo do corpo de prova. Este fenômeno é observado nas amostras de compósitos com núcleo de cortiça e EPS, onde foi observada a fratura do núcleo expandido.

Já no mecanismo onde é observado um aclave na curva com o aumento na carga aplicada (N), após o ponto de escoamento (regime plástico), ocorre em função da compactação por compressão da estrutura celular da

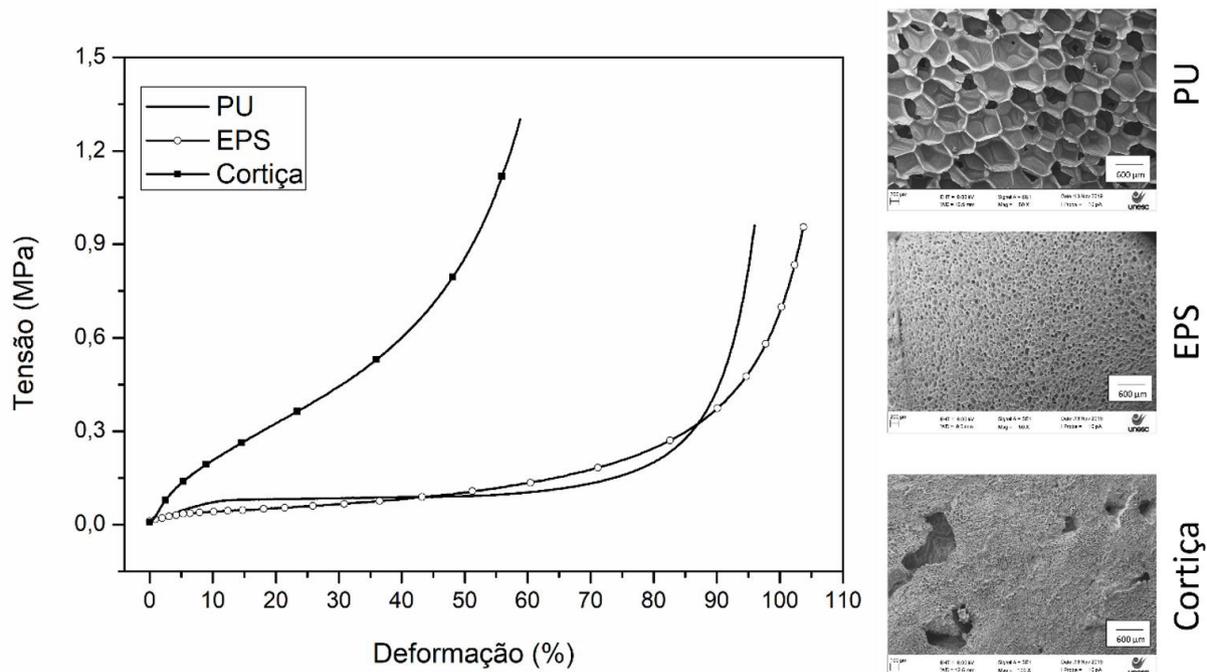


Figura 2. análise da resistência à compressão e micrografias obtidas por MEV (ampliação $\times 100$) das espumas de PU, EPS e cortiça.

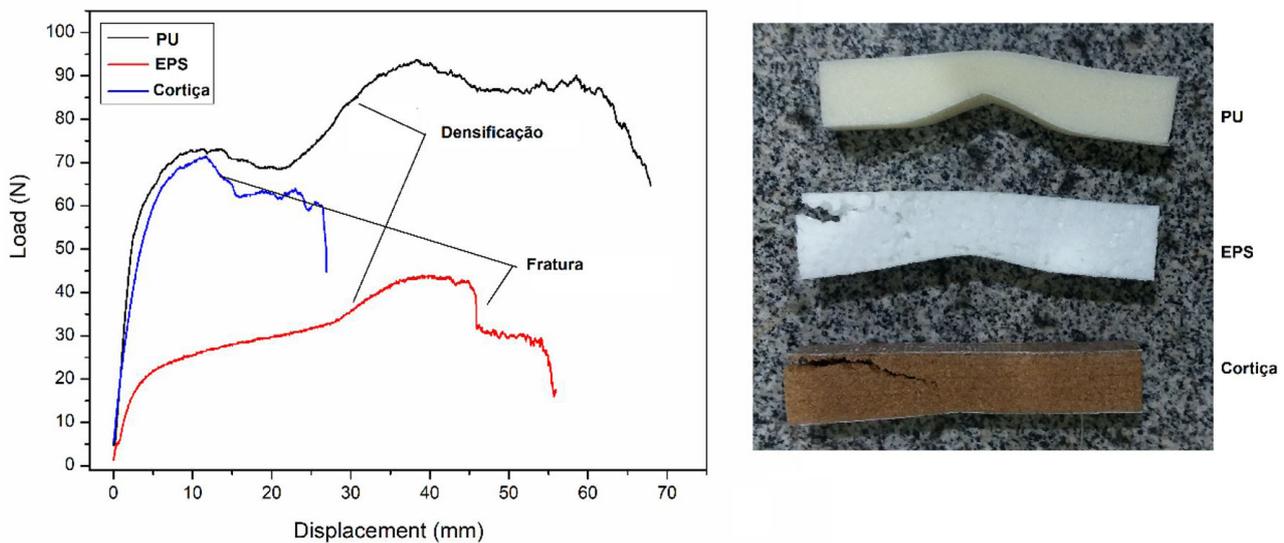


Figura 3. Caracterização mecânica por resistência à flexão dos compósitos com estrutura sanduíche e imagem fotográfica dos corpos de prova após o ensaio mecânico.

espuma, ou seja, uma densificação das células da espuma. Este fenômeno é observado tanto nas amostras de PU como na fase secundária de deformação e no EPS, conforme indicado na Figura 3.

Uma análise comparativa entre as amostras indica que o compósito sanduíche produzido com o núcleo de EPS apresentou menor resistência mecânica, principalmente na região de deformação elástica. Já as amostras produzidas com os núcleos de PU e cortiça apresentaram similaridade na resposta mecânica na região elástica, porém a amostra com núcleo de cortiça apresentou menor deformação, com ruptura do núcleo enquanto que o compósito produzido com PU, após região elástica e ponto de escoamento evoluiu para uma densificação do núcleo e maior deformação plástica. Cabe ressaltar também que comparando as amostras de PU e cortiça, a densidade do PU é significativamente inferior, que o torna um material mais adequado para a aplicação em pranchas de surf.

3.4 Discussão e conclusão

Os principais resultados observados nesse estudo comparativo de materiais indicaram que a fibra de carbono apresentou, entre as amostras analisadas, maior resultado de

resistência mecânica, seguido dos compósitos produzidos com a fibra de vidro, poliaramida e algodão. Com relação a densidade dos compósitos laminados, não foram observadas variações significativas na comparação entre os compósitos produzidos com epóxi ou poliéster, porém ao comparar as fibras utilizadas, os compósitos produzidos com a fibra de poliaramida apresentaram menores valores de densidade, enquanto que os compósitos produzidos com a fibra de vidro as maiores densidades. Com relação ao núcleo poroso, apesar da cortiça apresentar superiores valores de resistência a compressão, ela possui baixa capacidade de deformação e elevada densidade quando comparada aos núcleos de poliuretano e poliestireno expandido. Nos compósitos com estrutura sanduíche, produzidos com laminado de epóxi e fibra de vidro, o núcleo que apresentou melhor performance na análise de resistência à flexão foi o poliuretano, apresentando maior deformação no regime elástico e plástico. Os núcleos de EPS e cortiça fraturaram, enquanto que o núcleo de poliuretano apresentou densificação da estrutura celular. Neste sentido, com base nos resultados obtidos neste estudo, a amostra que apresentou melhor relação de propriedades para aplicação em uma prancha de surf foi a combinação de resina epóxi / fibra de vidro / poliuretano.

Referências

- 1 Audy A. Enhancing technology education at surf science: a collaborative, problem-oriented approach to learning design, materials and manufacturing of surfboards. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*. 2007;3(2):133-140.
- 2 Tuwair H, Hopkins M, Volz J, ElGawady MA, Mohamed M, Chandrashekhara K, et al. Evaluation of sandwich panels with various polyurethane foam-cores and ribs. *Composites. Part B, Engineering*. 2015;79:262.
- 3 Castro O, Silva JM, Devezas T, Silva A, Gil L. Cork agglomerates as an ideal core material in lightweight structures. *Materials & Design*. 2010;31:425.

- 4 Sargianis J, Kim HI, Suhr J. Natural cork agglomerate employed as an environmentally friendly solution for quiet sandwich composites. *Scientific Reports*. 2012;2:493.
- 5 Mosiewicki MA, Dell'Arciprete GA, Aranguren MI, Marcovich NE. Polyurethane foams obtained from castor oil-based polyol and filled with wood flour. *Journal of Composite Materials*. 2009;43:3057.
- 6 Michelena AH, Graham-Jones J, Summerscales J, Hall W. Eco-friendly flax fibre/epoxy resin/composite system for surfboard production. natural fibres. *Advances in Science and Technology Towards Industrial Applications*. 2016;12:267-277.
- 7 Johnstone J. Flexural testing of sustainable and alternative materials for surfboard construction, in comparison to current industry standard materials. *The Plymouth Student Scientist*. 2011;4(1):109-142.
- 8 ASTM International. ASTM D1622-08 - Standard Test Method for Apparent Density of Rigid Cellular Plastics. West Conshohocken, PA: ASTM International; 2008.
- 9 ASTM International. ASTM D3574-11 - Standard Test Methods for Flexible Cellular Materials - Slab, Bonded, and Molded Urethane Foams, . West Conshohocken, PA: ASTM International; 2011.
- 10 Khan ZI, Arsad A, Mohamad Z, Habib U, Zaini MAA. Comparative study on the enhancement of thermo-mechanical properties of carbon fiber and glass fiber reinforced epoxy composites. *Materialstoday Proceedings*. 2021;39(2):956-958.
- 11 Eksi S, Genel K. Comparison of mechanical properties of unidirectional and woven carbon, glass and aramid fiber reinforced epoxy composites. *Acta Physica Polonica A*. 2017;132:879-882.
- 12 Prashanth S, Subbaya KM, Nithin K, Sachhidananda S. Fiber reinforced composites - a review. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2017;6(3):1-6.
- 13 Reis L, Silva A. Mechanical behavior of sandwich structures using natural cork agglomerates as core materials. *The Journal of Sandwich Structures & Materials*. 2009;11:487-500.

Recebido em: 16 Jun. 2021

Aceito em: 30 Ago. 2021