



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
Curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica

JOÃO PEDRO DE ANDRADE BRITO

**Análise de propriedades mecânicas de materiais
compósito aplicados às pranchas de surfe**

JOÃO PESSOA - PB

Outubro / 2024

Análise de propriedades mecânicas de materiais compósito aplicados às pranchas de surfe

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Mecânica da Universidade Federal da
Paraíba, como requisito parcial para
aprovação na disciplina Trabalho de
Conclusão de Curso sob orientação do
Prof. Dr. Koje Daniel Vasconcelos Mishina

JOÃO PESSOA - PB

Outubro / 2024

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

B862a Brito, Joao Pedro de Andrade.

Análise de propriedades mecânicas de materiais compósito aplicados às pranchas de surfe / Joao Pedro de Andrade Brito. - João Pessoa, 2024.
42 f. : il.

Orientação: Koje Daniel Vasconcelos Mishina.
TCC (Graduação) - UFPB/Tecnologia.

1. Compósitos. Pranchas de surfe. EPS. Poliuretano.
I. Mishina, Koje Daniel Vasconcelos. II. Título.

UFPB/BSCT

CDU 621(043.2)



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

JOAO PEDRO DE ANDRADE BRITO

**Análise de propriedades mecânicas de materiais compósito aplicados às
pranchas de surfe**

Trabalho de Conclusão do Curso de Bacharelado em Design da Universidade Federal da Paraíba como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de BACHAREL EM ENGENHARIA MECÂNICA, aprovado em 24 de OUTUBRO de 2024 pelos membros da banca examinadora composta por:

Prof. Dr. Koje Daniel de Vasconcelos Mishina

Orientador

Koje Daniel C. Mishina

Prof. Dr. Siderley Fernandes de Albuquerque

Siderley Fernandes Albuquerque

Prof. Dr. José Carlos de Lima Junior

José Carlos de Lima Júnior

João Pessoa, PB

Outubro/2024

AGRADECIMENTO

Aos meus pais, namorada e toda família, por sempre me apoiar.

Aos meus amigos pela amizade e apoio durante a graduação.

Ao meu professor orientador Dr. Koje Daniel de Vasconcelos Mishina pela orientação neste trabalho.

Aos membros da banca Dr. José Carlos de Lima Junior e Dr. Siderley Fernandes de Albuquerque.

Aos professores do curso de engenharia mecânica por todo conhecimento agregado na sistematização do trabalho.

Aos shapers Eduardo e Liro Glass da BF Surfboards e Renan Salgado da Flydeck pelo suporte e ensinamentos para confecção dos corpos de prova.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução das pranchas de surfe	16
Figura 2 - Diagrama do ensaio mecânico de flexão	22
Figura 3 - Máquina de ensaio universal Shimadzu AG-X 10kN.....	26
Figura 4 - Corpo de prova reforçado com fibra de carbono.....	27
Figura 5 - Corpo de prova reforçado com fibra de vidro.....	28
Figura 6 - Determinação do limite de escoamento e resiliência	29
Figura 7 - Força-Deslocamento: Poliuretano-Poliéster.....	31
Figura 8 - Tensão-Deformação: Poliuretano-Poliéster	32
Figura 9 - Força-Deslocamento: Poliuretano-Epóxi.....	32
Figura 10 - Tensão-Deformação: Poliuretano-Epóxi	33
Figura 11 - Força-Deslocamento: EPS Silver-Epóxi.....	33
Figura 12 - Tensão-Deformação: EPS Silver-Epóxi	34
Figura 13 - Força-Deslocamento: EPS Gold-Carbon Epóxi	34
Figura 14 - Tensão-Deformação: EPS Gold-Carbon Epóxi.....	35
Figura 15 - Gráfico dos limites de resistência à flexão	36
Figura 16 - Gráfico da deformação máxima	36
Figura 17 - Gráfico dos limites de escoamento	37
Figura 18 - Gráfico das resiliências	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Combinações de núcleo, resina e fibra.....	25
Tabela 2 - Valores de tensão máxima média	35
Tabela 3 - Valores de deformação máxima média	35

LISTA DE SIMBOLOGIA

F	.....	Força
L	.....	Distância Entre os Apoios
w	.....	Largura
h	.....	Espessura
δ	.....	Máxima Deformação
σ_f	.....	Tensão de Flexão
ϵ_f	.....	Deformação de Flexão

RESUMO

Na indústria de fabricação de pranchas de surfe há uma constante busca por novos materiais na formação dos compósitos, a fim de produzir pranchas com maior resistência e leveza, conseqüentemente, prolongando sua vida útil e ofertando um equipamento melhor para todos os níveis de surfistas. Nesse cenário, os fabricantes (shapers) utilizam combinações de núcleo, resina e fibra a partir do conhecimento das características individuais dos insumos, sem possuir dados concretos dos resultados de suas combinações. Grande parte dos fabricantes de menor porte têm o interesse de saber a influência de cada material no compósito, principalmente a respeito dos diferentes núcleos, predominantemente em EPS e poliuretano. Diante desse contexto, o presente estudo propõe uma metodologia para auxiliar na seleção de materiais para fabricação de pranchas de surfe com base nas propriedades mecânicas. Para tanto, foi utilizada uma abordagem de pesquisa do tipo quantitativa, de natureza aplicada, com objetivo exploratório e procedimento experimental. Os resultados de limite de resistência à flexão, deformação máxima e limite de escoamento revelam que há combinações, comparando os núcleos de EPS e poliuretano, com desempenho similar. No entanto, os resultados de resiliência demonstram uma superioridade dos núcleos em poliuretano em relação aos análogos em EPS. É importante ressaltar que, apesar das conclusões deste estudo, outros tipos de ensaio são interessantes de serem realizados, como ensaio de torção e fadiga, a fim de proporcionar valores de propriedades mecânicas que agregariam na comparação proposta no presente trabalho.

Palavras chave: Compósitos. Pranchas de surfe. Propriedades mecânicas. Resistência à flexão. Resiliência. Deformação. EPS. Poliuretano.

ABSTRACT

In the surfboard manufacturing industry there is a constant search for new materials in the formation of composites, in order to produce boards with greater resistance and lightness, consequently, prolonging their useful life and offering better equipment for all levels of surfers. In this scenario, manufacturers (shapers) use combinations of core, resin and fiber based on knowledge of the individual characteristics of the inputs, without having concrete data on the results of their combinations. Most smaller manufacturers are interested in knowing the influence of each material on the composite, especially regarding the different cores, predominantly EPS and polyurethane. Given this context, the present study proposes a methodology to assist in the selection of materials for manufacturing surfboards based on mechanical properties. To this end, was used a quantitative research approach, of an applied nature, with an exploratory objective and experimental procedure. The results of flexural strength limit, maximum deformation and yield limit reveal that there are combinations, comparing EPS and polyurethane cores, with similar performance. However, the resilience results demonstrate the superiority of polyurethane cores compared to EPS analogues. It is important to highlight that, despite the conclusions of this study, other types of tests are interesting to be carried out, such as torsion and fatigue tests, in order to provide values of mechanical properties that would add to the comparison proposed in the present work.

Keywords: Composites. Surfboards. Mechanical properties. Bending resistance. Resilience. Deformation. EPS. Polyurethane.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	OBJETIVOS.....	12
1.1.1	Objetivo geral.....	12
1.1.2	Objetivos específicos.....	12
1.2	JUSTIFICATIVA.....	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1	A EVOLUÇÃO DAS PRANCHAS DE SURFE.....	16
2.2	ESTRUTURA SANDWICH.....	17
2.3	MATERIAIS COMPÓSITOS E SEUS TIPOS	18
2.4	COMPÓSITOS UTILIZADOS EM PRANCHAS DE SURFE	18
2.5	PROPRIEDADES MECÂNICAS APLICADAS ÀS PRANCHAS DE SURFE	21
2.5.1	Limite de Resistência à Flexão	22
2.5.2	Limite de Escoamento	22
2.5.3	Resiliência	23
2.5.4	Tenacidade.....	23
2.5.5	Ductilidade.....	23
3	METODOLOGIA	24
3.1	TIPO DA PESQUISA.....	24
3.2	MÉTODOS ANALÍTICOS	24
3.3	MATERIAIS.....	24
3.4	PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS	24
3.5	ENSAIO E TRATAMENTO DOS DADOS.....	25
4	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	30
4.1	RESULTADOS DE LIMITE DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO	30
4.2	RESULTADOS DE DEFORMAÇÃO MÁXIMA	31
4.3	RESULTADOS DE LIMITE DE ESCOAMENTO E RESILIÊNCIA.....	37
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	39
6	REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

A sinergia harmoniosa entre duas ou mais fases distintas, como fibras e resinas, é o que torna os materiais compósitos uma obra-prima da engenharia mecânica. Um novo paradigma na engenharia é criado por essa interação entre seus constituintes, impulsionando a busca por soluções criativas e econômicas.

Segundo Callister (2012), os engenheiros se utilizam da combinação criativa de materiais para obter outros com características mecânicas melhoradas. Nesse contexto, os objetos compósitos emergem como um impulso significativo, capazes de redefinir os limites do desempenho e da funcionalidade em uma variedade ampla de aplicações, incluindo o cenário dinâmico das pranchas de surfe, por exemplo.

Aliado a esse cenário, como estudante de engenharia e praticante do esporte de surfe desde 2014, observei que há uma permanente busca por diferentes materiais e configurações, a fim de descobrir qual é o mais adequado a determinado tipo de onda, tomando por base a habilidade e o biotipo de cada surfista, com o intuito de facilitar a prática do esporte, desenvolvendo um equipamento com o maior grau possível de personalização.

É a versatilidade desses materiais que concede aos engenheiros e designers uma “tela em branco” para a concepção de materiais com propriedades singulares e otimizadas. Esse atributo singular não apenas facilita a elaboração de produtos de alto desempenho, mas também abre um horizonte vasto de oportunidades para a inovação na indústria de pranchas de surfe. Cada fibra, resina e componente desempenham um papel crucial na determinação das características finais do compósito.

No contexto específico das pranchas de surfe, a seleção meticulosa dos materiais assume um papel de primordial importância. Cada fibra de carbono, por exemplo, confere uma leveza e rigidez diferentes, características essenciais para otimizar a performance e a manobrabilidade nas ondas.

Por outro lado, as fibras de vidro proporcionam uma flexibilidade notável, garantindo uma resposta dinâmica e uma resistência insuperável às exigências do ambiente marítimo. De acordo com Callister e Rethwisch (2012), a matriz, frequentemente composta por uma resina epóxi, desempenha um papel crítico, unindo as fibras de maneira coesa e assegurando a integridade estrutural do compósito.

Como resultado, o processo de seleção, teste e fabricação dos compósitos destinados às pranchas de surfe vai além da escolha de materiais. É um exercício de precisão e engenhosidade em que a experiência do engenheiro é combinada com sua paixão pela inovação, e finalmente, melhorando o desempenho das pranchas de surfe para níveis nunca antes vistos.

Espero contribuir para o desenvolvimento de pranchas de surfe mais eficientes e incomuns, que ofereçam aos surfistas uma experiência inigualável e elevem o esporte a um novo patamar de performance e excelência ao desvendar os segredos dos materiais compósitos e suas novas aplicações em pranchas de surfe.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Propor uma metodologia para auxiliar na seleção de materiais para fabricação de pranchas de surfe com base nas propriedades mecânicas.

1.1.2 Objetivos específicos

- Realizar ensaio mecânico de flexão para determinar qual a combinação de materiais proporciona um compósito com maior eficiência na construção de pranchas de surfe.
- Comparar os resultados obtidos com a metodologia proposta no trabalho de Zimmermann et al. (2021).
- Avaliar a convergência de dados dos ensaios mecânicos de flexão realizados entre o artigo de Zimmermann et al. (2021) e o presente trabalho.
- Comparar a eficiência de pranchas fabricadas com núcleo EPS (tipo silver e gold) com núcleo de poliuretano.

1.2 Justificativa

Dos objetos corriqueiros que permeiam nosso cotidiano às avançadas aplicações em estruturas e componentes nas indústrias aeronáutica e aeroespacial, os materiais compósitos emergem como pilares da engenharia moderna. O protagonismo desses materiais, em detrimento dos tradicionais, não é casual, mas sim consequência direta de suas inúmeras vantagens intrínsecas.

A maleabilidade no processamento, a combinação de rigidez superior e resistência mecânica acentuada, juntamente com o baixo peso específico que caracteriza os compósitos de matriz polimérica, ilustram claramente essas vantagens, como enfatizado por Callister & Rethwisch (2012).

No fascinante mundo do surfe, essa revolução material também deixa sua marca indelével. A indústria de fabricação de pranchas, por sua vez, não apenas acompanha, mas lidera essa evolução, impulsionada por inovações no uso de materiais avançados e pela crescente complexidade dos processos de fabricação.

As empresas desse setor, movidas por uma busca incessante por excelência, incorporam tecnologias de ponta em suas pranchas, almejando um desempenho cada vez mais aprimorado para atletas e entusiastas. Esse esforço contínuo visa a otimização das características fundamentais de uma prancha: leveza e resistência, sim, mas também versatilidade, controle preciso da flexibilidade, flutuação otimizada, facilidade de reparo, redução de resíduos e, claro, competitividade nos custos.

Zimmermann e Silva (2021) conduziram uma investigação metódica, na qual submeteram uma série de compósitos laminados a rigorosos testes de tração e flexão. Utilizando matrizes de epóxi e poliéster combinadas com fibras de algodão, vidro, carbono e poliaramida, os resultados revelaram sutilezas intrigantes no comportamento mecânico desses materiais. As implicações desse estudo não só reafirmam o potencial dos compósitos, mas também sugerem novas direções para o aprimoramento das pranchas de surfe, potencialmente redefinindo os limites do desempenho no esporte.

A partir desses ensaios foram utilizados diferentes tipos de núcleos (PU, EPS e cortiça) à matriz epóxi com fibra de vidro para uma nova análise de resistência à flexão. A metodologia proposta neste trabalho baseia-se em analisar o comportamento de núcleos EPS, de densidades diversas, com diferentes matrizes epóxi.

O objetivo deste trabalho permitirá avaliar de que forma a combinação desses insumos influencia nas propriedades mecânicas das pranchas de surfe. Dessa forma, norteando principalmente os fabricantes que possuem menor investimento tecnológico.

Como não há um curso para aprender a fazer pranchas, o aprendizado é pela experiência. Todos os shapers-empresários que trabalham com a fabricação de prancha, seja ela grande ou pequena, expressiva ou nem tanto na economia, aprenderam fazendo, olhando outros. A maioria da produção em Florianópolis é artesanal. Os surfistas apontam diferenças entre as pranchas feitas por encomenda, de maneira personalizada, e as fabricadas em série. Mas ser artesanal não significa não usar tecnologia, o que diferencia é a maneira como é produzida (Mathias; Letícia, 2014, p. 1).

Segundo Edinho Leite (2021), a maioria dos surfistas profissionais optam pelo uso de pranchas feitas em poliuretano, mas a partir de 2005 tem ocorrido uma crescente utilização de pranchas feitas com núcleo de EPS, em razão do fechamento da maior fabricante e distribuidora de poliuretano, a Clark Foam. Com isso, há uma substituição da demanda pelo EPS, levantando dúvida referente ao desempenho desse núcleo em comparação ao poliuretano.

Assim, compreende-se a importância dos materiais compósitos na indústria do surfe como multifacetada. Os surfistas podem alcançar novos níveis de habilidade e manobrabilidade graças aos compósitos, que não apenas aumentam a durabilidade e a eficiência das pranchas, mas também permitem a criatividade no *design* e na fabricação. Estudos mostram que adicionar compósitos avançados às pranchas de surfe melhora a performance e prolonga a sua vida útil (Callister & Rethwisch, 2012).

Estudar as propriedades mecânicas dos compósitos utilizados em pranchas de surfe é essencial para fabricantes, mas também para praticantes amadores(as) de surfe. Dessa forma, entender essas propriedades e quantificar os parâmetros ajudará os fabricantes a otimizar o design e o processo de fabricação, resultando em pranchas mais resistentes, leves e de alto desempenho. Atender às diversas necessidades dos surfistas e competir no mercado é essencial.

As pranchas com propriedades mecânicas melhoradas oferecem maior segurança, durabilidade e facilidade de manuseio para praticantes amadores de surfe. Os compósitos de rigidez, flexibilidade e resistência são essenciais para executar

manobras precisas e enfrentar grandes ondas, enquanto a leveza reduz a fadiga durante treinos e competições.

Portanto, o estudo e a aplicação de materiais compósitos na fabricação de pranchas de surfe são essenciais para a evolução contínua do esporte. Isso permite que os/as surfistas, sejam eles/as amadores/as ou profissionais, tenham equipamentos que melhoram seu desempenho nas ondas e desenvolvam suas habilidades técnicas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 A evolução das pranchas de surfe

A evolução das pranchas de surfe ao longo dos séculos denota uma capacidade fascinante de inovação e adaptação dos surfistas. Desde pranchas utilizadas pelos antigos polinésios, aos modelos atuais com alto grau de sofisticação, as pranchas de surfe passaram por avanços significativos que, impulsionado pelo progresso da ciência dos materiais e da engenharia de construção, refletiram na mudança das preferências dos surfistas (Marcus, 2007).

Por muitas décadas, a madeira maciça era a principal matéria-prima na confecção de pranchas de surfe. Esse material foi deixado de lado, mesmo oferecendo uma boa durabilidade e resistência, pelo fato de ser pesado, oferecendo pouca manobrabilidade e maneabilidade. Segundo Marcus (2007), a introdução de novos materiais, como por exemplo a espuma de poliuretano revestida com fibra de vidro e resina poliéster, foi fundamental na mudança dessa estrutura usual de fabricação impulsionada pelo avanço tecnológico, o qual possibilitou à indústria de surfe a fabricação de pranchas mais ágeis e responsivas. Essa evolução pode ser representada conforme apresentado na figura 1.

Figura 1 - Evolução das pranchas de surfe



Fonte: <https://www.comsurf.com.br/a-historia-do-surf-das-raizes-antigas-as-ondas-modernas>

2.2 Estrutura *sandwich*

Conforme Ashby et al. (2000), a implementação de estruturas *sandwich*, na década de 1940, tornou-se necessário desenvolver materiais leves e resistentes para a indústria aeronáutica devido à intensificação da Segunda Guerra Mundial. Dessa forma, uma das primeiras aplicações dignas, notáveis da utilização de tal material, foi na construção do bombardeiro Mosquito, em que painéis *sandwich* de balsa foram utilizados devido a uma combinação única de leveza e rigidez.

Com a evolução tanto das técnicas de fabricação quanto dos materiais, a ideia de uma estrutura *sandwich* encontrou uma aplicação em uma ampla gama de indústrias. No caso da indústria automotiva, ela é usada para diminuir o peso do carro sem diminuir a segurança ou a performance (Gibson, 2016). Na indústria naval, elas são empregadas em cascos de barcos para melhorar a flutuabilidade e resistência ao impacto (Zenkert, 1995).

Uma das grandes vantagens dessa estrutura é sua alta resistência, aliada à baixa densidade. Sua composição feita de materiais rígidos na face, complementados com um núcleo leve, levam esse composto a ter uma alta resistência à flexão quando comparados às propriedades dos materiais separadamente. Essa característica peculiar é de extrema valia em aplicações que a redução de peso é crucial no desempenho, como por exemplo em aeronaves e veículos de alta performance (Allen, 1969). Outra vantagem significativa é a resistência ao impacto. Um núcleo espesso pode reduzir o risco de falhas críticas nas faces do núcleo, devido à sua capacidade de absorver energia de impacto. É uma característica relevante em aplicações como capacetes, embalagens de proteção e blindagens (Gibson, 2016).

A configuração da estrutura *sandwich* consiste em duas camadas externas de material rígido nas faces e uma camada interna, o núcleo, de material leve e espesso, que separa e conecta as faces. As faces externas são frequentemente feitas de fibra de vidro impregnada com resina epóxi, enquanto o núcleo pode ser feito de diferentes materiais, como poliestireno expandido (EPS) ou poliuretano (PU) (Zenkert, 1995).

Dessa forma, percebe-se que as vantagens da estrutura *sandwich*, apresentadas em diversas áreas da engenharia, podem ser aplicadas às pranchas de surfe. Mazumdar (2001), também acrescenta outra vantagem dessa estrutura, que é a capacidade de personalização, que os fabricantes de pranchas de surfe podem variar o tipo de material utilizado nas faces e no núcleo, a fim de atender às

necessidades específicas de cada surfista, resultando em pranchas que se adaptam às diferentes condições de onda e estilos de surfe.

2.3 Materiais compósitos e seus tipos

Os materiais compósitos são definidos de maneira geral por Callister & Rethwisch, (2012) como a combinação de duas ou mais fases distintas que resultam em propriedades superiores em comparação aos materiais constituintes isolados. A maioria dos compósitos são formados apenas por duas fases, sendo uma delas constituída por uma matriz que tem a função de envolver e sustentar os reforços, criando um material heterogêneo voltado para uma aplicação específica.

Barbero (2010) faz uma classificação de compósitos com base na matriz que os compõe da seguinte forma: compósitos de matriz polimérica (CMP), compósitos de matriz metálica (CMM) e compósitos de matriz cerâmica (CMC). Os CMPs são amplamente utilizados devido à sua versatilidade na fabricação de peças complexas, baixa necessidade de ferramentas de alto custo e excelentes propriedades mecânicas. Dentro dos CMPs, destaca-se o uso de matrizes como epóxi, poliéster e vinil éster, combinadas com reforço de fibras de vidro, carbono e aramida.

De acordo com Chawla (2012), os compósitos de matriz metálica (CMM), são formados por uma matriz metálica (como alumínio, titânio ou magnésio) e são reforçados com fibras ou partículas cerâmicas, conhecidos por sua alta resistência ao desgaste e à temperatura, tornando-se adequados para aplicações aeroespaciais e automotivas.

Combinando uma matriz cerâmica (CMC) com fibras cerâmicas ou metálicas, esses compósitos oferecem excelente resistência a altas temperaturas e à corrosão, por isso são amplamente utilizados em ambientes de alta temperatura, como motores de aeronaves e componentes de turbinas a gás.

2.4 Compósitos Utilizados em Pranchas de Surfe

No contexto da fabricação de pranchas de surfe, os compósitos de matriz polimérica (CMP) são predominantes devido às suas propriedades mecânicas superiores e à flexibilidade de design. As pranchas de surfe modernas frequentemente

utilizam uma matriz de resina epóxi ou poliéster, reforçada com fibras de vidro ou carbono, resultando em um material leve, resistente e durável.

Para Chawla (2012) as resinas epóxi são bastante utilizadas na fabricação de pranchas de surfe devido à sua excelente aderência, resistência à água e propriedades mecânicas. Existem diferentes tipos de resinas epóxi, cada uma com características específicas:

- a) Resinas Epóxi Bisfenol A (DGEBA): conhecidas por sua alta resistência mecânica e boa aderência, são frequentemente utilizadas em aplicações onde a durabilidade e a resistência ao impacto são cruciais.
- b) Resinas Epóxi Novolaca: essas resinas oferecem excelente resistência química e térmica, sendo ideais para pranchas que devem suportar condições extremas.
- c) Resinas Epóxi de Baixa Viscosidade: facilitam a impregnação das fibras, proporcionando uma melhor distribuição e aderência no compósito final.

As resinas poliéster são apresentadas por Barbero (2010) como outra opção comum, destacando-se por sua boa resistência e custo relativamente baixo. Suas características principais incluem:

- a) Resinas Ortoftálicas: usadas em aplicações menos exigentes, são econômicas e oferecem boa resistência à água.
- b) Resinas Isoftálicas: proporcionam melhor resistência à tração e flexão comparada às resinas ortoftálicas, sendo mais apropriadas para pranchas de surfe, que exigem uma maior durabilidade.
- c) Resinas de Poliéster Insaturado: facilitam um processo de cura mais rápida e são adequadas para produção em grande escala devido à sua eficiência.

As fibras de reforço desempenham um papel crucial na definição das propriedades mecânicas dos compósitos, dentre elas, as mais utilizadas são as fibras de vidro, devido à sua combinação de resistência, flexibilidade e custo-efetividade, e que Callister & Rethwisch (2012) classificam em:

- a) Fibras de Vidro E (electrical): Possuem boas propriedades mecânicas e elétricas, sendo as mais comuns na fabricação de pranchas de surfe.
- b) Fibras de Vidro S (*strength*): oferecem resistência mecânica elevada e são utilizadas em pranchas de alta performance que requerem maior durabilidade e resistência a impactos.

Já as fibras de carbono são conhecidas por sua rigidez e leveza excepcionais. A gramatura, ou peso por unidade de área, das fibras de carbono, segundo Barbero (2010,) influencia significativamente as propriedades mecânicas do compósito final, e se distinguem em:

- a) Fibras de Carbono de Alto Módulo: fornecem alta rigidez e são usadas em pranchas de competição em que a resposta rápida e a precisão nas manobras são essenciais. A gramatura mais baixa nessas fibras resulta em compósitos extremamente leves, mas ainda rígidos.
- b) Fibras de Carbono de Alta Resistência: proporcionam resistência superior à tração. Gramaturas mais altas dessas fibras aumentam a resistência e a durabilidade, apesar de adicionar um pouco mais de peso ao compósito.

Ressalta-se e colaborando com Mazumdar (2001), que a gramatura das fibras de carbono é uma variável crucial, pois fibras com gramatura menor (por exemplo, 200 g/m²) são usadas para criar pranchas leves e altamente responsivas, enquanto fibras com gramatura maior (por exemplo, 600 g/m²) oferecem maior resistência e durabilidade, tornando-se adequadas para pranchas que devem suportar cargas mais altas e impactos frequentes.

Além do tipo e da gramatura das fibras, a orientação das fibras no compósito também exerce uma influência significativa nas propriedades mecânicas do material. As direções das fibras determinam como as forças são distribuídas e resistidas dentro do compósito. Existem várias configurações de orientação que são comumente utilizadas:

- a) Unidirecional: as fibras são alinhadas na mesma direção, proporcionando alta resistência e rigidez ao longo da direção das fibras, mas pouca resistência nas direções perpendiculares.
- b) Bidirecional: as fibras são tecidas em duas direções perpendiculares, oferecendo resistência balanceada em ambas as direções. Essa orientação é útil para pranchas que requerem uma combinação de rigidez e flexibilidade multidirecional.
- c) Multidirecional: as fibras são orientadas em múltiplas direções, proporcionando excelente resistência a cargas complexas e variadas. Esta configuração é frequentemente usada em pranchas de surfe que devem suportar forças de diferentes direções durante o uso (Daniel & Ishai, 2006).

Além das resinas e fibras de reforço, os núcleos das pranchas de surfe desempenham um papel fundamental na definição das propriedades mecânicas e do desempenho geral. Os dois tipos mais comuns de núcleos são os de poliestireno expandido (EPS) e poliuretano (PU).

O poliestireno expandido (EPS) é um material leve e de célula fechada, amplamente utilizado em pranchas de surfe modernas devido à sua excelente fluutuabilidade e resistência à água. As densidades dos núcleos de EPS variam tipicamente entre 15 kg/m^3 e 35 kg/m^3 . Marcus (2007) classifica-os como sendo de alta ou baixa densidade:

- a) EPS de Baixa Densidade: proporciona pranchas mais leves, com maior fluutuabilidade e facilidade de manobra. No entanto, a resistência mecânica é menor, exigindo reforços adicionais.
- b) EPS de Alta Densidade: oferece maior resistência mecânica e durabilidade, mas resulta em pranchas ligeiramente mais pesadas. Esse tipo é preferido para pranchas de grandes ondas ou uso profissional onde a durabilidade é crucial.

Marcus (2007) considera o poliuretano (PU) um material tradicionalmente utilizado na fabricação de pranchas de surfe devido à sua durabilidade e facilidade de moldagem, com variação dos núcleos de PU em relação à densidade entre 50 kg/m^3 e 80 kg/m^3 , onde encontramos:

- a) PU de Baixa Densidade: facilita a criação de pranchas leves e manobráveis, mas com menor resistência a impactos. Ideal para pranchas de pequeno porte e manobras acrobáticas.
- b) PU de Alta Densidade: oferece excelente resistência a impactos e durabilidade, tornando-se adequado para pranchas que enfrentam condições adversas e uso intenso.

2.5 Propriedades Mecânicas Aplicadas às Pranchas de Surfe

A análise das propriedades mecânicas das pranchas de surfe é essencial para garantir desempenho, segurança e durabilidade. Propriedades como limite de resistência à flexão, limite de escoamento e resiliência são cruciais para a funcionalidade de uma prancha de surfe. Essas propriedades podem ser avaliadas por meio de ensaios mecânicos específicos, que seguem normas estabelecidas para

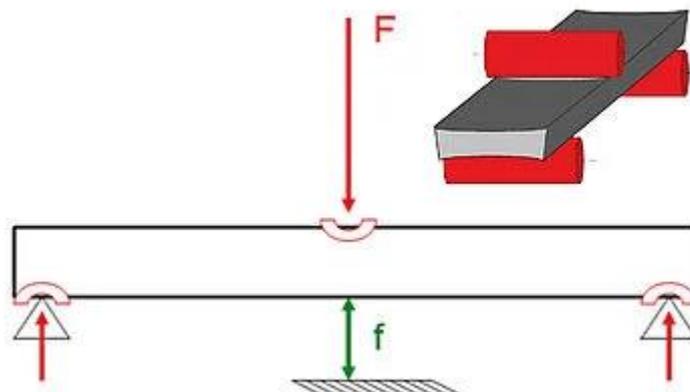
compósitos. Tais propriedades são definidas por Callister & Rethwisch, (2012) da seguinte forma

2.5.1 Limite de Resistência à Flexão

O limite de resistência à flexão de uma prancha de surfe determina sua capacidade de resistir às forças que induzem a flexão. Essa propriedade está associada à máxima tensão que o material suporta antes de romper, que é normalmente avaliada por meio do ensaio de flexão, onde uma amostra do material é submetida a uma força até que ocorra deformação.

Este ensaio segue a norma ISO 14125 que especifica os métodos para a medição das propriedades de flexão de materiais compósitos plásticos reforçados com fibras. A metodologia envolve a aplicação de uma carga central em uma viga apoiada em dois pontos, medindo-se a deflexão resultante. A Figura 2 apresenta um esquema de como o ensaio é realizado.

Figura 2 - Diagrama do ensaio mecânico de flexão



Fonte: <https://www.zwickroell.com/pt/news-events/news/o-que-importa-no-ensaio-de-flexao/>

2.5.2 Limite de Escoamento

O limite de escoamento tem relação direta com a plasticidade do material, que é a tensão máxima que o material suporta antes de sofrer uma deformação permanente. Assim, essa propriedade tem relação direta com a capacidade do material em manter integridade dimensional da fabricação, uma vez que há uma influência de performance atribuída à geometria das pranchas.

2.5.3 Resiliência

A resiliência é a propriedade que se refere à capacidade do material em absorver energia e depois liberá-la dentro da sua região elástica, ou seja, sem sofrer deformação permanente. Assim, torna-se um atributo importante para garantir a performance e durabilidade, visto que pranchas estão constantemente sujeitas a forças dinâmicas.

2.5.4 Tenacidade

A tenacidade está relacionada a capacidade de um material em absorver energia ao longo de toda a região da curva de deformação, ou seja, compreendendo tanto a região elástica quanto plástica. Essa propriedade tem grande relação com a resistência a impactos e a fadiga, características que refletem sobre a vida útil das pranchas.

2.5.5 Ductilidade

A ductilidade demonstra a capacidade de um material em se deformar plasticamente sob tensão sem se romper. Materiais dúcteis sofrem grandes deformações sem se romper. Já materiais frágeis são aqueles que se rompem com pouca ou nenhuma deformação. Os compostos analisados no presente trabalho têm mais características de materiais frágeis, demonstrando pouca capacidade de deformação plástica.

3 METODOLOGIA

3.1 Tipo da pesquisa

O presente trabalho tem como características metodológicas uma pesquisa quantitativa (quanto à abordagem), aplicada (quanto à natureza), exploratória (quanto ao objetivo) e experimental (quanto aos procedimentos).

3.2 Métodos analíticos

A metodologia que se aplica no presente trabalho consiste em fabricar oito tipos diferentes de compósitos formados por uma resina, uma fibra e um núcleo polimérico. A partir desses diferentes tipos de compósitos foi realizado ensaio de flexão de três pontos para que suas propriedades mecânicas sejam comparadas.

3.3 Materiais

Para a produção foram utilizados três núcleos. O primeiro é o poliuretano da marca Teccel, do tipo Tec Blue, com densidade de 37 kg/m³. Outros dois foram de EPS da marca Keahana do tipo Silver, com 30 Kg/m³, e do tipo Gold com 32 Kg/m³. As fibras de vidro são da marca HITEX, as fibras de carbono bidirecionais são da marca Fibertex com a trama tipo sarja, ambas as fibras possuem uma gramatura de 200 g/m² e espessura de 0.2 mm. As resinas utilizadas foram poliéster silmar do tipo ortoftálico adquirido da empresa Teccel e Epóxi da marca Nanopoxy.

3.4 Preparação das amostras

Inicialmente foram cortados tanto os núcleos de poliuretano quanto os de EPS em dimensões de 200x100x9 mm (Comprimento x Largura x Espessura). Em seguida, todos os núcleos receberam duas camadas de tecido bidirecional cortadas cada uma com as mesmas dimensões dos núcleos, com o peso de 16 gramas. Após o posicionamento das fibras sobre os núcleos, foram acrescentados, com o uso de uma espátula, matriz epóxi e poliéster através do processo de laminação manual (hand lay-

up) na proporção de 2 partes de resina para 1 de endurecedor, misturadas de forma manual por 2 minutos. A fração mássica de resina, já com o endurecedor, foi de 60% para todas as amostras (40% de fibra). O processo de secagem das amostras foi em temperatura ambiente, cerca de 27°C, por 72h. Por fim, cada um dos 8 painéis foi cortado em 5 amostras as quais as combinações de núcleo, resina e fibra estão na tabela 1. Vale ressaltar que os núcleos de EPS não podem ser laminados com a resina poliéster porque ocorre a reação de dissolução do EPS.

Tabela 1 – Combinações de núcleo, resina e fibra

Compósitos		
Núcleo	Resina	Fibra
Poliuretano	Poliéster	Vidro
Poliuretano	Poliéster	Carbono
Poliuretano	Epoxy	Vidro
Poliuretano	Epoxy	Carbono
EPS Silver	Epoxy	Vidro
EPS Silver	Epoxy	Carbono
EPS Gold	Carbon Epoxy	Vidro
EPS Gold	Carbon Epoxy	Carbono

Fonte: Pesquisa direta, 2024

3.5 Ensaio e tratamento dos dados

O ensaio mecânico de flexão de três pontos foi realizado na máquina universal de ensaios Shimadzu AG-X 10Kn presente no laboratório de solidificação rápida do departamento de engenharia mecânica da Universidade Federal da Paraíba, conforme apresentado na figura 3, seguindo a norma ISO 14125, que é utilizada para determinar as propriedades de flexão de compósitos plásticos reforçados com fibra. Os corpos de prova têm dimensões de 200x20x10 mm (Comprimento x Largura x Espessura) e foram posicionados na máquina com 160 mm de vão entre os apoios.

Figura 3 - Máquina de ensaio universal Shimadzu AG-X 10kN



Fonte: <https://www.ct.ufpb.br/lsr/contents/paginas/equipamentos-1/maquina-universal-de-ensaios>.

Os dados recebidos foram arquivos com informação de força e deslocamento no tempo, ponto a ponto, num intervalo de 2 centésimos de segundo. Além disso, um arquivo com os valores numéricos máximos de força, deslocamento, tensão e de flexão. Dessa forma, foi preciso fazer um tratamento de dados para plotar as curvas de força-deslocamento e tensão-deformação de cada grupo de amostra com o intuito

de melhorar a visualização do desempenho de cada amostra que compõem o resultado de cada compósito.

Foi necessário aplicar a equação 1 e a equação 2 para calcular, respectivamente, a tensão flexão e a deformação para um ensaio de flexão de três pontos aplicados ponto a ponto para plotar o gráfico de tensão de flexão-deformação de flexão.

$$\sigma_f = \frac{3.F.L}{2.w.h^2} \quad (1)$$

Sendo F a força em N/mm^2 ; L a distância entre os apoios; w a largura da seção transversal da amostra e h é a espessura da seção transversal da amostra.

$$\epsilon_f = \frac{6.h.\delta}{L^2} \quad (2)$$

Sendo δ a máxima deformação do centro do corpo de prova; h a espessura da seção transversal da amostra e L a distância entre os apoios.

Com as curvas das amostras que compõem cada tipo de combinação foi aplicado uma regressão não linear, tanto para os gráficos de força-deslocamento quanto para os de tensão-deformação.

As figuras 4 e 5 mostram corpos de prova laminados com fibra de carbono e vidro, respectivamente.

Figura 4 - Corpo de prova reforçado com fibra de carbono



Fonte: Pesquisa direta 2024.

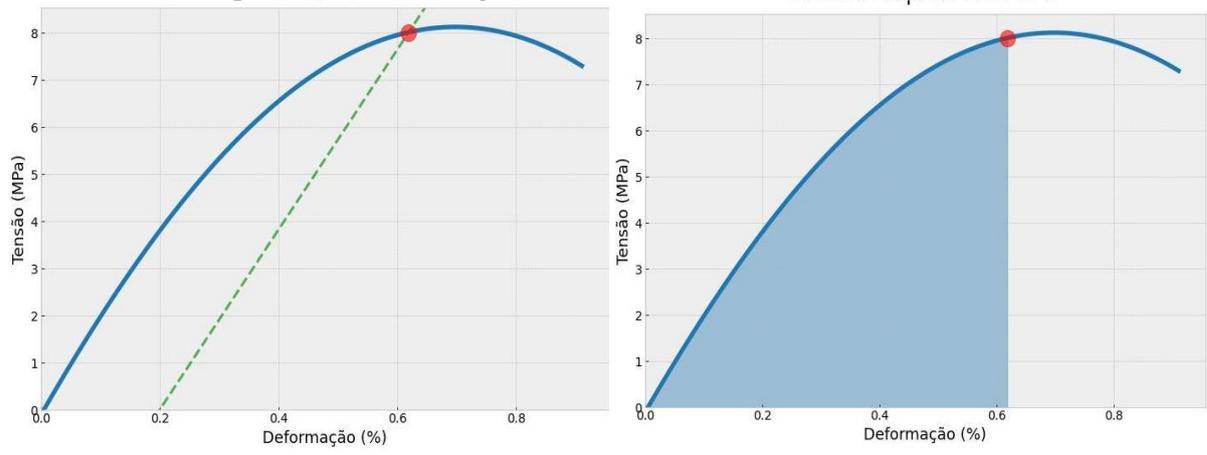
Figura 5 - Corpo de prova reforçado com fibra de vidro



Fonte: Pesquisa direta 2024

Para obter os valores de limite de escoamento e resiliência foi aplicado metodologia em concordância com Callister & Rethwisch (2012), sendo aplicado um limite de proporcionalidade para determinação do limite de escoamento e da resiliência. Após a plotagem do gráfico tensão-deformação, foram utilizados os 300 primeiros pontos para determinação da inclinação da reta aplicando uma regressão linear cujo coeficiente de determinação apresentou resultados superiores a 98. Em seguida, a reta foi transposta num valor de 0,2% na deformação e foi observado o ponto em que a reta e a curva se cruzam. Determinado o limite de escoamento do material foi possível calcular o valor da resiliência, que corresponde à área da região elástica do material, como podemos ver na Figura 6, que corresponde a um dos compósitos avaliados.

Figura 6 - Determinação do limite de escoamento e resiliência



Fonte: Pesquisa direta 2024

4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Resultados de limite de resistência à flexão

A Tabela 2 mostra todas as combinações de núcleo, resina e fibra de reforço que formam cada compósito e seus respectivos resultados de tensão e a tabela 3 apresenta os resultados de deformação advindos do ensaio mecânico de flexão. Ademais, a figura 23 e a figura 24 mostram, graficamente os valores de limite de resistência à flexão e deformação máxima, respectivamente.

Ao comparar as fibras nota-se que os compósitos que possuem fibra de carbono apresentaram tanto valores de limite de resistência à flexão quanto de deformação superiores aos compósitos laminados com fibras de vidro. Contudo, a única exceção com relação a valores de limite de resistência à flexão foi o compósito de EPS Silver, resina epóxi e fibra de vidro a qual apresentou valores similares aos compósitos laminados com fibra de carbono.

Tal resultado é bastante significativo visto que a fibra de vidro tem um custo menor que a fibra de carbono. Ademais, a combinação de EPS Silver, resina epóxi e fibra de vidro possui a menor densidade entre as combinações sabendo que todas as amostras possuem fibras de mesma gramatura e dimensões, que as resinas foram aplicadas com a mesma fração mássica e que o núcleo de EPS silver possui a menor densidade entre todos os núcleos.

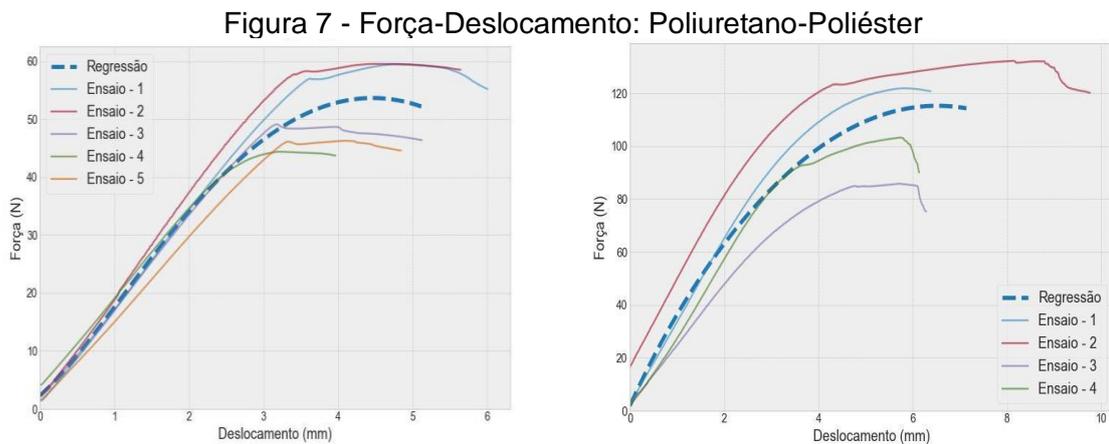
Ao comparar apenas os compósitos com núcleos de mesmo material pode-se perceber que os fabricados em EPS possuem proximidade nos valores obtidos, exceto o compósito em EPS Gold, resina carbono epóxi e fibra de vidro. Já dentre os fabricados em poliuretano é possível notar uma discrepância entre os que possuem fibra de vidro e os que possuem fibra de carbono, a qual possuem valores que alcançam aproximadamente o dobro do valor presentes dos fabricados com fibra de vidro. Dessa forma, entre a amostra que teve melhor desempenho com núcleo de poliuretano foi a laminada com resina poliéster e, dentre as de núcleo em EPS (Silver e Gold), a de núcleo EPS Gold laminada com resina carbono epóxi e fibra de carbono.

Importante ressaltar que as os compósitos EPS silver, resina epóxi, fibra de vidro e Poliuretano, resina poliéster, fibra de carbono tiveram apenas 4 amostras testadas devido a um problema técnico na realização do ensaio podendo assim haver distorções nos resultados.

4.2 Resultados de deformação máxima

Ao observar a figura 24 é possível notar um desempenho melhor entre os compósitos laminados em fibra de carbono. Com destaque para o compósito de núcleo poliuretano, resina epóxi e fibra de carbono, o qual obteve o melhor desempenho. A amostra formada por EPS Silver, resina epóxi e fibra de carbono apresentou uma performance considerável, se colocando como segundo melhor desempenho juntamente com a amostra de poliuretano, resina poliéster e fibra de carbono.

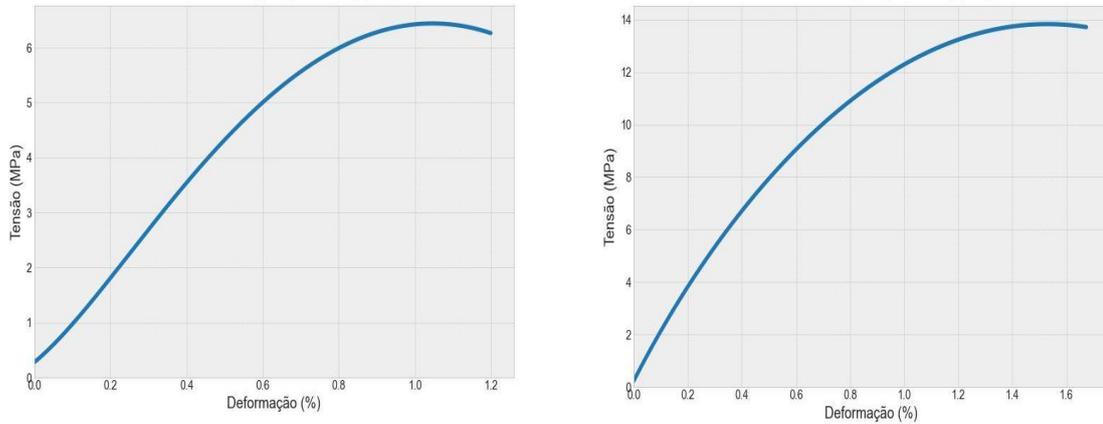
A figura 7 representa os resultados de força-deslocamento dos compósitos laminados com núcleo poliuretano e resina poliéster, à esquerda reforçados com fibra de vidro e à direita com fibra de carbono.



Fonte: Pesquisa direta, 2024.

A figura 8 representa os resultados de tensão-deformação dos compósitos laminados com núcleo poliuretano, resina poliéster, à esquerda reforçados com fibra de vidro e à direita com fibra de carbono.

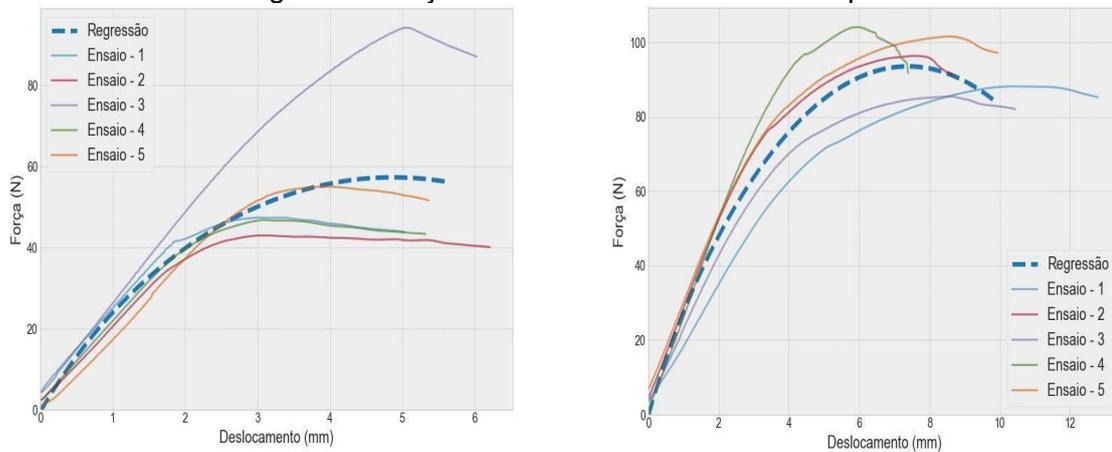
Figura 8 - Tensão-Deformação: Poliuretano-Poliéster



Fonte: Pesquisa direta, 2024

A figura 9 representa os resultados de força-deslocamento dos compósitos laminados com núcleo poliuretano e resina epóxi, à esquerda reforçado com fibra de vidro e à direita com fibra de carbono.

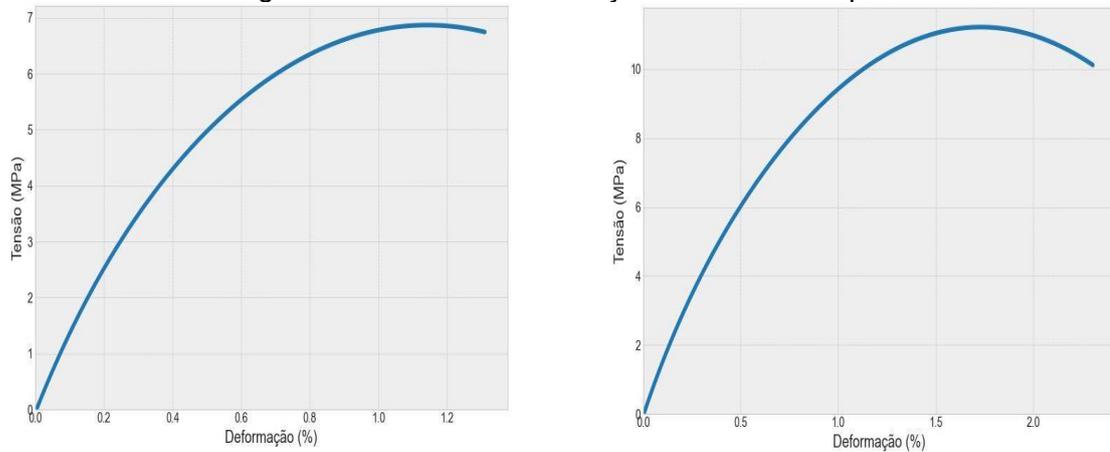
Figura 9 - Força-Deslocamento: Poliuretano-Epóxi



Fonte: Pesquisa direta, 2024

A figura 10 representa os resultados de tensão-deformação dos compósitos laminados com núcleo poliuretano, resina poliéster, à esquerda reforçados com fibra de vidro e à direita com fibra de carbono.

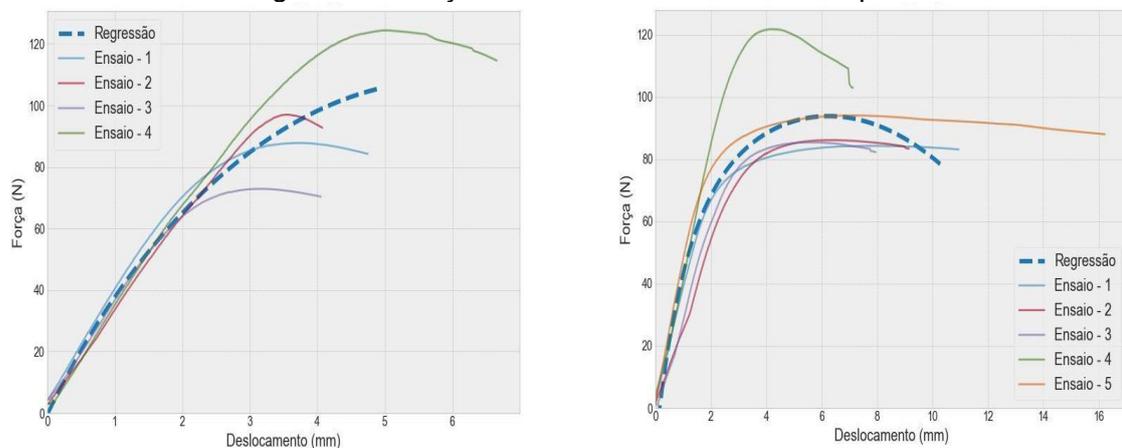
Figura 10 - Tensão-Deformação: Poliuretano-Epóxi



Fonte: Pesquisa direta, 2024

A figura 11 representa os resultados de força-deslocamento dos compósitos laminados com núcleo EPS Silver e resina epóxi, à esquerda reforçado com fibra de vidro e à direita com fibra de carbono.

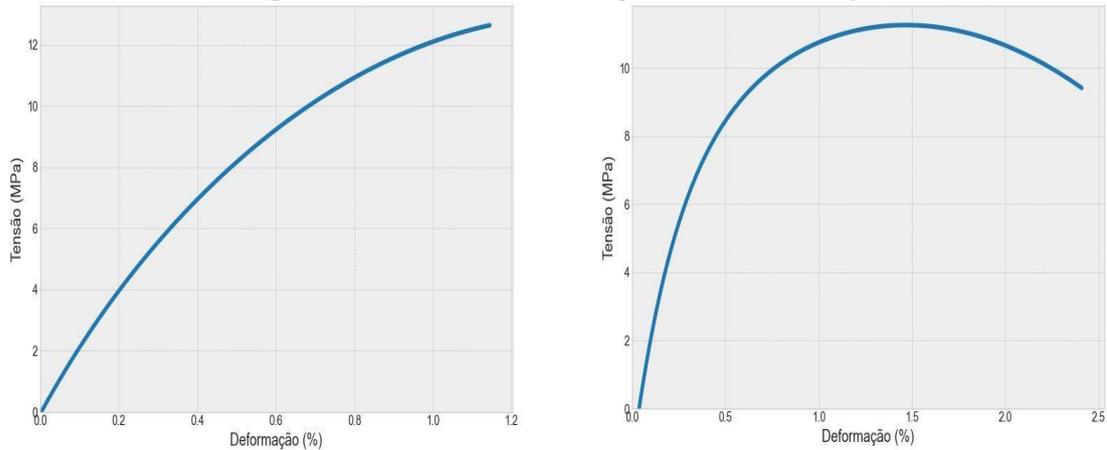
Figura 11 - Força-Deslocamento: EPS Silver-Epóxi



Fonte: Pesquisa direta 2024

A figura 12 representa os resultados de tensão-deformação dos compósitos laminados com núcleo poliuretano, resina poliéster, à esquerda reforçados com fibra de vidro e à direita com fibra de carbono.

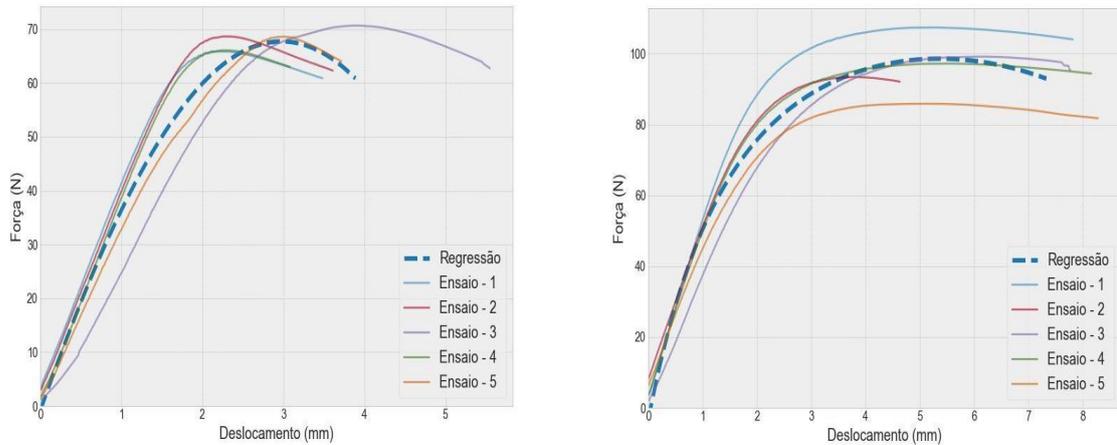
Figura 12 - Tensão-Deformação: EPS Silver-Epóxi



Fonte: Pesquisa direta, 2024

A figura 13 representa os resultados de força-deslocamento dos compósitos laminados com núcleo EPS Gold e resina carbono epóxi, à esquerda reforçado com fibra de vidro e à direita com fibra de carbono.

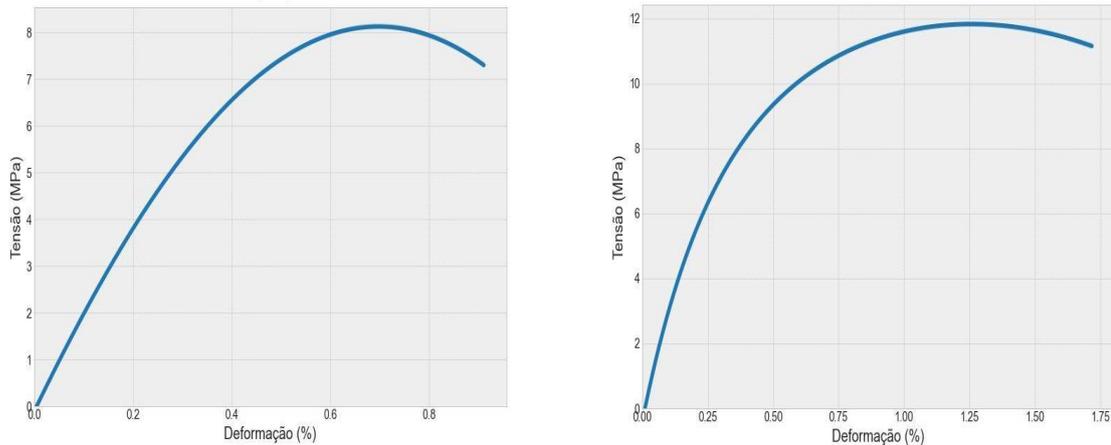
Figura 13 - Força-Deslocamento: EPS Gold-Carbon Epóxi



Fonte: Pesquisa direta, 2024

A figura 14 representa os resultados de tensão-deformação dos compósitos laminados com núcleo EPS Gold, resina carbono epóxi, à esquerda reforçados com fibra de vidro e à direita com fibra de carbono.

Figura 14 - Tensão-Deformação: EPS Gold-Carbon Epóxi



Fonte: Pesquisa direta, 2024

A tabela 2 representa os valores de tensão máxima média de cada compósito com seus respectivos valores de desvio padrão e erro padrão.

Tabela 2 - Valores de tensão máxima média

Compósitos			Tensão Máxima Média (Mpa)	Desvio Padrão	Erro Padrão
Núcleo	Resina	Fibra			
Poliuretano	Poliéster	Vidro	6,214	0,873	0,390
Poliuretano	Poliéster	Carbono	13,299	2,462	1,101
Poliuretano	Epoxy	Vidro	6,867	2,535	1,133
Poliuretano	Epoxy	Carbono	11,414	0,978	0,438
EPS Silver	Epoxy	Vidro	11,025	2,457	1,099
EPS Silver	Epoxy	Carbono	11,319	1,898	0,849
EPS Gold	Carbon Epoxy	Vidro	8,160	0,242	0,108
EPS Gold	Carbon Epoxy	Carbono	11,594	0,948	0,424

Fonte: Pesquisa direta, 2024

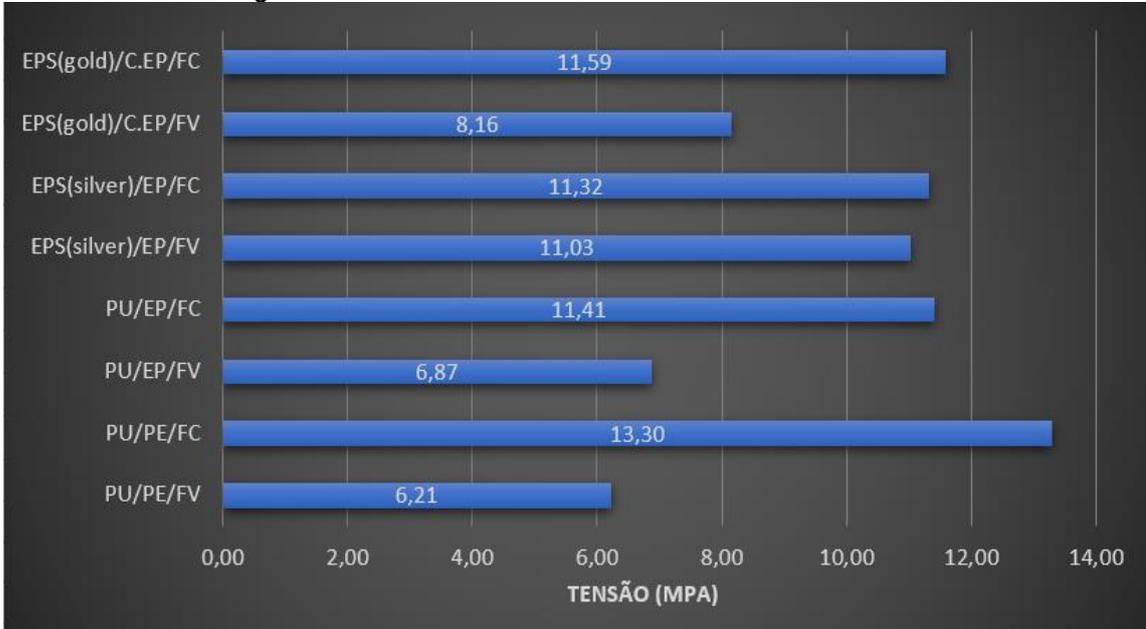
Tabela 3 - Valores de deformação máxima média

Compósitos			Deformação Máxima Média (%)	Desvio Padrão	Erro Padrão
Núcleo	Resina	Fibra			
Poliuretano	Poliéster	Vidro	0,936	0,184	0,082
Poliuretano	Poliéster	Carbono	1,491	0,277	0,124
Poliuretano	Epoxy	Vidro	0,850	0,207	0,092
Poliuretano	Epoxy	Carbono	1,931	0,385	0,172
EPS Silver	Epoxy	Vidro	0,866	0,186	0,083
EPS Silver	Epoxy	Carbono	1,460	0,327	0,146
EPS Gold	Carbon Epoxy	Vidro	0,645	0,166	0,074
EPS Gold	Carbon Epoxy	Carbono	1,205	0,203	0,091

Fonte: Pesquisa direta, 2024

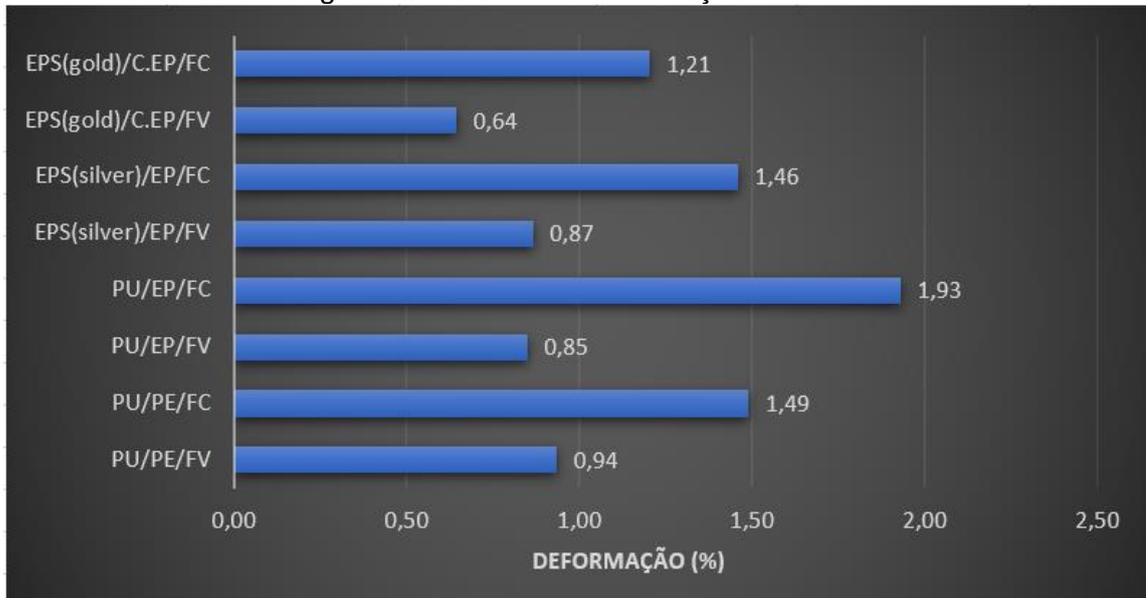
Os gráficos das figuras 15 e 16 apresentam os resultados de limites de resistência à flexão e deformação máxima, respectivamente

Figura 15 - Gráfico dos limites de resistência à flexão



Fonte: Pesquisa direta, 2024.

Figura 16 - Gráfico da deformação máxima



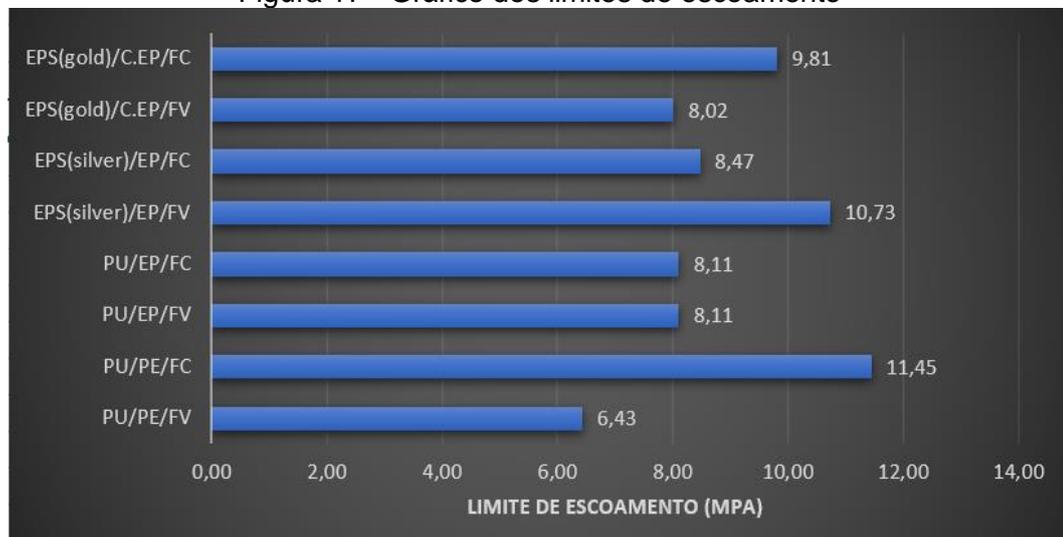
Fonte: Pesquisa direta, 2024.

4.3 Resultados de limite de escoamento e resiliência

Analisando primeiramente os dados de limite de escoamento, apresentados na figura 17, percebemos que três compósitos se destacam, sendo o maior fabricado com núcleo de poliuretano seguido de outros dois fabricados com EPS. Também é perceptível que o compósito EPS Silver-epóxi-fibra de vidro atinge valores próximos ao compósito poliuretano-poliéster-fibra de carbono, demonstrando que há viabilidade na substituição de pranchas feitas com núcleo de poliuretano. Ademais, esse compósito fabricado em EPS é mais leve visto que a metodologia de fabricação no presente trabalho promove uma unificação no peso das resinas e fibras aplicadas.

Na comparação dos dados de resiliência, presente na figura 18, é possível observar uma maior discrepância dos dados. O compósito formado por poliuretano-poliéster-fibra de carbono demonstra grande capacidade de absorção de energia. Porém, ainda podemos ver um bom desempenho do compósito EPS Silver-epóxi-fibra de vidro que também se destacou perante os outros compósitos.

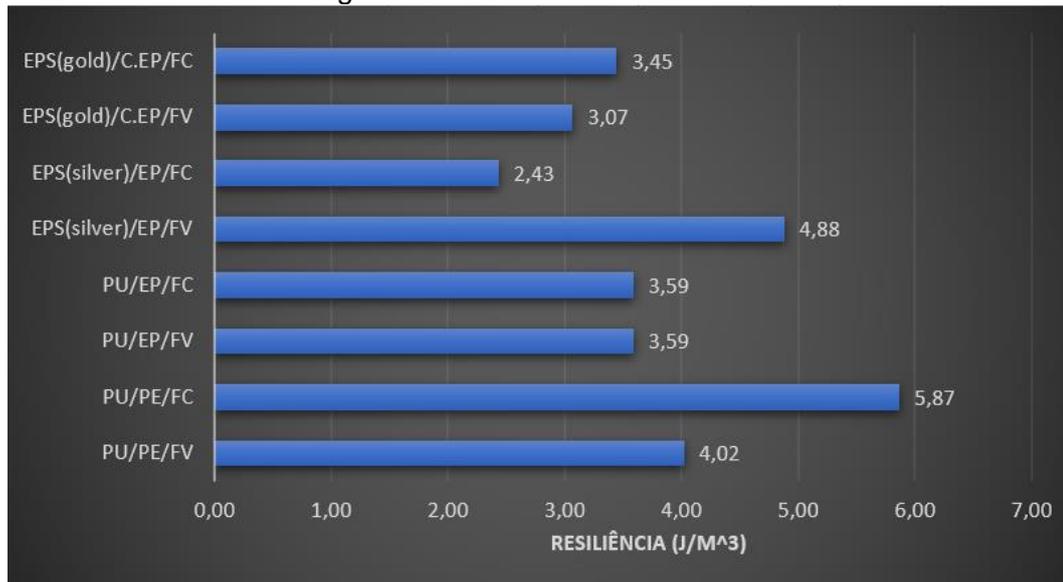
Figura 17 - Gráfico dos limites de escoamento



Fonte: Pesquisa direta, 2024

Na comparação dos dados de resiliência, presente na figura 18, é possível observar uma maior discrepância dos dados. O compósito formado por poliuretano-poliéster-fibra de carbono demonstra grande capacidade de absorção de energia. Porém, ainda podemos ver um bom desempenho do compósito EPS Silver-epóxi-fibra de vidro que também se destacou perante os outros compósitos.

Figura 18 - Gráfico das resiliências



Fonte: Pesquisa direta, 2024

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto, é possível concluir que o compósito poliuretano-poliéster-fibra de carbono possui o melhor desempenho em três dos quatro aspectos mecânicos analisados no presente trabalho. Em relação a deformação dos materiais de matrizes poliméricas, é pertinente destacar que, por se tratar de materiais frágeis, com baixa ductilidade, a diferença entre o melhor compósito em poliuretano e o melhor em EPS não é expressiva (0,47%).

Contudo, é notável que é possível alcançar resultados de limite de resistência à flexão, resiliência e limite de escoamento de pranchas fabricadas em poliuretano e resina poliéster utilizando EPS e epóxi. Essa afirmação fica mais evidenciada quando comparamos as amostras em EPS com a amostra de poliuretano, resina poliéster e fibra de vidro, a qual corresponde a combinação mais utilizada na fabricação de pranchas no mundo (Grijó,2004). Nesse comparativo, as propriedades mecânicas analisadas no presente trabalho há pelo menos uma amostra com núcleo em EPS que supera o compósito mais utilizado no mundo.

Na contraposição dos resultados obtidos e dos apresentados por Zimmermann et al. (2021), há divergências nos valores, o que é normal pelo fato das dimensões dos corpos de prova serem diferentes, além de que os resultados de limite de escoamento do presente trabalho serem advindos de um ensaio de flexão. Ademais, o ensaio de flexão do presente trabalho foi enquadrado em norma específica. Não obstante, a diferença mais significativa entre os trabalhos está na distância entre os valores das amostras em poliuretano e EPS. Assim, demonstramos que alterando algumas características dos mesmos materiais foi possível atingir valores próximos entre esses dois núcleos distintos.

Dessa forma, é possível concluir que, em condições que não sejam extremas, a utilização de EPS na fabricação torna-se viável, deixando um leque de opções para praticantes de surfe amadores e profissionais. No contexto dos tipos de onda que estão presentes no Brasil, o qual a maioria das ondas não apresentam necessidade de grandes esforços, a confecção de pranchas em blocos de EPS mostra-se uma alternativa promissora. Ademais, assegurando a equivalência das propriedades mecânicas entre esses tipos de construção, a seleção de qual material utilizar deve passar por outros aspectos, como acesso aos insumos, custo de fabricação e

preferências do consumidor final (os surfistas). Essa comprovação é importante vide o debate presente no cenário atual da comunidade do surfe sobre qual o núcleo que apresenta melhor desempenho. Por tanto, através dos estudos realizados pode-se concluir que não há necessariamente um compósito que atenda todas as necessidades requeridas na prática do surfe, mas sim, pode haver uma combinação ideal para algumas condições requeridas.

Por fim, é importante o aprofundamento do estudo acrescentando outros testes com diferentes compostos, a realização de outros tipos de ensaios mecânicos, como por exemplo o de tração, o qual irá proporcionar o valor real dos limites de resistência, limite de escoamento, resiliência, módulo de elasticidade, bem como ensaios de fadiga para obter valores correspondentes a vida útil desses compostos e até ensaio de resistência ao impacto. Outro estudo que agregaria significativamente na metodologia seria a análise das mesmas propriedades mecânicas em compósitos fabricados por processos de vacuum bag ou infusão a vácuo.

6 REFERÊNCIAS

Allen, H. G. *Analysis and design of structural sandwich panels*. Oxford: Pergamon Press, 1969.

Ashby, M. F.; Gibson, L. J.; Wegst, U.; Olive, R. The mechanical properties of natural materials. II. Hard tissues. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 450, v. 1938, 123-140, 2000.

Barbero, E. J. *Introduction to composite materials design*. 2. ed. CRC Press, 2010.

Callister Jr., W. D.; & Rethwisch, D. G. *Materials science and engineering: an introduction*. 8. ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc., 2012.

Chawla, K. K. *Composite materials: science and engineering*. 3. ed. New York, NY: Springer, 2012.

Daniel, I. M.; Ishai, O. *Engineering mechanics of composite materials*. Oxford University Press, 2006.

Gibson, L. J. *Cellular solids: structure and properties*. Cambridge: Cambridge University Press, 2016.

Grijó, P. E. A. *Alternativas de recuperação dos resíduos sólidos gerados na produção de pranchas e surfe*. Master thesis, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis, SC, Brasil, 2004.

LEITE, E. A busca pelo melhor. *Waves: cobertura especial*, 2021. Disponível em: <https://www.waves.com.br/cobertura-especial/tbts/busca-pelo-melhor/>. Acesso em: 17 set. 2024.

Marcus, B. *The surfboard: art, style, stoke*. Minneapolis, MN: MBI Publishing Company, 2007.

MATHIAS, L. *Mercado do surf motiva surfistas que fabricam pranchas a empreenderem em um negócio próprio*. ND+, *Surfe*, 2021. Disponível em: <https://ndmais.com.br/surfe/mercado-do-surf-motiva-surfistas-que-fabricam-pranchas-a-empreenderem-em-um-negocio-proprio/>. Acesso em: 17 set. 2024.

Mazumdar, S. K. *Composites manufacturing: materials, product, and process engineering*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2001.

ZIMMERMANN, Matheus Vinícius Gregory; SILVA, Gabriel Augusto Tereza. *Avaliação de materiais utilizados em compósitos com estrutura sanduíche para aplicação em pranchas de surfe*. Artigo, Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, Criciúma, SC, Brasil, 2020.

Zenkert, D. *An introduction to sandwich construction*. Solihull: EMAS Publishing, 1995.