VALIDAÇÃO COMPUTACIONAL DE ENSAIOS MECÂNICOS EM COMPÓSITOS REFORÇADOS COM TECIDO 600 E MANTA 450

Marvin B. M. Sales[1], Cássio B. F. Gomes[1], Edson J. P. M. Junior[1], Adilto P. A. Cunha[2], Claudia R. E. S. Nobrega[2], Flávio N. Pereira[2]

[1]Instituto Federal do Maranhão, São Luís, Brasil (engmarvinbmsales@gmail.com)
[2]Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, Brasil

Resumo: Os compósitos reforçados com fibras sintéticas possuem elevados índices de resistência mecânica. O método dos elementos finitos foi aplicado ao software ANSYS, representando dois modelos, um de tecido 600 g/m² e outro de manta 450 g/m². Os ensaios mecânicos foram executados e, o modelo T600 obteve tensões máximas de ruptura 3 vezes superior a M450 quanto a tração e 1,6 vezes a mais quanto a flexão. Por fim a simulação foi capaz de retornar dados aproximados com erro relativo entre 0,02 e 2,72%.

Palavras-chave: Compósito de matriz polimérica; fibras de vidro; elementos finitos; ensaios de tração; ensaios de flexão.

INTRODUÇÃO

O aumento do uso dos materiais compósitos é uma consequência dos benefícios relacionados às propriedades obtidas, as quais não são atingidas pelos materiais convencionais (Zaghloul et al., 2022). A perspectiva de crescimento dos materiais compósitos, em relevância os de matrizes poliméricas, podem alcançar um valor superior a 6% no intervalo de 2021 a 2024 (Merline, 2021). O desenvolvimento e utilização dos compósitos corresponde a uma necessidade de propriedades cada vez mais específicas e não usuais na indústria (Rajak et al., 2019). O que resulta também em uma certa dificuldade de seleção e combinação dos materiais, devido a sua vasta e complexa estrutura que influenciam diretamente nas características finais deste material (Sapuan et al., 2020).

Tal complexidade que dificulta as simulações dos materiais compósitos pode ser suprimida com a utilização do método dos elementos finitos. Por meio de softwares, obtém-se resultados precisos a curto prazo, tornando-se um grande aliado com soluções aproximadas independentes das circunstâncias do problema (Elhenawy et al., 2020). A utilização deste método tornou-se essencial para análise e obtenção de dados, já que os componentes de engenharia em sua maioria possuem geometria complexa e sem solução analítica (Pereira e Dos Santos, 2021). Além disso, outros fatores podem influenciar no comportamento estrutural do componente após a escolha do material de reforço e da matriz constituinte nos compósitos reforçados com fibras. Sendo estes, os obstáculos para simulação no qual trata-se da configuração em que as fibras são aplicadas (Milosevic et al., 2022).

As propriedades mecânicas destes materiais podem variar de acordo com a sua concentração, tamanho, forma, distribuição e orientação das fibras de reforço (Jariwala et al., 2021). Os polímeros termorrígidos reforçados com fibras destacam-se tecnologicamente por apresentar alta resistência e/ou rigidez em relação ao peso (Wang et al., 2011). A combinação possível de menor custo para compósitos poliméricos reforçados com fibras, é produzida a partir de uma matriz poliéster reforçada com fibras de vidro (Akca e Gursel, 2015). As propriedades satisfatórias e baixo custo da resina poliéster, tornam ela o tipo de resina mais manipulada atualmente. Enquanto as fibras de vidro, conquistam cerca de 95% das aplicações como tipo de reforço dos compósitos de matriz polimérica (Thomason, 2019).

A concentração das fibras retrata o volume de fibras em relação ao volume total do compósito, caracterizando o teor de fibras do material. O compósito depende de uma boa proporção para obter boa resistência e rigidez, havendo um limite em que o teor de fibras possa melhorar as características do material (Jariwala e Jain, 2019). O aumento de concentração ou volume de fibras reflete em um ganho de resistência mecânica do material (Aramide et al., 2012). Quando a distribuição é descontínua, o comprimento da fibra é o fator que define de forma direta na resistência final do material, sendo a resistência sempre superior com o maior comprimento das fibras (Joseph et al., 2002).

A distribuição descontínua quando orientada aleatoriamente adquire característica isotrópica. As vantagens do comportamento isotrópico resultam em simplificação do projeto, redução de custo

considerável, quando comparada a distribuição contínua. A utilização de um arranjo unidirecional em aplicações que não exigem resistência em todas as direções torna-se viável, obtendo-se resistência máxima apenas no sentido da força (Jariwala e Jain, 2019). Os tecidos bidirecionais (0/90°) adquirem comportamento anisotrópico com resistências máximas em duas direções. Enquanto as mantas, apesar de possuírem resistência inferior aos tecidos, possuem o comportamento isotrópico mesmo com a orientação de suas fibras aleatórias (Chawla, 2013). Esses materiais são potencialmente utilizados em processos de moldação manual, que é muito utilizado devido a sua facilidade e baixo custo (Elkington et al., 2015).

O estudo em questão adota dois tipos de arranjos para caracterização do material em relação ao elemento de reforço de fibras de vidro. Fabricados a partir do tecido bidirecional, composto por fibras contínuas e alinhadas e, outro por fibras descontínuas curtas e aleatórias, constituído pela manta. Sendo a concentração, distribuição e orientação os fatores adotados para análise comparativa. O estudo tem como objetivo a caracterização destes materiais através dos ensaios mecânicos de tração e flexão. Para que a partir dos resultados experimentais, possa se produzir um modelo computacional capaz de reproduzir de forma aproximada, o comportamento mecânico destes compósitos. O software ANSYS será utilizado para criação do modelo T600, representado pelo Tecido 600/Vidro-E 66 % + Poliéster e, o modelo M450, representando pela Manta 450/Vidro-E 40% + Poliéster.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa adotou as normas ASTM D638 e ASTM D790 para os ensaios de tração e flexão, respectivamente. As dimensões foram adotadas de acordo com as normas, assim como os parâmetros para realização dos testes. A metodologia se dividiu em três etapas fundamentais, a confecção dos corpos de prova, a realização dos ensaios mecânicos e pôr fim à simulação computacional.

Foram utilizadas fibras de vidro-E na configuração de tecido bidirecional de 600 g/m² para confecção dos corpos de prova. Também foram utilizadas fibras de vidro-E no formato de manta de 450 g/m² e comprimento das fibras curtas em torno de 50 mm. A forma e tamanho das fibras foram idênticas para ambos os arranjos adotados, com o diâmetro aproximado das fibras de 50 µm. Ambos os materiais foram produzidos pela empresa OCV Capivari Fibras de Vidro LTDA exibidas na Figura 1 e com a composição expressa na Tabela 1. A matriz polimérica utilizada com base poliéster insaturada ortoftálica AROPOL L 50500 T-00, fabricada pela empresa Ashland, com adição de 1% do volume total de catalisador MERK.

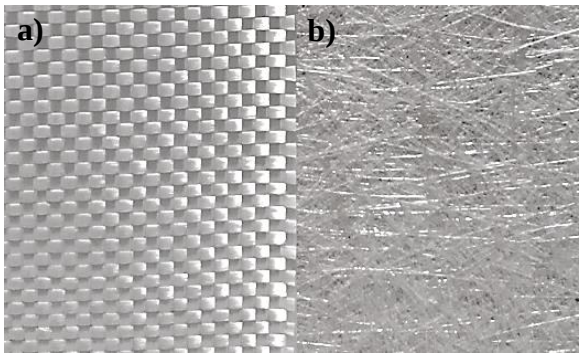


Figura 1. (a) Tecido bidirecional e (b) manta de vidro como fibras de reforço.

Tabela 1. Composição dos tecidos e mantas de fibras de vidro tipo E.

Componentes	Teor (%)
SiO_2	52-62
Na_2O, K_2O	< 2
CaO, MgO	16-30
B_2O_3	0-10
Al_2O_3	11-16
TiO_2	0-3
Fe_2O_3	0-1
F_2	0-2

A máquina universal de ensaio EMIC 300 kN foi utilizada para realização dos ensaios mecânicos de tração e flexão. O equipamento é responsável pela geração de dados que são exportados para o programa Microsoft Excel®, sendo capaz então de gerar a curva de tensão-deformação de cada teste realizado. Outros dois equipamentos auxiliares foram necessários no decorrer do trabalho, sendo uma retífica manual reta com disco policorte de 12 mm e uma balança digital de precisão, utilizados para o corte dos corpos de prova e para medição da massa, respectivamente.

Para confecção dos corpos de prova foi utilizado o processo de moldação manual em uma superfície lisa (Elkington et al., 2015). Para confecção dos corpos de prova destinados ao ensaio de tração, foram fabricados componentes em ambos os arranjos com as dimensões expostas na Figura 2. Para os ensaios de flexão serão utilizadas dimensões distintas, como demonstra a Figura 3. Para ambos os arranjos foram fabricadas placas com espessura aproximada de 3 mm, com as dimensões externas de 167 × 120 mm destinados aos ensaios de tração e 125 × 78 mm para os ensaios de flexão. Foram aplicadas cinco camadas de tecido bidirecional e quatro camadas de manta, visando a espessura final almejada.

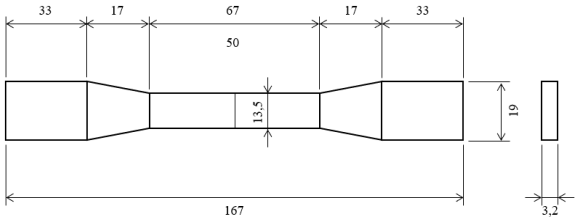


Figura 2. Dimensões em mm dos CP à tração.

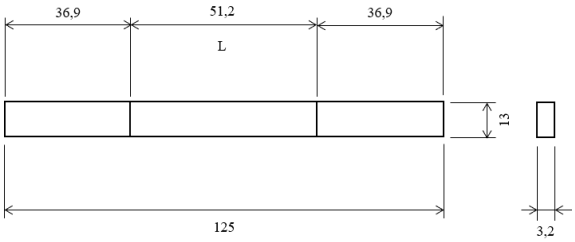


Figura 3. Dimensões em mm dos CP à flexão.

O processo ocorre com a impregnação da resina poliéster nas fibras de reforço sucessivamente, como é exposto na Figura 4. A utilização do rolo de ferro foi necessária para remoção de bolhas de ar em todas as camadas aplicadas do componente, evitando então uma possível perda de propriedades mecânicas (Mehdikhani et al., 2018). Foi aguardado o período de cura de 24 horas após o processamento, em seguida as placas foram demarcadas e retificadas para obter a forma final dos componentes. Por fim os corpos de prova foram acabados com lixa de ferro granulação 40 para remoção de rebarbas e quinas vivas, obtendo então suas dimensões desejadas para a realização dos ensaios.

A confecção totalizou 20 amostras para serem aplicadas nos testes destrutivos, sendo 10 para cada tipo de ensaio nos respectivos arranjos adotados, como expõe a Figura 5. As dimensões foram medidas para o cálculo da área da seção transversal, dado este inserido manualmente no equipamento e que garante a precisão dos resultados. Estas dimensões, junto a massa das amostras, foram necessárias para o cálculo da densidade e teor de fibras como expõe a Tabela 2.

Já os ensaios de flexão foram realizados com velocidade de 1,5 mm/min, adotada de acordo com a espessura do corpo de prova. Assim como a distância entre os pontos de apoio, que foi de 46 mm para T600 e 57 mm para M450. Os ensaios foram realizados em três pontos com uma carga central transversal até a ruptura dos componentes, os resultados obtidos foram representados através dos gráficos de tensão-deformação, deflexão máxima e carga de ruptura. As propriedades obtidas dos arranjos, foram em seguida extraídas e inseridas no modelo proposto, almejando a precisão nos resultados de simulação.

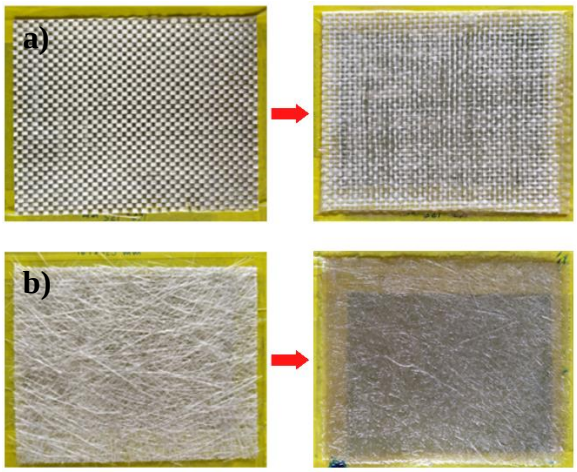


Figura 4. Processo de impregnação da resina poliéster do (a) tecido bidirecional e (b) manta.

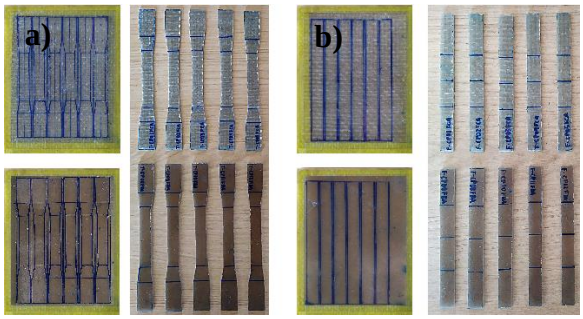


Figura 5. Corte e acabamento dos corpos de prova de (a) tração e (b) flexão.

A simulação por sua vez, é dividida em etapas: a caracterização dos materiais, o desenho da geometria dos componentes, a geração de malha, e por fim,

Tabela 2. Características dos corpos de prova à tração e flexão.

Arranjo	Largura da seção (mm)	Espessura (mm)	Área da seção (mm^2)	Massa (g)	Área Total (cm^2)	Densidade (kg/m^3)	Teor de Fibras (%)
Tração: T600	13,49 ± 0,49	2,84 ± 0,02	37,40 ± 1,60	12,24 ± 0,21	26,81 ± 0,41	1666	65,49 ± 0,41
Tração: M450	13,28 ± 0,22	3,50 ± 0,09	46,51 ± 1,75	12,78 ± 0,26	26,91 ± 0,19	1333	37,72 ± 0,60
Flexão: T600	12,57 ± 0,42	2,85 ± 0,12	35,89 ± 2,73	7,08 ± 0,26	15,71 ± 0,53	1666	66,44 ± 1,14
Flexão: M450	13,15 ± 0,58	3,06 ± 0,07	46,36 ± 2,50	6,56 ± 0,22	15,75 ± 0,74	1333	43,48 ± 0,96

inserção das condições de contorno para reproduzir de forma idêntica, os ensaios mecânicos realizados anteriormente. A criação dos materiais para os arranjos T600 e M450, se inicia com a inserção das respectivas propriedades em relação ao eixo Y para tração e em relação ao eixo X para flexão. As simulações foram divididas e denominadas de Tração T600, Tração M450, Flexão T600 e Flexão M450. O material é selecionado após o desenho geométrico ser criado, com as medidas inseridas na geometria dos componentes, mostradas na Tabela 2.

A geração de malha é feita de forma automática e as cargas aplicadas são adotadas de acordo com a força máxima média obtida dos ensaios. O refinamento da malha foi realizado para analisar a convergência do resultado, adotando a com maior índice de qualidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados estão representados por uma curva de tensão-deformação, gerados em cada teste pelo equipamento de ensaio universal, sendo as configurações T600 e M450 expostos na Figura 6 e Figura 7, respectivamente. Após a realização dos ensaios de tração, todos os resultados obtidos foram organizados e inseridos na Tabela 3.

Os ensaios realizados na configuração Tecido 600/Vidro-E 66% + Poliéster composto por fibras contínuas alinhadas (FCA), resultou a T600 a tensão máxima de ruptura à tração (σ_t) de 309,34 MPa, deformação de 0,1772 mm/mm e alongamento de 6,61 mm no qual representa 9,87% da deformação total no eixo Y. O módulo de elasticidade à tração obtido foi de $E_{T600} = 1{,}74$ GPa.

Enquanto a configuração de Manta 450/Vidro-E 40% + Poliéster composta por fibras descontínuas aleatórias (FDA), retornou dados inferiores como previsto. Os resultados obtidos para M450 retornou uma tensão máxima de ruptura à tração (σ_t) de 103,15 MPa, deformação de 0,0911 mm/mm e alongamento de apenas 4,22 mm, no qual totaliza 6,31% da deformação em relação ao eixo Y. O módulo de elasticidade à tração resultou em $E_{M450} = 1{,}13$ GPa.

A utilização da configuração T600 obtém propriedades superiores em relação a M450 em todos os fatores explorados. A configuração é cerca de três vezes superior quanto a tensão de ruptura e tensão de escoamento, a força máxima necessária é 2,4 vezes maior, a deformação é praticamente o dobro e os fatores de alongamento e módulo de elasticidade são 1,5 vezes mais elevados. Tais propriedades são obtidas apenas com a direção da força 0/90° em relação às fibras, o que torna a configuração M450 interessante para aplicações com necessidade de resistência em todas as direções, para cargas mais leves.

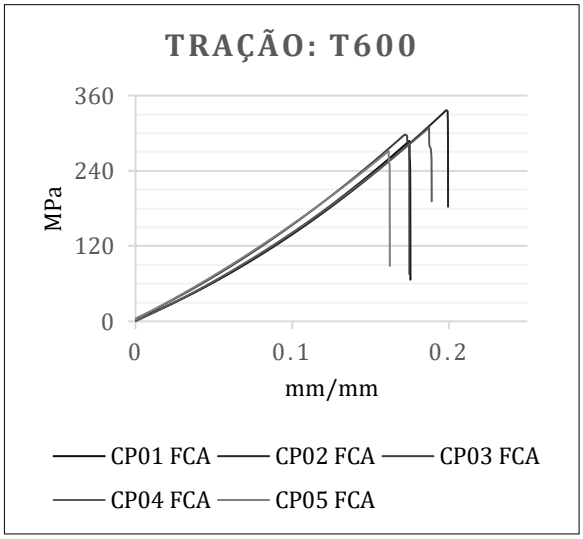


Figura 6. Curva tensão-deformação para T600 no ensaio de tração.

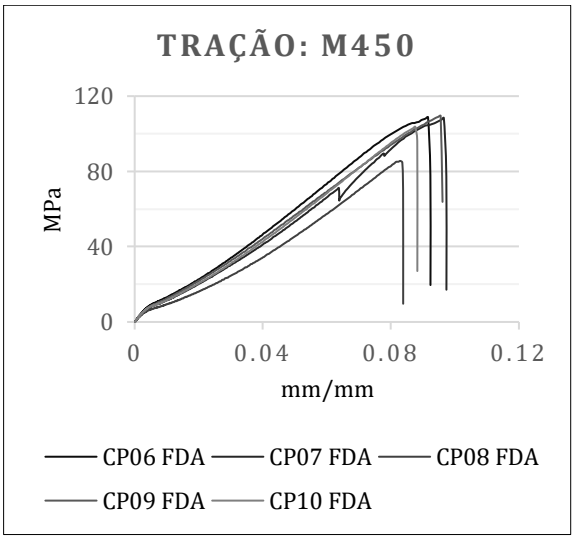


Figura 7. Curva tensão-deformação para M450 no ensaio de tração.

Tabela 3. Resultados gerais dos ensaios de tração

Arranjo	$\sigma_{t\,min}$ (MPa)	$\sigma_{t\,max}$ (MPa)	σ_t (MPa)	Força máxima (kN)	Alongamento (%)	Deformação (mm/mm)	Tensão de escoamento (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)
Tração: T600	281,83	337,78	309,39 ± 19,64	11,54 ± 0,37	9,87 ± 0,45	0,177 ± 0,01	252,08 ± 20,56	1,75 ± 0,04
Tração: M450	85,56	109,46	103,15 ± 9,03	4,79 ± 0,43	6,31 ± 0,38	0,091 ± 0,01	92,17 ± 11,30	1,13 ± 0,06

Em seguida, os dados experimentais necessários foram extraídos para início da simulação computacional em sequência como expõe a Tabela 4. O coeficiente de Poisson adotado foi $\nu = 0{,}316$, sendo o valor da matriz poliéster dúctil. Através do módulo de elasticidade (E) e o coeficiente (ν) adotado, foi possível os cálculo dos módulo de cisalhamento (G) e massa (K). Dados estes necessários para a simulação da tração no eixo Y, assim como a densidade exposta na Tabela 2 e força máxima de ensaio exibida na Tabela 3.

Tabela 4. Dados obtidos para simulação da tração no eixo Y.

Arranjo	ν	*E* (GPa)	*G* (MPa)	*K* (GPa)
T600	0,316	1,75	664,89	1,585
M450		1,13	429,33	1,023

Já nos ensaios de flexão, a tensão máxima de ruptura à flexão (σ_f) obtida na configuração T600 foi de 291,63 MPa, deformação de 0,0284 mm/mm, deflexão máxima de 3,50 mm e a força máxima de ruptura de 432,24 N. Já a configuração M450 obteve a tensão máxima de ruptura à flexão (σ_f) de 174,74 MPa, deformação de 0,0263 mm/mm, deflexão máxima de 4,65 mm e a força máxima de ruptura de 240,27 N. O módulo de elasticidade em relação ao eixo X obtido foi de $E_{T600} = 10{,}393$ GPa e $E_{M450} = 6{,}626$ GPa.

É possível notar uma redução no intervalo de resistência máxima entre as configurações T600 e M450, que cai de 3 para 1,6 vezes quando comparadas aos ensaios de tração anteriormente. A tensão máxima de ruptura à flexão (σ_f) atingiu 291,63 e 174,74 MPa em T600 e M450 respectivamente. Um ganho considerável de 69,40% foi obtido em M450, que variou de 103,15 para 174,74 MPa a mais suas tensões máximas de ruptura de flexão em relação a tração. Diferente de T600 que alcançou um valor similar de 309,39 para 291,63 MPa em flexão. Contudo as demais propriedades de T600 continuaram superiores com exceção da deflexão que alcançou 32,85% em M450 de 3,50 para 4,65 mm.

Por fim, para dar início ao modelo computacional também foram gerados os dados necessários para simulação da flexão no eixo X. Estes dados estão apresentados na Tabela 6, obtidos a partir do módulo de elasticidade (E) e coeficiente de Poisson (ν).

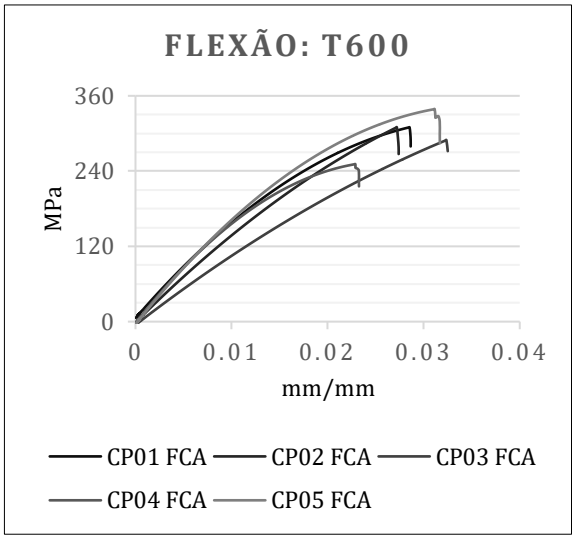


Figura 8. Curva tensão-deformação para T600 no ensaio de flexão.

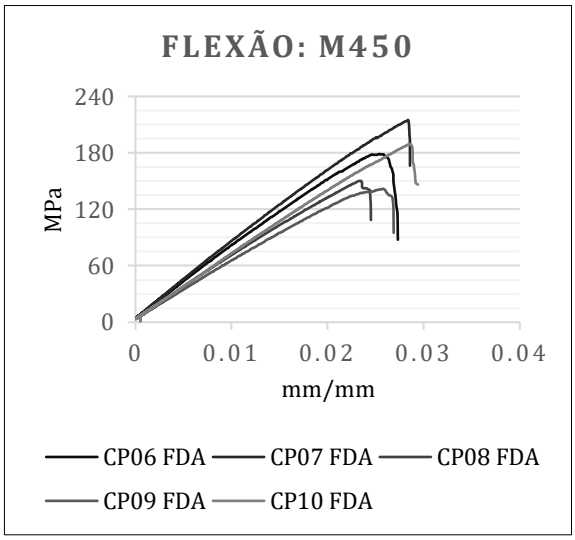


Figura 9. Curva tensão-deformação para M450 no ensaio de flexão.

Tabela 6. Dados obtidos para simulação da flexão no eixo X.

Arranjo	ν	*E* (GPa)	*G* (GPa)	*K* (GPa)
T600	0,316	10,393	3,948	9,413
M450		6,626	2,517	6,001

Tabela 5. Resultados gerais dos ensaios de flexão.

Arranjo	$\sigma_{f\,min}$ (MPa)	$\sigma_{f\,max}$ (MPa)	σ_f (MPa)	Força máxima (N)	Deflexão (mm)	Deformação (mm/mm)	Carga de ruptura (kgf)	Módulo de elasticidade (GPa)
Flexão: T600	257,90	335,39	291,63 ± 26,54	432,24 ± 49,63	3,50 ± 0,39	0,0284 ± 0,004	44,08 ± 5,06	10,39 ± 1,08
Flexão: M450	141,79	214,90	174,74 ± 26,46	240,27 ± 32,84	4,65 ± 0,35	0,0263 ± 0,001	24,51 ± 3,33	6,63 ± 0,70

O modelo computacional visa reproduzir de forma autêntica e aproximada os resultados obtidos anteriormente, para isso a execução atribuiu as propriedades geradas experimentalmente. Dois modelos foram criados: Tecido 600/Vidro-E 66% + Poliéster e Manta 450/Vidro-E 40% + Poliéster, inserindo as propriedades quanto ao eixo X e Y. Os modelos de cada arranjo foram reproduzidos em duas geometrias, representando o ensaio de tração e flexão. As simulações foram divididas e denominadas de Tração T600, Tração M450, Flexão T600 e Flexão M450.

Iniciando a simulação em Tração T600 com malha constituída de 462 elementos, 2618 nós e a aplicação da força máxima de ensaio de 11.542,64 N, gerando resultados na região de ruptura, os seguintes dados: deformação de 0,1735 mm/mm, tensão máxima de 305,36 MPa e o alongamento de 6,54 mm (ponto Y de 78,80 mm), como expõe a Figura 10. Em sequência a simulação de Tração M450 constituída por uma malha

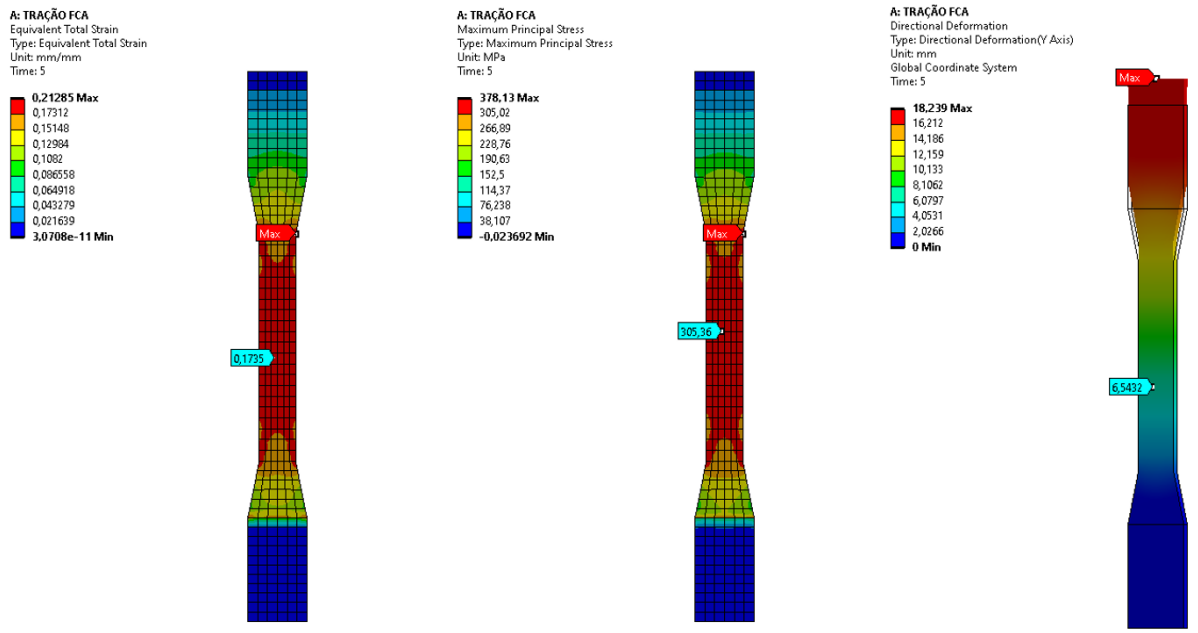


Figura 10. Modelo Tecido 600/Vidro-E 66% + Poliéster em simulação à tração gerando deformação (mm/mm), tensão (MPa) e alongamento (mm).

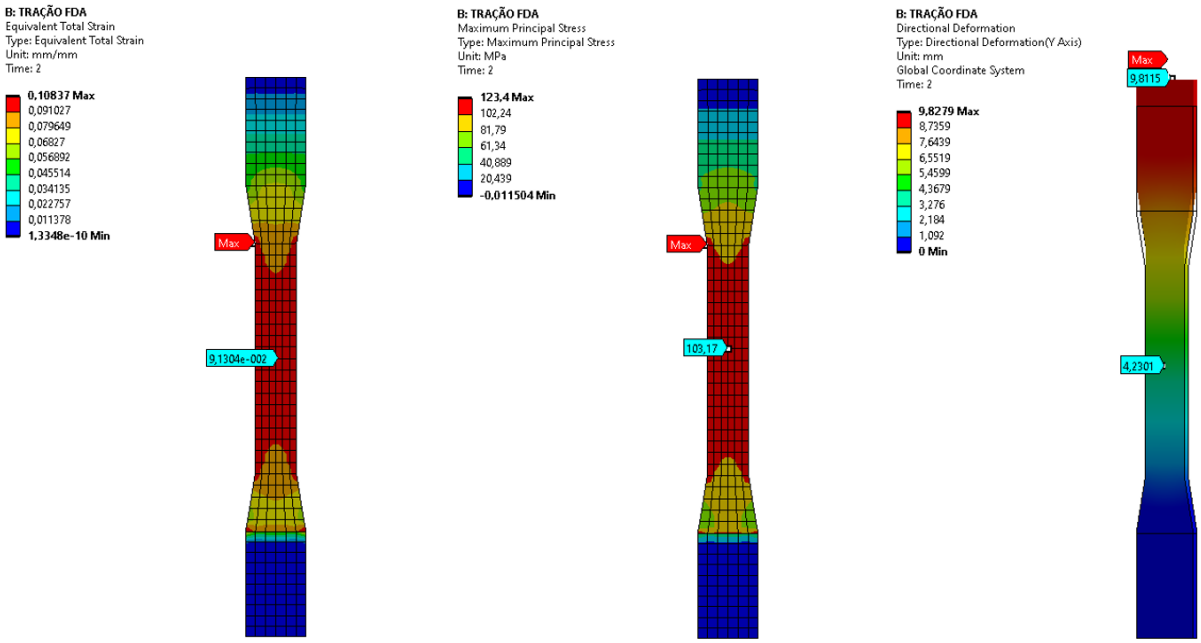


Figura 11. Modelo Manta 450/Vidro-E 40% + Poliéster em simulação à tração gerando deformação (mm/mm), tensão (MPa) e alongamento (mm).

de 420 elementos e 2383 nós, com força máxima de ensaio 4.795,52 N, gerou os seguintes resultados na região de ruptura: deformação de 0,0913 mm/mm, tensão máxima de 103,17 MPa e alongamento de 4,23 mm (ponto Y de 85,43 mm), conforme a Figura 11. Em ambos os modelos, ocorrem concentração de tensões em determinados pontos fora da região de ruptura.

É importante verificar que o fator alongamento ocorreu em determinado ponto de Y com os valores mais próximos obtidos dos ensaios de tração, indicando a região de sua ruptura. Na simulação T600 o ponto Y encontrou-se antes do centro do componente enquanto o M450 encontrou-se após, como ocorre na forma experimental onde não houve a ruptura no centro do corpo de prova.

A Tabela 7 compara os resultados experimentais e numéricos, obtendo-se o erro relativo das simulações, os dados comparados foram a deformação, tensão e alongamento variando entre 1,07 e máximo de 2,13%, já o modelo M450 alcançou uma variação inferior que atuou no intervalo de 0,02 a 0,24%.

Em seguida os componentes na geometria alterada, a simulação de Flexão T600 com malha constituída de 172 elementos e 1409 nós, retornou o resultado para aplicação da força máxima de ensaio de 432,24 N os seguintes dados: deformação de 0,0278 mm/mm, tensão máxima de 289,67 MPa na face inferior e deflexão máxima central de 3,34 mm como exposto na Figura 12. E por fim é realizada a simulação Flexão M450, onde a malha é composta de 164 elementos e 1343 nós, com força máxima de ensaio foi de 240,27 N, este modelo gerou os seguintes dados: deformação de 0,0266 mm/mm, tensão máxima de 177,39 MPa na face inferior do componente e a deflexão máxima central de 4,78 mm como demonstra a Figura 13.

O comparativo entre os resultados experimentais e simulados em relação a flexão é exibido na Tabela 8. O modelo T600 variou entre 0,68 e 1,80%, já o modelo M450 por sua vez obteve o maior erro quanto a deflexão, notada em 2,72% e erros de 1,13 e 1,39% para deformação e tensão, respectivamente.

Os modelos executados com suas características adotadas demonstraram-se eficientes para reproduzir o comportamento destes materiais compósitos reforçados com fibras na combinação vidro/poliéster. A ferramenta é capaz de auxiliar em aplicações como ferramenta de análise que almeja a redução do custo e tempo, refletindo na melhoria de projetos com uso destes materiais.

O modelo T600 reproduz o comportamento apenas quando dimensionado com as forças nas direções 0 e 90°, em relação a orientação das fibras. Isso ocorre devido ao seu comportamento anisotrópico, diferente do desempenho atribuído a M450. O uso do modelo M450 acarreta vantagens além da facilidade de processamento e do baixo custo da manta de vidro,

Tabela 7. Comparativo entre resultados experimentais e simulados em relação à tração no eixo Y.

Arranjo	Deformação (mm)			Tensão (MPa)			Alongamento (mm)		
	Exp.	Sim.	**Erro**	Exp.	Sim.	**Erro**	Exp.	Sim.	**Erro**
T600	0,1772	0,1735	**2,13%**	309,39	305,36	**1,32%**	6,61	6,54	**1,07%**
M450	0,0911	0,0913	**-0,22%**	103,15	103,17	**-0,02%**	4,22	4,23	**-0,24%**

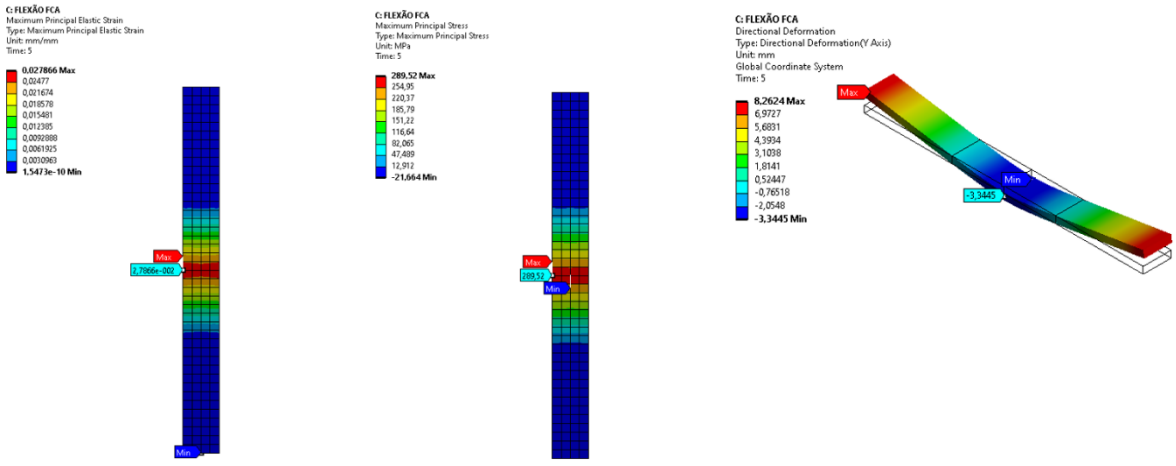


Figura 12. Modelo Tecido 600/Vidro-E 66% + Poliéster em simulação à flexão gerando deformação (mm/mm), tensão (MPa) e deflexão (mm).

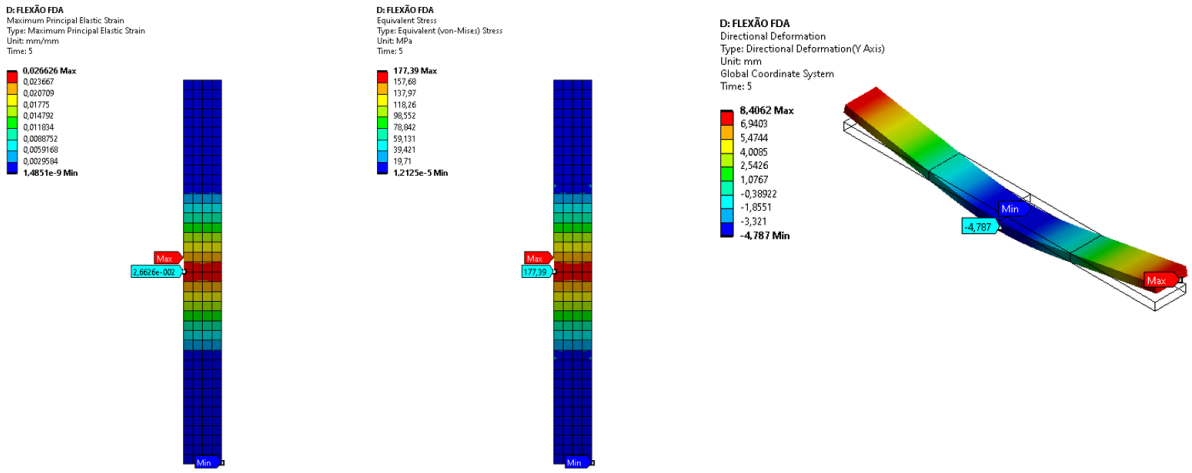


Figura 13. Modelo Manta 450/Vidro-E 40% + Poliéster em simulação à flexão gerando deformação (mm/mm), tensão (MPa) e deflexão (mm).

Tabela 8. Comparativo entre resultados experimentais e simulados em relação à flexão no eixo X.

Arranjo	Deformação (mm)			Tensão (MPa)			Deflexão (mm)		
	Exp.	Sim.	**Erro**	Exp.	Sim.	**Erro**	Exp.	Sim.	**Erro**
T600	0,0284	0,0279	**1,79%**	291,63	289,67	**0,68%**	3,40	3,34	**1,80%**
M450	0,0263	0,0266	**-1,13%**	174,74	177,21	**-1,39%**	4,65	4,78	**-2,72%**

suas propriedades uniformes em quaisquer direções facilitam ainda mais no dimensionamento de componentes. Apesar de a configuração M450 possuir resistências e propriedades inferiores ao modelo T600 ainda possui uma ótima relação custo/benefício com propriedades satisfatórias para determinadas aplicações de cargas leves.

CONCLUSÃO

Nesta pesquisa foi possível gerar o modelo computacional válido que atende com precisão os materiais compósitos de matriz poliéster e reforçados com fibras de vidro-E, a partir do tecido bidirecional 600 g/m² e manta 450 g/m² nas concentrações usuais de 66 e 40%, respectivamente. Portanto, mostra-se uma ferramenta facilitadora para análise estrutural com os modelos nas configurações de Tecido 600/Vidro-E 66% + Poliéster e Manta 450/Vidro-E 40% + Poliéster, quando submetidos a cargas de tração e flexão. As informações adquiridas dos ensaios mecânicos foram fundamentais para o êxito dos resultados computacionais, a simulação gerou dados satisfatórios que atendeu as expectativas do estudo. A variação dos dados simulados em relação aos experimentais tornou viável a aplicação dos modelos, que variou entre 0,02 e 2,72%.

Já em relação aos arranjos, foi notória a diferença entre o tecido bidirecional e a manta que superou em 3 vezes a tração e 1,6 vezes em flexão. A concentração de fibras foi o fator determinante para a diferença entre as tensões máximas de ruptura, que foram de 103,15 para 309,39 MPa em tração e de 174,74 para 291,63 MPa em flexão. Esta redução entre os intervalos de tração e flexão foi consequência a orientação (alinhada e aleatória) das fibras, já que a força aplicada alterou de longitudinal para perpendicular, sendo o comprimento da fibra ou distribuição (contínua e descontínua curta) junto a concentração, os fatores que influenciaram a superioridade do arranjo T600.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal do Maranhão e à Universidade Estadual do Maranhão pelo suporte institucional e pela infraestrutura fornecida para a realização deste estudo. Agradecemos também às instituições de fomento (CAPES-88887.959941/2024-00) e (FAPEMA-BM07168/22) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

AKCA, E.; GURSEL, A. A Review on the Matrix Toughness of Thermoplastic Materials. Periodicals of Engineering and Natural Sciences, 3(2), 2015.

ARAMIDE, F. O.; ATANDA, P. O.; OLORUNNIWO, O. E. Mechanical Properties of a Polyester Fibre Glass Composite. International Journal of Composite Materials, 2(6), 2012.

CHAWLA, K. K. Composite Materials: Science and Engineering. Springer, 3. ed., New York, 2013.

ELHENAWY, Y.; FOUAD Y.; MAROUANI, H.; BASSYOUNI, M. Simulation of glass fiber reinforced polypropylene nanocomposites for small wind turbine blades. Processes, 9(4), 2021.

ELKINGTON, M.; BLOOM, D.; WARD, C.; CHATZIMICHALI A.; POTTER, K. Hand layup: Understanding the manual process. Adv. Manuf. Polym. Compos. Sci. 1, 138–151, 2015.

JARIWALA, H.; JAIN, P. A review on mechanical behavior of natural fiber reinforced polymer composites and its applications. In Journal of Reinforced Plastics and Composites, 38, 10, 441–453, 2019.

JARIWALA, H.; JAIN, P.; MAISURIYA, V. Experimental and statistical analysis of strength of glass fiber reinforced polymer composite for different fiber architecture. Polymer Composites, 42(3), 1407–1419, 2021.

JOSEPH, S.; SREEKALA, M. S.; OOMMEN, Z. A comparison of the mechanical properties of phenol formaldehyde composites reinforced with banana fibres and glassfibres. Compos Sci Technol, 62, 1857–1868, 2002.

MEHDIKHANI, M.; GORBATIKH, L.; VERPOEST, I.; LOMOV, S. V. Voids in fiber-reinforced polymer composites: A review on their formation, characteristics, and effects on mechanical performance. J. Compos. Mater., 53, 1579–1669, 2018.

MERLINE, C. Ciência e Tecnologia de Compósitos Poliméricos. Artliber, 1. ed., São Paulo, 2021.

MILOSEVIC, M.; DZUNIC, D.; VALASEK, P.; MITROVIC, S. RUGGIERO, A. Effect of Fiber Orientation on the Tribological Performance of Abaca-Reinforced Epoxy Composite under Dry Contact Conditions. Journal of Composites Science, 6(7), 204, 2022.

PEREIRA, F. N.; DOS SANTOS, J. M. C. Phononic crystal investigation using a fluid-structure circular cylindrical shell spectral element. In Mechanical Systems and Signal Processing, 148, 2021.

RAJAK, D. K.; PAGAR, D. D.; MENEZES, P. L.; LINUL E. Fiber-reinforced polymer composites: Manufacturing, properties, and applications. Polymers, 11(10), 2019.

SAPUAN, S. M.; AULIA, H. S.; ILYAS, R. A.; ATIQAH, A.; DELE-AFOLABI, T. T.; NURAZZI, M. N.; SUPIAN, A. B. M.; ATIKAH, M. S. N. Mechanical properties of longitudinal basalt/woven-glass-fiber-reinforced unsaturated polyester-resin hybrid composites. Polymers, 12(10), 1–14, 2020.

THOMASON, J. L. Glass fibre sizing: A review. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 127, 2019.

WANG, R.; ZHENG, S.; ZHENG, Y. Polymer matrix composites and technology, Woodhead Pub, 2011.

ZAGHLOUL, M. Y.; ZAGHLOUL, M. M. Y.; ZAGHLOUL, M. M. Y. Influence of Stress Level and Fibre Volume Fraction on Fatigue Performance of Glass Fibre-Reinforced Polyester Composites. Polymers, 14(13), 2662, 2022.