

Compósitos particulados produzidos com serragem e resina epóxi e reforçados com fibras de sisal

Ricardo Brandão Panuzzio, Universidade Federal de São João del-Rei, Departamento de Engenharia Mecânica, São João del Rei, MG. e-mail: ricardobpanuzzio@gmail.com

Luciano Donizeti Varanda, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia de Materiais, São Carlos, SP. e-mail: lu.varanda@hotmail.com

Diego Henrique de Almeida, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia de Estruturas, São Carlos, SP. e-mail: diegoestruturas@gmail.com

Vânia Regina Velloso Silva, Universidade Federal de São João del-Rei, Departamento de Engenharia Mecânica, São João del Rei, MG. e-mail: velloso@ufsj.edu.br

Julio Cesar Molina, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Itapeva, Faculdade de Engenharia, Itapeva, SP. e-mail: molina@itapeva.unesp.br

Francisco Antonio Rocco Lahr, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia de Estruturas, São Carlos, SP. e-mail: frocco@sc.usp.br

André Luis Christoforo, Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Engenharia Civil, São Carlos, SP. e-mail: alchristoforo@yahoo.com.br

Resumo: Compósitos são capazes de apresentar as mais diversas propriedades mecânicas, podendo ser ajustáveis de acordo com o que é exigido para uma finalidade. A possibilidade de compósitos reforçados com recursos naturais e renováveis serem capazes de substituir os sintéticos vem incentivando inúmeras pesquisas. Este trabalho tem como objetivo estudar as propriedades físicas e mecânicas de compósitos particulados em matriz polimérica reforçados com serragem de madeira e laminado de fibra natural de sisal. Os compósitos apresentam variação de 50% e 55% de resina, 4mm e 2mm de espessura, além de contar com a presença ou não do laminado de sisal. A fabricação dos compósitos foi feita com a ajuda de uma prensa hidráulica. As variáveis repostas estudadas são módulo de resistência a flexão, módulo de elasticidade, densidade relativa e absorção de água. Ensaio de flexão e de porosidade determinaram os valores para as variáveis com as orientações de normas técnicas. Os melhores resultados calculados com a ajuda de um software, chamados de significativos, foram para os compósitos com a presença da fibra natural de sisal e com presenças de 55% de resina.

Palavras-chave: compósitos particulados, fibras naturais, propriedades físicas e mecânicas.

Particulate composites produced with sawdust and epoxy resin and reinforced with sisal fibers

Abstract: Composite is a branch of engineering materials very useful. The possibility of high mechanical strength combined with low density is one of the properties sought in this material. The possibility of resources and renewed natural being able to replace the synthetic has stimulated numerous studies. This work has function to study the physical and mechanical properties of composite particles in the polymer matrix reinforced with wood sawdust and laminated natural of fiber sisal. The composites show variation of 50% and 55% resin, 4mm and 2mm thick, and rely on the presence or not of the laminate sisal. The manufacture of the composites was done with the help of a hydraulic press. The variables studied are reset modulus flexural strength, modulus of elasticity, relative density and water absorption. Flexural bending tests and determined porosity values for the variables with the guidance of technical standards. The best results, called significant for composites were the presence of fiber natural sisal and presence of 55% resin.

Keywords: particles composites, natural fibers, physical and mechanical properties.

1. Introdução

A busca por materiais renováveis e que substituem os atuais a altura, vem crescendo cada vez mais. Pesquisadores buscam compósitos reforçados com materiais ecológicos capazes de apresentar ótimas propriedades mecânicas. Utilizar serragem como fase dispersa em uma matriz, pode ser uma alternativa de baixo custo para a substituição dos compósitos convencionais. Segundo Hillig *et al.* (2008)⁽¹⁾, compósitos feitos com resíduos de madeira e serragem em uma matriz de polietileno possuem propriedades mecânicas adequadas para aplicações industriais.

Marcovich *et al.* (2009)⁽²⁾ destacam a importância dos compósitos na engenharia, com ênfase na combinação de matrizes termoplásticas com fibras naturais. Foram investigados os diferentes tratamentos térmicos das fibras de sisal e suas influências nos compósitos. O tratamento de mercerização apresentou melhores resultados, com uma maior adesão e aumento significativo no módulo de elasticidade e sem perda da resistência a tração de ruptura. Os autores ainda destacam a boa relação custo/benefício, mas alertam que os compósitos são termicamente estáveis até cerca de 300 °C.

Hisham *et al.* (2011)⁽³⁾ analisaram as propriedades mecânicas de compósitos fabricados a partir de lascas e serragem de madeira em matrizes de resina. Testes como MOE e MOR foram feitos e determinados com testes à flexão. É afirmado que o composto pode ser usado em utilitários para móveis, devido a boa qualidade mecânica.

Hillig *et al.* (2008)⁽⁴⁾ confeccionaram compósitos a partir de polietileno de alta densidade virgem e diferentes tipos de serragem. Os resíduos de madeira foram da espécie de pinus (*Pinus taeda*), de painéis aglomerados, de chapa de fibra de média densidade e eucalipto (*Eucalyptus grandis*). Foram analisadas as propriedades mecânicas dos compósitos, como resistência a tração, flexão estática e resistência ao impacto. A diferença de resistência mecânica foi observada conforme os diferentes tipos de serragem, destacando-se a serragem de aglomerado e de eucalipto que tiveram maior resistência à flexão e ao impacto que aqueles fabricados com MDF e pinus.

Rimdisit *et al.* (2007)⁽⁵⁾ avaliaram compósitos obtidos a partir de matrizes a base de resina benzoxazina e resina de novolac fenólico e como fase dispersa farinha de madeira. Os resultados relevam que a resina de novolac fenólica pode diminuir a temperatura de cura, fato que minimiza a degradação do material. Além disso, a presença da resina não deve exceder 20% do peso do compósito, garantindo uma melhor adesão entre a matriz e a fase dispersa.

Mosiewicki, Borrajo e Aranguren (2005)⁽⁶⁾ destacam a busca por novos compósitos a partir de recursos renováveis, combinando o baixo custo e as boas propriedades mecânicas. Ele estudou as propriedades mecânicas de um composto formando pela matriz poliéster resina sintetizada a partir de óleo de linhaça e ainda mais reticulado com estireno em uma reação de peróxido e pela parte dispersa composta por farinha de madeira. Por meio de ensaios mecânicos e micrografia de varrimento de fraturas de superfície foi constatada uma forte interação interfacial entre a matriz e a fase dispersa. Os resultados dos ensaios mecânicos foram melhores para o compósito do que só para a matriz.

Xu *et al.* (2008)⁽⁷⁾ salientam como alternativa para o aumento da resistência em compósitos de polímeros a incorporação de um reforço. Reforços naturais são capazes de substituir os de fibras sintéticas e ainda tem o benefício de serem renováveis, destaque para as fibras de sisal, coco, bananeira, juta, linho e piaçava. As aplicações são inúmeras, destaque para as indústrias automobilísticas e a construção civil.

Silva *et al.* (2011)⁽⁸⁾ destacam o uso das fibras vegetais em compósitos, citando inúmeras vantagens. O autor estuda as propriedades de compósitos de uma matriz epóxi reforçado com fibras unidirecionais de bananeira. O estudo fatorial foi em relação a adição de silício, anidro maleico na matriz e o efeito da adição volumétrica para a fibra. Destaca para os fatores com adição de fração volumétrica e adição de sílica, apresentando fatores significativos.

Este trabalho tem como objetivo estudar as propriedades mecânicas e físicas de compósitos fabricados a partir de uma matriz de resina epóxi e fase dispersa composta de serragem da espécie Ipê (*Tabebuia impetiginosa*). Os compósitos são reforçados com fibras unidirecionais de sisal, investigando o efeito da fibra nas variáveis repostas. Os outros efeitos a serem estudados são a quantidade de resina epóxi e a espessura nos compósitos.

2. Materiais e métodos

Nesse experimento as variáveis investigadas foram: média da resistência à flexão, módulo de elasticidade, absorção de água e densidade relativa aparente.

Os fatores a serem alterados no experimento foram escolhidos devido a sua possibilidade e sua relevância. A tab. 1 exibe os fatores e níveis experimentais a serem estudados. O planejamento fatorial é do tipo 2³, fornecendo oito combinações. Mudar a quantidade de resina epóxi no compósito, além de diminuir o custo da fase matriz, pode também diminuir a densidade final do material. Outro fator a ser estudado é a espessura do material, podendo ser significativo nas propriedades mecânicas. Além disso, testes com e sem adição da fibra também foram feitos a fim de descobrir a diferença quando o reforço é adicionado. Para efetuar a análise estatística foi utilizado o software MiniTab versão 14, sendo utilizada a análise de variância (ANOVA) como ferramenta estatística.

Tabela 1 - Condições experimentais investigadas.

Condições experimentais	Espessura (mm)	Fração de resina (%)	Laminado
C1	2	50	Sem
C2	2	50	Com
C3	2	55	Sem
C4	2	55	Com
C5	4	50	Sem
C6	4	50	Com
C7	4	55	Sem
C8	4	55	Sem

Os compósitos particulados são constituídos de uma matriz epóxi e de fase dispersa de particulado de serragem da espécie Ipê. Após a cura do compósito, a fibra natural de sisal foi adicionada ao material. Os compósitos foram feitos no Laboratório de Materiais do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de São João del Rei (UFSJ). A fase dispersa, de partículas de serragem, foi conseguida na empresa Serraria Agostini (São João Del-Rei – MG). A serragem foi conseguida sem faixa granulométrica específica, sendo preciso peneirar. A faixa escolhida foi de 50-80 US-Tyler. As partículas de serragem tiveram sua umidade controlada para 12%, de acordo com a norma ABNT NBR 7190:1997⁽⁹⁾. Para determinar a densidade da serragem foi necessário fazer um ensaio de picnometria realizado no Laboratório de Catálise – LabCat, no Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de São Carlos. O resultado do ensaio foi uma densidade de 1,068g/cm³. A fase matriz utilizada foi uma resina do tipo epóxi e endurecedor conseguidos na empresa Resiqually®, localizada em São Paulo - SP. Segundo informações do fabricante, a densidade da resina é de 1,13 g/cm³. A fig. 1 apresenta os materiais utilizados na fabricação dos compósitos.

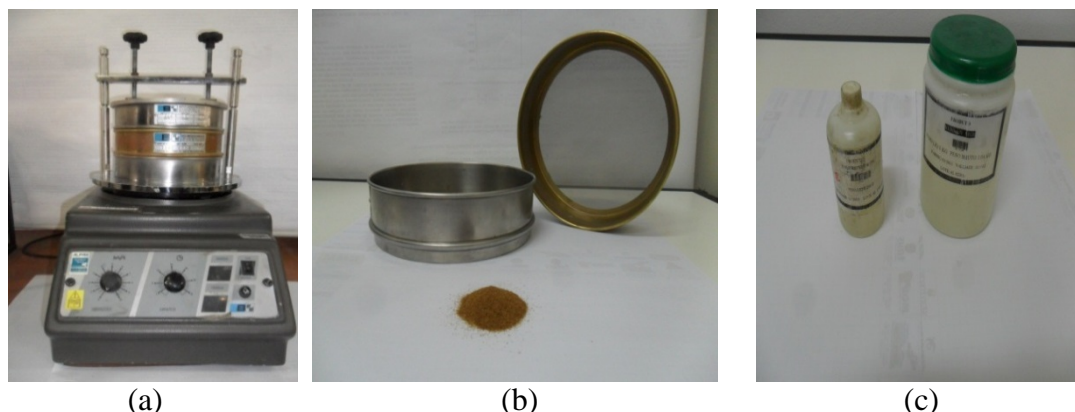


Figura 1 - Materiais usados na fabricação dos compósitos: (a) mesa vibratória, (b) peneiras utilizadas e (c) resina epóxi e endurecedor.

Um pré-estudo foi feito com o intuito de determinar a porcentagem de resina que seria colocado no compósito de modo a ficar rígido. Foi constatado que o compósito deve ter fração de resina entre 45% e 55%. A fabricação dos compósitos foi feita através do processo de prensa. A fase matriz foi misturada manualmente com a serragem (fig. 2a). Sabendo a dimensão da forma e da densidade da fase matriz e dispersa foi possível calcular a porcentagem de massa dos materiais. As medidas da forma são 20x15 cm, podendo variar a espessura de acordo com os níveis de espessura de 2 e 4mm. O molde utilizado foi feito de madeira, envolto todo com tecido de armalon, colocado para a resina não grudar na madeira. A fig. 2b mostra a forma utilizada.



Figura 2 - Fabricação dos compósitos.

Para determinar a massa de resina e de serragem a serem utilizadas, foi necessário determinar o volume dos dois componentes (cm^3), utilizando a eq. 1 para cada um dos componentes:

$$v = f \times V \quad (1)$$

onde:

v = volume do componente;

f = fração volumétrica em porcentagem do componente;

V = volume total do painel.

Após determinar o volume (v) de cada componente, utilizou-se a eq. 2 para determinar a massa dos mesmos.

$$m = d \times v \quad (2)$$

onde:

m = massa em gramas;

d = densidade do componente.

Da massa total de resina que foi calculada, utilizou-se 80% de resina e 20% de endurecedor, como especificado pelo fabricante.

Conhecendo as densidades foi possível determinar a massa dos materiais através de uma balança (fig. 3a). Depois de misturados os materiais, os compósitos ficaram na prensa por 2 horas, sobre uma pressão de 12Mpa (fig. 3b). Após as 2 horas, a forma foi retirada e só após 24 horas o compósito foi retirado da forma.



Figura 3 - (a) Balança e (b) prensa utilizadas.

O laminado de sisal foi feito com auxílio de uma placa de vidro. Primeiramente os fios de sisal foram tratados em uma solução de 10 e 15 wt% de NaOH, para limpeza e posteriormente para uma maior adesão ao compósito (fig. 4a). Sobre um vidro as fibras foram alinhadas e grudadas, transformando o material em um laminado (fig. 4b).

Como o objetivo do trabalho é avaliar a diferença de propriedades com e sem a presença da fibra de sisal, apenas na metade dos painéis o laminado foi adicionado. O laminado foi colocado no compósito com a aplicação de resina na parte superior de forma a aderir ao compósito.

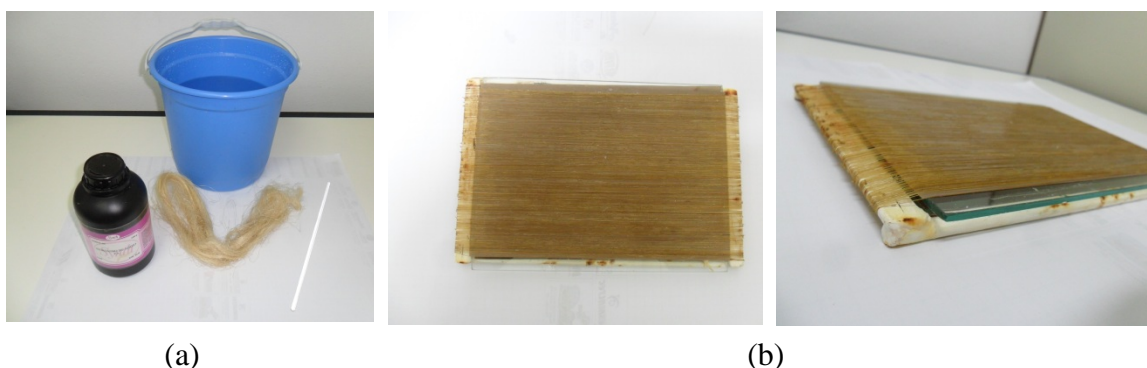


Figura 4 - Confeção do laminado de sisal

Para confeccionar os corpos de prova foi necessário o uso de uma serra elétrica. As medidas dos corpos de prova seguem o recomendado na norma ASTM D 790:2010⁽¹⁰⁾. Os corpos de prova ficaram com dimensões de 76,8 x 12,7 mm, para os corpos de prova de 4 mm de espessura, e 44,8 x 12,7 mm, para os corpos de prova de 2 mm. Depois de serrar, foi preciso lixar os compósitos para obter as medidas corretas. A fig. 5 mostra os corpos de prova de 4mm (a) e de 2mm (b) já confeccionados.

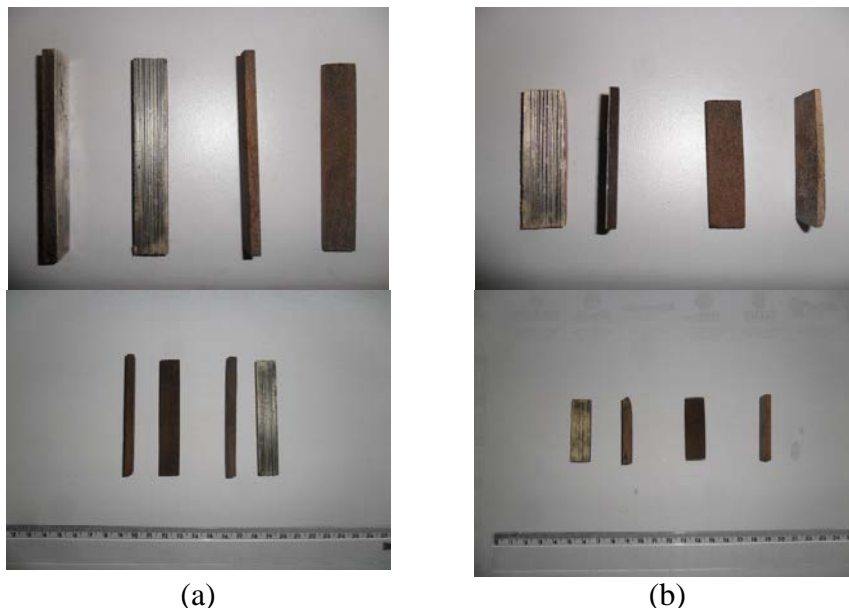


Figura 5 - Corpos de prova: (a) de 2mm de espessura e (b) de 4mm de espessura.

Após os corpos de prova ficar prontos os ensaios de flexão foram feitos no laboratório de ensaios mecânicos da Universidade Federal de São João del Rei (UFSJ), de acordo com a norma ASTM D 790:2010⁽¹⁰⁾. Com esse ensaio foi possível determinar os módulos de resistência e de elasticidade na flexão. A fig. 6 mostra os ensaios de flexão.



Figura 6 - Ensaios de flexão.

Para determinar a densidade relativa e absorção de água foram utilizados cinco corpos de prova de cada condição, de acordo com a norma BS EN ISO 10545-3:1997⁽¹¹⁾. A fig. 7 mostra o ensaio de porosidade.



Figura 7 - Ensaio de porosidade.

As variáveis respostas investigadas foram calculadas de acordo com o estabelecido pelas normas mencionadas anteriormente.

Após os testes mecânicos, foram tiradas fotos de microscopia eletrônica de varredura (MEV). As fotos foram tiradas para mostrar as fraturas e os rompimentos das fibras (fig. 8).

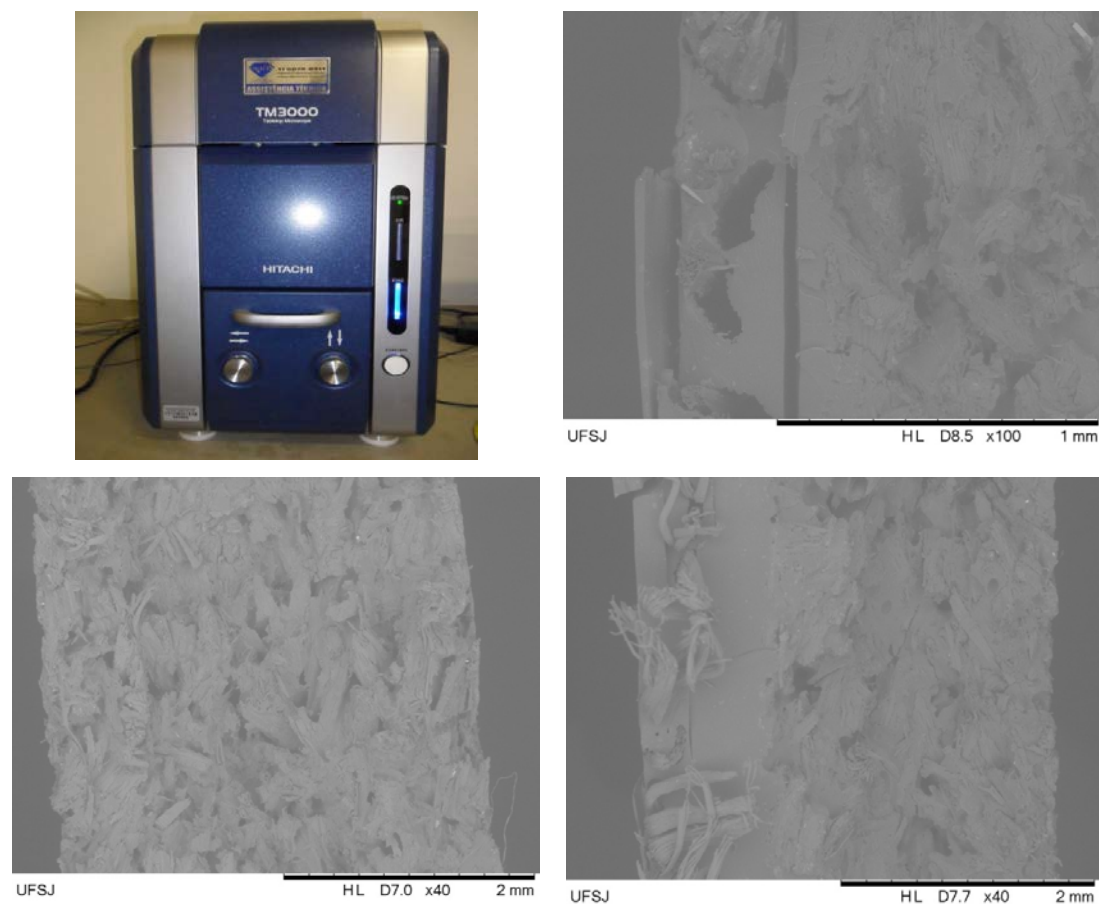


Figura 8 - Equipamento e micrografias de MEV.

3. Resultados e discussões

Os valores médios das variáveis repostas estão apresentados na tab. 2.

Tabela 2 - Valores médios das variáveis respostas para cada condição experimental.

CE	MOR- (MPa)	MOE- (MPa)	Absorção de água- (%)	Densidade relativa aparente- (g/cm ³)
C1	19	865,87	20,99	1,200
C2	33,84	693,23	9,32	1,208
C3	17,73	827,59	16,65	1,200
C4	83,16	1948,24	9,21	1,146
C5	15,56	642,77	17,56	1,220
C6	52,53	1878,26	8,09	1,203
C7	22,41	1087,38	11,15	1,206
C8	66,66	2383,73	7,36	1,159

A tab. 3 apresenta os resultados da ANOVA para as médias das variáveis respostas: MOR, MOE, absorção de água e densidade relativa aparente. Encontram-se sublinhados os P-valores menores ou iguais a 0,05 (5%), significativos a um nível de confiabilidade de 95%

segundo Montgomery (2005)⁽¹²⁾. Gráficos são usados para comparar as variações do nível da média tanto nos fatores sozinhos como nas interações.

Tabela 3 - Análise de variância.

Fatores	MOR	MOE	Absorção de água	Densidade relativa aparente
Espessura (2 e 4 mm)	0,553	<u>0,000</u>	<u>0,003</u>	0,291
Fração de resina (50 e 55 %)	<u>0,000</u>	<u>0,000</u>	<u>0,004</u>	<u>0,001</u>
Laminado (com e sem)	<u>0,000</u>	<u>0,000</u>	<u>0,000</u>	<u>0,003</u>
Interação: Espessura x Fração de resina	<u>0,000</u>	0,205	0,448	0,877
Interação: Espessura x Laminado	0,868	<u>0,000</u>	0,112	0,568
Interação: Fração de resina x Laminado	<u>0,000</u>	<u>0,000</u>	<u>0,012</u>	<u>0,008</u>
Interação: (Espessura x Fração de resina x Laminado)	<u>0,000</u>	<u>0,000</u>	0,681	0,303

O módulo de resistência à flexão teve fatores significantes em dois dos valores individuais e nas interações espessura x fração de resina e fração resina x laminado, além de na interação das três variáveis. Os valores dos P-valores foram menores que 0,05 (tab. 3), assim são significativos.

A fig. 9 mostra que o MOR sofreu variação de acréscimo de 57,1% da porcentagem de fração de resina de 50 para 55%. Enquanto a presença do laminado teve um aumento de 216,1% em relação aos painéis fabricados sem o laminado. A interação entre a espessura x fração de resina, a maior diferença do MOR ocorreu para a fração de resina de 50%, sendo os painéis com 4mm 28,9% superiores em relação aos painéis de 2mm (fig. 10).

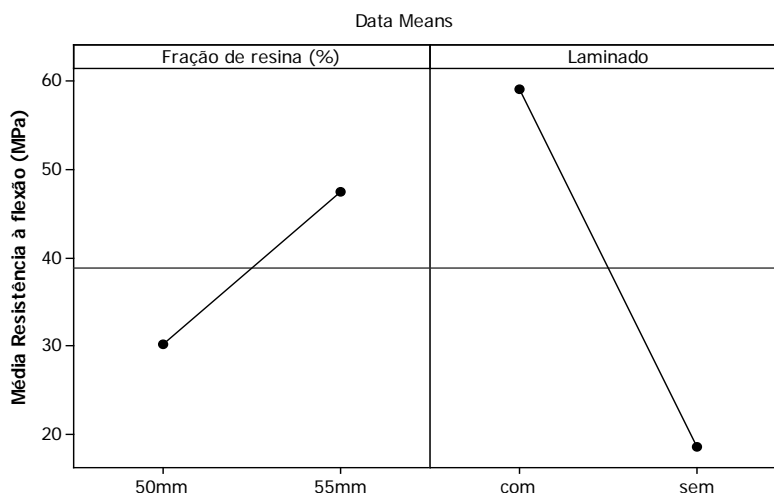


Figura 9 - Gráficos de efeitos principais para a variável resposta resistência a flexão.

A outra interação com fator significativo foi a de fração de resina x laminado. Nota-se que a maior diferença do MOR ocorre com os painéis com o laminado. Com o uso do laminado, os painéis com fração de resina de 55% sofreu um aumento de 73,5% em relação aos painéis com fração de 50% de resina (fig. 10).

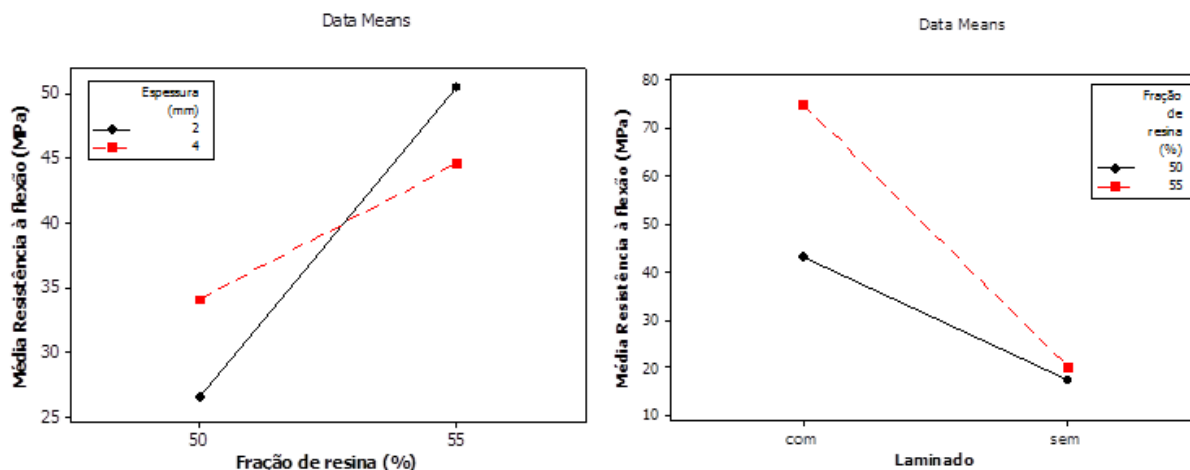


Figura 10 - Gráficos de efeitos de interação para a variável resposta resistência a flexão.

Outra variável a ser estudada foi o módulo de elasticidade, onde tanto os valores individuais como as interações apresentaram valores significativos, apresentando valores menores que 0,05 para P-valores (tab. 3). O valor do MOE teve variação de 38,2%, para a diferença dos painéis fabricados com 2mm e 4mm, onde o de 4mm apresentou o aumento (fig. 11).

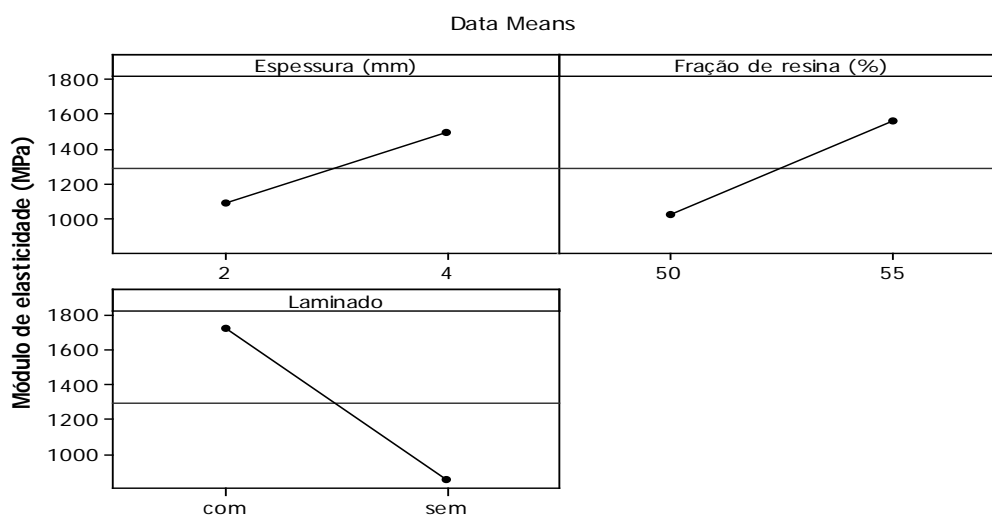


Figura 11 - Gráficos de efeitos principais para a variável resposta módulo de elasticidade.

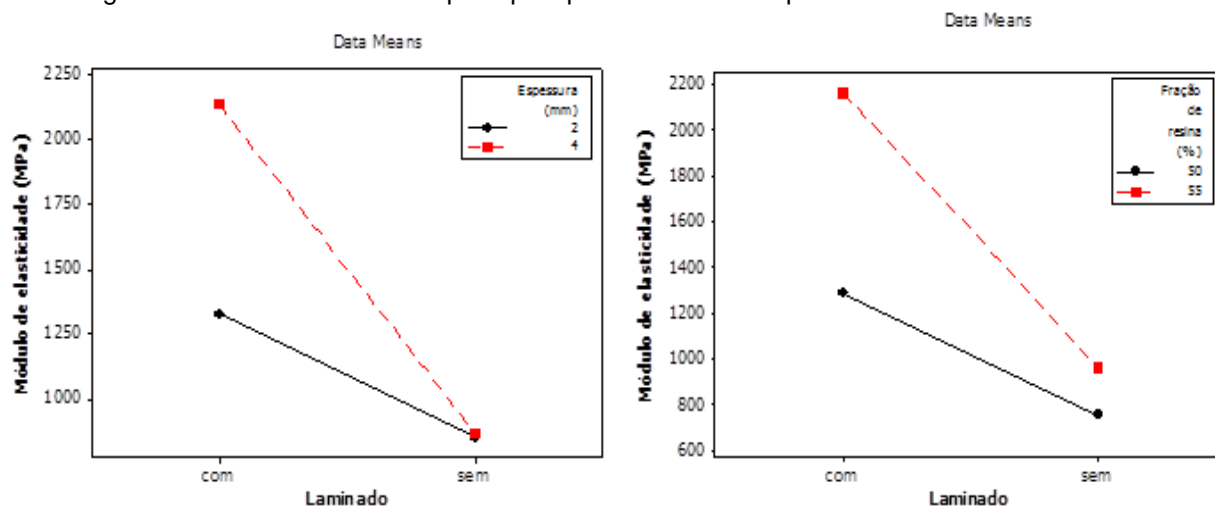


Figura 12 - Gráficos de efeitos de interação para a variável resposta módulo de elasticidade.

A variação de resina nos painéis, também apresentou um aumento do MOE. Segundo a fig. 11, os painéis de 55% tiveram um aumento de 53,1% em relação aos de 50%. Outro fator a ser mostrado na fig. 11 foi a presença do laminado, que apresentou uma variação de 101,6% no valor do MOE, para os painéis que utilizaram o laminado.

A interação entre a espessura x laminado também foi significativa. O maior valor a ser alterado foi para os painéis com a presença do laminado, apresentando os painéis com espessura de 4mm 61,3% a mais que os painéis de 2mm. Com relação a interação entre fração resina x laminado o MOE sofreu maior variação também com a presença do laminado, sendo os compósitos com fração de resina de 55% superiores em 68,5% em relação os painéis de 50% de resina (fig. 12).

Com relação a variável absorção de água, duas interações e os três fatores individuais apresentaram valores menores de 0,05 para P-valores, sendo assim significativos. Para o fator espessura, a absorção de água dos compósitos de 2mm sofreram um aumento de 27,2% com relação aos painéis de 4mm (fig. 13). Os compósitos que apresentam 50% de resina tiveram um aumento de 26,1% quanto a absorção de água com relação aos painéis com 55% de resina, conforme a fig. 13.

A presença do laminado mudou também a absorção de água. Os painéis que não utilizaram as fibras de sisal absorveram 95,2% a mais de água do que os painéis que não usaram a fibra. A única interação significativa na variável foi fração resina x laminado, destaque para os painéis sem a fibra. Painéis com 50% de resina absorveram 38,7% a mais que os painéis com 55% de resina (fig. 14).

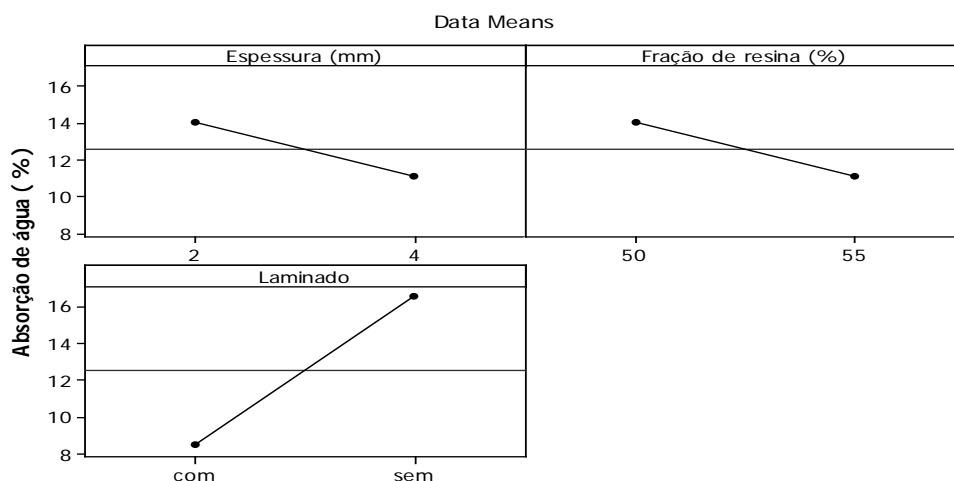


Figura 13 - Gráficos de efeitos de interação para a variável resposta absorção de água.

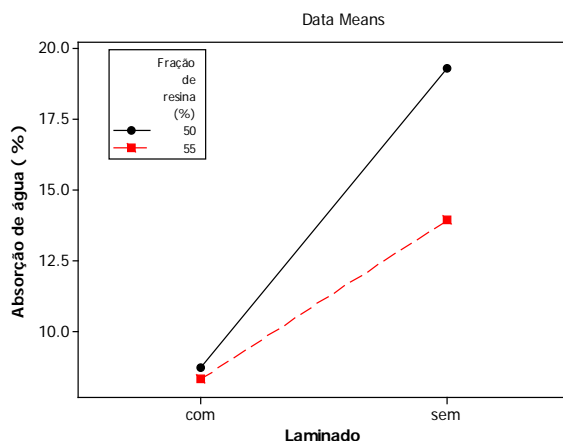


Figura 14 - Gráficos de efeitos de interação para a variável resposta absorção de água.

A densidade relativa aparente apresentou P-valores menores que 0,05 para dois fatores individuais, sendo considerados significativos. Uma redução de 2,6% na densidade relativa aparente ocorreu entre os compósitos com 50% para 55% de resina (fig. 15). Com relação à presença do laminado, os painéis que não tem o laminado apresentaram uma densidade relativa aparente 2,6% maior (fig. 15). A única interação que apresenta valor significativo foi a espessura x laminado, maior diferença da densidade relativa aparente ocorreu entre os painéis com laminado (fig. 16).

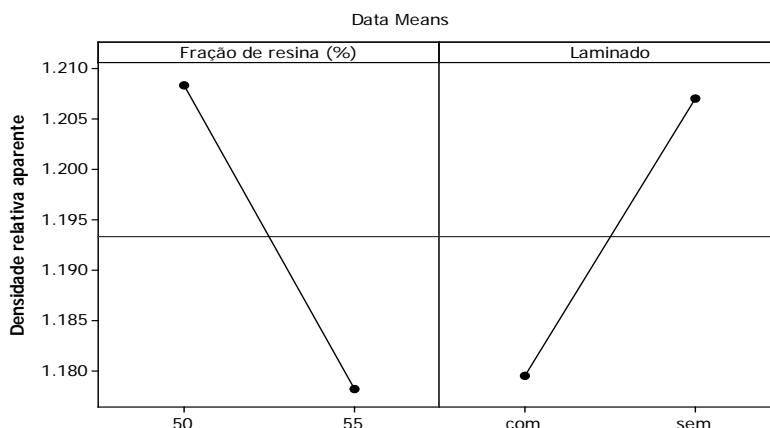


Figura 15 - Gráficos de efeitos de interação para a variável resposta densidade relativa.

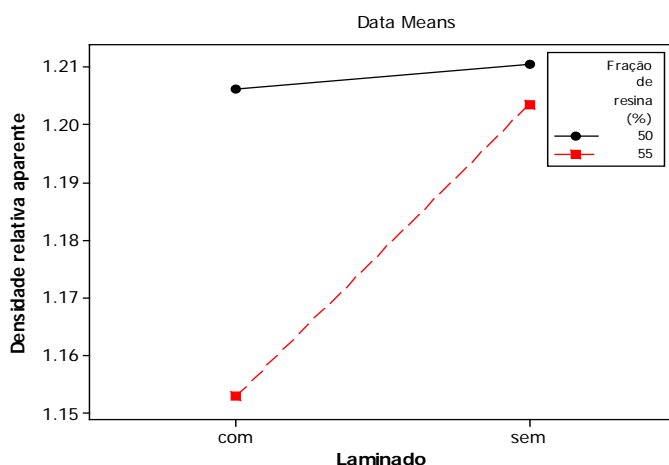


Figura 16 - Gráficos de efeitos de interação para a variável resposta densidade relativa.

O módulo de elasticidade e resistência a flexão apresentam valores para P-valores menores que 0,05 para as interações de todos os fatores (tab. 3).

A fig. 17 mostra o gráfico das interações dos fatores para a variável MOR, enquanto a fig. 18 mostra o gráfico para a variável MOE.

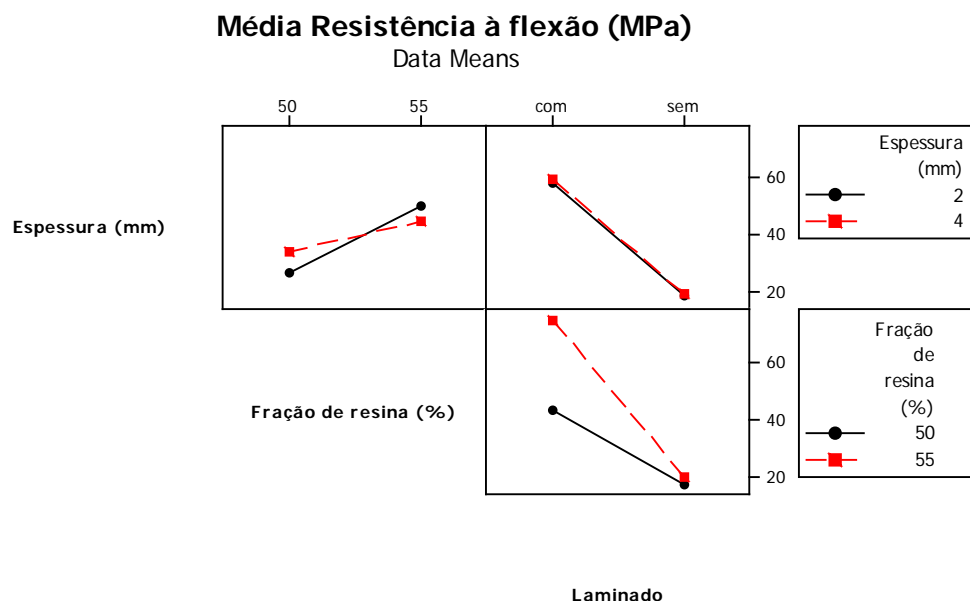


Figura 17 - Gráficos de efeitos de interação para a variável resposta MOR.

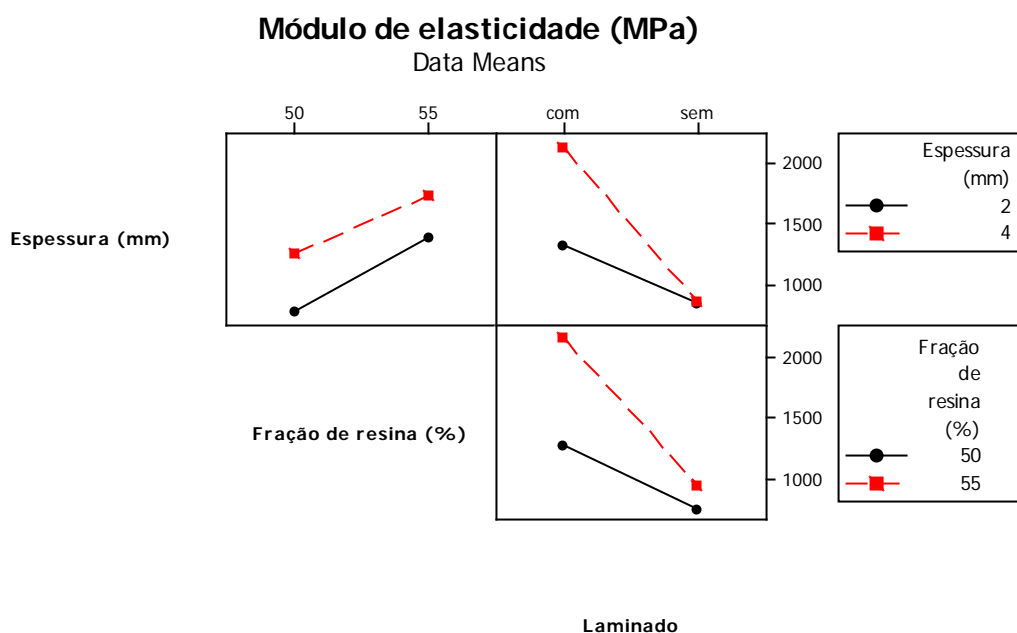


Figura 18 - Gráficos de efeitos de interação para a variável resposta MOE.

4. Conclusões

O estudo sobre compósitos reforçados com fibras naturais pode ser muito promissor, sendo possível substituir as fibras sintéticas pelas naturais.

Os estudos experimentais sobre o fator presença do laminado apresentou efeitos significativos em ambas as propriedades mecânicas estudadas. A adição de fibras é capaz de elevar significativamente as propriedades mecânicas do compósito produzido.

O fator espessura nos compósitos foi significativo no módulo de elasticidade (MOE) e não apresentou significância no módulo de resistência a tração (MOR).

Diferente do fator espessura, a fração de resina no compósito teve diferença tanto no módulo de elasticidade quanto no módulo de resistência à flexão.

Portanto, os compósitos que apresentaram espessura de 4mm, fração de resina de 55% e presença do laminado de sisal, foram os que obtiveram as melhores propriedades mecânicas.

5. Referências

- (1) Hillig, E.; Freire, E.; Zattera, A.J.; Zanoto, G.; Grison, K.; Zeni, M. Use of Sawdust in Polyethylene Composites. *Progress in Rubber and Recycling Technology*, v. 24, n. 2, p. 113-119, 2008.
- (2) Marcovich, N.E.; Ostrovsky, A.N.; Aranguren, M.I.; Reboredo, M.M. Resin-Sisal And Wood Flour Composites Made From Unsaturated Polyester Thermosets. *Composite Interfaces*, v. 16, n. 7-9, p. 639-657, 2009.
- (3) Hisham, S.; Faieza, A.A.; Ismail, N.; Sapuan, S.M.; Ibrahim, M.S. Flexural mechanical characteristic of sawdust and chipwood filled epoxy composites. *Composite Science and Technology*, v. 471-472, p. 1064-1069, 2011.
- (4) Hillig, E.; Iwakiri, S.; Andrade, M.Z.; Zattera, A. J. Caracterização De Compósitos Produzidos Com Polietileno de Alta Densidade (Hdpe) e Serragem da Indústria Moveleira. *Revista Árvore*, v. 32, n. 2, p. 299-310, 2008.
- (5) Rimdusit, S.; Kampangsaeree, N.; Tanthapanichakoon, W.; Takeichi, T.; Suppakarn, N. Development of wood-substituted composites from highly filled polybenzoxazinephenolic novolac alloys. *Polymer Engineering and Science*, v. 47, n. 2, p. 140-149, 2007.
- (6) Mosiewicki, M.; Borrajo, J.; Aranguren, M. Mechanical properties of woodflour/linseed oil resin composites. *Polymer International*, v. 54, n. 5, p. 829-836, 2005.
- (7) Xu, X.; Jayaraman, K.; Morin, C.; Pecqueux, N. Life cycle assessment of wood-fibre-reinforced polypropylene composites. *Journal of Materials Processing Tech*, v. 198, n. 1, p.168-177, 2008.
- (8) Silva L.J.; Panzera, T.H.; Silva V.R.V.; Christoforo A.L. Investigação das Propriedades Mecânicas de Compósitos Poliméricos de Fibra de Bananeira através do Método de Planejamento Fatorial de Experimentos. *Ciência & Tecnologia dos Materiais*, v. 23, n. 3-4, 2011.
- (9) Associação Brasileira de Normas Técnicas (1997). *NBR 7190 - Projeto de estruturas de madeira*. Rio de Janeiro.
- (10) American Society for Testing and Materials (2010). *ASTM D 790 - Standard Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*. Pennsylvania.
- (11) British Standard (1997). *EN ISO 10545-3 - Ceramic tiles. Determination of water absorption, apparent porosity, apparent relative density and bulk density*. London.

(12) Montgomery, D.C. (2005). Design and analysis of experiments. 6. ed. Arizona, John Wiley & Sons Inc.