67º congresso 2012 abm
67th abm international congress
ISSN 1516-392X

MODELAGEM DE COMPÓSITO POLIMÉRICO COM REFORÇO DE FIBRAS NATURAIS USANDO O MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS (MEF)[1]

José Manoel Freire Guimarães[2]
Michel José Caldas Carvalho[3]
Erb Ferreira Lins[4]
Roberto Tetsuo Fujiyama[4]

Resumo
Este trabalho tem como objetivo apresentar a modelagem através de elementos finitos de um compósito de poliéster reforçado com fibras naturais de sisal. O material compósito com fibras de sisal foi produzido pelo processo de laminação manual sendo formado por camadas de fibras longas, continuas, com alinhamento unidirecional e envolvidas pela matriz polimérica. Hipóteses simplificadoras serão adotadas, tais como assumir que a interface fibra-matriz é perfeita, que o diâmetro da fibra é uniforme ao longo de seu comprimento e as propriedades tanto da fibra quanto da matriz são isotrópicas. A análise da tensão no compósito foi feita utilizando resultados obtidos em procedimentos experimentais. Por fim, serão abordadas que fatores deverão ser levados em conta para que os resultados numéricos e experimentais sejam compatíveis.
Palavras-chave: Compósitos; Fibras naturais; Elementos finitos.

MODELING OF POLYMER COMPOSITE REINFORCED BY NATURAL FIBERS BY FINITE ELEMENT METHOD

Abstract
This paper presents the modeling of a polymeric reinforced composite with natural sisal fibers by finite element method. The layers of composite material were produced by manual lamination of long, continuous, unidirectional aligned fibers, which were engaged by the polymeric matrix. Simplifying assumptions were adopted such as to assume that the fiber-matrix interfaces are perfect, the fiber diameter is uniform along its length and the properties of both, the fiber and the matrix, are isotropic. The analysis of the stress in the composite was done using the results obtained in an experimental setup. Finally, some factors that should be taken into account to validate numerical results using experimental data were addressed.
Key words: Composites; Natural fibers; Finite elements.

[1] *Contribuição técnica ao 67º Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.*
[2] *Graduando, FEM, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, ITEC/ UFPA. jose.guimaraes@itec.ufpa.br.*
[3] *Graduado em Engenharia mecânica, Mestrando, PPGEM, ITEC/ UFPA, Belém, Pará, Brasil.*
[4] *Doutor em Engenharia Mecânica, Professor Adjunto, PPGEM – ITEC / UFPA.*

ISSN 1516-392X

1 INTRODUÇÃO

O estudo das propriedades, características e comportamento dos materiais é ferramenta fundamental para qualquer engenheiro já que a escolha do material mais adequado aos fins do projeto é definitiva para o sucesso deste. Fatores que tornam os materiais compósitos mais atraentes para o seu uso em engenharia são: a disponibilidade, o baixo custo do material, minimização da poluição e do consumo de energia em suas etapas produtivas, além de aliar elevada resistência, alta rigidez, melhores respostas à fadiga, maior durabilidade e baixo peso específico.(1)

Os materiais compósitos são formados por dois ou mais materiais diferentes entre si e tem como principal característica a sinergia das propriedades de seus componentes; ou seja, reunir características desejáveis dos dois ou mais materiais presentes.(2) O compósito é feito de basicamente duas fases: a matriz e o reforço. O tipo de matriz, fase aglomerante responsável pela unidade do material, utilizado neste trabalho foi um polímero é a base de resina de poliéster, classificada como um material termofixo resultante de uma reação entre um biálcool e um biácido.(3) Já o reforço, responsável por dar ao compósito a capacidade de suportar esforços mecânicos, é composto de fibras de sisal.

Como já mencionado, as características dos compósitos são determinadas pelas propriedades físicas e mecânicas de cada um de seus componentes individualmente. Algumas técnicas analíticas e numéricas têm sido desenvolvidas para prever as características dos materiais compósitos e, em especial, o estado de tensão nele. Por outro lado, devido ao grande número de equações geradas por geometrias e carregamentos complexos, métodos analíticos só são capazes de lidar com casos onde a configuração de fases é extremamente simplificada em grande parte dos casos, o uso de métodos numéricos para aproximação de equações diferenciais parciais oriundas da análise de tensão e deformação é mais viável, em especial o Método dos Elementos Finitos (MEF).(4)

O MEF é uma abordagem alternativa para resolver equações de problemas estruturais. Este método resolve um problema de modelagem da estrutura utilizando elementos interligados chamados de elementos finitos, que consistem em nós interconectados e ou linhas ou superfícies de contorno que estão ligadas direta ou indiretamente à outros elementos via interfaces.(5) No MEF as equações são resolvidas para cada elemento finito e combinadas para obter uma aproximação de solução para todo o problema ao invés de resolver o problema de maneira uniforme para todo o corpo. Este método numérico requer a seleção de elementos adequados assim como uma seleta distribuição destes elementos. As condições de contorno irão definir o comportamento de cada um destes elementos, que serão expressos em notação matricial.

Diversos trabalhos têm sido desenvolvidos nesta área, como a modelagem do comportamento visco-plástido de compósitos metálicos, feita por Shati, Esat e Baha,(5) no qual também foi analisada uma fibra contida na matriz do compósito. Outros trabalhos importantes foram feitos por Maligno, Warrior e Long(6) e também por Houshyar, Shanks e Hodzic,(7) onde são analisados os esforços interfaciais em materiais compósitos poliméricos.

ISSN 1516-392X

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Procedimento Experimental

O compósito laminado foi feito de resina poliéster pré-acelerada e fibras de sisal. As fibras foram alinhadas sobre uma lâmina de vidro e em seguida foi aplicada a resina poliéster, configurando assim uma camada (Figura 1a). Cada compósito utilizou três camadas sobrepostas atendendo assim as dimensões especificadas na norma ASTM D3039M. Após o período de cura, o material foi então cortado, assumindo a forma exibida na Figura 1b e ensaiado segundo no teste de tração.

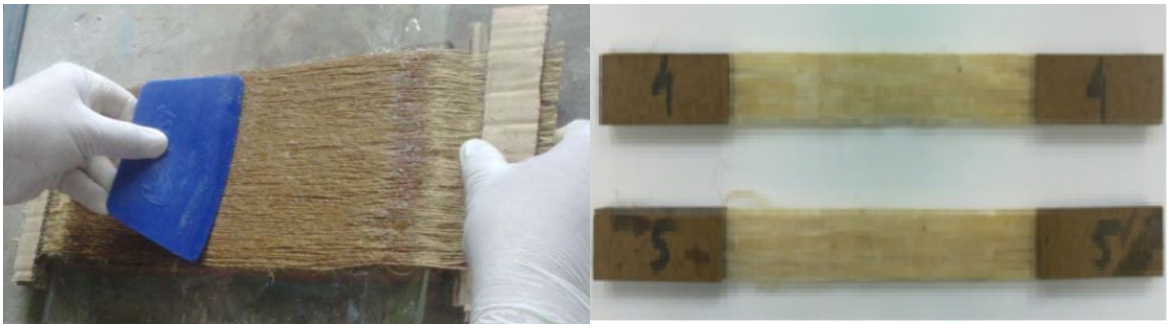


Figura 1. (a) Processo de aplicação da resina; e (b) corpo de prova ensaiado.

Tanto a matriz polimérica quanto a fibra foram ensaiadas previamente, o que proporcionou dados suficientes para este trabalho.

2.2 Procedimento Computacional

Através da análise feita pelo Método dos Elementos Finitos apenas uma pequena parte do material compósito será analisada. Um modelo tridimensional, de uma fibra arranjada de maneira alinhada na matriz foi criado para representar adequadamente o comportamento do material compósito. Dois volumes foram criados para representar a fibra e a matriz respectivamente (Figura 2).

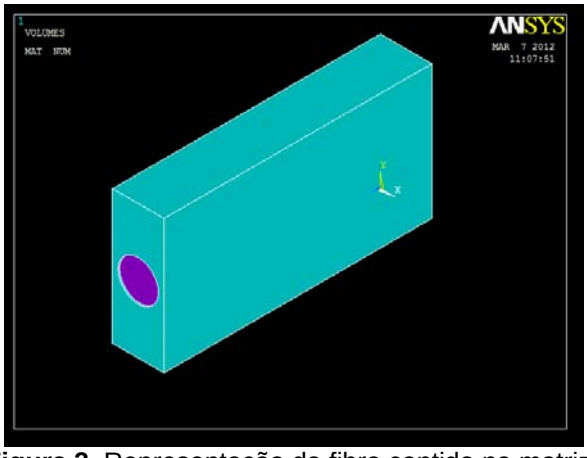


Figura 2. Representação da fibra contida na matriz.

O modelo utilizado assume que a fibra possui a forma de um cilindro perfeito, de comprimento L e diâmetro (d = 260 µm) e está perfeitamente acoplada ao paralelepípedo de matriz de mesmo comprimento L, ou seja, não há possibilidade de deslizamento entre fibra e matriz ao longo da interface entre os mesmos. As

ISSN 1516-392X

medidas do modelo foram retiradas do procedimento experimental, respeitando o mesmo espaçamento entre fibras do modelo real. Os módulos de elasticidade dos materiais constituintes do compósito também foram obtidos dos resultados experimentais sendo E_m = 1.12 GPa e E_f = 6.70 GPa para a matriz poliéster e a fibra de sisal respectivamente. O coeficiente de Poisson encontrado foi v_m = 0.365 para a matriz e v_f = 0.232 para a fibra. Para a simulação, foi utilizado o *software* Ansys-® e a APDL, a linguagem de programação associada a este *software*.[8] O modelo foi tratado como um problema linear de simetria axial, utilizando elementos do tipo *solid brick*.

O modelo de elementos finitos (Figura 3) é constituído de 201.854 elementos, utilizados para a simulação do caso de uma única fibra. A malha utilizada foi refinada na fibra, nas bordas na área próxima à interface fibra-matriz, de modo à minimizar os erros associados aos elevados gradientes de tensão existentes nessas regiões.

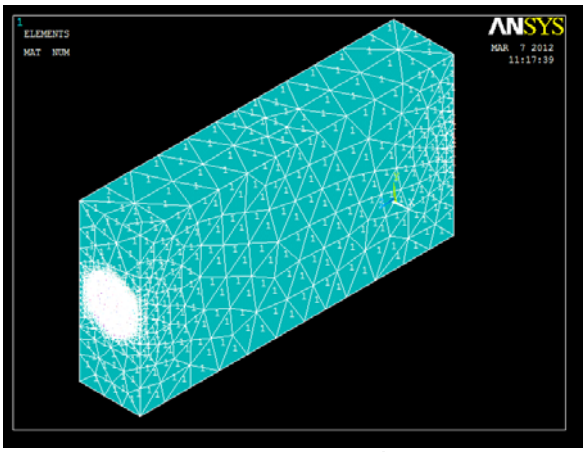


Figura 3. Malha utilizada na análise do caso 3D.

Como condições de contorno, uma das extremidades foi fixada em todos os seus graus de liberdade e foi imposto um carregamento à face oposta. O carregamento aplicado na extremidade livre foi escolhido de modo que não ultrapassasse o regime elástico do material compósito, sendo, portanto de 65 MPa**.**

3 RESULTADOS E DICUSSÕES

3.1 Resultados Experimentais

A Tabela 1 mostra os resultados do ensaio de tração do compósito polimérico de fibras alinhadas.

Tabela 1. Propriedades mecânicas sob tração do compósito de fibras de sisal alinhadas unidirecional

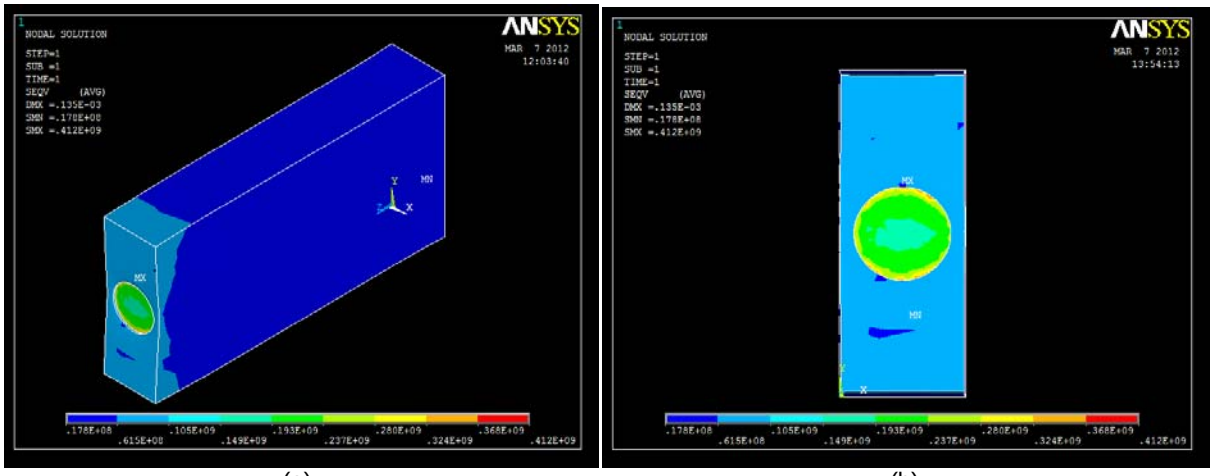
	Força Max. (N)	Tensão Max. (MPa)	Mod. Elasticidade (GPa)
Media	627 ± 40	69 ± 9	6,7 ± 0,2

Como resultado, o compósito apresenta propriedades intermediárias de seus constituintes como esperado. O processo de fabricação manual se mostrou eficiente, entretanto pode causar o surgimento de vazios no interior do compósito, o que pode ter como consequência uma redução substancial na resistência mecânica do compósito.

ISSN 1516-392X

3.2 Resultados da Simulação

A Figura 3 mostra a distribuição de tensão para toda a região do compósito analisado. Como pode ser observado, a região correspondente a interface fibra-matriz apresenta uma complicada distribuição de tensão.



(a) (b)

Figura 4. Distribuição de tensão no compósito: (a) vista isométrica; e (b) frontal.

As duas regiões que apresentam a maior relevância na resistência ao carregamento são a fibra, especialmente a sua região mais externa, e a interface fibra-matriz. Também deve ser ressaltado que em regiões mais afastadas da interface, tais como grande parte da matriz e o núcleo da fibra, apresentam um estado de tensão relativamente uniforme. Esta não uniformidade entre as tensões na matriz e na fibra se deve à grande discrepância entre as resistências dos dois materiais. Quando a rigidez da fibra é demasiadamente maior ou menor que a rigidez da matriz, o nível de compartilhamento da tensão por parte das fibras é significativamente menor. Isto é exatamente o que aconteceu neste modelo e por isso se observa uma grande diferença entre as tensões na fibra e na matriz. Por outro lado, se observa também grande concentração de tensão na fibra, fruto da maior rigidez da mesma. Assim grande parte do esforço aplicado recai sobre a fibra, sendo que o material de base fica sujeito a níveis de tensão menores que o carregamento de 65.00 MPa aplicado.

A existência de regiões nas quais a tensão é superior ao carregamento é justificada pelo fenômeno de acúmulo de tensão na interface da fibra, o que pode ser quantificado pelo fator de concentração,[9] que para o presente problema foi calculado como a razão entre a máxima tensão encontrada na simulação, σ_{max}, e a tensão nominal esperada, σ_{nom} ou $K_t = \sigma_{max}/\sigma_{nom} = 2.91$. Sendo obtido o valor de 189 MPa como tensão de cisalhamento na interface fibra-matriz. Com a simulação foi obtido valor de tensão para o compósito, para o valor de fração volumétrica de fibra de 15%, de 91 MPa, cerca de 30% acima do valor obtido experimentalmente. Essa diminuição pode se atribuída as hipóteses simplificadoras usadas na metodologia.

Com o aumento do número de fibras há também um aumento na quantidade de reforço e, consequentemente, um incremento na resistência mecânica do material uma vez que a maior parte do carregamento é suportada pelas fibras este fenômeno também pode ser observado através da regra das misturas, em que a fração volumétrica de fibras tem fator de grande influência na resistência mecânica do material compósito. Entretanto um aumento demasiado na quantidade de fibras

ISSN 1516-392X

diminuirá o espaçamento entre elas e, portanto, haverá um agravamento no efeito de acúmulo de tensão na interface fibra-matriz, propiciando o descolamento das fibras do material assim como o aumento da fração volumétrica de fibra propícia a diminuição da molhabilidade das fibras pela matriz. Por esta razão o incremento no conteúdo de fibras não significa necessariamente um aumento na resistência do compósito.
A hipótese simplificadora usada no modelo considera a seção circular da fibra uniforme e contínua, e o é mesmo considerado para a matriz, sendo a distribuição das fibras ao longo da matriz também considerada uniforme. Essa hipótese não condiz com a realidade das fibras naturais, pois estas possuem seção não totalmente circular e ao longo do comprimento e apresentam uma variação da seção transversal, fatores que podem contribuir na redução do valor da resistência mecânica do material compósito obtido experimentalmente em relação aos valores obtidos por simulação.

4 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma modelagem de compósitos poliméricos reforçados por fibras naturais através do método dos Elementos Finitos. A modelagem se mostrou eficiente, uma vez que foi respaldada por dados experimentais. Observou-se que quanto maior a rigidez do reforço em comparação com a da matriz, menor será o compartilhamento de esforços mecânicos no compósito e maior será a tensão de cisalhamento presente na interface entre fibra e matriz. Desta forma, é necessário ter compósitos com matrizes e reforços de resistências não muito defasadas para que haja um maior compartilhamento do carregamento entre as fibras e a matriz. A simulação aparenta ser uma eficiente ferramenta para apontar possíveis mecanismos de falha no material compósito, desde que hipóteses simplificadoras sejam adotadas como as utilizadas neste trabalho. O valor obtido pela simulação foi maior do que aquela obtida experimentalmente devido às hipóteses simplificadoras usadas no modelo.

Agradecimentos

Ao CNPq pela bolsa de pós-graduação concedida, e ao Laboratório de Engenharia Mecânica (Labem) da Universidade Federal do Pará pelas realizações dos experimentos deste trabalho e ao Itegam – Instituto de Tecnologia Galileo da Amazônia.

REFERÊNCIAS

1 PEREIRA, J.C. Curso de projetos estrutural com materiais compostos, 1ª Ed UFSC, 99 p., 2000
2 CALLISTER jr., W. D. Ciência e Engenharia de Materiais: Uma introdução. Tradução de Sérgio Murilo Stamile Soares. 5ª Ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2002
3 LEVY NETO, F.; PARDINI, L. C. Compósitos estruturais: ciência e tecnologia, 2ª Ed. São Paulo: Edgar Blucher, 2006.
4 O. C. Zienkiewicz, R. L. Taylor. The Finite Element Method for Solid and Structural Mechanics, 6a Ed., Butterworth-Heinemann, (2005).
5 Shati F. K., Esat I. I., Bahai H.. FEA modelling of visco-plastic behaviour of metal matrix composites. Finite Elements in Analysis and Design, 37, 2001.

ISSN 1516-392X

6 Maligno,A. R; Warrior, N. A; Long, A. C.. Finite element investigations on the microstructure of fiber-reinforced composites. Express Polymer Letters Vol. 2, No. 9, 2008Ansys Inc., Manual do software ANSYS® 12, 2011.
7 S. Houshyar, R.A. Shanks, A Hodzic. Modelling of polypropylene fibre-matrix composites using finite element analysis. Express Polymer Letters Vol3, No 1, 2009.
8 Ansys Inc., Manual do software ANSYS® 12, 2011.
9 Shigley, Joseph E., Mischke, Charles R. e Budyans, Richard G**.** Projeto de Engenharia Mecânica*,* São Paulo : Bookman, 2005.