

SIMULAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE MATÉRIAS COMPÓSITOS REFORÇADOS COM FIBRA DE ALGODÃO

G.A. Costa; D.D.S. Diniz; D.P.A. Peña; D.S. Medeiros; I.O. Fernandes;

⁽¹⁾Universidade Federal Rural do Semi-árido, Caraúbas, RN - Brasil.

Rua: Albani Salustino, 634, Bairro: Manoel Salustino, Currais Novo/RN – 59380-000
guilhermealves.engmec@gmail.com

RESUMO

Atualmente, na engenharia observa-se uma busca por materiais de fontes renováveis, estes são uma excelente alternativa para substituição de materiais convencionais. As fibras naturais apresentam boas propriedades mecânicas, biodegradável e baixo custo em relação às fibras sintéticas. Este artigo utilizou duas matrizes poliméricas para efeitos comparativos: a primeira foi o Ácido Polilático (biopolímero) e polipropileno (termoplástico) com elevada rigidez, baixa densidade e pode ser reciclável. O reforço de algodão tem variação no teor da fibra dentro do compósito, essas porcentagens variam entre 20-40%. O programa escolhido para efetuar as simulações foi o Ansys, que utiliza o Método dos Elementos Finitos (MEF) e permite caracterizar os efeitos e fenômenos apresentados no meio da análise de compósitos. Os resultados obtidos com matriz de PLA obtiveram uma pequena vantagem quando comparado ao compósito com matriz de PP que permitiram a caracterização das propriedades mecânicas e a avaliação da integridade estrutural dos compósitos.

Palavras-chave: Compósitos, Fibras de Algodão, Propriedades Mecânicas, Matriz de PP e PLA.

INTRODUÇÃO

Na atualidade, em alguns ramos da engenharia que necessitam de materiais compósitos, nota-se uma busca por matérias que derivam de fontes naturais, pois os mesmo são uma boa alternativa para a substituição dos materiais convencionais. As fibras naturais possuem propriedades mecânicas boas, considerável

biodegradabilidade e baixo custo em relação às fibras sintéticas. Logo, o uso de fibras naturais, como de algodão, pode reforçar matrizes poliméricas com a substituição parcial ou total das fibras sintéticas em compósitos.

No geral, os materiais compósitos mais comuns na atualidade têm seus reforços com base em fibras sintéticas, por exemplo: aramida, carbono e vidro. No entanto, com o desenvolvimento de estudos essas estão sendo substituídas parcialmente ou total por fibras naturais. Devido serem naturais, eles são biodegradáveis, são recicláveis e de baixo custo energético para produção. Entre outras vantagens, as mesmas apresentam características relevantes quando comparada aos demais materiais, entre elas, alta rigidez e pouco densas e abrasividade, fácil processamento e sua principal característica é que derivam de atividades agrícolas.

Embora tenham vantagens satisfatórias as fibras naturais apresentam algumas desvantagens como: fraca adesão entre matriz e fibra, elevada absorção de umidade, baixa temperatura de deposição. Mas mesmo com essas desvantagens se torna proveitoso a sua utilização, pois podem contornar tais desvantagens.

Na atualidade com a otimização de tudo o que se pode imaginar no cotidiano, visando uma melhor qualidade de bens e produtos, gerando assim um interesse em matérias que atendem as necessidades exigidas apresentando boa performance aliado a baixo custo, logo se justifica a utilização de matérias compósitos.

O fator que pesa na utilização desses materiais é a desempenho, onde o mesmo é bem mais leve que materiais metálicos, e também apresenta boas propriedades mecânicas, leva os materiais compósito a serem utilizados nas áreas aeroespaciais, automotivas, entre outras onde se necessitam de altas performance.

MODELO COMPOSTO

O Método por Elementos Finitos (MEF) é utilizado para obter resposta com relação ao comportamento do material no nível micro mecânico. Diante disto, nessa secção será modelado cada elemento com uma propriedade ortotrópica. Como as dimensões do modelo são pequenas, foi utilizada uma malha fina de elementos. Este modelo pode ser usado para vários propósitos, mas um fator que foi importante neste trabalho foi que o carregamento foi aplicado com aumento gradativo de

tensão, para que assim fosse feito parâmetros de comparação entre compósitos que variam o teor da fibra.

Modelagem MEF

Para melhor representar o compósito foi adotado um arranjo tridimensional retangular. Onde o mesmo é dotado de fibras compridas alinhadas e sobrepostas. Organizada de maneira uniforme regular de fibra em uma matriz, dividida em cinco camadas.

Este modelo assume que a fibra era um cilindro perfeito de comprimento L, e o diâmetro ($d = 0,020$ mm) em matrizes de PP e PLA.

Devido a teoria do desempenho eficaz, a tensão média de tração, foi obtida através da tração uniforme de carregamento, o comportamento da tensão-deformação do material composto pode ser modelado via MEF, e mostrada em gráficos, com diferentes parâmetros micro estruturais devidos a utilização do método numérico.

O modelo mais simples para a micromecânica de compósitos de fibra que é de Cox (10), é usado numa análise onde a teoria exigia que simplificações são feitas, então forem feitos os seguintes pressupostos:

1. A interface entre os dois componentes é perfeita;
2. A fibra e matriz elástica permanecem nas suas respostas mecânicas;

Fração volumétrica de fibra

Um fator importante para analisar a as características do compósito é a fração volumétrica e a partir dela têm-se o quanto a quantidade de matriz e fibra interfere nas propriedades mecânicas. Para esse trabalho foi utilizado às propriedades mecânicas da fibra de algodão e as matrizes de PP e PLA. Entretanto o reforço contribui com o nível de estresse e distribuição de tensão nas fibras e matriz. O modelo aplicado nesse trabalho segue o princípio que as fibras estão variando de 20 a 40% da fração volumétrica.

$$V_x = \frac{\text{Volume do componente } x \text{ no compósito}(cm^3)}{\text{Volume total do compósito}(cm^3)} \quad (A)$$

Sendo que o componente x pode ser o volume de fibra ou de matriz de acordo com o interesse.

Modelos de material

O reforço que foi utilizado foi com perfis em laminas unidimensionais de fibras de algodão, variando a fração volumétrica no intervalo de 20 a 40%. Para o desenho do laminado foi utilizado especificações da ATM D3039/D3039M-95a para a simulação de tração. Tomando como base outros trabalhos da literatura foram obtidos as propriedades elásticas e os valores de resistência mecânica, e os valores para o compósito foram obtidos pela Regra das misturas. Os valores utilizados na simulação estão representados nas Tabelas 1,2 e 3.

As propriedades da fibra de algodão são ortotrópicas, enquanto que a matriz PP e PLA é considerada isotrópica.

Tabela 1 - Propriedades da fibra de algodão.

Propriedades	Valores
Densidade (kg/m ³)	1600
E_1 (Gpa)	12,6
E_2 (Gpa)	4,032
E_3 (Gpa)	4,032
ν_{12}	0,32
ν_{23}	0,34
ν_{13}	0,32
G_{12} (Gpa)	2,33
G_{23} (Gpa)	2,14
G_{13} (Gpa)	2,33

Adaptado: Savastano Jr (1992); Toledo Filho (1997), Guimarães (1987)

Tabela 2 - Propriedades do PP

Propriedades	Valores
Densidade (kg/m ³)	905
E (Gpa)	2,0
ν	0,3
G (Gpa)	0,769

Fonte: Catálogo Braskem; SANTOS et al., (2006)

Tabela 3 - Propriedades do PLA

Propriedades	Valores
Densidade (kg/m ³)	1245
E (Gpa)	2,11
ν	0,36
G (Gpa)	0,776

Fonte: Kalia (2011); Castro (2013).

CRITERIO DE FALHA

Nas últimas décadas as indústrias estão avaliando com maior rigor aspectos relacionados à eficiência estrutural e o fator de segurança que está sendo aplicado a materiais compósitos. Dessa forma busca-se um componente estrutural que não apresente falha catastrófica e ao mesmo tempo possua uma alta resistência específica. Com isso, os compósitos poliméricos reforçados (CPR) estão apresentando uma crescente utilização, justificado porque atende aos requisitos exigidos anteriormente. O amortecimento da matriz polimérica associado a fratura progressivo das fibras (ausência de falha catastrófica) será representado abaixo:

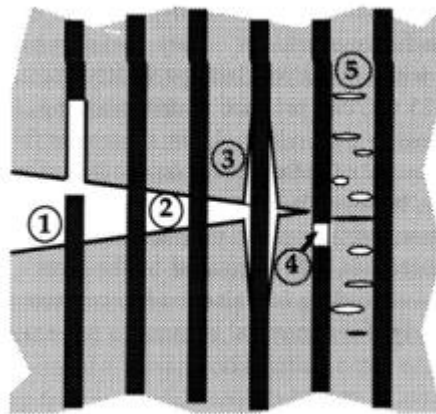


Figura 1 - Mecanismos de falha CPR (Anderson, 1995).

O modo de falha do CPR é complexo, pois envolve vários mecanismos que evoluem simultaneamente. A Figura 1 Mostra 5 mecanismos, tais como: arrancamento da fibra da matriz (1), *fiber bridging* (2), deslocamento entre fibra e matriz (3), fratura da fibra (4), falha da matriz (5). Verifica-se que os CPR apresentam inicialmente micro-falhas que ao evoluírem ocasionam macro-falhas. Consequentemente, existem inúmeros critérios de falha para representar o comportamento mecânico desses materiais, que podem avaliar desde uma abordagem micromecânica até uma micromecânica.

Em 1965, Tsai propôs um critério de Hill modificado, que tinha com base quantificar a desigualdade em tração e compressão em materiais ortótropos ao qual foi denominado Critério de Tsai-Hill. Posteriormente Tsai-Wu (1971) apresentaram outro critério com vantagens sobre o critério Tsai-Hill, pois o tensor de resistência era invariante sob a rotação dos eixos de coordenadas e as transformações

ocorriam de acordo com as leis tensoriais conhecidas. Mediante a essas vantagens o Critério de Tsai-Wu passou a ser o critério mais utilizado.

É possível perceber que a escolha do critério é complexa, pois é necessário analisar vários fatores para que o mesmo seja capaz de representar fielmente e de forma consistente os fenômenos físicos envolvidos. Para que isso seja possível é necessária uma ferramenta computacional que possa auxiliar na análise de falhas em compósitos. Sendo assim, nesse trabalho foi utilizada uma análise estrutural baseada no Método de Elementos Finitos, feita no programa ANSYS, onde se avaliou as propriedades do compósito com matriz de PP e reforço de fibra de algodão.

Critério de falha para Materiais Compósitos

Quando os compósitos são reforçados unidirecional possuem uma anisotropia intrínseca e três planos de simetria ortogonais em cada ponto (ortótropia). Na escala macroscópica o material composto é considerado um material ortotrópico quase homogêneo nas direções longitudinais e transversais. Este trabalho se detém a aplicabilidade de várias teorias de falhas investigadas, tais como: critério da máxima tensão e critério de Tsai-Wu.

Critério de falha da máxima tensão

Esse critério consiste em cinco subcritérios, cada um com seu correspondente modo de falha fundamental (falha por tração na direção longitudinal ou transversal; falha por cisalhamento; falha por compressão na direção transversal ou longitudinal). Caso um desses critérios seja excedido pela tensão nos eixos principais do material, ocasionará falha. Portanto, se qualquer uma dessas desigualdades forem desfeitas, ocorrerá falha.

$$\sigma_1 \geq \hat{\sigma}_{1T} \text{ ou } \sigma_1 \leq \hat{\sigma}_{1C} \text{ ou } \sigma_2 \geq \hat{\sigma}_{2T} \text{ ou } \sigma_2 \leq \hat{\sigma}_{2C} \text{ ou } \tau_{12} \geq \hat{\tau}_{12S} \quad (\text{B})$$

Onde $\hat{\sigma}_{1T}$ é a resistência da lâmina à tração na direção 1, $\hat{\sigma}_{2T}$ é a resistência da lâmina à tração na direção 2, $\hat{\sigma}_{1C}$ é a resistência da lâmina à compressão na direção 1, $\hat{\sigma}_{2C}$ é a resistência da lâmina à compressão na direção 2 e $\hat{\tau}_{12S}$ é a resistência ao cisalhamento.

Critério de falha de Tsai-Wu

Sabendo que esse critério tem uma boa precisão e confiabilidade, para compósitos de fibras finas em estado plano de tensões na lâmina, pode-se utilizar a equação do critério será dada por:

$$F_1\sigma_1 + F_2\sigma_2 + F_{11}\sigma_1^2 + F_{22}\sigma_2^2 + F_{66}\tau_{12}^2 - \sqrt{F_{11}F_{22}}\sigma_1\sigma_2 = 1 \quad (C)$$

Onde F_i e F_{ii} são coeficientes denominados com base em ensaios experimentais:

$$F_1 = \frac{1}{\hat{\sigma}_{1T}} + \frac{1}{\hat{\sigma}_{1C}}, F_{11} = -\frac{1}{\hat{\sigma}_{1T}\hat{\sigma}_{1C}}, F_2 = \frac{1}{\hat{\sigma}_{2T}} + \frac{1}{\hat{\sigma}_{2C}}, F_{22} = -\frac{1}{\hat{\sigma}_{2T}\hat{\sigma}_{2C}} \text{ e } F_{66} = \left(\frac{1}{\hat{\tau}_{12S}}\right)^2 \quad (D)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Variação do teor de fibra

O aumento no teor de fibra resulta numa distribuição de tensões mais uniforme entre as fibras e matriz. Assim, as fibras recebem boa parte da tensão aplicada. No entanto, para o compósito com baixo teor de fibra a matriz recebe uma parcela significativa da tensão aplicada. Nas Tabela 4 estão expostos os valores do compósito com seus respectivos teores volumétricos:

Fibra de algodão e PLA

Tabela 4 - Valores para teor de fibra 20%,30% e 40%.

Propriedades	20%	30%	40%
Densidade (kg/m ³)	1316	1352	1387
E_{11} (GPa)	4,209	5,285	6,037
E_{22} (GPa)	2,7	3,022	3,387
G_{12} (GPa)	0,9483	1,05	1,164
G_{23} (GPa)	0,9347	1,032	1,145
ν_{12}	0,351	0,346	0,342
ν_{23}	0,444	0,464	0,479
Frações			
Volumétrica (fibra)	20%	30%	40%
Mássica (fibra)	24,32%	35,52%	46,14%
Volumétrica (matriz)	80%	70%	60%
Mássica (matriz)	75,68%	64,48%	53,86%

Fonte: Próprio autor

No Figura 2, foi possível perceber que o compósito com 40% de fibra resistiu a uma maior tensão, que tem magnitude igual 344 MPa. Por sua vez o compósito de 30% de fibra resistiu à 343 MPa, ficando próximo ao ponto ótimo do gráfico. O composto com 20% de fibra ficou na marca de 234 MPa.

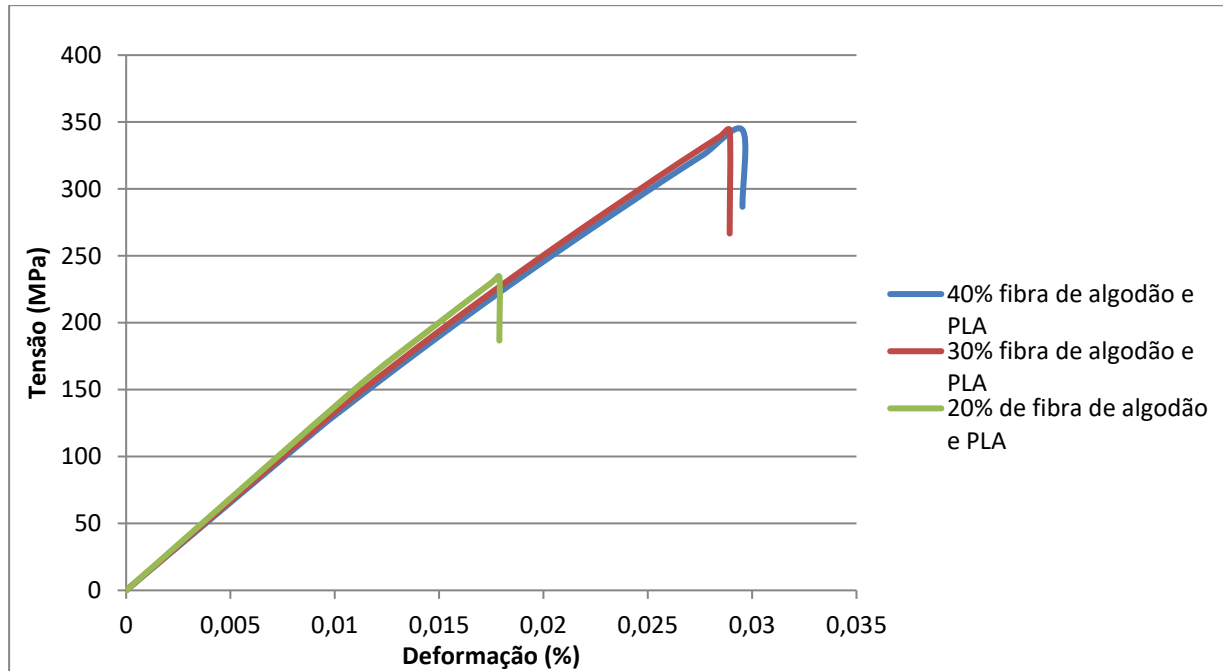


Figura 2 – Gráfico Tensão x Deformação para matriz de PLA (Fonte: Próprio autor)

Fibra de algodão e PP

Tabela 5 - Valores para teor de fibra 20%,30% e 40%.

Propriedades	20%	30%	40%
Densidade (kg/m ³)	1044	1114	1183
E_{11} (GPa)	4,12	5,18	6,24
E_{22} (GPa)	2,527	2,828	3,175
G_{12} (GPa)	0,9415	1,043	1,157
G_{23} (GPa)	0,9233	1,018	1,128
ν_{12}	0,305	0,307	0,309
ν_{23}	0,368	0,389	0,408
Frações			
Volumétrica (fibra)	20%	30%	40%
Mássica (fibra)	30,65%	43,11%	54,10%
Volumétrica (matriz)	80%	70%	60%
Mássica (matriz)	69,35%	56,89%	45,90%

Fonte: Próprio autor

No Figura 3, foi possível perceber que o compósito com 40% de fibra resistiu a uma maior tensão, que tem magnitude igual 336 MPa. Por sua vez o compósito de 30% de fibra resistiu à 332 MPa, ficando próximo ao ponto ótimo do gráfico. O composto com 20% de fibra ficou na marca de 222 MPa.

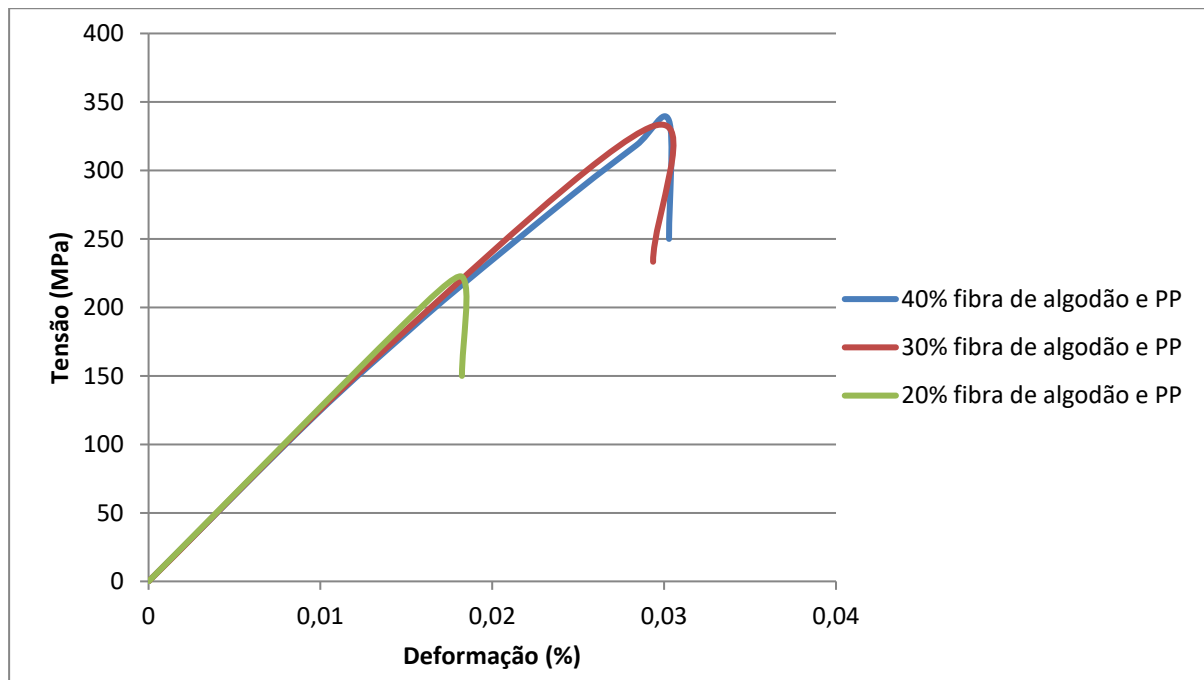


Figura 3 - Gráfico Tensão x Deformação para matriz de PP (Fonte: Próprio autor)

O gráfico abaixo servirá para efeito de comparação entre o compósito com matriz PLA e PP, e suas respectivas variações nas frações volumétricas.

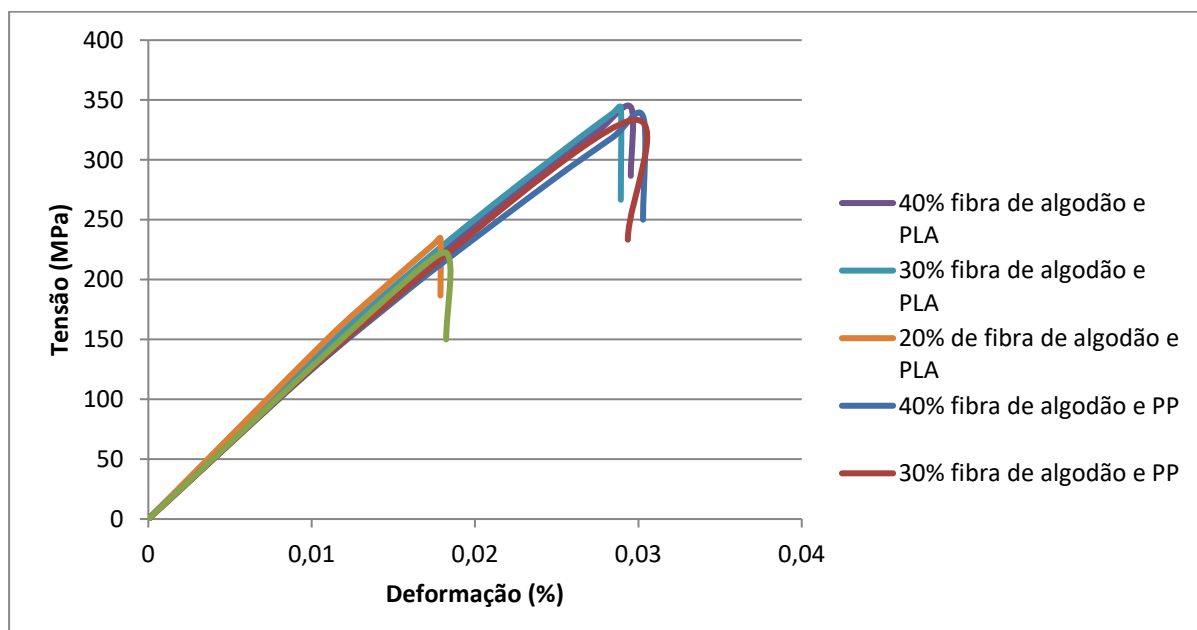


Figura 4 – Comparação dos gráficos com matriz de PP e PLA (Fonte: Próprio autor)

O gráfico mostra que o compósito com matriz PLA resistiu a uma tensão de 344 MPa, enquanto que o compósito com matriz PP resistiu a 336 MPa, uma variação relativamente pequena. Os demais valores ficaram com a diferença em torno de 3%. Então é possível concluir que para essa situação abordada acima o compósito com matriz PLA, obteve melhores resultados.

CONCLUSÕES

Com base nas respostas obtidas, nota-se o potencial da utilização da fibra de algodão para ser utilizada como reforço em compósitos. Também pode-se afirmar que esses compostos podem ser utilizados para aplicações com demanda técnica, como: indústria automotiva, aeroespacial, produção de equipamentos esportivos, substituindo fibras sintéticas para algumas aplicações que demandam baixo custo e facilidade na fabricação.

Com a utilização de fibra de algodão variando em 20 a 40% na matriz de polipropileno e ácido Polilático, ficou perceptível um aumento na resistência à tração, justificando o foco do trabalho.

Conclui-se que a utilização de fibras naturais para aplicação em estruturas pode ser bem aproveitada se obtiver um conhecimento prévio dos mecanismos de falha. Logo, a análise numérica pode oferecer dados sobre comportamento mecânico de componentes fabricados a partir de CPR.

Os resultados obtidos com a presença de fibras naturais de algodão permitiram a caracterização das propriedades mecânicas e a avaliação da integridade estrutural dos compósitos.

REFERÊNCIAS

- (1) AGARWAL, B.D.; BROUTMAN, L.J. (1990). **Analysis and performance of fiber composites**. New York: John Wiley.
- (2) ANDERSON, T.L. (1995). *Fracture mechanics: fundamentals and applications*. 2.ed. Boca Raton: CRC Press.
- (3) ASTM D3039/D3039m-95a, 1995, “ Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials”, Philadelphia.
- (4) BLEDZKI, A. K., GASSAN, J. “**Composites reinforced with cellulose based fibers**”. Progress in Polymer Science, v. 24, p. 221-274, 1999.

- (5) BORSOI, Cleide et al. Obtenção e Caracterização de Compósitos Utilizando Poliestireno como Matriz e Resíduos de Fibras de Algodão da Indústria Têxtil como Reforço. **Revista Polímeros**, Caxias do Sul, v. 21, n. 4, p.271-279, 08 jan. 2011
- (6) CASTRO, Bruno Francisco Morte de. **Estudo e Caracterização Mecânica de Compósitos Reforçados com Fibras Naturais**. 2013. 165 f. Tese (Doutorado) - Curso de Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2013.
- (7) GEORGE, J., & SABU, T. (1997). **Short Fiber Reinforced Plastic Composites**. In: N.P. CHEREMISINOFF, Handbook of Engineering Polymeric Materials (pp. 811-838). New York: Marcel Dekker, Inc.
- (8) HOLBERY, J.; HOUSTON D. 2006. Natural-Fiber-Reinforced Polymer Composites in Automotive Applications. **Low-Cost Composites In Vehicle Manufacture**, p.80-86.
- (9) KAILIA, S. and L. Avérous, Biopolymers: Biomedical and Environmental Applications. 2011: Wiley.
- (10) KRENCHER H.: Fiber reinforcement. Akademisk Forlag, Copenhagen (1964).
- (11) PARK, W. J., An Optimum design of simple symmetric laminates under the first ply failure criterion. **Journal of Composite Materials**, V. 16, pp 341-355, 1982.
- (12) PIEKARSKA, Klaudia et al. Polylactide Composites with Waste Cotton Fibers: Thermal and Mechanical Properties. **Polymer Composites**, Union European, p.747-751, 2014.
- (13) SAVASTANO JÚNIOR, H. **Zona de transição entre fibras e pasta de cimento Portland: caracterização e inter-relação com as propriedades mecânicas dos compósitos**. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.
- (14) TOLEDO FILHO, R. D.; ENGLAND, G. L.; GHAVAMI, K. **Comportamento em compressão de argamassas reforçadas com fibras naturais – i. Relação tensão deformação experimental e processo de fratura**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental, Campina Grande, v. 1, p.79-88, 1997.

SIMULATION OF MATERIALS MECHANIC BEHAVIOR COMPOSITES REINFORCED WITH COTTON FIBER

ABSTRACT

Currently, engineering observes a search for materials from renewable sources, they are an excellent alternative to replacing conventional materials. Natural fibers have good mechanical properties, biodegradable and low cost compared to synthetic fibers. This article used two polymeric matrices for comparative purposes: the first was the polylactic acid (biopolymer) and polypropylene (thermoplastic) with high stiffness, low density, and can be recyclable. The reinforcement of cotton has variation in fiber content in the composite, these percentages vary between 20-40%. The program chosen to perform the simulations was the Ansys, which uses the Finite Element Method (FEM) and to characterize the effects and phenomena presented in the middle of the composite analysis. The results obtained with PLA matrix obtained a small advantage as compared to PP composite matrix which allowed the characterization of mechanical properties and evaluation of the structural integrity of the composite.

Keywords: Composites, Cotton fibers, mechanical properties, PP and PLA matrix.