

ANÁLISE DA INTERFACE FIBRA/MATRIZ EM COMPÓSITOS POLIMÉRICOS REFORÇADOS COM FIBRAS DE COCO ¹

Sergio Neves Monteiro ²
Luiz Augusto Hernandez Terrones ³
Eduardo Atem de Carvalho ⁴
José Roberto Moraes d'Almeida ⁵

Resumo

Avaliaram-se as características da interface fibra/matriz em compósitos de poliéster reforçado com fibra de coco. Esta avaliação foi realizada através de medidas da tensão interfacial de cisalhamento e também por observação microestrutural da área de contato fibra de coco/resina poliéster. A partir de ensaios de extração de fibras de coco embutidas em cápsulas de resina poliéster analisou-se por microscopia eletrônica de varredura regiões das fibras que se romperam ou sofreram escorregamento ao serem extraídas da resina. Os resultados revelaram uma tensão de cisalhamento interfacial similar a de outras fibras lignocelulósicas e mostraram também uma razoável adesão interfacial decorrente da natureza heterogênea das fibras de coco, o que facilita a impregnação pela resina.

Palavras-chave: Fibra de coco; Interface fibra/matriz; Tensão interfacial; Microestrutura.

ANALYSIS OF THE FIBRE/MATRIX INTERFACE IN POLIMERIC COMPOSITES REINFORCED WITH COIR FIBERS

Abstract

The characteristics of the fiber/matrix interface in polyester composites reinforced with coir fibers have been evaluated. This was carried out both, by measuring the interfacial shear strength and by microstructural observation of the coir fibers/polyester resin contact area. Tests of coir fiber extraction from resin sockets allowed an analysis, by scanning electron microscopy, of regions where the fibers underwent rupture or suffered pullout during extraction. The results showed an interfacial shear strength similar to other lignocellulosic fibers. Moreover, a reasonable interface adhesion was obtained owing to the heterogeneous nature of the coir fibers, which facilitates the resin impregnation.

Key words: Coir fiber; Fiber/matrix interface; Interfacial strength; Microstructure.

¹ Contribuição técnica apresentada na 61º Congresso Anual da ABM, de 24 a 27 de julho de 2006, Rio de Janeiro – RJ

² PhD, Laboratório de Materiais Avançados – LAMAV, Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense, CCT/UENF, Av. Alberto Lamego, 2000, 28015-620, Campos dos Goytacazes, RJ – Brasil. sergio.neves@iq.com.br

³ DSc, LAMAV – CCT/UENF.

⁴ PhD, LAMAV – CCT/UENF.

⁵ DSc, Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC-Rio, Rua Marques de São Vicente, 225, 22453-900, Rio de Janeiro, RJ – Brasil.

INTRODUÇÃO

O coqueiro, cientificamente conhecido como *Cocos nucifera*, é um tipo de palma de ocorrência generalizada em todas as regiões tropicais da terra tendo, em muitos países, relevante participação econômica pelo uso culinário da água e da polpa do seu fruto. O tronco e as folhas do coqueiro também são utilizados com finalidades que variam da obtenção de energia térmica por simples queima até cobertura de casas. Estes usos, embora sejam importantes para comunidades localizadas perto de coqueirais, não agregam muito valor aos produtos. Nas últimas décadas esforços de pesquisa e desenvolvimento vêm sendo realizados para o aproveitamento tecnológico das fibras que podem ser extraídas de diversas partes do coqueiro.⁽¹⁻⁴⁾

Em particular, as fibras contidas no fruto, tanto verde como seco, já encontram utilizações com repercussão no comércio mundial como o uso em estofamento de automóveis de padrão internacional.^(5,6) Destas fibras lignocelulósicas, as e da camada externa do exocarpo do fruto do coco, conhecidas em inglês como “coir”, apresentam um grande potencial de uso em compósitos de matriz polimérica.⁽⁷⁻¹¹⁾ Para efeito de simplificação, estas fibras extraídas da casca do coco serão, no presente trabalho, denominadas simplesmente como fibras de coco.

Para projetar-se de maneira engenheirada, compósitos reforçados com fibras otimizando-se suas propriedades faz-se necessário avaliar alguns parâmetros como o comprimento crítico das fibras e a resistência da interface fibra/matriz.⁽¹²⁾ Em recente publicação, estes parâmetros foram avaliados, através de ensaios de pullout, para fibras de coco embutidas em matriz de poliéster.⁽¹¹⁾ Verificou-se assim que as fibras de coco em compósitos de matriz poliéster apresentam comprimento crítico para livre desacoplamento (“debonding”)

$$\ell_c = 13,13 \pm 0,42 \text{ mm} \quad (1)$$

Utilizando-se a equação de Kelly e Tyson (13), obteve-se uma tensão cisalhante interfacial de

$$\tau_i = 3,1 \pm 0,9 \text{ MPa} \quad (2)$$

Concluiu-se então que os compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras de coco poderiam apresentar resistência mecânica suficientemente elevada para substituir materiais para construção civil e mobiliário, tais como painéis de gesso e aglomerados.⁽¹¹⁾ Na verdade, estes compósitos de fibra de coco em matriz poliéster, já foram testados em capacetes, coberturas e caixas de correio por Satyanarayana et alli.⁽⁷⁾

Como a interface entre fibra de coco e a matriz de poliéster Eq. (2), é aparentemente o ponto crítico destes compósitos, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a resistência interfacial sobretudo por observação microestrutural direta da área de contato na interface fibra/matriz.

MATERIAIS E MÉTODOS

As fibras de coco utilizadas no presente trabalho foram extraídas de cascas usadas de frutos cultivados para obter a “água de coco” e sua polpa. Estas fibras foram secas ao ar livre, por volta de 25°C, conforme ilustra a Figura 1.



Figura 1. Aspecto das fibras de coco após secagem ao ar livre.

Nenhum tratamento superficial foi aplicado as fibras que tiveram seus diâmetros e comprimentos avaliados estatisticamente conforme mostrado na Figura 2.

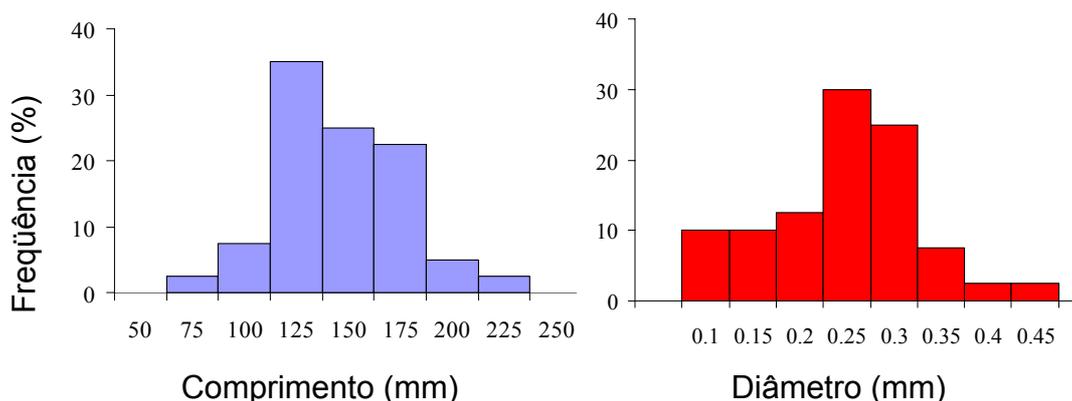


Figura 2. Distribuição estatística do comprimento e do diâmetro das fibras de coco.

Com base nos histogramas da Figura 2, calculou-se um comprimento médio de 143 mm e um diâmetro médio de 0,25 mm para as fibras de coco investigadas.

Ensaio de pullout foram realizadas com fibras embutidas em cápsulas de poliéster conforme procedimento descrito em outro trabalho.⁽¹¹⁾ Nestes ensaios, o conjunto fibra de coco/cápsula de poliéster é tracionado até que ocorra um dos seguintes eventos: ou o desacoplamento da fibra, soltando-se da matriz de poliéster, ou ruptura da fibra fora da cápsula sem se desacoplar da mesma.

Conforme mencionado, a interpretação dos ensaios de pullout da fibra de coco bem como o cálculo do comprimento crítico e da tensão cisalhante interfacial já foram tratados em outra publicação.⁽¹¹⁾

Dentro do objetivo do presente trabalho foram realizadas observações microestruturais por microscopia eletrônica de varredura, MEV, de fibras de coco soltas e após terem sido submetidas ao ensaio de pullout. As observações por MEV foram realizadas em um microscópio Jeol, modelo JSM 6460 LV, operando a 15 kV. As amostras foram previamente cobertas com ouro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 exemplifica gráficos de carga vs. extensão em tração obtidos em ensaios pullout onde: (a) ocorreu desacoplamento da fibra e (b) ocorreu ruptura da fibra, sendo L o comprimento embutido.

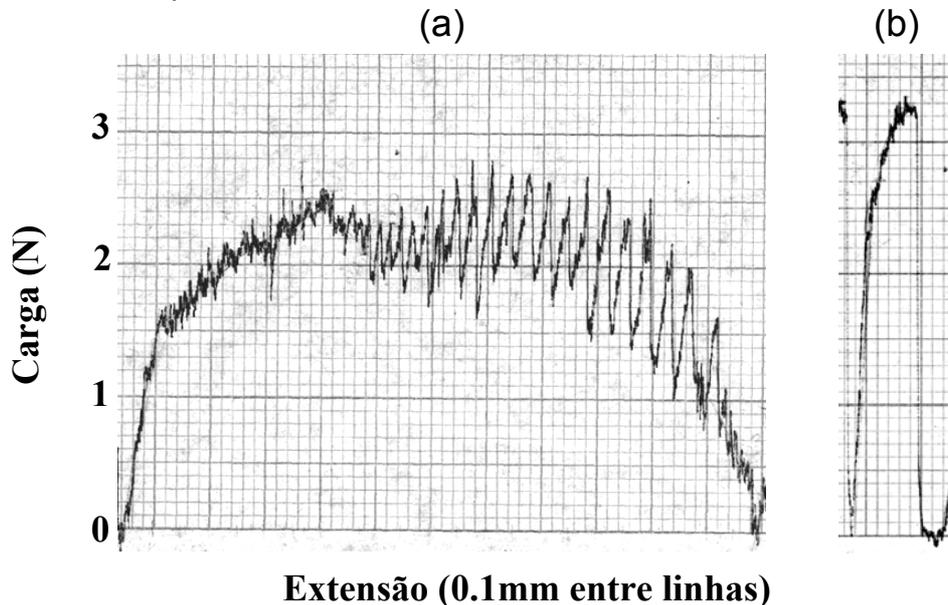


Figura 3. Exemplos de gráficos obtidos em ensaios de pullout de fibras de coco: (a) com desacoplamento – L= 20 mm e (b) com ruptura da fibra – L=30 mm.

Na Figura 3 observa-se que no caso da fibra desacoplar-se da matriz de poliéster, Figura 3 (a), este fenômeno não é imediato mas vai se sucedendo através de flutuações no valor da carga de tração. Esta situação é típica de comprimento de fibra embutidos na matriz menores ou da ordem do comprimento máximo para o desacoplamento.^(14,15) Por outro lado, no caso da fibra romper-se abruptamente no ensaio de pullout, Figura 3 (b), a curva de carregamento é imediatamente interrompida após um trecho inicial de deformação plástica levemente serrilhada. Esta situação é típica de comprimentos de fibra embutidas na matriz bem maiores que o comprimento crítico. Sempre ocorre este tipo de curva, Figura 3 (b), para comprimentos embutidos associados ao patamar horizontal da curva de pullout.⁽¹¹⁾ Neste patamar, o nível de tensão é comparável ao da resistência à tração da fibra.

A Figura 4 ilustra, por MEV, o aspecto típico de uma fibra de coco rompida após um simples ensaio de tração.

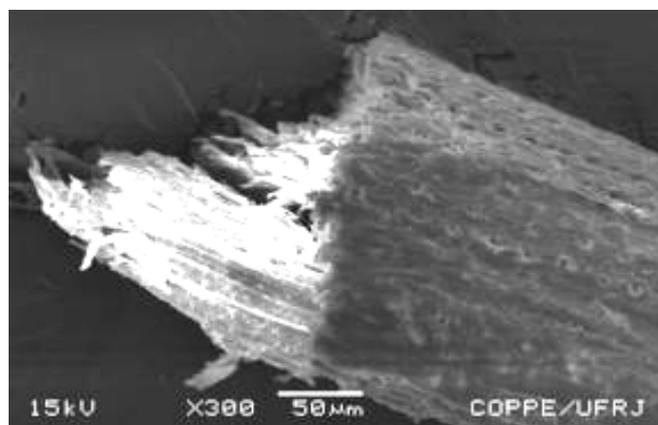


Figura 4. Fibra de coco rompida em tração.

Alguns pontos devem ser notados em relação à micrografia da Figura 4. Em primeiro lugar é importante observar que a superfície da fibra, parte não rompida, é naturalmente áspera sendo coberta por reentrâncias e saliências. Este fato já havia sido observado em outro trabalho⁽⁴⁾ onde foi sugerido que as saliências e reentrâncias, em princípio, facilitam a impregnação da superfície da fibra de coco pela resina poliéster. Em conseqüência, a rugosidade superficial contribuirá para maior resistência ao cisalhamento na interface fibra de coco/matriz poliéster.

Outro ponto relativo à Figura 4 é a característica da região da fratura da fibra de coco. Como é comum nas fibras lignocelulósicas, a ponta da fratura é formada por inúmeras fibrilas que devem ser rompidas individualmente para a separação final. Este mecanismo acarreta a serrilhação verificada na curva de carregamento, Figura 3 (b), pouco antes de ser atingida a separação final no ponto máximo da curva.

A Figura 5 mostra o aspecto por MEV de uma fibra de coco que sofreu desacoplamento da matriz de poliéster em um ensaio de pullout. De um modo geral, o principal aspecto a ser observado na Figura 5 é a camada de resina, parte mais clara parcialmente aderida à superfície da fibra.

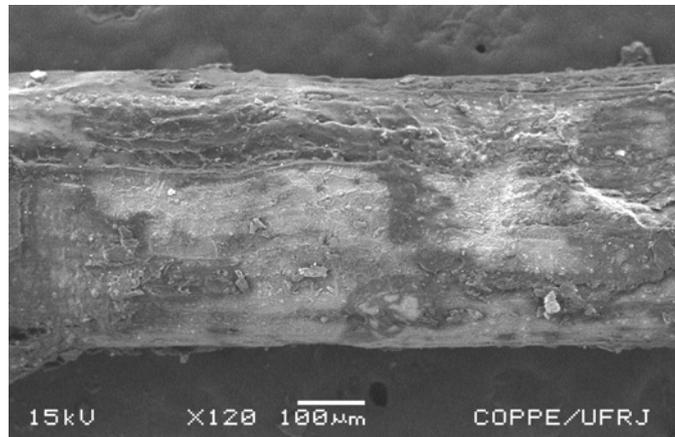


Figura 5. Aspecto geral de uma fibra de coco após desacoplamento da matriz de poliéster em um ensaio de pullout.

A Figura 6 mostra, com maior aumento, detalhe da cobertura de resina aderida à matriz. Nesta Figura revela-se também a interação da resina com uma fileira de saliências próprias da superfície da fibra de coco. Este fato indica o papel que as saliências representam para a aderência da resina à superfície da fibra.

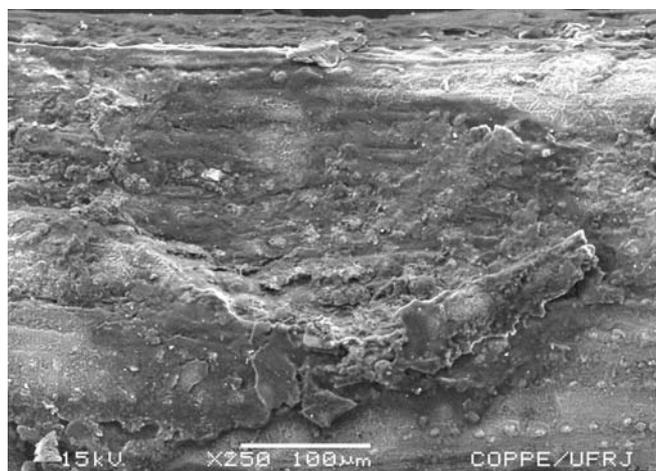


Figura 6. Camada de poliéster aderida e interagindo com saliência na superfície da fibra de coco.

A Figura 7 apresenta por MEV uma fibra que, apesar de estar coberta com resina, iniciou um processo de ruptura longitudinal. Esta figura é importante para mostrar a complexidade do comportamento da fibra de coco no ensaio de pullout.

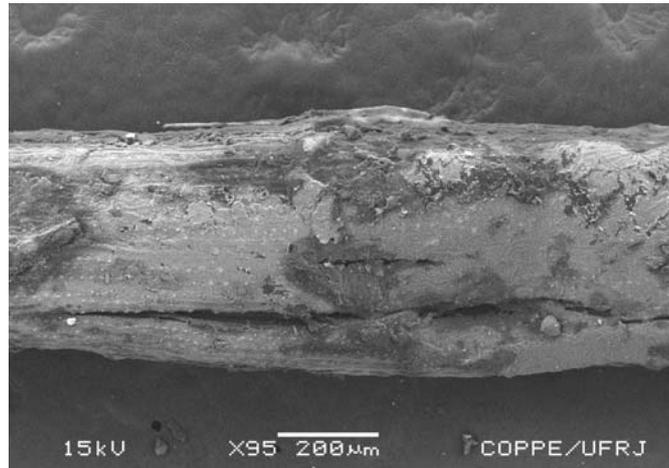


Figura 7. Início da ruptura longitudinal em fibra desacoplada da matriz em um ensaio pullout.

Verifica-se na Figura 7 que, mesmo tendo sido desacoplada da matriz, a fibra de coco sofreu em processo inicial de fratura. No caso em questão, o comprimento embutido do ensaio de pullout foi de 20 mm que é superior ao comprimento crítico de 13,13 mm,⁽¹¹⁾ mas inferior ao início do patamar horizontal que só ocorre para comprimento embutido acima de 25 mm. Isto significa que valores embutidos iguais ou inferiores ao comprimento crítico correspondem a um desacoplamento direto da matriz através de uma trinca próxima à interface com a fibra. Por outro lado, valores embutidos maiores que o comprimento crítico, mas inferiores ao início do patamar de ruptura direta da fibra, estão associados a diferentes trincas ou ramificações. Como observado na Figura 7, uma trinca principal desacoplou a fibra da matriz, ora se propagando pela resina e ora exatamente na interface. Existe também a possibilidade da superfície exposta na Figura 7 não ter tido boa impregnação pela resina. Outras trincas ou ramificações da trinca principal iniciaram um processo de ruptura longitudinal por dentro da fibra.

A Figura 8 mostra em detalhe uma trinca longitudinal iniciando um processo de ruptura da fibra que não se consumou uma vez que acabou ocorrendo desacoplamento no ensaio de pullout.

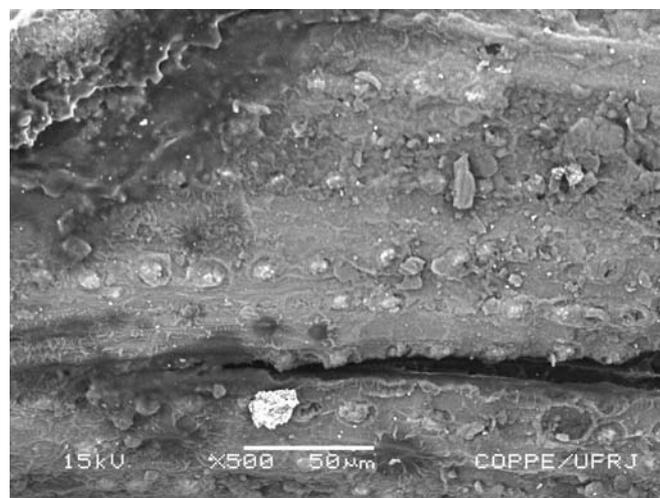


Figura 8. Trinca longitudinal na fibra de coco desacoplada da matriz após ensaio de pullout.

É importante verificar na Figura 8 que a trinca nitidamente exhibe associação com uma fileira de saliências na superfície. Ou seja, se por um lado as saliências ajudam a ancorar a resina, melhorando a resistência interfacial, elas também servem como pontos preferenciais de nucleação de trincas longitudinais. Obviamente que as trincas longitudinais correspondem à separação das fibrilas e não ao processo de ruptura transversal das mesmas como está mostrado na Figura 4.

Como observações finais, é relevante enfatizar que o processo de desacoplamento da fibra de coco em relação à matriz poliéster aparenta ser mais complexo do que o correspondente para fibras sintéticas como nylon (14) e a aramida (15). Esta complexidade deve-se à microestrutura das fibras lignocelulósicas que são formadas por feixes de fibrilas bem como rugosidade (saliências e reentrâncias) na superfície. Por um lado, a rugosidade ajuda na impregnação da resina sobre a fibra melhorando a resistência interfacial. Por outro lado, as fibrilas podem se desprender, uma das outras, ocasionando trincas longitudinais cuja nucleação é facilitada por concentração de tensão nas saliências superficiais. Isto tende a piorar a resistência na interface fibra/matriz.

CONCLUSÕES

A superfície das fibras extraídas da casca de coco apresenta rugosidades na forma de saliências e reentrâncias que afetam a resistência ao cisalhamento da interface com matriz de poliéster.

A rugosidade superficial das fibras de coco, particularmente as saliências dispostas como fileiras de pequenos nódulos, ajuda na impregnação da resina durante o processo de cura e assim melhora a resistência interfacial.

Em contraste com estas vantagens, as saliências são também pontos de concentração de tensões facilitando a separação das fibrilas no feixe que forma uma fibra lignocelulósica do coco e gerando, assim, trincas longitudinais. Isto contribui para diminuir a resistência na interface fibra de coco/matriz de poliéster.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio a esta pesquisa, na forma de recursos e bolsas, concedidos pela FAPERJ, CAPES e CNPq. É também motivo de agradecimento a permissão para o uso de MEV da COPPE/UFRJ e a colaboração prestada pelos técnicos Márcia Soares Seder e Felipe Sabatino Gonçalves Vieira.

REFERÊNCIAS

- 1 SATYANARAYANA, K.; PILLAI, C.K.S.; SUKUMARAN, K.; PILLAI, S.C.K.; ROHATGI, P. K.; VIJAYAN, K. J. Structure property studies of fibres from various parts of the coconut tree. **Mater. Sci.**, v. 17, p. 2453 – 2462, 1982.
- 2 VENKATASWAMY, K.G.; PILLAI, C.K.S.; PRASAD, V.S.; SATYANARAYANA, K.G. Effect of weathering on the mechanical properties of midribs of coconut leaves. **J. Mater. Sci.**, v. 22, p. 3167 – 3173, 1987.
- 3 CALADO, V.; BARRETO, D.W.; D'ALMEIDA, J.R.M. The effect of chemical treatment on the structure and morphology of coir fibers. **J. Mater. Sci. Letters**, v. 19, p. 2151 – 2154, 2000.
- 4 MONTEIRO, S.N.; TERRONES, L.A.H.; D'ALMEIDA, J.R.M.; OLIVEIRA, L.B. Aplicações Tecnológicas para Compósitos Poliméricos de Mantas de Fibra de Coco, In: 60^o CONGRESSO ANUAL DA ABM, 2005, Belo Horizonte, Brasil, 1 CD, p.1540-1548.
- 5 SCHUH, T.G.; CAYER, U. **Lignocellulosic – Plastic Composites**, Botucatu: USP/UNESP, 1997, p 181 – 195.
- 6 SATYANARAYANA, K.G.; SUKUMARAN, K.; KULKARNI, A.G.; PILLAI, S.G.K.; ROHATGI, P.K. Fabrication and properties of natural fibre-reinforced polyester composites. **Composites**, v. 17, p. 329 – 333, 1986.
- 7 ROUT, J.; MISRA, M.; TRIPATHY, S.S.; NAYAK, S.K.; MOHANTY, A.K. The influence of fibre treatment on the performance of coir-polyester composites. **Comp. Sci. Technol.**, v. 61, p. 1303 – 1310, 2001.
- 8 HILL, C.A.S.; KHALIL, H.P.S.A. The effect of environmental exposure upon the mechanical properties of coir or palm fiber reinforced composites. **J. Appl Polym. Sci.**, v. 77, p 1322 – 1330, 2000.
- 9 MONTEIRO, S.N.; DE DEUS, J. F.; AQUINO, R.C.M.P.; D'ALMEIDA, J.R.M. Pullout Tests of Coir Fibers to Evaluate the Interface Strength in Polyester Composites, In: CHARACTERIZATION OF MINERALS, METALS & MATERIALS TMS CONFERENCE, 2006, San Antonio, EUA, 1 CD, p. 1-8.
- 10 HULL, D., CLYNE, T. W. **An Introduction to Composite Materials**, Cambridge, Inglaterra: Cambridge Univ. Press, 2^a ed., 1996.
- 11 KELLY, A., TYSON, W. R. **High Strength Materials**, Nova York, EUA: Wiley, 1965.