Propriedades de Compósitos de Polipropileno Reforçado com Fibra de Coco

M. V. Gelfuso, M. B. Cavalcante, P. V. G. Silva, J. A. Castro e D. Thomazini

***Resumo*- Fibras de coco são excelentes candidatas para reforçarem matrizes poliméricas, pois constituem resíduos que apresentam propriedades mecânicas atraentes. Neste trabalho, caixas de distribuição de energia compostas por polipropileno (PP) reforçado com fibras de coco (contendo até 20% em peso de fibra) foram produzidas por moldagem sob injeção. Fibras tratadas química (NaOH 2%-amostras CCUV) e mecanicamente (agitação em ultrassom - amostras CMUV) foram utilizadas para compor o compósito. Caracterizações quanto à absorção de água, propriedades mecânicas e elétricas foram feitas em amostras retiradas das caixas e os resultados foram comparados com aqueles obtidos para amostras de caixas contendo fibras não tratadas. Os compósitos CMUV apresentaram valores de resistência mecânica e elétrica superiores às amostras CCUV e àquelas de PP-Fibra sem tratamentos superficiais. Isto sugere que este material poderá compor as caixas de distribuição de energia, sendo qualificados para a utilização no setor elétrico.**

***Palavras-chave*— Compósitos, Fibra de Coco, Polipropileno, Propriedades Mecânicas, Desenvolvimento e Aplicação de Novos Materiais.**

I. Introdução

Compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais tem sido tema de interesse permanente de vários especialistas durante as últimas décadas [1-4]. O desenvolvimento sustentável, a redução da demanda por materiais de origem fóssil e a redução da produção de resíduos são fatores que se relacionam entre si e que, bem conduzidos, podem resultar em benefícios importantes para a vida humana. Muitas fibras e cargas vegetais constituem resíduos da atividade agrícola e seu aproveitamento, além de lhes prover um destino final racionalizado, pode reduzir os custos de preparação do produto final [5, 6]. O crescente interesse no uso de fibras naturais na preparação de compósitos poliméricos constitui uma alternativa de obtenção de novos e interessantes materiais com menor impacto ambiental porque permite substituir parte dos polímeros obtidos a partir de material fóssil por fibras de origem agrícola, de caráter renovável e biodegradável.

Nesse contexto, o Brasil na qualidade de concentrador de uma das mais ricas biodiversidades do planeta, tem um papel fundamental. Entretanto, embora esta seja a realidade de países da Europa e EUA, no Brasil, a utilização de sistemas e materiais alternativos em setores como o da construção civil, ou elétrico ainda se encontra em estágio pouco desenvolvido [7]. Podemos salientar alguns estudos que têm sido realizados a nível nacional, tais como:

1. Emprego da casca de banana na fabricação de tijolos [8];
2. Aplicação de cal pozolânica reforçadas com fibra de sisal [9];
3. A utilização de resíduos da indústria de papel na produção de materiais para vedação como painéis divisórios ou placas para forro [10];
4. Confecção de argamassa a partir da lama de cal com cinzas de eucalipto e introdução de fibras da casca de coco.
5. Utilização de rejeitos compósitos, fibra-de-vidro/resina poliéster, moídos no cimento [11];
6. Utilização de fibras vegetais na construção civil (fibra de coco, sisal, celulose de sisal e celulose reaproveitada a partir de jornal desfibrado) [12].

Em termos de aplicação tecnológica, a importância e popularidade atribuída a estes materiais compósitos, a base de fibra natural, decorrem de características como resistência mecânica, leveza, rigidez, resistência à corrosão e baixo impacto sobre o meio ambiente [13]. A prática de aplicação destes materiais em substituição aos plásticos de engenharia, por exemplo, pode aliar o barateamento do produto final ao equilíbrio ecológico baseado no aproveitamento de resíduos.

Entretanto, ainda há muito que melhorar no que se refere às propriedades mecânicas e elétricas destes materiais.

Observa-se ainda que na literatura científica há uma deficiência e até mesmo ausência de base cientifica relacionada à degradação sob radiação solar, umidade ou ambientes corrosivos.

Nesse contexto, o Brasil na qualidade de concentrador de uma das mais ricas biodiversidades do planeta e uma economia fortalecida no setor alimentício, tem um papel fundamental.

Em especial, no Nordeste do Brasil, a exuberância dos coqueirais conectados ao setor de turismo sugere a fibra de coco como uma candidata em potencial para compor materiais compósitos.

As fibras de coco são extraídas do subproduto do coco verde, ou seja, de sua casca. No Brasil, a safra de coco estimada é de 1,8 bilhão de frutos/ano com expectativas de aumento para as próximas décadas [14]. Com o aumento con-

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica regulado pela ANEEL e consta dos Anais do VI Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (VI CITENEL), realizado em Fortaleza/CE, no período de 17 a 19 de agosto de 2011.

Este trabalho teve o apoio financeiro da Companhia Energética do Ceará - COELCE.

M. V. Gelfuso e D. Thomazini são docentes na Univ. Federal de Itajubá-UNIFEI (e-mails: mvgelfuso@unifei.edu.br; ielthom@unifei.edu.br).

M. B. Cavalcante e P. V. G. Silva são graduandos na Univ. de Fortaleza-UNIFOR (e-mails: micaelbc@gmail.com; pdropvg@gmail.com).

J. A. Castro é funcionário da Companhia Energética do Ceará – COELCE (email:jacastro@coelce.com.br).

tínuo da demanda deste fruto pela indústria alimentícia, os rejeitos do coco verde geram volumes significativos e crescentes de material, que atualmente é enterrado em lixões, causando problemas, especialmente em grandes centros urbanos [15].

Assim, pesquisas têm sido realizadas visando à utilização da fibra de coco como reforço em compósitos poliméricos na indústria da construção civil e no setor automotivo onde já existe um mercado consolidado [16].

A. Compatibilidade Matriz/Fibra vegetal

O uso de poliolefinas como matrizes na fabricação de compósitos com fibras naturais é limitada pela baixa adesão entre os componentes. A modificação da superfície das fibras e o emprego de agentes de acoplamento têm sido métodos utilizados para aumentar essa adesão [17]. O tratamento químico superficial das fibras implica no seu manuseio prévio, com o uso frequente de solventes e posteriores tratamentos térmicos, os quais são desnecessários com a adição de agentes de acoplamento, simplificando assim o processo de fabricação dos compósitos. PP modificado com anidrido maleico (PPAM) tem sido o agente de acoplamento mais utilizado em compósitos de PP com materiais lignocelulósicos [18-20].

O mecanismo de compatibilização usualmente descrito propõe a formação de ligações covalentes entre os grupos anidrido reativos do polímero funcionalizado e os grupos hidroxila das cadeias de celulose presentes na fase dispersa [21].

Além das ligações covalentes, interações do tipo ligações de hidrogênio também são formadas, conforme ilustrado na Figura 1. O entrelaçamento das cadeias da matriz polimérica com a cadeia carbônica do agente de acoplamento estabelece a interação necessária para promover a adesão entre as fases.

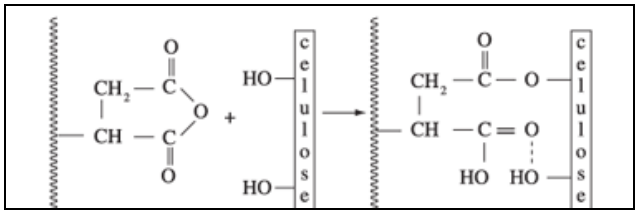

Figura 1- Mecanismo de acoplamento entre o PAPM coma fibra celulósica.

Por outro lado, é conhecido que as fibras de coco têm uma característica hidrofílica que influencia a sua adesão com matrizes poliméricas hidrofóbicas durante a fabricação do compósito podendo comprometer suas propriedades finais [22].

Por esta razão, diversos métodos de tratamentos superficiais da fibra têm sido estudados para melhorar as propriedades de adesão entre as fibras de coco e a matriz envolvente, bem como para reduzir a absorção de água e aumentar as propriedades mecânicas. Métodos eficazes de tratamentos químicos [23, 24] são utilizados para aumentar a área de superfície disponível para contato com a matriz tais como desparafinagem, acoplamento a agentes silanos ou ataques químicos (ácidos ou básicos). No entanto, a alcalinização é a principal técnica usada em fibras naturais para remover hemiceluloses [25] da superfície das fibras e tem sido proposto como um dos tratamentos menos prejudiciais ao ambiente e o mais barato dentre outros métodos propostos. Contudo, há controvérsias sobre seu uso, alguns são favoráveis [26] e outros autores sugerem que a aplicação deve ser controlada [27].

B. Processos de fabricação de compósitos

O desenvolvimento de processos de fabricação de compósitos não tem ainda uma estratégia tecnológica bem definida apesar da grande demanda por produção destes materiais, frente às vantagens de sua aplicação, segundo o exposto anteriormente. È notória a necessidade em aumentar a produtividade industrial para compósitos a base de fibra natural/polímeros, e métodos para isso ainda não foram explorados.

Por outro lado, a moldagem por injeção é o principal método utilizado pela indústria de plástico, devido a sua alta eficiência.

Portanto, a combinação de técnicas de injeção e de fibras naturais para fabricar produtos industriais, especialmente de fibra de coco, pode ser investigada mais intensivamente e como conseqüência, um balanço do desempenho e aplicações tecnológicas de materiais compósitos pode ser alcançado através de metodologia adequada.

Assim, neste trabalho foram produzidos compósitos a base de fibra de coco e polipropileno, pelo método de injeção, utilizando fibras de coco submetidas a diferentes tratamentos superficiais. Foram estudadas as propriedades mecânicas, elétricas e de absorção de água com a proposta de utilizar este material compósito no setor elétrico como caixa de distribuição de energia para aplicação em sistemas de baixa tensão.

II. METODOLOGIA

Malha de fibra de coco (manta) fornecida pela EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Fortaleza - Brasil) são produzidas a partir de um processo baseado na secagem, moagem e classificação das fibras a partir de cascas de coco verde [28].

A manta foi tratada com solução de 2% em peso de NaOH durante 2 h a 25 °C e em seguida foi lavada com água destilada várias vezes para remover os alcalinos absorvidos e, finalmente, foram secas em estufa a 70 ° C. Posteriormente, as fibras foram tratadas sob irradiação solar por 24 h. O tempo de irradiação solar considerado para o tratamento foi realizado entre 9:00 h e 16:00 h.

Outro conjunto de mantas foi submetido a tratamento mecânico baseado em ondas de choque ultra-sônicas. Neste caso, uma probe de ultassom de 500 W de potência (HORIBA Ultrasonic Processor modelo VC 505) foi usada para emitir ondas mecânicas e produzir erosão na superfície das fibras. Para obter esse efeito, a probe foi introduzida em um recipiente contendo água e as fibras e o tratamento ultrassônico foi mantido durante 1 e 2 horas. Após, a manta foi seca sob a radiação solar durante 24 h.

Os compósitos produzidos por tratamento químico, seguido de radiação UV foram chamados CCUV e o segundo conjunto tratado pelo método mecânico foi chamado CMUV.

A. Preparação do Compósito

A Figura 2 mostra o aspecto físico da manta de fibra de coco em diferentes etapas da preparação de compósitos.

Várias mantas de fibra de coco foram cortadas, empilhados, e prensadas em forma de uma caixa de fibra de coco. Depois disso, essa caixa de fibra de coco foi colocada dentro de um molde para proceder à injeção e produzir o compósito. O polímero termoplástico de polipropileno (PP), utilizado como material da matriz, foi fornecido pela Braskem SA, na forma de homopolímero, tendo peso específico de 0,90-0,91, temperaturas de fusão de 165-171 ° C e cristalinidade de 82%.

Desta forma, caixas de compósitos de polipropileno contendo até 20% em peso de fibras de coco foram conformados através de moldagem por injeção. Para moldagem por injeção, uma máquina injetora Haitian SA2500/1000 (Figura 3) foi utilizada, trabalhando com pressão de injeção de 1057 bar e 175 ^{o}C. Compósitos contendo fibras não tratadas foram produzidos e analisados para comparar a eficiência dos tratamentos propostos.

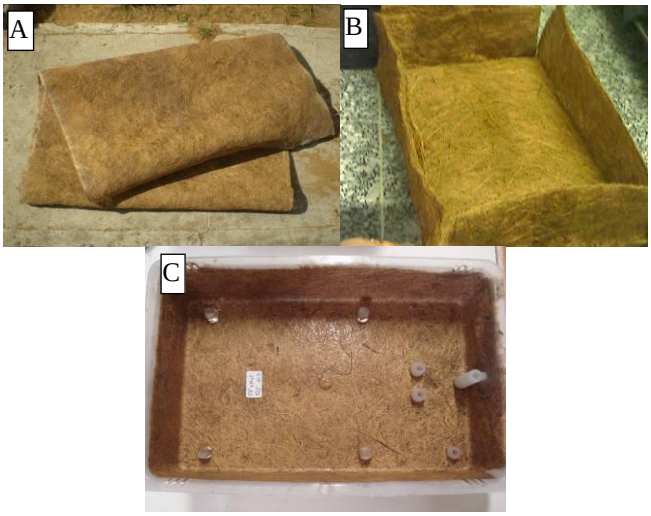

Figura 2-Aspecto físico da manta em diferentes etapas da preparação dos compósitos. A) matéria-prima; B) Manta em forma de caixa e C) PP - compósito de fibra injetado na forma de caixa.

Figura 3- Máquina injetora Haitian SA2500/1000 utilizada na injeção dos compósitos de fibra de coco.

B. Ensaios Mecânicos

Ensaios de tração foram realizados utilizando uma Instron-modelo 4484 (Figura 4), em conformidade com a norma ASTM D638-03. Os corpos de prova foram tracionados sob uma taxa de deslocamento transversal de 5 mm/min. Os valores de limite de resistência foram obtidos a partir da curva tensão-deformação.

Figura 4- Máquina de Ensaios INSTRON 4484 utilizada nos ensaios mecânicos.

C. Absorção de Água

Valores de absorção de água dos compósitos contendo fibras tratadas e não tratadas foram determinados segundo a norma ASTM D 570-98. Com base nesta norma, as amostras foram colocadas em um recipiente com água à temperatura ambiente, e a absorção de água foi medida a cada hora utilizando uma balança de precisão de 0,0001 g. Para cada tipo de compósito, quatro amostras foram testadas e os valores médios são relatados. Todas as amostras, para todos os testes foram extraídas do fundo das caixas.

D. Ensaio de Flamabilidade

Previamente à utilização do anti-chama, foi realizado uma breve investigação das quantidades ideais que deveriam ser inseridas à formulação. Foi decidido acrescentar 22 % de Saytex e 6% de Trióxido de antimônio em função da massa de PP. Os componentes foram misturados, injetados e depois triturados em um moinho de facas para que a mistura ficasse homogênea. Foram formados *pelets* com uma granulometria de 2 mm, ideal para injetar as caixas.

A composição de PP-Fibra (20%) contendo master marron CROMEX (3%) foi selecionada como a melhor formulação para confeccionar as caixas de distribuição protótipo. Depois de injetadas, as caixas foram cortadas para serem retirados os corpos de prova para serem ensaiados quanto à flamabilidade de acordo com a norma - Flamability Classification-IEC 60695-11-10 (29).

E. Propriedades Elétricas

O efeito do tratamento químico sobre as propriedades elétricas foi realizado utilizando a Norma: Avaliação de Resistência ao Trilhamento e Erosão sob Severas Condições Ambientais - NBR 10296 (May/1988). Esta apresenta um método de ensaio brasileiro padrão muito semelhante ao Internacional ASTM D3638 - 07 Standard Test Method for Comparative Tracking Index of Electrical Insulating Materials. Entretanto, a NBR 10296 é mais específica para aplicações industriais.

Como este estudo é parte de um projeto cujo objetivo principal é a produção de caixas que serão empregadas no setor elétrico, estes testes foram realizados utilizando um arranjo experimental definido nesta Norma.

A avaliação da condutividade elétrica dos compósitos foi realizada através da determinação da resistência elétrica de amostras retiradas das caixas injetadas a base de compósito de fibra.

A montagem experimental utilizada para a caracterização elétrica do material da caixa é apresentada na Figura 5. Foram determinados os valores de resistência elétrica e de corrente de fuga das amostras da caixa confeccionada a base de fibra, tratada e não tratada quimicamente.

Figura 5- - Montagem experimental utilizada para a caracterização da resistência elétrica de uma amostra da caixa.

III. Resultados e discussão

A. Resistência Mecânica

A Figura 6 mostra a resistência à ruptura dos compósitos de PP contendo fibras tratadas com NaOH (compósito CCUV) e fibra tratada ultrassom (CMUV). Como a carga de fibra aumentou, a fraca área interfacial entre a fibra e a matriz é aumentada e conseqüentemente há a diminuição da resistência à tração [30]. Esse comportamento pode ser observado em todas as amostras com fibra tratada e não tratada. Indicula *et al* [31], encontraram resultados semelhantes e sugeriram que a alta carga de fibra de coco aumenta a população de fibras, leva a uma aglomeração dos fios que bloqueiam a transferência do reforço diminuindo, assim, a resistência mecânica [32].

Avaliando os tratamentos superficiais, foi observado que o tratamento alcalino não melhorar a adesão fibra-matriz. É sabido que este tratamento é capaz de remover as impurezas naturais e artificiais da superfície da fibra, bem como alterar a estrutura cristalina da celulose [33].

Além disso, dependendo da concentração do tratamento alcalino, pode ocorrer a redução do diâmetro da fibra e, por esta razão o compósito tem diminuída a força de tração. Deve ser notado ainda que as modificações causadas pelo NaOH podem diminuir a resistência da fibra devido ao enfraquecimento de sua estrutura superficial, causada pela desintegração da matéria celulósicas [32].

Outra conseqüência do tratamento químico é uma quebra das pontes de hidrogênio presentes na superfície da fibra tornando-as mais reativas. No caso das fibras não tratadas, os grupos-OH são relativamente não-reativos e fazem ligações de hidrogênio fortes. Além disso, este tratamento alcalino pode levar à fibrilação, ou seja, quebra de fibras em pequeníssimos pedaços deteriorando as propriedades da fibra.

O efeito do tratamento superficial das fibras de coco na resistência à tração pode ser observado na Figura 6. Compósitos CCUV tiveram a força de tração melhorada em 44%, em comparação com os compósitos de fibra-PP sem tratamento.

Neste caso, os compósitos de fibra-PP com 5% em peso de fibra foram preparados para investigar o efeito de modificações de superfície sobre as propriedades mecânicas como resistência à tração dos compósitos.

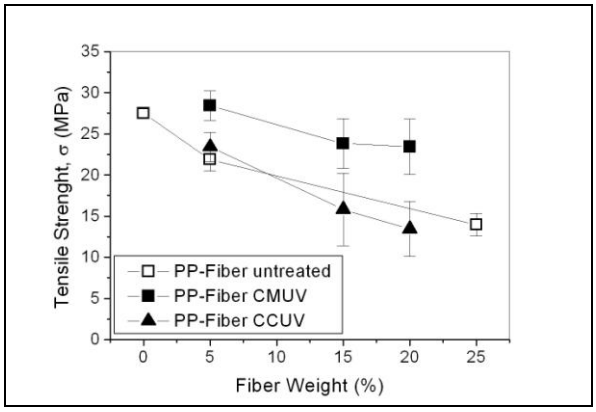

Figura 6-Resistência à ruptura do compósito PP-Fibra não tratada, CCUV e CMUV.

Por outro lado, o tratamento mecânico atribuiu aos compósitos CMUV uma maior resistência à tração (Figura 7).

Este fato pode ser associado ao atrito ocorrido entre as fibras, pois a fricção entre a superfície das fibras desenvolve uma topografia de superfície áspera e aumenta a oferta de área de fibra promovendo uma melhor adesão interfacial matriz-fibra [32].. Conseqüentemente este efeito promove um aumento nas propriedades mecânicas do compósito.

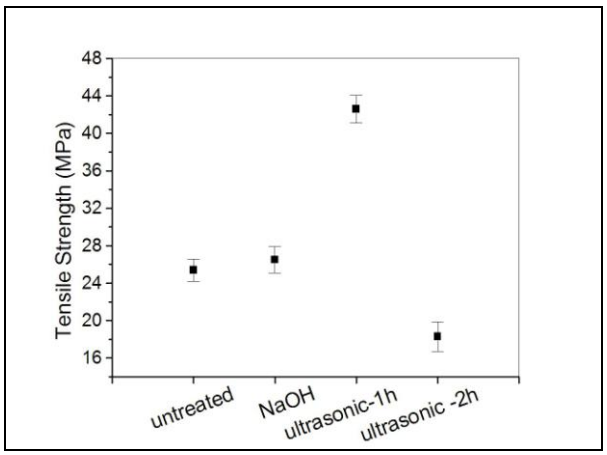

Figura 7- Resistência à tração obtida para os compósitos submetidos a diferentes tratamentos de superfície.

B. Absorção de Água

Os valores de absorção de água dos compósitos CCUV e CMUV são mostrados na Figura 8.

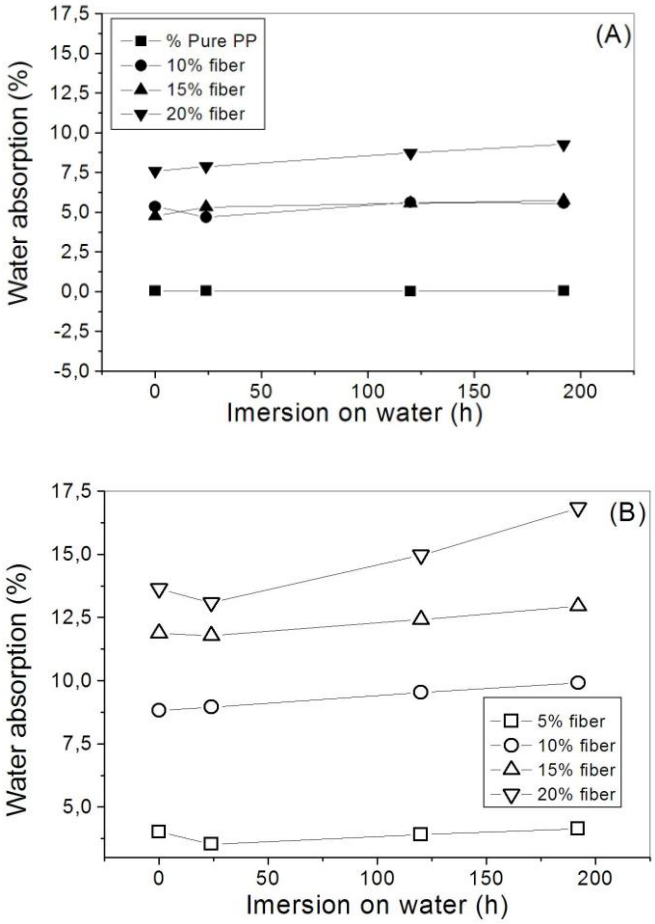

Figura 8-Absorção de água para amostras : (A) PP-fibra (CMUV) tratados e (B) amostras não tratadas.

Absorção de água (%) aumentou ligeiramente, com o aumento na carga de fibra, tanto para as fibras tratadas e não tratadas, e está em acordo com resultados obtidos por Yang [30]. Segundo estes autores, os grupos hidroxila são responsáveis pela absorção de água elevada. Assim, aumentando a carga de fibra, o número de grupos hidroxila no compósito aumenta, aumentando a absorção de água.

Os compósitos contendo fibra de coco, quimicamente tratadas, retiveram menor teor de água em comparação aos compósitos compostos por fibras não tratadas pelo fato de que o tratamento químico diminuiu o número de grupos hidroxila da superfície.

No estado de fibra não tratada, os grupos-OH, considerados relativamente não-reativos, fazem ligações de hidrogênio fortes e por isso são capazes de reter água. Este resultado reforça a idéia de que a modificação da superfície proporciona a remoção destes grupos OH, proporcionando uma melhor adesão mecânica entre a fibra e a matriz e, portanto, reduz a absorção de água.

C. Ensaio de Flamabilidade

A Figura 9 mostra o ensaio de Flamabilidade na modalidade horizontal para uma amostra contendo PP-20% de Fibra-Master e (B) Amostra contendo PP-Master sem fibra. Neste ensaio não foram colocados antichamas nos compósitos para verificar somente qual o efeito da presença ou não de fibras frente às chamas.

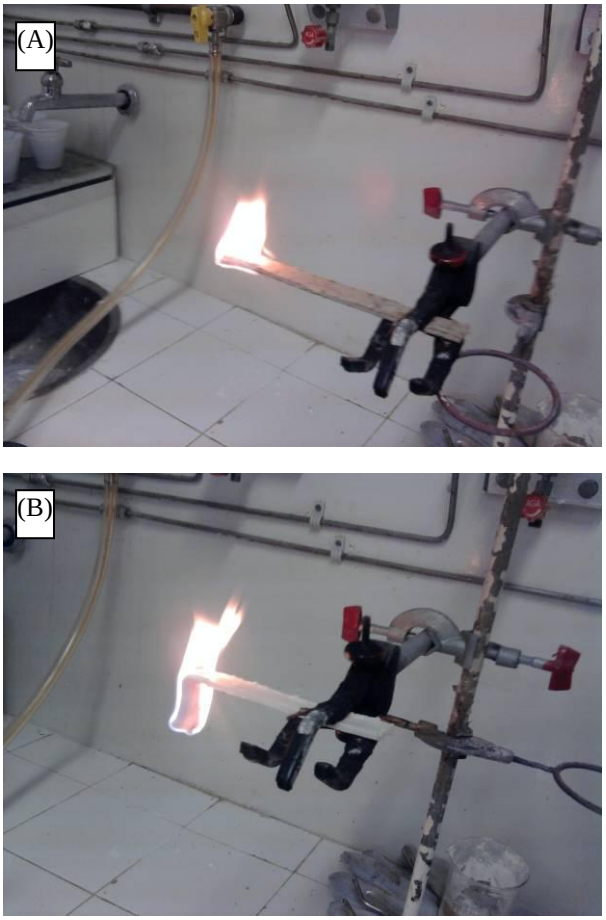

Figura 9-: Ensaio de Flamabilidade:(A) Amostra contendo PP-20% de Fibra-Master e (B) Amostra contendo PP-Master sem fibra.

Um detalhe muito positivo observado foi que quando o compósito está em chamas, a fibra auxilia na manutenção da forma do corpo impedindo que ele amoleça e goteje polímero incandescente. Este efeito negativo de amolecer e gotejar material inflamável pode ser observado na Figura 9 B.

O ensaio das caixas injetadas na modalidade de flamabilidade horizontal, agora contendo o anti-chama comercial foi realizado e registrado em fotos sucessivas conforme ilustra a Figura 10.

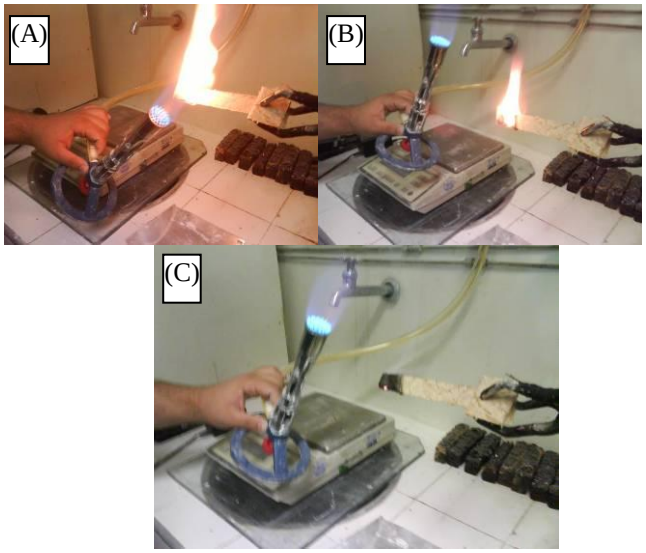

Figura 10- Ensaio de Flamabilidade. (A) Amostra contendo PP-20% de Fibra-Master e 28% de Anti-Chama Comercial no momento em que a chama se aproxima. (B) Momento de retirada da chama. (C) Chama extinguida após 3 s.

A Figura 10A apresenta o momento em que a chama se aproxima, após 30 s a chama é afastada do corpo de prova (Figura 10B), 3 s depois a chama é extinta (Figura 10C). Com este resultado o material pode ser classificado como HB.

Os ensaios para a classificação na modalidade vertical é apresentado na Figura 11. Neste caso a chama permanece 10s junto ao corpo de prova, é afastado para aguardar que a chama seja extinta e em seguida é chama é aproximada durante mais 10s e o corpo de prova deve suprimir a chama. Na caracterização realizada, o corpo de prova eliminou a chama em 3s e assim foi classificado como V-0.

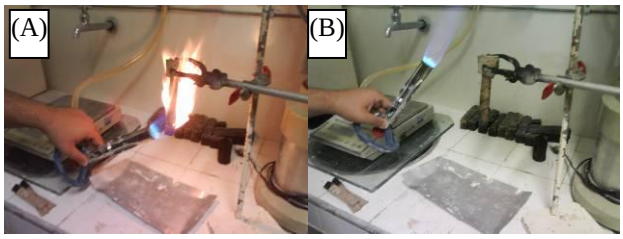

Figura 11- Ensaio de Flamabilidade, modalidade Vertical.(A) momento de aproximação da chama. (B) momento de afastamento da chama quando a chama é extinta.

Assim, com este resultado final a formulação sugerida para confeccionar as caixas de distribuição de energia seria matriz de PP (Homopolímero) contendo 20% de manta de fibra não tratada (fornecida pela COOBCOCO), 3% (em peso de PP) de Master Bege da CROMEX para colorir a matriz, 22 % de SAYTEX e 6 % de Tióxido de Antimônio (Anti-Chama da FORMIQUÍMICA).

D. Efeito do tratamento químico nas propriedades elétricas

A Figura 12 mostra o aspecto visual dos compósitos de PP-fibra após o ensaio de trilhamento elétrico. Na seqüência, à esquerda, pode-se observar que as amostras CMUV não apresentam danos por carbonização, ao contrário dos compósitos de fibra não tratada (amostra ao centro). Como explicado anteriormente, a presença dos grupos OH na superfície das fibras faz com que essas fibras de alta absorção de água formem um caminho para a corrente elétrica e, portanto, marcas de carbonização são formadas na superfície da amostra.

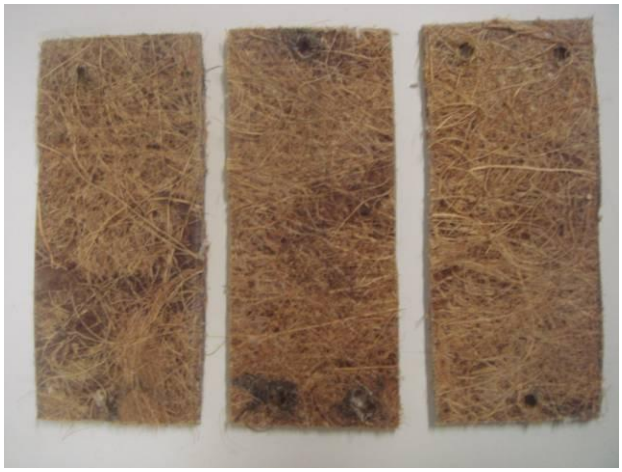

Figura 12- Aspecto Visual do PP compósitos de fibra depois do Trilhamento elétrico. Da esquerda para a direita, CMUV, não tratadas e as amostras CCUV.

Outra observação interessante é que a resistividade diminui com o aumento da carga de fibra (Figura 13). Isto implica que a condutividade aumenta com a adição de fibras de lignocelulose, que é decorrências da presença de grupos polares, que facilitam o fluxo da corrente elétrica.

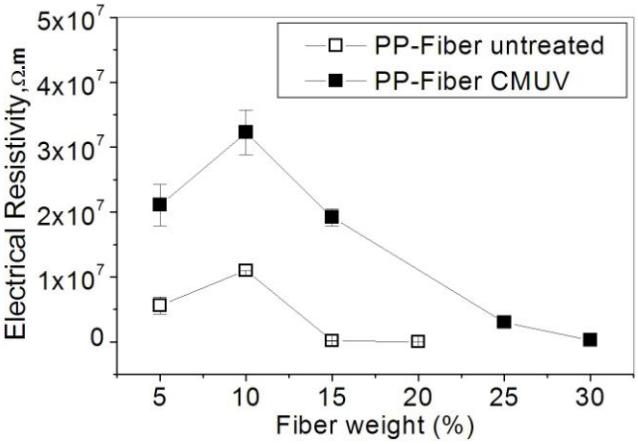

Figura 13- Resistividade elétrica dos compósitos de PP-fibra, não tratada e as amostras CMUV.

Para a maioria dos polímeros é bem sabido que fluxos de corrente através das interfaces das regiões cristalinas/amorfas aumentam com a presença de umidade.

A presença de uma fibra lignocelulósicos (fibra de coco) aumenta o teor de umidade e, conseqüentemente, aumenta a condutividade do sistema.

IV. Conclusão

Tratamentos superficiais a nível mecânico (ultrassom), realizados nas fibras de coco durante 1 hora, produziram compósitos (CMUV) com as melhores propriedades mecânicas em comparação com os compósitos produzidos com fibras não tratadas e com fibras tratadas quimicamente (CCUV). Como conseqüência das modificações superficiais das fibras, a absorção de água foi em relação aos compósitos de contendo fibras sem tratamento superficial.

Em termos de comportamento quanto à flamabilidade, as caixas de distribuição de energia a base de matriz de PP contendo 20% de manta, 3% (em peso de PP) de Master Bege da CROMEX para colorir a matriz, 22 % de SAYTEX e 6 % de Tióxido de Antimônio, representam a formulação mais apropriada para a aplicação das caixas em campo.

Os valores de resistividade elétrica e de trilhamento elétrico apresentados pelas amostras CMUV foram superiores aos obtidos para as amostras contendo fibra não tratada.

Em função dos resultados obtidos para os compósitos CMUV, este material poderá compor as caixas de distribuição de energia, e assim, pode ser considerado como qualificado para ser utilizado no setor elétrico.

V. Agradecimentos

Os autores agradecem as contribuições do Prof. Marcus P. Peixoto pelas análises das medidas elétricas, ao técnico do laboratório de Química, Wellington Lobo pela contribuição de ações e sugestões técnicas valiosas. Ao técnico Karlisbênio Tarso Oliveira de Menezes, pelo auxílio nos ensaios mecânicos.

VI. Referências bibliográficas

1 S.K. Garkhail, W.H. Heijenrath, T. Peijs "Mechanical Properties of Natural-Fibre-Mat- Reinforced Thermoplastics based on Flax Fibres and Polypropylene". *Applied Composite Material,* vol 7, pp.351-372, 2000.

2 K.G. Satyanarayan, A.G. Kulkarni, P.K. Rohatgi, " Fabrication and Properties of Coir Based Ccomposites", *J Scient Ind Res*., vol. 40, pp.222-230, 1981.

3 M. A. Martins, L.H.C. Mattoso, "Short sisal fiber-reinforced tire rubber composites: Dynamic and mechanical properties", *J. Appl. Polym. Sci.* , vol. 91, pp. 670-678, 2004.

4 K. K. CHAWLA, "Composite Materials", Springer-Verlag New York Inc. 1987.

5 V. Jegatheesan, J. L. Liow, L. Shu, S. H. Kim, C. Visvanathan, "The need for global coordination in sustainable development", *Journal of cleaner production*, vol. 17, n. 7, pp. 637-643, 2009.

6 E. F Santos, m. moresco, S. M. L Rosa,S. M. B Nachtigall, " Extrusão de compósitos de PP com fibras curtas de coco: efeito da temperatura e agentes de acoplamento", *Polímeros*, v. 20, n. 3, p. 215-220, 2010.

7 V. Agopyan, V. N John, "Construindo com Fibras Vegetais", *Revista Construção*, vol. 22, pp.17-20, 1990.

8 M. Oliveira, " O que é que a banana tem? Resíduos de banananeira são usados como material de construção e para Fabricação de móveis. In: Sistemas Construtivos com Uso de Resíduos: Uma alternativa para Reduzir o Custo da Habitação Popular", *Semina. Ci. Exatas/Tecnol.*, vol. 16, n. 4, pp. 569-573, 1995.

9 D. F.Oliveira, C.R.S Morais, S. M. R. Patrício, "Caracterização e Desempenho de Argamassas de Cal Pozolânica Reforçada com Fibras de Sisal", *Anais do 42º. Cong. Bras. de Cerâmica*, vol. 1, pp. 105-08, 1998.

10 A. M. Nolasco, M. V. C Agnesini, "Utilização de Resíduos na Indústria de Papel na Produção de Materiais para a Construção Civil", in*: Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído*, vol.5, 1993.

11 L. A. Rzewuski; C. E. Todero, R. I. E Mandelli, J. L. Piazza, " Resistência Mecânica De Cimentos Contendo Fibras de Vidro com Resina Poliéster", *Anais do 11o. Cong. Brasileiro de Eng. e Ciências do Materiais*, v único, pp. 1341-44, 1994.

12 Relatório Final no. 94/94 do Programa de Tecnologia da Habitação (THABA) elaborado para FINEP, Out/1984.

13 G. Cantero, A. Arbelaiz, R. Llano-Ponte , I. Mondragon, "Effects of fibre treatment on wettability and mechanical behaviour of flax/polypropylene composites". Compos Sci Tech , vol 63, pp.1247–54, 2003

14 I. Cunha. Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: www.agricultura.mg.gov.br. Acesso>17/03/2010.

15 Rosa, M. F. "Alternativas para o uso da casca de coco verde". Rio de Janeiro: Embrapa, 1998.

16 D. H. Mueller, A. Krobjilowski. "New discovery in the properties of composites rein forced with natural fibers". Journal of Industrial Textiles. v. 33, pp. 112-127, 2003.

17 X. Li, L. G. Tabil and S. J. Panigrahi, *Polym. Environmental,* vol.15, pp.25-29, 2007.

18 C. A. Correa, C. N. P Fonseca, S. Neves, C. A. Razzino, and E. Hage Jr. "Compósitos Termoplásticos com Madeira Polímeros", vol.13, pp.154, 2003.

19 Rosa, S. M. L.; Ferreira, C. A. & Nachtigall, S. M. B. Thermal and Dynamic-Mechanical Characterization of Rice-husk filled Polypropylene Composites. Macromol. Res., v.17, p.8-13, 2009.

20 Kim, H. S.; Lee, B. H.; Choi, S. W.; Kim, S. & Kim, H. J. The effect of types of maleic anhydride-grafted polypropylene (MAPP) on the interfacial adhesion properties of bio-flour-filled polypropylene composites. Compos. Part A: Appl. Sci. Manufac., v.38(6), p.1473, 2007.

21 Doan, T. T. L.; Gao, S. L. & Mäder, E. Jute/polypropylene composites I. Effect of matrix modification. Compos. Sci. Technol., 66, p.952, 2006.

22 H.Unal, "Morphology and mechanical properties of composites based on polyamide 6 and mineral additives". *Materials & Design*. v. 25, p. 483-487, 2004.

23 A. K Mohanty, M. Misra, G. Hinrichsen. "Biodegradable polymers and biocomposites: an overview". *Macromol Mat Eng,* vol 276/277,pp.1–24, 2000.

24 A. R. Sanadi, S.V. Prasad, P. K. Rohtgi. "Sunhemp fibre-reinforced polyester". *J Mater Sci* , vol. 21, pp.4299-4304, 1986.

25 K.Murali Mohan Rao and K. Mohana Rao. "Extraction of The Tensile Properties of Natural Fibers", Vakka, Date and Bambo". *Journal of Composite Structures,* vol.77, pp. 288–295, 2007.

26 S. Joseph, M.S. Sreekala, Z. Oommen, P. Kosy, S. Thomas "A Comparison of Mechanical Properties of Phenol Formaldehyde Composites Reinforced with Banana Fibers and Glass Fibers". *Composites Science and Technology*, vol.62, pp.1857–1868, 2002.

27 A. K. Bledzki, J. Gassan "Composites Reinforced with Cellulose Based Fibers". Prog. Polymer Science, vol. 24, pp.221–274,1999.

28 O. A. Carrijo, R. S. Liz, N. Makishima. "Fibra da casca de coco verde como substrato agrícola". *Horticultura Brasileira*, vol. 20, pp.533-535, 2002.

29 IDES Plastics Web- Flammability Classification - IEC 60695-11-10- IEC 60695-11-10 Explained. Disponível em> http://www.ides.com/property_descriptions/IEC60695-11-10.asp. Acesso em 08/07/2008.

30 H.S. Yang, H.J. Kim, H.J. Park, B.J. Lee, T.S. Hwang, "Effect of compatibilizing agents on rice husk flour reinforced polypropylene composites". *Compos. Struct.*, vol 77, pp.45–55, 2007

31 M. Indicula, S. K. Malhotrab, K.Joseph, S.Thomas "Dynamic mechanical analysis of randomly oriented intimately mixed short banana/sisal hybrid fiber reinforced polyester composites ", vol 65, pp.1077-1087, 2005.

32 M. S. Sreekala,M. G. Kumaran,S. Joseph,M. Jacob, S. Thomas. "Oil palm fiber reinforced phenol formaldehyde composites: influence of fiber surface modifications on the mechanical performance. *Appl* Comp Mat 7:295–329, 2000.

33 A. K. Mohanty, M. Misra,L. T. Drzal "Surface modifications of natural fibers and performance of the resulting biocomposites: an overview". Compos Interf , vol. 8, pp.313–343, 2001.