

Confecção de Caixas de Medidores Utilizando Compósitos de Resinas Termoplásticas com Fibras Naturais.

P. C. Inone, R. J. Ferracin, K. F. Portella, M. Munaro, A. C. Ribas (LACTEC), J. C. M. Santos, A. C. Rio, M. S. Cabussu (COELBA)

Resumo – Neste trabalho estão sendo mostrados os resultados de estudos visando ao desenvolvimento de caixas para acondicionamento de medidores de energia elétrica, utilizando materiais compósitos à base de resina termoplástica reforçada com fibras naturais. Foram utilizadas fibras de sisal e de coco e polipropileno como matriz polimérica, com a adição de aditivos diversos, visando principalmente obter um material com classe de inflamabilidade V-0. As formulações testadas foram preparadas em: (i) extrusora mono rosca e (ii) extrusora dupla rosca para fins de comparação. As caixas foram injetadas na empresa METALPLASTIC e também foram feitas avaliações preliminares das propriedades mecânicas no modo flexão e também resistência ao impacto. Com as formulações testadas foram obtidas caixas de medidores de energia elétrica que poderão ser utilizadas em processo de produção industrial, sendo que já foi feito o depósito de patente junto ao INPI. Por fim, foi observado que a preparação de formulações em extrusora dupla rosca resultou em compósitos com melhores propriedades mecânicas.

Palavras-chave – caixa de medidor, compósito, fibra de sisal, fibra de coco, retardante de chama.

I. INTRODUÇÃO

Atualmente, caixas para medidores de distribuição de energia elétrica instaladas em residências de consumidores, têm sua base fabricada em Noryl ou Policarbonato. Neste trabalho serão mostrados os resultados de estudos visando ao desenvolvimento de novas caixas utilizando materiais compósitos à base de resina termoplástica reforçada com fibras naturais.

Na preparação dos compósitos foi utilizado o polipropileno, muito empregado na fabricação de recipientes plásticos, e as fibras de coco e de sisal. Para garantir um balanço adequado entre rigidez e resistência ao impacto, foi utilizada uma mistura de PP homopolímero com PP copolímero. Além de propriedade mecânica adequada, as caixas para medidores não devem propagar chama, de acordo com as normas técnicas vigentes. Seguindo-se a tendência de uso de materiais ecologicamente corretos, optou-se por um retardante de chama não halogenado.

Nos últimos anos tem-se notado crescente interesse na pesquisa e desenvolvimento de materiais compósitos utilizando fibras naturais em substituição às fibras sintéticas [1-6]. Entre as inúmeras razões, inclui-se o fato de serem as fibras naturais fonte de matéria-prima renovável e biodegradável, além de fonte de lucro para o setor agrícola. No que diz respeito às suas propriedades, destacam-se: (i) baixa densidade (metade da densidade da fibra de vidro), (ii) baixa abrasividade, que proporciona menor desgaste das máquinas processadoras e (iii) baixa irritabilidade para a pele e para o sistema respiratório.

A tecnologia de fabricação de materiais compósitos pelo processo de incorporação de fibras curtas em resinas termoplásticas tem como principal característica a praticidade, uma vez que a moldagem dos produtos finais pode ser efetuada por máquinas injetoras convencionais, garantindo alta produtividade. Porém, o processo de preparação do compósito, efetuado pela mistura dos componentes em extrusora dupla rosca, ainda deve ser aperfeiçoado a fim de evitar problemas de entupimento no funil da extrusora, pois a alta tenacidade das fibras naturais dificulta o processo de corte no comprimento adequado, sendo que a fibra cortada em pequenos pedaços tem a tendência de se aglomerar, impedindo a dosagem adequada durante o processo de mistura.

II. DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

A. Materiais utilizados

A fibra de coco foi adquirida na forma bruta, em fardo, diretamente do produtor. A fibra de sisal foi adquirida no mercado varejista, sendo que seu uso original era destinado ao reforço de forros de gesso. Os outros componentes utilizados estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Materiais utilizados na preparação dos compósitos.

Componente	Fornecedor	Especificação/Característica
Polipropileno	Brasken	H 201 (MFI = 20)
Polipropileno	Brasken	CP 284R (MFI = 14)
Talco	Comércio varejista	Tamanho médio de part. = 20 µm
Retardante de chama	Clariant	CESA-flam(não halogenado)
Negro-de-fumo	Cromex	Composto concentrado
Compatibilizante	QP-Químicos e Plásticos	PP-anidrido maleico
Antioxidante	Cromex	Composto concentrado

B. Preparação das fibras

As fibras de coco e de sisal, inicialmente na forma de fios longos, foram processadas em um moinho de facas e em seguida peneiradas em peneira de malha 20. As fibras assim obtidas, com 3 a 10 mm de comprimento, foram previamente secadas em estufa a 70°C, por um período de pelo menos 24 horas, antes de serem incorporadas ao compósito.

C. Preparação dos compósitos

C.1. Mistura em extrusora mono rosca

Três formulações contendo fibra de sisal e três formulações contendo fibra de coco, descritas na Tabela 2, foram preparadas em extrusora mono rosca Hansen, modelo H60, gentilmente cedida pela FTT - Faculdade de Tecnologia Tupy - Curitiba. Todos os componentes, com exceção do retardante de chama, foram previamente misturados em uma betoneira antes de serem submetidos ao processo de extrusão. Com este procedimento não se obteve uma pré-mistura satisfatória, pois o sisal apresentou tendência a flocular, produzindo uma mistura heterogênea.

Os componentes, previamente misturados, foram adicionados pouco a pouco ao funil da extrusora. Em virtude da heterogeneidade da pré-mistura, constatou-se, logo no início do processamento, a dificuldade de se alimentar os componentes, tendo sido necessário empurrá-los manualmente com o auxílio de um bastão durante todo o processo de extrusão. O retardante de chama não foi incluído na mistura nesta etapa, mas foi incorporado posteriormente, no momento da injeção das caixas.

A mistura foi extrudada através de uma matriz anular, obtendo-se uma mangueira, que foi cortada em pedaços com aproximadamente 20 cm de comprimento e posteriormente triturada no moinho de facas. Os grânulos obtidos foram utilizados na injeção das caixas.

C.2. Mistura em extrusora dupla rosca

Duas formulações contendo fibra de sisal e uma formulação contendo fibra de coco, descritas na Tabela 3, foram preparadas em extrusora dupla rosca Werner-Pfleiderer, modelo ZSK-30, com 3 alimentadores automáticos, sistema de degasagem, semi-industrial, gentilmente cedida pelo Departamento de Engenharia de Materiais (DEMA) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). A fibra e o talco foram introduzidos por uma abertura na extrusora, localizada a cerca de 40 cm do cabeçote. A utilização de um dispositivo alimentador do tipo rosca sem fim possibilitou que as fibras fossem introduzidas de maneira contínua, embora irregular, provocando constantes oscilações na descarga do material extrudado.

Os outros componentes, com exceção do retardante de chama, foram introduzidos pela abertura no início da extrusora. O retardante de chama não foi incluído na mistura nesta etapa, mas foi incorporado posteriormente, no momento da injeção das caixas.

A mistura foi extrudada na forma de espaguete, sendo continuamente resfriada e granulada.

D. Injeção das caixas

As caixas foram confeccionadas pela METALPLASTICO, empresa fabricante de caixas plásticas para medidores, localizada em Aracaju-SE. Para a injeção das caixas foram utilizados a mesma máquina e o mesmo molde utilizados para fabricação de caixas de medidores em uso comercial. Os grânulos anteriormente produzidos foram misturados a frio com o retardante de chama em pó e introduzidas no funil de alimentação da injetora.

Tabela 2. Formulação dos compósitos preparados na extrusora mono rosca.

Componentes	Formulações (% em peso)					
Polipropileno homopol.	28,7	25,4	18,9	28,7	25,4	18,9
Polipropileno copolím.	15,3	13,6	10,1	15,3	13,6	10,1
Fibra de sisal	20,0	20,0	20,0	0	0	0
Fibra de coco	0	0	0	20,0	20,0	20,0
Retardante de chama	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
Compatibilizante	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Negro-de-fumo	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Antioxidante	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Talco	0	5,0	15,0	0	5,0	15,0
TOTAL	100	100	100	100	100	100

Tabela 3. Formulação dos compósitos preparados na extrusora dupla rosca.

Componentes	Formulações (% em peso)		
Polipropileno homopol.	28,7	25,4	28,7
Polipropileno copolím.	15,3	13,6	15,3
Fibra de sisal	20,0	20,0	0
Fibra de coco	0	0	20,0
Retardante de chama	25,0	25,0	25,0
Compatibilizante	5,0	5,0	5,0
Negro-de-fumo	2,0	2,0	2,0
Antioxidante	4,0	4,0	4,0
Talco	0	5,0	0
TOTAL	100	100	100

E. Ensaios realizados

E.1. Inflamabilidade

Nos ensaios de propagação de chamas, efetuados de acordo com a norma UL-94, foram utilizados corpos-de-prova com dimensões de 125 cm x 13 mm, cortados das caixas. O ensaio foi efetuado com os corpos-de-prova na posição vertical, aplicando-se chama de gás metano com 20 mm de altura, à extremidade inferior, durante 10 segundos, por duas vezes consecutivas.

E.2. Impacto Charpy

Testes de resistência ao impacto Charpy foram efetuados de acordo com a norma ASTM D 256, utilizando corpos-de-prova recortados das paredes laterais das caixas, na forma de lâminas com 127 mm de comprimento por 13 mm de largura. Para compor os corpos-de-prova, três destas lâminas foram empilhadas face a face e fixadas com fita adesiva, obtendo-se barras com espessuras em torno de 10 mm. No centro do corpo-de-prova foi feito, na direção da largura das lâminas, um entalhe em forma de “V”, com profundidade de aproximadamente 3 mm.

E.3. Flexão

Ensaio no modo flexão foram efetuados de acordo com a norma ISO 178, utilizando-se corpos-de-prova recortados das paredes laterais das caixas, na forma de lâminas com 80 mm de comprimento por 10 mm de largura. Os corpos-de-prova foram apoiados em dois suportes horizontais com distância de 65 mm. Uma carga mecânica foi aplicada no centro do corpo-de-prova, à velocidade constante de 2 mm/min, até a ruptura.

E.4. Estabilidade térmica

As caixas foram submetidas ao envelhecimento em estufa, à 100°C, pelo período de 168 horas, após o qual foram retiradas e deixadas em repouso à temperatura ambiente pelo período de 4 dias. Uma inspeção visual nos corpos-de-prova foi efetuada posteriormente, com o objetivo de verificar a ocorrência de alterações provocadas pela exposição prolongada ao calor.

III. RESULTADOS

Uma inspeção visual efetuada nas peças injetadas revela que não ocorreram problemas relacionados com o processamento. As dimensões estão corretas, não houve empenamento, aparecimento de trincas ou rechupes nas peças. Contudo, as peças injetadas possuem superfície fosca e com estrias esbranquiçadas por toda a superfície da peça, revelando má dispersão do retardante de chama. Conforme descrito na parte experimental, o retardante de chama foi incorporado pela mistura direta na máquina injetora, ao invés de ser incorporado durante a preparação do compósito na máquina extrusora. Este procedimento foi adotado porque em testes anteriores, durante a preparação de compósitos realizados em extrusora de rosca simples, foi constatada a ocorrência de desativação do retardante de chama devido ao excesso de calor. A seguir são descritos os resultados dos testes efetuados.

A. Ensaio de inflamabilidade

Em nenhum dos testes efetuados houve propagação de chamas. Todas as formulações foram classificadas como V-0.

B. Ensaio de impacto Charpy

Na Tabela 4 estão mostrados os resultados obtidos para os compósitos preparados na extrusora mono rosca. Os compósitos contendo fibra de coco apresentaram baixa resistência ao impacto, independentemente da quantidade de talco adicionada. Dentre os compósitos contendo fibra de sisal, apenas duas composições apresentaram razoável resistência ao impacto. O maior valor de resistência ao impacto (56 J/m) foi obtido para o compósito contendo PP homopolímero (hom) e PP copolímero (cop) na proporção de 50/50, sem adição de talco.

Na Tabela 5 estão mostrados os resultados obtidos para os compósitos preparados na extrusora dupla rosca. Os valores de resistência ao impacto obtidos são significativamente maiores do que aqueles obtidos em extrusora de mono rosca. O maior valor de resistência ao impacto foi obtido para o compósito contendo fibra de coco, ao contrário do que foi observado para os compósitos preparados na extrusora mono rosca.

C. Ensaio de flexão

Na Tabela 6 estão mostrados os resultados obtidos para os compósitos preparados na extrusora mono rosca. Os compósitos contendo fibra de coco apresentaram baixa tensão de ruptura, independentemente da quantidade de talco adicionada. Os compósitos contendo sisal apresentaram maior tensão de ruptura, com exceção da composição contendo 15% de talco, que apresentou uma queda neste parâmetro. Com relação ao módulo de elasticidade, houve aumento proporcional com a adição de talco.

Tabela 4. Valores de resistência ao impacto Charpy, medidos em J/m, para os compósitos preparados em extrusora mono rosca.

Concentração de talco, %	Fibra de sisal			Fibra de coco, hom/cop = 65/35
	Hom/cop = 65/35	Hom/cop = 50/50	Hom/cop = 40/60	
0	41 ± 3	56 ± 8	44 ± 7	36 ± 1
5	48 ± 4	--	--	38 ± 4
15	32 ± 1	--	--	39 ± 5

Tabela 5. Valores de resistência ao impacto Charpy, medidos em J/m, para os compósitos preparados em extrusora dupla rosca.

Concentração de talco, %	Fibra de sisal, hom/cop = 65/35	Fibra de coco, hom/cop = 65/35
0	51 ± 3	67 ± 2
5	57 ± 5	--

Tabela 6. Parâmetros obtidos no ensaio de flexão de compósitos preparados em extrusora mono rosca. Razão hom/cop = 65/35.

Concentração de talco (%)	Fibra de sisal		Fibra de coco	
	Tensão de rup. (MPa)	Módulo (GPa)	Tensão de rup. (MPa)	Módulo (GPa)
0	40 ± 1	1,9 ± 0,1	33 ± 1	1,6 ± 0,1
5	45 ± 2	2,0 ± 0,1	37 ± 1	2,0 ± 0,1
15	37 ± 2	2,7 ± 0,1	34 ± 2	2,2 ± 0,1

Na Tabela 7 estão mostrados os resultados obtidos para compósitos de sisal, preparados em extrusora mono rosca, contendo diferentes proporções de copolímero. A tensão de ruptura e o módulo de elasticidade aumentam com o aumento na proporção de copolímero na mistura.

Na Tabela 8 estão mostrados os resultados obtidos para compósitos preparados em extrusora dupla rosca. Os valores de tensão de ruptura e de módulo de elasticidade não apresentaram alteração significativa em relação aos valores obtidos para os compósitos preparados em extrusora mono rosca.

Tabela 7. Parâmetros obtidos no ensaio de flexão de compósitos de sisal contendo diferentes proporções de copolímeros, sem adição de talco. Preparação em extrusora mono rosca.

Proporção de copolímero (%)	Tensão de ruptura (MPa)	Módulo (GPa)
35	40 ± 1	1,9 ± 0,1
50	45 ± 1	2,3 ± 0,1
65	46 ± 1	2,3 ± 0,1

Tabela 8. Parâmetros obtidos no ensaio de flexão de compósitos preparados em extrusora dupla rosca. Razão hom/cop = 65/35.

Concentração de talco, %	Fibra de sisal		Fibra de coco	
	Tensão de rup. (MPa)	Módulo (GPa)	Tensão de rup. (MPa)	Módulo (GPa)
0	46 ± 1	1,9 ± 0,1	38 ± 1	1,5 ± 0,1
5	38 ± 2	1,7 ± 0,1	--	--

D. Verificação da estabilidade térmica

Não foi observado nenhum efeito visível na superfície das caixas, seja na forma de rachaduras seja na forma de migração de substâncias líquidas. Também não foi observada ocorrência de empenamento das caixas.

IV. CONCLUSÃO

Os resultados mostram que é possível injetar caixas de medidores utilizando compósitos contendo 20% em peso de fibras naturais. Por outro lado, os resultados demonstram a necessidade de se aperfeiçoar o processo de preparo dos compósitos a fim de se evitar que ocorram interrupções ao longo do processo de extrusão, o que ocorreu tanto utilizando extrusora mono rosca como extrusora dupla rosca. O corte das fibras longas em comprimento menores, que permite sua incorporação ao compósito, é dificultado pela alta tenacidade das fibras naturais utilizadas (sisal e coco). As fibras picadas, por sua vez, apresentam distribuição muito heterogênea de tamanhos, formando, no funil de alimentação da extrusora, um leito de partículas aglomeradas, de reduzida fluidez, que dificulta a dosagem, gerando falta de homogeneidade na composição do produto extrudado. É importante mencionar, entretanto, que em outro teste recentemente realizado, no qual as fibras foram cortadas em pedaços menores e mais homogêneos, os problemas aqui relatados foram minimizados.

Salienta-se também que a incorporação do retardante de chama no compósito pela mistura direta na máquina injetora não promoveu homogeneização adequada. As propriedades mecânicas dos materiais produzidos não foram satisfatórias devido a esta dispersão inadequada do retardante de chama.

O procedimento de incorporar o retardante de chama a posteriori foi utilizado porque se notou, em testes preliminares, que o retardante era desativado pelo excesso de calor durante o processamento em extrusora mono rosca. Entretanto, conforme teste recentemente realizado, quando o processo de mistura é feito em extrusora dupla rosca, o efeito de desativação pelo calor é minimizado.

As propriedades mecânicas dos materiais produzidos não foram satisfatórias devido à má dispersão do retardante de

chama no compósito produzido utilizando-se extrusora mono rosca. Entretanto, na preparação efetuada em extrusora dupla rosca foram obtidos compósitos com melhores propriedades mecânicas.

Com as formulações testadas foram obtidas caixas de medidores de energia elétrica que poderão ser utilizadas em processo de produção industrial, sendo que já foi feito o depósito de patente junto ao INPI.

V. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às Instituições COELBA e ANEEL pelo apoio financeiro, de infraestrutura e de fomento para a realização deste trabalho de pesquisa.

VI. REFERÊNCIAS

- [1] LI, Y.; MAI, Y. W.; YE, L. Sisal fibre and its composites: a review of recent developments. *Composites Science and Technology*, 2000, 60, 2037-2055.
- [2] FUNG, K.L.; XING, X.S.; LI, R.K.Y.; TJONG, S.C.; MAI, Y.W. An investigation on the processing of sisal fibre reinforced polypropylene composites. *Composites Science and Technology*, 63, 1255-1258.
- [3] OKSMAN, K.; MATHEW, A.P.; LANGSTRÖN, R.; NYSTROM, B.; JOSEPH, K.. The influence of fibre microstructure on fibre breakage and mechanical properties of natural fibre reinforced polypropylene. *Composites Science and Technology*, 69, 1847-1853.
- [4] WAMBUA, P.; IVENS, J.; VERPOEST, I. Natural fibres: can they replace glass in fibre reinforced plastics? *Composites Science and Technology*, 63, 1259-1264.
- [5] BRAHMAKUMAR, M.; PAVITHRAN, C.; PILLAI, R.M. Coconut fibre reinforced polyethylene composites: effect of natural waxy surface layer of the fibre on fibre/matrix interfacial bonding and strength of composites. *Composites Science and Technology*, 65, 563-569.
- [6] ANA, E.; VILAPLANA F.; KARLSSON, S. Comparison of water absorption in natural cellulosic fibres from Wood and one-year crops in polypropylene composites and its influence on their mechanical properties. *Composites: part A*, 35, 1267-1276.