

## ESTUDO DA FORÇA DE ADESÃO ENTRE MATERIAIS HÍBRIDOS OBTIDOS POR INJEÇÃO MULTICOMPONENTE

Luciano Pisanu<sup>1</sup>, [luciano.pisanu@fieb.org.br](mailto:luciano.pisanu@fieb.org.br)<sup>1</sup>  
Marcio Luis Ferreira Nascimento, [mlfn@ufba.br](mailto:mlfn@ufba.br)<sup>1</sup>  
Josiane Dantas Viana Barbosa, [josianedantas@fieb.org.br](mailto:josianedantas@fieb.org.br)<sup>2</sup>  
Valter Estevão Beal, [valtereb@fieb.org.br](mailto:valtereb@fieb.org.br)<sup>2</sup>  
Leonardo Santiago, [lecosant@gmail.com](mailto:lecosant@gmail.com)<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal da Bahia – UFBA, Escola Politécnica, R. Aristides Novis, 2 – Federação. 40210-630 Salvador – BA – Brasil

<sup>2</sup>SENAI CIMATEC, Av. Orlando Gomes, 1845 – Piatã. 41650-010 Salvador – BA – Brasil

**Resumo:** O processo de injeção multicomponente ganhou muito espaço na indústria por viabilizar a combinação de materiais diferentes num só processo, possibilitando assim a criação de peças com design diferenciado, menor tempo de fabricação e maior valor agregado. Contudo, um dos desafios desta tecnologia é a união que acontece entre os materiais poliméricos. Neste trabalho, por meio de uma injetora com placa rotativa, foi possível obter corpos de prova sobremoldados com materiais híbridos. Primeiramente foram injetados compósitos de polipropileno com fibra de coco variando o tipo de agente de acoplamento. Posteriormente girando-se o molde 180° forma injetados sob condições controladas um polipropileno de média fluidez. Por meio de um dispositivo especialmente criado para avaliar a força de adesão dos materiais sob esforço cisalhante, foi possível medir a força necessária para promover o descolamento das superfícies. Técnicas de microscopia foram utilizadas para entender melhor o fenômeno de adesão entre os materiais híbridos. Como resultado foi observado que, apesar do aditivo à base de anidrido maleico ter promovido melhores propriedades mecânicas sob tração, o compósito que não utilizou agente de acoplamento apresentou a maior força de adesão entre as superfícies.

**Palavras-chave:** Compósitos, adesão de polímeros, fibra de coco, injeção multicomponente

### 1. INTRODUÇÃO

A injeção multicomponente vem ganhando muita relevância no atual cenário industrial pelo fato de tornar possível a combinação de materiais distintos num só processo, o que permite a fabricação de peças com *design* arrojado, maior valor agregado e menor tempo de fabricação. A sobremoldagem com materiais híbridos, onde um componente é um compósito com fibra natural, é uma opção ecologicamente viável e com apelo de sustentabilidade.

As fibras vegetais, ou lignocelulósicas, têm sido bastante empregadas como reforços em compósitos, principalmente por apresentar baixo custo, baixa densidade, biodegradabilidade e ser de fonte renovável. Como desvantagem, as fibras vegetais são bastante hidrofílicas, o que resulta numa fraca interação com a matriz, que normalmente são hidrofóbicas. Para minimizar esse problema, processos físicos e químicos têm sido empregados para modificar a superfície da fibra visando melhorar a adesão interfacial matriz-fibra (Maya, 2008). A incorporação de fibras naturais polares nos termoplásticos poliolefinicos apolares, necessita da presença de agentes compatibilizantes, para que existam melhores condições de adesão. Pelo fato do compatibilizante possuir grupos funcionais que o torna polar, este reage quimicamente com a hidroxila presente na fibra através de ligações covalentes fortes ou interações secundárias do tipo ácido-base ou ainda pontes de hidrogênio (Santos et al. 2010; Correa, et al., 2003).

O procedimento conhecido como *overmolding*, utilizado neste experimento, é um processo complexo que utiliza moldes múltiplos para produzir uma peça multicomponente. O primeiro material é injetado num molde por meio de técnicas convencionais de moldagem de SMM (*Single Material Molding*) e, em seguida gira em torno do seu próprio eixo por 180° e recebe o segundo material para se combinar com o primeiro (Gupta, 2011). No entanto, a presença de um componente já moldado durante a segunda fase (ou mesmo o uso de fases subsequentes de moldagem) torna esta tecnologia diferente do processo de moldagem por injeção tradicional. Desta forma, muitas razões podem contribuir para problemas de fabricação - dentre estes motivos incluem a incompatibilidade do material, as interações entre os sistemas de refrigeração para as diferentes fases, a localização dos pontos de injeção, moldabilidade do polímero e demais problemas no sistema de ejeção (Banerjee et al. 2007). Outro fator de fundamental importância para uma boa adesão entre polímeros, acontece pela influência em cada uma das três etapas do processo de sobre injeção (plastificação, injeção propriamente dita e resfriamento), chamadas de variáveis de processo (Cavalheiro, 2007; Ahrens et al. 2011). Estas variáveis, devidamente ajustadas, irão garantir a qualidade das peças e a repetitividade do processo.

Para que se obtenha uma boa adesão, devem ser conhecidas as ligações entre dois polímeros que pode ser considerada como uma soma de forças de origem física (principalmente mecânica) e química que se sobrepõem e influenciam umas nas outras (Klemarczyk, 2002). As forças mecânicas se fazem presentes na ancoragem da superfície nos poros e rugosidades. Segundo Da Silva *et al.* (2009), em estudo sobre a ancoragem mecânica na adesão de materiais, reportou que as superfícies ásperas proporcionam melhor aderência; contudo, essa aderência depende de um bom molhamento do adesivo sobre o aderente. Segundo Packham (2003), numa boa adesão existe um contato íntimo entre o aderente e o adesivo, o que se relaciona com as propriedades de molhamento da superfície dos materiais.

Outros mecanismos de adesão consistem nas forças eletrostáticas que surgem a partir da diferença de eletronegatividade entre os materiais. As forças de origem química se fazem presente nas ligações interatômicas primárias iônicas, ou covalentes, ou secundárias, que dependem da energia de ligação entre as moléculas. As forças de van der Waals são as mais comuns em termo de adesão, porém é possível existir interações tipo ponte de hidrogênio e ácido-base, e estas também podem influenciar na adesão (Packham, 2003). Já a teoria de adesão por difusão em polímeros se baseia na interpenetração das cadeias poliméricas entre os componentes na interface de contato. A autodifusão é representada por diversas teorias, como a do acoplamento por entrelaçamento, cooperatividade e a teoria da reptação, que tem sido bastante aplicada para explicar a adesão entre polímeros (Wool, 2002).

Existem poucas metodologias associadas ao estudo da força de adesão de materiais poliméricos, e uma norma bastante utilizada para avaliar a resistência da união de materiais é a “T Peel Test” - ASTM D1876 com as suas variações de métodos como: *Floating roller (or without rollers) moving table; Floating roller (115 degrees); Peel wheel; 180 degree peel e T peel* (Kraus *et al.*, 2015). Estas tecnologias se concentram em mensurar a força necessária para o descolamento de duas superfícies em uma espécie de descascamento, sem avaliar a força necessária para deslocar uma superfície sobre a outra pela força de cisalhamento à 180°.

Como meio de avaliar a força de adesão entre polímeros híbridos, este trabalho tem como objetivo criar uma metodologia específica, através de um dispositivo mecânico descrito na patente BR 10 2016 021054 2, que permite medir a força de adesão de dois materiais sobreinjetados *in situ* na região de sobreposição sem a influência de forças resultantes do momento fletor.

## 2. METODOLOGIA

Com o objetivo de analisar a força de adesão entre polímeros e compósitos de fibra de coco sobreinjetados foram confeccionados corpos de prova injetados e submetidos a um ensaio de tração e impacto. A fim de avaliarmos a força de adesão das amostras sobremoldadas, utilizamos um dispositivo específico proposto neste estudo, e patenteado pelos autores deste trabalho. Como investigação complementar, utilizou-se a microscopia ótica na região da superfície dos compósitos a fim de correlacionar os resultados. Desta forma, o experimento adotou a seguinte metodologia: seleção e preparação das matérias-primas; programação dos parâmetros de injeção; moldagem dos corpos de prova; adaptação dos corpos de prova ao dispositivo; elaboração do método para o ensaio mecânico; e realização dos ensaios de cisalhamento.

### 2.1 Seleção e Preparação dos Compósitos

Para examinar qual formulação proporcionaria um melhor molhamento da fibra de coco na matriz polimérica foram preparadas quatro formulações com diferentes agentes de acoplamento. O polipropileno selecionado foi o EP 440L adquirido na Braskem, do tipo copolímero heterofásico de eteno com fluidez de 6,0 g/10min pela norma ASTM D 1238. Foram utilizadas fibras de coco secas e pré-lavadas com água gentilmente fornecidas pela empresa Frysk Industrial, do Grupo Aurantiaca (<http://aurantiaca.com.br>), situada na região de Conde – Bahia, Brasil. Os agentes de acoplamento utilizados foram: i) Orevac CA 100, um polipropileno (PP) funcionalizado com anidrido maleico; ii) Orevac 18507, um polietileno (PE) funcionalizado com anidrido maleico (ambos fornecidos pela empresa Arkema); iii) Cesa® Mix PEA0601031 da Empresa Clariant, um aditivo que combina lubrificantes baseado em estearamina e um titanato como agente de acoplamento que utiliza como matriz o polietileno. Neste trabalho foram, portanto, testados aditivos de acoplamento com bases PE e PP para verificar qual apresentaria melhor interação entre a matriz polimérica do copolímero e a fibra de coco. A identificação e composição das formulações é apresentada na Tabela 1. É importante ressaltar que as porcentagens são em relação à massa total das amostras. Cada formulação foi pré-misturada e dosada na alimentação principal da extrusora dupla rosca corrotante modelo DRC 30:40, diâmetro de rosca de 30 mm e razão L/D de 40, fabricada pela Imacon. O processamento do compósito seguiu os seguintes parâmetros de processamento para o perfil de temperatura:  $Z_1=155\text{ }^{\circ}\text{C}$  ;  $Z_2=160\text{ }^{\circ}\text{C}$  ;  $Z_3=165\text{ }^{\circ}\text{C}$  ;  $Z_4-Z_7=170\text{ }^{\circ}\text{C}$  ;  $Z_8-Z_{10}=190\text{ }^{\circ}\text{C}$  ;  $Z_{11}=32\text{ }^{\circ}\text{C}$ . O perfil de rosca utilizado no processo é o mais comum para o tipo de compósito do experimento.

**Tabela 1. Formulações utilizadas na preparação das amostras.**

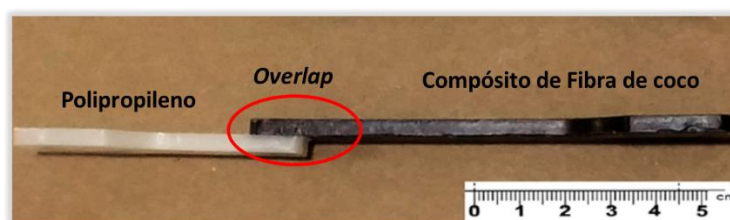
| Formulações | PP EP 440L (%) | Fibra Coco (%) | Orevac CA 100 (%) | Orevac 18507 (%) | Cesa® Mix (%) |
|-------------|----------------|----------------|-------------------|------------------|---------------|
| PPFC        | 70             | 30             | -                 | -                | -             |
| PPOCA100    | 64             | 30             | 6                 | -                | -             |
| PPO18507    | 64             | 30             | -                 | 6                | -             |
| PPCM        | 64             | 30             | -                 | -                | 6             |

## 2.2 Preparação das Amostras Injetadas

Após a obtenção dos compósitos, os materiais foram estufados por 8 horas e injetados numa injetora ROMI Primax 100R com uma vazão de 120cm<sup>3</sup>/s, pressão de 950 bar e temperatura de fundido de 200 °C. As amostras sobreinjetadas foram confeccionadas numa injetora ARBURG Allrounder 70 a partir de duas unidades injetoras multicomponente, uma na horizontal denominada unidade 1, que injetou as formulações de compósitos obtidas e, outra na vertical denominada unidade 2, destinada à sobreinjeção do polipropileno, seguindo a programação estabelecida na Tabela 2. Com a ajuda de uma placa rotativa, foi possível obter os corpos de prova com materiais dissimilares e uma interface entre os materiais que formam o corpo de prova de 120 mm<sup>2</sup> (*overlap*), apresentados na Fig. (1). A condição de moldagem por injeção multicomponente foi semelhante ao que é adotado pela indústria de transformação, ou seja, para abrir o molde e promover o giro da placa para a segunda injeção, o material estava abaixo de sua temperatura de cristalização.

**Tabela 2: Valores parametrizados da moldagem por injeção multicomponente.**

| Variáveis de Processo                 |                                   | Unidade de injeção 1                              | Unidade de injeção 2   |
|---------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------|
| Pressão de injeção (bar)              |                                   | 1000                                              | 400/400/300 (3 etapas) |
| Vazão de injeção (cm <sup>3</sup> /s) |                                   | 80                                                | 30/25/20 (3 etapas)    |
| Temperatura Dissimilares (°C)         | PPFC / PPOCA100 / PPO18507 / PPCM | 180/190/200/200/210 (5 zonas: alimentação - bico) | 230                    |
| Tempo de resfriamento (s)             |                                   | 25                                                | 20                     |



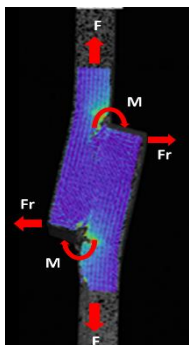
**Figura 1. Corpos de prova injetados com *overlap* de 120mm<sup>2</sup> com materiais dissimilares.**

## 2.3 Caracterização Mecânica dos Compósitos e Amostras Sobreinjetadas

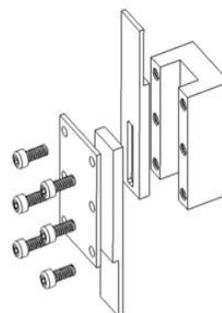
A caracterização mecânica sob tração da matriz polimérica, fibra de coco e compósitos foi utilizada para observar a influência da fibra de coco, com e sem os agentes de acoplamento, nas propriedades de tensão na força máxima e módulo de flexão segundo a norma ISO 527. Os ensaios foram conduzidos em máquina universal de ensaios Emic Modelo DL 2000, a uma velocidade de deformação de 10 mm/min. O ensaio de resistência ao impacto IZOD foi conduzido em uma máquina modelo Emic, com martelo de 2,7 J, segundo a norma ISO 180. Para este ensaio, os corpos de prova da matriz polipropileno foram entalhados antes de terem sido submetidos ao impacto, enquanto os compósitos com fibra de coco foram testados sem entalhe porque a fibra já atua favorecendo na propagação de trincas. Todas as amostras foram condicionadas durante 40 horas a uma temperatura de 23±2°C antes dos ensaios.

Após avaliar todos os métodos tradicionais de testes de adesão para polímeros, este trabalho se propõe a contribuir com uma nova geometria de corpo de prova de sobreinjeção e a criação de um dispositivo que consegue aplicar a tensão de cisalhamento diretamente sobre a região soldada. Esta ferramenta consiste num sistema que aloja em uma cavidade as partes sobreinjetadas, e todo o conjunto é envolvido em um cofre que pode ser adaptado em máquina universal de ensaios para aplicação da carga de tração. O dispositivo permite transmitir toda a força do ensaio de tração para a área de adesão entre os materiais, eliminando substancialmente o momento fletor transversal ilustrado na Fig. (2a) no ensaio

de tração sem dispositivo. A imagem da Fig. (2b) é uma vista isométrica do dispositivo e maiores detalhes encontram-se na patente submetida sob o nº BR 10 2016 021054 2.



(a) Carga sem dispositivo.



(b) Dispositivo.

**Figura 2. (a) Representação da força aplicada num corpo de prova sobreinjetado sem dispositivo, indicando a presença de um momento fletor no teste; (b) Vista isométrica do dispositivo utilizado para ensaio de adesão.**

Como metodologia proposta os corpos de prova sobreinjetados foram fixados no dispositivo e levados à uma máquina de ensaios universal EMIC DL2000 para a aplicação da carga com uma taxa de 1mm/seg.

## 2.4 Caracterização Morfológica dos Compósitos

Para auxiliar na análise do efeito do agente de acoplamento na aparência superficial dos materiais compósitos, os corpos de prova injetados foram submetidos a microscopia ótica. Esta tecnologia foi utilizada a fim de avaliar qualitativamente a topologia superficial e ocorrências de irregularidades e sulcos que poderiam favorecer o mecanismo de adesão por ancoragem mecânica. Nesta técnica foi utilizado um microscópio óptico da Zeiss Scope A1 com magnificação de 200 vezes. O software para tratamento de imagens foi o Axio Release 4.8.2.

## 3. RESULTADOS

### 3.1 Caracterização Mecânica dos Compósitos

Analisando os resultados do ensaio mecânico sob tração para a tensão na força máxima apresentados na Tabela 3, foi possível perceber que a fibra de coco (FC) resistiu a uma força cerca de 4 vezes superior aos corpos de prova de matriz polimérica, apesar do alto desvio constatado no ensaio da fibra de coco. O PPOCA100, a mistura de polipropileno funcionalizado com o anidrido maleico, apresentou o melhor resultado entre os materiais compósitos, onde a fibra de coco (FC) pode atuar como reforço e absorver parte da carga solicitada. Os ensaios das composições baseadas em polietileno, Orevac 18507 e Cesa<sup>®</sup> Mix, não apresentaram uma boa interação por parte do aditivo no contato da matriz com a FC; essa observação se baseia na análise de que os resultados não apresentaram mudanças significativas quando comparados com os dados da composição sem o agente de acoplamento. As propriedades mecânicas de tensão na força máxima, módulo de elasticidade sob tração e resistência ao impacto IZOD estão apresentados na Tabela 3.

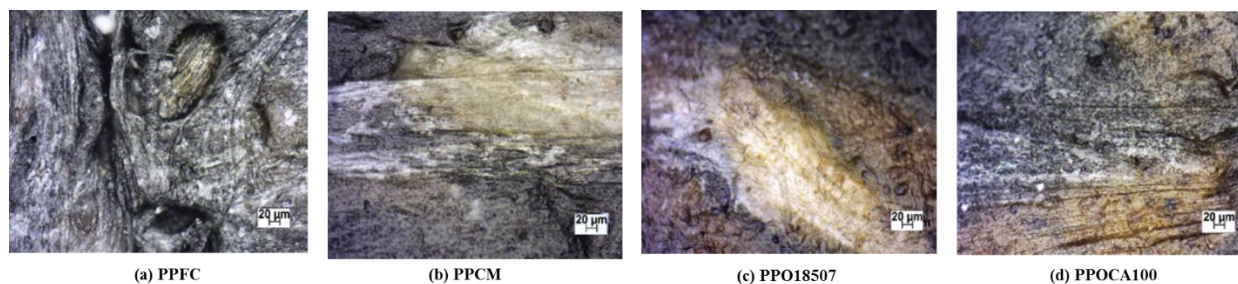
**Tabela 3: Valores Médios de tensão na força máxima, módulo elástico sob tração e resistência ao impacto de materiais compósitos.**

| Formulação do Compósito | Tensão na Força Máxima (MPa) | Mód. Elástico sob Tração (MPa) | Resistência ao Impacto IZOD (J/m <sup>2</sup> ) |
|-------------------------|------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------|
| PP - EP440 L            | 17,18 ± 0,12                 | 903 ± 35                       | 39,87±0,52                                      |
| Fibra de Coco (FC)      | 89± 21                       | 1992 ± 374                     | —                                               |
| PPFC                    | 16,95 ± 0,29                 | 1608 ± 63                      | 11,60±0,41                                      |
| PPOCA100                | 22,35± 0,32                  | 1530 ± 24                      | 13,30±1,03                                      |
| PPO18507                | 17,41 ± 0,22                 | 1398 ± 79                      | 15,4±1,1                                        |
| PPCM                    | 16,17 ± 0,29                 | 1302 ± 55                      | 13,8±1,2                                        |

Entretanto, o compósito sem aditivação obteve aumento na rigidez a partir dos resultados do módulo elástico sob tração, e uma fragilização na propriedade de impacto. O aumento da rigidez dos compósitos, verificada através do aumento do módulo elástico em relação a matriz polimérica pura, pode ser atribuído ao impedimento da movimentação das cadeias da matriz polimérica devido à forte interação do aditivo reagindo com os OH– livres na superfície da fibra. Este comportamento tem sido particularmente observado em pesquisas utilizando fibras vegetais com compósitos de polipropileno (Santos *et al.* 2010; Correa *et al.*, 2003). Com base nos resultados de Impacto IZOD foi possível observar que todos os compósitos aditivados com Orevac e Cesa® Mix, com destaque para o Orevac 18507, apresentaram resultados superiores ao compósito sem aditivação, o que pode indicar a participação do agente de acoplamento, interagindo mais fortemente com as fibras através de ligações covalentes fortes ou ainda via interações secundárias, acarretando uma melhor adesão interfacial entre o reforço da fibra de coco com a matriz polimérica de polipropileno (Santos *et al.* 2010; Correa, *et al.*, 2003). Em estudo similar com fibras vegetais e matriz termoplástica de polipropileno realizado por Correa *et al.* (2003) verificou-se que a resistência ao impacto em compósitos termoplásticos depende da capacidade da matriz dissipar energia deformacional a altas taxas de cisalhamento e as características da interface são determinantes nesse processo.

### 3.2 Análise Morfológica dos Compósitos

Nas imagens da Fig. (3) obtidas por microscopia óptica dos compósitos foi possível observar uma superfície mais homogênea e com menor quantidade de sulcos nos compósitos aditivados com agente de acoplamento. Esta aparência mais homogênea na superfície fortalece a hipótese que o agente de acoplamento atuou melhorando o molhamento da matriz polimérica com a fibra de coco.



**Figura 3. Microscopia óptica da superfície dos materiais compósitos com magnificação de 200x.**

A baixa adesão interfacial está associada à baixa polaridade e afinidade química entre a matriz e a fibra vegetal, o que ocasiona a formação de vazios na interface e o surgimento de falhas que comprometem o desempenho mecânico dos compósitos (Zimmermann *et al.*, 2014). Esta ocorrência pode ser verificada nas propriedades mecânicas de Tensão na Força Máxima e Resistência ao Impacto ligeiramente inferiores quando comparados ao compósito PPCA100. Na imagem da Fig.(3a) do compósito PPFC, sem aditivação, verifica-se uma aparência mais imperfeita na superfície indicando que, a baixa adesão da fibra com a matriz polimérica, impactou na presença de sulcos e irregularidades que podem atuar como pontos de ancoragem mecânica no processo de adesão de polímeros.

### 3.3 Caracterização Mecânica das Amostras Sobreinjetadas com Auxílio do Dispositivo

A análise da força de adesão dos materiais híbridos com o auxílio do dispositivo, está apresentada na Tabela 4. O resultado para o compósito PPFC que não utilizou agente de acoplamento apresentou uma força de adesão entre as partes sobremoldadas cerca de 40% superior, na média em relação aos outros compósitos.

**Tabela 4: Valores médios de força máxima para os corpos de prova sobremoldados**

| Formulação do Compósito | Força Máxima (N) |
|-------------------------|------------------|
| PPFC                    | 1171 ± 34        |
| PPOCA100                | 817 ± 56         |
| PPO18507                | 854 ± 76         |
| PPCM                    | 882 ± 51         |

Os valores de força de adesão inferior para os compósitos aditivados em relação ao PPFC sem nenhum agente de acoplamento, se contrapõe aos resultados de melhores propriedades mecânicas obtidas nos ensaio de tração e impacto obtido com os compósitos aditivados. A baixa adesão interfacial associada à baixa polaridade e afinidade química entre



a matriz e a fibra vegetal pode ocasionar a formação de vazios na interface e o surgimento de falhas que comprometem o desempenho mecânico dos compósitos, resultados estes de acordo com Zimmermann *et al* (2014).

Apesar dos defeitos (vazios) poderem atuar como concentradores de tensão, deve-se reconhecer que há circunstâncias em que as concentrações de tensões resultantes de vazios interfaciais podem levar à uma melhora na deformação plástica e aumento da energia de fratura. Em outras circunstâncias, a rugosidade da superfície pode conduzir a um coeficiente de espalhamento aumentado e um bom contato entre as partes. A superfície áspera tende a aumentar o trabalho de adesão e a energia de fratura da junta, de acordo com Packham (2003).

Conforme apresentado na imagem da Figura 4(a), a grande incidência de sulcos e falhas de adesão da matriz com a fibra vegetal podem ter favorecido a ancoragem mecânica e elevado a força necessária para separar os corpos sobreinjetados.

## 4. CONCLUSÃO

O estudo da adesão de polímeros obtidos por moldagem multicomponente consiste numa área de pesquisas que apresenta muitas oportunidades de inovação. A indústria de transformação vem adotando tecnologias modernas de combinação de materiais, porém acaba utilizando, na maioria das vezes, matrizes poliméricas rígidas com cobertura de elastômeros termoplásticos com alta polaridade. Este trabalho teve como objetivo contribuir com mais uma proposta tecnológica que visa avaliar a adesão de polímeros rígidos. Baseada numa patente recentemente submetida, tal novo dispositivo conta com a possibilidade concentrar a investigação apenas na região de interface dos polímeros através da avaliação da força de cisalhamento. A força resultante do momento fletor neste tipo de geometria de corpo de prova é mais intensa próximo da região de sobreposição que, associado à estricção do substrato, fragiliza e evolui para falha fora do perímetro da união. Ficou evidenciado que, apesar de resultados mais favoráveis nas propriedades mecânicas sob tração e impacto dos compósitos que receberam aditivação com o agente de acoplamento, os sulcos e imperfeições superficiais decorrentes da baixa compatibilidade da matriz polimérica com a fibra proporcionaram uma força de adesão superior para o PPFC. Esta pesquisa mostra que a ancoragem mecânica consiste numa forma de adesão muito relevante e deve ser valorizada nas pesquisas e trabalhos sobre adesão de polímeros similares e dissimilares.

## 5. AGRADECIMENTOS

Este trabalho teve o apoio do SENAI CIMATEC e da Universidade Federal da Bahia, através do Programa de Pós Graduação em Engenharia Industrial – PEI: [www.pei.ufba.br](http://www.pei.ufba.br).

## 6. REFERÊNCIAS

- Ahrens, Carlos Henrique, Gean Vitor Salmoria, Universidade Federal, and De Santa Catarina. 2011. “Aplicação Do Processo De Moldagem Por Injeção Sobre Insertos De Termoplástico ( Sobreinjeção ) Em Moldes De.” *Manufacturing Engineering*.
- Banerjee, Ashis Gopal, Xuejun Li, Greg Fowler, and Satyandra K. Gupta. 2007. “Incorporating Manufacturability Considerations during Design of Injection Molded Multi-Material Objects.” *Research in Engineering Design* 17:207–31.
- Cavalheiro, Andrei Zwetsch. 2007. “Propriedades De Peças De Paredes Espessas E Finas De Polipropileno Isotático Injetadas Em Moldes-Protótipo.” UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA PROGRAMA.
- Correa C.A., Fonseca C.N.P., Neves S., Hage E.Jr., Razzino C. A. 2003. “Compósitos Termoplásticos Com Madeira.” *Polímeros: Ciência E Tecnologia* 13(nº 3):154–65.
- Gupta, Satyandra K. 2011. *Overview of In-Mold Assembly Research at the Advanced Manufacturing Lab*. Maryland.
- John, Maya Jacob; Rajesh D.Anandjiwala. 2008. “Recent Developments in Chemical Modification and Characterization of Natural Fiber-Reinforced Composites.” *Polymers and Polymer Composites* 16(2):101–13.
- Klemarczyk, P., 2002. *Adhesion Science and Engineering*. Elsevier B.V. Retrieved (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444511409500196>).
- Kraus, E. et al., 2015. “Relevance of the Acid-Base Approach in Prediction of Adhesion Properties in Two-Component Injection Moulding.” *Journal of Applied Polymer Science* 43048:1–7.
- Packham, D.E., 2003. *Surface Roughness and Adhesion*. Elsevier B.V. Retrieved (<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-444-51140-9.50007-X>).
- Pisanu, L. Nascimento M.L.F., Barbosa, J.D.V., Silva, A. Q., 2016, Dispositivo Para Avaliação da Força de Adesão Entre Polímeros Sobreinjetados, Metais, Madeiras e Uniões Híbridas Entre Polímeros, Metais, Madeiras Unidos Por Adesivos e Demais Produtos Aperfeiçoados, BR 10 2016 021054 2.
- Santos, E. F., Moresco M., Simone M. L. R., Nachtigall S.M. B., 2010. “Extrusão de Compósitos de PP Com Fibras Curtas de Coco : Efeito Da Temperatura E Agentes de Acoplamento.” *Polímeros, Vol. 20, Nº 3, P. 215-220, 2010* 20:215–20.

- Da Silva, L. F. M., Carbas R. J. C., Critchlow G. W., Figueiredo M.A.V., Brown K., 2009. "Effect of Material, Geometry, Surface Treatment and Environment on the Shear Strength of Single Lap Joints." *International Journal of Adhesion and Adhesives* 29(6):621–32.
- Wool, R.P., 2002. *Diffusion and Autohesion*. Elsevier B.V. Retrieved (<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-444-51140-9.50008-1>).
- Zimmermann, M.V., Turella T.C., Santana R.M.C., e Zattera A.J., 2014. "Influência Do Tratamento Químico Da Fibra de Bananeira Em Compósitos de Poli(etileno-Co-Acetato de Vinila) Com E Sem Agente de Expansão." *Polímeros Ciência E Tecnologia* 24(1):58–64. Retrieved (<http://www.revistapolimeros.org.br/doi/10.4322/polimeros.2013.071>).

## 7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

### STUDY OF THE STRENGTH ADHESION BETWEEN HYBRID MATERIALS OBTAINED BY MULTICOMPONENT INJECTION MOULDING

Luciano Pisanu<sup>1</sup>, [luciano.pisanu@fieb.org.br](mailto:luciano.pisanu@fieb.org.br)<sup>1</sup>  
Marcio Luis Ferreira Nascimento, [mlfn@ufba.br](mailto:mlfn@ufba.br)<sup>1</sup>  
Josiane Dantas Viana Barbosa, [josianedantas@fieb.org.br](mailto:josianedantas@fieb.org.br)<sup>2</sup>  
Valter Estevão Beal, [valtereb@fieb.org.br](mailto:valtereb@fieb.org.br)<sup>2</sup>  
Leonardo Santiago, [lecosant@gmail.com](mailto:lecosant@gmail.com)<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal da Bahia – UFBA, Escola Politécnica, R. Aristides Novis, 2 – Federação. 40210-630 Salvador – BA – Brasil

<sup>2</sup>SENAI CIMATEC, Av. Orlando Gomes, 1845 – Piatã. 41650-010 Salvador – BA – Brasil

**Abstract:** The multicomponent injection process has received relevance in the industry by enabling the combination of different materials in a single process, thus allowing the creation of parts with different design, shorter manufacturing time and greater added value. However, one of the challenges of this technology is the union between polymeric materials. In this work through a rotary plate injector it was possible to obtain overmolded specimens with hybrid materials. Firstly, polypropylene composites with coconut fiber were injected by varying the type of coupling agent and by rotating the mold 180 ° a medium flow polypropylene was injected under controlled conditions. By means of a new device, especially designed to evaluate the adhesion strength of the materials under shear stress, it was possible to measure the force necessary to promote the detachment of the surfaces. Microscopy techniques were used to better understand the adhesion phenomenon among hybrid materials. As a result, it was observed that although the maleic anhydride additive promoted better anchoring of the fiber with the polymer matrix, the composite whom did not used the coupling agent showed the highest adhesion strength between surfaces.

**Palavras-chave:** Composites, polymer adhesion, coconut fiber, multicomponent injection molding