

INFLUÊNCIA DAS FIBRAS DE CANA DE AÇÚCAR E FIBRAS DE CASCA DE COCO COMO REFORÇO EM COMPÓSITOS DE DIFERENTES MATRIZES POLIMÉRICAS

¹Guilherme Izidoro de Oliveira, izidorodesigner@gmail.com

¹Gustavo Walter Stella, gustavo.w.stella@gmail.com

¹Cesar Augusto Neitzke, cesar.neitzke@pucpr.br

¹Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Rua Imaculada Conceição, 1155 | Prado Velho | CEP: 80215-901
Bloco 9

Resumo: Esta pesquisa avaliou e comparou a influência das fibras de bagaço de cana e casca de coco em diferentes compósitos com matrizes poliméricas termofixas, sendo elas o epóxi, o poliéster ortoftálico, o poliacetato de vinila (PVA) e o Acrodur®. As fibras foram submetidas a tratamentos químicos alcalinos com hidróxido de sódio e peróxido alcalino, em seguida desenvolveu-se o método de preparação dos compósitos e foram fabricados os corpos de prova de acordo com normas vigentes para os ensaios de tração, flexão e impacto Izod. As amostras fraturadas no ensaio de tração, as fibras tratadas e as fibras sem tratamento superficial foram analisadas no microscópio eletrônico de varredura (MEV), e foi evidenciada notória diferença na superfície das fibras tratadas em relação às fibras não tratadas, entretanto a principal aplicação do MEV foi verificar a aderência entre a fibra e a matriz, possíveis trincas e porosidades. Nos resultados foram destacadas e comparadas as características mecânicas obtidas nos ensaios, onde estão relatadas as principais diferenças influenciadas pelas fibras analisadas. Também apresentaram variações significativas entre os compósitos, destacando dispersões elevadas em virtude dos métodos de fabricação adotados. Em consideração a estas variações foram realizadas análises estatísticas das médias obtendo resultados diferenciados. Os compósitos de matriz epóxi apresentaram as melhores propriedades mecânicas de tração e flexão. Para o ensaio de resistência ao impacto o PVA se mostrou superior aos demais compósitos.

Palavras-chave: Compósitos; fibra de bagaço de cana de açúcar; fibra de casca de coco, adesão entre fibra e matriz.

1. INTRODUÇÃO

Sob a nova realidade industrial o desenvolvimento de novos materiais está surgindo à uma taxa jamais alcançada. A indústria de materiais compósitos é nova, onde já ganhou espaço na substituição de materiais metálicos por compósitos fibrosos, como exemplo a fibra de vidro e a fibra de carbono aliados à materiais duráveis como os polímeros.

O uso de fibras sintéticas apresentam alguns pontos negativos como abrasão, alto custo de fabricação e alto custo de reciclagem que devido estes fatores estão sendo substituídos por fibras naturais nos setores automotivos, têxteis e de construção civil. As fibras naturais utilizadas como reforços, podem ser obtidas do resíduo de outros processos produtivos e muitas vezes apresentam propriedades mecânicas aplicáveis como reforços de matrizes poliméricas. Dentre as principais fibras naturais pode destacar o uso de fibras de sisal, coco, curauá, bambu, pinus, bananeira, juta, abacaxi, rami e bagaço de cana de açúcar. Como potencial objeto de reutilização, o maior resíduo agroindustrial do Brasil é o Bagaço de Cana gerando a cada ano 75 milhões de toneladas aplicados em uma parte em indústrias de ração, adubo, papel e material absorvente. Outra fibra descartada em abundância é a fibra de coco, que apenas nas praias do Rio de Janeiro gera 60% do lixo coletado, alcançando valores aproximados de 222 toneladas por semana destinados a lixões e aterros sanitários, em outros estados observa-se a utilização deste resíduo na produção de objetos como vasilhas, salseiras, colheres, colares, argolas, anéis, pulseiras, ganchos de cabelo, cintos, bandejas, porta-vasos, açucareiros e lustres.

Entre os esforços sociais para a redução dos impactos ambientais causados pela utilização de materiais sintéticos não biodegradáveis e com a abundante oferta de fibras naturais do bagaço da cana de açúcar e fibra da casca do coco, objetos de descarte e com baixo valor agregado, busca-se através deste trabalho estudar elementos naturais, para reforços e matrizes dos compósitos, que possuam propriedades mecânicas aplicáveis em produtos de uso social, onde atualmente retrata a utilização de materiais de fontes não renováveis como polímeros a base de petróleo. O conteúdo deste trabalho tem como objetivo analisar e comparar as propriedades mecânicas dos compósitos com matrizes poliméricas sintéticas reforçadas por fibras de casca de coco e fibras do bagaço da cana de açúcar.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os compósitos são desenvolvidos com a união de dois ou mais elementos objetivando unir propriedades isoladas de cada um, consequentemente obtém-se um material com características diferenciadas. Os compósitos são desenvolvidos basicamente com uma matriz e um reforço. SHACKELFORD (2008, p. 315) salienta que os principais compósitos reforçados com fibras utilizam fibras de vidro e são divididos em dois grupos, os de fibras com um alto módulo de elasticidade e os compósitos avançados, com fibras de módulos superiores. ASKELAND (2008, p. 535) cita que os materiais reforçados por fibras apresentam maior limite de resistência, maior resistência à fadiga, maior módulo de Young e maior resistência específica, uma vez que as fibras sejam mecanicamente resistentes e a matriz possua menor massa específica e ductilidade. A matriz provê proteção para as fibras minimizando a difusão com outros elementos, e transmite as tensões para as fibras de forma que resistam aos esforços aplicados.

Conforme ASKELAND et al. (2008, p. 545) as matrizes apresentam a função de manter as fibras na posição desejada, transferir a carga aplicada sobre o compósito para as fibras, prover proteção para as fibras em relação à difusão de elementos, proteger as fibras durante o processo de fabricação, e evitar que as trincas das fibras se propaguem pelo compósito. Normalmente a matriz é agente responsável pela característica elétrica, comportamento químico e limitação de uso em temperaturas elevadas. As matrizes poliméricas são comumente utilizadas, pois independente de serem termoplásticos ou termofixos, são disponíveis em diferentes graus de reforço. Conforme ISHIZAKI et al. (2006 p. 182-186) a escolha da matriz polimérica deve-se a capacidade de proporcionar homogeneidade e a temperatura que o compósito será processado, pois as fibras lignocelulósicas se degradam quando expostas em temperaturas elevadas.

O Guia para Manuseio da Huntsman Química Brasil Ltda. menciona que as resinas epóxi pertencem à família de resinas sintéticas e são formadas pela reação de um elemento diol de alto peso molecular com a epiclordinina. As resinas mais comuns são produzidas através da reação da epiclordinina com o bisfenol A ou o bisfenol F, com as respectivas características moleculares.

Gonzaga (2013, p. 2) cita que poliésteres ortoftálico apresentam aplicações de uso geral, e possuem sua caracterização por terem como ácido saturado o ácido ortoftálico, nomenclatura proveniente de sua posição no grupo carboxílico no anel benzênico, onde apresenta seu monômero.

Segundo Mesquita (2002, p. 5-13), o PVA teve a sua primeira aplicação comercial em 1920 na Alemanha, tendo sua denominação como um polímero amorfo e termoplástico. Em geral o produto industrial apresenta estrutura com grupos laterais, distribuídos aleatoriamente e ramificados, em virtude das reações de transferência de cadeia ocorridas na polimerização.

A resina Acrodur® (BASF Company) foi obtida para aplicação de materiais compósitos na linha automotiva por apresentar boas propriedades mecânicas, tempo de reticulação curto, fácil manuseio e limpeza, cita Khalfallah (2014, p. 116-126). A estrutura química do Acrodur® é caracterizado por uma dispersão de um policarboxílico modificado ácido e de polioliol (agente de reticulação) a criação de um material termoendurecível. O Acrodur® atua como ligante para madeira e fibras vegetais, como linho, sisal ou juta.

Compósitos reforçados por fibras podem ter o reforço de origem sintética ou natural, como fibra de vidro e carbono e fibra de coco e bagaço de cana, respectivamente. CASTILHOS (2011, p. 5) define que dois processos são utilizados para a extração da fibra de coco, sendo eles conhecidos como maceração, utilizado na extração da fibra do coco verde e o desfibramento mecânico. Depois do processo de desfibramento as fibras são lavadas em água corrente onde é removida parte da lignina, em seguida faz-se o processo de secagem. A principal fonte de obtenção do bagaço de cana é fruto do substrato da indústria sucroalcooleira, conforme PEDRESCH (2009, p.17), para a fabricação do açúcar a cana passa por diversos processos, entre eles a lavagem, trituração e moenda. Após todo o processo a cana encontra-se com o mínimo de açúcar, tendo como seus principais componentes cerca de 40% de celulose, 35% hemicelulose e 15% de lignina.

Os estudos realizados por KURUVILLA et al. (1999 p. 138), avaliaram fibras de sisal de diferentes tamanhos (5, 15, 25, 35, 45, 55, 65 e 75 mm), distribuídas aleatoriamente em um compósito com teor de fibra de 30%, onde foi evidenciado que com o aumento do comprimento de 5 a 45 mm a resistência aumenta, a partir deste ponto ela se mantém constante e até 55 mm. Em seguida sua resistência declina, este nivelamento e a queda na resistência dos compósitos se dá pelo emaranhamento das fibras nos comprimentos superiores a 45 mm.

Com o objetivo de aumentar a adesão entre a fibra e a matriz de um compósito, CAMPOS et al. (2009) submeteu suas fibras a diversos tratamentos superficiais, entre eles lavagem com água, com cicloexano/etanol, hidróxido de sódio e branqueamento com peróxido alcalino. Após os ensaios de tração CAMPOS et al. (2009) verificou que os compósitos da matriz da blenda TPS e PCL reforçadas com fibras que passaram pelo tratamento com peróxido alcalino ($\text{NaHO} + \text{H}_2\text{O}_2$), apresentou uma resistência a tração 68% superior à resistência da blenda.

Dentre a diversidade de processos de fabricação de materiais SHACKELFORD (2008, p. 315), demonstra três processos distintos para a fabricação de compósitos, através de moldes abertos, pré-conformação e moldes fechados. Os processos mais baratos são os de moldes abertos, especificamente o de deposição manual pode ser considerado o mais prático, devido seu processo não utilizar moldes de alto custo e a lâmina do compósito curar com a ação do ambiente, podendo ser acelerado através do calor.

3. MÉTODOS E MATERIAIS

3.1. Preparação das fibras

As fibras de coco utilizadas neste trabalho foram adquiridas em seu comprimento natural em embalagens de 200g comercializadas pela empresa Coquin e posteriormente cortadas manualmente com comprimento entre 35 e 45 mm, pois apresentam os melhores resultados e menores desvios padrão em resistência a tração, módulo de elasticidade e alongamento na ruptura. As fibras de cana de açúcar foram obtidas do descarte do processo da Usina sucroalcooleira de Vista Alegre já trituradas e posteriormente peneiradas em malha de 1,18mm e 2,38mm. As fibras de coco e cana de açúcar utilizadas nos corpos de provas passaram pelo processo de lavagem em NaOH e em seguida a lavagem em $H_2O_2 + NaOH$:

i. Mercerização: Lavagem em hidróxido de sódio (NaOH 5%), 600 g de fibra de coco e de fibra de cana, separadamente foram expostos em solução de hidróxido de sódio (NaOH 5%) em água destilada a temperatura ambiente, a mistura se manteve por um período de 60 minutos. A fibra de cana ficou em constante agitação mecânica através do agitador a uma rotação de trabalho de 1200 rpm, a fibra de coco ficou em constante agitação sendo ela mantida através de movimento rotativo manual devido a utilização do agitador mecânico ter se mostrado ineficiente ao processo. A fibra tratada com o NaOH foi lavada com água e em seguida foi seca em estufa com circulação de ar a 100°C até que sua massa se mantivesse constante.

ii. Após lavagem as fibras foram destinadas ao processo de Branqueamento com peróxido alcalino (H_2O_2 16% – NaOH 2%) em água destilada, a mistura se manteve por um período de 30 minutos em constante agitação sendo ela mantida através de movimento rotativo manual. A fibra tratada com o $H_2O_2 + NaHO$ foi lavada com água em seguida foi seca em estufa com circulação de ar a 100°C até que sua massa se manteve constante.

3.2. Preparação das Matrizes

As matrizes foram preparadas a parte seguindo as soluções propostas pelos fabricantes, o Epoxi com 1000 ml de resina e 400 ml de endurecedor misturados por 2 minutos, despejados sobre as fibras e tempo de secagem de 48 horas. O Poliéster Ortoftálico sendo 1 litro com 2 ml de endurecedor, despejados sobre as fibras e tempo de secagem de 24 horas. Para a resina Acrodur® modelo 950 L, o método de processamento é composto de duas partes, a pré impregnação onde a mistura matriz e fibra passa por um aquecimento abaixo de 130°C e em seguida a secagem do compósito prensado em temperatura acima de 130°C. A base do PVA utilizado no processo foi da marca Cascola modelo Cascorez PVA, sendo recomendado o processamento de prensagem e cura a 90°C.

3.3. Preparação dos compósitos

Com base nos estudos de SOARES (2012) e KURUVILLA et al. (1999), foi definido o percentual de 60% do volume de fibra no compósito. O método utilizado para a separação das quantidades foi realizado através da utilização de béqueres graduados. As fibras foram prensadas manualmente no reservatório mantendo a proporção de 60% de fibra e 40% de matriz. As fibras do bagaço da cana de açúcar e fibras da casca do coco foram dispostas nos moldes com orientação aleatória, uma vez que se admitiu para a aplicação, a condição comercial da fibra. O processo de obtenção do compósito com matriz de epóxi e com poliéster foram diferenciados em relação as diferentes fibras, pois as fibras de cana apresentaram a formação de aglomerados que não permitem distribuição adequada das fibras no molde. As fibras de coco foram misturadas ao epóxi diretamente no molde sendo despejados 50% da matriz, 100% da fibra e em seguida o restante do epóxi sobre as fibras, já as de cana foram misturadas com a matriz em recipiente distinto, em seguida acomodado uniformemente nos moldes, a tampa foi colocada e prensada até a espessura das dos corpos de prova, após o tempo de cura, foi extraída do molde e disponibilizada para corte.

As placas de PVA com fibra de coco foram preparadas misturando a matriz e as fibras diretamente no molde, sendo 50% PVA, 100% fibra e 50% PVA despejados respectivamente, a fibra de cana foi misturada com a matriz em recipiente a parte. Uma vez a mistura fibra matriz ser despejada nos moldes, as placas foram prensadas com auxílio de grampos roscados para alcance da espessura específica do corpo de prova, após ajuste da espessura foi retirado à tampa e encaminhado à secagem em temperatura de 100°C por um período de 12 horas.

Para resina Acrodur® foram adotados 3 métodos distintos devido aos compósitos formados apresentarem não conformidades que impossibilitaram a caracterização e comparação com os demais materiais deste estudo: Método 1: Acrodur® concentrado foi misturado à fibra, pré-impregnado em forma de manta (fibras soltas e sem compressão) com espessura de 40mm e secado por 15 minutos a 70°C. Após a pré-impregnação a manta foi comprimida até a espessura de 5mm, onde a placa do compósito passou por secagem a 170°C durante 15 minutos. Método 2: Acrodur® diluído em 50% de solução aquosa foi misturado a fibra, pré-impregnado em forma de manta (fibras soltas e sem compressão) com espessura de 15mm e secado por 15 minutos a 70°C. Após a pré-impregnação a manta foi comprimida até a espessura de 3mm, onde a placa do compósito passou por secagem a 170°C durante 15 minutos. Foi adicionado ao molde o desmoldante Silitech SSL. Método 3: Acrodur® diluído em 30% de solução aquosa foi misturado a fibra, mantendo os

mesmos processos da pré-impregnação e secagem do método 2, porém com maior compressão, com a espessura final do compósito de 2mm.

Após cura as placas de todos os compósitos formados foram serradas e limadas para obtenção dos corpos de prova de acordo com os dimensionais definidos pelas normas adotadas.

3.4. Ensaios

O ensaio de tração foi realizado de acordo com a norma ASTM D3039:2008 em um equipamento EMIC-DL-50 com garras de adaptação para teste de tração, velocidade de deslocamento das garras de 2mm/min e célula de carga de 5 kN. Após o ensaio de tração dos corpos de prova, Figura 1, foi avaliada a adesão entre fibra e matriz utilizando um microscópio de varredura, marca Tescan, modelo Vega III e aceleração de elétrons de 20 kV.

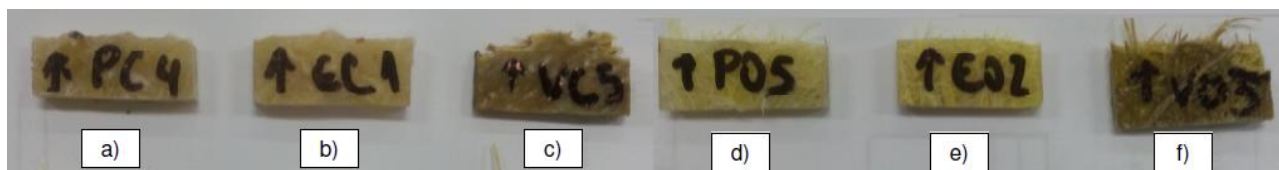


Figura 1. Corpos de prova para MEV. a) Poliéster + Cana - b) Epóxi + Cana - c) PVA + Cana - d) Poliéster + Coco - e) Epóxi + Coco - f) PVA + Coco.

Os ensaios de flexão foram realizados com base na norma ASTM D790-92 no equipamento EMIC-DL-50 com pontas adaptadas para ensaio de flexão 3 pontas. Para o ensaio de impacto Izod, as amostras foram dimensionadas de acordo com a norma ASTM D256, e os testes realizados no equipamento Izod EMIC AIC 1, com velocidade de impacto de 4 m/s, energia Incidente de 2,7 J e temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$.

4. RESULTADOS

Para embasamento dos resultados foram relacionadas as características das fibras após realização do tratamento superficial e o comportamento dos compósitos em relação aos testes de tração, flexão, impacto Izod e MEV (Microscópio Eletrônico de Varredura). Após exibição dos resultados os mesmos foram comparados.

4.1. Análise das fibras no MEV

As fibras, antes e depois do processo de mercerização e branqueamento, passaram por análise superficial com auxílio do MEV. Na fibra sem o tratamento superficial (Figura 2.a) observa-se que existe a predominância de camadas em forma de escamas, tornando-se pontos concentradores de tensão para início de ruptura. Na fibra mercerizada e branqueada, observa-se maior linearidade das fibras e homogeneidade, e camadas escamas em menor proporção (Figura 2.b). A fibra de coco submetida aos processos de tratamento superficial apresentou algumas diferenças em relação à fibra não tratada, percebe-se através das imagens obtidas pelo MEV a existência de pequenos nódulos alojados em cavidades na superfície da fibra não tratada, essas pequenas saliências mostram-se envolvidas por uma fina membrana escamada (Figura 2.c), após os processos de lavagem foi evidenciado a remoção parcial destes nódulos e total da membrana escamada mantendo a superfície com as cavidades vazias (Figura 2.d), assim possibilitando a acomodação matriz-fibra.

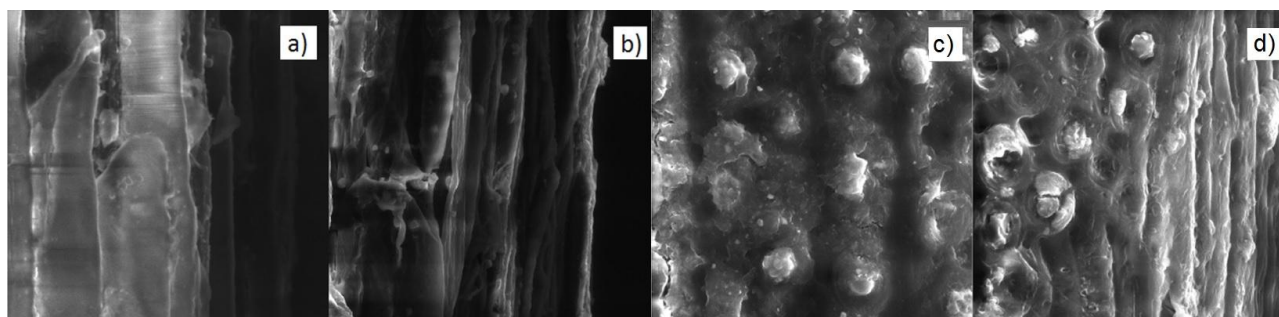


Figura 2. Fibra do bagaço de cana de açúcar e Fibra de casca de coco - ampliação 2500x - a) Fibra de bagaço de cana de açúcar natural, sem tratamento. b) Fibra de bagaço de cana de açúcar mercerizada e branqueada. c) Fibra de casca de coco natural, sem tratamento. d) Fibra de casca de coco mercerizada e branqueada.

4.2. Características dos compósitos reforçados pela fibra do bagaço de cana de açúcar.

Os compósitos ensaiados no teste de tração apresentaram diferentes resultados de tensão de ruptura e módulo de elasticidade, dentre as três matrizes a que se mostrou com maior capacidade de receber carga em trabalhos de tração foi os materiais com matriz polimérica de epóxi, em seguida poliéster e por último PVA. Os compósitos de poliéster apresentaram um grande desvio padrão na tensão de ruptura, cerca de 48% da tensão máxima, já o PVA apresentou o menor desvio, 10% do total. Os números relacionados ao módulo de elasticidade obtiveram a mesma tendência, exceto seus desvios padrões, onde o PVA apresentou a maior variação e epóxi a menor, em relação ao seu módulo, cerca de 44% e 9% respectivamente, Figura 3.

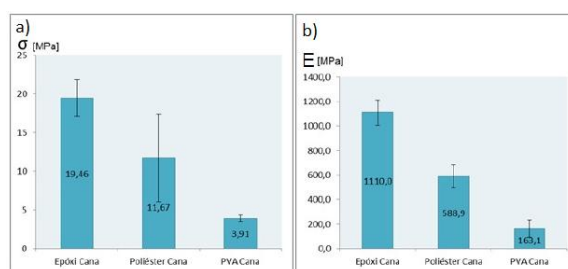


Figura 3. Comparativo entre as matrizes reforçadas com fibra de cana de açúcar.

a) Tensão de ruptura na tração b) Módulo de elasticidade na tração.

Após realização do teste de tração o corpo de prova de epóxi com fibra de cana de açúcar foi submetido a análise de MEV, onde observou-se que fibra de cana apresentou boa aderência fibra-matriz ocorrendo a ruptura no mesmo plano da secção (Figura 4.b), também notou-se a homogeneidade na distribuição da fibra e relação a matriz (Figura 4.a).

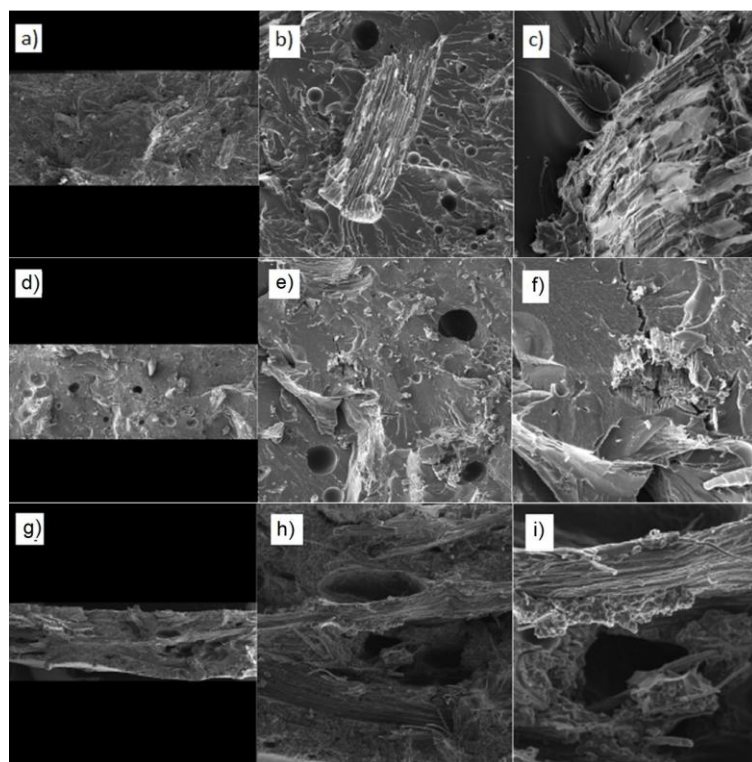


Figura 4. Corpo de prova epóxi e cana ampliado a) 25x b) 125x c) 285x. Corpo de prova poliéster e cana ampliado d) 25x e) 125x f) 285x. Corpo de prova PVA e cana ampliado g) 25x h) 125x i) 285x.

O corpo de prova utilizado no ensaio de tração e submetido à visualização no MEV do compósito de poliéster reforçado com cana também mostrou a boa aderência entre a fibra e a matriz, nota-se através da área de ruptura, localizadas no mesmo plano (Figura 4.d), outro ponto que indica a boa afinidade entre reforço e matriz é a trinca situada ao longo da matriz e ao meio da fibra (Figura 4.f), o compósito apresentou uma série de pequenas bolhas internas

(Figura 4.d, 4.e) porém sem micro trincas nestes pontos de porosidade. O compósito de fibra de bagaço de cana com PVA se mostrou com boa aderência da fibra com a matriz, entretanto as imagens do MEV mostraram que este polímero apresenta grande quantidade de poros em sua estrutura tanto na região fibra-matriz como matriz-matriz (Figura 4.i).

Os compósitos reforçados com fibra de cana de açúcar submetidos ao ensaio de flexão apresentaram grandes desvios padrões, da mesma forma que na tração a maior tensão e maior módulo de elasticidade foram obtidos com os compósitos de matriz epóxi, em seguida o poliéster e por último o PVA, os desvios padrões relacionados a tensão para a falha foram de maior intensidades no epóxi seguido do poliéster e por fim o PVA, 21,7%, 19,6% e 16,7% comparados a suas tensões, respectivamente. O comportamento do desvio padrão no módulo de elasticidade foi diferente, o maior variação foi o poliéster seguido do PVA e por último o epóxi, 17,4%, 16,3% e 12,1% comparado ao seu módulo de elasticidade, respectivamente, Figura 5.a e 5.b.

No ensaio de impacto Izod do compósito reforçado com fibra de bagaço de cana de açúcar, o compósito com matriz de PVA possui a maior capacidade de receber carga, entretanto foi o que apresentou o maior desvio padrão, 58,4% da energia de ruptura, não se mostrando um material de grande confiabilidade de aplicação, quando necessário esta característica, em seguida o epóxi depois o poliéster, seus desvios padrões foram 28,2% e 32,2% de sua energia de ruptura, respectivamente, Figura 5.c.

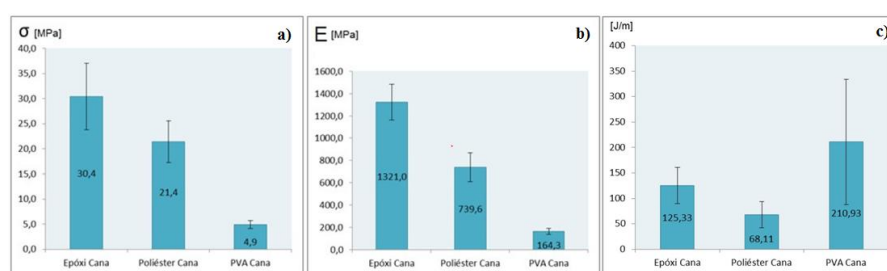


Figura 5. Comparativo entre as matrizes reforçadas com fibra cana de açúcar.
a) Tensão de ruptura na flexão b) Módulo de elasticidade na flexão c) Impacto Izod.

4.3. Características dos compósitos reforçados por fibra de coco

Mediante os resultados obtidos no ensaio de tração tendo como base os compósitos reforçados por fibra de casca de coco, o material que apresentou maior Tensão máxima de ruptura foi o epóxi seguido do poliéster e do PVA. Os corpos de prova de epóxi apresentaram baixo desvio padrão em relação aos demais, com percentual de variação de 3,3% em relação à média, enquanto o poliéster e o PVA com desvios mais elevados, 28,4% e 16,1% respectivamente. Em relação ao módulo de elasticidade na tração, os compósitos também se demonstram com características diferentes, onde o epóxi também apresenta maior valor seguido pelo poliéster e pelo PVA, estes que também apresentaram maiores valores de desvio padrão, com 9,1% e 19,4%, enquanto o epóxi apresentou menor desvio padrão, com 3,9% caracterizando um material com comportamento mais estável, Figura 6. Sob aspectos gerais, pode-se definir que as características mecânicas encontradas no ensaio de tração são representadas em função da matriz, uma vez que as fibras utilizadas apresentaram as mesmas características de utilização.

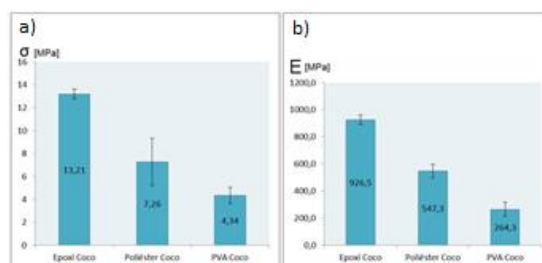


Figura 6. Comparativo entre as matrizes reforçadas com fibra de coco. a) Tensão de ruptura na tração
b) Módulo de elasticidade na tração.

Após a ruptura no ensaio de tração o corpo de prova do compósito de fibra de casca de coco com epóxi foi submetido ao MEV, onde algumas situações foram observadas, como exemplo, a ruptura da fibra ocorreu em um lugar distinto da ruptura da matriz se mostrando a baixa adesão entre fibra e matriz (Figura 7.a, 7.c), no corpo de prova analisado também identificou-se a existência de uma bolha de ar e várias micro trincas ao redor (Figura 7.b), identificou-se um potencial ponto para o início da falha. O Corpo de prova do compósito de fibra de casca de coco com

poliéster foi analisado no MEV, da mesma forma que outros compósitos reforçados com coco a principal característica é a baixa união fibra-matriz, onde em poucos pontos da ruptura foi localizada no mesmo plano da falha da matriz, assim ocorrendo descolamento da fibra na matriz antes da falha (Figura 7.d, 7.e, 7.f), não apresentou grandes pontos de porosidade nem bolhas no ponto de falha. Os corpos de prova do compósito de fibra de casca de coco com PVA mostraram novamente a ineficiência da adesão da fibra de coco com a matriz, ocorrendo rupturas em diversos planos distintos entre o reforço e a matriz (Figura 7.g). Da mesma forma que outros corpos de prova de PVA, este polímero se mostrou com grande quantidade de poros (Figura 7.i) em sua estrutura e pontos de arrancamento de matriz da fibra (Figura 7.h).

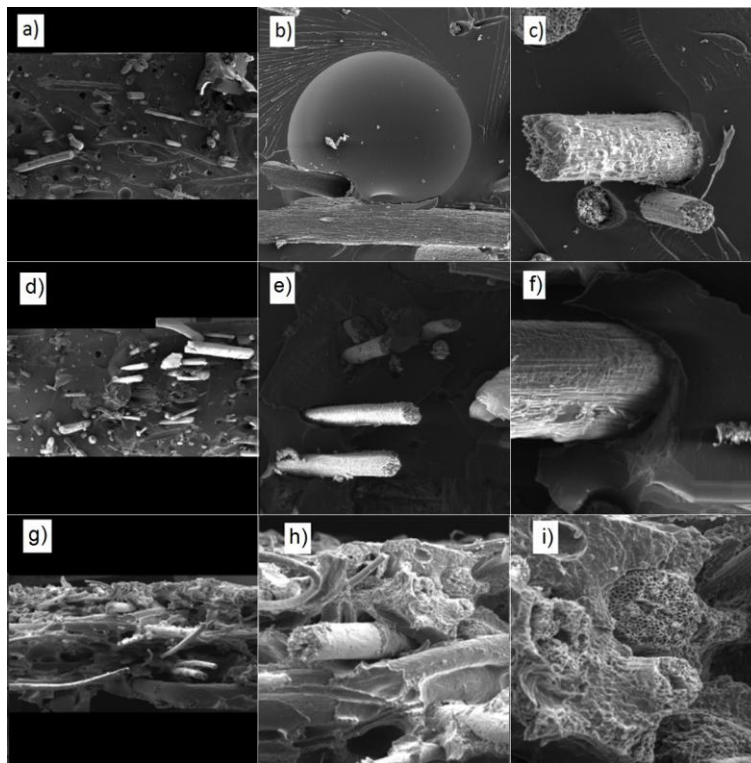


Figura 7. Regiões de ruptura: Corpo de prova epóxi e coco ampliado – a) 25x b) 100x c) 285x. Corpo de prova poliéster e coco ampliado – d) 25x e) 100x f) 285x. Corpo de prova PVA e fibra de casca de coco – g) 25x h) 104x i) 290x.

No ensaio de flexão dos compósitos reforçados com fibra da casca de coco, o epóxi apresentou os maiores valores em relação ao ensaio de flexão, seguido pelos compósitos com matriz de poliéster e PVA. Com a presença significativa de falhas internas nos compósitos, as variações dos resultados representaram desvio padrão no epóxi de 21,1%, no poliéster de 26,6% e no PVA de 15,3%. O módulo de elasticidade também apresentou variação, com desvios padrões de 12,3% para o epóxi, 17,3% para o Poliéster e 19,5% para o PVA, Destaca-se que os desvios padrões apresentaram valores aproximados entre a mesma matriz, independente do reforço, Figura 8.

Os resultados no ensaio de impacto Izod foram maiores para o compósito formado pela resina PVA, porém com elevado desvio padrão, 44,7%. Os compósitos de epóxi e poliéster apresentaram resultados médios aproximados e com desvio padrão de 20,6% e 30,9%, respectivamente.

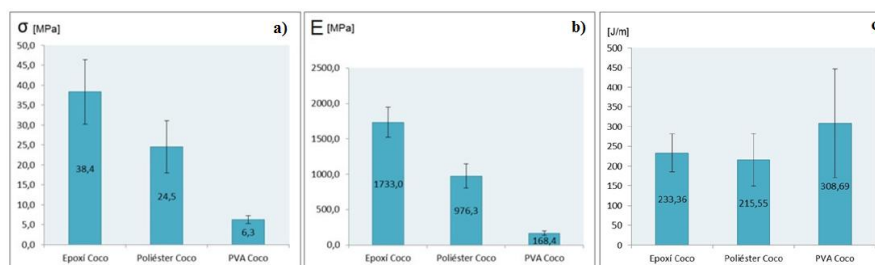


Figura 8. Comparativo entre as matrizes reforçadas com fibra coco. a) Tensão de ruptura na flexão b) Módulo de elasticidade na flexão c) impacto Izod.

4.4. Comparação dos Resultados

Para a análise comparativa os resultados foram tabulados para cada compósito demonstrando os valores médios e seus respectivos desvios padrões (Tabela 1).

Tabela 1. Tabela comparativa dos compósitos por ensaio.

Ensaio	Compósitos	Epóxi		Poliéster		PVA	
		Coco	Cana	Coco	Cana	Coco	Cana
Tração [MPa]	Tensão Ruptura	13,2	19,5	7,3	11,7	4,3	3,9
	Desvio Padrão	0,43	2,39	2,06	5,65	0,70	0,39
	Mód. elasticidade	3,3%	12,3%	28,4%	48,4%	16,1%	10,0%
	Desvio Padrão	926,5	1110,0	547,3	588,9	264,3	163,1
	Desvio Padrão	35,9	103,0	50,0	96,1	51,3	71,7
Flexão [MPa]	Tensão Ruptura	38,4	30,4	24,5	21,4	6,3	4,9
	Desvio Padrão	8,11	6,59	6,51	4,19	0,96	0,82
	Mód. elasticidade	21,1%	21,7%	26,6%	19,6%	15,3%	16,7%
	Desvio Padrão	1733,0	1321,0	976,3	739,6	168,4	164,3
	Desvio Padrão	212,9	159,8	168,5	128,8	32,86	26,74
Impacto Izod [J/m]	Energia	233,36	125,33	215,55	68,11	308,69	210,93
	Desvio Padrão	48,16	35,38	66,54	26,01	138,01	123,17
	Desvio Padrão	20,6%	28,2%	30,9%	38,2%	44,7%	58,4%

Dentre os compósitos com base de epóxi, a fibra do bagaço de cana proporcionou a maior resistência no ensaio de tração, sendo ela 47,2% superior a fibra da casca do coco, já no ensaio de flexão 3 pontas e impacto Izod os maiores resultados foram evidenciados nos compósitos reforçados com fibra de coco, sendo essa superioridade equivalente a 26,2% tensão de ruptura a flexão, 31,2% em seu módulo de elasticidade e 86,2% em energia de ruptura ao impacto. Os compósitos de poliéster apresentaram características parecidas com o epóxi, na tração a fibra de cana também mostrou uma maior tensão de ruptura em relação ao coco, diferença de 60,7%. Nos demais ensaios o coco se mostrou predominante, sendo maior em 14,5% na tensão de ruptura a flexão, Figura 9.c e 9.d, 32,0% em seu módulo de elasticidade e 216,5% em energia de ruptura ao impacto. Os compósitos de PVA apresentaram os menores valores nos ensaios de tração e flexão, devido estas características os corpos de prova necessitaram da maior energia para ruptura no ensaio de impacto Izod, ao contrário dos demais compósitos a coco apresentou 11,0% superior a fibra de cana. Considerando impacto e flexão o coco apresentou as seguintes diferenças, 27,4% a mais que a cana na tensão de ruptura à flexão, seu módulo de elasticidade foi superior em 2,5% e a energia necessária para o ensaio de impacto Izod foi superior em 46,3%. (Figura 9 e 10)

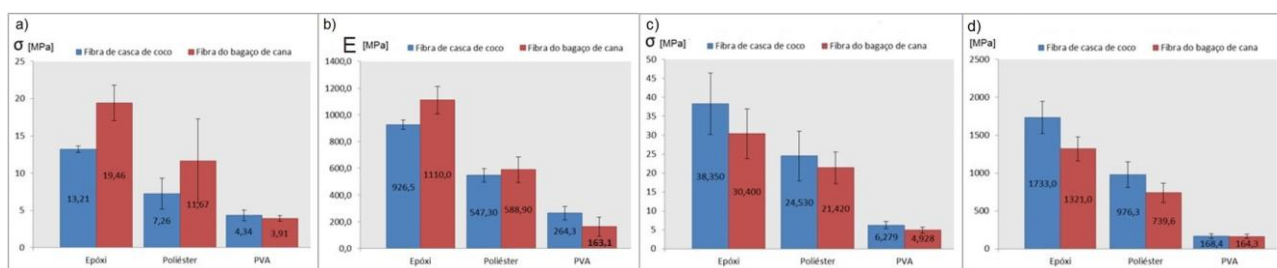


Figura 9. Comparativo Coco X Cana - Ensaio Tração – a) Tensão de ruptura b) Módulo de elasticidade. Comparativo Coco X Cana - Ensaio Flexão – c) Tensão de ruptura d) Módulo de elasticidade.

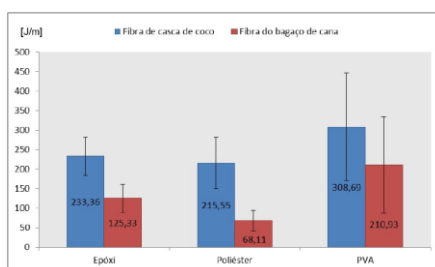


Figura 10. Gráfico comparativo Coco X Cana - Ensaio Impacto Izod.

As principais características analisadas no MEV foram a adesão fibra matriz, micro trincas na fratura e falhas internas, como bolhas de ar e porosidade do compósito, a maior diferença de adesão não se deu em relação as matrizes e sim as fibras, o coco apresentou arrancamento do interior do compósito permanecendo em plano distintos da ruptura da matriz, diferente da cana que o rompimento predominou na mesma superfície da matriz.

5. CONCLUSÃO

Mediante os estudos realizados, pode-se observar significativa mudança na superfície das fibras tratadas refletindo de acordo com a revisão bibliográfica em potencial melhora da adesão da fibra e matriz.

Conforme hipótese inicial, analisando as médias dos resultados, os compósitos apresentaram características diferentes, sendo os compósitos de matriz epóxi com as melhores propriedades mecânicas de tração e flexão, porém em conjunto com o poliéster ocorrem os maiores riscos ocupacionais. Para o ensaio de resistência ao impacto o PVA se mostrou superior aos demais compósitos absorvendo maior energia.

O processamento dos compósitos resultou na existência de bolhas e micro trincas, o que pode justificar desvios padrões elevados, e os resultados foram analisados estatisticamente. Comparando os resultados entre as fibras em uma mesma matriz, a análise estatística evidenciou algumas situações onde as fibras apresentaram a mesma influência na matriz. A possível utilização do compósito que poderá decidir a fibra a ser aplicada, considerando os processos utilizados neste trabalho. Com a análise microscópica a fibra da casca do coco não apresentou melhor adesão entre fibra e matriz do que o compósito reforçado pela fibra de bagaço de cana.

Independente do compósito proposto, todos apresentaram baixa resistência mecânica em relação a outros materiais comerciais, como aço, fibra de carbono e fibra de vidro, portanto estes compósitos devem ser aplicados em locais que suprimam estas características, como lixeiras, revestimentos arquitetônicos e luminárias.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a contribuição das empresas Ardan, Basf, Divex, Simoldes e Usina sucroalcooleira de Vista Alegre por contribuir com Materiais para o experimento e a empresa MVC por realizar o ensaio de impacto Izod além estrutura concedida pela Pontifícia Universidade católica do Paraná.

7. REFERENCIAS

- SÁ, Paulo; Estratégias dos Grandes Grupos no Domínio dos Novos Materiais, Rio de Janeiro CETEM/CNPQ, 1989.
- ASHBY, Michel F e David R. H. Jones; Engenharia de Materiais, v.2: uma introdução a propriedades, aplicações e projeto; tradução de Arlete Simille Marques – Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- LEITE, Marcia C. A. M., Furtado, Cristina R. G., Couto, Lessandra O., Oliveira, Flavia L. B. O, CorreiaA, Thiago R. Avaliação da Biodegradação de Compósitos de Poli (e-Caprolactona) /Fibra de Coco Verde. Polímeros, Rio de Janeiro, v.20. Especial, p. 339-344, 2010.
- ORTH, Cíntia M., Baldin, Nelma., Zanotelli, Cladir T. Implicações do Processo de Fabricação do Compósito Plástico Reforçado com Fibra de Vidro Sobre o Meio Ambiente e a Saúde do Trabalhador: O Caso Da Indústria Automobilística. Revista Produção Online, Florianópolis, SC, v.12, n. 2, p. 537- 556, abr./jun. 2012.
- BALZER, Palova S., Vicente, Lawrence L., Briesemeister, Ricardo, Becker, Daniela. Estudo das Propriedades Mecânicas de um Composto de PVC Modificado com Fibras de Bananeira. Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 17, nº 1, p. 1-4, 2007.
- MOTHÉ, Cheila G., Araujo, Carla R., Caracterização Térmica e Mecânica de Compósitos de Poliuretano com Fibras de Curauá. Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 14, nº 4, p. 274-278, 2004.
- SATOLO, Luiz F., Bacchi, Mirian R. P., Dinâmica econômica das flutuações na produção de cana de açúcar. Disponível em <<http://www.revistas.usp.br/ecoa/article/view/1013>> acesso em 29 de março de 2015.
- SARMENTO, Patricia, Garcia, Rasmio, Pires, Aureliano J. V., Nascimento, Andréia,. Tratamento do Bagaço de Cana de açúcar com Uréia. Rev. bras. zootec., v.28, n.6, p.1203-1208, 1999.
- ASKELAND, Donald R., Phulé, Pradeep P.; Ciência e Engenharia de Materiais 1 ed.; tradução Vertice Translate e All Tasks – São Paulo: Cengage Learning, 2008.
- MARTINS, Carlos R., Júnior, Luciano A. J. Evolução da produção de coco no Brasil e o comércio internacional - Panorama 2010 – disponível em <http://www.cpatc.embrapa.br/publicações_2011/doc_164.pdf> acesso em 29 de março de 2015.
- OSWALD, Vivian, Reciclagem de coco é alternativa à sujeira nas praias, 2011 – disponível em <<http://oglobo.globo.com/economia/reciclagem-de-cocoalternativa-sujeira-nas-praias-2959381#ixzz3Vnb45CjI>> acesso em 29 de março de 2015.
- CALLISTER, Jr., William D.; Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução 7 ed.; tradução de Sérgio Murilo Stamile Soares – Rio de Janeiro:LTC, 2008.

- ASKELAND, Donald R., PHULÉ, Pradeep P.; Ciência e Engenharia de Materiais 1 ed.; tradução Vertice Translate e All Tasks – São Paulo: Cengage Learning, 2008.
- SHACKELFORD, James F.; Introdução à ciência dos materiais para engenheiros 6 ed.; tradução Daniel Vieira – São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.
- CASTILHOS, Lisiane Fernanda Fabro de., Aproveitamento da fibra de coco: Dossier técnico. Instituto de tecnologia do Paraná – TECPAR, 2011.
- PEDRESCHI, Ricardo. Aproveitamento do bagaço de cana da industrial sucroalcooleira na produção de painéis aglomerados. 2009 49 f. Tese (Doutorado em ciência e tecnologia da madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.
- SANCHEZ, Elisabete M.S., Cavani, S. Claudia, LEAL, Claudinete V., Sanchez, Caio G., Compósito de Resina de Poliéster Insaturado com bagaço de Cana de Açúcar: Influência do Tratamento das fibras nas propriedades. Polímeros: vol. 20, nº 3, p. 194-200, 2010.
- ISHIZAKI, Marina H., Visconte, Leila L. Y., Furtado, Cristina R.G., Leblanc, Jean L., Caracterização Mecânica e Morfológica de compósitos de Polipropileno e Fibras de Coco verde: Influência do teor de fibra e das Condições de Mistura. Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 16, nº 3, p. 182-186, 2006.
- MEDINA, Luisa, Schledjewski, Ralf, Schlarb, Alois K., Process related mechanical properties of press molded natural fiber reinforced polymers. Composites Science and Technology: 69 p.1404–1411,(2009).
- KHALFALLAH M., Abbès b., Abbès f., Guo y.q., Marcel v., Duval a., Vanfleteren f., Rousseu., Innovative flax tapes reinforced Acrodur® biocomposites: A new alternative for automotive applications. Materials and Design: 64 p. 116-126, (2014) Elsevier Ltd.
- CAMPOS, Adriana de., Teodoro, Kelcilene B.R., Marconcini, José M., Mattoso, Luiz H. C., Efeito do Tratamento das Fibras nas Propriedades do Biocompósito de Amido Termoplástico/ Policaprolactona/Sisal.
- GUERRA, Mauri J. Donaire, Denis.; Estatística indutiva teoria e aplicações 7 ed.; tradução de Sérgio Murilo Stamile Soares – Rio de Janeiro: LTC, 1991.

8. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material incluso neste trabalho

9. ABSTRACT

INFLUENCE OF SUGAR CANE FIBERS AND COCONUT SHELL FIBERS AS A REINFORCEMENT IN COMPOSITES OF DIFFERENT POLYMERIC MATRIXES

¹Guilherme Izidoro de Oliveira, izidorodesigner@gmail.com

¹Gustavo Walter Stella, gustavo.w.stella@gmail.com

¹Cesar Augusto Neitzke, cesar.neitzke@pucpr.br

¹Pontificia Universidade Católica do Paraná, Rua Imaculada Conceição, 1155 | Prado Velho | CEP: 80215-901
Bloco 9

Abstract. This research evaluated and compared the influence of cane bagasse and coconut shell fibers on different composites with thermoset polymer matrices, such as epoxy, orthophthalic polyester, vinyl polyacetate (PVA) and Acrodur®. The fibers were subjected to alkaline chemical treatments with sodium hydroxide and alkaline peroxide, and the method of preparation of the composites was developed and the test specimens were fabricated in accordance with current standards for Izod traction, bending and impact tests. The samples fractured in the tensile test, the treated fibers and the fibers without surface treatment were analyzed in the scanning electron microscope (SEM), and a marked difference in the surface of the treated fibers was evidenced in relation to the untreated fibers, however the main application of the SEM was to verify the adhesion between the fiber and the matrix, possible cracks and porosities. In the results the mechanical characteristics obtained in the tests were highlighted and compared, where the main differences influenced by the fibers analyzed were reported. They also showed significant variations among the composites, highlighting high dispersions due to the adopted manufacturing methods. In consideration of these variations, statistical analyzes of means were performed, obtaining differentiated results. The epoxy matrix composites showed the best mechanical tensile and flexural properties. For the impact strength test the PVA was superior to the other composites

Keywords: Composites; Sugar cane bagasse fiber; Coconut shell fiber, adhesion between fiber and matrix.