

METODOLOGIA DE ENSINO DIDÁTICO NO LABORATÓRIO PARA FABRICAÇÃO DE PLACAS DE POLIÉSTER REFORÇADOS POR FIBRAS NATURAIS DE JUTA DE 5 MM

Rodrigo da Silva Magalhães Dias - rodrigo.ma.galhaes@hotmail.com
Jonatas de Sousa Andrade - centointegradocaesjs@outlook.com
Douglas Santos Silva – dougsantosilva@gmail.com
Francisco Xavier Lima da Silva – fxavirlima@gmail.com
Thomaz Osmane dos Santos Rocha – thosmane@bol.com.br
Ediléia Pereira da Silva – edileiaengprod@gmail.com
Patrick Alves Honorato – honoratopatrick089@outlook.com
Ingrid Saraiva da Silva – ingridsaraiva28@hotmail.com
Igor dos Santos Gomes – igorgomes-@live.com
Geisiane Freitas Miranda – geisiane.f.v.miranda@gmail.com
Ailton da Silva Nascimento – ailtonmecn@gmail.com
Roberto Tetsuo Fujiyama – fujiyama.ufpa@gmail.com
Instituto de Tecnologia - ITEC, Faculdade de Engenharia Mecânica – FEM Rua Augusto
Corrêa – n01 66075-110 – Belém – Pará

Resumo: Este artigo tem por objetivo apresentar uma metodologia didática de fabricação (rota de fabricação) de compósitos estruturais de matriz polimérica reforçada por mantas de fibras naturais de juta (5mm de comprimento) a alunos de graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pará. A importância do tema refere-se ao uso sustentável dos recursos naturais e sua grande abundância no meio ambiente. A rota de fabricação envolveu a confecção de placas de compósitos através de dois métodos distintos: a laminação manual, ou hand-lay-up, e a infusão à vácuo. Esta didática visa elucidar o entendimento a respeito do estudo de materiais compósitos e incentivar o envolvimento dos alunos nas práticas laboratoriais, apresentando os instrumentos utilizados na fabricação de compósitos. As informações aqui apresentada refere-se ao desenvolvimento das atividades na disciplina Compósitos Estruturais. Os alunos foram divididos em grupos para o desenvolvimento das atividades e também para as avaliações.

Palavras-chave: Fibras naturais, Metodologia didática, Fabricação de compósitos, Laminação manual, Infusão a vácuo.

1 INTRODUÇÃO

As tecnologias modernas exigem materiais com combinações de propriedades que não podem ser atendidas por ligas metálicas, cerâmicas e materiais poliméricos convencionais (CALLISTER, 2005). É objetivo de estudo e pesquisa de cientistas e engenheiros materiais que sejam fortes e rígidos, resistentes ao impacto e à abrasão, que sejam leves, e que, além de tudo, tenham melhor custo benefício na fabricação.

Várias pesquisas e trabalhos na área de compósitos poliméricos foram e estão sendo realizados com vista a sustentabilidade. Destaca-se entre as pesquisas e que aparecem em destaque, aquelas que buscam a aplicação para modificadores naturais, principalmente quanto à utilização de fibras naturais (MARINELLI et. all., 2008).

Dessa maneira, este artigo tem por objetivo apresentar uma metodologia didática de fabricação de compósitos estruturais de matriz polimérica reforçada por fibras naturais a

alunos de graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pará, através de uma rota de trabalho simplificada para a confecção de placas de resina de poliéster reforçadas por mantas de juta através de dois métodos distintos de fabricação: a laminação manual, ou *hand-lay-up*, e a infusão à vácuo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Materiais compósitos

Um compósito estrutural é um material que consiste em uma combinação multifásica, ou seja, é mistura de dois ou mais fases quimicamente distintas em uma escala macroscópica, onde uma delas é denominada reforço, a qual é normalmente filamentar e a matriz (ou aglutinante) a qual envolve a primeira fase.

A fase matriz pode ser um metal, um polímero ou um cerâmico, que confere estrutura ao material compósito preenchendo os espaços vazios que ficam no reforço e mantendo-o na sua posição (VENTURA, 2009).

2.2 Compósitos reforçados por fibras naturais

Fibras celulósicas como bagaço de cana-de-açúcar, sisal, banana, coco, madeira e juta, têm sido incorporadas em vários termoplásticos e termofixos como reforço ou carga (SANCHEZ, 2010).

O uso das fibras naturais é bastante amplo, abrangendo aplicações clássicas na indústria têxtil, o uso como reforço em matrizes poliméricas termoplásticas e termofixas e, mais recentemente, a utilização como materiais absorventes de metais pesados no tratamento de resíduos industriais, entre outras aplicações (MARINELLI et. al., 2008).

Fibras naturais têm sido cada vez mais utilizadas como reforçadores para termoplásticos, devido ao baixo custo da matéria-prima, sua biodegradabilidade e pelas boas propriedades mecânicas conferidas ao compósito (BONELLI, 2005).

A performance do compósito reforçado com fibras é avaliada pelo comprimento, forma, orientação, e composição das fibras bem como pelas propriedades mecânicas da matriz. O arranjo das fibras em relação umas às outras, a concentração das fibras e a sua distribuição influenciam significativamente a resistência e outras propriedades dos compósitos reforçados com fibras (VENTURA, 2009).

2.2 Fibras vegetais

MARINELLI et al. (2008) cita que as fibras naturais são aquelas encontradas na natureza e utilizadas "*in natura*" ou após beneficiamento e são classificadas em fibras de origem animal, mineral e vegetal.

As fibras naturais vegetal merece destaque, em razão da enorme variedade de plantas disponíveis na biodiversidade, passíveis de serem pesquisadas, e por ser uma fonte de recurso renovável (MARINELLI et al., 2008).

2.3 Fibra de Juta

Segundo SEIKO (2017), A juta é um biopolímero de celulose, hemiceluloses e lignina, que é cultivada abundantemente em países como a Índia, Bangladesh, China, Nepal e Tailândia. A juta é bastante utilizada na confecção de tecidos, sacos, tapetes e carpetes.

O uso da juta em materiais compósitos, como a produção de revestimentos e forrações laterais de automóveis, vem ganhando cada vez mais espaço na indústria automobilística nos últimos anos. Os produtos compostos são feitos das fibras recicladas provenientes das sacarias de aniagem utilizados no transporte de café, amendoim, castanhas e batata. Estas sacarias são

desfiadas e misturadas com polipropileno formando as mantas. As mantas são aquecidas, ocasionando a fusão do polipropileno, para depois serem prensadas a frio, dando a forma da peça final (PIRES, 2009).

2.4 Fabricação de mantas - pré-pregs

O material pré-impregnado é usado para a produção de compósito polimérico avançado onde a resina e o endurecedor combinam-se com a fibra por meio de processamento automático e controlado, dando consistência ao produto (CÂNDIDO, 2000).

A utilização de pré-impregnados permite manter a integridade física do reforço durante o seu manuseio para a moldagem, controlar previamente a fração volumétrica de fibras e ajustar o grau de cura da matriz impregnante de modo a facilitar o processamento (COSTA, 2003).

2.5 Métodos de fabricação de materiais compósitos

Laminação manual

O laminado é fabricado com excesso de material sendo que o recorte e acabamento da borda livre é realizado por técnicas de usinagem mecânica convencional. Este método exige mão-de-obra intensiva e especializada para obtenção de produtos de alta qualidade (CÂNDIDO, 2000).

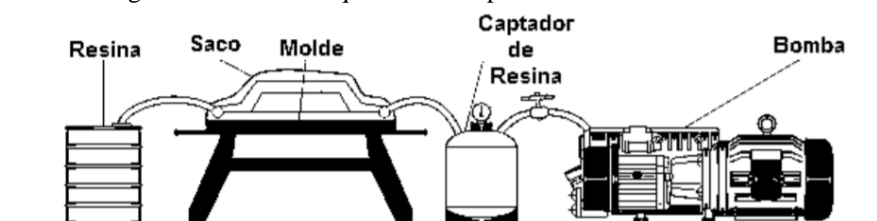
As fibras do compósito são colocadas posicionadas em um molde, as quais são previamente impregnadas com a matriz polimérica e molhadas com a mesma matriz por meio de um pincel simples ou rolo de lã.

Laminação à vácuo

A laminação a vácuo é uma extensão do processo de Hand Lay-up, com a aplicação de pressão no laminado para melhorar e extrair o excesso de resina e o ar incorporado no laminado. Neste processo o laminado embebido é selado com um plástico contra o molde, posteriormente, o ar é extraído do interior do saco com o auxílio de uma bomba de vácuo, o que contribui para a consolidação da estrutura (LOPES, 2009).

Inclui também um sistema que induz o fluxo de resina, nomeadamente, os canais de entrada para distribuição da mesma e uma bomba de vácuo, que retira o ar existente no interior do saco de forma a originar uma pressão negativa (DA SILVA, 2016). A Figura 1 mostra esquematicamente o processo de infusão à vácuo.

Figura 1 – Sistema esquemático do processo de infusão à vácuo.



Fonte : da Silva, 2016.

3 MATERIAIS UTILIZADOS E METODOS DE ENSINO

3.1 Materiais utilizados

Fibras de juta de 5 milímetros

Foi utilizada para a confecção das mantas fibras de juta com comprimento de 5 milímetros (Figura 2). Esta fibra é facilmente encontrada em comércios da região

metropolitana de Belém. Ressalta-se que as fibras foram usadas em condições ambientais, sem excesso de umidade e sem tratamento químico.

Telas plásticas

Foram fabricadas telas plásticas (Figura 3) de pequena granulometria para servirem de molde, criando uma área delimitadora para a distribuição das fibras das mantas.

Figura 2 – Fibras de juta cortadas em 5 mm.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 3 – Tela plástica delimitadora



Fonte: Autoria Própria

Resina de poliéster

A matriz polimérica usada foi a resina de poliéster tereftálica insaturado do tipo CRISTAL, o diluente utilizado na resina foi o monômero de estireno e o agente de cura foi o peróxido de metil-etil-cetona (MEKP). Estes produtos são fabricados pela CENTERGLASS RESINAS & FIBRAS DE VIDRO. O diluente, o poliéster e o iniciador de cura são apresentados na Figura 4.

Balança de precisão

Foi utilizada a balança de precisão modelo MK-DC-06 (Figura 5). A balança foi usada para aferição das amostras de fibras e também para a medir a quantidade de resina utilizada na matriz.

Figura 4 – Materiais utilizados na fabricação da matriz polimérica.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 5 – Balança de precisão modelo MK-DC-06



Fonte: Autoria Própria.

Borrifador

Foi utilizado um borrifado de plástico (Figura 6) para a realização do pré-preg da matriz polimérica sob as mantas de fibras naturais. É facilmente encontrado em qualquer loja de utilidades no território nacional.

Placas de acrílico

Placas de acrílico (Figura 7) foi usada para assentar as mantas naturais sob sua superfície. Importante para as etapas de secagem, pulverização do pré-preg e armazenamento.

Cera desmoldante

Cera desmoldante (Figura 8) da fabricante CENTERGLASS RESINA & FIBRA DE VIDRO foi usada para que a resina polimérica não impregne nas placas de acrílico durante a pulverização do pré-preg, facilitando, assim, a retirada da manta após a cura da matriz.

Figura 6 – Borrifador utilizado na pulverização da resina



Fonte: Autoria Própria.

Figura 7 – Placas de acrílico.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 8 – Cera desmoldante.

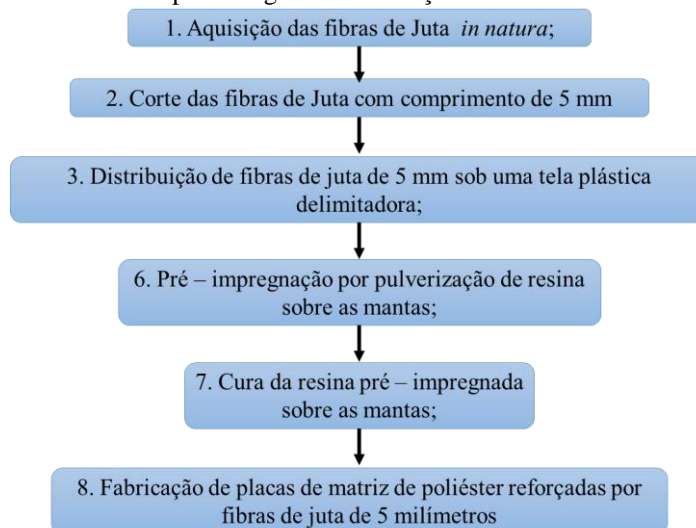


Fonte: Autoria Própria.

3.2 Métodos de Ensino

O ensino da metodologia para os alunos baseou-se na utilização de fibras naturais da região, juta com comprimento de 5 mm, a serem confeccionadas de forma manual, adotando os critérios da sustentabilidade dos recursos renováveis e sua aplicação em âmbito acadêmico e industrial, levantando a importância da utilização desses materiais para o estudo e pesquisas científicas. A rota de aprendizagem constante no fluxograma da Figura 9.

Figura 9 – Rota de aprendizagem da fabricação de mantas de fibras naturais



Fonte: Autoria Própria.

Corte das fibras de juta com 5 mm de comprimento

Após a abordagem inicial com alunos, explicou-se a maneira adequada de secção das fibras de juta e seu respectivo comprimento. O material na forma bruta foi mostrado aos alunos e explicado de forma geral sua transformação em compósito. Para haver a secção, os alunos utilizaram papel milimetrado de 5 mm e tesoura, utilizando a força manual para seccionar o material até a obtenção da quantidade estipulada para fabricação da manta. A forma inicial da juta e o processo de corte efetuado pelos alunos pode ser visualizado na Figura 10

Figura 10 – (a) Tecido de juta adquirido *in natura*., (b) Corte da fibra de juta em 5 mm



(a)



(b)

Fonte: Autoria Própria.

Preparação da manta de fibra de juta

Após o corte, foi iniciada a confecção das mantas, onde foram montadas a partir da distribuição da fibra de juta sobre a tela plástica, limitando o comprimento das mantas (Figura 11).

Figura 11 – Preparação da manta de fibras de juta. (a) Distribuição das fibras ao longo da tela delimitadora, (b) Compactação do amontoado de fibras.



(a)



(b)

Fonte: Autoria Própria.

Preparação da matriz polimérica

Para o ensino da preparação da matriz polimérica aos alunos, explicou-se o processo de uso da balança e os comandos básicos para adequar o peso de cada material a ser misturado (Figura 12). Como parâmetro de pesagem recomendou-se a medida padrão para a preparação da matriz polimérica, equivalente a 63,5 g de resina de poliéster e 0,4 g de catalizador.

Explicou-se aos alunos que o agente diluidor irá facilitar a pulverização da resina sobre as mantas, o diluente foi adicionado tendo como base experimentos empíricos realizados no laboratório, sendo a quantidade ideal equivalente a 1,5 vezes da altura de resina dentro do recipiente. Após a mistura com diluidor a mistura foi pulverizada pelos alunos (Figura 13).

Figura 12 – Preparação da resina de poliéster



Fonte: Autoria Própria.

Figura 13 – (a) Aplicação do agente diluidor à resina de poliéster, (b) Transferência da mistura pronta ao borrifador.



(a)



(b)

Fonte: Autoria Própria.

Pulverização da resina

Após a transferência da mistura, houve a orientação aos alunos sobre a pré-impregnação da resina poliéster, com o uso de um pulverizador plástico. Foi ensinado ainda que a manta deve ser posta sob uma placa de acrílico, que seja previamente encerada com cera desmoldante como mostra a Figura 14. Este processo é necessário para que a resina não reaja com a placa, a qual serve apenas como suporte para a manta.

Durante o próximo processo, optou-se por utilizar uma didática de ensino mais simplificada, explicando de maneira prática o que deveria ser feito e orientando os alunos a tentarem desenvolver as atividades a partir dos passos ensinados anteriormente, sendo assim foi montada uma bancada composta de mesas plásticas revestidas de transparências de retroprojetor, de modo a não as impregnar de resina, sendo a pulverização feita pelos alunos, realizada na parte de fora do laboratório, de modo a não contaminar a parte de dentro do mesmo com os particulados de resina. A Figura 15 mostra esse processo de interação dos alunos com o procedimento de pulverização de resina na manta de fibra de juta de 5 mm sob a bancada descrita acima.

Figura 14 – Enceramento da placa de acrílico



Fonte: Autoria Própria.

Figura 15 – Pulverização de resina sobre manta de Juta de 5mm.



Fonte: Autoria Própria.

Cura da resina

Explicou-se aos alunos a necessidade do enrijecimento das fibras da manta, para o compósito obter um aspecto mais firme e rígido, sendo necessário a cura da resina por período de 24 h, podendo a cura ser realizada tanto ao ar livre, quanto dentro de estufas.

Fabricação de placas com matriz de poliéster reforçadas por mantas de juta de 5 mm

Foi apresentado para os alunos dois métodos distintos de fabricação de materiais compósitos, o primeiro método consiste na laminação manual, conhecido como *hand-lay-up*, utilizando pincel simples com resina para homogeneizar a substância na placa. Como apresentado na Figura 16.

O outro método ensinado aos alunos baseia-se na infusão a vácuo, este processo foi realizado pelo instrutor e demonstrado aos alunos, posicionando a manta de fibra de juta sob uma bancada de PVC, previamente encerada com a cera desmoldante, e em seguida envolveu-se a mesma com a bolsa de vácuo (folha plástica), então, por um conjunto de canaletas, extraiu-se o ar de dentro do sistema, embebendo então a manta com a resina. O processo de laminação a vácuo é apresentada na Figura 17.

Após a realização de ambos os experimentos explicou-se aos alunos a necessidade do processo de cura por um período de 7 dias, de modo a enrijecer melhor o compósito.

Finalizou-se a metodologia de ensino, explicando a necessidade de implementação de processos metodológicos baseados em recursos regionais renováveis, promovendo maior interação dos alunos com a temática sustentável da engenharia. Verificou-se que a dinâmica dos alunos no aprendizado manteve-se interativa, proporcionando um melhor desenvolvimento de ensino-aprendizagem dos processos de fabricação da manta de juta.

Figura 16 – Aplicação da laminação manual



Fonte: Autoria Própria.

Figura 17 – Processo de infusão a vácuo aplicado à manta de juta



(a)

Fonte: Autoria Própria.



(b)

4 RESULTADOS

Verificou-se que o ensino aprendizagem atingiu resultados satisfatórios, pois a participação dos alunos foi dinâmica e interativa, promovendo a captação dos assuntos metodológicos de uma forma mais fácil e didática.

Os alunos compreenderam o processo de fabricação das mantas a partir da mistura de fibra de juta de 5 mm com a resina, desde a forma bruta do material até a transformação em placas poliméricas, obtendo contato com a forma de secção do material, utilização de produtos químicos (catalizador, resina), equipamentos auxiliares, estação de laminação à vácuo, bem como todos os demais procedimentos e equipamentos necessários para a transformação do material bruto em placas poliméricas.

Os resultados mostram que o método de ensino é eficaz, desde a parte didática até a forma sequencial das etapas, pois verificou-se que os alunos mativeram-se motivados e interessados a cada nova etapa, conseguindo assimilar os conteúdos que estavam sendo repassados sobre a temática.

Após os métodos de ensino repassado e a respectiva interação dos alunos na fabricação das mantas como reforço, conseguiu-se obter excelentes placas poliméricas, com propriedades mecânicas adequadas para posterior análise, podendo servir de base para outros laboratório, bem como outras turmas do curso.

Na Figura 17 as placas poliméricas fabricadas pelos alunos, baseadas no ensino prático e didático repassado durante o processo de aprendizado, mostrando a efetividade dos procedimentos de ensino aplicado a fabricação de materiais renováveis e sustentáveis.

Figura 17 – Placas produzidas no desenvolvimento da metodologia ensinada aos alunos. (a) Placa feita por infusão a vácuo, (b) Placa feita por laminação a vácuo.



(a)

Fonte: Autoria Própria.



(b)

Analisando o que foi mostrado na Figura 17, as placas apresentaram bom acabamento superficial, podendo ser uma alternativa viável para aplicação nos mais diversos segmentos da Engenharia, haja vista promover a sustentabilidade e utilização de materiais renováveis, aspectos importantes para o desenvolvimento econômico sustentável da sociedade.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após todos os procedimentos realizados, analisa-se a grande contribuição que este processo de aprendizado traz para área acadêmica, pois muitas das vezes os alunos não conseguem ter um aprendizado efetivo por virtude de o ensino ser demasiadamente técnico e teórico, criando uma barreira para o aprendizado efetivo dos mesmos. Com a utilização dos recursos desenvolvidos neste trabalho conseguiu-se criar uma interação maior do aluno com os processos de fabricação, bem como interação maior com o laboratório, peça chave para consolidar o conhecimento técnico-científico de forma prática e duradoura.

Nesta vertente pode-se mencionar as vantagens em utilizar aulas práticas em laboratório, sendo as principais ilustradas como a promoção da maior interação dos alunos, facilidade do processo de ensino-aprendizagem, motivação dos alunos, implementação de aspectos sustentáveis de forma prática, manipulação prática de materiais regionais, entre outros benefícios.

O trabalho conseguiu atender os objetivos propostos, desde a fabricação das placas poliméricas, até o repasse didático das informações necessárias de fabricação, fatos que são relevantes a nível acadêmico, podendo ser utilizado como base em outros centros de pesquisa pelo país.

REFERÊNCIAS

BONELLI, C. M. C.; ELZUBAIR A.; SUAREZ J. C. M. **Comportamento Térmico, Mecânico e Morfológico de Compósitos de Polietileno de Alta Densidade Reciclado com Fibra de Piaçava**. Departamento de Engenharia Mecânica e de Materiais, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 15, nº 4, p. 256-260, 2005.

CALLISTER, W. JR. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 5ª Ed. Rio de Janeiro, Editora LTC, 2002.

CÂNDIDO G. M.; ALMEIDA S. F. M. **Processamento de Laminados de Compósitos Poliméricos Avançados com Bordas Moldadas**. ITA, Divisão de Engenharia Mecânica Aeronáutica, São José dos Campos, *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 10, nº 1, p. 31-41, 2000.

COSTA, M. L. et al. Avaliação Térmica e Reológica do Ciclo de Cura do Pré-Impregnado de Carbono/Epóxi. Divisão de Materiais, Instituto de Aeronáutica e Espaço, CTA. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 13, nº 3, p. 188-197, 2003.

LEVI NETO, F. PARDINI, L. C. **Compósitos estruturais: ciência e tecnologia**. 1ª Ed. São Paulo: Blucher, 2006.

LOPES, I. A. F. **Estudo do processo de infusão a vácuo em materiais compósitos: Produção de tampa de bagageira para autocarro**. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2009.

MARINELLI, A. L. et al. **Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras vegetais naturais da biodiversidade: uma contribuição para a sustentabilidade amazônica.** Centro de caracterização e desenvolvimento de materiais, UFSCar, São Carlos, SP, 2008.

PIRES E. N. **Efeito do tratamento de superfície em fibras de juta no comportamento mecânico de compósitos de matriz epóxi.** Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

SANCHEZ, E. M. S. et al. **Compósito de Resina de Poliéster Insaturado com Bagaço de Cana-de-Açúcar: Influência do Tratamento das Fibras nas Propriedades.** Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil, 2010.

SEIKO, J. R. et al., I: Processing of jute using water miscible conditioning agent. **ICAR – National Institute of Research on Jute & Allies Fiber Technology**, India. Industrial crops and products, Revista ELSEVIER, 2017.

SILVA, F. D. R. **Modelação Dinâmica de um Processo de Infusão a Vácuo.** Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2016.

VENTURA, A. M. F. M. **Os Compósitos e a sua aplicação na reabilitação de estruturas metálicas.** Departamento de Engenharia Química e Biológica, Instituto Superior Técnico Campus Alameda, Lisboa, Portugal.

METHODOLOGY OF TEACHING EDUCATION IN THE LABORATORY FOR THE MANUFACTURE OF POLYESTER PLATES REINFORCED BY 5 MM JUTA NATURAL FIBERS

Abstract: *This article main to show a didactical methodology of fabrication (manufacturing route) of structural composites of polymeric matrix reinforced by blankets of jute natural fiber (5mm in length), to mechanical engineering students of Federal University of Pará. This theme has great importance regarding the sustainable use of natural resources present in great abundance in the environment. The manufacturing route has involved the fabrication of composite through two distinct methods: manual lamination, or hand-lay-up, and vacuum infusion. This didactic aims to elucidate the understanding regarding the study of composite materials and to encourage students' involvement in the laboratory practices, presenting the instruments used in the manufacture of composites. The information presented here refers to the development of activities in the discipline Structural Composites. The students have been divided into groups for the development of the activities and also for the evaluations.*

Key-words: *Natural Fibers, Didactical Methodology, Composites Fabrication, Manual Lamination, Vacuum Infusion*