

COMPORTAMENTO MECÂNICO DO COMPÓSITO DE RESINA ORTOFTÁLICA REFORÇADO COM FIBRA DE JUTA E TRATADO QUIMICAMENTE COM HIDRÓXIDO DE SÓDIO

R.C. Santiago

– Departamento Acadêmico de Tecnologia Industrial – CEFET-RN
Av. Sem. Salgado Filho, 1159 Morro Branco CEP 59.015-000 Natal-RN
E-mail: rodrigo@santiago.zzn.com

R.M. Braga

– Departamento Acadêmico de Tecnologia Industrial – CEFET-RN
Av. Sem. Salgado Filho, 1159 Morro Branco CEP 59.015-000 Natal-RN
E-mail: renas_braga@yahoo.com.br

R.C.T.S. Felipe

– Departamento Acadêmico de Tecnologia Industrial – CEFET-RN
Av. Sem. Salgado Filho, 1159 Morro Branco CEP 59.015-000 Natal-RN
E-mail: rcfelipe@cefetrn.br

R.N.B. Felipe

– Departamento Acadêmico de Tecnologia Industrial – CEFET-RN
Av. Sem. Salgado Filho, 1159 Morro Branco CEP 59.015-000 Natal-RN
E-mail: nonatofelipe@cefetrn.br

RESUMO

A utilização de materiais compostos na indústria em geral é algo que vem crescendo em larga escala, seja na utilização em situações que exijam grandes solicitações ou não. No que diz respeito a sua aplicação, os mesmos podem ser utilizados na indústria aeroespacial, médica, automobilística entre outras indústrias. Com isto, este trabalho visa a obtenção de um compósito formado com matriz polimérica e reforço natural, sendo utilizada uma matriz de poliéster ortoftálica e reforço de tecido de juta tratado superficialmente por método químico pelo uso de soluções alcalinas, objetivando melhoria da ligação fibra/matriz, por esta ser um grande empecilho quando se trabalha com fibras naturais, pois estas possuem uma baixa aderência à matriz. Foram feitas três placas deste compósito mediante o processo de fabricação de laminação manual nas seguintes condições: a primeira sem tratamento superficial na fibra, a segunda tratando superficialmente a fibra utilizando NaOH a 2% e a terceira situação tratando a fibra também com NaOH, no entanto com uma concentração de 5%. Foram feitos corpos-de-prova a partir das placas obtidas para a realização de ensaios de tração uniaxial conforme a norma ASTM D3039-78 e flexão em três pontos segundo a norma ASTM D790-90. Com isto, fez-se uma análise comparativa entre as três condições buscando obter qual dessas situações apresentava melhor comportamento mecânico. Desta forma, pôde ser observado que houve uma variação das propriedades mecânicas para ambas as situações e que o tratamento superficial fez com que ocorresse uma melhoria nas propriedades mecânicas analisadas para uma concentração a 5% de NaOH.

PALAVRAS-CHAVE: compósitos, fibras naturais, fibra de juta, propriedades mecânicas.

1. INTRODUÇÃO

Na última metade desse século a utilização de fibras naturais como reforço em materiais compósitos tem sido extremamente explorada, isto porque são matérias-primas de baixo custo, são abundantes, provêm de fontes renováveis, não poluentes, e possuem um conjunto de propriedades mecânicas. Tendo em vista todas essas vantagens, esses materiais, também conhecidos por biocompósitos, adicionados em uma matriz polimérica têm sido alvo para desenvolvimento de pesquisas de grande relevância.

A fibra natural de juta, devido ao seu conjunto de propriedades mecânicas, disponibilidade e custo, se mostra como uma das mais promissoras e de grande uso comercial. Essas fibras são extraídas de dois tipos básicos de plantas, *Corchorus Olitorius* cultivadas em zonas altas e a *Corchorus Capsularis* cultivadas em zona de inundação. Ela é considerada uma fibra celulósica dura por causa do alto módulo em tração específico de 43 GN/m^2 e uma resistência específica de 340 MN/m^2 , sendo composta por 60% de celulose, 23% de hemicelulose, 14% de lignina e 3% de outras substâncias, como ceras e proteínas.

Este trabalho trata de utilização da fibra de juta como reforço em uma matriz polimérica, formando assim um compósito. Este foi laminado manualmente em forma de placas, sendo a primeira composta por fibra natural sem tratamento químico, a segunda foi submetida a uma solução de Hidróxido de Sódio a 2 % e a terceira, submetida ao mesmo tratamento a uma concentração de 5 %. O tratamento superficial das fibras é o método mais utilizado e mais eficaz para melhorar a adesão fibra/matriz. Uma boa adesão faz com que sejam obtidas melhores propriedades do material compósito, como consequência de uma boa interface fibra/matriz. Uma interface forte aumenta a integridade dos compósitos e transfere a carga eficientemente às fibras, através da matriz, resultando em compósitos mais resistentes. Outro objetivo do tratamento também é reduzir a quantidade de gordura cerosa existente na fibra.

Foram confeccionados corpos-de-prova para realização de ensaios de tração uniaxial e flexão em três pontos e realizada uma análise comparativa entre os valores das propriedades mecânicas dos compósitos para as três situações.

2. ASPECTOS TEÓRICOS

2.1. Materiais Compósitos

O surgimento dos compósitos foi motivado pela crescente severidade das condições de operação imposta pelas novas tecnologias, especialmente no que se refere à necessidade de combinar propriedades incompatíveis umas com as outras, como, por exemplo, resistência mecânica e tenacidade.

Como definição, o material composto se define como sendo um material formado por diferentes materiais, sendo que quando analisado macroscopicamente o mesmo é homogêneo. Por outro lado, o mesmo possui fibras contínuas ou não, que oferecem resistência mecânica; e, a matriz que dá forma ao produto final (Gay, 1991)

Smith (1999) o define da seguinte forma: “Um material compósito é formado por uma mistura ou combinação de dois ou mais micro ou macro constituintes que diferem na forma e na composição química e que, na sua essência, são insolúveis uns nos outros”.

Segundo (Ferrante, 2002) uma definição satisfatória de compósitos deve abordar seus componentes, arranjo e “funcionamento” quando em conjunto. Esses requisitos são razoavelmente preenchidos pela seguinte definição: “Um material composto é formado por dois ou mais componentes, com identidade química e forma diferentes, que se conservam distintos após o processamento e que são separados por uma interface mais ou menos definida. A adesão entre esses componentes é tal que as cargas são transferidas para os elementos de maior resistência mecânica, fibras, que estão geralmente dispersas no componente que atua como matriz”.

Muitas destas novas gerações de materiais compósitos são formadas por duas fases: uma é chamada de matriz, que é contínua e envolve a outra fase, chamada de reforço também conhecida de dispersa. As propriedades dos compósitos dependem das propriedades das fases constituintes, das suas quantidades relativas e da geometria da fase dispersa. No que se refere à fase matriz, o compósito pode ser classificado em três grupos: metálico, cerâmico e polimérico; na fase dispersa pode ser classificado em três categorias gerais: compósitos particulados, compósitos de fibras descontínuas (“whiskers”) e compósito de fibras contínuas, como mostra a Fig. (1).

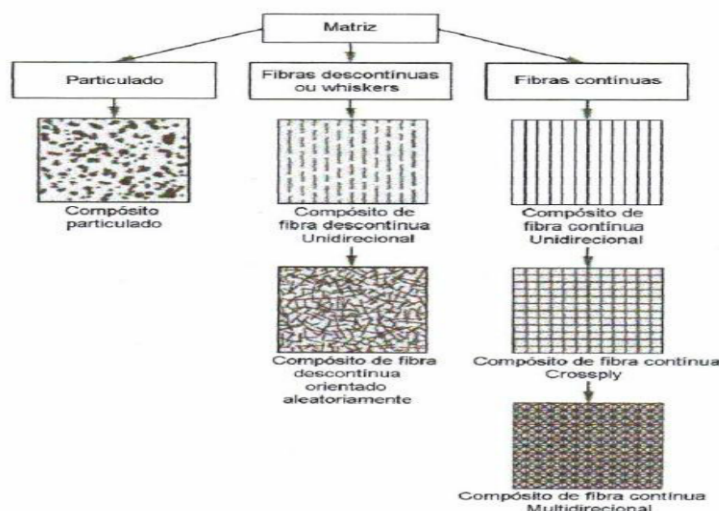


Figura 1 – Classificação do compósito segundo Daniel e Ishai (1994).

2.2. Resina Poliéster

É conhecida como resina termofixa, na qual a polimerização se desenvolve em uma estrutura tridimensional, pois ocorre uma ligação covalente onde não é mais possível ocorrer um escorregamento entre as moléculas. Para este tipo de polímero a plasticidade não aumenta com a temperatura.

As resinas termofixas apresentam propriedades isotrópicas e quando curadas não se consegue mais fundi-las nem dissolvê-las. Portanto, elas perdem suas propriedades elásticas quando aquecidas na temperatura de distorção, desta forma tornando limitado o uso para componentes estruturais; porém, têm melhor estabilidade dimensional, resistência ao calor, resistência química e elétrica do que as resinas termoplásticas.

A cura destes materiais ocorre à temperatura ambiente, porém pode ocorrer sob temperatura e tempo controlados, tentando desta forma obter propriedades ótimas. O processo de cura é exotérmico e após as variações de temperaturas envolvidas e aos diferentes coeficientes de expansão térmico entre a matriz e o reforço, podem ocorrer a formação de micro trincas.

As resinas poliéster possuem uma alta facilidade de impregnação e de serem trabalhadas devido a sua composição estas possuem boa resistência química, térmica e mecânica. A seguir será apresentada a tabela (I) onde mostram algumas propriedades destas resinas.

Tabela I. Propriedades da resina poliéster.(Mendonça, 2005).

Propriedade	Valor
Densidade	1100 a 1400 kg/m ³
Módulo de elasticidade	2100 a 4400 MPa
Resistência à tração	34 a 100 MPa
Alongamento	2%

2.3. Fibra de Juta

A Juta (*corchorus capsularis*) é uma fibra têxtil vegetal que provem da família das "tiliáceas". É uma erva lenhos, alcança uma altura de 3 a 4 metros e o seu talo tem uma grossura de aproximadamente 20 mm, crescendo em climas úmidos e tropicais. A época de semear varia, segundo a natureza e o clima. A fibra útil é contida entre a casca e o talo interno e a extração é feita pelo processo da maceração. As árvores cortadas rente ao solo por meio de foices, são limpas das folhas, postas em feixes dentro da água corrente ou parada.

- 2.3.1. Composição química da fibra: A Tabela (II) mostra cada elemento presente na fibra de juta e sua respectiva composição em porcentagem.

Tabela II. Elementos presentes na fibra de juta. (Fagundes, 2002).

Elementos	%
Cinza	0,7
Água	9,72
Gorduras cerosas	0,36
Extrato aquoso	1,06
Celulose	64,10
Substâncias incrustantes	24,06

Dada à proporção centesimal das substâncias orgânicas da juta temos, conforme a Tabela (III):

Tabela III. Proporção centesimal das substâncias orgânicas da juta. (Fagundes, 2002).

Elementos	%
Carbono	46,30
Oxigênio	47,60
Hidrogênio	6,10

3. METODOLOGIA

3.1. Materiais e Métodos

Para a fabricação do moldado foi utilizado como matéria-prima a matriz de poliéster ortoftálica e o monômero de estireno como solvente da mesma. Como material de reforço, foi utilizada a fibra natural de juta em forma de tecido bidirecional apresentando uma gramatura de 393g/m². Para o processo de cura do sistema utilizou-se como catalisador o butanox e para acelerar a reação foi adicionado cobalto. No tratamento químico das fibras foram utilizadas soluções de Hidróxido de Sódio (NaOH) nas concentrações de 2 e 5%.

3.2. Procedimento Experimental

- 3.2.1. Tratamento químico das fibras de juta: Primeiramente o tecido de juta foi cortado com uma dimensão de 470 x 380 mm, sendo seu peso em estado seco de 47,328g. Este foi mantido sob fervura em água destilada durante uma hora em chapa de aquecimento, sem agitação, e em seguida imersa na solução alcalina de Hidróxido de Sódio (NaOH) a concentração de 2%, pelo mesmo tempo da fervura, sob agitação constante. Foi utilizada uma proporção de 1:15, sendo um litro de solução para cada 15g de fibras. Terminado o tratamento alcalino, as fibras foram lavadas em água destilada até ser alcançado um pH próximo do neutro e logo após, postas em estufa a uma temperatura constante de 60°C por duas horas, a fim de remover a umidade. O procedimento utilizado para tratamento da fibra de juta a concentração de 5% foi o mesmo. Sendo o seu peso, em estado seco de 46,488g.
- 3.2.2. Moldagem do compósito: Foram confeccionados três tipos de compósitos, um apresentando fibra de juta sem tratamento químico, o segundo com a fibra tratada quimicamente com NaOH a concentração de 2%, e o terceiro tratado com a mesma solução a concentração de 5%. Estes foram moldados pelo processo de laminação manual (hand lay-up) no formato de placas de aproximadamente 470 x 380 mm com uma espessura média de 1,65 mm à temperatura ambiente e utilizando como catalisador o MERK e acelerador o cobalto. Ver Fig. (2) referente ao processo de fabricação.

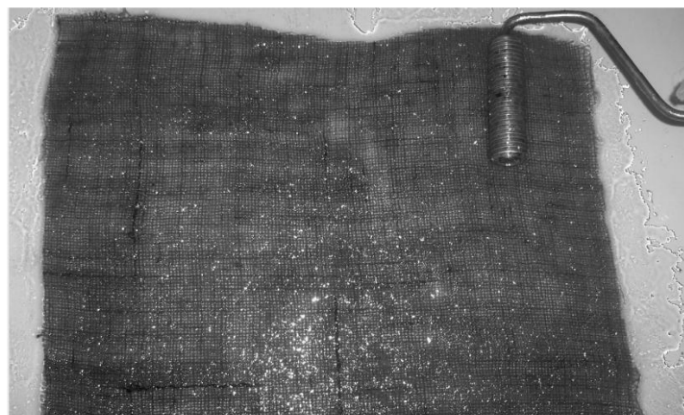


Figura 2 – Processo de fabricação de laminação manual.

- 3.2.3. Confecção dos corpos-de-prova (CP): Foram confeccionados utilizando um disco de corte e lixa de número 600, 10 corpos-de-prova para cada tipo de placa, nos quais 5 CP para ensaio de tração uniaxial, possuindo 127 x 25,4 x 1,87 mm (comprimento x largura x espessura) e 5 CP para ensaio de flexão com a dimensão de 100 x 10 x 1,87 mm (comprimento x largura x espessura), obedecendo às normas ASTM D3039-78 e ASTM D790-90, respectivamente. Ver Fig. (3 e 4) .

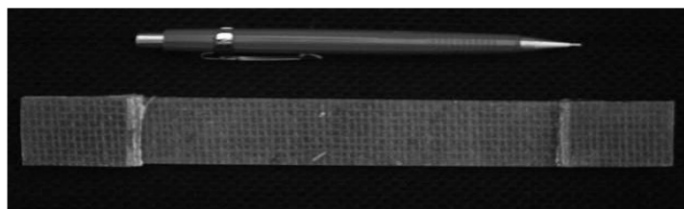


Figura 3 – Corpo de prova para o ensaio de tração uniaxial.

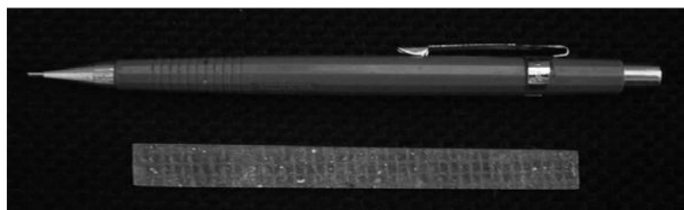


Figura 4 - Corpo de prova para o ensaio de flexão em três pontos.

- 3.2.4. Ensaio de tração e flexão em três pontos: Os ensaios foram realizados, em uma máquina de ensaio universal Pavitest fabricante CONTENCO segundo as normas ASTM D3039-78 para o ensaio de tração uniaxial com uma célula de carga de 1000 Kgf, e a norma ASTM D790-90 para o ensaio de flexão em três pontos utilizando célula de carga de 100 Kgf. Em ambos ensaios a velocidade utilizada foi de 0,5 mm/min. Ver Fig. (5).



Figura 5 – Máquina de ensaio universal.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise das Propriedades Mecânicas

Foram avaliadas as propriedades mecânicas dos três compósitos, sem tratamento superficial da fibra de juta, com tratamento químico superficial na fibra, com hidróxido de sódio, a uma concentração de 2% e outro a 5%. Após essas avaliações, as propriedades foram comparadas e seus resultados são mostrados a seguir.

A Tabela (IV) apresenta os dados obtidos no ensaio de flexão-em-três-pontos para as três situações dos compósitos analisados.

Tabela IV. Resultados Experimentais das Propriedades Mecânicas de Flexão.

Característica do Compósito	Resistência à Flexão (MPa)	Módulo de Elasticidade à Flexão (MPa)	Deformação (mm/mm)
Fibra não Tratada	$17,57 \pm 0,01$	$613,43 \pm 74,92$	$0,06 \pm 0,02$
Fibra tratada (2%)	$18,31 \pm 2,98$	$539,42 \pm 77,05$	$0,08 \pm 0,01$
Fibra tratada (5%)	$28,56 \pm 2,61$	$1046,12 \pm 56,32$	$0,06 \pm 0,01$

É possível perceber claramente uma melhoria da resistência à flexão no compósito cujo tratamento químico superficial da fibra foi à concentração de 5% de NaOH. Quanto ao compósito, cuja fibra foi tratada a 2%, no que se refere a resistência a flexão o mesmo sofreu uma queda em seu valor.

Na Fig. (6) nota-se uma mudança relativamente considerável entre os três compósitos. Houve uma variação de aproximadamente 63%, comparando-se os resultados de menor e maior resistência à flexão (fibra não tratada e tratada a 5%). Essa ocorrência pode se dar pelas características de solitação nos quais os materiais foram submetidos.

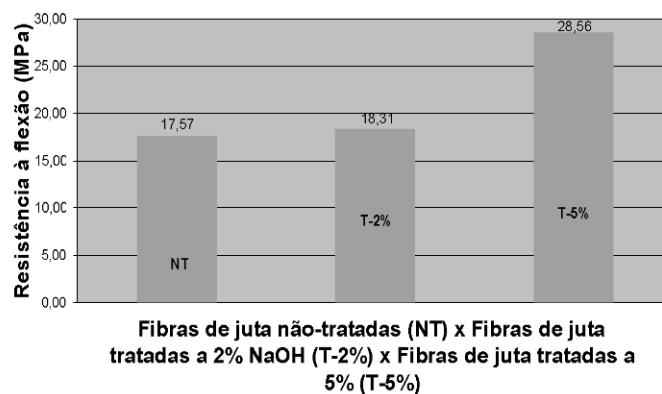


Figura 6 - Resistência à Flexão dos Compósitos (NT), (T-2%) e (T-5%)

A Fig. (7) apresenta os módulos de elasticidade à flexão dos compósitos analisados. Neste caso, o compósito que apresentou melhor valor foi o que a fibra foi tratado superficialmente com NaOH a 5%, havendo um acréscimo em seu módulo de aproximadamente 70% comparando-se os resultados de menor e maior módulo de flexão (fibra não tratada e tratada a 5%).

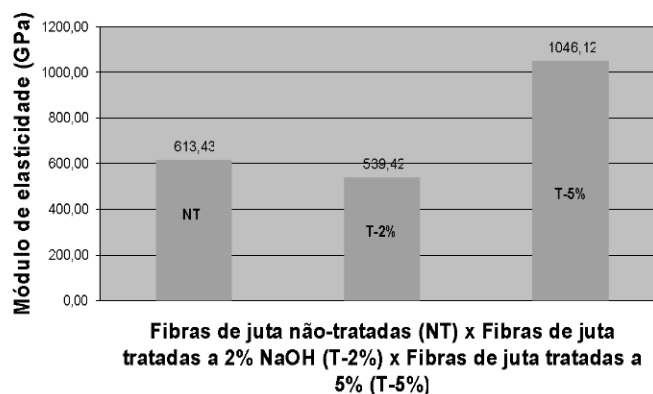


Figura 7 - Módulo de Elasticidade à Flexão dos Compósitos (NT), (T-2%) e (T-5%).

Quando submetidos ao ensaio de flexão-em-três-pontos, observa-se uma maior deformação nos compósitos tratados, a 2% de NaOH, conforme mostra a Fig. (8), abaixo.

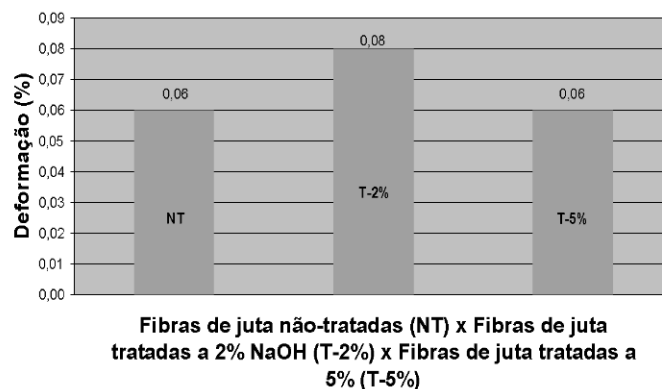


Figura 8 - Deformação à Flexão dos Compósitos (NT), (T-2%) e (T-5%).

A Tabela (V) apresenta os valores obtidos durante o ensaio de tração uniaxial dos compósitos confeccionados.

Tabela V. Resultados Experimentais das Propriedades Mecânicas de Tração.

Característica do Compósito	Resistência à Tração (MPa)	Módulo de Elasticidade à Tração (MPa)	Deformação (mm/mm)
Fibra não Tratada	14,37 ± 1,85	169,86 ± 52,82	1,24 ± 0,18
Fibra tratada (2%)	14,99 ± 1,98	82,17 ± 11,08	1,30 ± 0,21
Fibra tratada (5%)	19,40 ± 0,52	147,30 ± 6,62	1,88 ± 1,27

Como pôde ser verificado, o compósito utilizando tratamento a 5% de NaOH, apenas houve uma melhoria no que se refere a resistência à tração. A seguir será apresentado os valores das propriedades de tração uniaxial em separado para que se possa ter uma maior visualização das respectivas propriedades.

A Fig. (9) apresenta os valores da resistência à tração dos compósitos confeccionados sem tratamento químico e os tratados a 2% e 5%. E pode ser observado que houve uma melhoria na respectiva propriedade mecânica, em ambas fibras tratadas, havendo um acréscimo de 1,04% para a fibra tratada a de 2% NaOH e de 35% a de 5% NaOH.

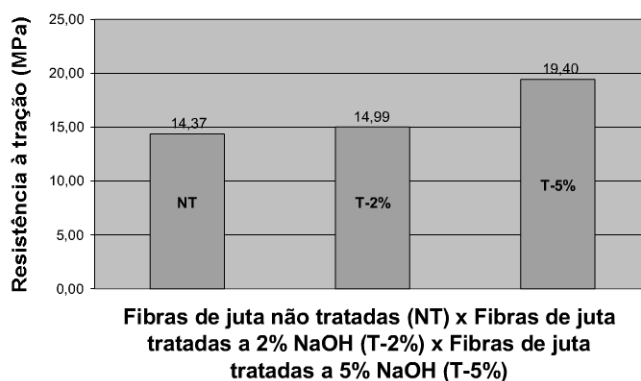


Figura 9 - Resistência à Tração dos Compósitos (NT), (T-2%) e (T-5%).

A Fig. (10) apresenta um comparativo entre os módulos de elasticidade dos compósitos confeccionados sem tratamento químico e os tratados a 2% e 5% quando submetidos ao ensaio de tração uniaxial, não houve melhoria nos seus resultados.

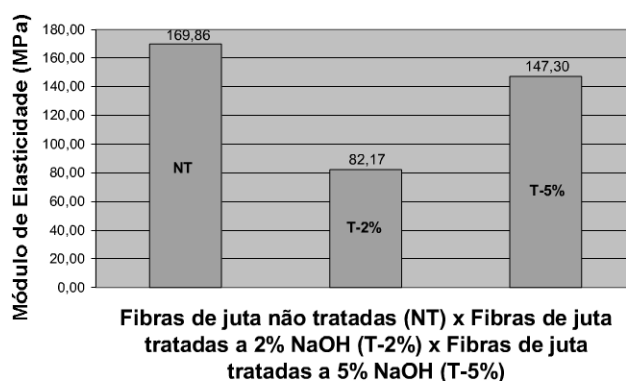


Figura 10 - Módulo de Elasticidade Uniaxial dos Compósitos (NT), (T-2%) e (T-5%).

A Fig. (11) mostra uma análise comparativa no que se refere à deformação destes materiais quando submetido a uma tração uniaxial, nesta figura pode ser observado que houve uma maior deformação no compósito onde a fibra foi tratada superficialmente a 5%, mostrando neste caso que este material se tornou mais dúctil.

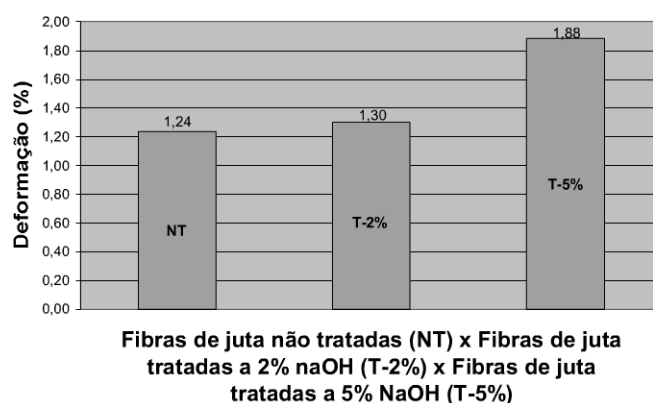


Figura 11 - Deformação dos Compósitos (NT), (T-2%) e (T-5%).

5. CONCLUSÕES

Com base nos dados obtidos através do ensaio de flexão-em-três-pontos, o compósito que apresentou melhor resistência à flexão foi o que teve seu reforço tratado quimicamente com hidróxido de sódio a uma concentração de 5%. Este mesmo compósito teve suas propriedades superiores quando comparado ao tratado a uma concentração de 2%, apresentando melhor módulo de elasticidade à flexão e uma menor deformação. Isto prova que há uma melhor interação fibra/matriz com as fibras tratadas a 5% de NaOH. No que diz respeito ao ensaio de tração uniaxial houve melhoria nas propriedades mecânicas de resistência à tração e ductilidade para o caso da fibra tratada superficialmente a 5% de NaOH. Desta forma, pode se observar para ambas as concentrações de NaOH, a concentração de 5% apresentou a melhor resposta.

6. SUGESTÕES

É interessante se fazer novos estudos com tratamentos com diferentes concentrações de NaOH para se ter uma melhor comparação do comportamento mecânico dos compósitos tratados, bem como utilizar novas soluções, como soluções ácidas, com a finalidade de estudo da interação fibra/matriz.

7. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à aluna Janaina Karla de Medeiros Penha do curso superior de Tecnologia em Materiais do CEFET-RN pela execução dos ensaios no laboratório.

8. REFERÊNCIAS

American Society for Testing and Materials, 1990, ASTM D 790-90 **Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials.**

American Society for Testing and Materials, 1978, ASTM D 3039-78 **Standard Test Methods for Tensile Properties of Fiber-Resin Composites.**

Fagundes, M. H., 2002. Sementes de Juta e Malva: Algumas observações. Disponível em: www.conab.gov.br. Acesso em: 10/04/2004.

Felipe, R. C. T. S., 1997, **Comportamento Mecânico e Fratura de Moldados em PRFV**, Dissertação de mestrado, p. 109, UFRN, Natal-RN, Brasil.

Gay, D., 1991, **Matériaux Composites**, Editions Hermes, Paris, France.

Hull, D., 1988, **Introduction to Composite Materials**, Cambridge University Press, Cambridge.

Lima, J. F. **Compósitos Poliméricos Híbridos Reforçados por Fibras de Vidro e Juta**. Monografia, CEFET – RN, Natal-RN, Brasil.

Lima, J. F.; Barbosa, E. R. B.; Felipe, R. C. T. S.; Felipe, R. N. B. **Análise experimental comparativa entre as propriedades mecânicas de compósitos de fibras naturais tratadas superficialmente**. In: III CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, Belém-PA, 2004.

MARSHALL, P.; et al Fibre/matriz interface property determination, Composites, vol.22, nº1, 1991.

Ancelotti Jr., A. C., Costa, N., Dias, J. C., Góes, M. L. e Pascote, R. P., 2000, **“Avaliação das Propriedades Mecânicas de Compósitos de Matriz Termoplástica Reciclada Reforçada com Fibra de Cana-de-Açúcar”**, Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 14., São Pedro-SP Brasil.

MEDEIROS, A. K. A.; COSTA, E. B.; FELIPE, R. C. T. S.; FELIPE, R. N. B. **Influência da composição do sistema de cura nas propriedades mecânicas da matriz de poliéster**. In: III CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, Belém-PA, 2004.

MENDONÇA, P. T. R. 2005, **Materiais Compostos e estruturas-sanduíches: projeto e análise**, Editora Manoela Ltda, Barueri, SP.