



## PROCEDIMENTO PRÁTICO DE FABRICAÇÃO E SUA INFLUÊNCIA NA RESPOSTA MECÂNICA DE COMPÓSITOS LAMINADOS DE PRFV

### **Raimundo Carlos Silverio Freire Júnior**

UFRN – CCET – Programa de Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais

Campus Universitário - Lagoa Nova

Natal - RN - CEP: 59072 - 970

Tel/Fax: 0(xx)84 215 3768

E-mail: [raimundo@dem.ufrn.br](mailto:raimundo@dem.ufrn.br)

### **Eve Maria Freire de Aquino**

UFRN-DEM/PPGEM - Centro de Tecnologia

Campus Universitário - Lagoa Nova

Natal - RN - CEP: 59072 - 970

Tel/Fax: 0(xx)84 215 3768

E-mail: [eve@dem.ufrn.br](mailto:eve@dem.ufrn.br)

**Resumo.** *Para a utilização de compósitos laminados nas mais diversas aplicações estruturais, é necessário conhecer as suas propriedades mecânicas, bem como a formação e propagação do dano no mesmo. Pensando desse modo, se faz necessário, sempre como ponto de partida, a realização de ensaios de tração e compressão uniaxiais, com o objetivo de caracterizar as constantes elásticas e analisar o comportamento do dano, de forma que a ruptura dos mesmos seja melhor entendida. Este trabalho tem como objetivo analisar as constantes elásticas e o comportamento do dano de compósitos laminados de fabricação industrial, utilizados na confecção de reservatórios de carvão ativado. Os mesmos são constituídos de resinas poliéster reforçadas com fibra de vidro-E. Para a obtenção desses elementos estruturais de grande porte, a indústria costuma adotar procedimentos práticos que leva à mudanças de diversos parâmetros de fabricação. Aqui, o estudo baseia-se em avaliar diferentes configurações do laminado, incluindo variação do número de camadas, mudanças na simetria do mesmo. As camadas se apresentam na forma de manta e tecido têxtil cruzado. Como ensaios preliminares, foram realizados os de densidade volumétrica e calcinação. Em seguida foram realizados os ensaios de tração e compressão uniaxiais, bem como a análise da formação e propagação do dano com a utilização de microscopia ótica.*

**Palavras-chave:** *Compósitos Laminados, Mecanismo de Dano, Propriedades Mecânicas*

### **1. INTRODUÇÃO**

No estudo do comportamento mecânico dos compósitos em geral, verifica-se em alguns casos uma grande complexidade em suas propriedades mecânicas, por causa da influência direta de muitos parâmetros, inclusive do mecanismo de dano envolvido (Hamelin, 1988; Yang et al, 2000 e Hull, 1987). No caso dos compósitos laminados, os parâmetros mais estudados estão geralmente relacionados com o processo de fabricação, configuração (orientação e distribuição das fibras, comprimento das fibras e número de camadas), percentual de fibra, resina e vazios, entre outros.

O processo de fabricação influi nas propriedades mecânicas do laminado, devido o mesmo influenciar na precisão com que as fibras se distribuem no laminado e, bem como, pelo percentual de vazios formados. Em outras palavras, quanto maior for o percentual de vazios piores serão

as suas propriedades mecânicas (Margaria et al, 1997 e Rousseau et al, 1999).

Dentre os processos de fabricação conhecidos pela indústria, o processo de moldagem manual é o mais utilizado mundialmente. Isto ocorre devido ao mesmo possuir a qualidade de ser o que mais se aplica na obtenção de estruturas de qualquer dimensão (inclusive de grande porte), e por ser um processo que possui um investimento inicial pequeno. Porém este processo de fabricação possui o inconveniente de não aferir boas propriedades mecânicas devido o mesmo ser feito de maneira totalmente artesanal, com baixa pressão, ocasionando desse modo grande formação de vazios e desalinhamento das fibras durante a impregnação (Bannister, 2001).

A configuração do laminado define de modo bastante significativo as propriedades do laminado, pois a mesma está relacionada à forma como são distribuídas as tensões no mesmo, quando submetidos a carregamentos externos (tração, compressão, cisalhamento e fadiga). Considerando este parâmetro, a simetria na distribuição das camadas do laminado é de grande importância, pois quando o laminado possui simetria o mesmo possui uma melhor distribuição de tensões internas, melhorando a resposta do laminado à ação de carregamentos externos (Herakovich, 1997 e Freire Júnior, 2001).

Sempre que a indústria busca laminados que apresentem um bom desempenho associado a um baixo custo, vem a preocupação com o tipo de configuração a ser utilizado. Essa preocupação aumenta quando se leva em conta um procedimento bastante utilizado na indústria, o intuito de melhorar as propriedades mecânicas de um laminado, que é o aumento no número de camadas deste. Porém, segundo Davies et al (1999) e Freire Júnior et al (2001), que estudaram a influência do número de camadas em plástico (poliéster) reforçado com fibra de vidro-E em forma de manta e tecido têxtil cruzado, a aplicação deste procedimento nem sempre resulta em bons resultados, e, em alguns casos pode até trazer prejuízos ao desempenho do mesmo, dependendo do tipo de carregamento utilizado.

O objetivo deste trabalho é avaliar as propriedades mecânicas, bem como a formação do dano, de dois compósitos laminados de resina poliéster ortoftálica reforçada com fibras de vidro-E, na forma de manta de fibras curtas e tecido têxtil cruzado. Os mesmos possuem 10 (**C10**) e 12 (**C12**) camadas, sendo que, o laminado **C10** é o único que possui simetria na sua distribuição de camadas.

Os laminados por fazerem parte da estrutura de reservatórios de grande porte, foram obtidos pelo processo de moldagem manual.

## 2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os laminados utilizados neste trabalho foram confeccionados utilizando-se como matéria prima a resina de poliéster insaturada ortoftálica e o reforço de mantas de fibras curtas (5 cm, 450 g/m<sup>2</sup>) e tecidos têxteis cruzados (450 g/m<sup>2</sup>) de fibra de vidro-E. As configurações são:

[M/T/M/T/M]<sub>s</sub> Configuração do laminado de 10 camadas (**C10**)

[M/T/M/T/M/M/T/M/T/M/T/M] Configuração do laminado de 12 camadas (**C12**)

Os símbolos **M** e **T** são referentes à manta e tecido têxtil cruzado de fibra de vidro E, respectivamente. O símbolo *s* é referente à simetria do laminado, observando-se que o laminado **C10** é simétrico e o **C12** não apresenta simetria em sua configuração. É importante salientar que as duas configurações dos laminados são consideradas quase isotrópicas.

Foram realizados ensaios preliminares de densidade volumétrica e de calcinação nos dois laminados, necessários à obtenção dos percentuais de fibras, resina e vazios. Os resultados são mostrados na Tab. (1). A partir destes resultados percebe-se que os dois laminados possuem praticamente os mesmos percentuais de fibras, resina e vazios. Desse modo, pode-se considerar que qualquer variação nas propriedades mecânicas e no mecanismo de formação do dano entre eles, será somente em consequência da variação da sua configuração, no número de camadas, já que se mantém constantes a orientação das fibras (tecido cruzado) com relação ao carregamento aplicado. Pois a mesma foi feita no sentido longitudinal do laminado.

Tabela 1. Percentuais em volume de fibras, resina e vazios para as configurações **C10** e **C12**.

	Fibra (%)	Resina (%)	Vazios (%)
Laminado <b>C10</b>	32,8	49,2	17,8
Laminado <b>C12</b>	32,9	49,9	17,1

Para o corte das placas utilizou-se um disco de corte diamantado (DIFER D252), de forma a evitar um possível "arranque" de fibras ou qualquer outro tipo de dano nos corpos de prova. As dimensões dos corpos de prova para o ensaio de tração e compressão uniaxial foram retiradas da norma ASTM D 3039 (1990) e do trabalho de Mandell et al (1997), respectivamente. Os corpos de prova foram feitos de forma retangular com as seguintes dimensões: 200 x 25 mm para os ensaios de tração e 100 x 25 mm para os ensaios de compressão, na qual o primeiro valor é referente ao comprimento e o segundo a largura. Os comprimentos úteis (gage) são de 127 mm para os corpos de prova de tração e de 35 mm para os corpos de prova de compressão. Exames microscópicos foram realizados em todos os corpos de prova com o objetivo de identificar possíveis danos induzidos nos mesmos, durante o processo de preparação.

Para os ensaios de tração uniaxial utilizou-se uma máquina de Tração Universal Mecânica PAVITEST, com uma velocidade de deslocamento de 1 mm/min.

Os ensaios de compressão foram realizados em uma máquina MTS-810 servo-hidráulica, utilizando-se uma velocidade de deslocamento de 1 mm/min. Todos os ensaios foram feitos a temperatura ambiente (25 °C) e com umidade relativa do ar a 50 %. Foram utilizados 5 corpos de prova na realização de cada ensaio estático.

Para os ensaios de tração e compressão uniaxiais fez-se uma análise microscópica e macroscópica da falha do material. Para a análise microscópica utilizou-se um microscópio ótico MG da marca Olympus.

### 3. RESULTADOS OBTIDOS PARA OS ENSAIOS DE TRAÇÃO UNIAXIAL

Mostra-se na Figura (1), as curvas tensão versus deformação obtidas no ensaio de tração uniaxial para os dois laminados analisados **C10** e **C12**. Por esta figura percebe-se que os dois laminados possuem um comportamento linear, obedecendo a lei de Hooke.

Pela Figura (2a) pode-se comparar o limite de resistência à tração das duas configurações. Por estes resultados, percebe-se que a diferença entre o limite de resistência à tração dos dois laminados foi de 1,4 MPa (variação percentual de 1,2 %), ou seja, praticamente desprezível, demonstrando-se desse modo que a variação do número de camadas (configuração) do laminado, sem a presença da variação na orientação de fibras, não influenciou significativamente na resposta mecânica dos mesmos. Vale lembrar que, conforme foi dito no item anterior, os percentuais de fibra, resina e vazios das configurações **C10** e **C12** são praticamente os mesmos, e, assim sendo, somente a configuração e a simetria do laminado podem ser responsáveis pela pequena variação dos resultados entre os dois laminados.

Com relação às propriedades elásticas, a Fig. (2b) compara os módulos de elasticidade longitudinal dos laminados **C10** e **C12**. Observa-se que, novamente, a configuração não teve influência significativa nesta propriedade do laminado, pois a variação foi de apenas 0,31 GPa, ou seja, uma variação percentual de 6,4 %. Os módulos elásticos foram obtidos diretamente dos dados das máquinas, para os valores iniciais, ou seja, antes de qualquer dano ocorrido.

Resumindo o que foi visto na Fig. (2), percebe-se que apesar dos valores das propriedades destes dois laminados serem bastante próximas, o laminado **C10** mostra uma tendência de melhores propriedades mecânicas que o laminado **C12**. Ou seja, o aumento do número de camadas de 10 para 12 e a conseqüente retirada da simetria do laminado não melhorou as propriedades mecânicas do laminado **C12** como poderia se imaginar, ao contrário, de modo pouco significativo diminuiu as propriedades mecânicas do mesmo. Estes resultados condizem com os de Davies et al (1999) na

qual demonstrou que o aumento do número de camadas não melhora as propriedades mecânicas do compósito laminado, para alguns tipos de carregamentos.

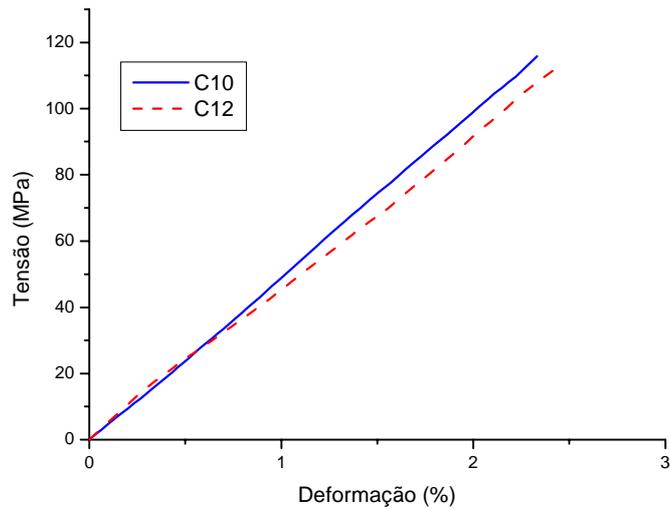


Figura 1. Gráfico tensão versus deformação dos dois laminados para o ensaio de tração

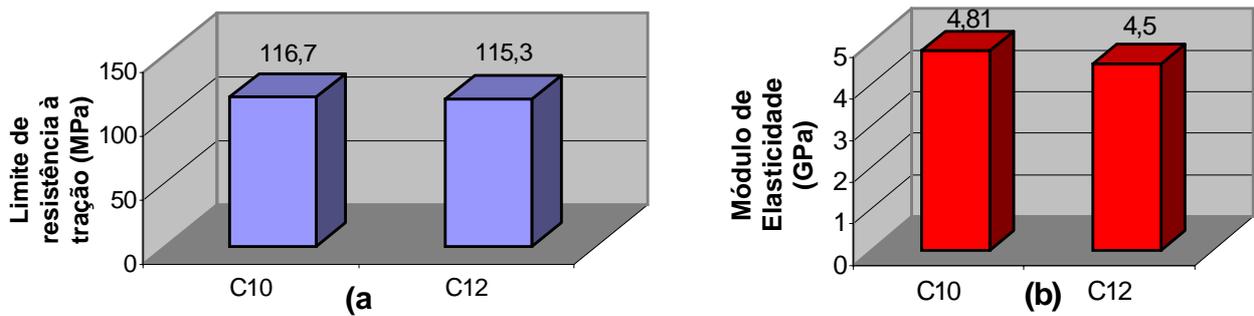


Figura 2. (a) Limite de resistência à tração e (b) módulo de elasticidade dos dois laminados

### 3.1. Análise do Dano nos Ensaio de Tração

Para uma análise macroscópica do ensaio de tração uniaxial, mostra-se na Fig. (3), o corpo de prova depois da ruptura final para o laminado **C12**. Por esta figura, pode-se perceber que ocorre grande quantidade de delaminações ao ponto de grande quantidade de fibra se desprender do laminado, ocorrendo o fenômeno de “rasgamento” do corpo de prova. Vale salientar que, este resultado também foi encontrado para o laminado **C10**.

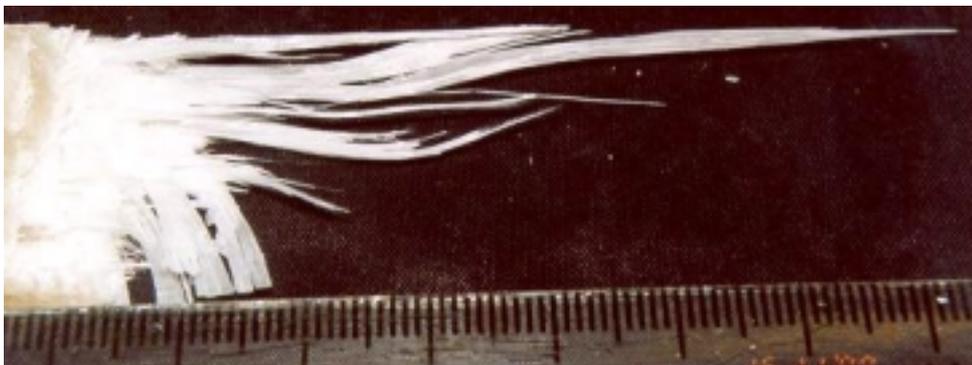


Figura 3. Ruptura de um dos corpos de prova **C12** submetido à tração uniaxial

Analisando microscopicamente os corpos de prova submetidos à tração, as seguintes características de dano, foram registradas para os dois laminados estudados.

- Microfissuras transversais e longitudinais na matriz, com relação à direção do carregamento;
- Desaderência fibra-matriz;
- Ruptura de fibras;
- Delaminação.

Analisando-se primeiramente as microfissuras transversais nos dois laminados (**C10** e **C12**), percebe-se que estas não se apresentam de modo uniforme, ou seja, ao longo de todo comprimento útil do corpo de prova. Também se observa que este tipo de dano geralmente era oriundo de um defeito de fabricação do laminado (Fig. 4), estando este defeito em regiões ricas em resina ou em fibra. Registra-se também que a quantidade de microfissuras transversais era maior próxima à região de fratura final.

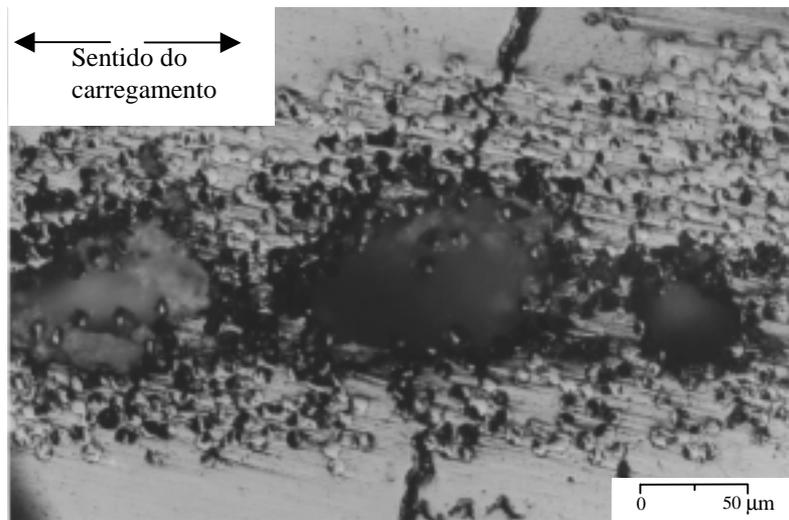


Figura 4. Microfissura transversal oriunda de um defeito de fabricação (**C10**)

Analisando-se o tipo de fratura obtida na interface, percebe-se que nos dois laminados se encontra tanto a fratura adesiva (desaderência fibra matriz) quanto a fratura coesiva na matriz e na fibra. Estes resultados podem ser vistos na Fig. 5.

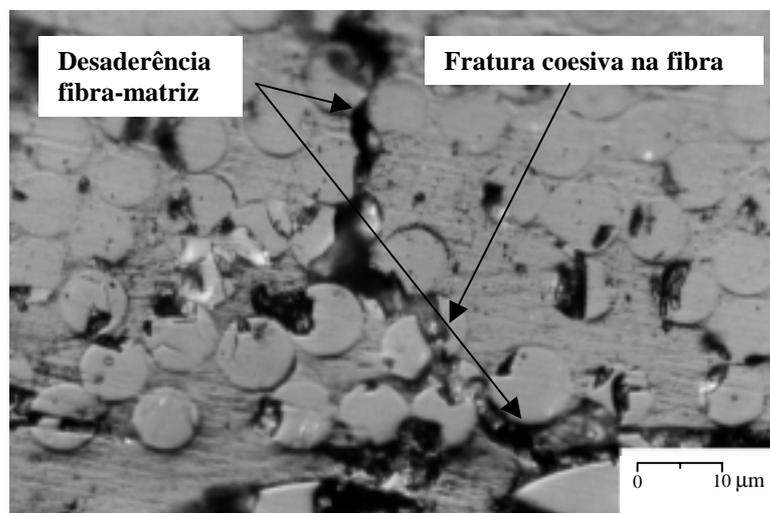


Figura 5. Fratura adesiva e coesiva na fibra (**C12**)

Com relação à delaminação nos dois laminados, percebe-se que a configuração **C12** possuiu maior intensidade de delaminações do que a configuração **C10** e que elas ocorrem em praticamente todas as camadas desta. Já no caso da configuração **C10**, as delaminações ocorreram principalmente nas camadas internas deste laminado.

Por estes resultados percebe-se que, praticamente, os dois laminados não tiveram diferenças de resultados com relação à análise de fratura, e, conforme já foi dito anteriormente, isto se refletiu nos resultados numéricos do ensaio de tração, pois as diferenças percentuais entre os limites de resistência à tração e módulos elásticos entre duas configurações foram consideradas desprezíveis.

#### 4. RESULTADOS OBTIDOS PARA OS ENSAIOS DE COMPRESSÃO UNIAXIAL

Mostra-se na Figura (6), as curvas tensão versus deformação obtidas no ensaio de compressão uniaxial para as duas configurações **C10** e **C12**. Por esta figura percebe-se, também que, como no ensaio de tração, os dois laminados possuem um comportamento linear, obedecendo a lei de Hooke.

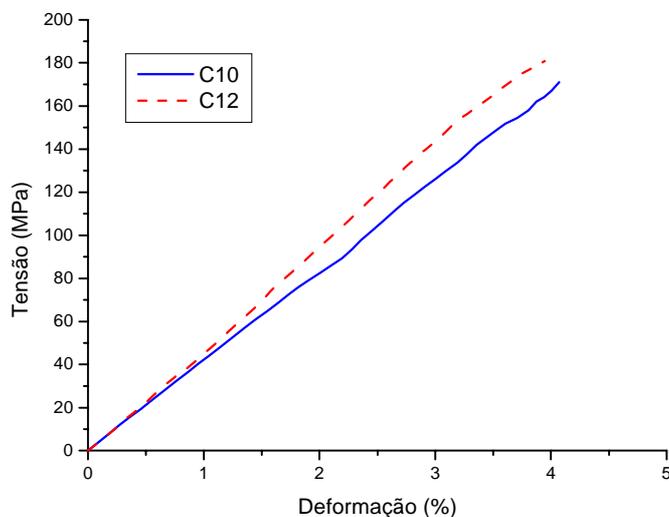


Figura 6. Gráfico tensão versus deformação dos dois laminados para o ensaio de compressão

Pela Figura (7a) pode-se comparar o limite de resistência à compressão uniaxial dos dois laminados compósitos. Nos resultados obtidos, percebe-se que a diferença entre o limite de resistência à compressão dos dois laminados é de 9,7 MPa (variação percentual de 5,4 %), demonstrando-se, desse modo, que a variação da configuração não influenciou significativamente nesta propriedade mecânica. Resultado semelhante ocorreu com o limite de resistência à tração uniaxial dos dois laminados, embora a diferença percentual à compressão seja um pouco maior quando comparado à da tração (a diferença percentual na tração foi de 1,2 %).

Ainda analisando a Figura (7a) percebe-se que o laminado **C12** possui um limite de resistência à compressão maior do que o laminado **C10**, ou seja, para o caso de carregamentos compressivos ocorre uma pequena melhora do limite de resistência com o aumento do número de camadas do laminado.

Com relação à rigidez dos laminados, mostra-se na Fig. (7b), os valores dos módulos de elasticidade longitudinais à compressão das configurações **C10** e **C12**. Percebe-se que a mudança na configuração do laminado teve uma influência um pouco mais significativa, se comparado aos mesmos resultados obtidos na tração, pois a configuração **C10** teve uma redução no módulo de 0,52 GPa, variação percentual de 11 %, em relação à configuração **C12**, enquanto que o módulo de **C10** à tração possuiu um aumento de 0,31 GPa, variação percentual de 6,4 %.

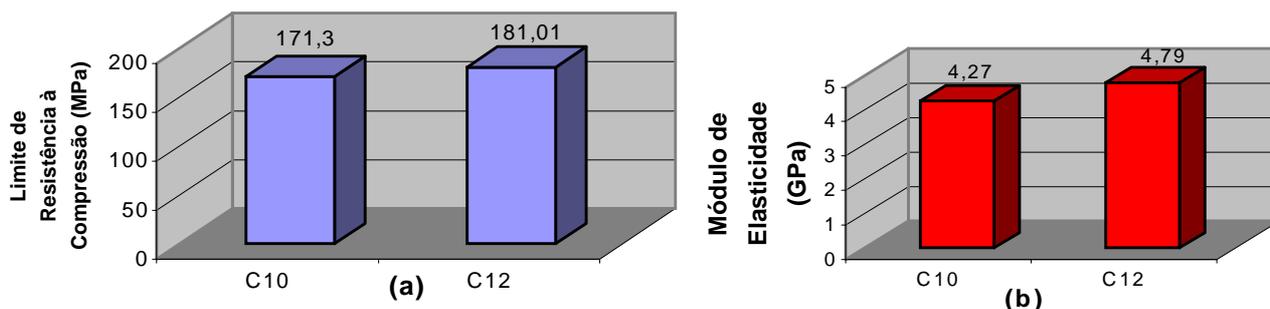


Figura 7. (a) Limite de resistência e (b) módulo de elasticidade à compressão dos dois laminados

A tendência dos resultados, mostra que o efeito do aumento do número de camadas no laminado **C12** se sobrepõe à sua falta de simetria durante o carregamento compressivo, fazendo com que este laminado possua melhores propriedades quando comparadas às do laminado **C10**.

#### 4.1. Análise do Dano nos Ensaio de Compressão Uniaxial

Para uma análise macroscópica do ensaio de compressão uniaxial, mostram-se nas Fig. (8) e (9) os corpos de prova depois da ruptura final dos laminados **C10** e **C12**, respectivamente. Analisando-se estas figuras percebe-se que o laminado **C12** possui maior quantidade de delaminações que o laminado **C10**, porém, aparentemente, o laminado **C12** produz um dano mais centralizado que o laminado **C10**. Este fato pode explicar porque o laminado **C12** possuiu o módulo de elasticidade e um limite de resistência à compressão um pouco maior do que o laminado **C10**.



Figura 8. Ruptura do corpo de prova submetido ao ensaio de compressão uniaxial, laminado **C10**



Figura 9. Ruptura do corpo de prova submetido ao ensaio de compressão uniaxial, laminado **C12**

Na análise microscópica dos laminados submetidos à compressão uniaxial, registra-se características de dano comuns, encontradas nos corpos de prova submetidos à tração, são elas:

- Microfissuras transversais e longitudinais na matriz, com relação à direção do carregamento;
- Desaderência fibra-matriz;
- Ruptura de fibras;
- Delaminação.

Apesar de o mecanismo de dano nos corpos de prova submetidos à compressão apresentarem “características comuns” quando comparado ao observado na tração, a formação e propagação do mesmo difere em muitos pontos.

Considerando a análise das microfissuras transversais nos dois laminados, percebe-se que estas só ocorreram próximas a região de fratura final do laminado, e, em alguns casos, estas surgem em alguns defeitos de fabricação, embora que distantes da região de fratura final dos mesmos. Outra característica importante do dano é a sua não uniformidade, ou seja, as microfissuras transversais ocorreram de modo bastante isolado. Percebe-se também que houve uma menor formação de microfissuras transversais à compressão do que a tração.

Considerando-se o tipo de fratura encontrado na interface fibra-matriz, observa-se a presença de fraturas coesivas na fibra e matriz, bem como fraturas adesivas para as duas configurações **C10** e **C12**.

Analisando-se as delaminações, percebe-se que estas são originadas de microfissurações transversais para os dois laminados. Além disso, observa-se que o laminado **C10** possui mais delaminação nas camadas mais externas, enquanto que, o laminado **C12** mostra grande quantidade de delaminações independente da camada analisada, ou seja, praticamente em todas as camadas do laminado.

Comparando-se o fenômeno da delaminação ocorrida na tração e na compressão do material, percebe-se que, sob ação de esforços compressivos, os dois laminados tiveram maior número de camadas delaminadas e com maior intensidade se comparadas aos esforços trativos.

## 5. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DE TRAÇÃO E COMPRESSÃO UNIAXIAIS

Mostram-se, na Figura (10), os resultados obtidos dos limites de resistência à tração e a compressão uniaxiais para os laminados **C10** e **C12**. Por estes resultados, percebe-se que os dois laminados suportam mais cargas compressivas do que trativas e que esta diferença foi da ordem de 54,6 MPa (variação percentual de 31,9 %) para o laminado **C10** e de 65,71 MPa (variação percentual de 36,3 %) para o laminado **C12**. Os resultados já eram esperados, pois conforme demonstra a literatura especializada (Mandell et al., 1997), normalmente os valores do limite de resistência à tração não coincidem com os valores do limite de resistência à compressão, bem como os respectivos valores dos módulos de elasticidade longitudinais. Este comportamento sempre se verifica, principalmente, se há diferenças no mecanismo de dano entre os laminados.

Para explicar o fenômeno do limite de resistência à compressão ser maior do que o limite de resistência à tração, pode-se considerar o dano ocasionado, pois para o caso do carregamento compressivo quase não se verificou microfissuras transversais enquanto que no carregamento trativo verificou-se uma maior quantidade de microfissuras transversais. Apesar de, como foi dito anteriormente, os dois laminados possuírem maior quantidade de delaminações quando submetidos a carregamentos compressivos.

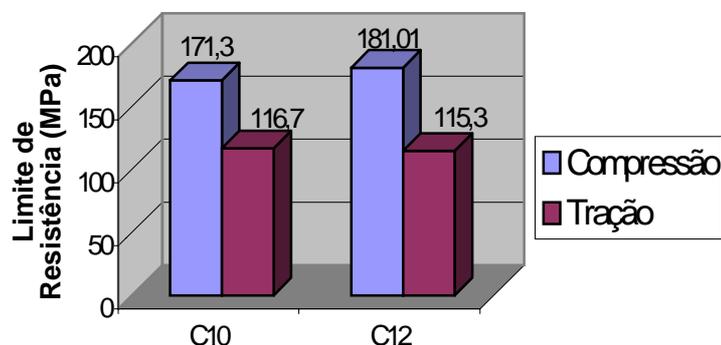


Figura 10. Limite de resistência à Tração e à Compressão dos laminados **C10** e **C12**

Tem-se na Figura (11) a comparação dos resultados obtidos para os módulos de elasticidade longitudinal à tração e à compressão dos dois laminados. Por este gráfico percebe-se que a variação do módulo de elasticidade foi pequena para os dois laminados, pois para o laminado **C12** a variação foi da ordem de 0,29 GPa (variação percentual de 6 %), e, para o laminado **C10**, foi da ordem de 0,54 GPa que corresponde a 11 % de variação percentual.

Por estes resultados, observa-se que, nem sempre, as propriedades mecânicas são iguais quando se aplicam cargas de tração ou compressão, e, como no caso dos limites de resistência, estas podem apresentar diferenças significativas, mesmo que não haja variação da orientação das fibras na configuração do mesmo. Observa-se, também, que, apesar do limite de resistência à compressão dos laminados ser maior do que o limite de resistência à tração, não significa dizer que ocorre um aumento do módulo de elasticidade à compressão destes laminados.

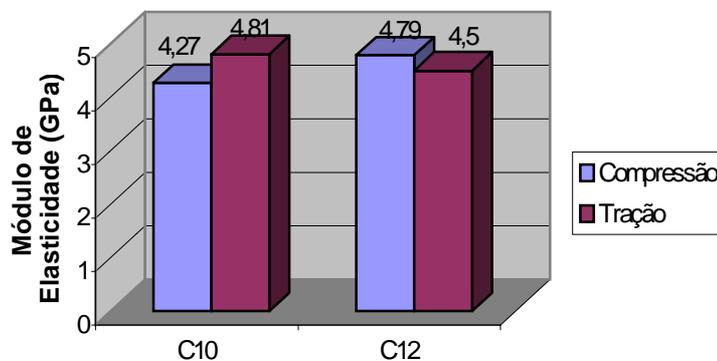


Figura 11. Módulo de Elasticidade à Tração e à Compressão dos laminados **C10** e **C12**

## 6. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos para os ensaios de tração e compressão uniaxiais demonstraram que as configurações **C10** e **C12**, aqui analisadas, possuem um comportamento linearmente elástico ou seja, obedecem a lei de Hooke.

A variação da configuração do laminado, de **C10** para **C12**, não influencia, de modo significativo, as propriedades mecânicas obtidas nos ensaios estáticos principalmente no de tração uniaxial.

Comparando-se os valores do limite de resistência à tração e à compressão, percebe-se que os dois laminados possuíam melhor resistência à compressão do que à tração, e que o laminado **C12** possui o maior limite de resistência à compressão.

Analisando-se os valores dos módulos de elasticidade à tração e à compressão, percebe-se que a variação é pouco significativa e o aumento do valor do limite de resistência no carregamento compressivo não significa, necessariamente, um aumento do módulo de elasticidade para este tipo de carregamento.

A análise da fratura nos ensaios de tração uniaxial demonstra que as duas configurações possuem, praticamente, as mesmas características de fratura (microfissuras transversais, desaderência fibra-matriz, ruptura de fibra e delaminação), porém constata-se na configuração **C12** maior quantidade de delaminações do que na configuração **C10**. Este fato indica que, apesar das características comuns de dano, há diferenças na formação e na propagação do mesmo.

A análise da fratura nos ensaios de compressão uniaxial demonstra, também, que as duas configurações possuem, praticamente, as mesmas características de dano (microfissuras transversais, desaderência fibra-matriz, ruptura de fibra e delaminação). Como no caso da tração, observa-se, também, diferenças na formação e na propagação do dano entre as duas configurações.

A partir dos resultados demonstrados, percebe-se que o aumento do número de camadas do laminado não melhora de modo bastante significativo as propriedades mecânicas do mesmo, conforme é de conhecimento usual da indústria.

## 7. REFERÊNCIAS

- ASTM D 3039; 1990, "Standard Test Method for Tensile Properties of Oriented Fiber Composites".  
Bannister, M.; 2001, "Challenges for Composites into the next Millennium – A Reinforcement Perspective", Composites – Part A: Applied Science and Manufacturing, Vol. 32, pp. 901-910.

- Davies, P.; Petton, D.; 1999, "An Experimental Study of Scale Effects in Marine Composites", Composites – Part A: Applied Science and Manufacturing, Vol. 30, pp. 267-275.
- Felipe, R. N. B.; Felipe, R. C. T. S.; Aquino, E. M. F.; 1999, "Um estudo do comportamento Mecânico de Recipientes Moldados a Vácuo", Plástico Industrial, Ano I, N° 9, pp. 34-37.
- Freire Júnior, R. C. S.; Aquino, E. M. F. de; 2001, "Prevenção de Falha por Fadiga em Laminados Compostos Industriais", XVI Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, Material Science, pp. 99-108.
- Hamelin, P.; 1988, "Comportement Mécanique des Matériaux et des Structures Composites – Application au Dimensionnement et à la Conception de Pièces Composites", Cooperation Scientifique et Technique Franco-Vietnamienne – Matériaux Macromoléculaires et Composites.
- Herakovich, C. T.; 1997, "Mechanics of Fibrous Composites", 460 p.
- Hull, D.; 1987, "Materiales Compuestos", Editorial Reverté, S. A., 254 p.
- Mandell, J. F. and Samborsky, D. D.; 1997, "DOE/MSU Composite Material Fatigue Database: test Methods, Materials and Analysis", SAND97-3002, Sandia National Laboratories, Albuquerque, 140 p.
- Margarita, Gilles; Aquino, E. M. F.; 1997, "Estudo da Resistência/Rigidez em Laminados Compósitos Tubulares", 2º Congresso Internacional de Tecnologia Metalúrgica e de Materiais.
- Rousseau, J.; Perreux, D.; Verdière, N.; 1999, "The Influence of Winding Patterns on the Damage Behaviour of Filament-Wound Pipes", Composites Science and Technology, Vol. 59, pp. 1439-1449.
- Yang, B.; Kosey, V.; Adanur, S.; Kumar, S.; 2000, "Bending, compression and Shear Behavior of Woven Glass Fiber-Epoxy Composites", Composites – Part B: Engineering, Vol. 31, pp. 715-721.

## **PRACTICAL PROCEDURE OF FABRICATION AND YOUR INFLUENCE IN THE MECHANICAL RESPONSE OF PRFV LAMINATED COMPOSITES**

### **Raimundo Carlos Silverio Freire Júnior**

UFRN – CCET – Programa de Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais  
Campus Universitário - Lagoa Nova  
Natal - RN - CEP: 59072 - 970  
Tel/Fax: 0(xx)84 215 3768  
E-mail: [raimundo@dem.ufrn.br](mailto:raimundo@dem.ufrn.br)

### **Eve Maria Freire de Aquino**

UFRN-DEM/PPGEM - Centro de Tecnologia  
Campus Universitário - Lagoa Nova  
Natal - RN - CEP: 59072 - 970  
Tel/Fax: 0(xx)84 215 3768  
E-mail: [eve@dem.ufrn.br](mailto:eve@dem.ufrn.br)

**Abstract.** *The use of laminate composites in structural applications require knowledge of their mechanical properties and crack nucleation and propagation characteristics. Rupture can be studied from tensile and compression tests used to determine elastic constants and establish damage behavior. The present research work investigated the properties of E-glass fiber reinforced polyester used in the structure of activated coal reservoirs. The study was developed for different stacking sequences of the laminate, including the variation of the number of layers. Volumetric density and calcination experiments were initially carried out and followed by tensile and compression tests. Damage nucleation and growth were studied by optical microscopy.*

**Keywords:** *Laminate composites, damage mechanism, mechanical properties*