



AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA E CARACTERÍSTICA DA FRATURA DE COMPÓSITO POLIMÉRICO REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO EM CONTATO COM ÁGUA DO MAR¹

Renata Carla Tavares dos Santos Felipe²
Camilla de Medeiros Dantas³
Raimundo Nonato Barbosa Felipe²
Gilson Gomes de Medeiros⁴

Resumo

Devido um crescente aumento na utilização de materiais compostos na indústria em geral, principalmente na área de petróleo e gás natural, faz-se necessário um estudo mais detalhado de suas propriedades mecânicas. O compósito consiste em unir dois ou mais materiais visando à obtenção de um outro, com propriedades superiores aos de cada componente individualmente. Sendo assim, o objetivo deste trabalho consiste em avaliar as propriedades mecânicas de tração e flexão, além da característica da fratura final do compósito, do plástico reforçado por fibra de vidro e resina poliéster, quando o mesmo está em contato com água do mar e compará-las com a do estado seco. Este trabalho tem como contribuição também estabelecer com maior segurança o uso deste compósito quando utilizado em águas marítimas para transportes de fluidos na indústria de petróleo e gás natural. Os corpos de prova foram confeccionados a partir da fabricação de placas mediante o processo de laminação manual (*hand lay up*). Como resultado observou-se pouca influência da água do mar nas propriedades de tração e flexão em três pontos do compósito e na característica da fratura final.

Palavras-chave: Compósito; Propriedades mecânicas; Água do mar; Fratura final.

EVALUATION OF MECHANICAL STRENGTH AND FRACTURE CHARACTERISTIC OF POLYMERIC COMPOSITE REINFORCED WITH FIBER GLASS IN CONTACT WITH SEA WATER

Abstract

Due to an increasing use of composite materials in the industry in general, especially in the oil and natural gas area, it is necessary a more detailed study of its mechanical properties. The composite consists of joining two or more materials in order to obtain another, with superior properties to those of each component individually. Therefore, the objective of this study is to evaluate the mechanical properties of tensile and bending as well as the characteristic of final fracture of the composite, the plastic reinforced by fiberglass and polyester resin, when it is in contact with sea water and compare them with the dry state. This paper also has the contribution to establish more safely the use of this composite when used in the maritime waters to transport fluids in the oil and natural gas industry. The samples were made from the manufacture of plates by the manual lamination process (*hand lay up*). As a result, there was little influence of sea water in the tensile and three-point bending properties of the composite and in the characteristic of the final fracture.

Keywords: Composite; Mechanical properties; Sea water; Final fracture.

¹ Contribuição técnica ao 65º Congresso Anual da ABM, 26 a 30 de julho de 2010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Título de Mestre, IFRN.

³ Mestranda em Engenharia Mecânica, UFRN.

⁴ Título de Doutor, IFRN, UFRN.



1 INTRODUÇÃO

Com o avanço da tecnologia, tornou-se necessário combinar, cada vez mais, diversos tipos de materiais a fim de se obter propriedades não atendidas por aços, cerâmicas e materiais poliméricos convencionais. Trata-se de uma combinação relativamente difícil, pois, os materiais mais resistentes são conseqüentemente mais densos, e com o aumento da rigidez diminui a resistência ao impacto. Diante disso, foram desenvolvidos os materiais compósitos, que pode ser definido como um conjunto de dois ou mais materiais diferentes, combinados em escala macroscópica, para funcionarem como uma unidade, visando obter um conjunto de propriedades que nenhum dos componentes individualmente apresenta.⁽¹⁾

Esses materiais apresentam diversas vantagens em relação aos materiais ditos convencionais como o aço, por serem mais leves, mais resistentes à fadiga e à corrosão, podem ser projetados para melhorar estruturalmente e mecanicamente o sistema, e são bons isolantes térmicos.⁽²⁾ São empregados nos mais variados tipos de indústria como exemplo na fabricação de satélites, aeronaves e helicópteros, implantes ortopédicos e odontológicos biocompatíveis, veículos de fórmula 1, pontes, telescópios, instrumentos musicais e estruturas inteligentes em geral.⁽³⁾

Na indústria de petróleo esses materiais possuem diversas aplicações como em tubulações, dutos e plataformas. As principais vantagens de sua aplicação em plataformas são as reduções de peso das peças fabricadas, além de um menor custo de instalação e manutenção.⁽⁴⁾

A absorção de água e outros fluidos, como petróleo, por materiais compósitos poliméricos pode causar efeitos significativos nas propriedades físicas e químicas da matriz polimérica e, conseqüentemente, no desempenho mecânico do compósito estrutural especialmente na utilização em longo prazo. A água absorvida freqüentemente diminui a temperatura de transição vítrea plasticizando a rede polimérica e também afetando o desempenho mecânico e a durabilidade em longo prazo em aplicações de alto desempenho.

O comportamento de longa duração de compósitos de matriz polimérica que serão empregados em ambientes potencialmente agressivos deve ser avaliado, de modo a prever possíveis variações nas propriedades e garantir uma operação segura dos componentes fabricados em compósitos.⁽⁵⁾

Esses materiais absorvem umidade devido à presença do grupo funcional hidroxila em suas cadeias que são sensíveis as moléculas de água, provocando uma degradação nas suas propriedades mecânicas, térmicas e dielétricas.⁽⁶⁾

Para tanto, se faz necessário um estudo da influência de alguns fluidos nas propriedades do compósito. Segundo Dantas et al.,⁽⁷⁾ depois de permanecerem imersos por um período de 120 dias em petróleo, o Plástico Reforçado por Fibras de Vidro (PRFV) não teve, praticamente, suas propriedades mecânicas alteradas, se tomarmos como referência as características dele no estado seco, ou seja, sem imersão.

Tendo em vista o interesse de empregar compósitos em situações onde as propriedades de absorção são importantes, neste trabalho é feita a determinação da absorção de umidade do material em questão até atingir o ponto de saturação, em água destilada. Em seguida avaliaram-se as propriedades mecânicas de flexão em três pontos e tração do compósito PRFV, quando o mesmo é imerso em água do mar, a fim de compará-las com o estado seco, ou seja, sem imersão. Para tanto foram confeccionados corpos de prova para os ensaios de flexão, tração e de umidade para determinação da absorção de água, sendo este tempo definido como

o tempo em que as amostras ficariam imersas no fluido (água do mar). O tempo de imersão dos corpos no fluido foi determinado pelo período de saturação do material em água destilada, seguindo a norma ASTM D570-98⁽⁸⁾ para esse tipo de ensaio. Esse período foi de aproximadamente 85 dias. Além disso também foi feita a análise da fratura do material antes e após a imersão em água do mar.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Como matérias primas para confecção do material compósito foram utilizadas:

- resina poliéster insaturada pré-acelerada como matriz, fabricante NOVOCOL L-120/08 com as seguintes características, fornecida pelo o fabricante: densidade entre 1,10 g/cm³ e 1,15 g/cm³ e viscosidade *BROOKFIELD*, a 25°C entre 260 cPe 300 cP;
- Butanox, como catalisador; e
- manta de fios picados de vidro-E como material de reforço, fabricante *OWENS-CORNING*, com uma gramatura de 450 g/m³ sendo a densidade da fibra de 2,54 g/cm³.

2.1.1 Equipamentos

Os equipamentos utilizados nesse trabalho foram a máquina de ensaio universal Pavitest fabricante CONTENCO, o forno do tipo mufla fabricante EDGCON 3P - modelo F 100 e a Balança Eletrônica, analítica – Fabricante BIOPRECISA – Modelo – FA2104N

2.2 Métodos

2.2.1 Processo de fabricação do compósito

O compósito foi fabricado mediante o processo de laminação manual, com 1% de catalisador em volume referente à resina poliéster, sendo formado por quatro camadas de manta de fios picados de vidro-E, obtendo-se, desta maneira, uma placa. Após a cura, foram cortados corpos de prova (CP) para caracterização do compósito, através da determinação da densidade e do ensaio de calcinação, visando à obtenção das frações volumétricas de matriz, reforço e vazios do material obtido.

2.2.2 Densidade e fração volumétrica

A fim de se determinar a densidade do compósito, foram obtidos cinco corpos de prova com dimensões de 25x25mm, respeitando a norma ASTM D 792-08⁽⁹⁾ e seguindo os procedimentos da mesma. Em seguida foi elaborado um valor médio para densidade.

A determinação das frações volumétricas de matriz, reforço e vazios foi feito a partir do valor da densidade do compósito, sendo estes teores determinados a partir do ensaio de calcinação (pirólise). Para a realização do ensaio de calcinação as amostras foram queimadas e colocadas num forno do tipo mufla por um período de 40 min a uma temperatura de 750°C.

2.2.3 Ensaio de absorção de água

Para realização desse ensaio foram confeccionados corpos de prova, segundo a norma ASTM D570-98,⁽⁸⁾ com as seguintes dimensões: (75 x 25 x 4)mm. Sendo que os mesmos permaneceram imersos em água destilada, a temperatura ambiente, por um período até que o peso da amostra permanecesse constante. Ao final do ensaio foi obtida a curva de absorção de umidade em função do número de horas de imersão, sendo utilizada uma média de cinco corpos de prova.

2.2.4 Ensaio de flexão em três pontos

Segundo a norma ASTM D 790-07⁽¹⁰⁾ as dimensões dos corpos de prova (CP) variam conforme espessura do material, foi realizado neste caso o ensaio de flexão em três pontos. Desta forma os corpos de prova ficaram com as seguintes dimensões: 80 x 16 x 4 mm (comprimento, largura e espessura), já que esta foi a espessura média da placa após a cura. Os CP foram divididos de forma que parte deles permaneceu no estado seco, outra parte foi imersa em água do mar. O tempo de imersão nos respectivos fluidos foi de 45 dias, sendo este tempo definido a partir do ensaio de absorção de umidade. Foram ensaiados cinco corpos de prova para cada situação. A velocidade de ensaio foi 1 mm/min.

2.2.5 Ensaio de tração

Para a realização deste ensaio utilizou-se a norma ASTM D 3039M-08⁽¹¹⁾ tendo os corpos de prova às seguintes dimensões: largura 25,4 mm, espessura 4mm, distância entre as lingüetas 127 mm e comprimento total do CP 203 mm. A velocidade do ensaio foi de 1 mm/min, sendo ensaiados 5 corpos de provas para cada situação.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Densidade do Compósito e Teores de Reforço, Matriz e Vazios

Na Tabela 1, são mostrados os valores médios obtidos para a densidade do compósito e as frações volumétricas de reforço, de matriz (resina) e de vazios, determinados apenas para a situação do material no estado seco.

Tabela 1. Caracterização do compósito

Compósito	Valor médio	Desvio padrão
Densidade (g/cm ³)	1,52	± 0,3
Fração volumétrica de reforço (%)	22 %	± 1%
Fração volumétrica de matriz (%)	76%	± 1%
Fração volumétrica de vazios (%)	2%	± 1,5%

3.2 Absorção de Absorção de Umidade

A Figura 1 mostra o percentual de água absorvido pelo material até a saturação. Este tempo serviu de parâmetro para colocação dos corpos de provas imerso em água do mar. Como pode-se observar, verifica-se um comportamento

linear até um período de $23 \text{ h}^{1/2}$ (21 dias). A partir desse período observa-se uma não linearidade na curva, chegando-se a uma saturação de umidade em um período de aproximadamente $45 \text{ h}^{1/2}$ (84 dias); e a partir daí permanecendo constante, desta forma este período serviu de parâmetro para a determinação das propriedades mecânicas do material imerso em água do mar.

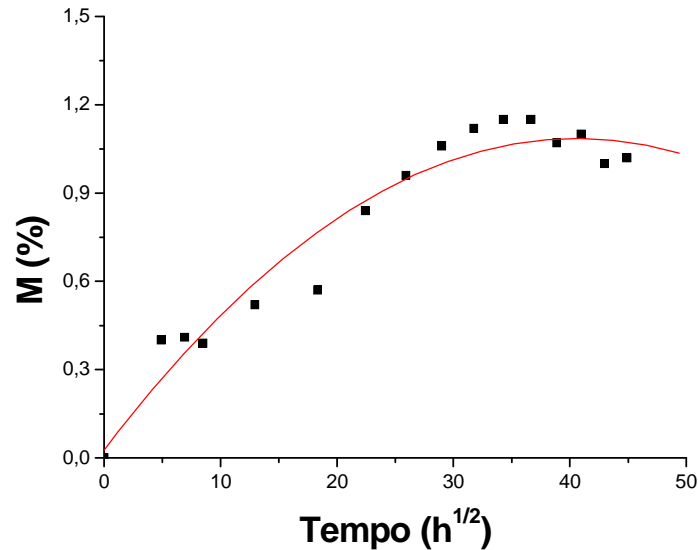


Figura 1. Percentual de absorção de umidade em função do tempo de imersão.

3.3 Ensaio de Flexão em Três Pontos

A Figura 2 representa a tensão de flexão suportada pelo compósito após imersão em água do mar. Observa-se que o valor de resistência à flexão permaneceu praticamente os mesmos para as duas situações.

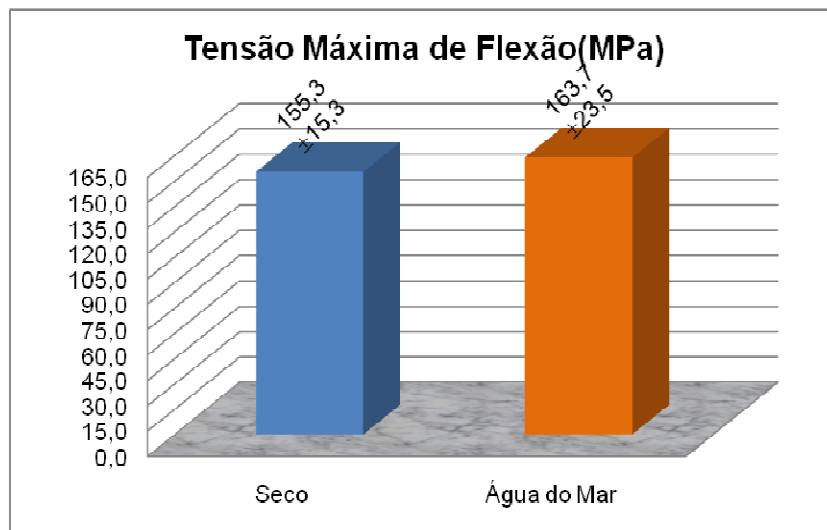


Figura 2. Tensão máxima de flexão.

A Figura 3, que relaciona o módulo de flexão em função do meio, também teve o mesmo comportamento, ou seja, praticamente não houve variação na rigidez do material.

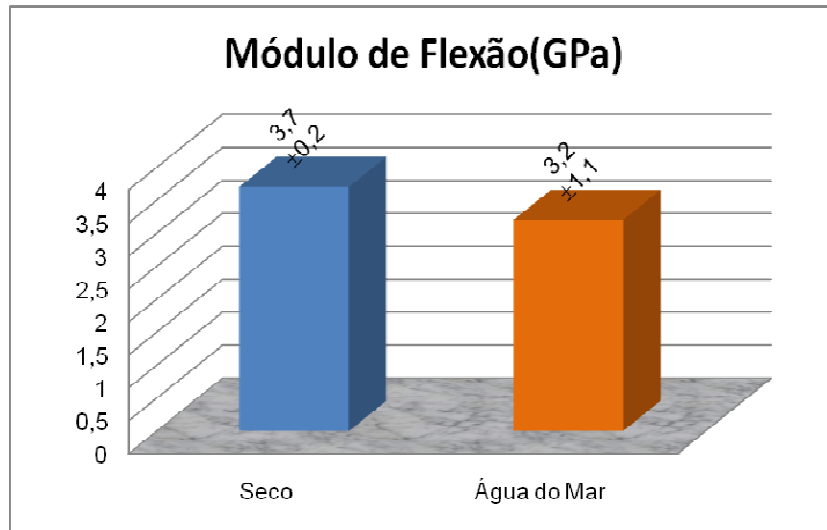


Figura 3. Módulo de flexão.

No que se refere à deformação sofrida do material, em função do fluido de imersão se observa que houve um pequeno acréscimo na deformação do compósito, quando os mesmos são colocados imersos nos fluido em questão, comparando com o estado seco (Figura 4).

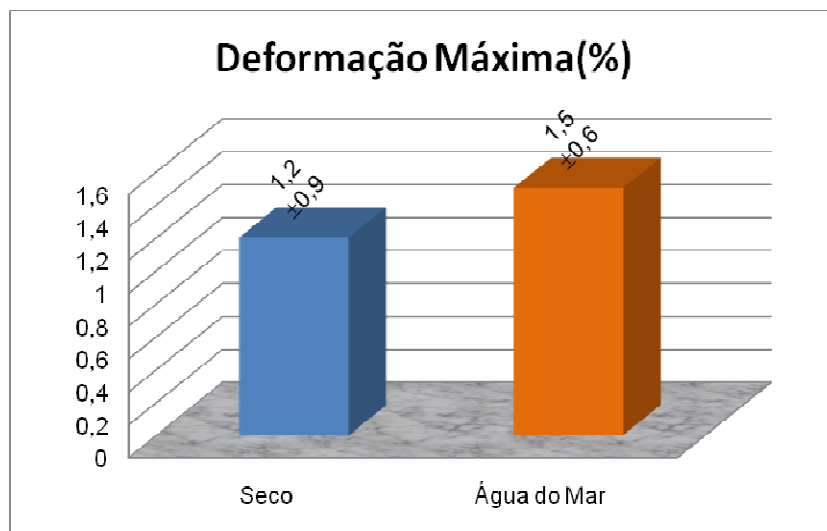


Figura 4. Deformação máxima.

3.4 Ensaio de tração

Como se pode observar na Figura 5, a resistência à tração para as condições ensaiadas permaneceu praticamente constante.

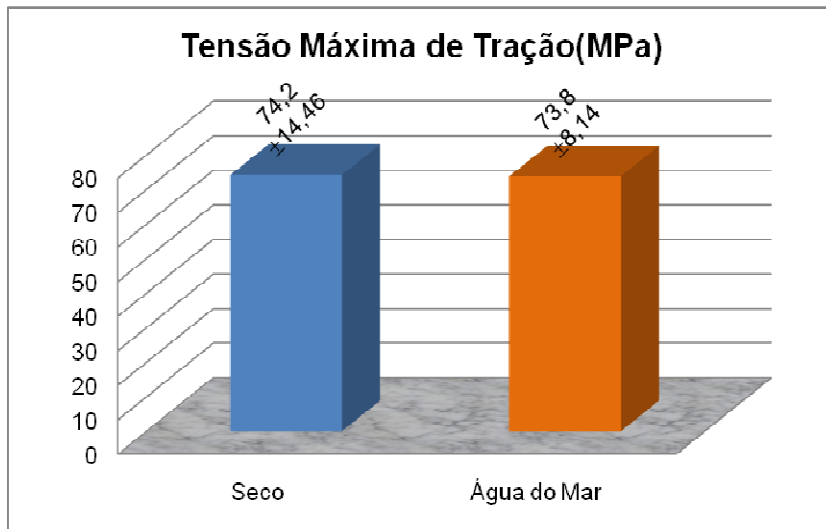


Figura 5. Tensão máxima de tração.

A partir da análise da Figura 6, observa-se que o módulo permaneceu também praticamente constante.

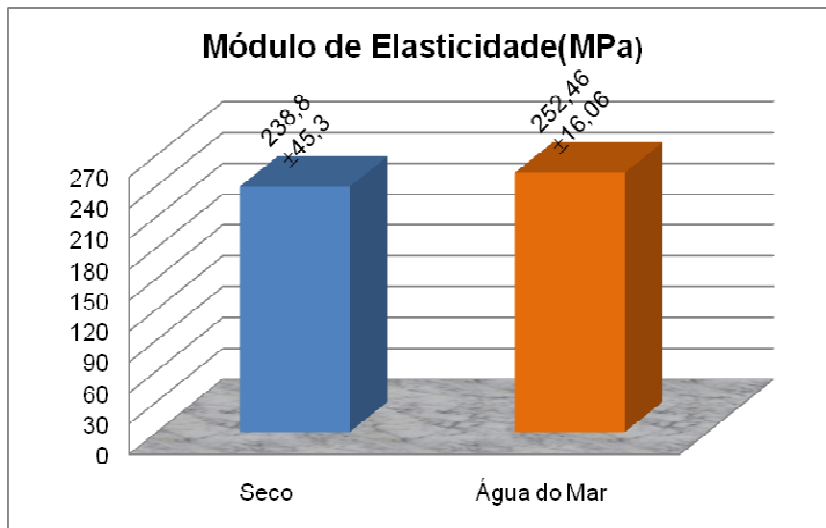


Figura 6. Módulo de elasticidade.

O valor da deformação máxima sofrida pelo material diminuiu após a imersão do material em água do mar.

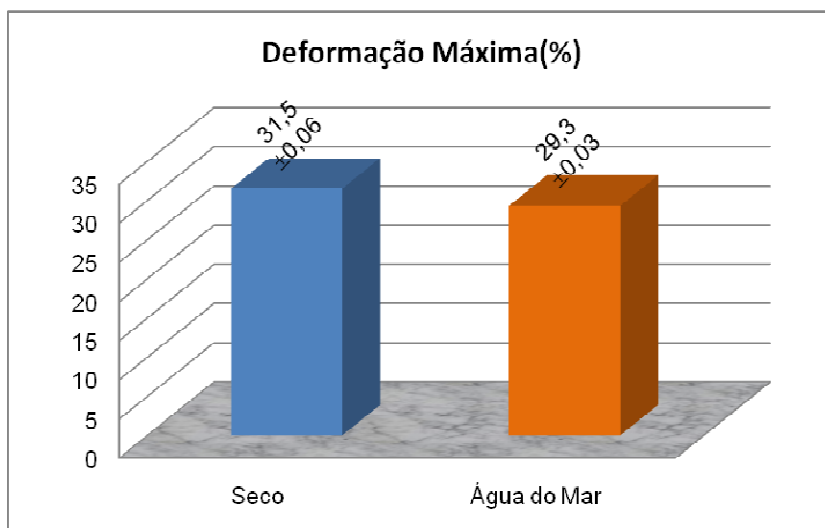


Figura 7. Deformação máxima.

3.5 Característica da Fratura Final

3.5.1 Fratura final após ensaio de flexão em três pontos

No que se refere à fratura final, para as análises realizadas foi feito uma varredura microscópica, tanto na região de tração como na região de flexão dos corpos de prova após a realização do ensaio de flexão em três pontos. A seguir será mostrada a característica da fratura final do material ensaiado antes e após a imersão em água do mar.

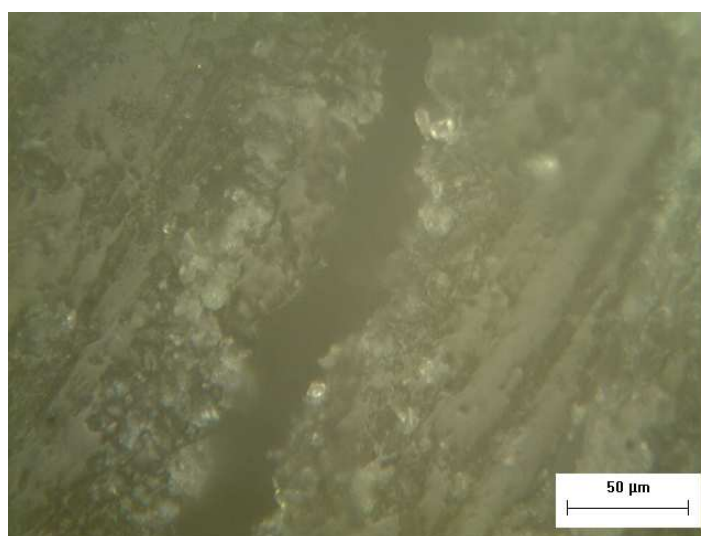


Figura 8. Característica da fratura final do CP no estado seco

Observa-se que após a realização do ensaio, na região próxima a fratura final, não foi observada nenhuma microfissura, em nenhuma das regiões, tanto de tração como de flexão. Observou-se apenas que tinha uma fenda externa, na região de tração e a mesma caminhava para a região de compressão, sendo esta, uma forma convencional de uma fratura quando o material é submetido ao esforço de flexão.

Na Figura 9 pode ser observado o fratura final do corpo de prova após imersão em água do mar.

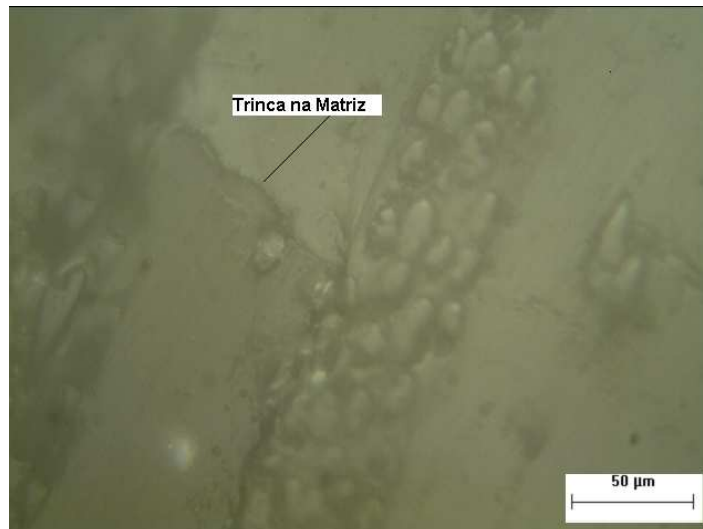


Figura 9. Característica da fratura final do CP após imersão em água do mar.

Verifica-se que possui trinca na matriz, ou seja, na região rica em resina; além disso, observa-se também que a trinca caminha entre as camadas. Isto pode ter acontecido devido água do mar ter caminhado por capilaridade, influenciando desta forma na fratura final do material.

3.5.2 Fratura final após ensaio tração

No que se refere à fratura final do material ao sofrer o esforço de tração, as análises microscópicas foram realizadas próximas à fratura final. Observou-se que todas as fraturas dos corpos de provas aconteceram na região útil do corpo de prova.

Na Figura 10 será observada a fratura final antes da imersão em água do mar.

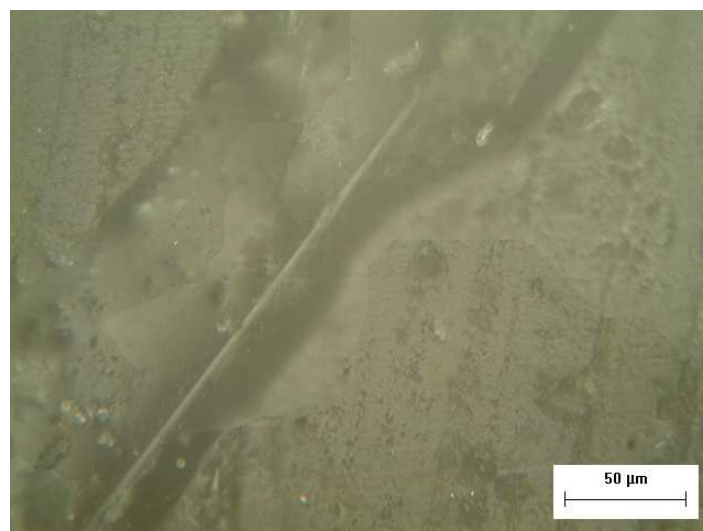


Figura 10. Característica da fratura final do CP no estado seco.

Após a realização do ensaio para o material no estado seco, observa-se que a fenda ocorreu ao longo das camadas, além disso; além disso que a mesma aconteceu paralela ao esforço de tração.

Na Figura 11 observa-se à fratura final após imersão em água do mar.



Figura 11. Característica da fratura final do CP após imersão em água do mar.

Após a imersão em água do mar e realização do ensaio, foi observado, microtrincas na região da matriz, além disso, fratura adesiva, podendo ser observada na fibra próxima a trinca ocorrida na matriz. Isto pode ter ocorrido devido à absorção de água do mar pela matriz, fazendo com que ocorra este comportamento.

4 CONCLUSÕES

Após a realização dos ensaios mecânicos, quando comparadas às propriedades mecânicas do compósito analisado, no estado seco e em água do mar, observou-se que as respectivas propriedades permaneceram praticamente constantes quando levado em considerações os respectivos desvios padrões.

No entanto, quando observamos a fratura final, estado seco e água do mar, tanto para o esforço de tração como de flexão, observou-se trincas ou até micro trincas na região rica em resina, para as análises realizadas após imersão em água do mar, isto pode ter acontecido devido ao processo de capilaridade da água ao longo do material, porém vale acrescentar que essas micro trincas não influenciaram no resultado final das propriedades mecânicas para o estado de imersão em água do mar.

Agradecimentos

Agradecemos o apoio do CNPq, pela bolsa PIBIT concedida à aluna; a Tecniplas Tubos e Conexões Ltda., pelo fornecimento da matéria prima para a fabricação do compósito; e a PETROBRAS/UN-RNCE, pelo fornecimento do petróleo.

REFERÊNCIAS

- 1 MENDONÇA, P. T. R. – *Materiais Compostos & Estruturas-Sanduíches* – Barueri, SP: Manoele, 2005.
- 2 SOUSA, Sérgio Ricardo Milki de et al. ESTUDO DE FALHAS EM RISERS FABRICADOS EM MATERIAL COMPÓSITO. In: PDPETRO, 4., 2007, Campinas. **Anais...** . Campinas: Copyright, 2007. p. 2.4.0460-1 – 1 - 2.4.0460-1 – 10.
- 3 PARDINI, Luiz Claudio. **Compósitos estruturais: ciências e tecnologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 2006.



- 4 SILVA M. R.R.L. et al - *AVALIAÇÃO DA DIFUSIVIDADE TÉRMICA DE COMPÓSITOS PARA A INDÚSTRIA DO PETRÓLEO*, In: CBECIMat, 17, Foz do Iguaçu, 2006.
- 5 Sales, R.C.M. et al - *ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA ÁGUA EM PREPREGS DE FIBRA DE VIDRO/RESINA EPOXÍDICA POR ESPECTROSCOPIA DE LUMINESCÊNCIA*, In: CBECIMat, 18, Porto de galinhas, 2008.
- 6 ALMEIDA, J.R.M et al – *Efect of water absorption of the mechanical behavior of fiberglass pipes used for offshore service waters* – **Science Direct**, Available online 4 May 2007.
- 7 DANTAS, Camilla de Medeiros et al. *COMPÓSITO DE MATRIZ POLIÉSTER E REFORÇO DE FIBRA DE VIDRO*,. In: CBCIMAT, 18., 2008, Porto de Galinhas. **Anais...** . Porto de Galinhas: Copyright, 2008. p. 4837 – 4847.
- 8 American Society for Testing and Materials, **ASTM D 570 - 98** (Reapproved 2005) *Standard Test Method for Water Absorption of Plastics*.
- 9 American Society for Testing and Materials, **ASTM D 792 – 08** Standard Test Methods for Specific Gravity and Density of Plastics by Displacement - American Society for Testing and Materials, 1979.
- 10 American Society for Testing and Materials, **ASTM D 790-07** - Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials - American Society for Testing and Materials, 1990.
- 11 American Society for Testing and Materials, **ASTM D 3039-08** – Standard Test Methods for Tensile Properties of Fiber-Resin Composites - American Society for Testing and Materials, 1970.