

## **Análise da degradação de Plástico Reforçado em Fibra de Vidro quando exposto a água do mar e areia**

**Analysis of the degradation of Reinforced Plastic in Fiberglass when exposed to sea water and sand**

**Análisis de la degradación del Plástico Reforzado en Fibra de Vidrio expuesto al agua de mar y a la arena**

Recebido: 17/03/2021 | Revisado: 22/03/2021 | Aceito: 29/03/2021 | Publicado: 06/04/2021

### **Francisco Alisson de Queiroz**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9635-0731>  
Instituto Federal do Rio Grande do Norte, Brasil  
E-mail: [alissonn@hotmail.com](mailto:alissonn@hotmail.com)

### **Gabriel Ramon de Brito Silva**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1193-6464>  
Instituto Federal do Rio Grande do Norte, Brasil  
E-mail: [gabrielramonbs@hotmail.com](mailto:gabrielramonbs@hotmail.com)

### **Liana de Holanda Viana Barros**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9301-1416>  
Instituto Federal do Rio Grande do Norte, Brasil  
E-mail: [liholanda7@gmail.com](mailto:liholanda7@gmail.com)

### **Renata Carla Tavares dos Santos Felipe**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9407-995X>  
Instituto Federal do Rio Grande do Norte, Brasil  
E-mail: [renata.felipe@ifrn.edu.br](mailto:renata.felipe@ifrn.edu.br)

### **Resumo**

Os compósitos são combinações de dois ou mais materiais sendo uma a matriz e o outro um ou dois mais tipos de reforços. Sua aplicabilidade se estende por vários setores industriais, principalmente nos setores aeroespaciais e de transportes. Sua utilização vem crescendo nos últimos anos, porém sua utilidade depende de vários fatores como processo de fabricação, tipo de resina, reforço aplicado e ambiente de exposição. No entanto, esse tipo de material sofre degradação em sua vida útil, tornando necessário conhecer o seu comportamento durante o uso, pois são potenciais geradores de resíduos, trazendo preocupações para o meio ambiente. A partir disso, o trabalho teve como principal objetivo a fabricação de um material compósito que foi exposto a dois ambientes distintos, água do mar e areia, por um período designado a partir da saturação de umidade. Os corpos de prova (CPs) foram fabricados conforme normas ASTM e submetidos aos ensaios de densidade, umidade e calcinação. Após a saturação de umidade os CPs foram avaliados superficialmente através da microscopia eletrônica de varredura (MEV), sendo possível visualizar o desgaste sofrido durante a exposição do material. Então, foi constatado que nos dois ambientes ocorreram degradação superficial, com mais intensidade, quando exposto na água do mar. Logo, foi possível concluir que esse tipo de compósito uma vez exposto a essas condições, evidencia a necessidade de adicionar uma nova camada do material visando proteger sua estrutura, aumentando a vida útil e mitigando a geração de resíduos no meio ambiente.

**Palavras-chave:** Compósito; Análise morfológica; PRFV.

### **Abstract**

Composites are conjugated combinations of two or more materials, which comprehend a matrix and one or more types of reinforcements. Its applicability spans several industrial sectors, mainly in the aerospace and transport sectors. Its use has grown in recent years, but its usefulness depends on several factors such as the way of manufacture, type of resin, applied reinforcement and the environment to be exposed. In addition, this type of material suffers degradation in its useful life, so it is necessary to know its behavior, as they are potential waste generators, bringing concerns to the environment. From this, the work had, as main objective, the manufacture of a composite material that was exposed to two different environments, sea water and sand, for a period designated from moisture saturation. The specimens were submitted to density, humidity and calcination tests. After moisture saturation, the specimens were superficially evaluated using scanning electron microscopy (SEM), making it possible to visualize the wear suffered during the exposure of the material. Then, it was identified that in both environments there was a superficial wear, with more intensity, mainly, in the exposed to the sea water. Therefore, it was possible to conclude that this type of composite, once exposed to these conditions, highlights the need to add a new layer of material in order to protect its structure, increasing its useful life and mitigating the generation of waste in the environment.

**Keywords:** Composite; Morphological analysis; GFRP.

### Resumen

Los compuestos están compuestos por dos o más materiales con una matriz y el otro uno o dos tipos más de refuerzos. Su aplicabilidad se extiende a varios sectores industriales, principalmente en los sectores aeroespacial y de transporte. Su uso ha crecido en los últimos años, pero su uso depende de varios factores como el proceso de fabricación, el tipo de resina, el refuerzo aplicado y el entorno de exposición. Sin embargo, este tipo de material sufre degradación en su vida útil, por lo que es necesario conocer su comportamiento durante el uso, ya que son potenciales generadores de residuos, trayendo preocupaciones al medio ambiente. A partir de esto, la obra tuvo como principal objetivo la fabricación de un material compuesto que fue expuesto a dos ambientes diferentes, agua de mar y arena, durante un período designado a partir de la saturación de humedad. Las muestras (CP) se fabricaron de acuerdo con las normas ASTM y se analizaron en cuanto a densidad, humedad y calcinación. Después de la saturación de humedad, los PC fueron absorbidos superficialmente mediante microscopía electrónica de barrido (SEM), lo que permitió visualizar la desgasificación sufrida durante la exposición del material. Luego, se encontró que en ambos ambientes existía una degradación superficial, con mayor intensidad, cuando se exponen al agua de mar. Por tanto, se pudo concluir que este tipo de composite, una vez expuesto a estas condiciones, muestra la necesidad de añadir una nueva capa del material para endurecer su estructura, aumentar la vida útil y mitigar la generación de residuos en el medio.

**Palabras clave:** Compuesto; Análisis morfológico; PRFV.

## 1. Introdução

A busca por materiais leves e de alta resistência mecânica tem ganhado grande destaque nas últimas décadas. Particularmente, uma das possibilidades de se obter tais propriedades é por meio da combinação de dois ou mais materiais com propriedades distintas, sendo um reforço e outro a matriz. Segundo essa combinação, denominada compósito, normalmente envolve um material de baixa massa específica e outro com excelentes propriedades mecânicas. Os compósitos poliméricos, pois são assim chamados porque a matriz é um polímero, após a sua fabricação resulta em um compósito com propriedades únicas quando comparadas com as propriedades dos componentes analisados individualmente (Ashik, Sharma, & Gupthaa, 2018 e Santos et al., 2020).

As fases constituintes do compósito são a matriz e o reforço, conhecido também como fase dispersa, sendo ela geralmente descontínua e exercendo a função de resistência e rigidez ao compósito. A fase matriz é geralmente mais fraca e contínua, exercendo a função de envolver o reforço protegendo contra ataques químicos, umidade, além de transferir os esforços para a fase reforçadora (Carvalho, 2015).

Materiais compósitos de matriz polimérica reforçada por fibras são bastante utilizados em aplicações estruturais, se destacam por suas excelentes propriedades mecânicas (Galli, 2016). Comparado aos materiais cerâmicos e metálicos, sua dureza e resistência são bem inferiores, isto significa que há um ganho considerável nas propriedades quando são adicionados os polímeros reforçadores que, a princípio, nem precisam ter propriedades excepcionais, de acordo com Macêdo (2017).

As fibras são as principais responsáveis pela resistência às cargas, a utilização de fibras sintéticas para o reforço de plásticos e borrachas (polímeros) é uma técnica extensivamente empregada na indústria para a obtenção de materiais com melhor desempenho mecânico (Ribeiro, Ribeiro, Ladchumananandasivam, Galvão, & Belarmino, 2013). Além disso, o plástico reforçado de fibra de vidro (PRFV) é conhecido como um material de excelente estabilidade dimensional devido a sua natureza hidrofóbica, ou seja, o material não absorve e nem se mistura com a água (Senthilkumar et al., 2018).

Após o processamento, os compósitos podem ser caracterizados para verificar o seu comportamento diante da umidade, carregamento mecânico, desgaste e de outros fatores. Cunha (2015) observou que um problema comum no uso de compósitos é a perda de propriedades mecânicas na presença de umidade. O teor de umidade pode degradar as propriedades dependentes da matriz, principalmente em ambientes com temperaturas elevadas. A sua absorção pode resultar em inchamento das fibras, afetando a matriz por iniciação de trincas ou enfraquecimento das interações da interface fibra-matriz (Silva, 2014).

De acordo com Milani, Crawford e Heinrick (2017) e Lima, Felipe e Felipe (2020) afirmam que é importante fazer a seleção adequada dos materiais para o processo de fabricação das estruturas, visando aumentar a durabilidade do compósito. A probabilidade da água interagir com a interface fibra/matriz aumenta com o teor de água contido na amostra. O caso em que a água atinge a fibra durante a vida útil do compósito é o pior cenário em relação à degradação, pois leva à corrosão por tensão (fadiga estática) na fibra.

Segundo Guzman e Brondsted (2014) e Felipe, Felipe, Batista e Aquino (2019), à medida que a água se difunde no polímero, restam algumas fibras (a interface é hidrofílica), esse comportamento hidrofílico retém a água na interface e inicia a degradação. As moléculas presentes no dimensionamento podem hidrolisar quando a água está presente, aumentando as singularidades na fibra e reduzindo a adesão entre o polímero e a fibra, levando a uma degradação da qualidade inter-face. Porém, em alguns polímeros reforçados com fibra poliéster epóxi e insaturado, a degradação úmida da adesão da interface é reversível, e as propriedades do material se recuperam quando são submetidos a secagem.

Já que as propriedades mecânicas dos compósitos de matriz polimérica podem ser degradadas por variantes como a umidade, é importante entender o comportamento do material quanto ao ambiente operacional a que este poderá ser exposto. Monteiro, Lopes, Ferreira e Nascimento (2009) e Domingos, Felipe, Felipe e Fernandes (2019) afirmam em seus trabalhos que devido ao fato desses materiais serem relativamente recentes no mercado frente aos materiais convencionais como os metálicos, questões a respeito de sua durabilidade são ainda objeto de discussão e fazem-se necessárias pesquisas sobre o comportamento deles em determinadas condições de serviços.

Um outro aspecto a ser abordado trata que os compósitos poliméricos são materiais que dependem do tipo de resina utilizado são de difícil reciclagem ou mesmo não se consegue reciclar, sendo então materiais que tendem a gerar resíduos em aterros sanitários, sendo afirmado em trabalho desenvolvido por Souza, Felipe, Felipe e Lima (2020).

A partir desse contexto e da necessidade de estudos sobre os compósitos, o presente trabalho tem por objetivo a fabricação de um material compósito polimérico reforçado com fibra de vidro e a partir da exposição dele na água do mar e na areia, objetiva-se evidenciar possíveis danos apenas com a exposição do material nos respectivos meios. Foi realizado uma análise do seu comportamento físico entre os respectivos meios, sendo avaliado sua morfologia superficial através do microscópio eletrônico de varredura (MEV) e também analisado a variação de massa dos corpos de provas após a exposição aos meios, sendo essas avaliações importantes para validar a sua utilização na indústria e reduzir o resíduo gerado pelo material, já que ele afeta diretamente o meio ambiente.

## 2. Metodologia

Inicialmente foi realizado a confecção do material compósito, em seguida houve a fabricação dos corpos de prova (CPs) conforme normas ASTM para realização dos ensaios de densidade, calcinação e umidade. Ao decorrer do ensaio de umidade também foi analisado a variação de massa dos CPs. Ao fim do ensaio supracitado ocorreu a análise morfológica através da microscopia eletrônica de varredura (MEV).

O compósito polimérico foi confeccionado no laboratório de ensaios mecânicos do Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN), sendo constituído por resina de poliéster orto-tereftálica como matriz e manta de fibras de vidro do tipo E (450 g/cm<sup>3</sup>) como reforço, também se utilizou peróxido de metil-etil-cetona (MEKP) para catalisação e vaselina líquida para o desmolde. A fabricação do compósito correspondeu a primeira etapa da fase experimental do projeto, no qual deu-se através do processo de laminação manual (hand lay-up), conforme Figura 1.

**Figura 1.** Configuração do compósito.

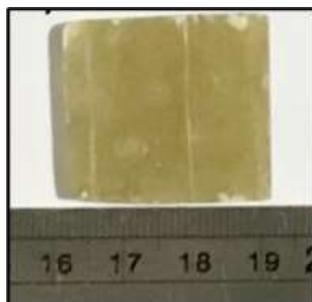


Fonte: Autores.

## 2.1 Ensaio de Densidade

Para o ensaio de densidade, foi seguida a norma ASTM D792. Os corpos de prova para este ensaio, mostrado na Figura 2, foi obtido mediante o uso de uma maquina com disco de corte com fio de diamante.

**Figura 2:** Corpo de prova para o ensaio de densidade.



Fonte: Autores.

Os corpos foram pesados a seco, em seguida eles foram colocados em um suporte com fio imerso em água destilada e pesados novamente, posteriormente foi pesado o suporte com fio imerso em água destilada sem a amostra. Para esse processo foi utilizado uma balança analítica Bioprecisa F4214N, com resolução de 1mg. A partir da aquisição de dados foi possível obter a densidade do material através da Equação 1:

$$D = \frac{a \times 0,9975}{a + w - b} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

D = Densidade (g/cm<sup>3</sup>);

a = Peso da amostra seca (g);

w= Peso do suporte com fio imerso em água destilada sem a amostra (g);

b = Peso do suporte com fio imerso em água destilada com a amostra (g).

## 2.2 Ensaio de Calcinação

Para este ensaio foi utilizado a norma ASTM D3171 para a determinação das frações volumétricas de reforço (fibra de vidro), matriz (resina) e vazios. Os CPs, foram pirolisados e colocados em um forno do tipo mufla, marca Fornitec, por um período de 40 min, com temperatura de 750 °C; ao término do ensaio foram utilizadas as equações de 2 a 6; e, calculadas as frações volumétricas de resina, reforço e vazios.

$$M_f = \frac{m_f}{m_t} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

$M_f$  = Teor em peso de fibras em g/cm<sup>3</sup>;

$m_f$  = Peso da fibra após calcinação da matriz, em g;

$m_t$  = Peso total da amostra, em g.

$$M_m = (1 - M_f) \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

$M_m$  = Teor em peso de resina (matriz), em g;

$M_f$  = Teor em peso de fibra, em g.

$$V_f = \frac{(D * M_f)}{D_f} \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

$V_f$  = Teor em volume de fibra;

$D$  = Densidade do compósito, obtida através da equação 2, em g/cm<sup>3</sup>;

$M_f$  = Teor em peso de fibra, em g;

$D_f$  = Densidade da fibra, em g/cm<sup>3</sup>.

$$V_m = \frac{(D * M_m)}{D_m} \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

$V_m$  = Teor de volume da resina (matriz);

$D$  = Densidade do compósito, em g/cm<sup>3</sup>;

$M_m$  = Teor em peso da resina, em g;

$D_m$  = Densidade da matriz, em g/cm<sup>3</sup>.

$$V_v = 1 - (V_f + V_m) \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

$V_v$  = Teor em volume de vazios;

$V_f$  = Teor em volume de fibras;

$M_m$  = Teor em volume de resina.

## 2.3 Absorção de Umidade

A Figura 3 mostra um dos corpos de provas usados para o ensaio de umidade, que foram confeccionados conforme a norma ASTM D5229 e obtidos mediante o uso de uma maquina com disco de corte com fio de diamante.

**Figura 3.** Corpo de prova para o ensaio de umidade.



Fonte: Autores.

No ensaio de umidade, foi seguida a norma ASTM D5229M, onde houve a pesagem dos CPs numa balança analítica Bioprecisa F4214N, com resolução de 1mg e colocados em água destilada. Os CPs foram pesados no intervalo de 12h e 24h, depois a cada 24h na primeira semana, posteriormente passou a ser pesado a cada 15 dias, sendo o período de exposição finalizado quando houve a saturação de umidade. O tempo de saturação de umidade do CP de referência (água destilada), serviu como tempo de exposição para colocar os CPs na água do mar e areia.

## 2.4 Variação de Massa

Para a medição da variação de massa os corpos de prova foram condicionados e fabricados conforme norma ASTM D5229. A técnica foi aplicada ao decorrer do ensaio de umidade, verificando a uniformização do peso. As medições foram feitas diariamente durante a primeira semana e passou a ser quinzenalmente até a saturação da umidade, a partir dessa informação foi possível observar a variação de massa dos materiais em relação ao tempo de exposição aos meios.

## 2.5 Análise Morfológica

Foi realizada a análise morfológica dos CPs no estado original, antes e após exposição deles na água do mar e na areia, objetivando detectar desgastes superficiais como fendas, fissuras entre outros danos que o material possa ter sofrido. Todas essas análises foram realizadas utilizando o microscópio eletrônico de varredura (MEV), marca Shimadzu, modelo Superscan SSX-550 e também foi usado o scanner, marca HP photosmart C4280 para avaliar a variação da cor na superfície do material.

## 3. Resultados e Discussão

### 3.1 Caracterização do Compósito

A Tabela 1 apresenta a densidade e os teores de reforço, vazios e matriz do compósito polimérico reforçado com fibra de vidro E.

**Tabela 1.** Densidade e frações volumétricas do reforço, vazios e matriz do PRFV.

|                     | Densidade<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | Teor de fibra<br>de vidro (%) | Teor de<br>matriz (%) | Teor de<br>vazios (%) |
|---------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Compósito<br>(PRFV) | 1,46 ± 0,01                       | 19,00 ± 1,00                  | 79,00 ± 1,00          | 2,00 ± 0,01           |

Fonte: Autores.

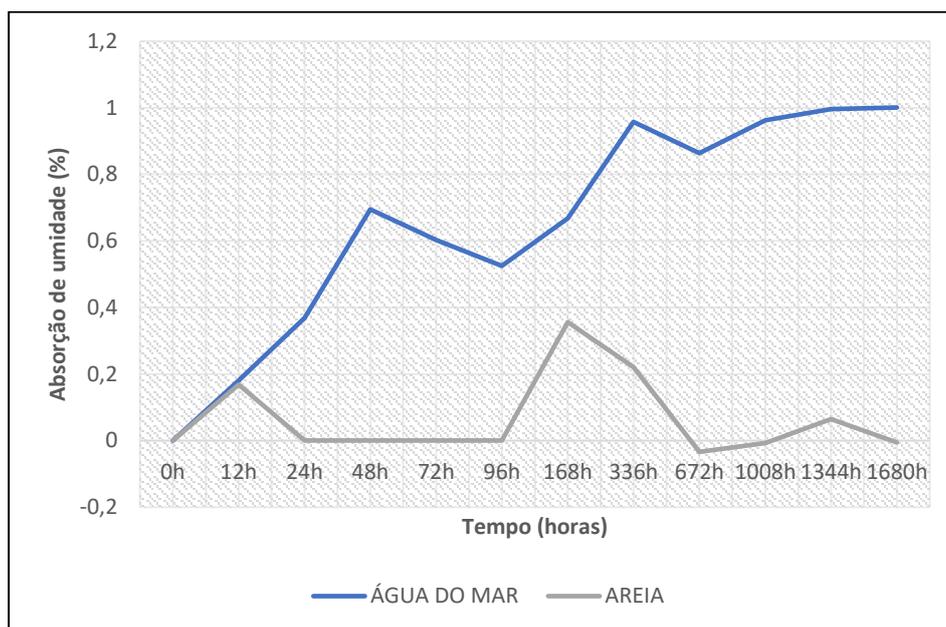
Sanjay e Yogesha (2016) e Felipe et al. (2019), em seus trabalhos encontraram também um percentual aproximado a 2% no teor de vazios. Além disso conforme literatura, o compósito com teor abaixo de 4% é considerado aceito para utilização

em determinados elementos estruturais (Hull & Clyne, 1996).

### 3.2 Ensaio de Umidade

O corpo de prova de referência, água destilada, saturou em 1680h (70 dias). Esse tempo foi utilizado para colocação dos CPs tanto em água do mar como na areia (enterrados). A figura 4 apresenta o percentual de absorção de umidade do PRFV imersos em água do mar e enterrados em areia. O gráfico representa a absorção de massa do compósito (%) em função do tempo em horas (h).

**Figura 4.** Comparativo de absorção para os compósitos nos dois meio expostos.



Fonte: Autores.

Através da representação é possível observar o comportamento da absorção, através das curvas, com relação a cada ambiente de exposição. Verificou-se que os CPs da água do mar apresentaram uma maior absorção de umidade do que os da areia, sendo justificado pela capacidade que a água tem de caminhar por capilaridade ao longo do material e ainda como o compósito possui uma interface entre a fibra e matriz, essa interface serve como um caminho por onde ocorrerá essa migração de água para o interior do material.

A absorção de umidade pode resultar no aumento de dimensões das peças e no peso do material, o que prejudicaria a aplicação em trabalhos que requerem precisão. De acordo com Oliveira (2015), quando os materiais compósitos poliméricos de matriz orgânica são expostos em meio aquoso pode acarretar na degradação da estrutura pela penetração da água.

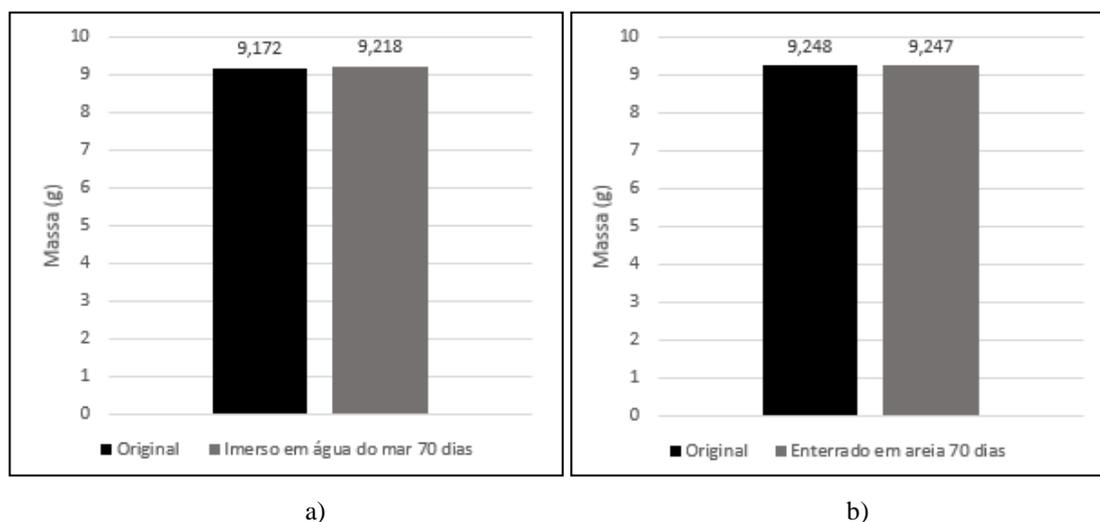
Em parte do seu trabalho, Silva, Feitosa, Maradini, Almeida e Oliveira (2019) observaram que a absorção de água teve aumento de acordo com a elevação do tempo de imersão e também com o aumento da proporção de fibra por volume. Porém, não apresentou grande variação de massa, o que mostra a importância das fibras em conjunto com resina polimérica, tornando viável assim a utilização destes compósitos mesmo em ambientes úmidos.

### 3.3 Variação de Massa

Na Figura 5 são apresentados os valores das variações de massa antes e após a exposição ao ensaio de umidade em cada

ambiente. Foi verificado que após esse período não houve praticamente nenhuma mudança de massa, o que pode ser considerado um ponto positivo visto que o compósito se mantém aparentemente íntegro quando avaliado apenas o valor de massa.

**Figura 5.** Variação de massa do PRFV após exposição à - a) água do mar; b) areia.



Fonte: Autores.

Os CPs imersos em água do mar apresentaram uma maior variação de massa quando comparado ao enterrado em areia. Na Tabela 2, observam-se os percentuais referentes a variação de massa dos respectivos corpos de prova nos ambientes.

**Tabela 2.** Variação de massa dos CP's.

| Ambiente    | Variação de massa após ensaio de umidade (%) |
|-------------|--|
| Água do mar | $0.44 \pm 0,03$                              |
| Areia       | $-0.002 \pm 0,00$                            |

Fonte: Autores.

Pode-se verificar que houve uma pequena perda de massa nos corpos de prova enterrados na areia, enquanto os submersos em água do mar observou-se um aumento de massa, o que pode ser justificado pela penetração de água no compósito, visto que a resina normalmente absorve umidade. Em parte do seu trabalho sobre hastes pultrudadas de material compósito, que foram produzidas a partir de duas fibras (vidro e carbono) e duas resinas termorrígidas (epóxi e éster vinílica), Gu (2009) também observou mudanças significativas nas frações volumétricas ao longo do período de exposição dos corpos de provas em água do mar, indicando mudança na massa molar do polímero.

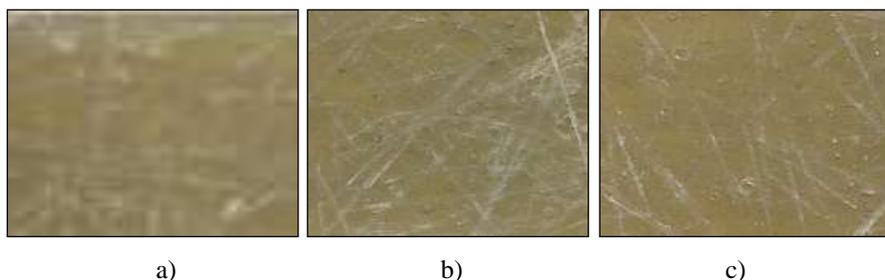
### 3.4 Avaliação Morfológica

Para a avaliação dos aspectos morfológicos na superfície do PRFV foram analisadas as superfícies no estado original e após o tempo de exposição nos diversos ambientes, objetivando analisar a intensidade do desgaste.

Com a visualização macroscópica com scanner foi possível observar a ocorrência de uma pequena mudança de coloração com um tom relativamente mais escuro, levemente amarelado nos corpos de prova ensaiados e a tendência do

aparecimento de fibras na superfície conforme mostrado na figura 6, sendo essa mudança de cor ocasionada devido a mudança de temperatura. A variação de cor também foi observada no trabalho desenvolvido por Domingos et al. (2019).

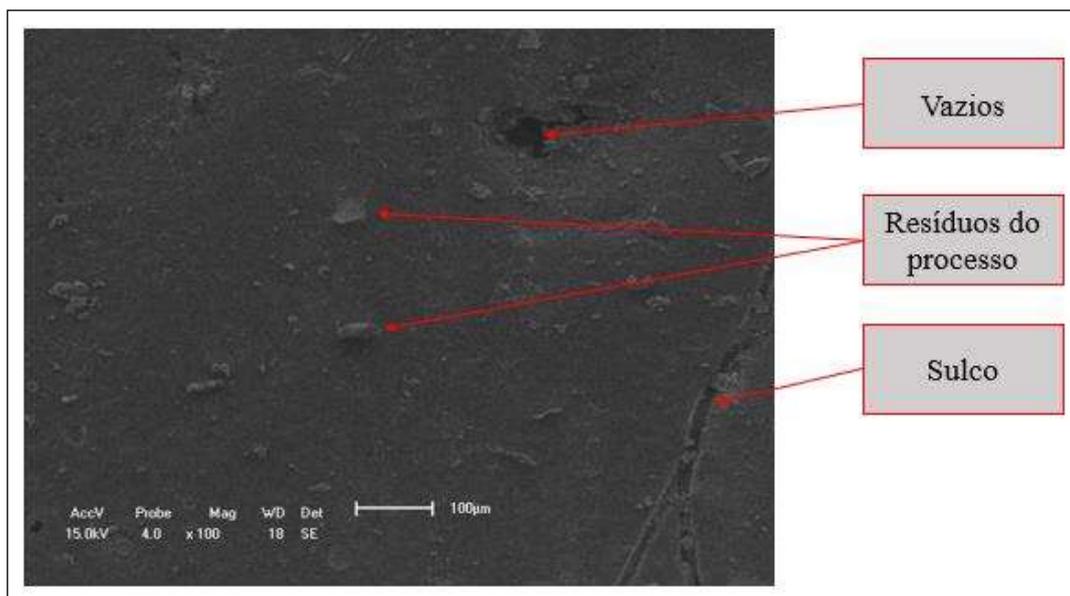
**Figura 6.** Análise da superfície do PRFV - a) original; b) água do mar; c) areia.



Fonte: Autores.

A Figura 7 foi captada mediante MEV e mostra a superfície do material no estado original. A figura apresenta uma superfície uniforme e íntegra, possuindo em alguns pontos resíduos e vazios que são inerentes ao processo de fabricação. Também foi notada a presença de sulco, mesmo dano apresentado no trabalho desenvolvido por Domingos et al. (2019).

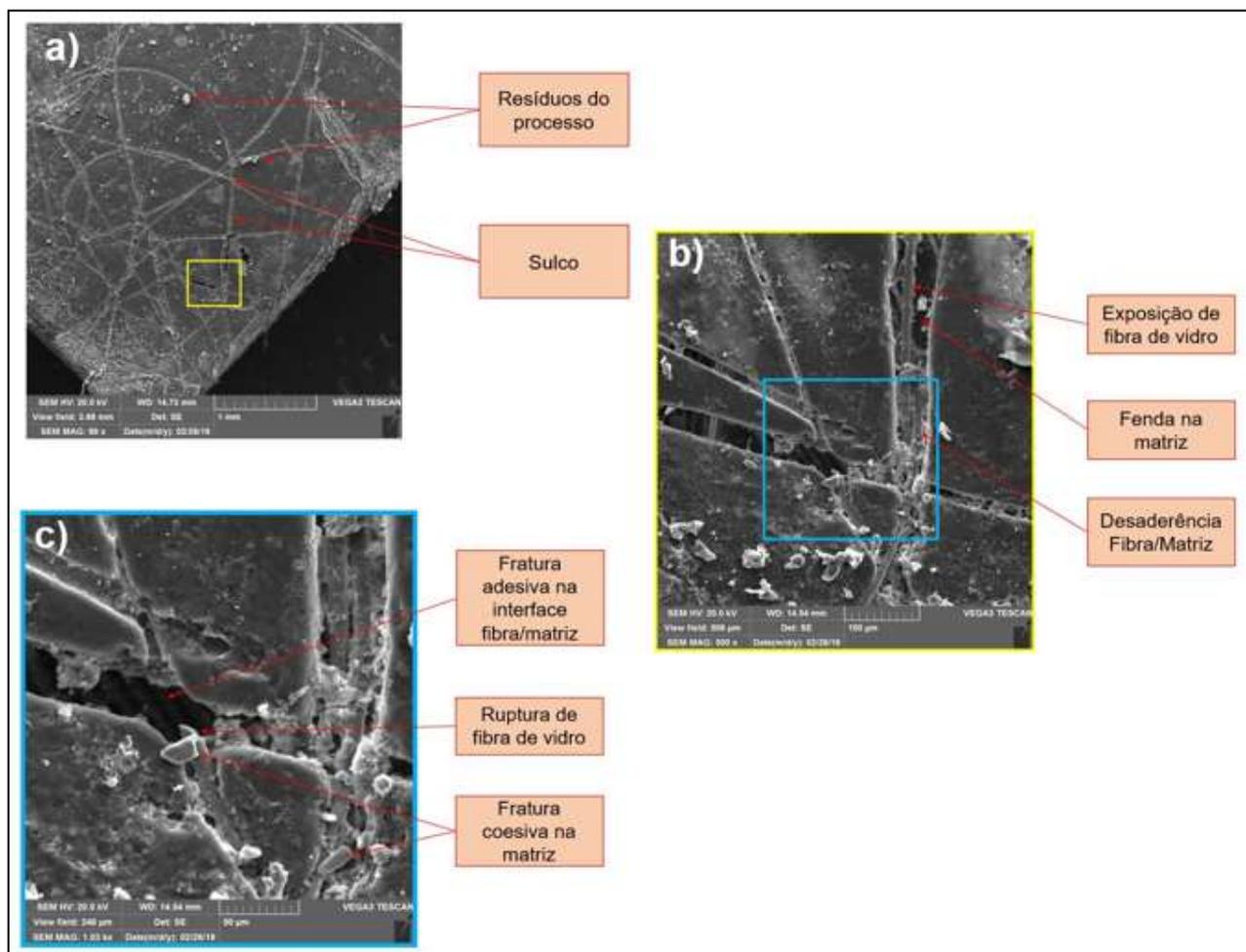
**Figura 7.** Superfície do CP no estado original.



Fonte: Autores.

Na Figura 8 após realização do MEV no CP após imersão na água do mar, observa-se a quantidade de sulcos formados por toda a região analisada, provocado pela perda de fibra. Também foi evidenciado a exposição e ruptura de fibras na superfície, desaderência fibra/matriz, fratura adesiva na interface fibra/matriz e fratura coesiva na matriz, como mostrado na Figura 8 (b e c). Diante disso, verificou-se que a desaderência da fibra na matriz e a fratura adesiva na interface fibra/matriz está no caminho ao longo dos sulcos. Após a exposição o material sofreu grande quantidade de danos, o que poderá provocar uma perda na eficiência mecânica.

**Figura 8.** Avaliação da superfície do CP após imersão em água do mar.

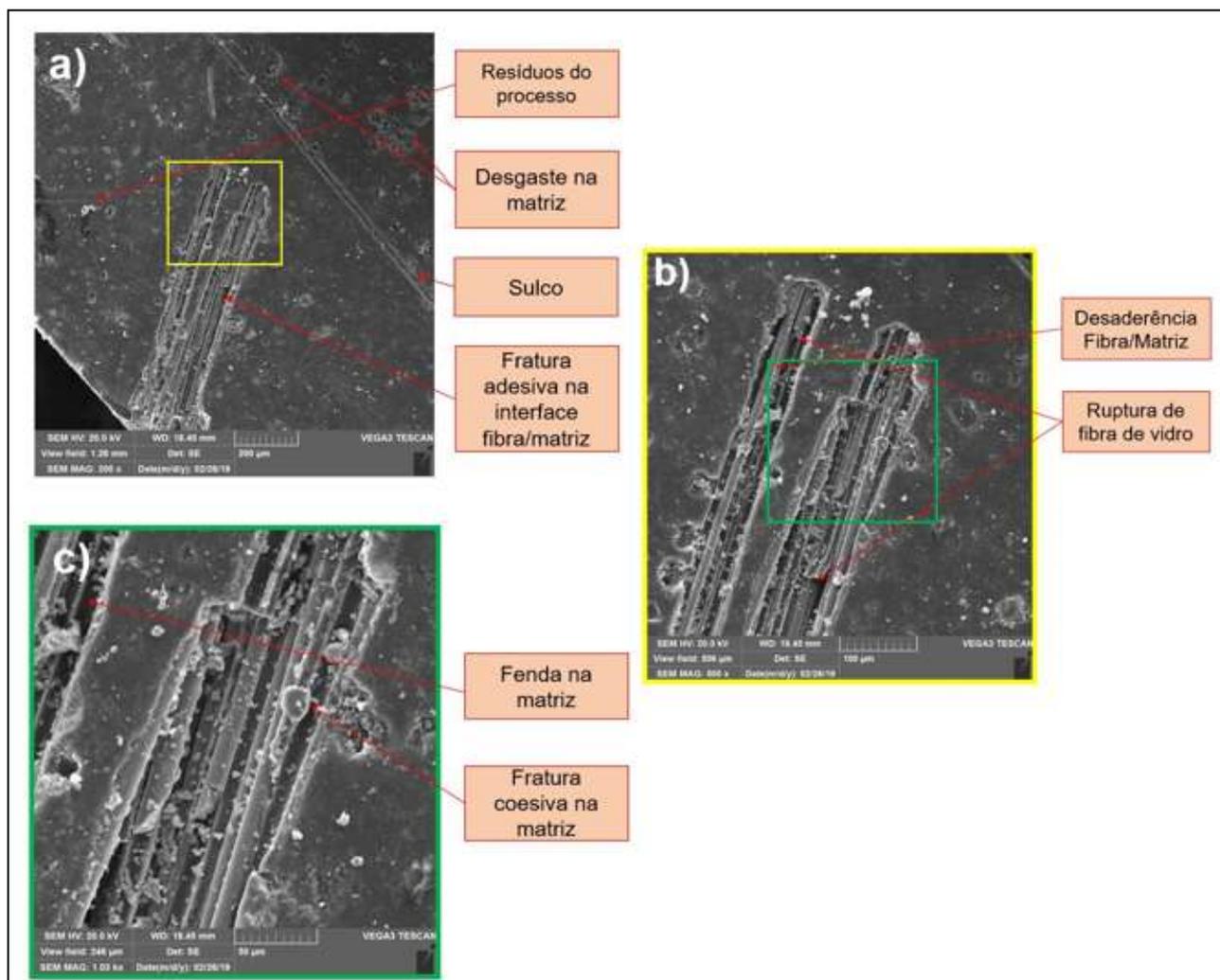


Fonte: Autores.

No trabalho realizado por Cunha, Santos, Felipe e Felipe (2017) também houve um comportamento bem similar aos danos causados nos corpos de prova imersos em água do mar. Foi observado a presença de desaderência fibra/matriz, ao qual foi evidenciado a partir da presença de fibras expostas. Outro fator observado por Cunha et al. (2017) foi a presença de fratura coesiva na fibra, que foi confirmada a partir da fratura angular na ponta da fibra.

Na Figura 9 após realização do MEV no CP enterrado em areia, foi possível observar fratura adesiva na interface fibra/matriz, desgastes da matriz e sulcos (Figura 9a). Já na Figura 9 (b e c) pode-se verificar a ruptura e exposição de fibra, fenda e fratura na matriz e desaderência fibra/matriz.

**Figura 9.** Avaliação da superfície do CP após exposição na areia.



Fonte: Autores.

Ao se analisar as características superficiais após a degradação, observa-se que o PRFV imerso em água do mar foi o que mais sofreu danos. É sabido que com a concentração de cloreto de sódio presente na água do mar, a água possui certo pico de corrosividade, o que pode justificar o maior dano como foi observada na figura 8. Em consonância, Pandiano, Vairavan, Thangaiah e Uthayaumar (2014) afirmam que a água acelera a evolução de danos dentro de compósitos e faz com que os danos surjam. Os danos detectados no MEV comprovaram que se faz necessário melhorar a adesão entre fibras e matriz como também o processo de tratamento das fibras, para a obtenção de uma melhor aderência das fibras na matriz.

#### 4. Conclusão

Mediante os métodos desenvolvidos e dos resultados expostos anteriormente, conclui-se que os teores de vazios estão coerentes com a literatura, conforme mostrado nos ensaios de calcinação e densidade.

De acordo com a saturação de umidade, observou-se que a água do mar absorveu mais umidade ao fim do período de exposição, este ambiente também foi responsável pela maior degradação na superfície, o que pode acarretar perdas na eficiência mecânica. Um ponto significativo é a pequena variação na massa do PRFV nos dois ambientes após o tempo de exposição.

Dessa forma, afim de minimizar o desgaste causado pelos ambientes ao qual foram expostos os corpos de provas, e

mitigar a geração de resíduos no meio ambiente, pode-se aplicar uma película extra como barreira mecânica na superfície do compósito, para atuar na proteção contra a degradação, tendo em vista que o maior problema encontrado no presente trabalho foi o desgaste superficial.

Como sugestões de futuros trabalhos, mudar o tipo de resina e/ou fibras e expor nas mesmas condições. Além disso, realizar uma avaliação do comportamento mecânico por exemplo mediante ensaios de tração uniaxial e flexão em três pontos antes e após exposição nos respectivos meios.

## Agradecimentos

Agradecemos ao CNPq pela concessão das bolsas de iniciação científica aos alunos de graduação do Curso de Engenharia de Energia.

## Referências

- Ashik, K. P., Sharma, R. S., & Gupthaa, V. L. J. (2018). Investigation of moisture absorption and mechanical properties of natural /glass fiber reinforced polymer hybrid composites. *Materials Today: Proceedings* 5, 3000–3007. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.01.099>.
- ASTM – American society for testing materials. ASTM D3171: Standard test methods for constituent content of composite materials. USA, 2015.
- ASTM - American society for testing and materials. ASTM D5229M: Standard Test method for moisture absorption properties and equilibrium conditioning of polymer matrix composite materials. USA, 2020.
- ASTM - American Society for Testing Materials. ASTM D792: Standard test methods for density and specific gravity of plastic. USA, 2020.
- Carvalho, A. C. (2015). *Fabricação e caracterização de compósitos à base de resina epóxi e fibras de bananeira*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de São João Del-Rei, Minas Gerais, Brasil.
- Cunha, R. A. D. (2015). *Influência da absorção de umidade no comportamento mecânico nos compósitos poliméricos híbridos kevlar/vidro quando imerso em água do mar e petróleo*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio grande do Norte, Natal, Brasil.
- Cunha, R. A. D., Santos, J. K. D., Felipe, R. C. T. S., & Felipe, R. N. B. (2017). Comportamento mecânico do compósito PRFV quando imerso em água do mar por tempo prolongado. *HOLOS*, 4, 78-87. [10.15628/holos.2017.5320](https://doi.org/10.15628/holos.2017.5320).
- Domingos, Y. S., Felipe, R. C. T. S., Felipe, R. N. B., Fernandes, G. J. T. (2019). Evaluation of the environmental aging of the glass fiber-reinforced polymer composite when in contact with the effluent of a treatment plant. *Journal of Composite Materials*, 54(11), 1385–1402. [10.1177/0021998319878766](https://doi.org/10.1177/0021998319878766).
- Felipe, R. C. T. S., Felipe, R. N. B., Batista, A. C. M. C., Aquino, E. M. F. (2019). Influence of environmental aging in two polymer-reinforced composites using different hybridization methods: glass/kevlar fiber hybrid strands and in the weft and warp alternating kevlar and glass fiber strands. *Composites Part B*, v.174, Article 106994. [10.1016/j.compositesb.2019.106994](https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.106994).
- Galli, C. A. (2016). *Caracterização das propriedades mecânicas de compósitos de matriz de epóxi com fibras de carbono unidirecionais*. Dissertação de conclusão de curso, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.
- Gu, H. (2009). Dynamic mechanical analysis of the seawater treated glass/polyester composites. *Materials and Design*, 30, 2774-2777. [10.1016/j.matdes.2008.09.029](https://doi.org/10.1016/j.matdes.2008.09.029).
- Guzman, V. A., & Brondsted, P. (2014). Effects of moisture on glass fiber-reinforced polymer composites. *Department of Wind Energy, Technical University of Denmark, Roskilde* 4000. <https://doi.org/10.1177/0021998314527330>.
- Hull, D., Clyne, T. W. (1996). *An introduction to composite materials*. (2a ed.), University press.
- Lima, N. L. P., Felipe, R. N. B., & Felipe, R. C. T. S. (2020). Cement mortars with use of polyethylene tereftalate aggregate: a review on its sustainability. *Research, Society and Development*, 9(8). [10.33448/rsd-v9i8.5640](https://doi.org/10.33448/rsd-v9i8.5640). e513985640.
- Macêdo, M. C., Neto. (2017). *Obtenção e caracterização de um compósito de matriz polimérica com carga de palha de aço*. Dissertação de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil.
- Milani, A. S., Crawford, B., & Heinrick (2017). Degradation of fibreglass composites under natural weathering conditions. *MOJ Polymer Science*. 1. [10.15406/mojps.2017.01.00004](https://doi.org/10.15406/mojps.2017.01.00004).
- Monteiro, S. N., Lopes, F. P. D., Ferreira, A. S., & Nascimento, D. C. O. (2009). Natural fiber polymer matrix composites: Cheaper, tougher and environmentally friendly. *JOM*, 61, 17-22. [10.1007/s11837-009-0004-z](https://doi.org/10.1007/s11837-009-0004-z).

- Oliveira, M. L. (2015). *Obtenção e caracterização de um compósito de matriz polimérica com carga de resíduos vegetal proveniente do sabugo de milho*. Pós-Graduação em Engenharia de Mecânica, Universidade Federal do Rio grande do Norte, Natal, Brasil.
- Pandiano, A., Vairavan, M., Thangaiah, W. J. J., Uthayamar, M. (2014). Mechanical propertier of basalt fibre reinforced polymer matrix composites. Hindawi Publishing Corporation. *Journal of Composites*. 10.1166/jamr.2014.1185.
- Ribeiro, L.M., Ladchumananandasivam, R., Galvão, A. O., & Belarmino, D. D. (2013). Flamabilidade e retardância de chama do compósito: poliéster insaturado reforçado com fibra de abacaxi (PALF). *Holos*, 1, 115-126. 10.15628/holos.2013.932.
- Sanjay, M. R., & Yogesha, B. (2016). Studies on Mechanical Properties of Jute/E-Glass Fiber Reinforced Epoxy Hybrid Composites. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, v.4 (1) 55–62. 10.4236/jmmce.2016.41002.
- Santos, J. K. D., Cunha, R. D., Amorim, W. F., Júnior, Felipe, R. C. T. S., Braga, J. L., Neto, & Freire, R. C. S., Júnior (2020) The variation in low speed impact strength on glass fiber/Kevlar composite hybrids. *Journal of Composite Materials*, 54 (21) 3009–3019. 10.1177/0021998320906205.
- Senthilkumar, K., Saba, N., Rajini, N., Chandrasekar, M., Jawaid, M., Siengchin, S., & Alothman, O. Y. (2018). Mechanical properties evaluation of sisal fibre reinforced polymer composites: A review. *Construction and Building Materials*, 174. Doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.04.143.
- Silva, C. J. (2014). *Absorção de Água em Materiais Compósitos de Fibra Vegetal: Modelagem e Simulação via CFX*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil.
- Silva, V. B., Feitosa, Y. M., Maradini, S.M., Almeida, S. M., & Oliveira, M. P. (2019). Análise de absorção de água em compósitos de óleo de mamona reforçado com bagaço de cana de açúcar. *Conferencia: XIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica*. p. 1190-1196, 10.5151/cobecic2019-EMN68.
- Souza, N. S., Felipe, R. C. T. S., Felipe, R. N. B., & Lima, N. L. P. (2020). Industrial solid waste: Composite with glass fiber reinforced plastic waste. *Research, Society and Development*, 9(9). 10.33448/rsd-v9i9.7136. e520997136.