



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMIÁRIDO
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

LITUAN LAMARCK SOARES AGUIAR

FABRICAÇÃO DE COMPÓSITOS E ENSAIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA PARA
APLICAÇÕES EM EMBARCAÇÕES

CARAÚBAS

2018

LITUAN LAMARCK SOARES AGUIAR

**FABRICAÇÃO DE COMPÓSITOS E ENSAIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA PARA
APLICAÇÕES EM EMBARCAÇÕES**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semiárido como requisito para obtenção do título de Bacharel em ciência e tecnologia.

Orientador: Dorgival Albertino da Silva Junior, Prof. Dr.

CARAÚBAS

2018

A282f Aguiar, Lituan Lamarck Soares.

FABRICAÇÃO DE COMPÓSITOS E ENSAIOS DE ABSORÇÃO
DE ÁGUA PARA APLICAÇÕES EM EMBARCAÇÕES / Lituan

Lamarck Soares Aguiar. - 2018.

56 f. : il.

Orientador: Dr. Dorgival Albertino Silva
Junior.

Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2018.

1. Compósito. 2. Laminação. 3. Vidro. 4.
Material. I. Silva Junior, Dr. Dorgival

LITUAN LAMARCK SOARES AGUIAR

**FABRICAÇÃO E ENSAIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA EM COMPÓSITOS PARA
APLICAÇÕES EM EMBARCAÇÕES**

Monografia apresentada a
Universidade Federal Rural
do Semiárido como
requisito para obtenção do
título de Bacharel em
ciências e tecnologia.

Defendida em: 01 / 03 / 2018.

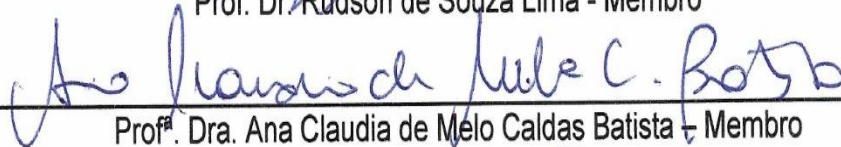
BANCA EXAMINADORA



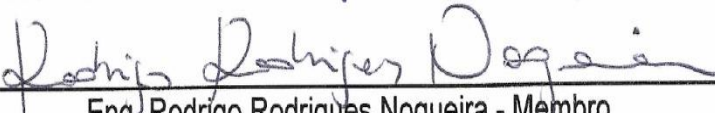
Prof. Dr. Dorgival Albertino da Silva Júnior - Presidente



Prof. Dr. Rudson de Souza Lima - Membro



Prof.^a Dra. Ana Claudia de Melo Caldas Batista - Membro



Eng. Rodrigo Rodrigues Nogueira - Membro

Agradeço a minha mãe Rita Soares Aguiar Gomes por todo suporte e ajuda que me deu durante toda caminhada, por sempre me incentivar a conseguir conquistar meus objetivos, por ser um exemplo de personalidade como mulher e mãe.

Agradeço as minhas irmãs Maria do Rosário Gomes e Rita de Cassia Aguiar pelo apoio em todos os momentos, pela ajuda nas tomadas de decisões importantes que ajudaram na realização desse sonho.

Agradeço ao meu Orientador Dorgival Albertino da Silva Junior por toda a ajuda para a realização desse trabalho, bem como toda paciência em me orientar, pela competência em seu trabalho, por me instruir com relação a prática desenvolvida neste trabalho. Agradeço a professora Ana Claudia de Melo Caldas Batista pelos conselhos durante a caminhada. Agradeço ao professor Rudson de Sousa Lima pela ajuda em laboratório. Agradeço a todos os amigos de me ajudaram de forma indireta ou indireta a realização deste trabalho.

RESUMO

A busca por materiais alternativos que possam substituir de forma parcial ou total os materiais tradicionais está cada vez maior. Devido a isso foi necessário desenvolver estudos que com o tempo acabou levando a descoberta de um novo tipo de material, que é o compósito. Um compósito é a união de dois ou mais materiais em camadas distintas. Dessa forma permitindo a criação de um outro que possua características. As quais seus constituintes não poderiam proporcionar separadamente. Um tipo de compósito bastante utilizado é o fabricado com uma matriz polimérica e reforço de fibra sintética de vidro, sendo usado em diversas áreas para reparo ou até mesmo construção de objetos. A área naval está cada vez utilizando mais desse tipo de material, pois o mesmo reúne melhores características mecânicas que muitos materiais por possuir fibra de vidro. Devido aos ambientes a que são expostos e aos esforços que sofrem, é necessário realizar testes para verificar se o compósito ao qual se deseja usar possui as características necessárias para o projeto a ser desenvolvido, como por exemplo, fabricação de pequenos barcos, logo este trabalho realizou um estudo sobre compósitos e sua fabricação, bem como a realização do teste de absorção de água. O Processo utilizado foi o de laminação manual (*hand lay-up*), através dele compósitos com variadas configurações foram confeccionados: polímero de resina poliéster, um compósito com duas camadas de manta de fibra de vidro, outro compósito com duas camadas de manta e uma de tecido, e um compósito com três camadas de manta. Estes foram submetidos ao ensaio de absorção de água com água comum, água destilada e água do mar, para observar seu comportamento em cada uma delas. Assim foi possível determinar que o compósito com três camadas de manta teve o melhor desempenho na resistência a absorção de água, seguido pelo constituído com reforço de duas mantas, logo após, o constituído de duas mantas e uma camada de tecido. O polímero confeccionado apenas com resina foi o mais resistente a absorção de água, porém é um material bastante frágil e não é usual para embarcações. Além disso, foi possível comparar os resultados obtidos com outros trabalhos já publicados.

Palavras-chave: Compósito. Laminação. Vidro. Material.

ABSTRACT

The search for alternative materials that can partially or totally replace traditional materials is increasing. Due to this it was necessary to develop studies that eventually led to the discovery of a new type of material, which is the composite. A composite is the joining of two or more materials into distinct layers. In this way allowing the creation of another that has characteristics. Which their constituents could not provide separately. A type of composite widely used is the one manufactured with a polymeric matrix and reinforcement of synthetic fiber of glass, being used in several areas for repair or even construction of objects. The naval area is increasingly using this type of material because it has better mechanical characteristics than many materials because it has fiberglass. Due to the environments to which they are exposed and to the efforts they undergo, it is necessary to perform tests to verify if the composite to be used has the necessary characteristics for the project to be developed, such as small boat manufacturing. carried out a study on composites and their manufacture, as well as performing the water absorption test. The process used was hand lay-up, through which composites with various configurations were made: polyester resin polymer, a composite with two layers of fiberglass mat, another composite with two layers of mat and one of fabric, and a composite with three layers of blanket. These were submitted to the water absorption test with common water, distilled water and sea water, to observe their behavior in each of them. Thus it was possible to determine that the composite with three layers of manta had the best performance in the resistance to water absorption, followed by the reinforcement of two blankets, soon after, consisting of two blankets and one layer of fabric. The resin-only polymer was the most resistant to water absorption, but it is a very fragile material and is not usual for boats. In addition, it was possible to compare the results obtained with other works already published.

Keywords: Composite. Lamination. Glass. Material.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos compósitos.....	16
Tabela 2 - Características dos termoplásticos e termorrígidos.....	19
Tabela 3 - Propriedades de alguns tipos de fibra de vidro.....	24
Tabela 4 - Dados da Dados da pesagem após o processo de secagem.....	44
Tabela 5 - Dados obtidos na primeira pesagem do ensaio de longa duração.....	45
Tabela 6 - Dados obtidos na segunda pesagem do ensaio de longa duração.....	45
Tabela 7 - Resultados da terceira pesagem do ensaio de longa duração.....	46
Tabela 8 - Resultados da última pesagem do ensaio de longa duração.....	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Resina poliéster armazenada.....	21
Figura 2: Fibra de vidro.....	22
Figura 3: Compósito fabricado pelo modo hand lay-up.....	26
Figura 4: Desmoldante.....	28
Figura 5: Tecido de fibra de vidro.....	29
Figura 6: Catalisador usado para diminuir o tempo de cura.....	29
Figura 7: Balança de precisão.....	30
Figura 8: Luvas de proteção.....	31
Figura 9: Rolo usado para espalhar a resina.....	31
Figura 10: Solvente usado para limpeza de resíduos.....	32
Figura 11: Lâmina de sera.....	32
Figura 12: Lixa d'água 100.....	33
Figura 13: Bancada usada na fabricação dos compósitos.....	34
Figura 14: Tesoura usada para o corte das mantas e tecido.....	35
Figura 15: Trena para fazer medidas.....	35
Figura 16: Copo usado na pesagem do reforço e da matriz polimérica.....	36
Figura 17: Morsa.....	37
Figura 18: Suporte para lixa d'água.....	38
Figura 19: Compósitos fabricados apenas com resina.....	38
Figura 20: Compósitos com duas mantas de fibra de vidro.....	39
Figura 21: Compósitos com duas camadas de manta e uma de tecido.....	40
Figura 22: Compósitos com três camadas de manta.....	40
Figura 23: Estufa usada na secagem dos corpos de prova.....	41
Figura 24: Recipiente plástico usado no ensaio de absorção de água.....	42
Figura 25: Resultados do ensaio feito com os corpos de prova de resina.....	47
Figura 26: Resultados obtidos com os corpos de prova 2 mantas.....	47
Figura 27: Desempenho dos corpos de prova com configuração (2M + 1T).....	48
Figura 28: Desempenho dos corpos de prova com 3 camadas de mantas.....	48
Figura 29: Comparativo entre os corpos de prova expostos à água comum.....	49
Figura 30: Comparativo dos resultados dos cp expostos à água destilada.....	49
Figura 31: Comparação dos resultados do ensaio com água do mar.....	50

LISTA DE SÍMBOLOS

K = quilograma

N = Newton

m = metro

°C = grau Celsius

g = grama

cm = centímetro

G = giga

Pa = Pascal

M = mega

% = porcentagem

mm = milímetro

h = horas

cp = corpo de prova

LM = laminação manual

LV = laminação a vácuo

I = infusão

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVO GERAL.....	13
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
3. PROBLEMA.....	14
4. JUSTIFICATIVA.....	15
5. REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
5.1 MATERIAIS COMPÓSITOS.....	16
5.2 COMPÓSITOS POLIMÉRICOS.....	17
5.3 MATRIZ POLIMÉRICA.....	19
5.4 RESINA POLIÉSTER.....	20
5.5 FIBRA.....	21
5.6 FIBRA DE VIDRO.....	22
5.7 APLICAÇÃO DE COMPÓSITOS EM EMBARCAÇÕES.....	24
5.8 PROCESSO DE LAMINAÇÃO MANUAL (<i>HAND LAY-UP</i>).....	25
5.9 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	27
6. METODOLOGIA.....	28
6.1 MATERIAIS UTILIZADOS.....	28
6.2 MÉTODOS.....	33
6.2.1 Fabricação dos compósitos.....	33
6.2.2 Preparação dos corpos de prova.....	37
6.2.3 Ensaio de absorção de água.....	41
7. RESULTADOS.....	44
7.1 PESAGENS.....	44
7.2 COMPARAÇÃO DE RESULTADOS.....	49
7.3 UTILIZAÇÃO EM EMBARCAÇÕES.....	51
8. CONCLUSÃO.....	52
9. REFERÊNCIAS.....	53

1. INTRODUÇÃO

A busca por novos materiais tem aumentado cada vez mais, tendo em vista uma economia na produção desses materiais, são alguns dos fatores determinantes para a criação dos mesmos. Da mesma forma a busca por materiais alternativos também tem se destacado no mercado de modo geral. No meio que corresponde a engenharia de construções mecânicas, um tipo de material que tem ganhado cada vez mais destaque é o compósito.

A escolha do reforço que compõe o compósito é um ponto bastante importante, pois a partir dele as propriedades serão determinadas. Existem vários tipos de fibra sintéticas que podem ser usadas, porém a fibra sintética de vidro tem ganhado destaque, especificamente a fibra do tipo E, por sua boa relação de custo e benefício. Além disso, a utilização de uma resina apropriada é fundamental para a fabricação do compósito, a matriz polimérica é responsável por unir quantas camadas forem utilizadas na execução de algum projeto, e ainda fazer com que as propriedades desejadas possam ser obtidas.

Existem várias formas de produzir esses tipos de materiais, a mais simples de todas é a laminação de manual (*hand lay-up*), onde o material é totalmente produzido de forma artesanal, é uma forma prática e rápida de fabricação, embora possua desvantagens como precisão, quantidade produzida, e depender da qualidade da mão de obra. Um ponto bastante importante com relação a esses tipos de materiais é a sua resistência a esforços, além de sua leveza se comparados a outros. Devido a isso o mesmo é bastante usado em embarcações, e ambientes em que o peso do material usado, pode comprometer de alguma forma a estabilidade, além da exposição a umidade, portanto o ensaio de absorção de água é de suma importância para esse tipo de material. Este é o principal foco desse trabalho, constatar como esses materiais se comportam quando expostos à água comum, água destilada e água do mar.

2. OBJETIVO GERAL

Determinar a porcentagem de absorção de água pelos compósitos com fibra de vidro e resina poliéster.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 2.1.1 Fabricar diferentes tipos de compósitos, alternado a combinação dos materiais;
- 2.1.2 Analisar a absorção de água comum, água destilada e água do mar, pelos compósitos confeccionados;
- 2.1.3 Verificar qual combinação de material possui uma absorção de água menor;
- 2.1.4 Verificar aplicações dos compósitos em contato com água.

3. PROBLEMA

O custo para fazer reparos em carros, embarcações, caixas de água, varia de acordo com o material que será utilizado e também da forma que ele será processado, esse é um fator determinante para limitar o uso de alguns desses materiais. No que diz respeito a reparos ou construção de determinados objetos, a resistência, a produção e a durabilidade são alguns dos principais pontos levados em consideração.

Um fator de suma importância e preponderante na escolha do material é a relação entre benefício que este irá trazer, e quanto custará a aquisição do mesmo. Por esse motivo, os compósitos estão em constante pesquisa e em crescente utilização em construções mecânicas. Em consequência disso, a fibra de vidro é bastante utilizada, mas é preciso levar em consideração alguns fatores, pois em diversos ambientes os materiais podem se comportar de formas diferentes. Como os compósitos são bastante usados em embarcações, os mesmos estão em constante exposição a umidade, portanto é preciso verificar o comportamento desse material de forma a determinar como o mesmo se comporta quando exposto a diferentes tipos de água e avaliar a absorção da umidade.

4. JUSTIFICATIVA

A fibra sintética de vidro possui uma boa resistência mecânica e a aplicação em diversos ambientes, como: ao ar livre, onde está exposta aos raios solares, e submersão, onde pode estar em contato com diferentes tipos de água. Esse é um ponto bastante importante a ser abordado pois materiais compósitos podem ser usados em navios de pequeno porte, em pequenos barcos ou em determinados locais em que seu contato com a umidade não pode ser evitado.

Antes da escolha de algum reforço para a utilização na fabricação do compósito, é necessário verificar se o mesmo possui as propriedades que estão sendo buscadas. No caso da fibra de vidro é preciso avaliar fatores, como de que forma o material compósito fabricado, como o reforço sintético se porta diante desse contato, se possui uma boa resistência a corrosão e se o mesmo possui uma boa resistência a absorção de água. Esse será o foco do presente trabalho verificar a absorção de água comum, água destilada e água do mar, por compósitos com diferentes configurações: duas mantas de fibra de vidro como reforço; outro com duas camadas de manta e uma intermediária de tecido de fibra de vidro; outro com três camadas de manta; e um polímero confeccionado apenas com resina poliéster. Dessa forma será possível constatar qual possui melhor resistência a absorção de água e, portanto, o mais indicado para o uso em ambientes em contato com água.

5. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção são apresentados os conceitos básicos de compósitos, além de detalhes sobre suas características, aplicação, método de fabricação, bem como seus componentes: matriz polimérica e reforço.

5.1 MATERIAIS COMPÓSITOS

De uma forma geral, os materiais ditos compósitos são constituídos de duas ou mais fases, ou seja, esse tipo de material possui pelo menos dois constituintes (VENTURA, 2009). Outra definição que pode ser usada para explicá-los é que, os compósitos possuem uma estrutura formada por dois ou mais materiais, que não são solúveis entre si (CARNEIRO, TEIXEIRA, 2008).

De acordo com Kaw (2006), os materiais que possuem mais de uma fase, são os multifásicos. Essa definição compreende os compósitos, tendo em vista que os mesmos são constituídos de reforço (geralmente usa-se algum tipo de fibra), e uma matriz polimérica, responsável pela união dos componentes. A matriz polimérica envolve o reforço, e através do contato que a resina proporciona, a carga ou esforço sofrido é distribuído por todo o material (GAY, HOA, TSAI, 2002).

Alguns tipos de compósitos são plásticos reforçados com fibras que possuem uma alta resistência, unidos pela matriz polimérica, que é a resina a ser utilizada no processo, estes podem ter comportamento quase isotrópico dependendo da orientação das fibras utilizadas (CARNEIRO, TEIXEIRA, 2008). Devido as exigências tecnológicas e de mercado, foram desenvolvidas técnicas para utilizar na fabricação dos compósitos a fim de fazer com que eles, possam ser substitutos de materiais como, ligas metálicas e cerâmicas (VENTURA, 2009).

Se o processamento for adequado, é possível que na união dos materiais para formar o compósito se obtenham melhores propriedades dependendo da aplicação, como por exemplo: baixa massa específica, alta tenacidade, alta resistência mecânica e alta resistência a corrosão (NOGUEIRA, 2004). A obtenção de novas propriedades a partir da união de dois ou mais materiais, depende da forma que é feito e tem que levar em consideração a proporção de reforço e resina que será utilizada na fabricação, bem como o tipo de reforço a ser utilizado, manta, tecido de

fibras unidirecionais, tecido de fibras bidirecionais, além do processo pelo qual o novo material será fabricado (GAY, HOA, TSAI, 2002).

Nos compósitos é necessário que exista afinidade entre os materiais constituintes, já que os mesmos irão suportar esforços físicos no ambiente em que serão usados, portanto conhecer as propriedades físicas e químicas de cada material que foi usado é de grande importância (NETO et al, 2007).

A forma com que os materiais ficarão unidos, ou seja, a forma com que a adesão entre eles ocorrerá, pode ser de diferentes tipos: ligações covalentes, forças de Van der Waals, ligações de hidrogênio e interação eletrostática. A forma com que essas ligações podem acontecer depende estritamente da afinidade dos materiais envolvidos, isso quer dizer que a ligação que unirá os materiais depende das suas propriedades tanto físicas como químicas (ALBINANTE et al, 2013). A Tabela 1 mostra a classificação dos compósitos.

Tabela 1: Classificação dos compósitos

Compósitos	Reforçado com partículas	Partículas grandes		
		Reforçado por dispersão		
	Reforçado com fibras	Contínuo(alinhado)	-	
		Descontínuo(curto)	Alinhado	Orientado aleatoriamente
	Estrutural	Laminados		
		Painéis em sanduíche		

Fonte: Callister, 2012

5.2 COMPÓSITOS POLIMÉRICOS

Os compósitos poliméricos podem ser subdivididos em termoplásticos ou termorrígidos. Embora os dois possam ser aquecidos, eles possuem características que os diferenciam, por exemplo, os termoplásticos quando aquecidos podem ser

moldados, ou seja, possuem um comportamento fluido. Ao contrário destes os termorrígidos não podem ser modelados, porque não possuem comportamento fluido quando são aquecidos (SILVA, 2014).

Os polímeros termorrígidos são geralmente usados para parte estrutural, tendo em vista que os mesmos não possuem comportamento fluido ao serem aquecidos. Além disso, possuem vantagens sobre os termoplásticos em relação a algumas propriedades, como por exemplo, alta rigidez, estabilidade térmica e dimensional, isolamento térmico e elétrico. Dentre as resinas termorrígidas mais usadas estão os poliésteres e epóxi. Elas são utilizadas para a fabricação de materiais compósitos, geralmente para pequenos trabalhos e reparos manuais, juntamente com a fibra sintética de vidro podem melhorar as propriedades de um material (SILVA, 2014).

Outro fator determinante para a escolha da matriz a ser usada na fabricação dos compósitos é a aplicação a que será destinada e conseqüentemente as propriedades desejadas. Para as indústrias, as matrizes poliméricas são as melhores opções, pelas seguintes vantagens: o tempo de produção é pequeno; manuseio mais simples não exigem uma mão de obra que seja qualificada para o trabalho. Elas possuem um comportamento fluido e podem ser recicladas em qualquer momento sem que o material sofra danos severos. Devido a esse comportamento, os compósitos podem ser feitos de outra forma, tendo em vista que o comportamento fluido permite que esses materiais possam ser facilmente modelados, a infusão pode ser uma outra opção para a fabricação. Embora o custo para produção por este método seja relativamente menor que a laminação manual, o custo para aquisição do maquinário necessário é um fator a ser ponderado, pois os equipamentos para os processos que permitem a modelagem do compósito por infusão são caros (ALBINANTE et al, 2013).

Os polímeros termoplásticos e termorrígidos possuem características distintas que precisam ser levadas em consideração na hora de elaborar um projeto, pois são essas características e as propriedades que determinarão a qualidade e a eficiência na execução do mesmo. A Tabela 2 mostra as propriedades de cada um desses tipos.

Tabela 2: Características dos termoplásticos e termorrígidos

Termoplásticos	Termorrígidos
Reciclável	Não reciclável
Tempo ilimitado de armazenamento	Tempo ilimitado de armazenamento
Alta viscosidade	Baixa viscosidade
Baixa resistência à fluência	Alta resistência à fluência
Temperatura de uso limitada	-
Estabilidade térmica e dimensional	Alta resistência térmica e dimensional

Fonte: SILVA, 2014.

5.3 MATRIZ POLIMÉRICA

Alguns compósitos são usados para reforço, dessa forma é preciso selecionar algumas características desejáveis desses materiais. A ductilidade é uma propriedade desejável dependendo da aplicação, pois dessa forma o compósito não será frágil. Essa ductilidade é dada pela resina ou matriz polimérica que é usada na fabricação dos compósitos, o reforço usado proporcionará um aumento na tenacidade à fratura. Nos compósitos que usam fibras como reforço, a matriz possui determinadas funções como, unir as fibras e fazer com que a carga a que o compósito for submetido ou o esforço sofrido pelo mesmo, seja distribuído por todo o material. Além disso, deve dar proteção as fibras para que essas não venham a sofrer abrasão ou reações químicas devido ao contato com o ambiente ao qual as mesmas serão expostas. (CALLISTER, 2012).

As resinas são polímeros que possuem uma alta massa molar, e sua estrutura pode ser esquematizada, por unidades repetidas. Essas unidades são chamadas de mero (ASM INTERNATIONAL, 1993). As resinas podem ser classificadas de acordo com a sua origem, podendo ser naturais, semissintéticas e sintéticas. As resinas naturais podem ser conseguidas ou produzidas a partir de fontes animais, vegetais e até minerais, e assim como as resinas naturais, as semissintéticas podem ser obtidas a partir de produtos naturais quimicamente modificados, já as sintéticas podem ser produzidas a partir de reações de condensação (Mano, Mendes, 1999).

As resinas possuem um papel importante na formação do compósito, porém apesar de toda a responsabilidade que lhe é conferida, as resinas possuem algumas desvantagens, como elevado coeficiente de dilatação térmica e de expansão, devido a presença de umidade, além de possuírem baixas propriedades elásticas, e dependendo da resina que será utilizada, a temperatura pode prejudicar as suas propriedades no caso de ultrapassar a temperatura de transição vítrea (temperatura que separa o estado plástico e frágil da resina), com a ocorrência de alterações na estrutura interna, isso fará com que haja uma redução no módulo de elasticidade (ACI 440.2R, 2002).

5.4 RESINA POLIÉSTER

A resina poliéster tem como elementos fundamentais nas suas cadeias moleculares os grupos éster, estes são resultados de uma reação de condensação de um diol com um diácido. De acordo com o ácido utilizado na sua fabricação, o poliéster pode ser termoplástico (saturado) ou termofixo (insaturado) (BLASS, 1998). Os poliésteres do tipo saturado podem ser fabricados através de uma reação de condensação entre um diol e um diácido e o resultado dessa reação será um produto termoplástico, o qual possui cadeia longa e linear em sua composição, sendo que as ligações presentes neste poliéster são ligações simples entre os átomos de carbono. Os poliésteres insaturados podem ser fabricados a partir de diácidos insaturados, um diácido saturado e um diol. A reação entre esses componentes resultará na formação de um termofixo, que possui cadeia molecular com ligações simples e duplas entre os átomos de carbono presentes em sua composição (CAVALCANTI, 2006).

Os poliésteres em forma de resina são feitos de forma a ficarem diluídos no intuito de facilitar a estocagem desses produtos, assim como, o seu manuseio. Dessa forma, a resina poderá ser facilmente usada, e na adição de um catalisador ou qualquer outro produto que auxilie a cura da resina, a mesma atingirá um estado sólido, ou como também é chamado, o estado de cura. A Figura 1 mostra uma resina poliéster na forma diluída e armazenada.

Figura 1: Resina poliéster armazenada



Fonte: Autoria própria

5.5 FIBRA

As fibras ou reforços utilizados na fabricação de material compósito são filamentos contínuos, e as mais comumente usadas são as fibras de vidro, carbono e aramida. Esses três tipos de fibras têm em comum o fato de possuírem um comportamento linear na curva de tensão-deformação específica até a ruptura e podem ter alguma variação dependendo do tipo e da forma como foram fabricadas (RIPPER, SCHERER, 1999). De acordo com o tipo da fibra, existe uma variação com relação ao peso específico de três a seis vezes menor que o peso específico do aço. As fibras de vidro, por exemplo, possuem um peso específico de aproximadamente 26 kN/m^3 , seguidas pelas fibras de aramida que possuem um peso específico de 14 kN/m^3 , já as fibras de carbono possuem um peso que pode variar numa faixa de 17 kN/m^3 a 21 kN/m^3 (CARNEIRO, TEIXEIRA, 2008). O que tornam os materiais compósitos tão atrativos em sua utilização.

5.6 FIBRA DE VIDRO

A fibra de vidro teve origem cerca de 250 a.c. tendo sua produção concentrada no Egito, Grécia e na Síria antiga. A produção nesta época era destinada para a utilização em produtos, para acabamento. O processo de obtenção da fibra, partia de uma vareta de vidro submetida a aquecimento até chegar ao ponto certo para utilização. A comercialização da fibra de vidro teve o início do seu desenvolvimento durante a segunda guerra mundial no ano de 1939, a fibra estava sendo comercializada, pois fornecia boas propriedades, como: rigidez e nocividade, que poderiam ser utilizadas em equipamentos bélicos, que eram usados naquela época (OTA, 2004). Existem processos que utilizam essas fibras de vidro para a fabricação de um outro material que é o compósito. Um compósito que utiliza a fibra de vidro como reforço, usa pequenos filamentos de vidro que podem ser agregados usando-se resina, podendo receber a adição de uma substância que será um catalisador, afim acelerar o processo de obtenção desse material (SOARES et al., 2007).

Dentre os vários tipos de vidros existentes, a sílica é o que mais se destaca com relação ao seu uso como reforço para a fabricação de compósitos. Essas fibras podem ser facilmente obtidas por um processo que consiste em aquecer o vidro ou molda-lo a partir do uso de um mandril e das forças gravitacionais. Um mandril é constituído por 200 canais que facilitam a rápida produção das fibras com diâmetros de 10 microns (MATTHEWS e RAWLINGS, 1994). Outro processo para a produção, parte da fusão de reagentes, como: sílica volatizada, caulim e soda em pó, que podem ser encontrados com óxidos ou carbonatos. A fusão ocorre sob altas temperaturas, geralmente entre 1200°C e 1400°C, logo após acontece o puxamento no qual o material fundido passa por orifícios de pequenos diâmetros, e posteriormente é cortado para uso das fibras produzidas (SANTOS, 2006). As fibras de vidro geralmente possuem uma superfície sem falhas e tem um diâmetro que pode variar de 5 a 20 microns (WAMBUA et al, 2003). As fibras de vidro podem ser agrupadas até formar uma manta, para serem usadas como reforço, como mostrado na Figura 2.

Figura 2: Fibra de vidro



Fonte: Autoria própria

Para melhorar o processamento e reduzir possíveis danos que possam ser causados as fibras durante a sua utilização, aplica-se uma emulsão, além disso é possível usar alguma substancia que atue como um tipo de cobertura no intuito de facilitar a adesão existente entre a fibra e a matriz (DE e WHITE, 1996). As emulsões que podem ser usadas nas fibras contem na sua constituição agentes de acoplamento, estes agentes são os organosilanos (MATTHEWS e RAWLINGS, 1994).

Os compósitos reforçados com o vidro são beneficiados com algumas de suas características, como por exemplo: alta resistência a falha, boa estabilidade dimensional, serem relativamente inertes, imunes a ataques biológicos, resistentes a produtos químicos e solventes, não são inflamáveis, possuem boas propriedades elétricas (DE e WHITE, 1996).

Dependendo da sua composição e para que é destinada, a fibra de vidro pode ser classificada em tipos diferentes: o tipo A é uma fibra bastante alcalina; o tipo E é um vidro borosilicato pouco alcalino, além disso é um bom isolante elétrico, possui resistência à umidade e boas propriedades mecânicas; o tipo S possui maior resistência térmica, é um tipo de fibra com boa resistência à falha, além de um alto modulo de Young, embora possua tais propriedades, o tipo de fibra S possui uma desvantagem que é o seu custo; o tipo R são as fibras com melhor resistência química

(SILVA, 2014). As fibras de vidro são um dos principais tipos de materiais usados para reforçar matrizes poliméricas, devido a algumas características, como: baixo custo, resistência química e resistência mecânica. As fibras podem ser usadas de forma contínuas ou descontínuas, as fibras contínuas possuem melhor eficiência como reforço das matrizes, e embora as fibras descontínuas não sejam tão eficientes como as contínuas, as mesmas estão sendo utilizadas por possuírem a vantagem de serem moldadas facilmente (SANTOS, 2006). A Tabela 3 mostra algumas propriedades de alguns tipos de vidro já apresentados.

Tabela 3: Propriedades de alguns tipos de fibra de vidro

Tipos de Fibra de vidro			
Propriedade	Vidro E	Vidro S	Vidro R
Densidade (g/cm ³)	2,54	2,49	2,55
Modulo de Young (GPa)	73,0	85,5	86,0
Tensão de rotura (MPa)	3400	4580	4400
Deformação de rotura (%)	4,4	5,3	5,2
Coeficiente de expansão térmica (10 ⁻⁶ /°C)	5,0	2,9	4,0

Fonte: SILVA, 2014

5.7 APLICAÇÃO DE COMPÓSITOS EM PEQUENOS BARCOS

O uso de materiais compósitos na indústria naval aumentou nos últimos anos em comparação aos materiais tradicionais. Suas principais aplicações são de reparo e reforço estrutural, devido ao seu baixo peso, resistência a tração e resistência aos esforços sofridos no meio que está inserido. Os materiais usados para essa área da indústria são geralmente direcionados para parte estrutural de navios, as aplicações são feitas para melhoramento de cascos, geralmente para embarcações de pequeno porte. Os cascos de navios são feitos com duas camadas de vidro e resina e outra camada entre essas, que pode ser de espuma ou de madeira balsa (Ventura, 2009).

Nos Estados Unidos, na década de 50, os compósitos passaram a ser usados em substituição a madeira, além disso uso desses foi disseminado por todo o

mundo. Esse tipo de material permite que os construtores tenham controle sobre o formato da embarcação, e por ser solicitado por compradores em projetos destinados ao lazer, isso faz com que o valor para revenda seja maior e diminui a desvalorização (GALANTE, 2003).

Existem alguns problemas com relação ao uso de compósitos na construção de embarcações, um deles é o fato da necessidade de moldes para cada uma de suas partes constituintes. Considerando que a fabricação desses moldes custa caro, existe uma quantidade mínima de cinco unidades a serem produzidas, para que a utilização desses moldes se torne viável. No processo de laminação manual das peças, o processo de cura da resina faz com que haja uma grande quantidade de emissões nocivas ao ambiente, e o contato da resina e a fibra de vidro representa um grande perigo para o laminador (GALANTE, 2003).

Embora não seja tão eficiente como o compensado naval ou a madeira, a fibra de vidro está sendo cada vez mais usadas em pequenos barcos, geralmente destinados a deslocamento ou pesca, dessa forma é preciso verificar qual combinação de materiais pode dar ao barco boa resistência mecânica, leveza, durabilidade e resistência a absorção de água. Tendo em vista que a pesca demanda bastante tempo do barco parado em água, e para deslocamento o barco precisa de leveza para melhorar a velocidade com que se movimenta na água. Assim o compósito fabricado com fibra de vidro torna-se uma boa opção para pescadores e jangadeiros, pois os mesmos geralmente sobrevivem da pesca, e usam pequenos barcos para essa atividade, além de utilizarem para transporte. A fibra de vidro proporciona um barco de boa qualidade, resistente e duradouro, dessa forma proporcionando uma economia ao comprador.

5.8 PROCESSO DE LAMINAÇÃO MANUAL (*HAND LAY-UP*)

A laminação manual (*hand lay-up*) consiste em fabricar os compósitos de forma artesanal, sendo assim, para que os mesmos possam ser feitos deve-se seguir passos comuns a esse método. Independente do uso ou não uso de moldes, o agente desmoldante é necessário, pois a utilização do mesmo facilita a retirada material compósito do local onde foi confeccionado. Em seguida deve-se fazer a aplicação da resina. Em geral a mais usada é a poliéster, devido ao seu baixo custo e fácil

manuseio. No presente trabalho a resina escolhida foi a mesma, vale ressaltar que as propriedades variam de acordo com a matriz escolhida, porém como o foco deste é o ensaio de absorção de água a resina escolhida foi a poliéster, por possuir resistência a absorção de água.

O catalisador ou agente que acelere a reação de cura deve ser escolhido de acordo com a necessidade que melhor se aplique a matriz que será utilizada. Continuando com o processo, a aplicação da matriz deve ser seguida das camadas de reforço, sempre intercalando. Dessa forma é possível concluir que o número de camadas de resina a ser aplicadas na confecção dos compósitos, pode variar de acordo com quantas partes de manta serão usadas. De modo geral pode-se dizer que o número de aplicações da resina é igual ao número de mantas mais um ($N = n + 1$). Após a conclusão do processo, o compósito deve esperar o tempo de cura para que seja desmoldado e posteriormente receba um acabamento, afim de evitar farpas ou imperfeições nos mesmos. A Figura 3 mostra um exemplo de um compósito feito por laminação manual.

Figura 3: Compósito fabricado pelo modo *hand lay-up*



Fonte: Autoria própria

5.9 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

A norma ASTM D570-98 especifica a utilização de água do mar e água destilada, além de acrescentar água comum para comparações. A norma determina que os corpos possuam as medidas de 76 mm de comprimento e 25,4 mm de largura

O cálculo que determina a porcentagem de água absorvida pode ser determinado relacionando a quantidade de massa inicial ou anterior a uma pesagem, com a massa atual dos corpos de prova, dessa forma.

$$A = \left(\frac{M_i - M}{M} \right) \times 100\% \quad (1)$$

A = quantidade de massa de água absorvida em porcentagem

M_i = massa do corpo de prova após a imersão

M = massa inicial

O ensaio ainda determina que a água deve ser mantida em temperatura ambiente, e para evitar que aconteça a evaporação da água e acúmulo de sal (no caso da água do mar), os recipientes usados devem ser tampados.

A norma estabelece que os corpos de prova passem pelo processo de secagem, afim de eliminar qualquer umidade contida neles. Embora os compósitos sintéticos possuam várias aplicações em embarcações de modo geral, na maioria dos trabalhos desenvolvidos com a execução do ensaio de absorção de umidade, os autores estudam tal comportamento em compósitos híbridos, que nada mais são que materiais constituídos com três ou mais fases, e sempre usam o reforço adicional de fibras naturais. O seu uso pode ser variado, levando em consideração que a adição de um componente a mais na fabricação desses materiais permite uma combinação maior de camadas e propriedades diferentes. As reproduções dessas pesquisas com fibras naturais dificultaram a comparação de resultados, mesmo não sendo o reforço mais indicado, pois a absorção de água é maior devido a presença do reforço natural, esse tipo de ensaio é mais pesquisado em compósitos híbridos.

6. METODOLOGIA

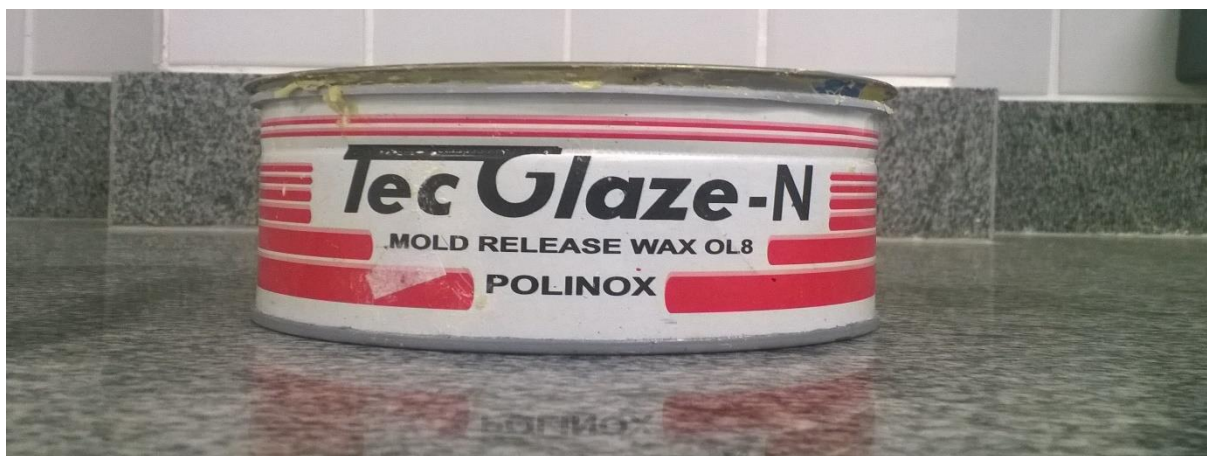
Nesta seção é apresentado e detalhado, o processo de fabricação e preparação dos compósitos para a realização do ensaio de absorção de água, mostrando todos os materiais e cuidados tomados na execução do trabalho.

6.1 MATERIAIS UTILIZADOS

- Desmoldante

Devido ao contato direto entre a bancada e a resina com a fibra, foi necessário usar um desmoldante (mostrado na figura a seguir), para facilitar a retirada dos compósitos fabricados após o período de cura. A Figura 4 mostra o desmoldante usado.

Figura 4: Desmoldante



Fonte: Autoria própria

- Resina e Reforço

A matriz polimérica usada para a fabricação dos compósitos, foi a resina poliéster. O reforço utilizado foi a fibra de vidro, sendo utilizados mantas e tecido. O tipo da fibra escolhida foi o tipo E, devido a relação entre o preço e as propriedades desejadas esse tipo é considerado o melhor para tal aplicação, a Figura 5 mostra o tecido usado.

Figura 5: Tecido de fibra de vidro



Fonte: Autoria própria

- Catalisador

O tempo normal de cura da resina pode variar bastante, devido a isso foi utilizado um agente acelerador de reação, Para este caso foi utilizado um catalisador, que pode ser visto na Figura 6.

Figura 6: Catalisador usado para diminuir o tempo de cura



Fonte: Autoria própria

- Balança de precisão

Para determinar a quantidade de resina e catalisador que seria utilizado, foi necessário determinar o peso das mantas e do tecido. Para isso foi necessário usar uma balança de precisão, mostrada da Figura 7.

Figura 7: Balança de precisão



Fonte: Autoria própria

- Luvas

Para a proteção pessoal foi necessário usar luvas, assim evitando que farpas soltas pelas fibras de vidro pudessem machucar as mãos, além de evitar o contato direto com a matriz, a Figura 8 mostra as luvas que foram usadas.

Figura 8: Luvas de proteção



Fonte: Autoria própria

- Rolo metálico

Para que a resina fosse espalhada de forma uniforme sobre as fibras, foi necessário usar um pequeno rolo metálico, mostrado na Figura 9.

Figura 9: Rolo usado para espalhar a resina



Fonte: Autoria própria

- Solvente

Após a utilização desses materiais foi preciso limpar os resíduos de resina, para isso foi usado um solvente para poder remover os resíduos contidos no rolo, a Figura 10, mostra solvente da marca IBEX, que foi usado.

Figura 10: Solvente usado para limpeza de resíduos

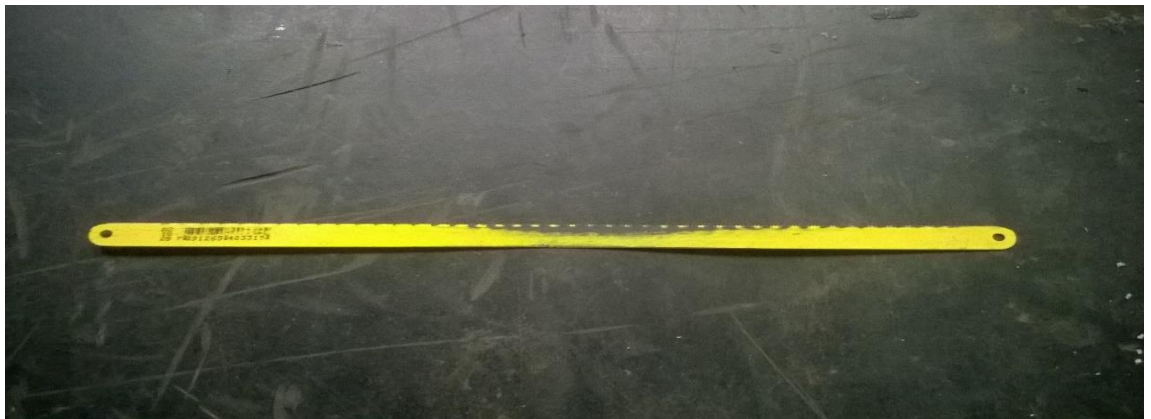


Fonte: Autoria própria

- Lâmina de serra tico tico

Para a fabricação dos corpos de prova usados no ensaio de absorção de água, foi utilizada a lâmina de serra tico tico, mostrada na Figura 11.

Figura 11: Lâmina de serra



Fonte: Autoria própria

- Lixa d'água

Para dar acabamento aos corpos de prova foi usada uma lixa d'água 100, por possuir uma granulometria mais próxima ao recomendado pela norma, a Figura 12 mostra a lixa escolhida.

Figura 12: Lixa d'água 100



Fonte: Autoria própria

6.2 MÉTODOS

6.2.1 Fabricação dos compósitos

Para dar início a fabricação dos compósitos, primeiramente foi necessário limpar o local em que os mesmos seriam preparados, para isso foi preciso passar um pano úmido afim de retirar qualquer resíduo de poeira existente na bancada. Após isso com um pano seco retirou-se qualquer excesso de umidade existente e esperou até que secasse completamente, e posterior a esse intervalo de tempo foi passado papel toalha, retirando qualquer resquício de poeira ou algo que pudesse comprometer os materiais. Para que a fabricação dos compósitos fosse possível, foi utilizada a bancada do laboratório de termo fluidos da UFERSA Caraúbas, pois a

mesma possui uma superfície plana, dessa forma evitando ondulações na base do material. A Figura 13 mostra a bancada utilizada.

Figura 13: Bancada usada na fabricação dos compósitos



Fonte: Autoria própria

Após a limpeza da bancada foi utilizado o desmoldante, o mesmo foi necessário pois como não foi usado nenhum tipo de base ou suporte entre a bancada e a resina, este foi fundamental para facilitar a retirada do compósito no processo de desmoldagem, além de evitar que a resina prendesse o material a superfície usada para a fabricação do mesmo. Essa parte do processo consistiu em espalhar o desmoldante por toda a superfície da bancada de forma homogênea, sempre atentando para que em nenhuma parte houvesse uma concentração maior que outra, de forma a evitar que o local com maior concentração prendesse o material. Foram passadas um total de cinco camadas com um intervalo de cinco minutos entre cada uma, para garantir a eficiência do agente, o movimento foi feito de forma que o mesmo fosse espalhado em um único sentido.

Durante os intervalos entre cada camada, cada manta e tecido, ambos de fibra de vidro, foram pesados. Para a obtenção das partes necessárias desses dois materiais foram utilizadas uma tesoura normal e uma trena, para determinar o tamanho em que o reforço seria cortado. O corte foi efetuado com o uso das luvas de

proteção, assim evitando que o contato das mãos com possíveis farpas de fibra de vidro acontecesse. Afim de facilitar a retirada dos corpos de prova exigidos pela norma, as camadas de manta e de tecido foram cortadas de forma quadrada, além de facilitar a obtenção dos corpos de prova esse formato proporciona uma facilidade maior de trabalho. A tesoura e a trena podem ser vistas nas Figuras 14 e 15.

Figura 14: Tesoura usada para o corte das mantas e tecido



Fonte: Autoria própria

Figura 15: Trena para fazer medidas



Fonte: Autoria própria

Para que fosse possível determinar o quanto de resina e catalisador seria necessário usar na fabricação dos compósitos, cada camada de manta e tecido a ser utilizada no processo, foi pesada na balança de precisão, como os cortes de cada um desses materiais eram grandes foi preciso usar um recipiente afim de facilitar a pesagem sem comprometer a precisão com que a balança indicaria a massa dos materiais, para isso foi usado um copo descartável plástico e transparente. Essa etapa consistiu em pesar o copo, anotar a sua massa e tarar a balança em seguida, posteriormente em ordem foram pesadas as mantas e o tecido que seria usado em cada processo.

Após a etapa de corte e pesagem do reforço para cada tipo de compósito, foi determinado a quantidade de resina e catalisador necessário para os processos. A quantidade de resina foi determinada de acordo com as massas obtidas, assim para cada tipo a ser fabricado a resina usada foi igual a duas vezes a soma total da massa do reforço, e o catalisador foi determinado seguindo a recomendação do fabricante, a quantidade escolhida foi de 1% da massa total da matriz polimérica, para cada processo, nessa etapa também foi utilizado um copo para auxiliar na pesagem, o copo pode ser visto na Figura 16.

Figura 16: Copo usado na pesagem do reforço e da matriz polimérica



Fonte: Autoria própria

Os compósitos foram feitos da seguinte forma: uma placa com resina e duas camadas de mantas de fibra de vidro; uma placa usando resina, duas camadas de manta e uma camada de tecido; uma placa usando resina e três camadas de manta. Além de uma placa usando apenas a resina (polímero). Desta forma foi possível verificar como os diferentes materiais, assim como, suas combinações se comportam quando submetidos ao teste de absorção de água, além de diferentes tipos água.

6.2.2 Preparação dos corpos de prova

Os corpos de prova foram determinados pela ASTM D590 - 98, o formato consiste em uma barra com 76 mm de comprimento e 25,4 mm de largura. Após a preparação dos compósitos, os mesmos passaram pelo tempo de cura e foram desmoldados, para a confecção dos corpos necessários para o ensaio, foi utilizada a lâmina de serra, para fazer os cortes, inicialmente foi feito alguns riscos com a lâmina, com a ajuda de uma morsa de mão, e com o auxílio da trena foi possível determinar nas placas o formato e as distancias para o corte ser efetuado, de cada placa foram confeccionados três corpos de prova.

Posterior a confecção dos corpos de prova foi preciso dar acabamento, para esse processo foi usada a lixa d'água 100, dessa forma garantindo um processo mais rápido e eficiente, tendo em vista que somente o uso manual da lixa dificultaria o processo de acabamento, foi usado um suporte para ajudar no processo de lixamento, a morsa de mão e o suporte que foram utilizados podem ser vistos nas Figura 17 e 18.

Figura 17: Morsa



Fonte: Autoria própria

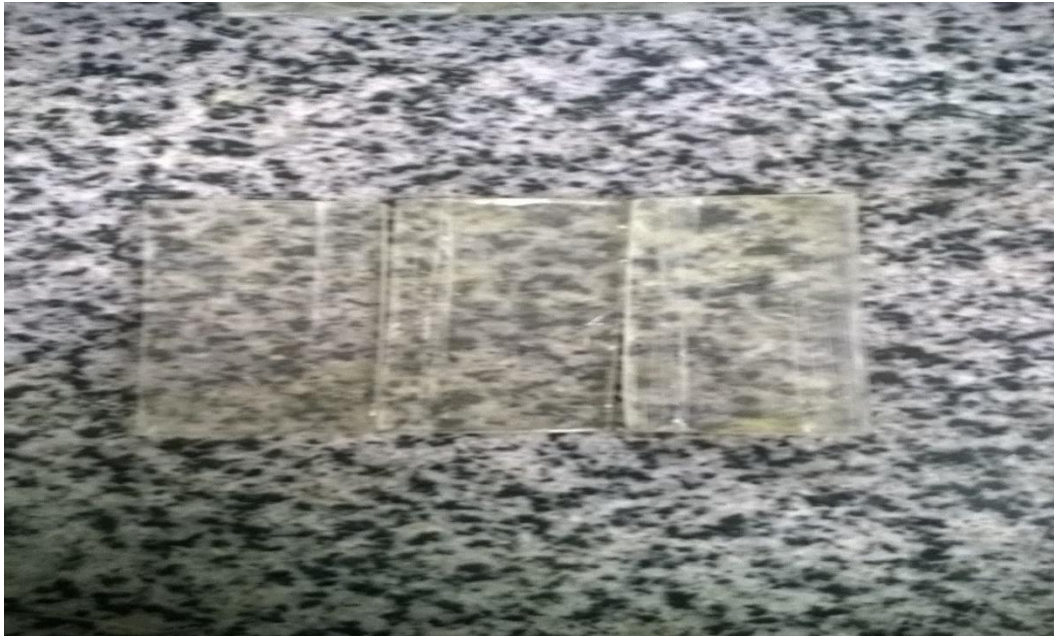
Figura 18: Suporte para lixa d'água



Fonte: Autoria própria

Após o lixamento os compósitos foram obtidos. A Figura 19 mostra os corpos de prova de resina.

Figura 19: Polímeros fabricados apenas com resina



Fonte: Autoria própria

Da mesma forma os compósitos com duas mantas de reforço, foram obtidos. A Figura 20 mostra os materiais com duas mantas de fibra de vidro.

Figura 20: Compósitos com duas mantas de fibra de vidro



Fonte: Autoria própria

Executando o mesmo processo os corpos de prova com configuração de duas camadas de manta de fibra de vidro com uma intermediária de tecido bidirecional, e os constituídos de três camadas de manta também foram obtidos. As figuras 21 e 22 mostram esses corpos de prova.

Figura 21: Compósitos com duas camadas de manta e uma de tecido



Fonte: Autoria própria

Figura 22: Compósitos com três camadas de manta



Fonte: Autoria própria

6.2.3 Ensaio de absorção de água

O ensaio de absorção de água foi feito com base nas recomendações da norma ASTM D590 – 98, e para tanto foram utilizados três tipos de água diferentes, são eles: água comum, água destilada e água do mar. Cada tipo de água foi colocado em um recipiente diferente, para garantir um controle melhor sobre o ensaio, foi destinado para esse fim, um recipiente transparente e com tampa para garantir que houvesse a menor perda de água possível.

Antes de serem submersos em água, os corpos de prova foram submetidos ao processo de secagem, foram colocados em uma estufa e ficaram um período de 24 h sob uma temperatura de 50°C, para que toda a umidade contida neles pudesse ser retida, dessa forma evitado possíveis erros relacionados a umidade em cada tipo de material. A Figura 23 mostra a estufa utilizada no processo de secagem dos corpos de prova.

Figura 23: Estufa usada na secagem dos corpos de prova



Fonte: Autoria própria

Após o processo de secagem os corpos de prova foram separados e dispostos de forma que ficassem num total de quatro corpos de prova (sendo um de cada tipo, anteriormente mencionados), para cada recipiente com um tipo de água diferente. Posteriormente os potes foram tampados e guardados em local seguro, para que se desse início ao ensaio. A figura 24 mostra o recipiente usado no ensaio de absorção de água.

Figura 24: Recipiente plástico usado no ensaio de absorção de água



Fonte: Autoria própria

O ensaio de 24 h (ensaio de curta duração) foi feito, logo em seguida a primeira pesagem do ensaio de longa duração foi realizada, e teve os dados coletados e expostos em uma tabela para facilitar sua organização e interpretação. A segunda pesagem foi feita 168 h após o início do ensaio, o processo foi repetido. Afim de evitar impurezas e fatores externos, que pudessem afetar os corpos de prova de alguma forma, luvas de proteção foram novamente usadas. É importante destacar que para cada pesagem foram usadas novas tabelas para que o acompanhamento da absorção de água pudesse ser feito.

A terceira pesagem ocorreu 336 h após a segunda pesagem. Durante o processo de cada coleta de dados os corpos de prova eram enxutos com papel toalha, afim de reduzir o excedente de água que pudesse atrapalhar na pesagem, e antes de serem colocados de volta no recipiente, cada corpo de prova pesado foi colocado sobre papel toalha, dessa forma até o ultimo ser pesado, assim todos os corpos puderam voltaram ao recipiente ao mesmo tempo, isso foi feito para evitar que um passasse mais tempo na água que outro. A última pesagem foi feita no mesmo

intervalo de tempo que a terceira levou para ser feita, todos os procedimentos foram repetidos de mesma forma.

7. RESULTADOS

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos nos ensaios realizados, afim de verificar possíveis padrões comportamentais dos materiais utilizados.

7.1 PESAGENS

Após todos os procedimentos serem realizados deu-se início as pesagens para obtenção das massas de cada tipo de compósito. A Tabela 4 mostra a descrição de cada tipo de compósito e polímero especificando o material usado como reforço, ou apenas o seu único constituinte, que é o caso do material fabricado apenas com a resina. A Tabela 4 mostra os resultados da pesagem dos corpos de prova logo após o processo de secagem.

Tabela 4: Dados da pesagem após o processo de secagem

Tipo de compósito	Resina	2 mantas	2 mantas + 1 tecido	3 mantas
N. de corpos de prova	3	3	3	3
Massa da primeira amostra (g)	6,4843	3,7948	3,9095	5,0371
Massa da segunda amostra (g)	6,5554	3,2529	3,6106	5,7675
Massa da terceira amostra (g)	6,2943	3,5346	3,7733	5,4750

Fonte: Autoria própria

Embora o rolo metálico descrito na metodologia tenha sido usado para evitar que a concentração da matriz fosse maior em algumas partes dos compósitos fabricados, o fato ainda ocorreu, isso mostra que o método de laminação manual (*hand lay-up*) não proporciona uma alta precisão, o que pode comprometer projetos que necessitem da mesma.

A primeira pesagem do ensaio de longa duração foi feita após 24 h de imersão dos corpos de prova nos diferentes tipos de água usados no ensaio. Os dados coletados a partir dessa etapa foram expostos em um novo tipo de tabela para facilitar

o entendimento do processo que estava acontecendo. Como esperado, foi possível notar que a fibra sintética de vidro possui uma boa resistência a absorção de água. Os resultados da primeira pesagem do ensaio de longa duração pesagem podem ser vistos na Tabela 5.

Tabela 5: Dados obtidos na primeira pesagem do ensaio de longa duração

Tipo de compósito	Resina	2 mantas	2 mantas + 1 tecido	3 mantas
Massa na água comum (g)	6,5022	3,8184	3,9397	5,0597
Absorção de água (%)	0,27	0,62	0,77	0,45
Massa na água destilada (g)	6,5703	3,2709	3,6357	5,7899
Absorção de água (%)	0,22	0,55	0,69	0,39
Massa na água do mar (g)	6,3028	3,5640	3,7897	5,4947
Absorção de água (%)	0,13	0,44	0,43	0,36

Fonte: Autoria própria

A segunda pesagem aconteceu 168 h após a segunda. Todos os procedimentos foram seguidos, os dados coletados e expostos em tabela. A Tabela 6 expõem os resultados da segunda pesagem.

Tabela 6: Dados obtidos na segunda pesagem do ensaio de longa duração

Tipo de compósito	Resina	2 mantas	2 mantas + 1 tecido	3 mantas
Massa na água comum (g)	6,5360	3,8524	3,9766	5,0885
Absorção de água (%)	0,79	1,51	1,71	1,02
Massa na água destilada (g)	6,6023	3,2945	3,6658	5,8211
Absorção de água (%)	0,71	1,28	1,52	0,93
Massa na água do mar (g)	6,3245	3,5824	3,8150	5,5194
Absorção de água (%)	0,48	1,35	1,10	0,81

Fonte: Autoria própria

Diferente da segunda pesagem, a terceira pesagem aconteceu 336 h após a anterior. Da mesma forma que as pesagens que aconteceram após a imersão, está também teve os resultados apresentados em tabela. A Tabela 7 mostra os resultados da terceira coleta.

Tabela 7: Resultados da terceira pesagem do ensaio de longa duração

Tipo de compósito	Resina	2 mantas	2 mantas + 1 tecido	3 mantas
Massa na água comum (g)	6,5680	3,8843	4,0119	5,1154
Absorção de água (%)	1,29	2,35	2,62	1,55
Massa na água destilada (g)	6,6320	3,3165	3,6940	5,8496
Absorção de água (%)	1,17	1,95	2,31	1,42
Massa na água do mar (g)	6,3441	3,5992	3,8343	5,5431
Absorção de água (%)	0,79	1,82	1,61	1,24

Fonte: Autoria própria

A última coleta de dados aconteceu 336 h após a anterior, e da mesma forma que as outras, os resultados foram expostos em uma tabela. A Tabela 8 mostra os resultados da última pesagem.

Tabela 8: Resultados da última pesagem do ensaio de longa duração

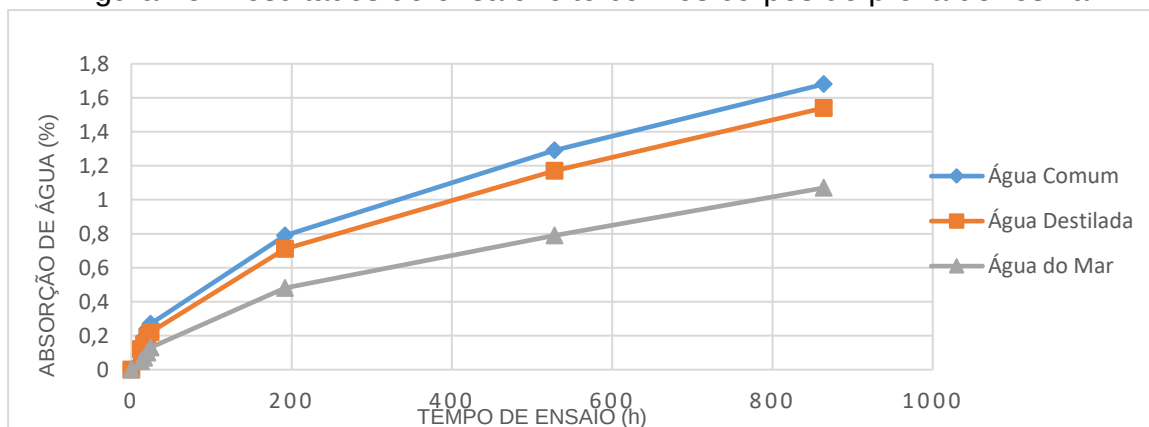
Tipo de compósito	Resina	2 mantas	2 mantas + 1 tecido	3 mantas
Massa na água comum (g)	6.5936	3,9138	4,0443	5,1399
Absorção de água (%)	1,68	3,13	3,45	2,04
Massa na água destilada (g)	6.6565	3,3360	3,7116	5,8747
Absorção de água (%)	1,54	2,55	2,80	1,85
Massa na água do mar (g)	6,3618	3,6146	3,8451	5,5641
Absorção de água (%)	1,07	2,26	1,90	1,62

Fonte: Autoria própria

A etapa de pesagem foi concluída com sucesso, e dessa forma foi possível plotar em gráficos os resultados obtidos com o ensaio de absorção de umidade. O gráfico permitiu analisar o comportamento de cada tipo de compósito e determinar qual possui melhor resistência a absorção de água. Além disso foi possível estabelecer uma comparação com os trabalhos citados. As Figuras a seguir mostram os resultados individuais de cada configuração de compósito utilizadas no ensaio de absorção de água.

A Figura 25 mostra o comportamento dos corpos de prova de resina quando submetidos aos tipos de água usadas, dessa forma é possível observar o seu desempenho.

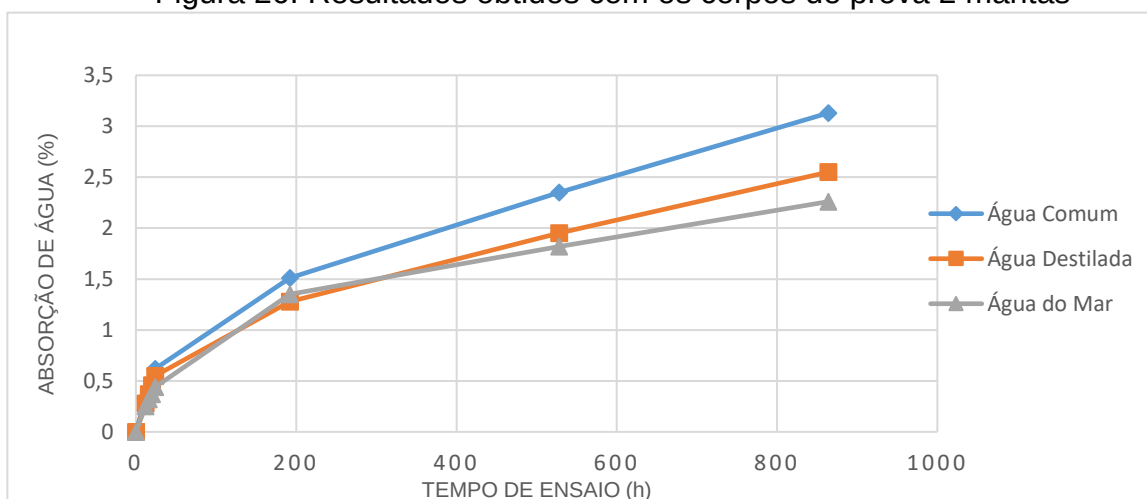
Figura 25: Resultados do ensaio feito com os corpos de prova de resina



Fonte: Autoria própria

A próxima figura traz os resultados obtidos com o material feito com duas mantas de fibra e vidro e a matriz polimérica. A Figura 26 apresenta os dados do ensaio feito com o compósito desse tipo de composição.

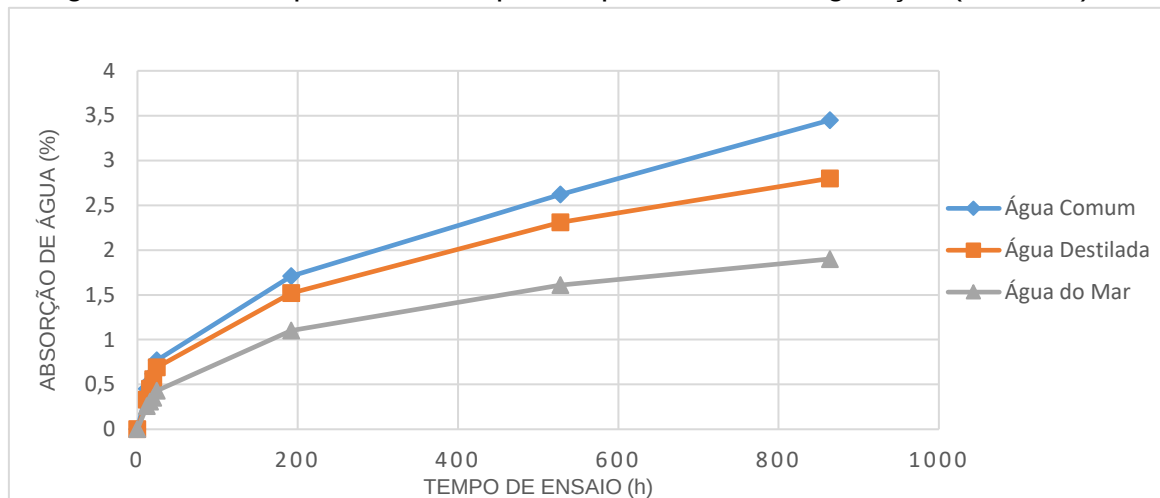
Figura 26: Resultados obtidos com os corpos de prova 2 mantas



Fonte: Autoria própria

A figura 27 expõe os resultados do material feito com a configuração de duas camadas de manta mais uma camada de tecido de fibra de vidro (2M + 1T).

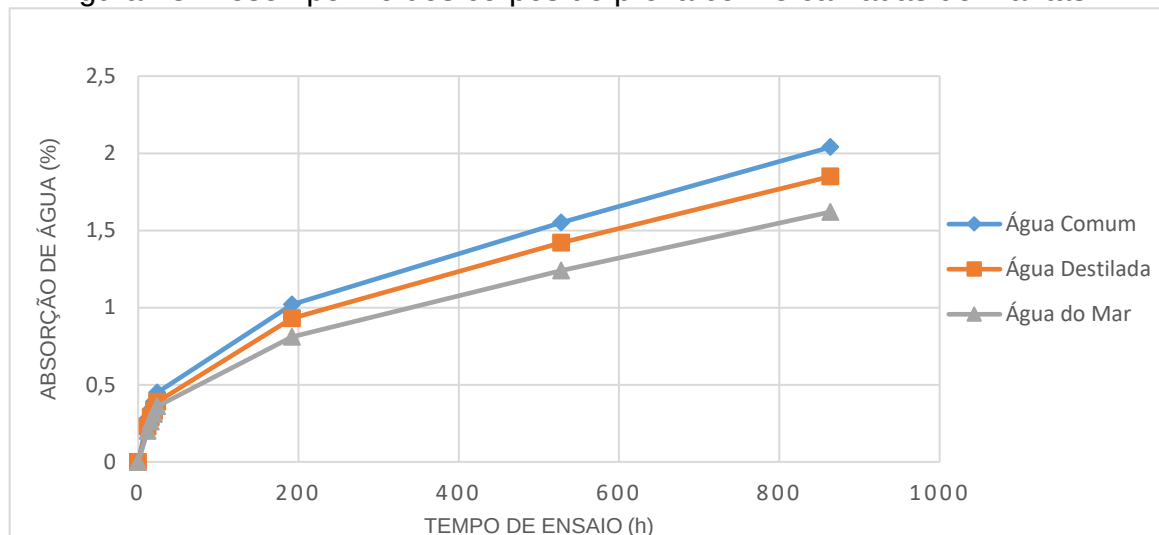
Figura 27: Desempenho dos corpos de prova com configuração (2M + 1T)



Fonte: Autoria própria

A Figura 28 mostra os resultados obtidos através do ensaio realizado com o último tipo de corpo de prova, o qual é possui 3 camadas de manta de fibra de vidro como reforço para a matriz polimérica.

Figura 28: Desempenho dos corpos de prova com 3 camadas de mantas

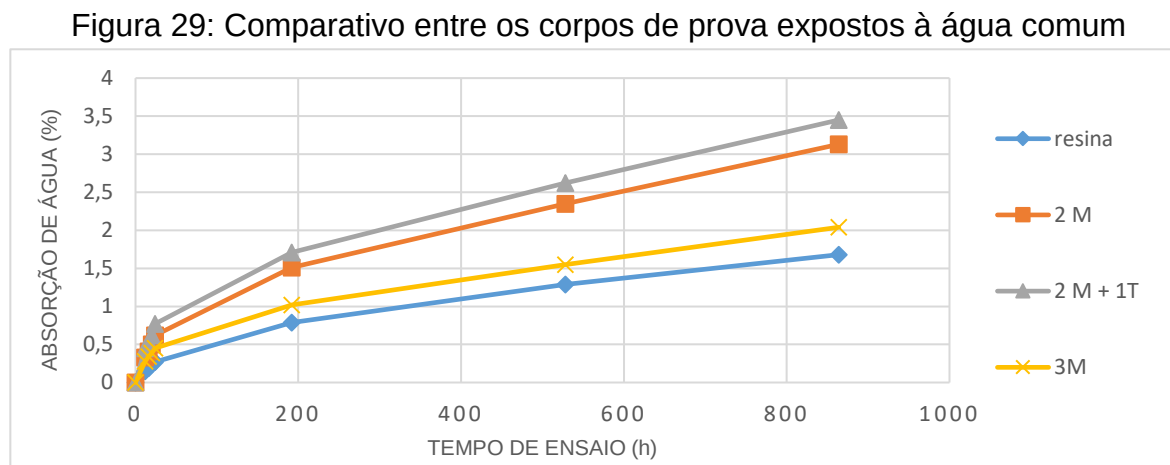


Fonte: Autoria própria

7.2 Comparação de resultados

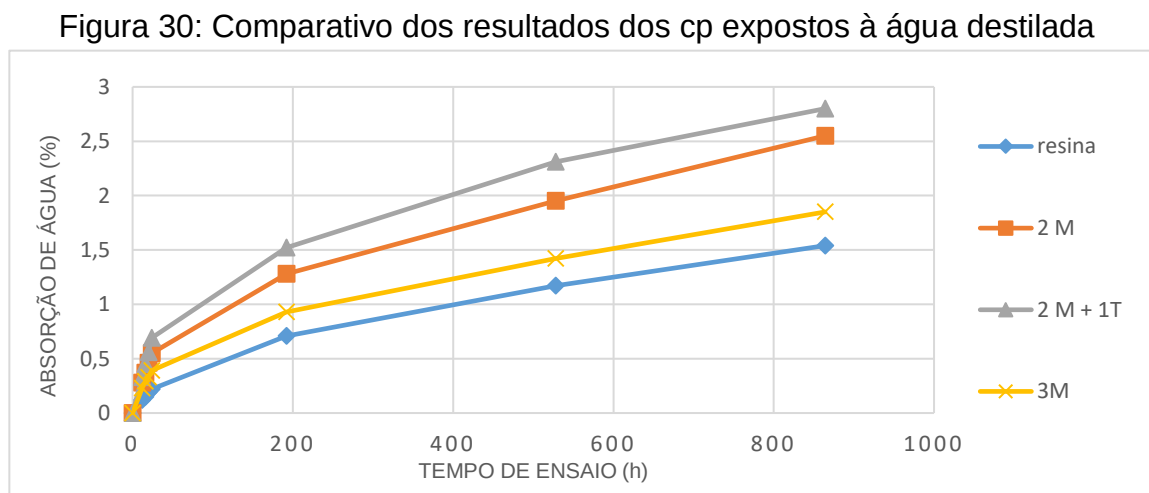
Os resultados do ensaio realizado, foram coletados e plotados em gráficos para observação e interpretação dos dados. O comportamento descrito nos gráficos mostra como os diversos compósitos se portaram diante da exposição dos variados tipos de água.

Com os resultados de cada tipo de corpo de prova foi possível fazer comparação entre eles. A Figura 29 expõe o comparativo entre os materiais usados no ensaio de absorção usando água comum.



Fonte: Autoria própria

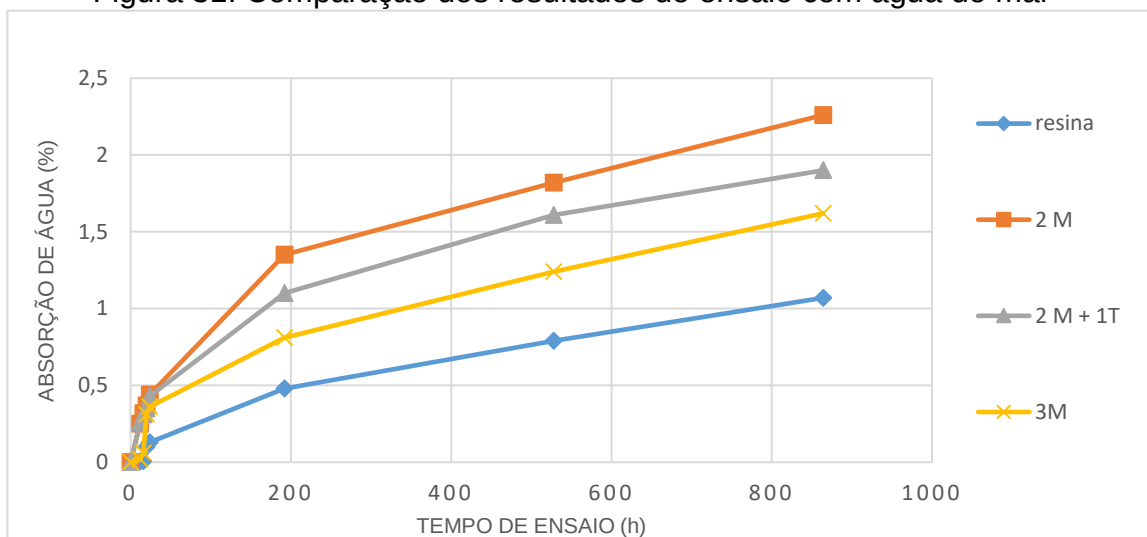
A Figura 30 mostra a comparação dos resultados dos corpos de prova (cp), usados no ensaio com água destilada.



Fonte: Autoria própria

O terceiro tipo de água utilizada no ensaio proporcionou outra observação dos resultados obtidos. A Figura 31 traz a comparação do desempenho dos corpos de prova submetidos ao teste com a água do mar.

Figura 31: Comparação dos resultados do ensaio com água do mar



Fonte: Autoria própria

Com os resultados de cada tipo de compósito foi possível observar que independente da água a qual foram submetidos, a configuração que teve o melhor desempenho, ou seja, teve menor porcentagem de absorção de água em todos os ensaios, foi o material feito apenas com a resina poliéster. O corpo de prova que ficou em segundo lugar no ensaio foi o composto por 3 camadas de manta de fibra de vidro como reforço, apesar de ter mais material na sua fabricação, esse resultado provou que esse tipo de reforço possui uma boa relação entre a quantidade de camadas usadas e a absorção de umidade. Em terceiro lugar ficou os cp confeccionados com duas mantas de reforço. No último lugar ficou o compósito que usou duas camadas de manta mais uma camada de tecido de fibra de vidro, esse resultado mostra que apesar de possuir uma camada de reforço a mais, a resistência a absorção de água da manta é superior à do tecido, isso implica dizer que o compósito feito com reforço de três mantas é mais usual para ambientes e objetos expostos a água ou ambientes submersos.

7.3 UTILIZAÇÃO EM PEQUENOS BARCOS

Cada tipo de compósito descrito neste trabalho, possui características únicas. Os materiais sintéticos possuem alta resistências mecânica devido a presença da fibra de vidro usada como reforço, e embora tenham feito parte do ensaio reproduzido, os materiais fabricados apenas com resina não são usados para reforçar embarcações, pois os mesmos possuem alta rigidez, porém são bastante frágeis e isso pode comprometer qualquer projeto que necessite de resistência e ductilidade. Os compósitos com duas mantas possuem uma boa resistência, porém dentre os tipos usados no ensaio, esse se destaca com relação a absorção de água. Os compósitos fabricados com duas camadas de mantas e uma de tecido teve uma porcentagem de absorção de água um pouco maior, e mesmo que o tecido aumente a resistência do material, o fato da absorção de água ter aumentado pode comprometer a escolha desse tipo de material para a utilização em pequenos barcos. Os materiais com três camadas de manta tiveram um percentual menor que os materiais com manta e tecido, isso mostra que embora a manta possua uma espessura maior que o tecido, o uso de mais camadas desse reforço diminuiu a absorção de água, portanto é possível afirmar que o uso de mantas de fibras de vidro é a melhor opção para reforço em materiais compósitos que visem diminuir a absorção de água pelo contato, além de proporcionar uma melhor resistência mecânica que alguns materiais. A fibra possui um baixo peso específico, isso faz com que seja uma boa opção para ser usado em barcos pequenos.

Os projetos que usam esse tipo de material contam com a leveza do vidro, alta resistência mecânica e boa resistência a sorção de umidade. Embora a maior parte do uso seja destinado a navios de pequeno porte, a utilização do mesmo é uma boa opção alternativa para materiais tradicionais utilizados em pequenos barcos ou jangadas, além de agregar valor econômico. Dessa forma é possível afirmar que pescadores que passam um tempo curto no mar, ou pessoas que utilizam desses pequenos barcos para locomoção, podem usar de compósitos para auxiliar na construção dos mesmos, dessa forma obterá um material que tem uma durabilidade maior e menor peso, se comparado à alguns materiais, além de valorizar o seu barco ou jangada, assim tornando possível o comercio destes.

8. CONCLUSÃO

O custo do uso de materiais tradicionais é um problema constante na fabricação e reparo de diversos objetos. Um ponto importante é que a maioria dos materiais tradicionais possuem um peso considerável e isso pode comprometer os projetos de construção de determinado objeto. Por isso a opção de usar materiais compósitos está cada vez mais constante. Os compósitos possuem diversas vantagens com relação aos outros materiais, como por exemplo: fácil manuseio, rápida fabricação, e baixo custo.

Os compósitos que mais se destacam nas construções e reparos, são os sintéticos reforçados com fibra de vidro. Esse tipo de fibra possui boa resistência a esforços sofridos, possui propriedades como imunidade a ataques biológicos, resistência a abrasão, resistência a absorção de água. Outro ponto importante a se destacar é que a utilização desse tipo de material em embarcações de modo geral é viável, embora os moldes necessários sejam caros, o uso desses materiais faz com que os navios, pequenos barcos e jangadas, sejam mais valorizados, além do baixo peso do compósito contribuir para a fazer com que as embarcações sejam mais leves, embora não sejam tão leves quanto a madeira e o compensado naval.

A fabricação dos compósitos destinados ao ensaio de absorção de água, foi feita com sucesso. Os corpos de prova foram submetidos aos tipos de água determinados pela norma que rege esse tipo de teste. Os resultados obtidos foram satisfatórios para o que foi proposto, e foi possível verificar que a fibra de vidro detém uma alta resistência a absorção de umidade, quando avaliado o aumento percentual de massa e o tempo de ensaio, e combinada com sua resistência mecânica, isso faz com que o compósito reforçado com a mesma se torne uma boa opção de material alternativo para uso na parte estrutural de pequenos barcos, com qualidade e um custo relativamente compensatório de aquisição de material.

9. REFERÊNCIAS

ASTM D570 – 98, Standard Test Method for Water Absorption of Plastics, 1998.

ACI Committee 440. **Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures**. ACI, 2002;

ALBINANTE, S. R., PACHECO, É. B. A. V., VISCONTE, L. L. Y. Revisão dos tratamentos químicos da fibra natural para mistura com poliolefinas. **Química Nova**, vol. 36, n. 1, p. 114-122, 2013

ASM INTERNATIONAL. **Engineered Materials Handbook: Composites**. 4 ed. United States of America: ASM, 1993. v.1, 983p.

BITTENCOURT, A.P.P.; DUTRA, G.B.; TANCREDI, T.P. **Revista Matéria**, v.21, n.4, pp. 1021 – 1031, 2016.

BLASS, A., **Processamento de Polímeros**, 2ª ed., Editora da UFSC, 1988.

CALLISTER JR., W. D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. Tradução de Sergio Murilo Stamile Soares. 8 ed. Rio de Janeiro; LTC – Livros Técnicos e Científicos. Editora AS, 2012

CARNEIRO, Luiz Antônio Vieira; TEIXEIRA, Ana Maria Abreu Jorge. Propriedades e características dos materiais compósitos poliméricos aplicados na engenharia de construção. **Revista Militar de Ciência e Tecnologia**, Rio de Janeiro, v.25, n.3, p.54 – 66, set/dez 2008. http://rmct.ime.eb.br/arquivos/revistas/RMCT_3_quad_2008.pdf

CAVALCANTI, Wilma Sales. **Compósitos poliéster/tecidos tramados vegetal-vidro: caracterização mecânica e simulação da sorção de água**. 2006. 122 f. Tese

(Doutorado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006.

DE, D. K., WHITE, J. R. Short fibre-polymer composites. **Woodhead, publishing limited**, England. 1996, pg. 2,3,64,65.

GAY, Daniel. HOA, Suong V. TSAI, Stephen W. **Composite material: disgn and applications**. 1. Ed. Boca Raton: CRC Press, 2002. 552 p.

GALANTE, Henrique Augusto. **Seleção de materiais no design e indústria náuticos**. 2003. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – REDEMAT, Ouro Preto, 2003.

KAW, Autar K. **Mechanics of composites materials**. 2. Ed. Boca Raton: Taylor & Francis, 2006. 457 p.

MANO, E. B.; MENDES, L. C. **Introdução a Polímeros**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1999. 191 p.

MATTHEWS, F. L.; RAWLINGS, R. D. **Composite e materials: engeneering and Science**. Londres: Chapman & Hall, 1994. 470 p.

MILANESE, Andressa Cecília. **Caracterização de compósitos de matrizes poliméricas reforçadas com fibra de sisal e de vidro**. 2008. 130f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2008.

NETO, Jose Antônio Martins. **Obtenção, caracterização e utilização de um compósito com matriz de resina poliéster e carga de fibras de sisal**. 2016. 100 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

NETO, J. R. A., CARVALHO, L. H., ARAÚJO, E. M. Influência da Adição de uma Carga Nanoparticulada no Desempenho de Compósitos Poliuretano/Fibra de Juta. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 17, nº 1, p. 10-15, 2007.

NOGUEIRA, Clara Leal. **Obtenção e caracterização de compósitos termoplásticos avançados à base de matrizes de poli(propileno) reforçadas com fibra de carbono**. 2004. 227f. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2004.

OTA, Waldyr Naoki. **Análise de compósito de polipropileno e fibras de vidro utilizados pela indústria automotiva nacional**. 2004. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia dos Materiais) – Programa Interdisciplinar de Pós-Graduação, Curitiba, 2004.

RIPPER, T., SCHERER, J. **Avaliação do desempenho de plásticos armados com folhas unidirecionais de fibras de carbono como elemento de reforço de vigas de betão armado**. In: Anais do 41o Congresso Brasileiro do Concreto, Salvador, Bahia, Brasil, Ago. 1999.

SANTOS, A. M. **Estudo de compósitos híbridos polipropileno / fibras de vidro e coco para aplicações em engenharia. Dissertação**. Dissertação (*Mestrado em Engenharia Mecânica*) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, 2006.

SILVA, Henrique Pereira da. **Comportamento mecânico de compósitos de fibra de vidro/epóxi nano-reforçados**. 2014. 240 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade de Coimbra, Coimbra, 2014.

SILVA, Isabela Leão da. **Propriedades e estrutura de compósitos poliméricos reforçados com fibras contínuas de juta**. 2014. 95 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciências de Materiais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2014.

SILVA, Rosana Vilarim da. **Compósito de resina poliuretano derivada do óleo de mamona e fibras vegetais**. 2003. 139 f. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

SOARES, R. R. et al. **Influência do tipo de fibra nas propriedades de compósitos processados por moldagem por transferência de resina**. Departamento de Engenharia Química da Universidade de Caxias do Sul, RS, Anais do 9º Congresso Brasileiro de Polímeros, 2007. Disponível em: <<http://www.ipen.br/biblioteca/cd/cbpol/2007/PDF/581.pdf>> Acesso em: 12 de novembro de 2012.

VENTURA, Ana Mafalda F.M.. Os compósitos e sua aplicação na reabilitação de estruturas metálicas. **Ciência e tecnologia dos materiais**, Lisboa, V.21, n.º 3/4, p.10-14. 2009.

VOGEL, Gilmar Fernando. **Projeto e desenvolvimento de máquina para o corte de fios de fibra de vidro (Roving), utilizada para a laminação de peças em plástico reforçado com fibras de vidro (Fiberglass)**. 2002. 179f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.

WAMBUA P, IVENS J, VERPOEST I. Natural fibres: Can they replace glass in fiber reinforced plastics?. **Composites Science and Technology**, 63(9), p. 1259-1264. 2003.