

## **Estudo da resistência hidrodinâmica em reparos navais a base de resinas Epoxi e Poliéster**

### **Study of hydrodynamic resistance in ship repairs based on Epoxy and Polyester resins**

DOI:10.34117/bjdv9n1-091

Recebimento dos originais: 05/12/2022

Aceitação para publicação: 06/01/2023

#### **Alex da Silva Sirqueira**

Doutorado em Ciência e Tecnologia de Polímeros  
Instituição: Universidade do Estado do Rio de Janeiro  
Endereço: Avenida Manuel Caldeira de Alvarenga, 1203,  
Campo Grande - Rio de Janeiro  
E-mail: assirqueira@gmail.com

#### **Patricia Reis Pinto**

Doutorado em Ciência e Tecnologia de Polímeros  
Instituição: Universidade do Estado do Rio de Janeiro  
Endereço: Avenida Manuel Caldeira de Alvarenga, 1203  
E-mail: patriciareis@uezo.edu.br

#### **Enio da Cunha Dias**

Mestrando em Ciência e Tecnologia de Materiais  
Instituição: Arsenal de Marinha do Brasil  
Endereço: Rua da Ponte, Centro, Rio de Janeiro  
E-mail: enio.dias.dhm@gmail.com

#### **RESUMO**

Compósitos a base de resinas epoxídicas e poliésteres são amplamente utilizados na manutenção de navios e embarcações. Estudos da resistência hidrodinâmicas de compósitos de fibras de vidro e carbono tendo como matriz resinas poliméricas a base de epoxi e poliéster não foram encontrados na literatura. Neste trabalho foi avaliado o a resistência hidrodinâmica de reparos compósitos de resinas epoxi e poliéster reforçados com fibras aderidas à chapa de aço naval (ASTM A-131). O conceito da pesquisa foi retirado de situações que envolviam a manutenção de reparos rápidos em embarcações com casco metálico. Todos os compósitos testados foram aprovados nas condições avaliadas.

**Palavras-chave:** resinas poliméricas, teste hidrodinâmicos, reparos navais.

#### **ABSTRACT**

Composites of epoxy and polyester resins are widely used in ship and boat maintenance. Hydrodynamic strength studies were not found for composites of glass and carbon fibers based on polymeric resins. In this work, composites based on epoxy and polyester resins reinforced with glass and carbon fibers adhered to ASTM A-131 steel sheet were evaluated. The research concept was taken from situations involving the maintenance of

quick repairs on vessels with a metallic hull. All composites tested were approved under the evaluated conditions.

**Keywords:** polymeric resins, hydrodynamic tests, ship repairs.

## 1 INTRODUÇÃO

As resinas poliméricas sintéticas constituem grandes cadeias de moléculas, também conhecidas como polímeros, são produtos normalmente derivados do petróleo. Atualmente, o desenvolvimento de novos polímeros é de grande aplicação na indústria naval. No começo as resinas sintéticas tinham suas aplicações bem limitadas, porém o desenvolvimento dos polímeros vem se destacando como alternativa a diversos materiais e aplicações no ramo da engenharia (MANO, 1999).

Atualmente, os materiais compósitos são os mais utilizados, devido ao grande número de possibilidades de combinações possíveis entre a matriz e a carga.

A função da matriz em um compósito polimérico é envelopar as fibras mantendo o arranjo das lacunas da interface fibra/matriz dispostas de acordo com a característica que se pretende obter do material, também é sua função, caso seja necessário, dissipar as cargas externas entre as fibras, protegendo-as de impactos. A matriz polimérica garante tenacidade e modela o produto acabado, sendo, um material com menor resistência a tensão em relação a fibra. Estas, por sua vez, por serem mais resistentes, absorvem as maiores cargas tensionadas do material compósito, quando em condições de carregamento (SMITHERS, 2009). As resinas de Poliéster Insaturado e Epoxi são as mais utilizadas na indústria naval.

A Resina de Poliéster Insaturado é a mais utilizada na indústria naval, isso se deve as excepcionais propriedades contra a corrosão em ambiente agressivo (água marinha, álcali e ácida). A Resina Poliéster tem um baixo custo, possui temperaturas de cura menores e possuem baixa viscosidade. O que a torna uma resina bastante versátil para manufatura em alta escala de plásticos reforçados, principalmente quando utilizados em processos automatizados como o de pultrusão (sistema de repuxo de resinas com tecidos de fibra de vidro dentro de moldes formando principalmente perfis), o de enrolamento filamentar, o de centrifugação, o de RTM – Moldagem por Transferência de Resina, entre outros (OLIVEIRA, PINTO & SIRQUEIRA, 2023).

A cura das resinas epóxi é realizada por meio de endurecedores. O endurecedor, geralmente, usa uma amina para curar a RE, por reação de adição, onde ambos os

materiais reagem quimicamente. Nesta reação dois grupos de epóxi se ligam a um grupo de cada amina (PARK & SEO, 2011). Os epóxios são curados pela adição de um endurecedor de amina para 2 partes de resina epóxi. A proporção deve ser mantida conforme recomendação do fabricante sob o risco de a resina não reagir com o endurecedor por completo e, assim, apresentar propriedades finais diferentes das desejadas ou informadas pelo fabricante.

A função das fibras em um material compósito é promover incrementos específicos de certas propriedades mecânicas, incluindo a rigidez (módulo de Young), resistência mecânica, resistência ao impacto, estabilidade dimensional, resistência ao calor, propriedades elétricas, entre outros. A junção da qualidade superior da resistência da fibra com a flexibilidade das resinas constitui a indústria de compósitos.

Em reparos de manutenção de embarcações de fibra de vidro, normalmente, utiliza-se o mesmo material, fixando novas camadas de fibras sob a superfície do substrato, processo chamado de delaminação (COSTA, 2022).

Ao utilizar o conceito de adesão de compósitos navais, este trabalho avaliou a capacidade de reparo de compósitos com fibras em chapas de aço Naval do tipo ASTM A-131, sendo o enfoque na manutenção e reparo de embarcação.

O material metálico tem suas peculiaridades em relação aos materiais de fibras de vidro, uma vez que a corrosão é o principal fator de degradação deste material no ambiente marítimo e inspeções estruturais é uma rotina comum para observação da integridade do casco. Quando verificado que existe alguma não-conformidade, sendo necessária ocorre intervenção. Verifica-se que o reparo em materiais metálicos envolve mão-de-obra mais qualificada, como soldadores e caldeireiros experientes, diferente da aplicação da resina reforçada, que pode ser realizado com um treinamento mais rápido da equipe de manutenção (AMORIM, 2021).

A variedade dos materiais permite verificar se existe algum compósito que se adeque melhor a esta aplicação, será levado em consideração o desempenho mecânico e o custo benefício dos materiais (FERREIRA, et. al. 2021).

Ensaio de rompimento do reparo foram conduzidos e permitiram verificar a viabilidade técnica da aplicação de compósito a base de resina epoxi e poliéster como material de reparo da chapa de aço Naval. Os ensaios envolveram dois tipos de resinas comerciais, assim como, dois tipos de fibras, de vidro e de carbono.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

As resinas utilizadas foram: epóxi 2001 (endurecedor EPOXI 3154), fabricante Redelease e poliéster insaturado (catalizador Arazyn 11.0) fabricante ARA Química.

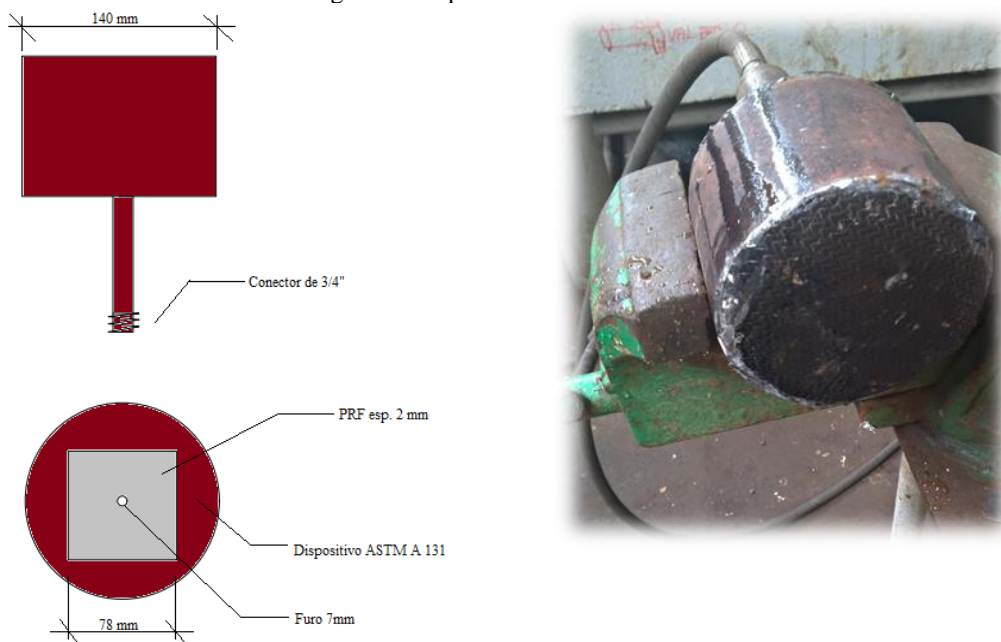
A cura de cada resina foi diferenciada de acordo com as especificações de cada fornecedor. Para a resina epoxi a proporção da mistura aplicada foi de 2 partes de resina epóxi para 1 parte de endurecedor conforme orientações do fabricante.

A resina de poliéster insaturada utilizada foi a isoftálica, de baixa reatividade e “pré-acelerada”, o catalisador utilizado foi o peróxido de metil etil cetona (butanox) na proporção de 100:1 partes por cem de resina.

As fibras de reforço foram utilizadas tinham malhas de fibras de vidro picados do tipo “e-glass” unidos por um ligante em pó de poliéster compatível com o monômero de estireno com 300g/m<sup>2</sup> de gramatura. As fibras de carbono tecido unidirecional de trama plana e módulo com 300g/m<sup>2</sup> de gramatura e com módulo de elasticidade padrão.

**Ensaio Hidrostático** – Para realização do teste hidrostático, foi construído um terminal rosqueado de ¾ na parte de baixo para acoplar uma conexão que possibilite gerar a pressão controlada por uma válvula e produzida por um compressor. A velocidade de transmissão para o dispositivo foi de 5 bar por minuto. Um furo centralizado de diâmetro de 7 mm no topo do dispositivo promove uma abertura para que a pressão atue diretamente no PRF conforme Figura 1.

Figura 1. Dispositivo de ensaio hidrodinâmico



Fonte: Os autores

O ensaio hidrostático foi realizado até o rompimento do reparo para identificar a resistência do compósito aderido ao metal (placa de aço ASTM A 131).

O segundo teste hidrostático terá um conceito não destrutivo. Após a montagem do dispositivo e a fixação do compósito no dispositivo. Foi realizado o incremento de pressão até alcançar o limite máximo da pressão do teste (3 bar). A pressão foi mantida constante por um minuto, em seguida esta pressão decai até 0,5 bar gerando uma etapa de “relaxamento” do material. Em seguida, após 3 minutos, a pressão é incrementada novamente a 3 bar. Esse ciclo foi feito 4 vezes, sendo avaliado se o material foi aprovado no teste. Ou seja, se não houve ruptura.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O ensaio hidrostático destrutivo foi realizado utilizando o dispositivo de ensaio hidrostático projetado, e aplicado à resina reforçada com fibras no topo do dispositivo, após cura de 24 horas, foi realizado o ensaio hidrostático destrutivo, sendo verificada a pressão máxima de ruptura conforme Tabela 1.

Tabela 1. Pressão máxima antes do rompimento do ensaio hidrostático.

Material	Pressão máx (bar)	Média	Característica da falha	Força (N) P=F/A
Epoxi Fibra de Vidro	45	40	Multipontual	679,60
	40		Pontual	604,09
	35		Pontual	528,58
Epoxi Fibra de carbono	75	63	Desprendimento parcial, Multipontual	1132,67
	60		Desprendimento parcial, Pontual	906,13
	55		Pontual	830,62
Poliéster Fibra de Vidro	55	48	Multipontual	830,62
	45		Multipontual	679,60
	45		Pontual	679,60
Poliéster Fibra de Carbono	55	53	Desprendimento parcial, Multipontual	830,62
	45		Pontual	679,60
	60		Pontual	906,13

Fonte: Os autores

A Tabela 1 apresentou os campos de pressão máxima de ruptura do compósito aderido ao metal (aço ASTM A131). A força aplicada na área especificada para o contato com a água, foi fornecida pelo compressor, sendo este o local estudado na caracterização da falha no ensaio. A pressão máxima alcançada nos dispositivos propostos, para cada compósito foram próximos. Aparentemente, as resinas reforçadas com fibra de vidro tiveram valores menores de resistência a ruptura. Ensaio destrutivo de pressão podem apresentar grande variação até ocasionar a falha. A resina epóxi com fibra de carbono apresentou melhores resultados, por outro lado, a resina poliéster demonstrou que as fibras de reforço não influenciaram no resultado do teste (COSTA, 2022).

A técnica do ensaio hidrostático não-destrutivo foi realizada, a partir de 12 ensaios hidrostáticos com pressão constante atingindo um valor máximo de 03 bar (Figura 2). O objetivo deste ensaio foi a percepção da integridade do reparo durante a aplicação da pressão. Todos os ensaios foram aprovados e, após realização de inspeção visual, verificou-se que o material de resina de poliéster com fibra de vidro não apresentava indícios de deformação.

Figura 2. Ensaio hidrostático não destrutivo.



Fonte: Os autores

#### 4 CONCLUSÕES

Os ensaios realizados com as resinas epoxi e poliéster foram eficazes no reparo de furos de casco de navios.

O ensaio hidrostático não destrutivo comprovou a adesão do compósito ao substrato, não sendo observada ruptura do material.

---

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) E-026/200.019/2019 e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

## REFERÊNCIAS

AMORIM, A. A. P.; OLIVEIRA, M. G.; MANCINI, M. C.; ALEX DA SILVA SIRQUEIRA. **Rheological, EMI and corrosion properties of epoxy coating with nanoparticle and conductive carbon black.** *SN Applied Sciences.* , v.3, p.236 - 248, 2021.

COSTA, L. B.; OLIVEIRA, R. N.; SIRQUEIRA, A. S. **Green thermoplastic vulcanized based on recycled polyethylene and waste tire powder.** *Research, Society and Development*, v. 11, p. e50011427421, 2022.

FERREIRA, I. P.; SIRQUEIRA, A. S; SANTOS, T. A.; NACCACHE, M. F; SOARES, B. G. **Rheological Studies of SBS/EVA Blends modified with bio-based Cashew Nut Shell Liquid.** *Journal of Elastomers and Plastics*, v.03, p.1 - 16, 2021.

MANO, E.B. & MENDES, L.C. **Introdução aos Polímeros.** 2 ed. Blucher, São Paulo 1999.

MATTIA BARTOLI *et al.* **Synthesis and applications of unsaturated polyester composites.** C.22, P. 579-598, 2019. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816129-6.00022-3>.

OLIVEIRA, A. B., PINTO, P. R. & SIRQUEIRA, A. S. Efeito da adição de estabilizantes UV no comportamento reológico de resinas epóxi e poliéster. *Brazilian journal of development*, 2023.

PARK, S. & SEO, M. **Interface Science and Composites.** 1ª edição, South Korea, Department of Chemistry, Inha University. 2011.

SMITHERS – A SMITHERS GROUP COMPANY. **Handbook of Thermoset Resins.** 1ª edição, Shawbury, Reino Unido, Lightning Source, 2009.