

## **AGENTES EXTERNOS INFLUENCIAM O COMPORTAMENTO MECÂNICO DOS COMPÓSITOS POLIMÉRICOS - ESTUDO DE CASOS**

**Ricardo Alex Dantas da Cunha**

Núcleo de Pesquisa em processamento em Petróleo e Gás Natural, Instituto Federal de Ciências, Educação e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Campus Central, Bosista PIBIT, e-mail: ricardoalexdcunha@hotmail.com

**Jayna Kátia Dionísio dos Santos**

Núcleo de Pesquisa em processamento em Petróleo e Gás Natural, Instituto Federal de Ciências, Educação e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Campus Central, Bosista PIBIT, e-mail: jayna.dionisio@gmail.com

**Renata Carla Tavares dos Santos Felipe**

Núcleo de Pesquisa em processamento em Petróleo e Gás Natural, Instituto Federal de Ciências, Educação e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Campus Central, Professor IFRN, e-mail: rcfelipe@cefetrn.br

**Raimundo Nonato Barbosa Felipe**

Núcleo de Pesquisa em processamento em Petróleo e Gás Natural, Instituto Federal de Ciências, Educação e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Campus Central, Professor IFRN, e-mail: nonatofelipe@cefetrn.br

---

### **RESUMO**

A necessidade de se obter um melhor aproveitamento e desempenho técnico nas novas tecnologias (automotiva, petrolífera, naval), está levando o homem a descobrir novos tipos de materiais, exemplo de disso são os materiais compósitos que se caracterizam pela combinação de dois ou mais materiais que possuem propriedades mecânicas, físicas, químicas diferentes, os quais apresentam uma formação com um reforço e uma matriz, essas materiais vêm sendo estudados, com destaque nessas novas tecnologias de ponta, onde os mesmos estão desempenhando de forma satisfatória e promissora. Para melhor entendimento do comportamento desses materiais, esse trabalho faz uma abordagem, a partir de vários estudos realizados por diversos pesquisadores, no que diz respeito à incidência de temperatura em compósitos buscando avaliar até que ponto o efeito térmico nestes materiais, modificam ou não o desempenho. Com isso, os resultados das pesquisas apresentam que os compósitos poliméricos podem sofrer influência da temperatura e do calor no seu comportamento mecânico bem como na sua fratura final.

**PALAVRAS-CHAVE:** Material Compósito, Propriedades Mecânicas, Calor.

### **AGENTS INFLUENCING THE MECHANICAL BEHAVIOR OF POLYMERIC COMPOSITES - CASE STUDY**

#### **ABSTRACT**

The need to obtain a better use and technical performance in new technologies (automotive, petroleum, marine), is leading people to discover new types of materials, an example of this are composite materials that are characterized by the combination of two or more materials that have mechanical, physical, chemical, different, which have a formation with a reinforcement and a matrix, these materials have been studied, especially in these new technologies, where they are performing satisfactorily and promising. To better understand the behavior of these materials, this work presents an approach, based on several studies by

various researchers, with regard to the effect of temperature composites in order to evaluate the extent to which the thermal effect in these materials, modify or not performance . With this, the research results show that the polymer composites can be influenced in their mechanical behavior and in final characteristic of the fracture when exposed to thermal cycles of temperature and also to heat.

**KEY-WORDS:** Composite Material, Mechanical Properties, Heat.

---

## AGENTES EXTERNOS INFLUENCIAM O COMPORTAMENTO MECÂNICO DOS COMPÓSITOS POLIMÉRICOS - ESTUDO DE CASOS

---

### INTRODUÇÃO

Como definição um material composto, também conhecido como compósito, é a combinação de dois ou mais materiais a nível macroscópico que trabalham simultaneamente, funcionando como uma unidade visando obter um conjunto de propriedades que nenhum dos componentes individualmente apresentaria (MENDONÇA, 2005), sendo formado por um reforço e uma matriz. Continuando ainda, o comportamento mecânico do compósito se dá mediante a interação do conjunto reforço/matriz, no entanto, esta interação depende não somente da natureza dos mesmos, mas da qualidade da relação entre as ligações interfaciais desse conjunto (MONTE et al, 2010). Estes materiais estão sendo empregados cada vez mais na substituição dos materiais convencionais (aço) na área industrial, diferenciando desses, devido algumas propriedades específicas, como leveza, baixo custo de processo de fabricação, maior durabilidade, adaptação a *designer* complexos, resistente a umidade e a maioria de alcalóides e ácidos, boas propriedades térmicas e elétricas, baixo coeficiente de expansão térmica e baixa constante dielétrica e força dielétrica elevada, respectivamente (POZZI et al, 2010). Além disso, suas aplicações se estendem a diversos setores da indústria, aeroespacial, petroquímica, bioengenharia. Eles podem melhorar a produtividade, baixar os custos e possibilitar a introdução de novas propriedades mecânicas. Esses materiais são classificados de acordo com o tipo de reforço podendo este ser particulado, fibroso natural (coco, sisal) e sintético (vidro, aramida e carbono), sendo que os plásticos reforçados com fibras de vidro, até o momento, os mais usados e também conhecidos como PRFV.

No campo industrial, a aplicação dos plásticos reforçados vem ganhando destaque na indústria petrolífera, esses materiais são empregados na fabricação de plataformas e em revestimentos de tanques e tubulações. Por se tratar de um material muito resistente à corrosão e ao desgaste, a sua manutenção pode ser mínima, diminuindo custos. Além disso, é bem mais leve que os materiais convencionais; além disso, possui uma boa resistência ao impacto, dependendo da sua configuração e dos elementos que fazem parte do mesmo. Segundo a Associação Brasileira de Materiais Compósitos (Abmaco) onde cerca de 20% das plataformas de petróleo da Petrobras já utilizam produtos fabricados a partir de compósitos, essas estimativas ainda são bastante incipientes. Entretanto, observa-se pouco estudo quanto à utilização dos materiais compostos a serem utilizados na indústria do petróleo e gás natural, apesar do seu grande destaque estrutural. Falta uma análise mais minuciosa quanto ao uso destes materiais na fabricação de tanques para armazenamento de óleo, vasos separadores, revestimentos internos, tubulações para transporte de petróleo, entre outros elementos que fazem parte da referida indústria.

Para intensificar o uso dos compósitos nas áreas industriais que envolvem altas temperaturas, observam-se pesquisas tendo ênfase nas propriedades térmicas como: choques térmicos, envelhecimento térmico e no efeito de ciclos térmicos (BOCCACCINI et al, 1998). Esses agentes modificadores podem contribuir para um baixo desempenho, que juntamente com fatores como a umidade relativa do ar pode ser reversível quando o período de exposição de curta duração, e irreversíveis devido à afinidade da água por grupos funcionais específicos de matrizes poliméricas de natureza polar e suas partículas sólidas impossibilitando seu desempenho final como aponta (CUNHA, 2006).

Contudo, o objetivo desse trabalho é realizar um levantamento na literatura em relação a agentes modificadores como exemplos a temperatura e umidade podem vir danificar os compósitos principalmente os poliméricos, pautando essa investigação nos comportamentos mecânicos envolvendo a influência destes nos respectivos materiais.

## METODOLOGIA

Os compósitos poliméricos estão cada vez mais presentes no meio industrial, devido sua variedade de condições e combinações específicas para a fabricação de elementos estruturais como perfis, tubulações e escadas. Com isso, a preferência por esses materiais, que apresentam melhor custo/benefício estão fazendo com que caia a procura pelo emprego dos materiais tradicionais, como materiais metálicos. Apesar destes materiais estruturais convencionais, apresentarem diversas vantagens, os compostos poliméricos são resistentes ao calor e à umidade ao operar nas circunstâncias severas e em variações atmosféricas, situações estas que os aços carbonos não possuem.

Dentre os agentes que possam modificar o comportamento dos compósitos, está à influência da temperatura. Inúmeras pesquisas estão sendo realizadas em compósitos com os vários tipos de reforços e matrizes diferentes, estas pesquisas submetem estes compósitos a envelhecimento térmico, a ciclos de temperatura, a absorção de umidade; e a combinação de temperatura e umidade, conhecida como ciclos higrotérmicos. Diante disso, serão mostrado vários trabalhos que foram realizados pelos diversos pesquisadores na área de compósitos.

O trabalho realizado por Cunha, 2006 foi analisado o efeito higrotérmico, observando então, o comportamento mecânico à tração longitudinal e transversal do compósito formado por matriz de epoxi e fibras de carbono, onde foi investigado os efeitos da umidade e da temperatura para ambas resistências, diante disso, o referido material foi conduzido a duas câmaras: uma câmara de névoa salínica (*salt spray*) e outra de climatização, sendo realizados dois procedimentos, no primeiro os corpos de provas (cdp's) foram colocados em ambas as câmaras a temperatura ambiente (22°C) até a saturação do material, no outro procedimento os cdp's foram inseridos nas câmaras, sendo que na de névoa salínica foi utilizada uma temperatura de 46°C a uma pressão de 9,81N/cm<sup>2</sup>, e na câmara de climatização a temperatura empregada foi de 80°C e 90% de umidade a pressão atmosférica. Os resultados obtidos mostraram que na temperatura ambiente para tração longitudinal as amostras não perderam sua resistência, porém os compósitos apresentaram uma redução na sua resistência quando submetidos à câmara de climatização. Já nos ensaios de tração transversal observou-se uma redução na resistência em torno de 11% quando as amostras foram submetidas na câmara de névoa salínica e uma diminuição acentuada cerca de 51% quando as amostras foram conduzidas à câmara de climatização. Assim sendo, a combinação de altas temperaturas com o condicionamento em câmara de umidade controlada, reduziu as resistências em ambos os casos, devido a degradação da matriz polimérica.

(BARJASTEH, 2009), observou o envelhecimento térmico em plástico reforçado, sendo o compósito híbrido unidirecional reforçado por fibras de vidro/carbono utilizando matriz epóxi, onde submeteu este compósito a uma variação de temperatura entre 180°C a 200°C por um período de 8736 horas, tendo como objetivo verificar a cinética de oxidação das camadas internas do compósito e as propriedades mecânicas após o período de exposição. Ao término do estudo, foi observado que a camada da superfície que oxidou funcionou como uma camada passiva, impedindo a difusão do oxigênio e protegendo a matriz (epóxi) de uma oxidação mais profunda. O módulo de elasticidade por sua vez, permaneceu parcialmente inalterado pela oxidação térmica após 52 semanas de exposição a essa variação de temperatura. E não foi observada formação de trincas nas amostras envelhecidas termicamente após as exposições no prazo de um ano, aproximadamente 8736 horas.

No trabalho realizado por BELLOUL, 2009, foi feito uma análise do comportamento mecânico e da variação da taxa de reação química mediante a observação do tempo de gelificação e do pico exotérmico, já que para isso, utilizou-se a resina poliéster como matriz e o reforço fibra de vidro. Para o estudo, a temperatura variou entre 20 °C e 60°C; e o teor de catalisador variou de 1% a 3%. Como conclusão do trabalho observou-se que houve um aumento na taxa da reação química, redução no tempo da gelificação e no pico exotérmico para um percentual de catalisador de 3%. No entanto, as propriedades mecânicas (módulo de elasticidade e resistência mecânica) apresentaram-se inalteradas para as amostras que operaram em 40°C com 1% do catalisador e aquelas que operaram em 20°C com 2% do catalisador.

Ciclos térmicos foram analisados por Boccaccini et al, 1998, buscando o comportamento mecânico do composto com a matriz cerâmica reforçada com fibra de vidro. Para a realização desse trabalho, os corpos de prova foram envelhecidos termicamente por um período de 700 °C por um período de 250 h. Nesta pesquisa o material foi submetido ao ensaio de flexão em quatro pontos para a determinação do seu desempenho mecânico; e analisado microscopicamente fazendo o uso da microscopia eletrônica com o intuito de se caracterizar as amostras e o comportamento destas frente às várias condições de carregamento térmico. Observou com isso, que o módulo de elasticidade à flexão diminuiu, enquanto o atrito interno aumentou com os números crescentes de ciclos térmicos. A degradação do material foi atribuída à viscosidade da matriz; e à oxidação das fibras ocorreu devido às exposições prolongadas nas altas temperaturas. Já os danos micro estruturais observados foram à formação de porosidade dentro da matriz e na interface fibra/matriz.

Shakerin et al, 2010 realizou uma pesquisa, utilizando os seguintes materiais: fibra de vidro-E, jornal reciclado e de polipropileno, para a fabricação de dois compósitos distintos, sendo um híbrido tendo como reforço fibra de vidro/jornal, e outro reforçado com apenas fibra de jornal, ambos utilizando uma matriz de polipropileno, sendo estes compósitos confeccionados pelo processo de prensagem a quente, com isso, os autores visaram fazer uma análise comparativa investigando a absorção de umidade do material, até a sua saturação, sendo estes corpos de provas imersos em água. Diante disso, foi constatado que os compósitos produzidos a partir de jornal reciclado mostraram resultados comparáveis como os feitos de compósito híbrido. É interessante se destacar que a absorção de água e a variação da espessura, devido ao inchaço dos compósitos podem ser reduzidas significativamente com a incorporação de um agente de acoplamento como, por exemplo, o polipropileno maleado.

Outras pesquisas realizadas definem o comportamento hidrotérmico do compósito vidro/poliéster, baseando-se no envelhecimento do material frente a umidade e quando expostos a ciclos térmicos, sendo este envelhecimento, refletido nas propriedades mecânicas (BERA, 2007). Com uma visão mais completa de onde a temperatura pode modificar as propriedades mecânicas, *Sinmazçelik* realizou este trabalho submetendo o compósito de matriz termoplástica reforçado por fibra de vidro quando submetidos a ciclos térmicos nas propriedades de fadiga; no entanto esta pesquisa foi dividida em duas etapas: na primeira, as amostras foram imersas em água fervente (100°C) e depois à temperatura de 0°C (temp. do gelo), ocasionando então os ciclos térmicos. As mudanças nas propriedades visco-elástica dos compostos foram investigadas, por meio do analisador térmico mecânico dinâmico usando temperaturas de 50°C, 200°C e 500°C. Na segunda etapa, os compostos foram sujeitados a carregamentos repetidos de impacto. Os resultados do teste de instrumentação do impacto foram apresentados em função da força, energia e deformação durante o ensaio. Os estudos do MEV foram feitos a fim de compreender a morfologia das amostras fraturadas após o carregamento de impacto, conseqüentemente, é possível dizer que, os ciclos térmicos causaram mudanças micro estruturais notáveis na matriz do polímero, resultando também em uma diminuição significativa na temperatura de transição vítrea (SINMAZÇELIK, 2008).

Ainda relacionando a influência da temperatura com as propriedades de impacto, pesquisas mostram os efeitos da mesma em compósitos de fibra de vidro/Kevlar com uma matriz de epóxi, onde foram realizados vários testes com corpos de provas em contato com uma variação de temperatura entre - 50°C e 120°C e em níveis de energias de 20J, 30J e 45 J. Como resultado apresentado pela pesquisa à variação de temperatura e dos níveis de energia afetaram o desempenho na propriedade mecânica de impacto, em todos os métodos de caracterização dos compósitos. E as falhas preliminares dos corpos de prova mudaram a característica da fratura, de frágil a dúctil, sobre a variação de temperaturas de - 50°C e 120°C (HALVORSEN, 2006).

As pesquisas se estendem às indústrias que são as maiores interessadas, devido as grandes aplicações estruturais. Exemplo disso são estudos realizados na avaliação da temperatura de transição vítrea (Tg) nos compósitos poliméricos de utilização aeronáutica, onde mostraram que o uso da resina epóxi não deve ser aplicada na manutenção estrutural, devido a variação do comportamento mecânico da resina quando exposta à temperatura e umidade elevada, como mostra o trabalho realizado por Jane Paiva (2006). Uma outra aplicação dos materiais compósitos é na indústria petrolífera, em estruturas oceânicas, como plataformas de petróleo, onde a corrosão costuma atacar os materiais ferrosos. A escolha dos perfis feitos em compósitos, normalmente reforçados com fibras de vidro e matriz polimérica, deve-se a sua alta resistência à corrosão, leveza e acabamento. O desafio de se ter perfis de

plásticos reforçados por fibras de vidro em uma plataforma de petróleo, ocorre devido às exigências severas de resistência à propagação de chama, limitação da emissão de fumaça e de gases tóxicos, e de resistência às intempéries. A utilização em dutos e tubulações, aonde novas técnicas de reparo vêm sendo estudadas e a necessidade de manutenção está associada à eficiência e baixo custo destes materiais ao serem submetidos a uma manutenção, porém os compósitos também se aplicam em outras áreas como: lazer (materiais para parques temáticos e piscinas); eletroeletrônico (leitões para cabos, antenas, elementos de isolamento, cabines telefônicas); construção civil (caixas d'água, tanques, coberturas, perfis, mármore sintético, banheiras, telhas); saneamento básico (tubos e estações de tratamento de água e efluentes; transporte (automotivo, ferroviário, marítimo e aéreo).

Na indústria aeroespacial os compósitos termoplásticos são usados para estruturas primárias dos aviões onde estão sujeitos a efeitos térmicos durante toda sua vida útil. O uso desses plásticos é extensivo nas asas, nas seções da fuselagem, nas superfícies da cauda e nas portas. Observa-se que com o aumento da temperatura, o comportamento da falha do material muda de uma modalidade frágil na temperatura ambiente para uma modalidade dúctil acima da temperatura de transição vítrea. Esta ductilidade induz uma perda de módulo de flexão e de esforços acima dessa área, bem como uma diminuição das micro fissurações na estrutura interna do conjunto reforço/matriz segundo (MEYER et al, 2008).

Em todo compósito, o mecanismo de danos materiais é bastante complexo. No entanto, sabe-se que esses materiais possuem uma excelente resistência mecânica, entre outras características como: resistência à corrosão, fácil manutenção, durabilidade, flexibilidade arquitetônica, resistência às intempéries, resistência química, leveza e facilidade de transporte, sendo estas de suma importância para o meio em que serão empregadas.

Neste contexto, este trabalho foi realizado tendo como base dados oferecidos em pesquisas já publicadas, fundamentando-se em contextos contendo análises da influência da temperatura, umidades entre outras condições de ensaio em compósitos e visando observar a influência destas condições no comportamento mecânico destes materiais.

## CONCLUSÃO

A literatura traz a temperatura como um importante agente modificador a ser estudado dentro dos materiais compósitos, onde esses materiais estão em constante ascensão devido suas grandiosas propriedades e grande aceitação em inúmeras tecnologias de ponta (aeroespacial, petrolífera, bioengenharia). Fica visível a importância de se pesquisar esse modificador, ampliando a investigação em laboratórios com diferentes tipos de matrizes em conjunto com os reforços, mostrando assim as particularidades desse modificador nos diversos materiais a serem formados.

## AGRADECIMENTO

Agradecemos o apoio do CNPq, pela bolsa PIBIT concedida aos alunos.

## REFERÊNCIAS

1. BARJASTEH E.; BOSZE E. J.; TSAI Y. I.; NUTT S.R. - **Thermal aging of fiberglass/carbon-fiber hybrid composites** – Elsevier Science Ltda. Composites Part A. Set 2009; vol 49; pp 2038–2045.
2. BELLOUL N.; AHMED-BENYAHIA A.; SERIER A.; OUALI N. - **Effect of Temperature and Initiator on Glass Fibre/Unsaturated Polyester Composite: Cross-linking, Mechanical Properties** – Springer Science. Aug 2009; pp 497–504.



3. BERA T.; MULA S.; RAY P. K.; RAY B.C. - **Effects of Thermal Shocks and Thermal Spikes on Hygrothermal Behavior of Glass–Polyester Composites** - Journal of Reinforced Plastics and Composites. Nov 2007; vol 26: pp 725-737.
4. BOCCACCINI A. R.; STRUTTB A.J.; VECCHIOB K. S.; MENDOZAC D.; CHAWLA K.K.; PONTOND C. D.; PEARCED D.H. - **Behavior of Nicalony-fiber-reinforced glass-matrix composites under thermal cycling conditions** - Elsevier Science Ltda . Composites Part A. Mar 1998; vol 29; pp 1343–1352.
5. CUNHA P. J. A.; COSTA L. M.; REZENDE C. M. - **Influência de Diferentes Condições Higrotérmicas na Resistência à Tração de Compósitos de Fibra de Carbono/Epóxi Modificada** - Departamento de Engenharia Aeronáutica e Mecânica. ITA/SENAI, Divisão de Materiais, IAE, CTA - Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 16, nº 3, pp 193-201, 2006.
6. DE MONTE M.; MOOSBRUGGER E.; QUARESIMIN M.- **Influence of temperature and thickness on the off-axis behaviour of short glass fibre reinforced polyamide 6.6 – Quasi-static loading** – ScienceDirect. Feb 2010; vol 41: pp 859-871.
7. HALYORSEN A.; SALEHI-HHOJN A.; MAHINFALAH M.; NAKHAEI-JAZAR R. - **Temperature Effects on the Impact Behavior of Fiberglass and Fiberglass/Kevlar Sandwich Composites** - Springer Science. Set 2006, pp: 369 – 383.
8. JANE M. F. P.; MAYER S.; CÂNDIDO M. G.; REZENDE C. M. - **Avaliação de Transição Vítrea de Compósitos Poliméricos Reparados de Uso Aeronáutico** – Polímeros: Ciência e Tecnologia; 2006; vol. 16: pp 79-87, São Carlos, Brasil.
9. MENDONÇA P. T. R. **Materiais Compostos & Estruturas-Sanduíches**. Barueri: Manoele, 2005.
10. MEYER D. R.; BERSEE H.E.N.; BEUKERS A. - **Temperature effect on reinforced thermoplastic composite properties for primary aircraft structure applications** – 49th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference <br>16t 7. April 2008; Schaumburg, IL.
11. POZZI P.; TAURINO R.; ZANASI T.; ANDREOLA F.; BARBIERI L.; LANCELLOTTI I. - **New polypropylene/glass composites: Effect of glass fibers from cathode ray tubes on thermal and mechanical properties** – Science Direct. . Composites Part A. Dec 2010; vol 41: pp 435-440.
12. SHAKERI A.; GHASEMIAN A. - **Water Absorption and Thickness Swelling Behavior of Polypropylene Reinforced with Hybrid Recycled Newspaper and Glass Fiber**. Springer Science and Business Media B.V.. Nov 2009; vol 17; pp 183-193.
13. SINMAZEÇELIK T.; ÇOBAR O.; BORA Ö. M.; GÜNAY V.; CÜRGÜİL Í. - **The Effects of Thermal Cycles on the Impact Fatigue Properties of Thermoplastic Matrix Composites**. Jul 2008, pp: 100 – 113.
14. <http://www.abmaco.org.br> acessado no dia 06/07/2010, às 13:54.