

PREPREG DE FIBRA DE VIDRO COM GRAFENO

UMA FORMA DE OTIMIZAR E CRIAR ESTRUTURAS DE COMPÓSITOS INTELIGENTES

Desenvolvimento do **TEXIGRAPH** – Prepreg de fibra de vidro com grafeno
Resultados e possibilidades para melhorias das propriedades em relação aos
compósitos convencionais

Luís Fernando Tomasi Barbi
Gerente Comercial

QUEM É A TEXIGLASS?

Empresa brasileira de 40 anos, fundada em 1986 e sediada em Vinhedo/SP

Início Prepreg Fibra de vidro + Resina Fenólica

Maior linha de reforços da América Latina

Fabricação de tecidos e materiais de reforços em linha (+ aramida e fibra de carbono)

Associada: ALMACO, SAMPE e ABIFIBRA

+ 700 desenvolvimentos até hoje



O QUE FAZ A TEXIGLASS?



Tecelagem de fibra
de vidro, fibra de
carbono e aramida



Cordas, mangas e
tranças tubulares



Retorção,
texturização,
acabamentos
especiais em
filamentos



Impregnação de fios,
cabos e tecidos



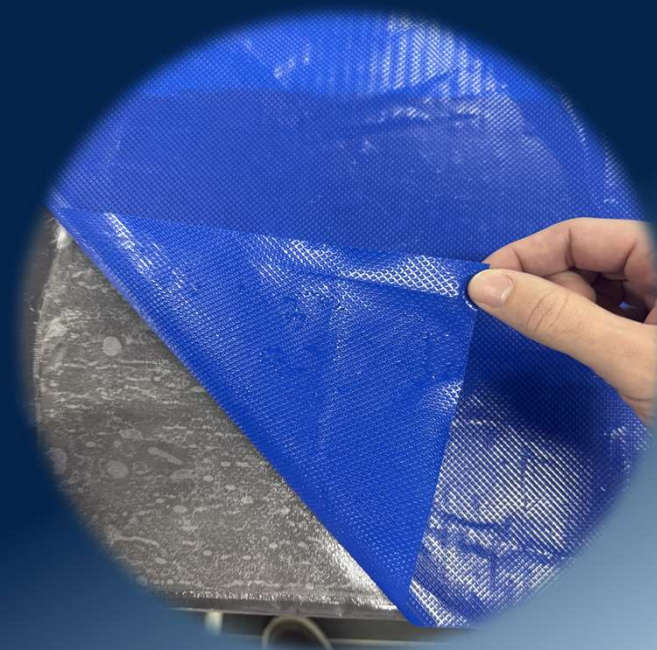
Pultrusão de perfis e
barras poliméricas
(FC/FV)

E o que a Inovação tem a ver com os compósitos?

Tudo? Nada?

Será que a Texiglass estará vendendo o mesmo produto daqui a 10 anos?

Seu maior cliente hoje, será o mesmo daqui a 10 anos?



Texigraph

TEXIGRAPH – PREPREG COM GRAFENO

- **OBJETIVO: ADICIONAR MELHORIAS EM RELAÇÃO AOS COMPÓSITOS CONVENCIONAIS**
- ROTAS DE TRABALHO, MORFOLOGIA E FUNCIONALIZAÇÃO
- ENSAIOS: TÉRMICOS E MECÂNICOS
- PRÉ-IMPREGNAÇÃO EM ESCALA SEMI-INDUSTRIAL
- FABRICAÇÃO E ENSAIO DO COMPÓSITO

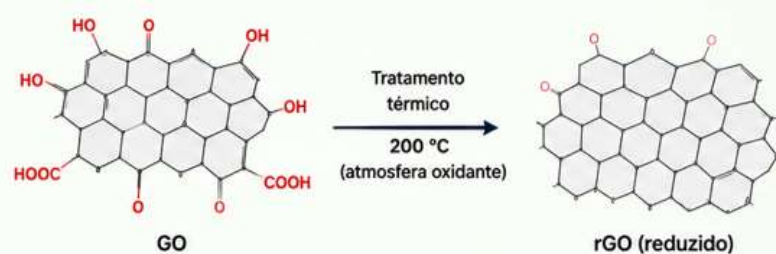


ROTAS DE TRABALHO

ROTA 1 — DISPERSÃO DO GRAFENO NA RESINA EPÓXI



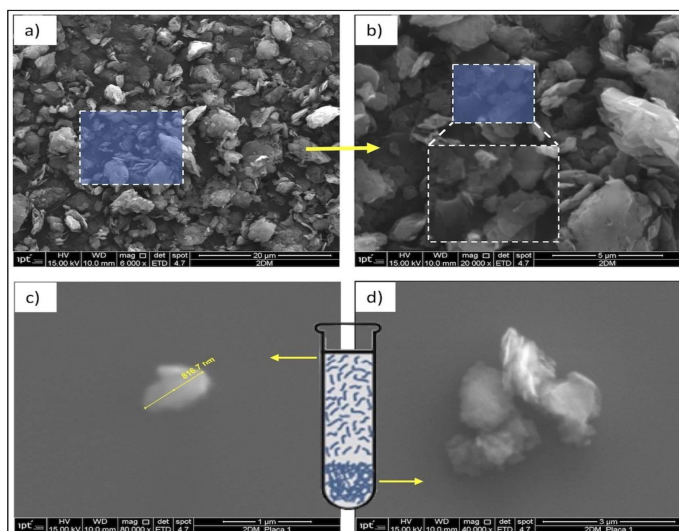
ROTA 2 — REDUÇÃO TÉRMICA DOS FILMES DE GO (inviável)



ROTAS DE TRABALHO

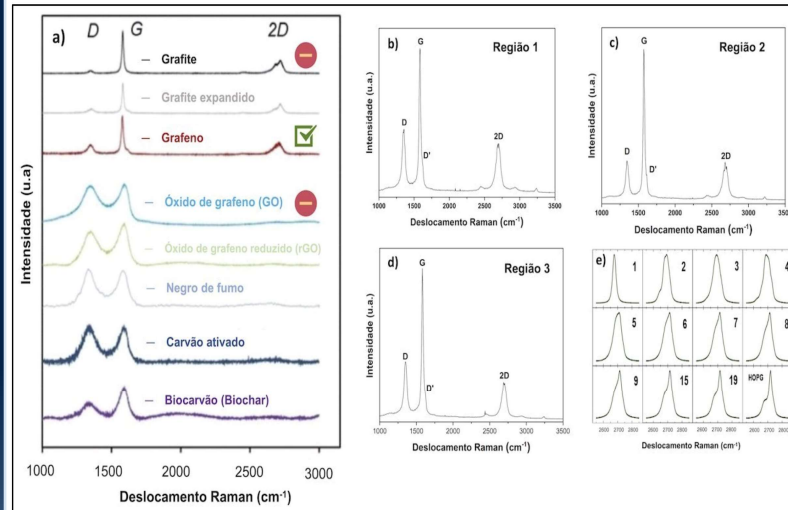
ROTA 1 — DISPERSÃO DO GRAFENO NA RESINA EPÓXI - MORFOLOGIA

Microscopia eletrônica de varredura



Morfologia das partículas em diferentes ampliações (a-d).

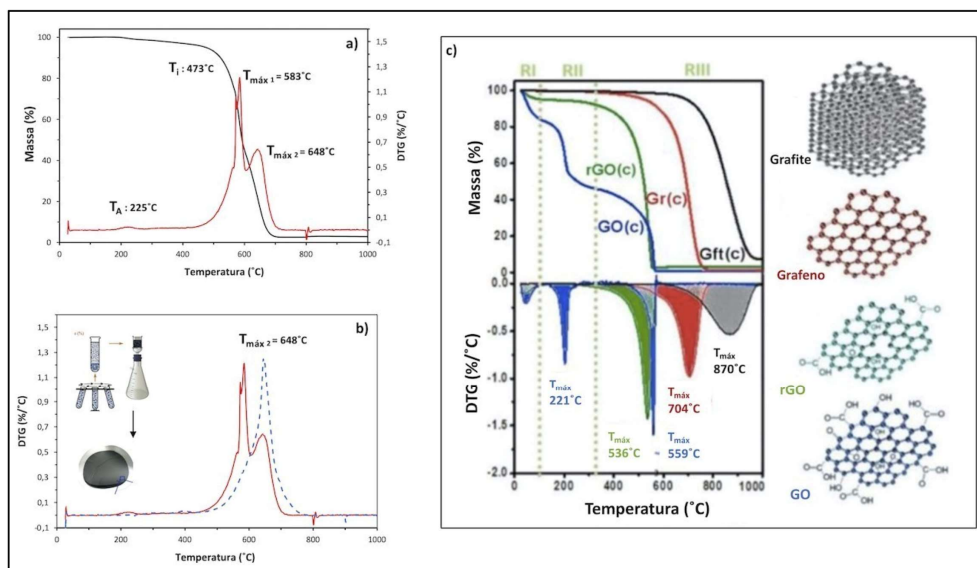
Espectros Raman



Comparação com materiais de referência (a) e espectros das regiões analisadas (b-e).

ROTA 1 — DISPERSÃO DO GRAFENO NA RESINA EPÓXI – MORFOLOGIA

Análise térmica – TGA/DTG



Perda de massa (TGA) e derivada (DTG) em função da temperatura.

Análise dos resultados

- A presença de dois picos de degradação sugere que o material apresenta número de camadas variados;
- Pico a 583°C : grafeno com número de camadas maior que 10;
- Pico a 648°C : grafeno com número de camadas inferior a 10.

Conclusão: Este material se encaixa como um material grafênico com número de camadas inferior a 10, resultado compatível com as curvas RAMAN apresentadas anteriormente

ROTA 1 — DISPERSÃO DO GRAFENO NA RESINA EPÓXI - ETAPAS

Rota 1 — Dispersão do grafeno na resina epóxi

Do grafeno ao compósito nanoestruturado de alto desempenho



Teores avaliados

0,01%; 0,05%; 0,1%; 0,5% e 1,0% em massa de grafeno.

Cura

Ciclo térmico: 2 h a 90 °C + 10 h a 140 °C.

Arquitetura do laminado

Tecido de fibra de vidro impregnado manualmente com resina epóxi nanoestruturada.

Obtenção de placas planas para validação da rota

Material adequado para caracterização posterior

ROTA 1 — DISPERSÃO DO GRAFENO NA RESINA EPÓXI - INCORPORAÇÃO



Problema técnico

A resina epóxi apresenta viscosidade elevada; dispersar grafeno diretamente pode gerar mistura não homogênea.

Solução adotada

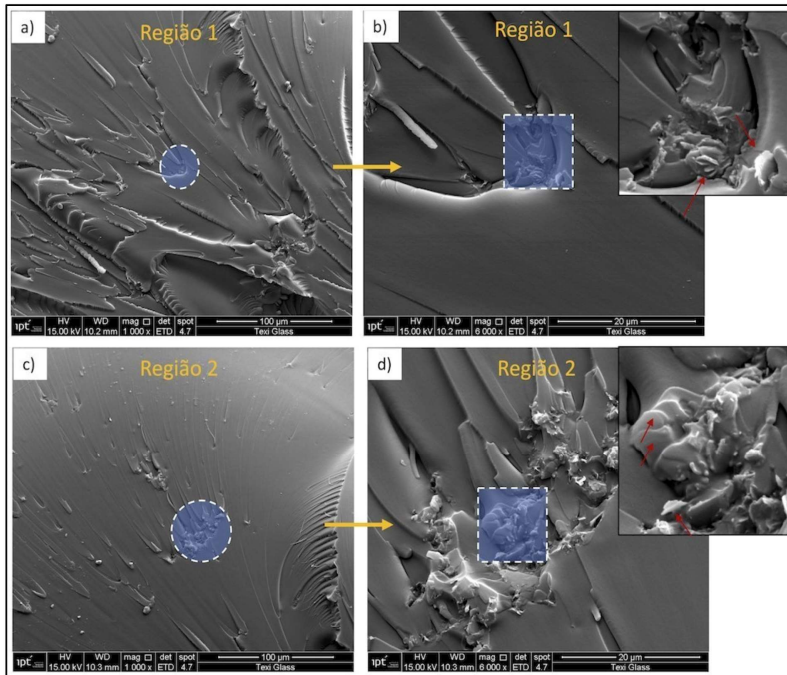
Pré-dispersão do grafeno em solvente, seguida de incorporação na resina e remoção controlada do solvente.

Critério de avaliação

Comparação entre as temperaturas de transição vítrea obtidas pela análise de DMA.

ROTA 1 — DISPERSÃO DO GRAFENO NA RESINA EPÓXI – INCOPORAÇÃO 0,5%

Microscopia eletrônica de varredura



Microscopia eletrônica de varredura do compósito de matriz epóxi reforçado com grafeno em duas regiões distintas (a) região 1 e (b) região 2.

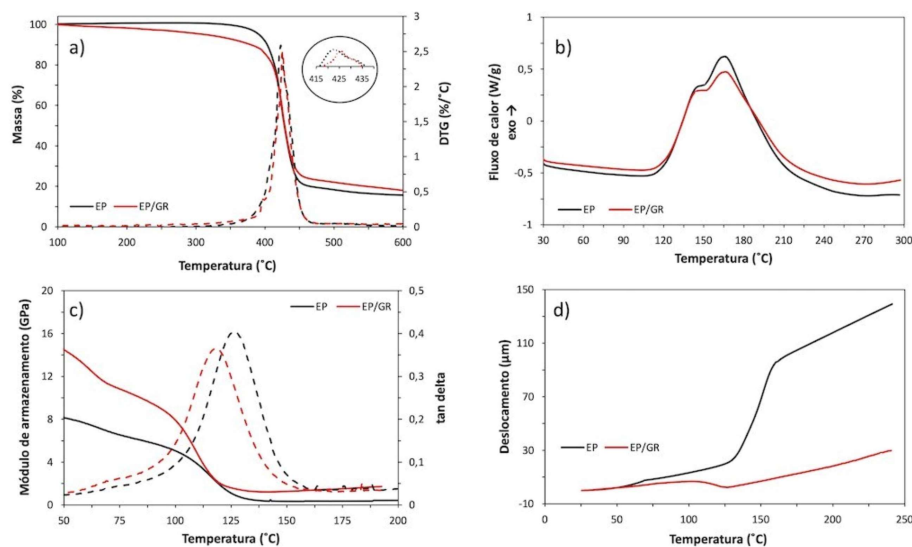
Análise dos resultados

- Concentração das partículas: 0,5% em massa;
- Resultados em duas regiões distintas da resina nanoestruturada preparada;
- Partículas com formato lamelar, compatível com placas grafênicas;
- Distribuição adequada na matriz epóxi, com formação reduzida de aglomerados.

Conclusão: A qualidade da dispersão sustentou a decisão de produzir laminados e avaliar propriedades mecânicas.

ROTA 1 — DISPERSÃO DO GRAFENO NA RESINA EPÓXI – INCOPORAÇÃO 0,5%

Análises térmicas: TGA, DSC, DMA e TMA



Análises térmicas de (a) TGA; (b) DSC; (c) DMA e (d) TMA para epóxi pura e para resina nanoestruturada.

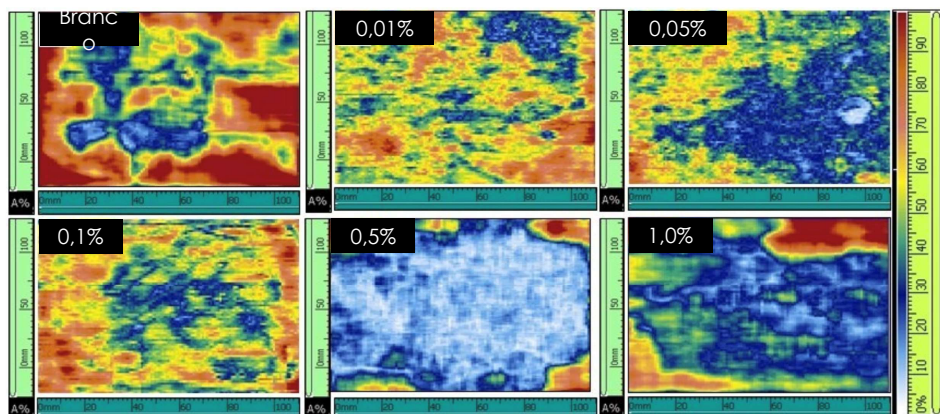
Análise dos resultados

- Aumento da estabilidade térmica da resina nanoestruturada em relação à matriz;
- A incorporação do grafeno proporciona um melhor controle das reações exotérmicas durante a cura do material
- Aumento da rigidez da resina mediante a adição de grafeno;
- Grafeno promove mecanismos para melhor controle da cura da resina.

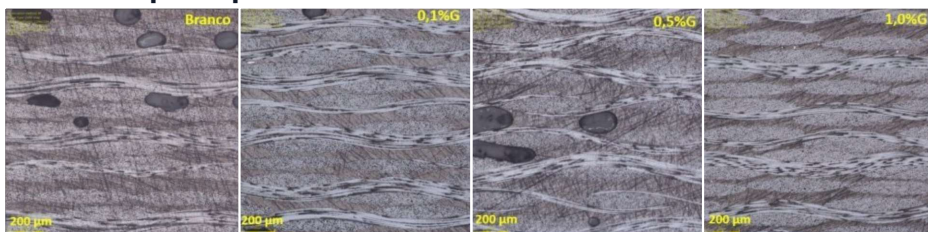
Conclusão: A presença do grafeno altera a resposta térmica sem inviabilizar o processamento.

ROTA 1 — CARACTERIZAÇÃO DOS LAMINADOS COM DIFERENTES TEORES DE GRAFENO

Ensaio de Ultrassom



Microscopia óptica



Ultrassom

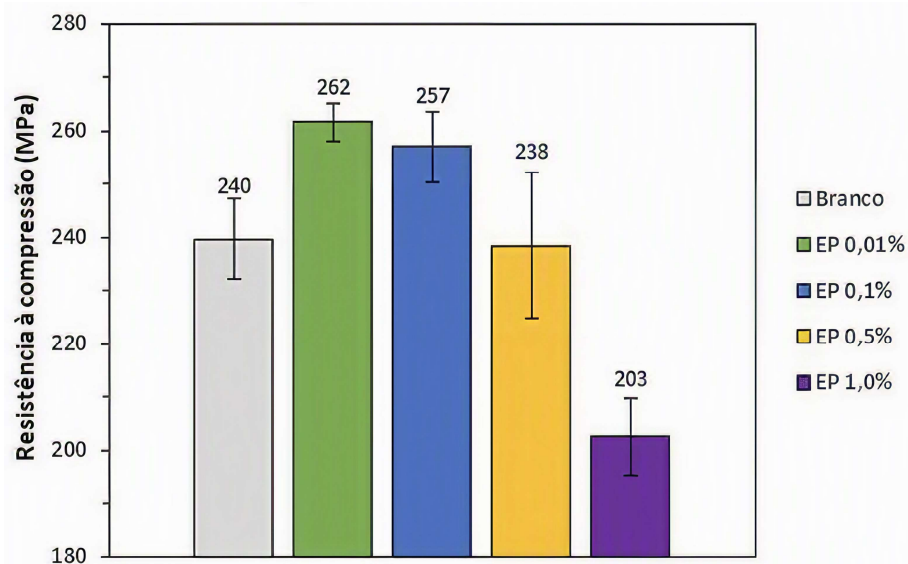
- Laminado branco: consolidação satisfatória com regiões apresentando variação de amplitude (áreas em azul, vermelho, verde e amarelo): Indica maior heterogeneidade interna;
- Incorporação de grafeno em altas concentrações (0,5 e 1,0%) produz laminados mais heterogêneos (área azul relativamente contínua)

Microscopia Óptica

- Boa impregnação das fibras e baixa quantidade de vazios macroscópicos;
- Ausência de delaminações visíveis;
- **Microscópio óptico não consegue visualizar diretamente a dispersão do grafeno;**
- **Não reflete toda a placa manufaturada.**

ROTA 1 — CARACTERIZAÇÃO DOS LAMINADOS COM DIFERENTES TEORES DE GRAFENO

Comportamento mecânico: Compressão



Referência

O laminado epóxi/fibra de vidro sem grafeno apresentou resistência à compressão de 240 MPa.

Teor de grafeno otimizado

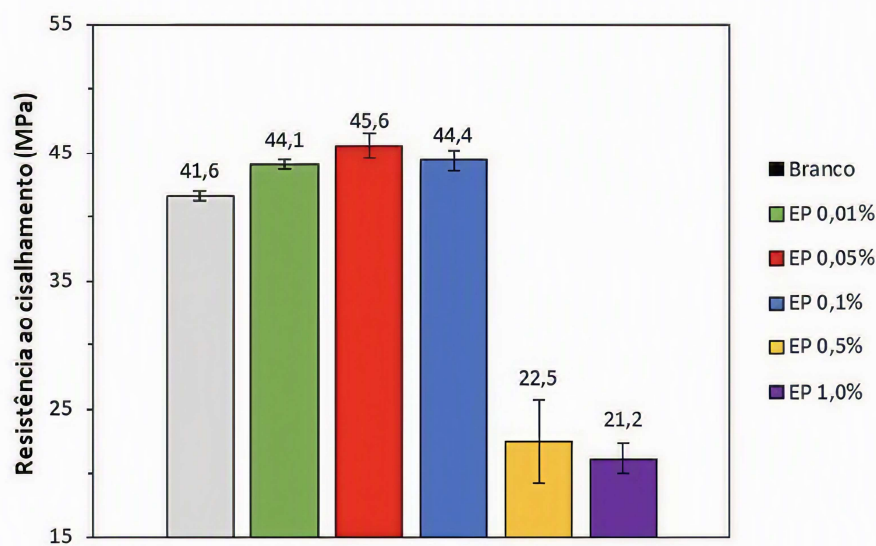
0,01 e 0,1% em massa aumentaram a resistência à compressão em +9,2% e +7,1%.

Limite

- 0,5 e 1,0% em massa não melhoraram a resistência à compressão;
- Maior concentração de partículas reduziu a propriedade para 203 MPa.

ROTA 1 — CARACTERIZAÇÃO DOS LAMINADOS COM DIFERENTES TEORES DE GRAFENO

Comportamento mecânico: Cisalhamento interlaminar



Referência

O laminado branco apresentou cisalhamento interlaminar de 42 MPa, valor típico para epóxi/fibra de vidro.

Melhor resposta

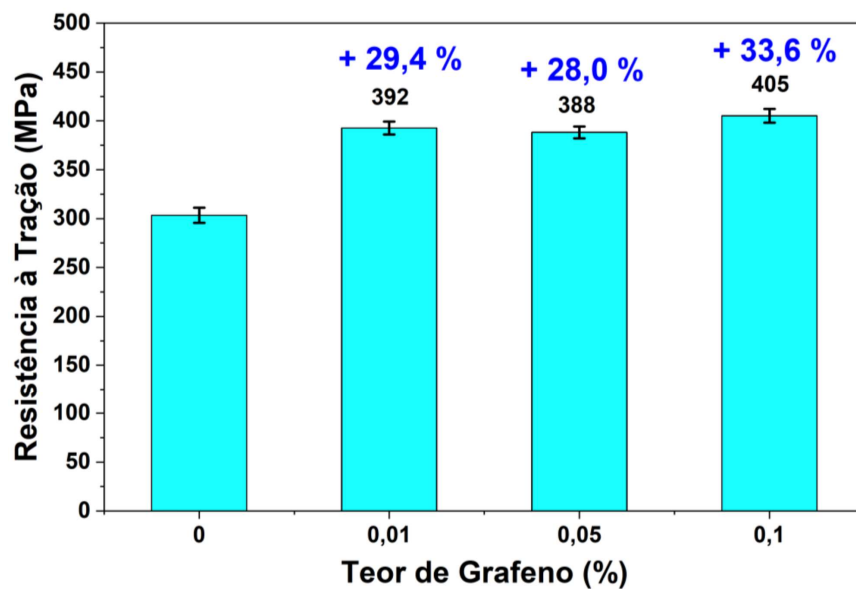
Teores entre 0,01 a 0,1% em massa de grafeno alcançaram aproximadamente 46 MPa, incremento de cerca de 9,6%.

Queda em concentrações mais altas

Concentrações superiores a 0,5% em massa causaram redução expressiva da propriedade.

ROTA 1 — CARACTERIZAÇÃO DOS LAMINADOS COM DIFERENTES TEORES DE GRAFENO

Comportamento mecânico: Resistência à tração



Referência

Resistência à tração do laminado branco: 303 MPa.

Ganhos obtidos

- 0,01% em massa: 392,7 MPa;
- 0,05% em massa: 388,2 MPa;
- 0,1% em massa: 405,2 MPa.

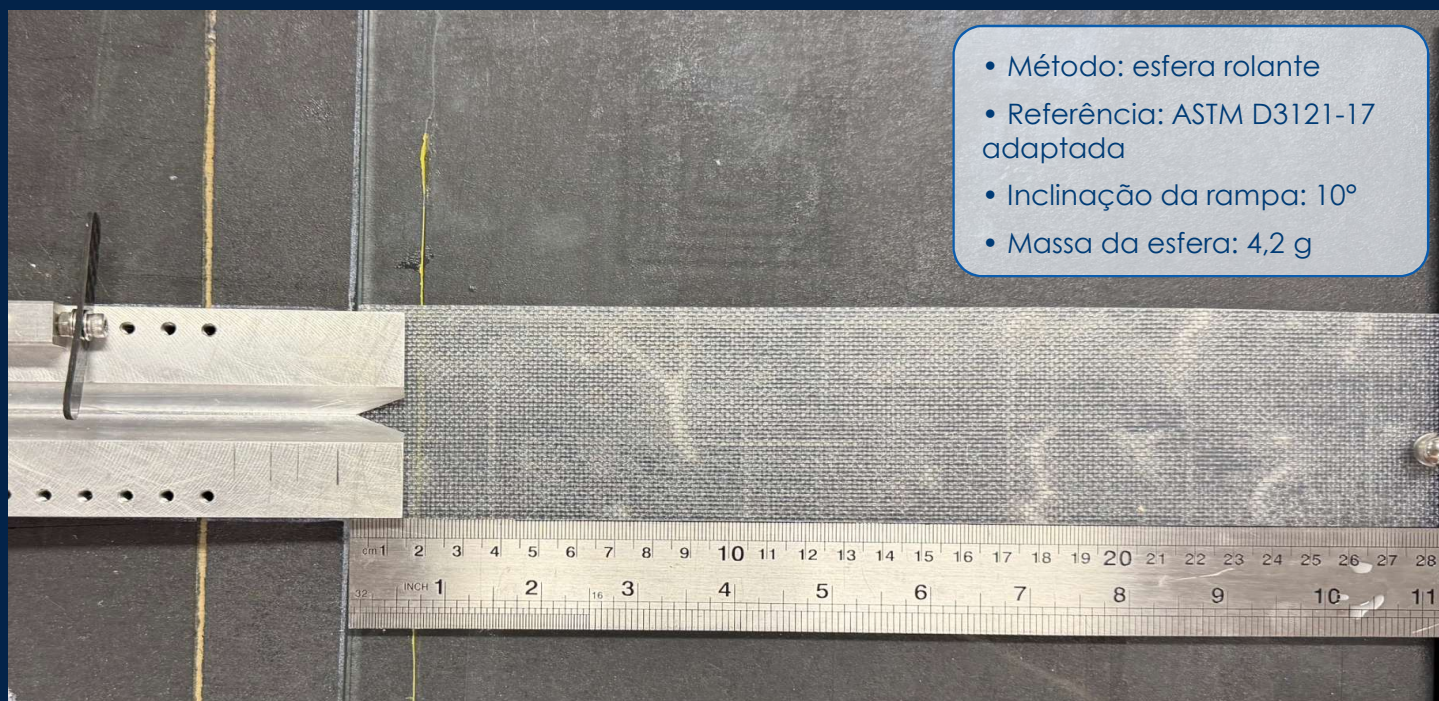
Resultado chave

0,1% em massa elevou a resistência em +33,6%, confirmando a eficiência de pequenas adições.

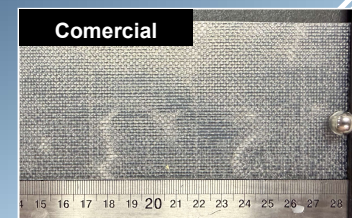
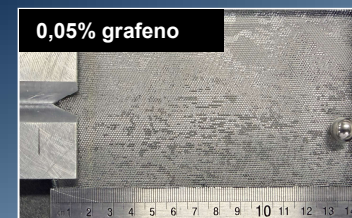
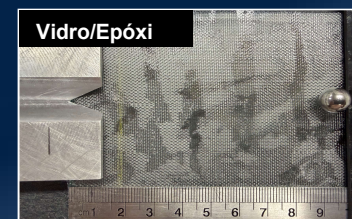
TEXIGRAPH

TEXIGLASS

ROTA 1 — FABRICAÇÃO TEXIGRAPH EM ESCALA SEMI INDUSTRIAL (prepreg com grafeno)



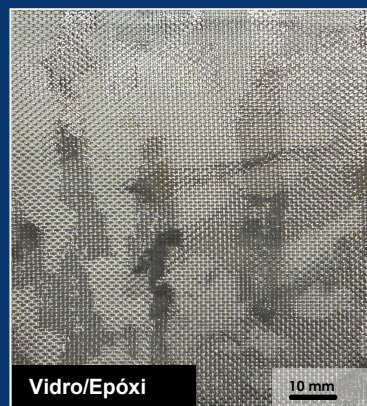
Menor distância percorrida pela esfera indica maior tack



TEXIGRAPH

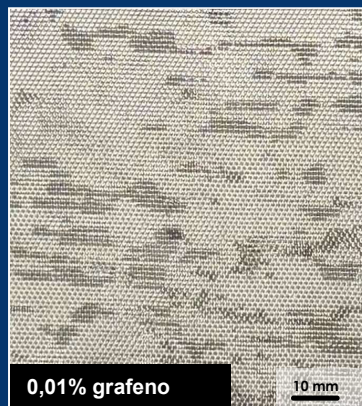
TEXIGLASS

ROTA 1 — FABRICAÇÃO DO LAMINADO COM TEXIGRAPH (prepreg)



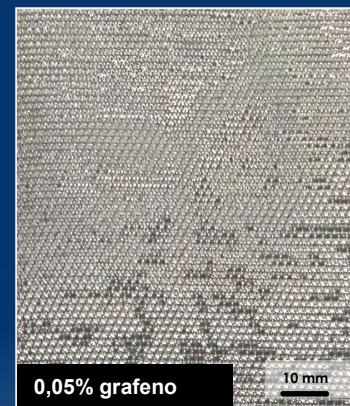
Vidro/Epóxi

10 mm



0,01% grafeno

10 mm



0,05% grafeno

10 mm



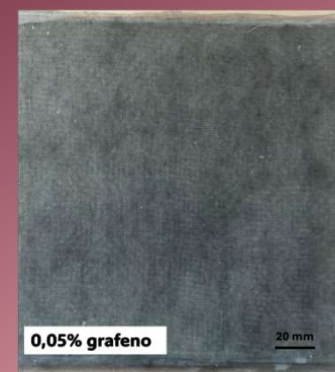
Vidro/Epóxi

20 mm



0,01% grafeno

20 mm



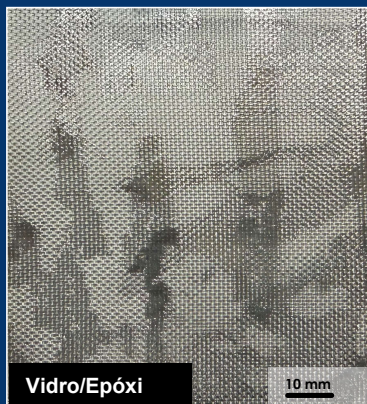
0,05% grafeno

20 mm

TEXIGRAPH

TEXIGLASS

ROTA 1 — FABRICAÇÃO DO LAMINADO COM TEXIGRAPH (prepreg)



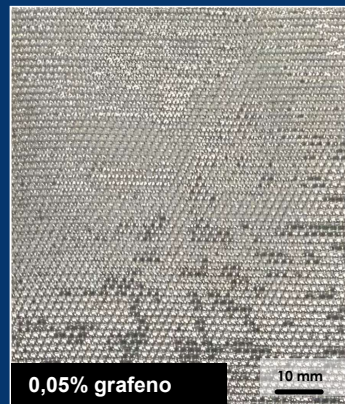
Vidro/Epóxi

10 mm



0,01% grafeno

10 mm

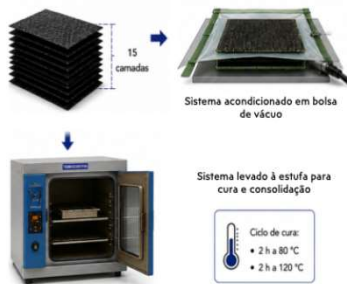


0,05% grafeno

10 mm



EMPILHAMENTO E CONSOLIDAÇÃO DAS PLACAS



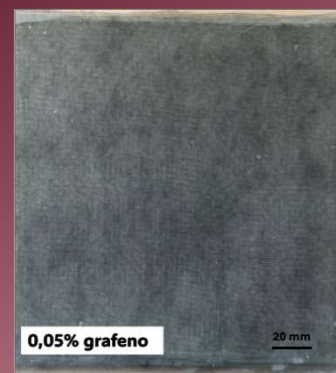
Vidro/Epóxi

20 mm



0,01% grafeno

20 mm

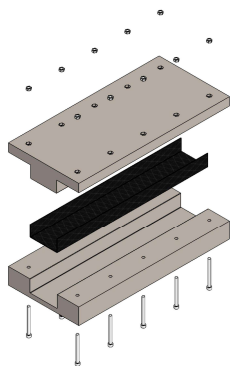


0,05% grafeno

20 mm

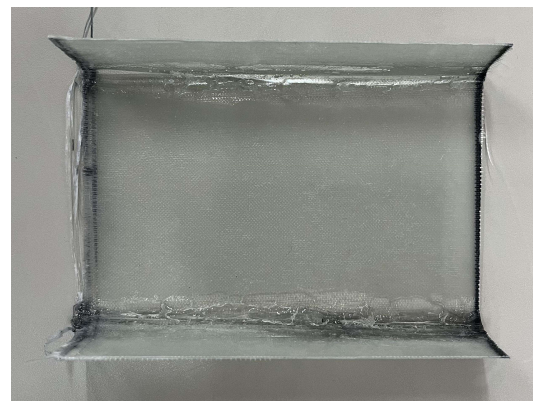
ROTA 1 — PRODUÇÃO E AVALIAÇÃO DOS PROTÓTIPOS FEITOS COM TEXIGRAPH

Projeto do ferramental



Molde em aço H13 (50 HRC), com cavidade de 556 × 94 mm para conformação do perfil C por laminação manual e prensagem.

Perfil fabricado



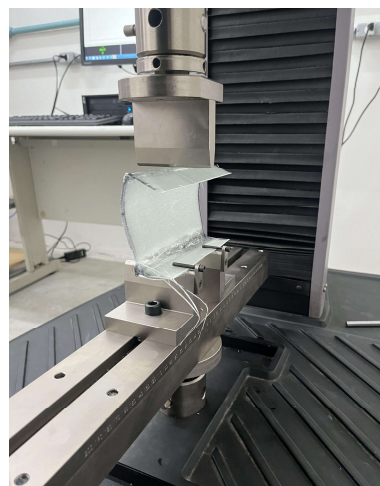
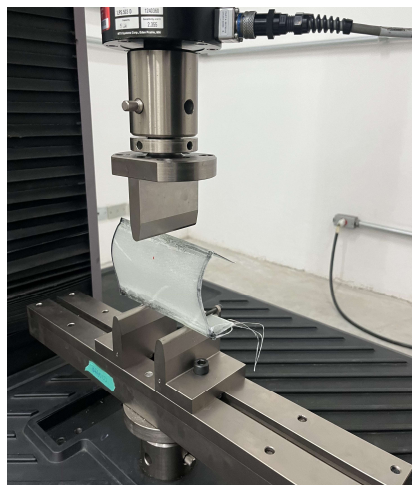
Geometria e fidelidade dimensional consistentes com o projeto, validando o processo de conformação nas três formulações.

TEXIGRAPH

TEXIGLASS

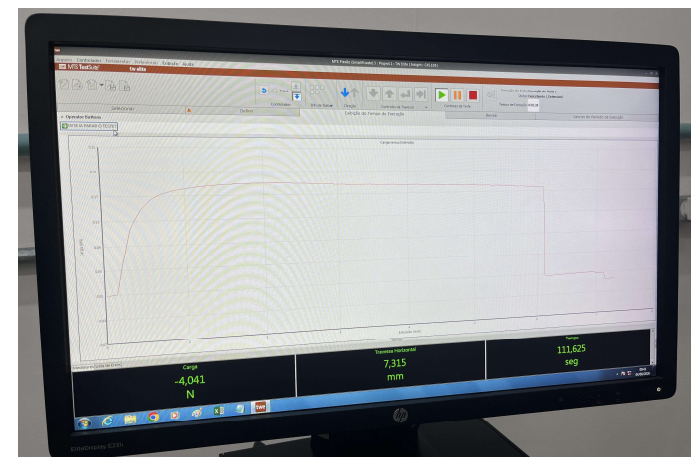
ROTA 1 — PRODUÇÃO E AVALIAÇÃO DOS PROTÓTIPOS FEITOS COM TEXIGRAPH

Ensaio em execução



Perfil C posicionado no dispositivo de flexão em três pontos, sob carregamento até a falha.

Curva carga versus extensão



Registro em tempo real da curva carga-extensão no software MTS TestSuite, utilizado para o cálculo da resistência e do módulo em flexão.

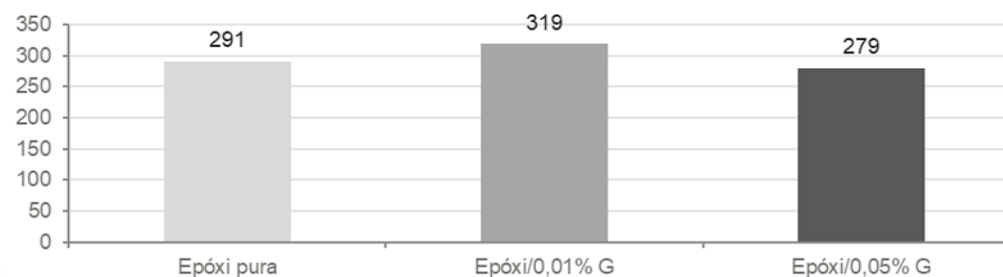
ROTA 1 — RESULTADOS

Síntese dos resultados

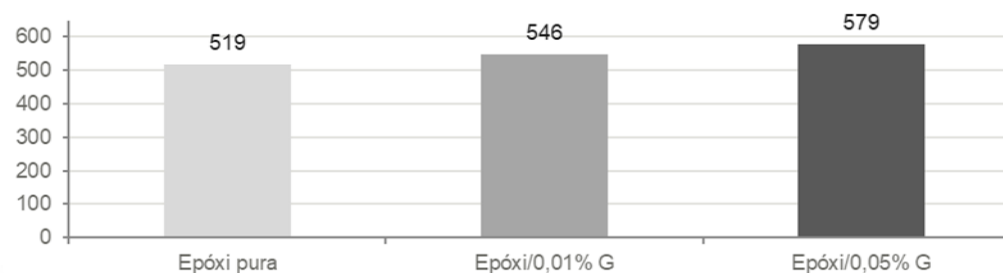
Formulação	Flexão (MPa)	Variação	Módulo (MPa)	Variação
Epóxi pura	290,8	—	518,6	—
0,01% G	318,5	+9,5%	546,4	+5,4%
0,05% G	279,0	-4,1%	578,6	+11,6%

- ✓ Rigidez: aumento de até 11,6% com a incorporação de grafeno.
- ✓ Melhor resistência à flexão: 0,01% de grafeno (+9,5% = 318,5 MPa).
- ✓ 0,05% de grafeno: maior módulo elástico, porém menor resistência máxima.
- ✓ Melhor formulação: 0,01% em massa de grafeno, apresentando o melhor equilíbrio entre rigidez e resistência mecânica.

Resistência à flexão (MPa)



Módulo elástico (MPa)



CONCLUSÃO - TEXIGRAPH

Síntese dos resultados científicos, tecnológicos e de inovação alcançados

Objetivos alcançados

Consolidou-se uma plataforma nacional para obtenção de resinas nanoestruturadas e preregs com grafeno, validada da escala laboratorial até a aplicação em ambiente relevante.



Desafios superados

O aumento de custos de matérias-primas e insumos após a pandemia inviabilizou parte da escala semi-industrial; estratégias alternativas preservaram os objetivos técnicos e científicos.



Cooperação e transferência

A rede de cooperação com universidades e institutos de pesquisa foi fortalecida, e a resina desenvolvida já foi comercializada para aplicação em veículos aéreos não tripulados.



Proteção da inovação

A empresa optou pelo segredo industrial para proteger formulações e processos, preservando a vantagem competitiva e o potencial de exploração comercial da tecnologia.



Os recursos investidos pela FINEP contribuíram efetivamente para a geração de conhecimento, a formação de competências tecnológicas e o desenvolvimento de uma tecnologia nacional com elevado potencial de aplicação industrial e geração de valor para o país

AGRADECIMENTOS



Espaço D17