cbecimat26
26° Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais
22 a 26 de novembro de 2026
Costão do Santinho
Florianópolis-SC

DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE COMPÓSITOS LAMINARES COM MATERIAIS AVANÇADOS PARA APLICAÇÕES BALÍSTICAS

Andressa Antunes Carneiro*[1]; Dionisio da Silva Biron[1]; Daniele Perondi[1]; Iaci Miranda Pereira[2]; Ademir Jose Zattera[3]
[1] Unidade de Pesquisa e Desenvolvimento UCSGRAPHENE®, Universidade de Caxias do Sul (UCS), Caxias do Sul, RS, Brasil
[2] Centro Tecnológico do Exército (CTEx), Laboratório de Materiais, Rio de Janeiro, RJ, Brasil
[3] Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos e Tecnologias (PGEPROTEC), Universidade de Caxias do Sul (UCS), Caxias do Sul, RS, Brasil
*Autor correspondente, e-mail: aacarneiro@ucs.br

Introdução e Objetivo

Contexto Balístico: Compósitos laminares associam tecidos de alto desempenho e matrizes poliméricas para dissipação eficiente de energia cinética.
Matriz Modificada: Filmes de PEBD aditivados com 0,01% em massa de nanoplaquetas de grafeno (NPG) aprimoram a adesão interfacial e retardam trincas.
Arquitetura Híbrida: Combinação de tecidos primários (Aramida ou UHMWPE) com reforços secundários (Manta de Vidro - MV ou Manta de Sisal - MS).
Objetivo Principal: Desenvolver e avaliar o desempenho balístico (NBR 15000 adaptada, disparos de 9 mm) de compósitos laminados consolidados em autoclave.

Metodologia

Matriz & Filmes: Extrusão duplarrosca de PEBD + 0,01% NPG (125 a 190 °C) e sopro de filme em monorrosca.
Configurações dos Grupos (10 e 20 Camadas): Conforme apresentado na Tabela 1 e ilustrado na Figura 1.

Grupos	Nomenclatura	PEBD+0,01NPG (n° camadas)	MV (n° camadas)	MS (n° camadas)	TA (n° camadas)	PEU (n° camadas)
G.A	G.A-MV 10TA	13	4	-	10	-
	G.A-MV 20TA	23	4	-	20	-
G.B	G.B-MS 10TA	13	-	4	10	-
	G.B-MS 20TA	23	-	4	20	-
G.C	G.C-MV 10TPEU	13	4	-	-	10
	G.C-MV 20TPEU	23	4	-	-	20
G.D	G.D-MS 10TPEU	13	-	4	-	10
	G.D-MS 20TPEU	23	-	4	-	20

Tabela1. - Composição dos compósitos laminares.

Consolidação Autoclave: Moldagem sob pressão em placas de alumínio (130 °C, patamares de 1 a 7 bar, resfriamento a 100 °C) (Figura 1).
Ensaio Balístico: 5 disparos de 9 mm FMJ a 5 m (velocidade cronografada: 396,9 a 407,0 m/s; NBR 15000).

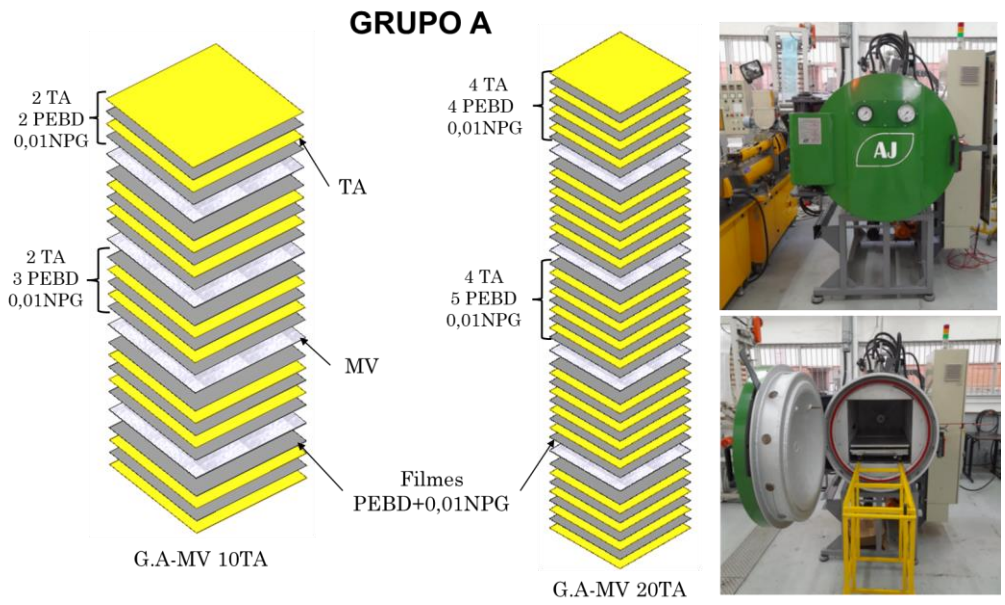


Figura 1. Esquema de empilhamento do compósito laminado híbrido e fotos do processo em autoclave.

Resultados e Discussão

<u>Retenção Balística & Nível II (ABNT NBR 15000):</u>

UHMWPE 20 Camadas (G.C e G.D): Alcançaram 100% de retenção dos projéteis (0 perfurações em 5 disparos), satisfazendo a proteção de Nível II.
Tecidos de Aramida: Registraram perfurações parciais ou totais nas espessuras testadas (Figura 3).

<u>Análise Comparativa dos Reforços Secundários (20T PE/UHMWPE):</u>

Deformação Posterior (Trauma Balístico): O laminado com Manta de Sisal (G.D) apresentou deformação máxima de 44,1 mm (12,2% menor que a Manta de Vidro - 49,5 mm), demonstrando maior potencial para mitigação de trauma.
Espessura Estrutural Final: O laminado com Manta de Vidro (G.C) atingiu espessura de 8,8 mm (35,3% mais fino que o Sisal - 13,6 mm), otimizando a compacidade.



	v (mm)	ε (mm)	e (mm)	Disparos (und.)	Projétil	Perfuração
G.A-MV 10TA	401,6	21,0	3,7	5	9 mm	3
G.A-MV 20TA	400,6	20,6	6,5	10	9 mm	8
G.B-MS 10TA	396,9	15,9	9,1	5	9 mm	5
G.B-MS 20TA	402,6	18,1	11,2	5	9 mm	5
G.C-MV 10TPEU	401,1	11,6	4,7	5	9 mm	5
G.C-MV 20TPEU	404,6	49,5	8,8	5	9 mm	0
G.D-MS 10TPEU	407	19,9	11,8	5	9 mm	5
G.D-MS 20TPEU	401,5	44,1	13,6	5	9 mm	0

v: velocidade média (m/s)
ε: deformação máxima das placas (mm)
e: espessura das placas (mm)

Figura 3. Imagem do Ensaio Balístico e tabela dos dados compilados no ensaio balístico realizado.

Conclusões

Nível Balístico II: A sinergia entre PEBD/0,01% NPG e 20 camadas de UHMWPE consolidada em autoclave garantiu 100% de retenção balística.
Mitigação de Trauma: O reforço de Manta de Sisal e recomendado como potencial na redução da deformação posterior (trauma).
Compacidade Estrutural: A Manta de Vidro é indicada para aplicações onde a menor espessura final é o requisito crítico.

Referências e Agradecimentos

Agradecimentos: À CAPES, CNPq, FINEP, UCSGRAPHENE, CTEx e PGEPROTEC pelo suporte financeiro e infraestrutura.

RANA, K. et al. Aramid Fibre Composites for Ballistic Impact Protection: A Mechanistic Review of Recent Advances. Applied Composite Materials, 2026.
MIAO, Y.; YANG, D.; XIN, B. Anti-ballistic properties of aramid fabrics and composites: A review. AATCC Journal of Research, v. 8, p. 20–27, 2021.
JOSHI, A.; MISHRA, A.; SAXENA, V. K. Impact response and energy absorption mechanisms of UHMWPE fabric and composites in ballistic applications: A comprehensive review. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 2024.
GAUR, P. et al. Graphene-modified polymer composites for ballistic and impact protection: A comprehensive review with design rules. International Journal of Protective Structures, 2026.