

# **EFEITO DO IMPACTO BALÍSTICO SOBRE O COMPORTAMENTO MECÂNICO DE UM COMPÓSITO FIBRA DE VIDRO/RESINA EPOXI DESTINADO À BLINDAGEM**

**J.E.L. da Silva Junior<sup>(1)</sup>, J.R.M.d'Almeida<sup>(2)</sup>**

(1) Departamento de Engenharia Mecânica, DEM, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, rua Marquês de São Vicente, 225, Gávea, Rio de Janeiro RJ, 22453-900.

(2) Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, rua Marquês de São Vicente, 225, Gávea, Rio de Janeiro RJ, 22453-900.

**Palavras-chave: Compósito, blindagem, comportamento mecânico, impacto balístico**

## **RESUMO**

O desenvolvimento de novos materiais para proteção balística representa um desafio contínuo para empresas especializadas e exércitos em todo o mundo. As blindagens devem oferecer proteção contra projeteis e estilhaços mas, ao mesmo tempo, devem permitir mobilidade aos automóveis e carros de combate, ou no caso de blindagens leves individuais, mobilidade para o combatente. As blindagens modernas são na realidade materiais compósitos laminados, compostos de lâminas superpostas de diversos materiais. O tipo de material e o número de camadas do compósito dependem fundamentalmente da classe da blindagem e do orçamento do projeto. O compósito que utiliza matriz de resina epóxi reforçada por fibra de vidro vem sendo cada vez mais utilizado na substituição parcial ou total de camadas das blindagens modernas. Isso pode ser feito para diminuir peso ou custo final. Este material é bem menos denso que o aço e tem o custo muito inferior as placas compósitas que utilizam fibra aramida. Este compósito pode também ser utilizado como o único material em blindagens leves de veículos.

Este trabalho avalia o efeito do impacto balístico sobre a rigidez residual após impacto de um compósito fibra de vidro/resina epóxi, na região próxima a um tiro. Seu objetivo é avaliar o dano e determinar a eficiência da blindagem para um próximo tiro a ser dado próximo ao primeiro.

O material estudado é uma placa laminada constituída de 20 camadas de tecido de fibra de vidro a  $\pm 45^\circ$ , com  $0,0184 \text{ g/cm}^2$ , em uma base de resina epóxi diglicidil éter do bisfenol A (DGEBA), que deveria resistir à impactos de armas de calibre 38. A dimensão da placa é de aproximadamente 300 x 300 mm.

Os ensaios balísticos foram realizados em uma linha de tiro composta por um provete, onde é fixado o armamento, um instrumento de medição de velocidade de projétil e o alvo onde é posicionado o corpo de prova. Este instrumento é chamado de Barreira Óptica e ele calcula a velocidade medindo o tempo que o projétil leva para percorrer uma certa distância. Uma ilustração esquemática deste dispositivo é mostrada na figura 1. Nos ensaios realizados os disparos foram feitos a uma distância de 10 m, conforme recomendado pela norma NIJ STD – 0108.01. Com o objetivo de maximizar o dano causado por um impacto foi utilizada a munição 9 mm Parabellum Full Metal Jack, fabricada pela CBC, com projétil de 124 grains de massa, cuja faixa velocidade do projétil varia entre 332 e 347 m/s (subsônica). Como a placa testada é de classe inferior à munição, os tiros foram passantes.

A partir da placa impactada foram usinados corpos de prova (cps) retangulares com medidas de 25,4 x 76,2 mm. Estes foram dispostos lado a lado, de tal forma que cada tiro ficasse alinhado com o centro de um deles. Para esta fase da pesquisa foi escolhida uma região próxima a um tiro, onde foram selecionados cinco cps, conforme é visto na figura 2.

Foram feitos ensaios de tração, apenas na região elástica para que os cps não sofressem dano uma vez que está prevista a realização posterior de ensaios de impacto Charpy

para os mesmos. Para definir uma tensão máxima para o ensaio de tração, que estivesse na região elástica, um cp foi primeiro ensaiado até o escoamento. Foi escolhido então um valor abaixo do limite de escoamento ( $\sim 0,7 \sigma_{esc}$ ) para o ensaio dos demais cps.

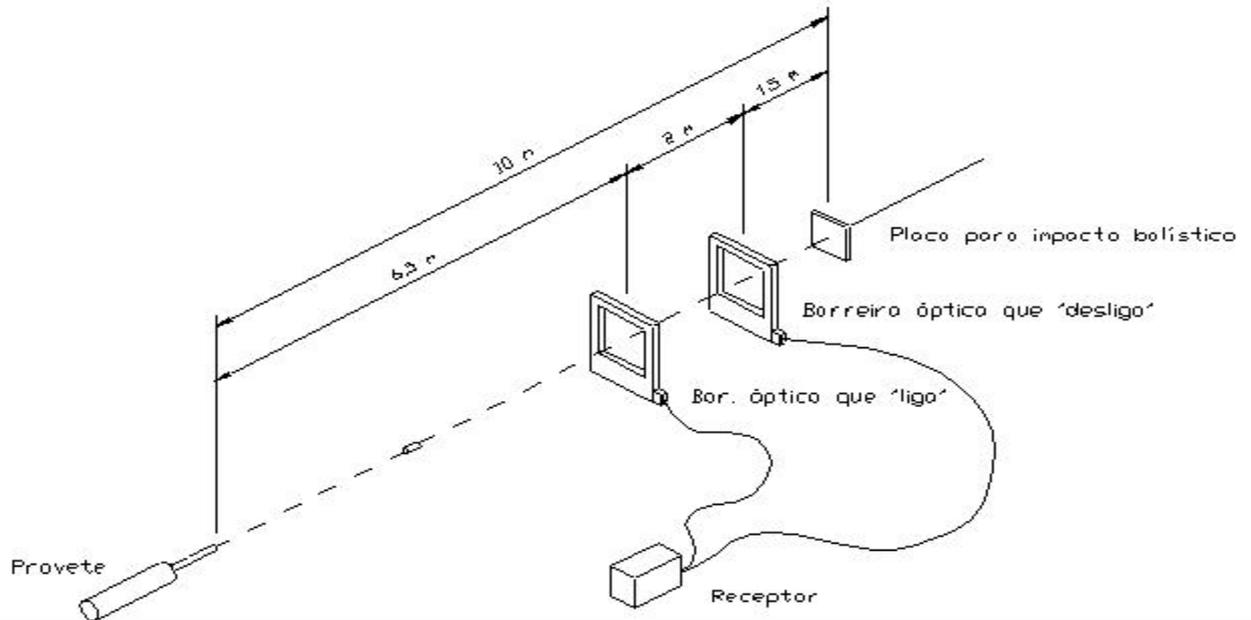


Figura 1- Disposição dos equipamentos e do corpo de prova para o ensaio balístico.

Para validar esta escolha de tensão máxima de ensaio e garantir que realmente não se estaria introduzindo dano ao material, foram feitos três ensaios consecutivos, a velocidade de 1 mm/min em um mesmo cp. Os valores do módulo de elasticidade calculados a partir do gráfico tensão X deformação foram aproximadamente iguais (tabela 1), confirmando que o material não sofreu nenhum dano devido a este carregamento (C. L. Chow e J. Wang, 1987).

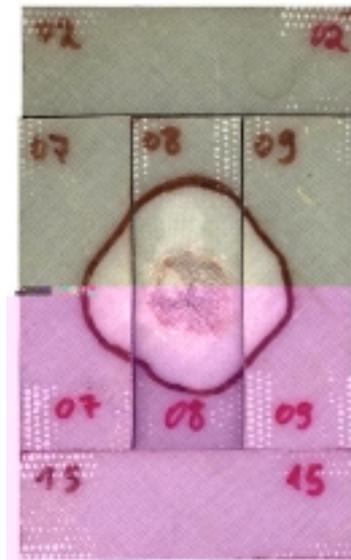


Figura 2- Vista dos cps ensaiados.

Como existiam diferenças de espessura significativas na placa, devido ao processo de fabricação, houve a necessidade de corrigir os valores do módulo de elasticidade para cada cp. A quantidade de tecido de fibra de vidro não variava (20 camadas), então a diferença de

volume do cp se deu pela variação da quantidade de resina. Sendo assim calculou-se o módulo de elasticidade corrigido através de:

$$E_{\text{corrigido}} = E_{\text{medido}} / M_f \quad (1)$$

onde  $M_f$  é a massa percentual de fibra.

Os resultados experimentais e os valores corrigidos estão mostrados na tabela 2.

Ensaio	Módulo de Elasticidade (GPa)
Primeiro	9,89
Segundo	9,72
Terceiro	9,61

Tabela 1- Rigidez para ensaios consecutivos em um mesmo cp.

CP	Mas. de fibra (%)	Mód Elast med. (GPa)	Mód Elast cor. (GPa)
CP02	59.72	12.93	21.65
CP07	67.09	14.81	22.08
CP08	70.65	3.12	4.42
CP09	69.85	14.87	21.29
CP15	71.11	15.27	21.47

Tabela 2- Resultados experimentais.

Pode-se observar que os cps que não sofreram o impacto diretamente têm praticamente o mesmo módulo de elasticidade ( $\bar{E} = 21,6 \pm 0,34$  GPa). O pequeno valor do coeficiente de variância ( $cv = sd/\bar{E} = 1,6\%$ , onde  $sd$  é o desvio padrão) indica uniformidade da resposta mecânica da área analisada. É interessante observar que dois desse cps (cps 07 e 09) apresentam uma área delaminada. Os resultados indicam, entretanto, que estas delaminações não foram suficientes para afetar o comportamento mecânico à tração (na região elástica) do material. Este resultado indica que as fibras não foram afetadas pela delaminação, que ocorreu preferencialmente em áreas da resina matriz. Assim, ao carregar os cps com delaminação a contribuição das fibras para o módulo de elasticidade do compósito foi semelhante àquela dos cps sem delaminação (cps 02 e 15). Como o módulo das fibras ( $E_f \cong 80$  GPa) é muito superior ao módulo da matriz ( $E_m \cong 2,5$  GPa), a presença da área delaminada foi irrelevante para a propriedade analisada (R. F. Gibson, 1994).

O cp impactado apresentou um valor bem menor para o módulo de elasticidade. Isto indica que neste cp houve uma geração de danos maior e diferente em relação a região vizinha, ou seja, em relação aos cps com delaminação (cps 07 e 09).

O resultado encontrado é indicativo de que houve ruptura das fibras além do diâmetro de 9 mm referente a área perfurada pelo impacto. Além disto a largura residual no cp impactado (cerca de 8,18 mm de cada lado) é pequena. Como as fibras estavam dispostas a  $\pm 45^\circ$  neste compósito, pode-se esperar uma perda na eficiência do reforço em relação a direção longitudinal do carregamento. Isto ocorre pela falta de “continuidade” das fibras na região afetada pelo tiro, mesmo se elas estivessem intactas.

Os resultados obtidos indicam que na situação de um tiro passante a área danificada é bastante restrita. Áreas adjacentes, mesmo com delaminação, não sofreram perda da sua eficiência em relação à tração na região elástica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

C. L. Chow e J. Wang, 1987, “An anisotropic theory of elasticity for continuum damage mechanics”, Int. J. of Fracture, vol 33, pp. 3-16.

R. F. Gibson, 1994, “Principles of Composite Material Mechanics”, McGraw-Hill, New York, chapter 9.