EFEITO DA ESPESSURA EM LAMINADOS DE TECIDO DE ARAMIDA SUBMETIDOS AO IMPACTO BALÍSTICO COM MUNIÇÃO 7,62 MM

F. de O. Braga[1], E.P. LIMA JR., S. N. Monteiro
Seção de Engenharia Mecânica e de Materiais (SE/4), Instituto Militar de Engenharia, Praça General Tibúrcio, 80, 22290-270, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
[1]fabio_obraga@yahoo.com.br

RESUMO

Devido ao aprimoramento de armas e munições, atenção tem sido dada ao desenvolvimento de novos materiais para resistirem a impactos balísticos. Para projéteis de alta energia, como 7,62 mm, materiais de alta resistência são necessários, mas, individualmente, estes utilizam-se de placas relativamente espessas, diminuindo a mobilidade do combatente. Para este tipo de munição, sistemas de blindagem multicamada (SBM) são os preferidos, pois combinam propriedades de diferentes materiais. O objetivo deste trabalho é investigar o efeito da espessura no comportamento balístico de laminados de aramida, verificando a espessura mínima em que não ocorre perfuração da blindagem. Ensaios balísticos foram executados, e o aspecto macroscópico das amostras foi avaliado. Os resultados mostraram uma mudança no comportamento balístico dos laminados com o aumento da espessura, até o alvo ser capaz de capturar o projétil próximo a 96 camadas (~50 mm). Isto é significativamente mais espesso que um SBM necessitaria para impedir a perfuração.

Palavras-chave: Compósitos laminados, tecido de aramida, blindagem multicamada, ensaios balísticos.

INTRODUÇÃO

As guerras e conflitos armados são motivo de preocupação pessoal, sendo considerados fatos indesejáveis, especialmente para cidadãos de nações

democráticas. Sendo a ameaça constante, os exércitos e departamentos de defesa nacionais buscam desenvolver suas tecnologias militares, a fim de obter diferencial competitivo para garantir a segurança dos seus cidadãos caso a ameaça venha a se confirmar.

Tendo em vista o desenvolvimento de armas e munições, à medida que estas vão se tornando mais potentes e lesivas, maiores se tornam os desafios para os engenheiros e pesquisadores da área de materiais ao desenvolverem novas soluções para blindagens balísticas. Tecidos de fibras sintéticas de alto desempenho, como a aramida (Kevlar® e Twaron®), e polietileno de ultra-alto peso molecular (Dyneema® e Spectra®), se destacam na proteção contra munições leves, como 0.38 e 9 mm[1-3]. Em relação à munição de alta energia, como 7,62 mm, são necessários, individualmente, materiais de alta resistência, em espessuras relativamente elevadas, que prejudicam a mobilidade do combatente. Para espessuras aceitáveis, a utilização de um único material costuma ser problemática, devido às limitações inerentes ao material. Para este tipo de munição, em geral, sistemas de blindagem multicamada (SBMs) são preferidos, pois combinam propriedades de diferentes materiais [4-5].

Portanto, o objetivo deste trabalho é investigar o efeito da espessura no comportamento balístico de laminados de tecido de aramida, quando submetidos ao impacto balístico com munição 7,62 mm, verificando a espessura mínima em que ocorre a captura do projétil.

MATERIAIS E MÉTODOS

O tecido de aramida utilizado neste trabalho, de trama S745 (*plain weave*) e gramatura 460 g/m², foi fornecido pela empresa LFJ Blindagens, Comércio e Serviços S.A. (Conquext), sob a forma de painéis de 8 camadas impregnadas com borracha cloroprênica (modelo MENEOKV08). Em cada corpo de prova balístico, foram unidos vários painéis MENEOKV08 com adesivo à base de poliuretano, a fim de que a quantidade de camadas individuais fosse de 16, 48, 72 e 96 (8, 25, 37,5 e 50 mm de espessura, respectivamente).

Os materiais foram submetidos ao impacto balístico. O dispositivo de disparo B290 (fabricado pela HPI – *High Pressure Instrumentation*), disponível no Centro de Avaliações do Exército (CAEx), consiste de um provete com mira à laser (Fig. 1a).

Para a medição de velocidade foi empregado o radar *doppler* SL-520P (fabricado pela Weibel). Foi utilizada munição 7,62x51 mm M1, com massa de 9,7 g. O material a ser testado (Fig. 1b) foi posicionado a 15 m do provete, conforme previsto na norma ABNT 15000[5]. O disparo foi realizado na horizontal (θ=0º).

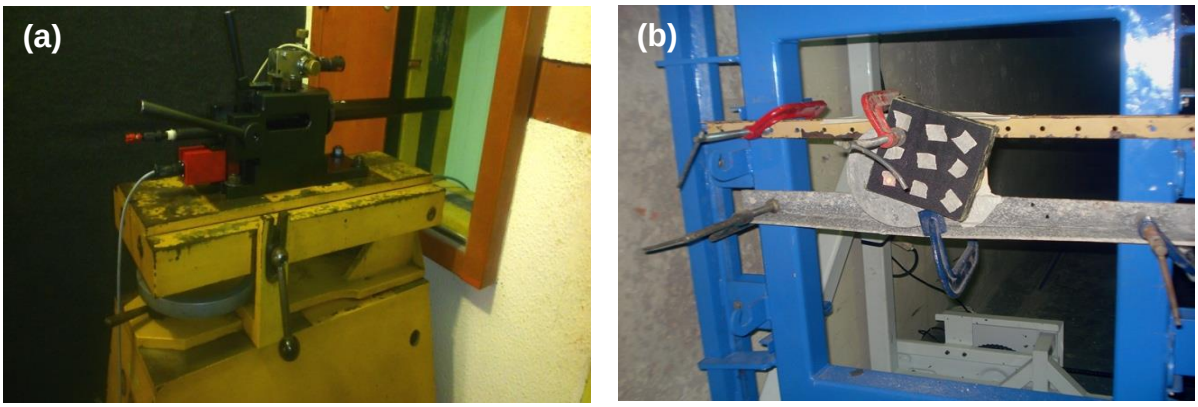

Fig. 1. Arranjo experimental do ensaio balístico: (a) provete com mira à laser; (b) corpo-de-prova montado em frente do bloco de alumínio com orifício central.

A variação da energia cinética do projétil foi relacionada à energia absorvida pela blindagem (E_{abs}), sendo utilizada para comparação entre os laminados de diferentes espessuras, sendo calculada pela Eq. (A).

$$E_{abs} = m\left(v_i^2 - v_r^2\right)/2 \qquad \text{(A)}$$

Onde: m = 9,7 g massa do projétil; v_i = velocidade de impacto do projétil na blindagem; v_r = velocidade residual do projétil após o impacto.

Foi feita a comparação da espessura limite do laminado deste trabalho com a espessura de um SBM de trabalho anterior[4] que utiliza um cerâmico (Al_2O_3+4%Nb_2O_5) como camada frontal (10 mm de espessura), laminados de Kevlar® como camada intermediária (10 mm) e liga de alumínio 5052 H34 como camada posterior (5 mm), num total de 25 mm.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tab.1 mostra as velocidades de impacto (V_i) e residual (V_r) medidas no ensaio balístico, para as diferentes espessuras dos laminados de aramida.

Tab. 1. Velocidade de impacto (Vi) e residual (Vr) do projétil obtidos no ensaio balístico para os laminados de aramida com diferentes espessuras.

Espessura laminado (mm)	**N° de camadas**	**V_i (m/s)**	**V_r (m/s)**
8,00	16	861 ±7	835 ±10
25,0	48	859 ±6	732 ±30
38,0	72	843 ±6	194 ±310
50,0	96	857 ±3	0

Os dados da Tab. 1 podem ser melhor visualizados na Fig. 2. Observa-se que, com o aumento da espessura do laminado, a velocidade residual diminui, seguindo com boa aproximação uma função quadrática (ajuste R^2 = 0,98138, p-valor = 0,01862). Assim, o modelo ajustado segue a Eq. (B).

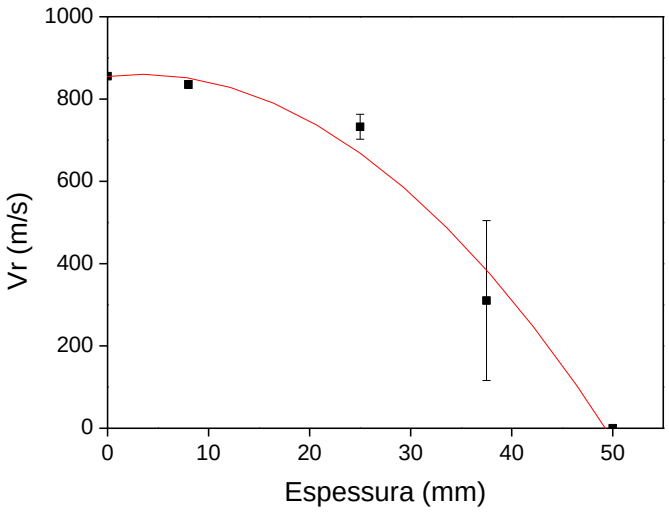

Fig. 2. Velocidade residual do projétil após impacto com os alvos de aramida, em função da espessura dos laminados.

$$Vr\ (t/mm) = 856{,}02891 + 2{,}64152t - 0{,}40571t^2 \qquad (B)$$

Resolvendo-se a Eq. (B), obtém-se a espessura t = 49,3 mm como a mínima para o laminado capturar totalmente o projétil 7,62 mm (V_r = 0), com velocidade de impacto de cerca de 850 m/s. Os mesmos resultados podem ser visualizados do ponto de vista de energia absorvida, utilizando a Eq. (A). A Tab. 2 mostra os valores de energia de impacto (E_i), energia residual (E_r) e percentagem da energia do projétil absorvida (%E_{abs}). Estes dados estão ilustrados na Fig. 3.

Tab. 2. Energia absorvida pelos laminados de aramida com diferentes espessuras.

Espessura laminado (mm)	**N° de camadas**	**E_i (kJ)**	**E_r (kJ)**	**%E_{abs}**
8,00	16	3,60 ±0,06	3,39 ±0,08	6 ±1
25,0	48	3,58 ±0,05	2,61 ±0,21	27 ±6
37,5	72	3,45 ±0,05	0,63 ±0,53	82 ±15
50,0	96	3,57 ±0,03	0	100

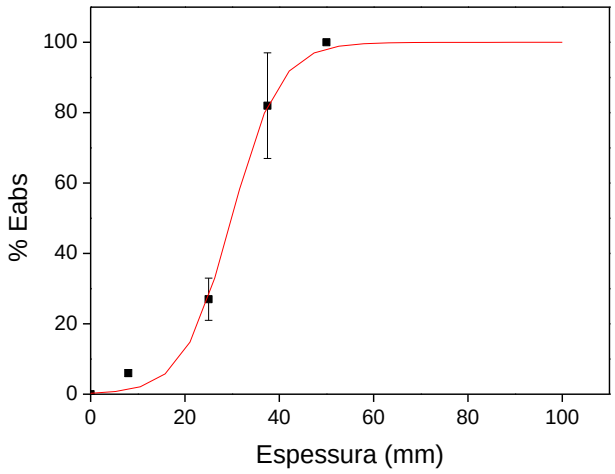

Fig. 3. Percentual de energia absorvida pelos alvos em função da espessura

A Fig. 3 mostra que os laminados de pequenas espessuras (até 20 mm) quase não tem efeito na energia do projétil, absorvendo menos que 20% da energia de impacto. Tal tendência era esperada, em virtude da forma pontiaguda do projétil 7,62 mm, que tem facilidade em passar por entre os fios da trama de aramida. Como mostra a Fig. 4a, na passagem do projétil pelo laminado, ocorre apenas a fratura de poucas fibras na região de impacto, não havendo resposta do laminado nas regiões mais distantes da região de impacto. Em espessuras acima de 20 mm (especialmente acima de 37,5 mm ou 72 camadas), a taxa de perda de energia com o aumento de espessura é maior. A Fig. 4b e 5 mostram que passam a existir outros

mecanismos de falha, como deformação dos fios primários, deformação dos fios secundários, e delaminação das camadas, que são respostas da estrutura como um todo, ampliando a distribuição da carga para regiões mais afastadas do impacto[3].

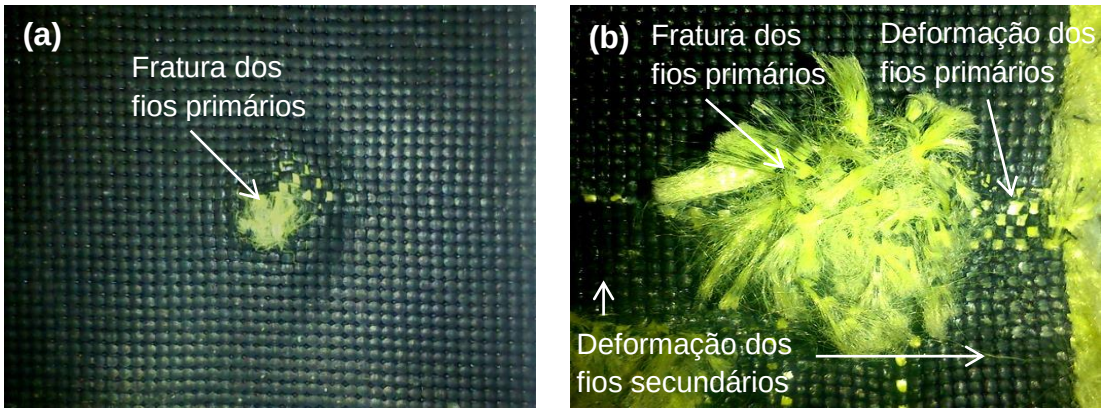

Fig. 4. Dano aos laminados mediante a saída do projétil: (a) 16 camadas e (b) característico de 48 e 72 camadas.

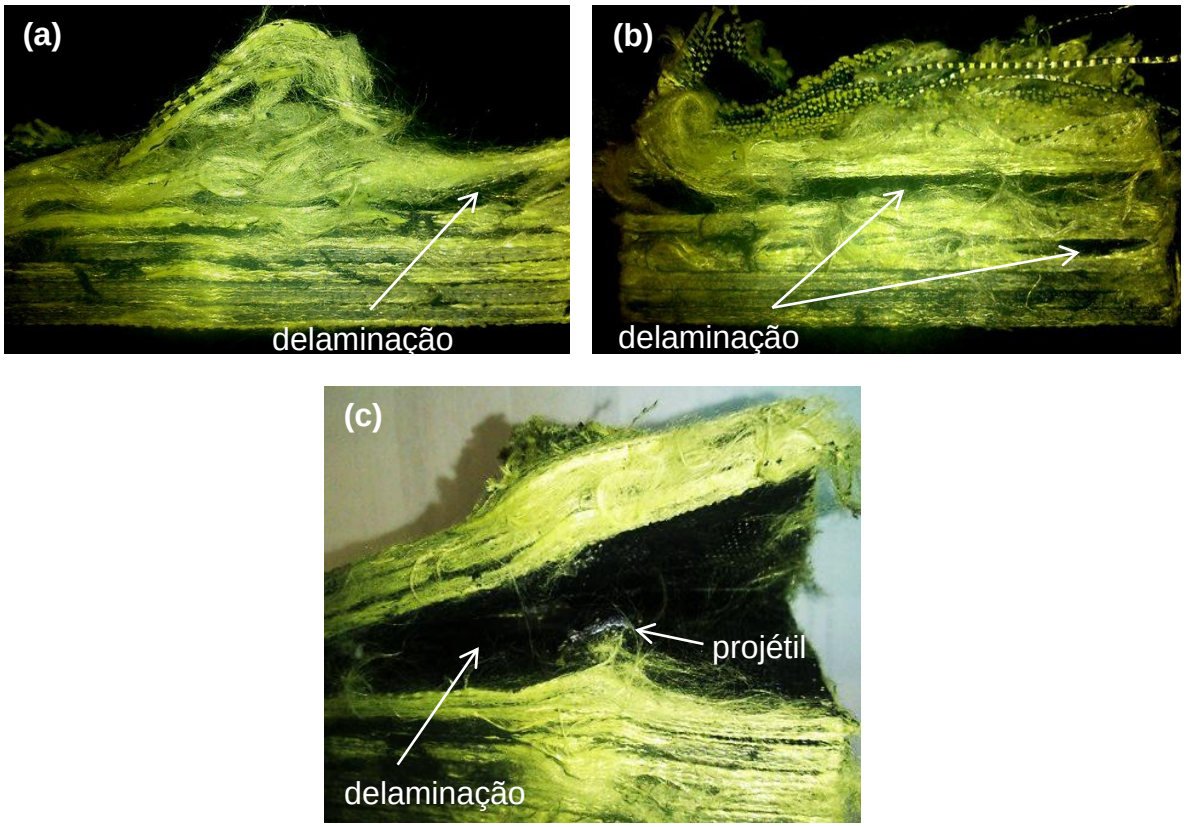

Fig. 5. Seções transversais dos laminados após o impacto balístico: (a) 48 camadas; (b) 72 camadas e (c) 96 camadas.

Próximo a 50 mm, o laminado finalmente é capaz de parar o projétil 7,62 mm. Esta espessura é considerada inviável para sistemas de blindagem pessoal (coletes), pois restringe altamente a mobilidade do combatente. Para se ter uma ideia prática, um colete com proteção só de laminado de aramida na frente e nas costas, teria um peso superior a 20 kg.

Este desempenho pode ser comparado com SBMs do tipo já mencionado, que conseguem não só parar o projétil, mas diminuir fortemente o trauma transmitido ao usuário em espessuras de 25 mm[4-5]. Portanto, para projéteis de alta energia como 7,62 mm, a proteção pessoal somente com laminados de aramida não é a mais adequada.

CONCLUSÕES

Mostrou-se com este trabalho que os laminados de tecido de aramida só conseguem conter os projéteis 7,62 mm (velocidade de impacto ~850 m/s) em espessuras da ordem de 50 mm (96 camadas). Observou-se uma mudança de mecanismo de falha com o aumento da espessura, de forma que em espessuras abaixo de 20 mm, o projétil passa com facilidade, e acima de 37,5 mm, deformações e delaminações fazem com que regiões afastadas do laminado ajudem na captura do projétil.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem o auxílio das agências brasileiras CAPES e CNPq, e ao CAEx, por viabilizar os ensaios balísticos.

REFERÊNCIAS

1. AKELLA, K.; NAIK, N.K. Composite armour – A review. **Journal of the Indian Institute of Science**, v. 95:3, p. 297-312, 2015.

2. WANG, L.; KANESALINGAM, S.; NAYAK, R.; PADHYE, R. Recent trends in ballistic protection. **Textiles and Light Industrial Science and Technology (TLIST)**, v. 3. p. 37-47, 2014.

3. CHEESEMAN, B.A.; BOGETTI, T.A. Ballistic impact into fabric and compliant composite laminates. **Composite Structures**, v. 61, p. 161-173, 2003.

4. MONTEIRO, S.N.; LIMA JR., E.P.; LOURO, L.H.L.; DA SILVA, L.C.; DRELICH, J.W. Unlocking function of aramid fibers in multilayered ballistic armor. **Metallurgical and Materials Transactions A**, v. 46A, p. 37-40, 2014.

5. MEDVEDOVSKI, E. Ballistic performance of armour ceramics: Influence of design and structure. Part 1. **Ceramics International**, v. 36, p. 2103-2115, 2010.

6. ABNT NBR 15000. **Blindagens para impactos balísticos - classificação e critérios de avaliação**. 2005.

TITLE

EFFECT OF THICKNESS ON ARAMID FABRIC LAMINATES SUBJECTED TO 7.62 MM AMMUNITION BALLISTIC IMPACT

ABSTRACT

Due to improvement of weaponry and ammunition, attention has been given to the development of new materials that resist to ballistic impact. To stop high energy projectiles, as 7.62 mm, high strength materials are necessary and, individually,, relatively thick pieces are required, affecting negatively the wearer mobility. For this type of bullet, multilayered armor systems (MAS) are preferred, because they combine properties of different materials. The objective of this work is to investigate the effect of thickness on the ballistic behavior of aramid fabric laminates, verifying the minimum thickness to avoid perforation. Ballistic tests were performed and the macroscopic aspect of the specimens was evaluated. The results showed a change of ballistic behavior of the laminates as the thickness increased until they are able to capture the projectile near 96 layers (~50 mm). This is significantly higher than the necessary thickness for a MAS to stop a high energy projectile.

Keywords: Laminate composites, aramid fabric, multilayered armor, ballistic test.