



MATERIAIS ELASTOMÉRICOS: ANÁLISE DE PENETRAÇÃO QUASE ESTÁTICA, IMPACTO DE BAIXA VELOCIDADE E ENSAIO BALÍSTICO.

Yago Sousa Costa¹, Wanderley Ferreira De Amorim Júnior ²

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo investigar o comportamento de elastômeros aplicados em sistemas de proteção balística, uma alternativa aos materiais convencionais, como o aço. A crescente demanda por soluções mais leves e eficientes em proteção de veículos blindados e guaritas motivou o estudo. Dois tipos de elastômeros, com e sem lona, foram selecionados e submetidos a testes balísticos com diferentes espessuras e camadas, visando entender os mecanismos de penetração e dissipação de energia. Os experimentos identificaram diversos mecanismos, como indentação, shear plug, bulging, radial motion e formação de trincas radiais, que contribuem para a absorção de energia. O projétil capturado não apresentou deformação, sugerindo que o elastômero absorve o impacto principalmente através de sua elasticidade e atrito. Este estudo contribui para o avanço no desenvolvimento de materiais compósitos para blindagem, destacando os elastômeros como uma alternativa promissora para aplicações que exigem leveza, flexibilidade e alta resistência a impactos.

Palavras-chave: Elastômeros, Blindagem balística, Mecanismos.

¹Aluno de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, UFCG, Campina Grande, PB, e-mail: yagosousacosta99@gmail.com

²Doutor, Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Mecânica, UFCG, Campina Grande, PB, e-mail: engenheiowanderley@gmail.com

MATERIAIS ELASTOMÉRICOS: ANÁLISE DE PENETRAÇÃO QUASE ESTÁTICA, IMPACTO DE BAIXA VELOCIDADE E ENSAIO BALÍSTICO.

ABSTRACT

The aim of this work is to investigate the behavior of elastomers used in ballistic protection systems, as an alternative to conventional materials such as steel. The growing demand for lighter and more efficient solutions for protecting armored vehicles and guardhouses motivated the study. Two types of elastomer, with and without canvas, were selected and subjected to ballistic tests with different thicknesses and layers, with the aim of understanding the mechanisms of penetration and energy dissipation. The experiments identified various mechanisms, such as indentation, shear plug, bulging, radial motion and radial crack formation, which contribute to energy absorption. The captured projectile showed no deformation, suggesting that the elastomer absorbs the impact mainly through its elasticity and friction. This study contributes to advances in the development of composite materials for armor, highlighting elastomers as a promising alternative for applications requiring lightness, flexibility and high impact resistance.

Keywords: Elastomers, Ballistic armor, Mechanisms.

1. INTRODUÇÃO

Os elastômeros fazem parte de uma categoria de substâncias conhecidas como polímeros. Estes são compostos por moléculas de grande tamanho e peso molecular, principalmente de natureza orgânica. Eles consistem em cadeias longas formadas por unidades repetitivas menores, chamadas monômeros, que se ligam entre si através de reações de polimerização, formando assim a macromolécula polimérica. Essas macromoléculas geralmente possuem uma estrutura principal composta por átomos de carbono ligados entre si por ligações covalentes (BLOW, 1971; CALLISTER JR., 2008).

Na área de proteção balística, o uso de aço como matéria-prima para construção de painéis é comum. No entanto, materiais compósitos têm ganhado destaque nessa aplicação, oferecendo uma excelente relação entre rigidez e densidade. O desenvolvimento de materiais mais leves para proteção balística, como em automóveis blindados e guaritas de segurança, tem sido uma tendência crescente (WAMBUA et al., 2007).

Uma alternativa interessante para esse tipo de material é a aplicação de elastômeros como componente em materiais compósitos. Os elastômeros são polímeros que possuem alta elasticidade. Em temperatura ambiente, quando submetidos a deformação, eles retornam ao seu estado original e podem ser deformados repetidamente, a pelo menos duas vezes o seu comprimento original. Poucos estudos têm sido desenvolvidos especificamente para esse tipo de material com foco em aplicações balísticas.

AHMAD et al. (2012) empregaram polietileno de peso molecular ultra elevado (UHMWPE) revestido com borracha natural NRL pré-vulcanizada em experimentos de impacto balístico. Eles observaram um incremento de 10% no limite balístico e de 17% na absorção específica de energia nos sistemas revestidos com NRL, em contraste com os sistemas sem revestimento.

Roland et. Al (2010) desenvolveu um estudo acerca de uma blindagem laminada elastômero-aço onde tinha um objetivo de estudar como diferentes espessuras de borracha podia modificar a V50, utilizando um calibre .50, conseguindo um aumento de até 60% no V50.

Portanto, o objetivo da presente pesquisa é de compreender os mecanismos de penetração do disparo na borracha, realizar testes balísticos na borracha, usando

número de camadas variáveis e espessuras variáveis e testar a sobreposição entre as camadas de borracha para se obter a melhor combinação em impactos;

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. MATERIAIS

De início, para a realização do teste balístico, foi feito uma pesquisa em mercado na cidade de Campina Grande – PB e então foram selecionados dois tipos de elastômeros mostrados na Figura 1 e Figura 2:

Figura 1. Elastômero sem lona



Fonte: Autoria própria

Figura 2. Elastômero com lona



Fonte: Autoria própria

Para uma melhor identificação, os elastômeros serão identificados segundo a codificação mostrada na Tabela 1.

Tabela 1. Codificação dos elastômeros.

Tipo do Elastômero	Código	Dimensões (mm)
Sem lona	E	140 x 155 x 5,5
Com lona	EL	140 x 155 x 9,5

Fonte: Autoria própria

Então, foi montado um suporte para as camadas de elastômero, onde é possível posicionar de frente ao atirador e fosse realizado o teste, a disposição do suporte é mostrada na Figura 3.

Figura 3. Protótipo da fixação



Fonte: Autoria própria

Chaves et al (1996) afirmou que uma placa de cerâmica de 12 mm é capaz de reduzir um impacto de um tiro de fuzil 7,62 mm a um impacto equivalente de um tipo de 9mm para a placa de retaguarda da blindagem, então, devido à dificuldade de se obter uma munição 7,62 mm, foi escolhido a munição CBC calibre 9mm luger ETOG 124gr, devido que a utilização do elastômero acontece como uma camada secundaria da proteção balística, possuindo uma velocidade de 338 m/s e uma energia de 459J,

2.1. MÉTODOS

Para a realização dos testes, foi montado um plano de tiro para o primeiro teste, podendo ser visível na Tabela 2.

Tabela 2. Primeiro plano de tiro.

Número do teste	Código	Distância do tiro (metros)	Camadas	Espessura Total (mm)
1	EL	5	1	9,5
2	EL	5	2	19
3	EL	5	3	28,5
4	E	5	5	27,5

Fonte: Autoria própria

Para o segundo teste também foi montado um plano de tiro, encontrado na Tabela 3.

Tabela 3. Segundo plano de tiro.

Número do teste	Código	Distância do tiro (metros)	Camadas	Espessura Total (mm)
1	E	5	55	302,5
2	E	5	55	302,5

Fonte: Autoria própria

Sendo necessário um local controlado para que fosse realizado os testes, foi escolhido o clube de tiro Shotgun, na cidade de Campina Grande-PB, os disparos foram realizados pelo atirador esportivo Walter Belarmino, a disposição do primeiro teste é mostrada na Figura 4, já a disposição do segundo é mostrada na Figura 5.

Figura 4. Disposição primeiro teste



Figura 5. Disposição segundo teste



Fonte: Autoria própria

Fonte: Autoria própria

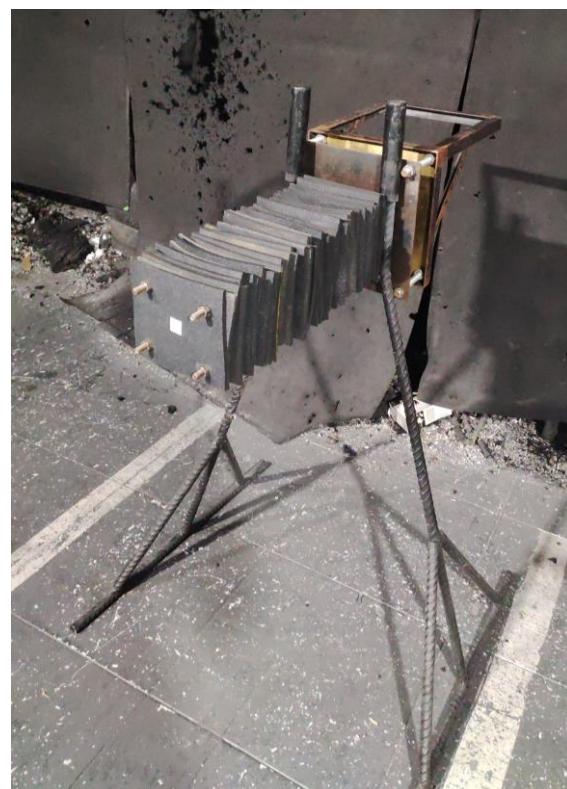
Temos na Figura 6 os alvos do primeiro teste, tanto o EL, quanto o E, já na Figura 7, temos somente o alvo do segundo teste, o E com 55 camadas.

Figura 6. Primeiro teste



Fonte: Autoria própria

Figura 7. Segundo teste



Fonte: Autoria própria

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para o primeiro teste, temos o resultado mostrado na Tabela 4.

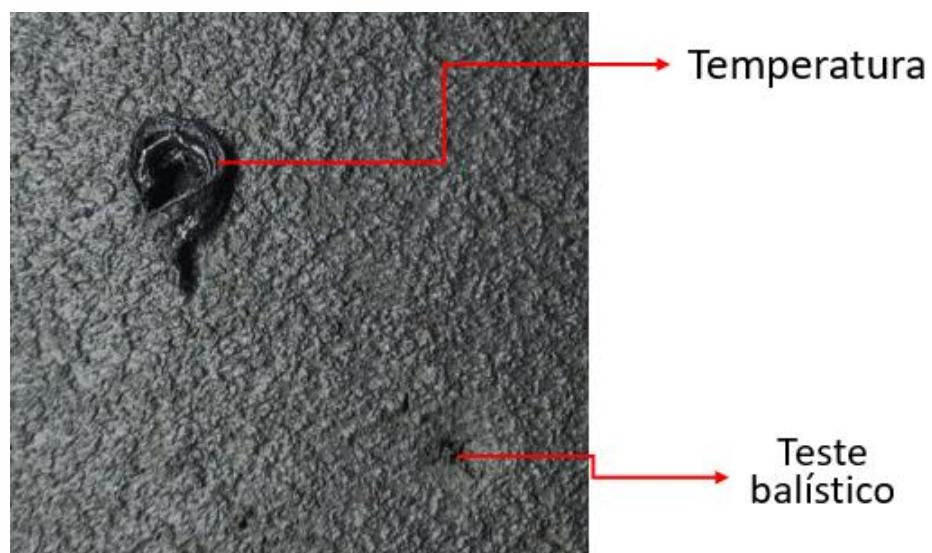
Tabela 4. Resultado primeiro teste.

Número do teste	Código	Distância do tiro (metros)	Camadas	Espessura Total (mm)	Perfurou?
1	EL	5	1	9,5	Sim
2	EL	5	2	19	Sim
3	EL	5	3	28,5	Sim
4	E	5	5	27,5	Sim

Fonte: Autoria própria

Apesar de a proteção balística não ter suportado o primeiro teste, obtivemos resultados importantes para que fosse possível entender o mecanismo de penetração do disparo, primeiramente, segundo (Dou Hong, 2021) e (Yangziyi Ji, 2023) a temperatura pode ser desprezada na penetração por conta da alta velocidade do disparo e conseguimos observar isso nos nossos testes, a Figura 8 mostra a diferença de penetração de um disparo e de um objeto quando esquentado e colocado contra nossa borracha.

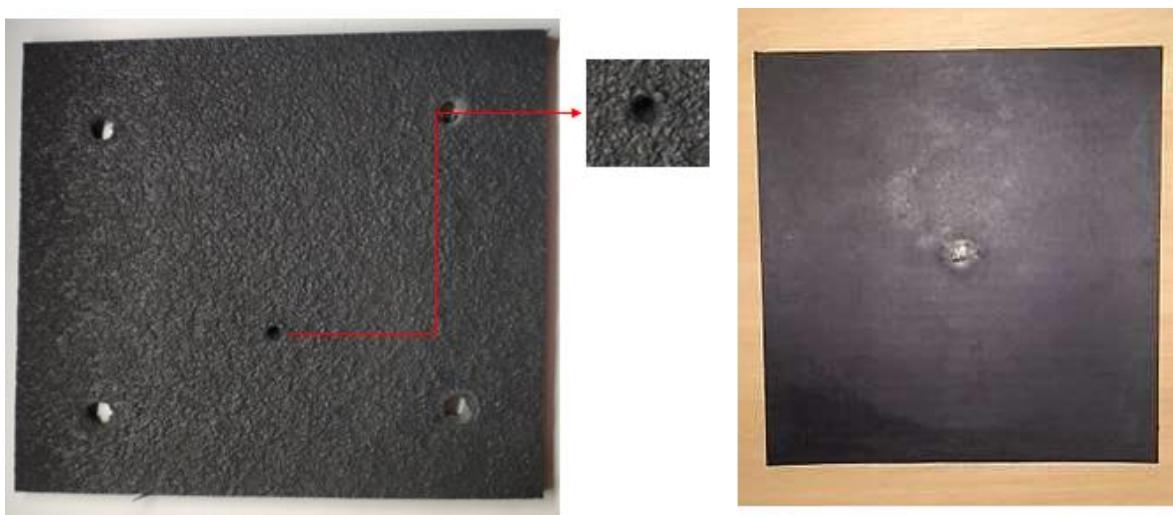
Figura 8. Diferença da penetração com temperatura e sem



Fonte: Autoria própria

Outro mecanismo também observado é o de indentação que conseguimos observar no nosso teste, na Figura 9 conseguimos comparar o que foi encontrado no nosso teste e o que foi encontrado nos testes de Vieira (2020).

Figura 9. Mecanismo de Indentação

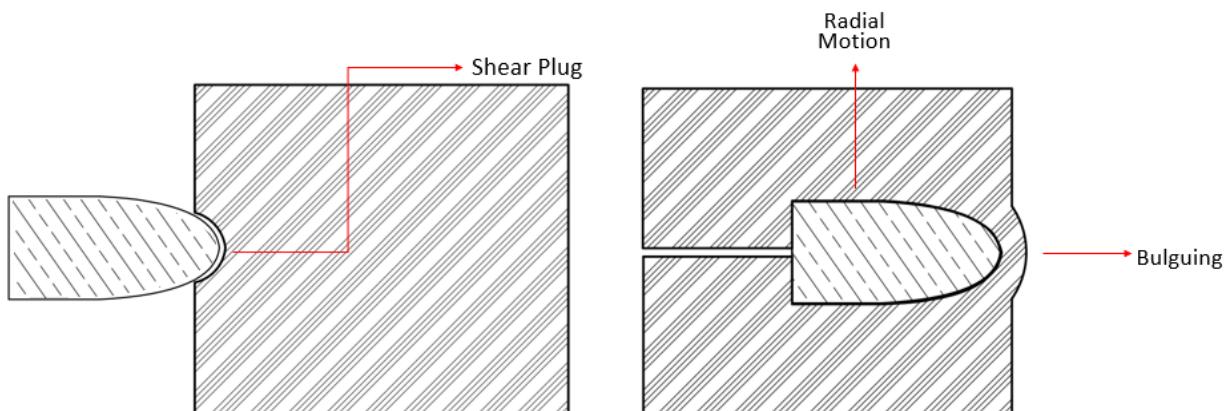


Fonte: Autoria própria

Outros mecanismos que foram possíveis observar no nosso teste foi o de Shear Plug, que ocorre quando um projétil atinge um material, o material na zona de impacto direto pode ser cortado, formando um tampão. Isto é normalmente observado após as primeiras camadas do compósito terem sido penetradas pelo projétil. O cisalhamento cria uma zona localizada de material que é deformado numa forma semelhante a um carimbo e Bulging, que é quando um projétil atinge a superfície de uma proteção balística, as camadas sofrem uma deformação fora do plano, criando um abaulamento ou uma protuberância. Esse abaulamento acontece enquanto as camadas de tecido são empurradas na direção oposta ao impacto, mas sem necessariamente haver penetração completa. Semelhantes ao observado por que foram observados por Bilisk (2018).

Outro mecanismo é o Radial Motion que foi observado por (Dou Hong, 2021) e (Yangziyi Ji, 2023), que é a movimentação das camadas de maneira radial com deformação elástica, onde posteriormente essas camadas voltam a sua forma original, esses mecanismos podem ser representados na Figura 10.

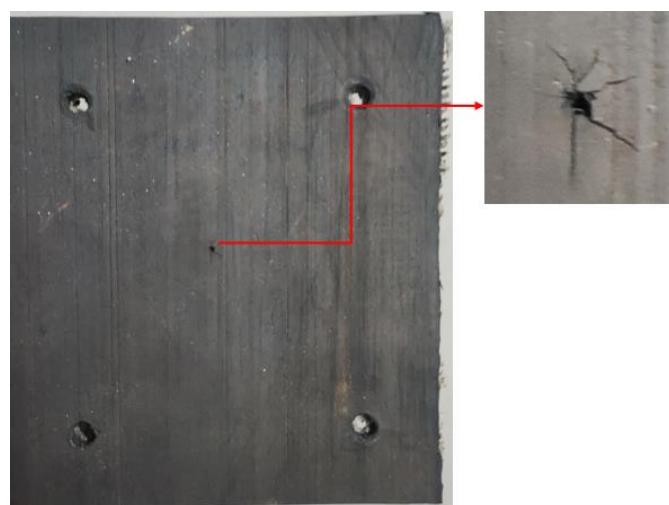
Figura 10. Mecanismos representados



Fonte: Autoria própria

Por fim, o ultimo mecanismo que foi observado foi o de trincas radiais, que representam também um elemento que retira energia do projétil, conseguimos observar na Figura 11.

Figura 11. Trincas radiais



Fonte: Autoria própria

No EL, temos alguns mecanismos semelhantes aos mostrados anteriormente, porém temos a adição do rompimento das fibras por tração, onde representa também uma parcela da dissipação de energia do projétil, então conseguimos concluir que a disposição da lona também é um fator importante pois da maneira que foi colocada pouca energia é dissipada e assim a lona não consegue deformar

antes do rompimento, rompendo somente na horizontal e não oferecendo resistência na vertical, sendo possível ver na Figura 12.

Figura 12. Detalhe do rompimento da fibra



Fonte: Autoria própria

Com os mecanismos de penetração compreendidos, o próximo objetivo é aumentar o numero de camadas para que o projétil pare e conseguimos descobrir a espessura necessária para que a blindagem funcione, então seguimos o segundo plano de tiro e o resultado é observado na Tabela 5.

Tabela 5. Resultado primeiro teste.

Número do teste	Código	Distância do tiro (metros)	Camadas	Espessura Total (mm)	Perfurou?
1	E	5	55	302,5	Não
2	E	5	55	302,5	Não

Fonte: Autoria própria

Apesar de ter sido utilizado 55 camadas, o primeiro tiro parou na camada numero 14 e o segundo tiro parou na camada de numero 16, então foram necessários 88 mm de espessura para parar o projétil e com a parada do projétil, conseguimos capturar o projétil, mostrado na Figura 13.

Figura 13. Projétil capturado



Fonte: Autoria própria

E com a captura do projétil conseguimos observar como que a blindagem consegue parar o disparo, como o projétil se encontra sem nenhuma deformação, com as mesmas medidas originais, para esse disparo os mecanismos de penetração são os mesmos que já foram expostos anteriormente.

4. CONCLUSÃO

Este estudo investigou o comportamento de elastômeros em sistemas de proteção balística, demonstrando sua viabilidade como alternativa ao aço em blindagens leves. Os testes balísticos realizados com elastômeros, tanto com quanto sem lona, permitiram identificar que, ao utilizar uma espessura total de 88 mm, composta por 55 camadas, foi possível interromper a penetração de projéteis de 9 mm, sem causar deformações significativas no projétil capturado. Os mecanismos de dissipação de energia observados, como trincas radiais, shear plug, bulging e motion radial, desempenharam papel crucial na absorção do impacto.

Esses resultados destacam que elastômeros, devido à sua elevada elasticidade e capacidade de absorção de impacto, podem ser aplicados em sistemas de blindagem voltados para veículos e estruturas que necessitam de proteção balística leve. A eficiência dessas camadas na absorção de energia, combinada à baixa densidade do material, oferece uma vantagem significativa sobre materiais mais tradicionais, como o aço, contribuindo para a produção de blindagens mais leves e eficazes.

Assim, o presente estudo confirma o potencial dos elastômeros para uso em soluções de proteção balística, promovendo avanços tecnológicos no desenvolvimento de blindagens para diferentes aplicações, como em veículos automotivos e guaritas de segurança. A compreensão detalhada dos mecanismos de dissipação de energia observados reforça a importância da escolha adequada de espessura e número de camadas para otimizar o desempenho desses materiais em cenários de impacto balístico.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil, e com a concessão de bolsa do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC).

Ao engenheiro Walter Belarmino da Silva Filho, por todo o suporte e atenção dados durante as etapas do trabalho.

Ao Shotgun Clube de tiro, por ter disponibilizado o ambiente controlado para realização dos testes do protótipo.

REFERÊNCIAS

- AHMAD, M. R. et al. **Utilizing natural rubber latex in improving ballistic impact performance of Unidirectional fabric systems.** ISBEIA 2012 - IEEE Symposium on Business, Engineering and Industrial Applications, p. 458–461, 2012
- BILISIK, K.. Impact-resistant fabrics (ballistic/stabbing/slashing/spike). **Engineering Of High-Performance Textiles**, [S.L.], p. 377-434, 2018. Elsevier.
- BLOW, C. M. **Rubber technology and manufacture.** 1971
- CALLISTER JR., W. D. **Ciência e Engenharia dos. Materiais: Uma Introdução.** 7. ed. Rio de Janeiro: [s.n.]
- CHAVES, G. Q. et al. **Fabricação, caracterização e ensaio balístico de placas cerâmicas para blindagem compósita.** Projeto de Fim de Curso. Instituto Militar de Engenharia, novembro 1996
- HONG, Dou; LI, Wenbin; ZHENG, Yu; JIANG, Ning; PU, Bo. **Process Analysis of Fragment Penetrating Natural Rubber Material. Journal Of Physics: Conference Series**, [S.L.], v. 2002, n. 1, p. 012037, 1 ago. 2021. IOP Publishing.
- ROLAND, C. M.; FRAGIADAKIS, D.; GAMACHE, R. M. **Elastomer–steel laminate armor. Composite structures**, v. 92, n. 5, p. 1059–1064, 2010.
- VIEIRA, P. V. A. **Caracterização Mecânica, Penetração Quase Estática e Impacto de Baixa Velocidade de Materiais Elastoméricos.** 117 pag. 2020. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2020;
- WAMBUA, P. et al. **The response of natural fibre composites to ballistic impact by fragment simulating projectiles. Composite Structures**, v. 77, n. 2, p. 232–240, 2007.

YANGZIYI, et al. “**Experimental and Numerical Study on Ballistic Impact Response of Vehicle Tires**”. Latin American Journal of Solids and Structures, vol. 20, no 7, 2023, p. e506. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1590/1679-78257764>.