

SIMULAÇÃO DE IMPACTOS BALÍSTICOS APLICADA A BLINDAGENS DE MATRIZES POLIMÉRICOS REFORÇADAS POR FIBRAS

BALLISTIC IMPACT SIMULATION APPLIED TO FIBER-STRENGTHENED POLYMERIC MATRIX BLINDINGS

José Eduardo Salgueiro Lima¹, Thiago Alexandre Alves Assumpção², Manoel Henrique Araujo Alves³, Renan Caique Meneghin Silva⁴

Resumo: A partir da problemática da redução de custos, tempo e material para teste de impactos de projéteis à blindagens, este trabalho visa aferir uma forma de simular em software esses ensaios. Através do software Solidworks versão 2018, foram modelados chapas de compósitos epóxi reforçados com fibras de carbono, blindando uma chapa de aço 1020, utilizado em carrocerias de automóveis, e analisando-se o comportamento sob a ação de um projétil de .40 Magnum sem estojo. Este modelo foi submetido a uma simulação com aplicação de modelagem não linear, por elementos finitos para aferição da deformação dos mesmos e comparação com resultados obtidos em ensaios práticos. Os resultados da simulação mostraram a possibilidade de se utilizar a simulação por elementos finitos através do Solidworks, com resultados satisfatórios, quando comparada com modelos de ensaios realizados em laboratório.

Palavras-Chave: Simulação, blindagem, Solidworks, balístico, fibra carbono, epóxi, compósitos.

Abstract: *From the problem of cost reduction, time and material to test the impact of projectiles to the shields, this work aims to evaluate a way to simulate these tests in software. Through the software Solidworks version 2018, carbon fiber-reinforced epoxy composite sheets were fabricated by shielding a 1020 steel sheet used in automotive bodies and analyzing the behavior under the action of a projectile of .40 Magnum without a case. This model was submitted to a simulation with application of nonlinear modeling, by finite elements for measuring the deformation of the same and comparison with results obtained in practical tests. The results of the simulation showed the possibility of using finite element simulation through Solidworks, with satisfactory results when compared with models of laboratory tests.*

Keywords: *Simulation, Shielding, Solidworks, Ballistic, Carbon Fiber, Epoxy, Composites.*

I. INTRODUÇÃO

Muito tem sido desenvolvido e aplicado em tecnologia militar para a proteção individual e para proteção de equipes através de coletes a prova de balas e blindagem de veículos de passageiros. Essa tecnologia vem evoluindo desde a Primeira Guerra Mundial, quando os primeiros tanques blindados foram desenvolvidos. Neste cenário, a blindagem desses tanques possuía a função de proteger o veículo de ataques, assim como estrutural. Durante a Primeira Guerra a blindagem possuía uma espessura de 12 mm, enquanto que ao final da Segunda Guerra Mundial, chegavam a 280 mm, fazendo com que os veículos pesassem cerca de 60 toneladas (SOUZA, 2016).

A evolução dos blindados se deu principalmente no período entre guerras, porém, devido à insegurança instaurada e crescente tensão entre os países, grande parte do desenvolvimento científico desta época permaneceu em confidencialidade, fazendo com que muito pouco fosse publicado acerca do assunto. Dessa forma, as blindagens foram evoluindo no decorrer dos anos, por métodos empíricos. Sendo sempre necessário gastar recursos para realizar os testes necessários para validação das técnicas de blindagem aplicadas. porém a demanda por materiais e técnicas cada vez mais avançadas e baratas foi aumentando cada vez mais, sendo necessário elevar a resistência das proteções balísticas diminuindo seu peso e aumentando seu conforto e mobilidade no caso de coletes. Com isso, várias pesquisas estão sendo direcionadas atualmente na utilização de materiais poliméricos. Estes possuem um alto teor de absorção de energia cinética, sendo o que essas pesquisas procuram. Dentre os vários materiais comumente utilizados estão os compósitos e laminados de fibras de polímeros, como poliéster, poliamida, aramida e fibras de polietileno de ultra alta massa molar (UHMWPE), além das fibras de vidro e fibras naturais que estão cada vez mais se tornando comuns nesse campo (PARDINI, 2016).

Os compósitos são materiais formados por dois ou mais componentes, sendo que admite-se que as fases que os constituem, apresentam propriedades com diferenças substanciais em suas propriedades físicas e químicas, assim

¹Doutor em Ciências, Professor e Pesquisador do NUPE no Centro Universitário ENIAC. e-mail: jose.salgueiro@eniac.edu.br

²Doutor em Ciências, Professor e Pesquisador do NUPE no Centro Universitário ENIAC. e-mail: thiago.alexandre@eniac.edu.br

³Acadêmico do curso de Engenharia Mecatrônica do Centro Universitário ENIAC. e-mail: manoel.alves94@outlook.com

⁴Acadêmico do curso de Engenharia Mecatrônica, Centro Universitário ENIAC. e-mail: renancaique.ms@gmail.com

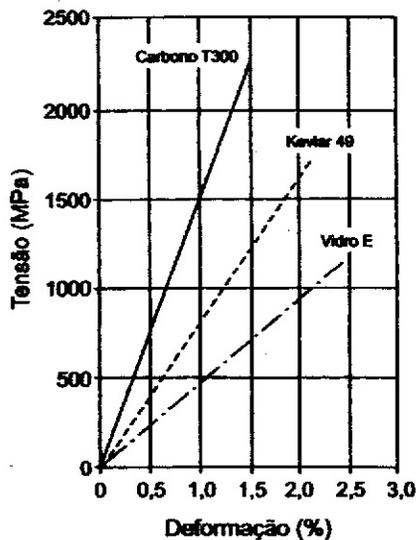
mostram uma fase descontínua e outra contínua, sendo que o material obtido da associação dessas diferentes fases, apresenta propriedades melhores que os materiais constituintes separadamente (MARINUCCI, 2011).

Os compósitos com matriz polimérica são compostos por resinas termorrígidas ou termoplásticas, entre as termorrígidas as mais utilizadas são as epoxídicas e as poliésteres, sendo que a cura destas resinas é irreversível dificultando a reciclagem dos compósitos (PARDINI, 2016).

A resina epóxi mais utilizada é obtida através da reação entre a epicloridrina e o bisfenol A, resultando o diglicidil éter do bisfenol A (DGEBA). A relação molar epicloridrina/bisfenol A pode variar de 10:1 até 1,2:1, obtendo-se resinas líquidas viscosas, resinas de alta viscosidade e até mesmo resinas sólidas (PARDINI, 2016).

Os compósitos com matriz polimérica utilizam reforços baseados em fibras sintéticas de vidro, carbono e aramida, pode-se também utilizar fibras naturais tais como de coco, folha de bananeira, sisal, juta entre outras. As fibras de carbono, desenvolvidas no final da década de 60, possuem propriedades mecânicas que permitiram aplicações somente possíveis para metais, na Figura 1, pode-se observar, a curva tensão deformação em tração para compósitos unidirecionais fabricados com fibra de carbono T300, comparado com outros compósitos com fibra de aramida, Kevlar 49 e fibra de vidro tipo E, considerando-se que a fração volumétrica é de 65%, o compósito fabricado com fibra de carbono apresenta maior resistência à tração que os compósitos fabricados em fibras de aramida e de vidro (MARINUCCI, 2011).

Figura 1 – Curva Tensão x Deformação para compósitos unidirecionais em tração.



Fonte: MARINUCCI, 2011

Atualmente o método aplicado nos testes continua sendo empírico, porém determinados pela Norma do Exército Brasileiro (NEB) E-316. O blindado deve ser atingido cinco vezes pelo projétil, os danos então serão analisados e esta proteção entrará em uma classificação da NEB. Esse processo deve ser repetido para cada tipo de proteção que se queira

avaliar o impacto de determinado projétil. Visando-se diminuir a quantidade de ensaios reais, de forma a reduzir custos e tempo, este trabalho visa simular os ensaios reais por uma modelagem de elementos finitos em software, onde, através destas simulações, se consiga eliminar ensaios em sistemas de blindagem que não lograram sucesso, e realizando os testes reais em sistemas de blindagens previamente aprovados pela simulação. Desta forma é mais simples modificar dados tanto do projétil como da proteção, modificando aspectos como espessura, resistência das mesmas, e assim, analisar, previamente todos os efeitos causados pelo impacto balístico.

II. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é mostrar que o software SolidWorks, versão 2018, juntamente com um pacote CAD-CAE por elementos finitos, pode simular o impacto balístico em blindagens de materiais compósitos poliméricos reforçados por fibras, de forma a se comparar com ensaio de tiros, homologando o uso de simulação de impactos balísticos como um método de análise prévia de sistemas balísticas.

III. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho se baseia na Norma do Exército Brasileiro E-316, que trata dos ensaios balísticos e suas características para se determinar a resistência e a classificação de uma blindagem. Esta norma diz que para os efeitos de classificação, deve-se disparar contra a blindagem cinco vezes, com a velocidade dentro dos limites de tolerância, distanciado de, no mínimo, 50 mm de qualquer borda do painel blindado ou de qualquer outro impacto anterior. Para se determinar se houve ou não perfuração do blindado, a face da placa testemunha oposta ao impacto deve ser iluminada por uma lâmpada de 60 W, tendo a passagem de luz no lado oposto, é considerado que houve perfuração do projétil no blindado (EXÉRCITO BRASILEIRO, 2002). A NEB E-316 também dita o nível de proteção de cada blindagem, atribuindo a cada nível uma munição (projétil) específica para resistência da blindagem, de forma que se saiba qual a energia cinética que aquele nível de blindagem deve suportar, conforme pode-se observar na Tabela 1 a seguir:

Tabela 1 - Nível de proteção do sistema de blindagem quanto ao impacto balístico.

Nível	Munição	Massa do projétil g	V _c m/s	Número de impactos
I	.22 LRHV Chumbo	2,6 ± 0,1	320 ± 10	5
	.38 Special RN Chumbo	10,2 ± 0,1	254 ± 15	5
II-A	9 FMJ	8,0 ± 0,1	332 ± 12	5
	357 Magnum JSP	10,2 ± 0,1	381 ± 12	5
II	9 FMJ	8,0 ± 0,1	358 ± 15	5
	357 Magnum JSP	10,2 ± 0,1	425 ± 15	5
III-A	9 FMJ	8,0 ± 0,1	426 ± 15	5
	.44 Magnum SWC GC	15,6 ± 0,1	426 ± 15	5
III	7.62 x 51FMJ (.308 - Winchester)	9,7 ± 0,1	838 ± 15	5
	.30 - 06 AP	10,8 ± 0,1	868 ± 15	1

Fonte: EXÉRCITO BRASILEIRO, 2002

Onde:

FMJ – Full Metal Jacket

JSP – Jacketed Soft Point

LRHV – Long Rifle High Velocity

RN – Round Nose

SWC – Semi-Wadcutter

Imputa-se os dados de velocidade do projétil, distância entre ele e a estrutura que será testada e validada à blindagem, aplica-se o material ao mesmo, uma liga de chumbo para este caso. É possível fazer a aplicação desses dados no software SolidWorks versão 2018, para a realização de uma simulação dinâmica não linear, criando uma peça de dimensões 290mmx290mm, conforme a norma com as especificações do material compósito epoxídico, acoplado a uma placa de aço 1020 (testemunha), e através do modo Simulation, reproduzir um ambiente de impacto que se assemelha ao de um ensaio balístico real como gravidade, desaceleração do projétil por conta do atrito com o ar, gerando um relatório onde é possível verificar a deformação sofrida pela blindagem durante e após o impacto, assim como se houver perfuração do mesmo.

Com esses resultados, será possível realizar as comparações entre o que o software gerou de informações no relatório e o que foi pesquisado referente aos ensaios balísticos empíricos, para então se determinar a eficácia do método proposto por este trabalho. A placa de material compósito para a blindagem foi modelada com a orientação 0°/90°, em camadas, até a espessura de 10 mm com as dimensões 290x290, de acordo com a norma NEB E-316, com as características mecânicas de um compósito com matriz epóxi, com fração volumétrica de 65% de reforço com fibras de carbono T300, com propriedades mecânicas obtidas em literatura, conforme pode-se observar na Tabela 2, a seguir:

Tabela 2: Propriedades mecânicas de compósito com matriz polimérica epoxídica com fração volumétrica de 65%, reforçada com fibra de carbono unidirecional.

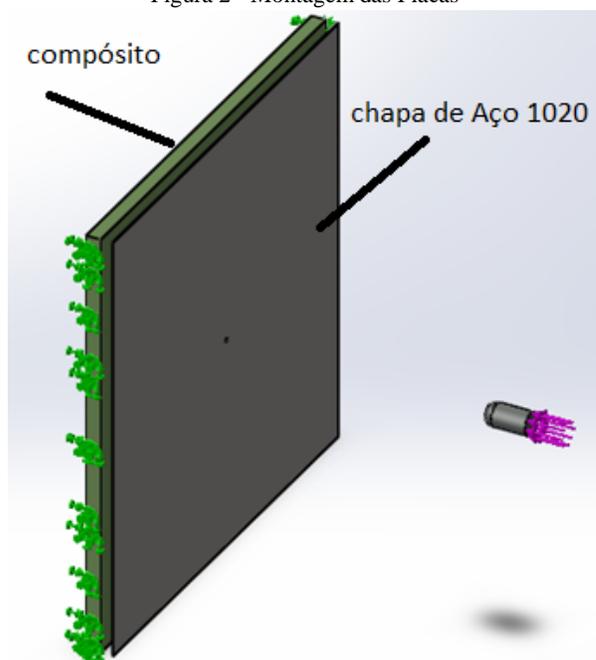
Ensaio	Resultados
Resistência à tração longitudinal ¹	2500 MPa
Resistência à compressão	12000 Mpa
Módulo de elasticidade ¹	155 GPa
Módulo de elasticidade ²	10 GPa
Módulo de cisalhamento ²	6 GPa
Coefficiente de Poisson ²	0,30

Fonte: MARINUCCI, 2011. (¹Longitudinal; ²Transversal)

A chapa de aço foi modelada como aço SAE 1020 laminado com as dimensões de 290 x 290 x 0,6 mm, e propriedades mecânicas conforme o SolidWorks versão 2018. O projétil foi modelado como um cilindro de chumbo puro com as arestas de uma das extremidades dotada de chanfro para emular .44 Magnum Semi-Wadcutter Chumbo (sem estojo). Em seguida, foram dispostas as placas de compósito epoxídico reforçado com fibra de carbono peças sequencialmente em um arquivo de montagem para que a

placa pudesse ser fixada uma a outra de aço carbono 1020, sendo travadas, desta maneira, para receberem o choque do projétil, como no ensaio de impacto, conforme pode-se observar na Figura 2, a seguir.

Figura 2 - Montagem das Placas



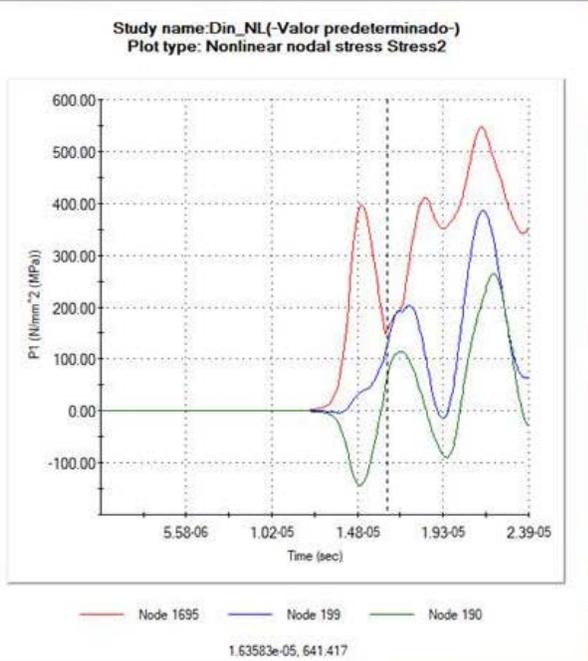
Fonte: AUTOR, 2018.

Para a simular um ambiente o mais realista possível, o projétil foi posicionado a uma distância de 15000mm com relação à estrutura, foi aplicado para o evento, a atuação da força da gravidade para todos os objetos, alguns elementos de FlowExpress para simular o atrito com o ar e diminuir a aceleração do projétil gradativamente durante o percurso. Para a movimentação do projétil foi adotada uma velocidade de 426 m/s como exigido em norma e traçada uma rota perpendicular à placa para que o mesmo pudesse atingi-la ao centro. Em seguida é utilizado o gerenciador de cascas para a criação de malhas na estrutura que será avaliada futuramente, a blindagem e a chapa de aço, onde uma malha simples será aplicada ao aço apenas para aferir a perfuração e uma malha com maiores segmentações será aplicada a blindagem para aferir a deformação.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao exibir uma análise isolada do evento apenas na blindagem, para fazer uma análise da propagação das ondas choque através da blindagem pelos 3 eixos, é possível fazer uma leitura do efeito elástico como previsto com base nos experimentos feitos em laboratórios consultados na literatura, algo que pode ser observado é o fato dos eixos não entrarem em ressonância assim fazendo com que as ondas de choque se dissipem com o tempo não acarretando um elevação da amplitude colapsando a estrutura como pode ser observado na Figura 3, a seguir.

Figura 3 - Propagação das Ondas de Choque



Fonte: AUTOR, 2018.

Outro fator importante a ser avaliado é o quesito aleatoriedade trazido com a aplicação de elementos de FlowExpress causando pequenas variações na trajetória do projétil (mudança da velocidade, aceleração e direção), variações essas que se somam ao final do experimento causando o efeito visto no gráfico que se assemelha ao de experimentos práticos reais.

V. CONCLUSÃO

Ao levar em consideração as variações possíveis para aplicação de diferentes modelos de projéteis com diferentes materiais e diferentes tipos de blindagem para teste, com uma gama de variações para distância e fluxos do fluido no qual o projétil irá penetrar é possível afirmar a efetividade nos testes ao compara-los com os modelos descritos na literatura. Tendo como base de estudo uma proteção blindada a partir de fibra de carbono impregnada com resina epóxi e outra com fibra de vidro, também impregnada com resina epóxi. A partir dessa comparação, verificando que os resultados são compatíveis com os métodos atuais, será possível dar continuidade à estudos com outros tipos de munição, com maiores ou menores calibres que apresentado neste trabalho, assim como na comprovação de novos materiais que possam ser utilizados como proteção balística.

Entretanto, tais testes não descartam a aplicação de ensaios fora do ambiente virtual. A proposta é reduzir o número de testes necessários, uma vez que obtendo-se as características físico-químicas dos materiais a serem testados o número de teste reais pode ser reduzido, acarretando numa redução de custos para validação de materiais para a indústria bélica, militar, segurança ou de blindagem estrutural de equipamentos.

VI. REFERÊNCIAS

EXÉRCITO BRASILEIRO. Decreto Normativo nº E-316, de 04 de setembro de 2002. Proteção balística de carros de passeio. 1. ed. Rio de Janeiro, 2002.

MARINUCCI, G. Materiais compósitos poliméricos: Fundamentos e Tecnologia. São Paulo: Artliber Editora, 2012.

PARDINI, L. C. Compósitos estruturais/Ciência e tecnologia. 2ª.Ed. revista e ampliada. São Paulo: Blucher, 2016.

SOUZA, A. N.; THAUMATURGO, C.. Geopolímeros para aplicações balísticas. 2016. 15 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2016.