

PARECER TÉCNICO

1. AUTOR

Nome: **GUILHERME ARAUJO BITTENCOURT** (idt: 018755303-7 e CPF: 180.777.528-37)

Formação:

- Bacharel em Ciências Militares. Oficial do Quadro de Material Bélico na Academia Militar das Agulhas Negras (AMAN), Resende, RJ (1996);
- Bacharel em Engenharia Mecânica e de Armamento. Curso de Engenharia Mecânica e de Armamento no Instituto Militar de Engenharia (IME), Rio de Janeiro, RJ (2002).
- Mestre em Engenharia e Ciências dos Materiais. Área de concentração: Comportamento Mecânico dos Materiais, linha de pesquisa: Materiais Conjugados, grupo de pesquisa: Blindagens Balísticas ([dissertação](#)), no Instituto Militar de Engenharia (IME), Rio de Janeiro, RJ (2011).

Experiência na área:

- Chefe do Laboratório Balístico (Linha IV) do Centro de Avaliações do Exército (CAEx) de 2004 a 2009, órgão responsável por testar os materiais de emprego militar e os produtos controlados pelo Exército, Rio de Janeiro, RJ.
- Atividades desenvolvidas na Linha IV de 2004 a 2009: execução dos testes balísticos obrigatórios nos protótipos de coletes à prova de balas, blindagens opacas e transparentes, capacetes, escudos balísticos, blindagens para construção civil e carro de transporte de valor, regulados pela Diretoria de Fiscalização de Produtos Controlados (DFPC). Execução de testes balísticos em blindagens especiais, provenientes de pesquisa, oriundas do Centro Tecnológico do Exército (CTEx) e do Instituto Militar de Engenharia (IME). Execução dos testes em munição de pequeno calibre e em armamento leve, tanto para homologação pela DFPC, como para pesquisa e emprego pelo Exército.

2. OBJETIVO

Emissão de parecer referente ao ensaio balístico realizado na [Companhia Brasileira de Cartuchos \(CBC\)](#), no dia 15 de março de 2013, com vidros blindados fabricados pela empresa [SER Glass](#).

3. REFERÊNCIAS¹

a) [Regulamento para Fiscalização de Produtos Controlados \(R-105\)](#), aprovado pelo Decreto Presidencial nº 3.665, de 20 de novembro de 2000.

b) [Normas Regulamentadoras dos Procedimentos para a Blindagem de Veículos e demais Atividades Relacionadas com Veículos Blindados \(NORBLIND\)](#), aprovada pela Portaria nº 013 - Departamento Logístico, de 19 de agosto de 2002.

¹ Quaisquer documentos da referência, bem como as normas citadas e a bibliografia, estão disponíveis através do e-mail do autor: major.bittencourt@gmail.com

c) Norma [ABNT-NBR 15000:2005](#), Blindagens para Impacto Balístico – Classificação e Critérios de Avaliação, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 30 de dezembro de 2005.

d) Norma do Exército Brasileiro - [NEB/T E-316](#), Proteção Balística de Carros de Passeio (em desuso). Norma usada na homologação das blindagens no Brasil, antes da norma ABNT-NBR 15000:2005.

e) Título de Registro: 2T/818/SP/12 (SIGMA Nr 65997), emitido pela [Diretoria de Fiscalização de Produtos Controlados \(DFPC\)](#).

f) Relatórios Técnicos Experimentais (RETEX): 2778/12, 2541/10 e 2210/07, emitidos pelo [Centro de Avaliações do Exército](#) (CAEx, antigo Campo de Provas da Marambaia) e embasados pelo [Centro Tecnológico do Exército](#) (CTEx).

4. ANÁLISE

4.1. Ensaio Balístico

Teste balístico em blindagem consiste basicamente em disparar um projétil com elevada velocidade sobre um alvo. O fenômeno físico do impacto envolvido neste ensaio é de extrema complexidade e devido às diversas variáveis, de difícil simulação computacional. Por isso, são comuns os ensaios práticos (testes balísticos). Contudo, as muitas variáveis envolvidas no ensaio balístico obrigam que estes testes em blindagens ocorram dentro de parâmetros muito bem definidos, sob a ameaça da obtenção de resultados não confiáveis.

4.2. Normas para ensaio Balístico

Todas as normas que regulam ensaios balísticos no mundo, para serem confiáveis e passíveis de repetição, definem claramente os fatores que influem nos resultados do ensaio. Como exemplo de normas internacionais que regulam testes balísticos em blindagens estão:

- Norma [NATO](#) (OTAN – Organização do Tratado do Atlântico Norte) [STANAG 2920](#) – *Ballistic Test Method for Personal Armour Materials and Combat Clothing*.
- Norma NATO (OTAN) [STANAG 4164](#) – *Test Procedures for Armour Perforation Tests of Anti-armour Ammunition*.
- Norma militar dos EUA, [MIL-STD-662F](#) - *V₅₀ - ballistic test for armor*. Esta norma é a base para testes balísticos usando tratamento estatístico dos dados coletados. As normas a seguir usam a MIL-STD-662F como base:
 - [MIL-DTL-32378](#) - *Laminate: Unidirectional, Reinforced, Cross-Plied, Aramid Fiber, Plastic Armor Material*. Usada pelas Forças Armadas Americanas.
 - [MIL-DTL-44050B](#) - *Cloth, Ballistic, Aramid*. Usada pelas Forças Armadas Americanas.
 - [MIL-STD-376A](#) - *Ballistic Performance Ranking of Ceramic Armor Plates Against High Density Penetrators*. Usada pelas Forças Armadas Americanas.
 - [MIL-PRF-46108C](#) - *Armor: Transparent*. Usada pelas Forças Armadas Americanas.

- [MIL-DTL-64154B](#) - *Laminate: Fiberglass-Fabric-Reinforced, Phenolic*. Usada pelas Forças Armadas Americanas.
- Norma do Instituto de Justiça Americano, [NIJ 0101.04](#) e [0101.06](#) – *Ballistic Resistance of Personal Body Armor*. Usadas pelas agências de segurança dos EUA para testar coletes à prova de balas. É também a norma usada no Brasil para teste de coletes à prova de balas e homologação pela DFPC para comércio deste produto.
- Norma do Instituto de Justiça Americano, [NIJ 0108.01](#) – *Ballistic Resistance of Protective Materials*. Usada pelas agências de segurança dos EUA para testar blindagens balísticas.
- Norma do Instituto de Justiça Americano, [NIJ 0106.01](#) - *Ballistic Helmets*. Usada pelas agências de segurança dos EUA para testar capacetes balísticos.
- Norma Britânica (British Standard) [BS 5051-1](#) - *Bullet-Resistant Glazing* (vidro à prova de balas).
- Norma Europeia (EN Standard - European Standard) [EN 1063: 1999](#) - *Security Glazing Ballistic Standard* (vidro à prova de balas).
- Norma Alemã - *Association of test laboratories for bullet resistant materials and constructions* (VPAM) – [PM 2007](#) (edição: 08 /05/2008): *Bullet resistant plate materials (PM)*;
- Norma Alemã - *Association of test laboratories for bullet resistant materials and constructions* (VPAM) – [APR 2006](#), (edição: 05/14/2009); *General basics for material, construction and product testing*;

Todas as normas citadas acima, além de definirem o projétil (tipo e massa) e a velocidade de disparo (V_0) (ou seja, sua energia), também definem a posição e a quantidade de disparos, a forma, as dimensões e a fixação do corpo de prova testado. Isto não ocorre por acaso, o motivo para o controle destes fatores é que eles influenciam no resultado de perfuração no alvo. Caso contrário, as normas de testes balísticos se resumiriam a simples tabelas, com os tipos de projéteis e suas velocidades, o que não é verdadeiro.

4.3. Impacto Balístico em blindagens Transparentes de Vidro

As blindagens transparentes são, comumente, compostas por camadas de vidro, unidos por finas lâminas adesivas (polivinil butiral – PVB, mais usado) e reforçadas na sua face oposta por camadas de material resistente ao estilhaçamento (polímeros de poliuretano – PU, policarbonato – PC, polimetilmetacrilato – PMMA e/ou politereftalato de etileno – PET, mais usados). O comportamento das blindagens transparentes sob impacto balístico é conhecido e se dá, resumidamente, da seguinte forma:

O vidro é utilizado na face frontal das blindagens transparentes. Sua função básica é a de quebrar e erodir o projétil no início do impacto, devido a sua relativa dureza. Além disso, o vidro também absorve energia cinética do projétil, ou seja, reduz sua velocidade. Esta redução da velocidade do projétil, à medida que este penetra o vidro (figura 03), se dá através de três mecanismos de dissipação de energia na blindagem: as ondas de tensão longitudinais (*compression wave*), ondas de tensão transversais (*shear wave*) e as ondas de Rayleigh (*Rayleigh wave* - ondas superficiais) (figura 01), transformando a energia cinética do projétil em tensões na

blindagem. As tensões na blindagem geram, devido a sua intensidade, ruptura do material (as conhecidas trincas), num padrão típico ², mostrado nas figuras 02 e 04.

As ondas de:

- tensão longitudinal (*compression wave*): geram a fragmentação do vidro próximo ao impacto.
- tensão transversal: (*shear wave*) geram trincas radiais dentro do material;
- Rayleigh (*Rayleigh wave* - ondas superficiais): geram longas trincas radiais na superfície do vidro.

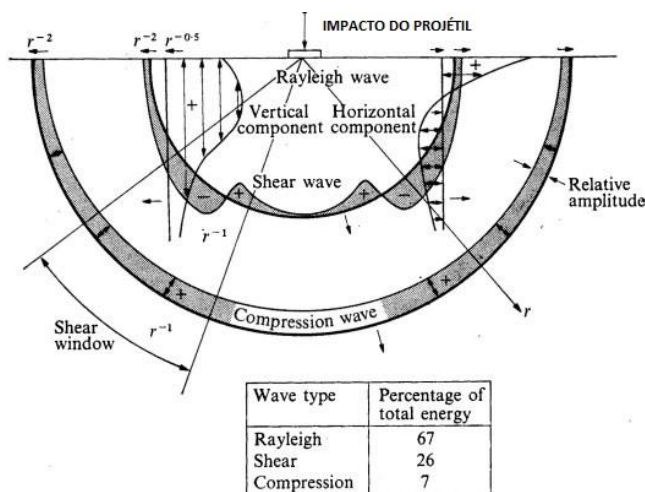


Fig. 01 – esquema de dissipação de energia devido ao impacto balístico em vidro ³.

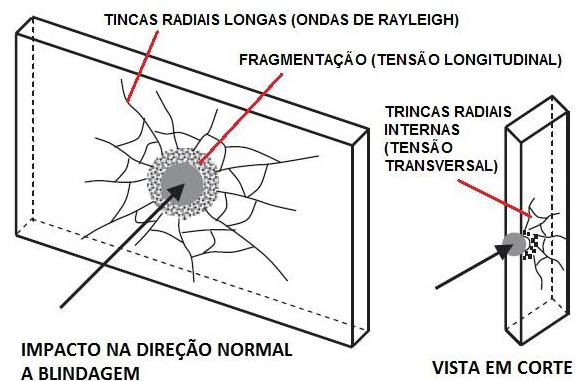


Fig. 02 – esquema das trincas geradas no vidro após impacto balístico ⁴.

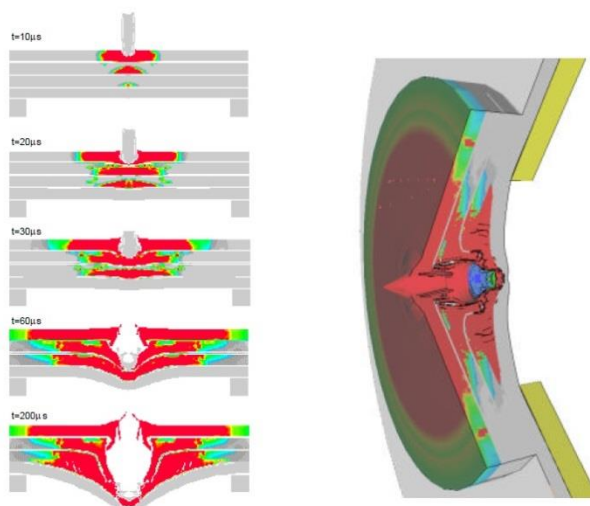


Fig. 03 - representação das ondas de choque (tensão) no vidro blindado (composição: 3x6mm vidro + 1x5mm PC) ¹.

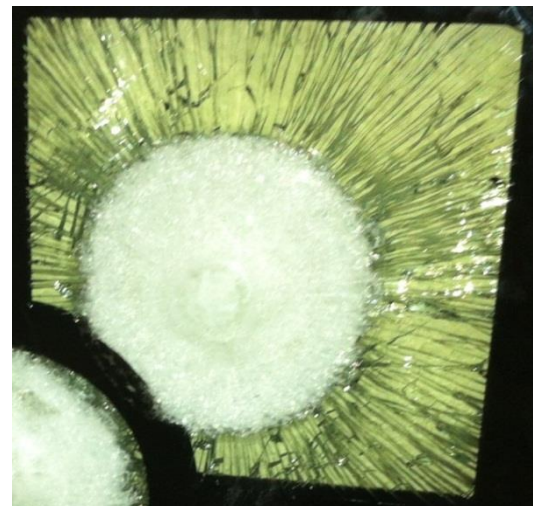


Fig. 04 - dano típico em vidro balístico

Blindagens transparentes com várias camadas de vidros conseguem transmitir com maior eficiência as ondas de choque (absorvendo mais energia) para longe do ponto de impacto, do que uma blindagem monolítica (uma única camada de vidro e mesma espessura total). Porém, se a espessura das camadas de vidro for reduzida demasiadamente, a blindagem perde eficiência em

quebrar e erodir o projétil. Logo, para cada camada, existe uma espessura que otimiza o desempenho balístico da blindagem contra a munição desejada ³.

As camadas de material polimérico na face oposta da blindagem absorvem a energia dos estilhaços gerados pelo impacto (estilhaços de vidro e do próprio projétil). Os materiais poliméricos absorvem esta energia cinética se deformando plasticamente e freando os estilhaços.

4.4. Norma Brasileira para ensaio Balístico em Blindagens

A norma [NBR 15000](#) (Blindagens para Impacto Balístico – Classificação e Critérios de Avaliação), da Associação Brasileira de Normas Técnicas, é o documento no Brasil que define os critérios de testes de blindagens balísticas.

A norma [NBR 15000](#), para o nível III-A, determina que o teste deve seguir o padrão resumido na tabela a seguir:

Nível	Munição	Massa do Projétil (g)	V ₀ (m/s)	Nr de impactos	Dimensão do corpo de prova	Distância dos disparos à borda da blindagem	Forma do corpo de prova	Fixação
III-A	9 FMJ	8,0 ± 0,1	426 ± 15	5	500 x 500 mm	147 mm (1º ao 4º)	Plano	Suporte (Anexo A NBR 15000)
	44 Mag SWC GC	15,6 ± 0,1						

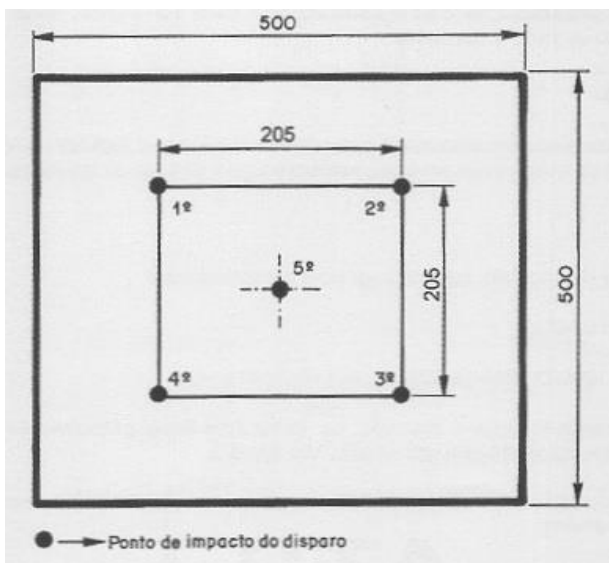


Fig. 05 - posicionamento e sequência dos disparos no corpo de prova de 500x500mm (NBR 15000).



Fig. 06 - face oposta de um corpo de prova de 500x500mm, após os cinco disparos.

A fixação do corpo de prova padrão (500x500mm e plano) é feita através de um suporte especialmente preparado para recebê-lo. As figuras 07 e 08 foram retiradas da norma [NBR 15000](#) e mostram o suporte padrão montado (aço + neoprene) e a esquerda a guarnição feita de borracha de neoprene.

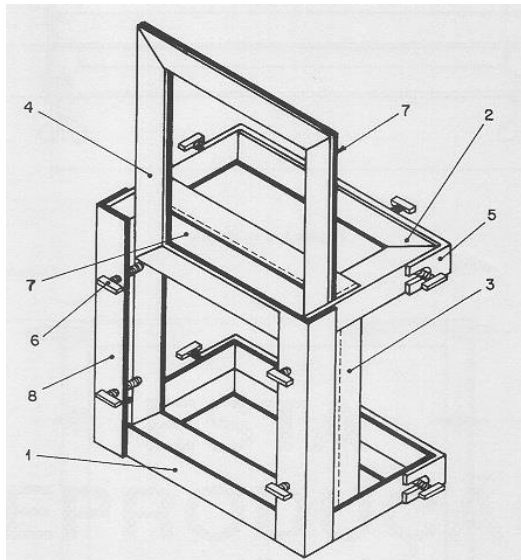


Fig. 07 - suporte padrão da norma NBR 15000 para a fixação do corpo de prova.

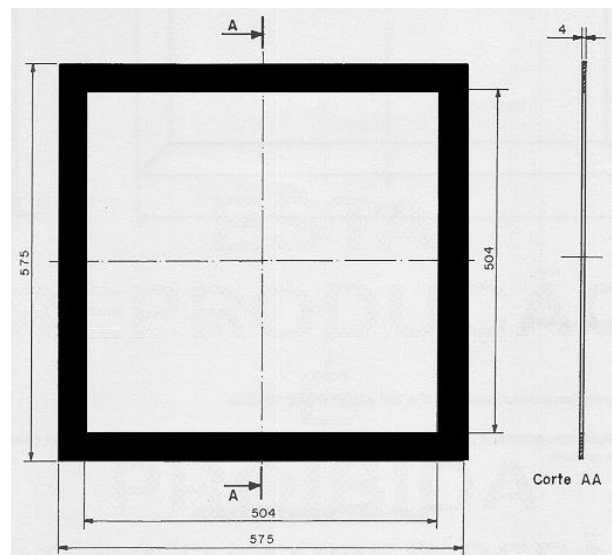


Fig. 08 - guarnição de borracha de neoprene

Duas borrachas de neoprene (guarnição), iguais a da figura 08, são coladas no suporte, na posição indicada com o número 7 da figura 07. As guarnições de borracha são as partes do suporte que estão em contato com o vidro (corpo de prova) no momento do ensaio balístico.

4.5. Falhas no Ensaio Balístico

As figuras 09 a 12 mostram como foram executados os disparos nos vidros fabricados pela SER Glass, no laboratório balístico da CBC, no dia 15 de março de 2013.



Fig. 09 – disparos executados em vidro balístico de uma janela de veículo.



Fig. 10 – disparo superior direito da figura 09.



Fig. 11 – vista frontal dos disparos na janela.



Fig. 12 – vista lateral da fixação da janela no suporte.

No ensaio balístico executado na Companhia Brasileira de Cartuchos (CBC), no dia 15 de março de 2013, em vidros da empresa SER Glass, retirados de veículos, não foram respeitados:

- a) Tamanho do corpo de prova, definido pela norma como 500 x 500 mm. Os vidros continham uma ou mais dimensões menores, chegando, em alguns casos, a menos de 360 mm.
- a) Distância dos disparos à borda da blindagem, definida pela norma como de no mínimo 147 mm. Na maioria dos disparos, a distância até a borda foi menor que 147 mm, chegando, em alguns casos, a 60 mm, como na figura 09.
- b) Forma do corpo de prova, definido na norma como plano. Todos os vidros disparados eram curvos.
- c) Uso do suporte padronizado no Anexo A da norma [NBR 15000](#). Nenhum vidro utilizado no referido teste foi fixado conforme especifica a norma.
- d) Fixação do vidro no suporte, através do contato de um material emborrachado (guarnição de neoprene).

Todas as falhas observadas nos itens acima ferem a norma [NBR 15000](#) e tornam o teste realizado na CBC, no dia 15 de março, impreciso. As irregularidades distorcem os resultados balísticos devido as explicações a seguir.

A definição, na norma, dos parâmetros de dimensão e forma dos corpos de prova se deve a região envolta do ponto de impacto. Esta zona é uma das principais formas que a blindagem tem de absorver energia do impacto, claramente identificada pela formação de trincadas. Caso haja diminuição das distâncias dos impactos à região da borda, como houve na CBC, o vidro terá sua capacidade de suportar impactos diminuída, por conta da redução da área de dissipação de energia.

A forma curva das janelas blindadas se deve ao tratamento térmico executado na fabricação das mesmas, podendo haver pequena mudança no seu desempenho balístico. Este processo não ocorre com vidros planos. Se a norma define o teste do protótipo plano de vidro, a questão passa a ser se a norma está correta em testar apenas vidros planos e não vidros curvos (teoricamente mais frágeis). Porém, a norma [NBR 15000](#) se vale de um artifício muito comum para corrigir este problema, ela define nos seus testes as velocidades de impacto dos projéteis

(energia) muito acima das encontradas em munições comerciais, garantido uma margem de segurança nos resultados avaliados.

A blindagem testada na CBC é do nível III-A da norma [NBR 15000](#). Para este nível, as energias (velocidades) dos projéteis da norma e das munições comerciais são:

Nível	NORMA ABNT NBR 15000:2005			MUNIÇÕES PRESENTES NAS RUAS (fabricadas pela CBC)		
	Munição	V ₀ (m/s)	Energia (J)	Munição	V ₀ (m/s)	Energia (J)
III-A	9 mm FMJ	426	726	9 mm ETOG	332	441
	.44 Mag SWC GC	426	1416	.44 Mag EXPP	357	994

Ou seja, para a munição 9 mm, a energia da norma é 64% maior do que a munição comercial. A munição .44 Mag da norma tem energia 42% maior do que a munição vendida no comércio.

A forma curva dos vidros testados também impossibilita o correto assentamento do corpo de prova no suporte. O comportamento balístico do vidro depende do seu estilhaçamento no entorno do ponto de impacto e a fixação incorreta do corpo de prova irá comprometer a precisão dos resultados.

4.6. Objetivo das normas balísticas

As normas de blindagem, ao contrário do que muitos imaginam, foram criadas para testar e aprovar ou reprovar o projeto da blindagem. Isto acontece com a maioria dos sistemas controlados por normas, principalmente as normas que executam testes destrutivos, como é o caso da [NBR 15000](#).

A [NBR 15000](#), assim como as demais normas de teste de blindagens no mundo, foi criada com o intuito de ser: simples, confiável, de execução fácil e economicamente viável. Por isso, as seguintes características devem ser destacadas nesta norma:

- As energias de impacto das munições ($\frac{1}{2} mv^2$) presentes na tabela da norma são muito superiores às existentes no mercado civil (vendidas pela CBC) (tabela a seguir). Esta característica, feita de propósito, tem o objetivo de proteger o usuário final, dando as blindagens aprovadas uma margem de segurança contra as ameaças encontradas nas ruas.

NORMA ABNT NBR 15000:2005					MUNIÇÕES PRESENTES NAS RUAS (fabricadas pela CBC) ²				
Nível	Munição	Massa do Projétil (g)	V ₀ (m/s)	Energia (J)	Munição	Massa do Projétil (g)	V ₀ (m/s)	Massa grains	Energia (J)
I	.22 LRHV Chumbo	2,6	320	133	.22 LR Subsônico	2,6	316	40	130
	.38 Special RN chumbo	10,2	254	329	.38 CHOG	10,2	229	158	267
II-A	9 mm FMJ	8	332	441	9 mm ETOG	8	332	124	441
	357 Mag JSP	10,2	381	740	357 EXPP	10,2	352	158	632
II	9 mm FMJ	8	358	513	9 mm ETOG	8	332	124	441
	357 Mag JSP	10,2	425	921	357 EXPP	10,2	352	158	632

² Munições vendidas pela Companhia Brasileira de Cartuchos - CBC (www.cbc.com.br)

NORMA ABNT NBR 15000:2005				
Nível	Munição	Massa do Projétil (g)	V ₀ (m/s)	Energia (J)
III-A	9 mm FMJ	8	426	726
	.44 Mag SWC GC	15,6	426	1416
III	7,62x51 FMJ	9,7	838	3406
IV	.30-06 AP	10,8	868	4068

MUNIÇÕES PRESENTES NAS RUAS (fabricadas pela CBC) ²				
Munição	Massa do Projétil (g)	V ₀ (m/s)	Massa grains	Energia (J)
9 mm ETOG	8	332	124	441
.44 EXPP	15,6	357	240	994
7,62x51 comum	9,4	838	144	3301
7,62x63 Perfurante M2	10,7	730	150	2851

- Os ensaios balísticos feitos segundo a [NBR 15000](#) devem obedecer um ângulo de impacto de 0º, que é a situação mais crítica possível.
- Os ensaios balísticos feitos segundo a [NBR 15000](#) são simples e confiáveis, ou seja, independem da pessoa que executa e podem ser repetidos, caso obedçam todos os parâmetros estipulados na norma. Disparos em vidros sem forma definida (ex: janelas) possibilitam que os impactos ocorram mais ou menos próximo das bordas, dependendo do executante do ensaio, o que prejudica o desempenho da blindagem.
- A [NBR 15000](#), ao avaliar a conformidade de um projeto de blindagem, possibilita que este seja usado em algumas centenas de formas. Considerando que existem dezenas de modelos de veículos blindados e que cada veículo contém, em média, seis janelas blindadas, seriam necessárias algumas centenas de testes em blindagens, caso fossem feitos testes para cada uma das formas de janela de vidro fabricado.

A norma alemã [BRV 2009](#) (*Association of test laboratories for bullet resistant materials and constructions - VPAM*) - *Testing guideline "special protected vehicles"*, edição: 14/05/2009 é uma das poucas no mundo a especificar testes balísticos no veículo blindado. Sua aplicação no Brasil já foi cogitada, porém os benefícios e a execução desta norma são questionáveis. Vejamos:

- Custo extremamente elevado do ensaio, haja vista o uso de um veículo completo (com todos os acessórios) como corpo de prova para ser testado e destruído por disparos balísticos.
- Parcialidade do ensaio, visto que os pontos de impacto no veículo não são precisamente escolhidos. Os resultados podem variar conforme muda o executante,
- Necessidade de um número enorme de testes, pois para cada projeto de veículo blindado (marca, modelo, modelo das blindagens e sua instalação) deve-se executar um teste.

A aplicação da norma [BRV 2009](#) é restrita a veículos blindados de uso muito especial, como por exemplo, veículos presidenciais, cujo investimento em segurança extrapola a faixa dos milhões de dólares.

Os ensaios balísticos feitos segundo a [NBR 15000](#) possibilitam a igualdade de condições entre os fabricantes de blindagem, de forma simples, direta e confiável, não requerem grande investimento e principalmente protegem o usuário final.

5. CONCLUSÃO

Os testes balísticos realizados na CBC, no dia 15 de março de 2013, em vidros blindados fabricados pela empresa SER Glass não são válidos para reprovação dos mesmos. Neste teste, fatores importantes da norma [NBR 15000](#) não foram cumpridos, como tamanho, forma e fixação do corpo de prova e distância dos impactos até a borda. O não cumprimento destes requisitos de teste, definidos na NBR 15000, prejudica severamente o resultado e descaracteriza o teste padrão.

Observa-se um desconhecimento completo da norma [NBR 15000](#), seus fins e suas características básicas. Isto se dá de tal forma que a própria norma é colocada em xeque, pois, caso o Centro de Avaliações do Exército (órgão oficial avaliador de blindagens no Brasil) executa-se os testes, tal como feitos na CBC, provavelmente não haveriam blindagens no Brasil. Os resultados seriam inconsistentes, não confiáveis e obrigatoriamente numerosos a tal ponto que inviabilizariam o mercado de blindagens. Simplesmente, ninguém no mundo testa seriamente blindagens balísticas, da forma como foi feito na CBC.

Brasília – DF, 01 de abril de 2013.

GUILHERME ARAUJO BITTENCOURT - Eng. Mec. - M. Sc.

Especialista em blindagens balísticas

6. BIBLIOGRAFIA

1. [Ballistic Performance Assessment of Glass Laminates Through Experimental and Numerical Investigation](#); Richrds M., Clegg R. e Howlett S.; 18th International Symposium and Exhibition on Ballistic San Antonio, Texas USA, 15–19 nov 1999.
2. [Impact on Glass Laminates](#); Bless S. J., Chen T. e Russell R.; 23rd International Symposium on Ballistics, Tarragona, Espanha 16-20 abr 2007.
3. [Historical review of high strain rate and shock properties of ceramics relevant to their application in armour](#); S. M. Walley, Advances in Applied Ceramics, Vol. 109, nr 8, 2010.
4. [Recent Advances in Dynamic Indentation Fracture, Impact Damage and Fragmentation of Ceramics](#); Ghatu Subhash, Spandan Maiti, Philippe H. Geubelle e Dipankar Ghosh; Jornal American Ceramic Society; Vol. 91, 2777–2791, 2008.