

Relatório Técnico

Análise Comparativa para Testes Balísticos
em Amostras Planas e Curvas



Elaborado por:

Eng^o José Lourenço Amora

Maio/13

SUMÁRIO

OBJETIVO	2
NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES	2
RELAÇÃO DE FIGURAS E GRÁFICOS	2
CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES	3
DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO - TESE	4
DIMENSIONAL	4
ÂNGULO DE INCIDÊNCIA	9
FIXAÇÃO DA AMOSTRA	12
CONCLUSÃO	16
BIBLIOGRAFIA	16

OBJETIVO

A proposta desse trabalho é provar que as peças de blindagem transparente produzidas para o comércio podem ser avaliadas em testes laboratoriais, mesmo que sua geometria e consequente sistema de fixação no cavalete do laboratório sejam diferentes do previsto para o corpo de prova normatizado. Em outros termos, o fato do vidro comercial ser curvado para atender a necessidade de aplicação no veículo de passeio, é um fator que melhora o desempenho balístico, isto é, o sistema de blindagem balística transparente será mais eficiente.

NOMENCLATURAS E ABREVIações

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas;
NIJ	<i>National Institute of Justice</i> , dos Estados Unidos;
CP	Corpo de prova, denominação genérica;
CPP	Corpo de prova plano – protótipo submetido ao teste balístico, segundo norma;
CPC	Corpo de prova curvo, que representa a peça pronta para utilização;
Provete	Artefato de disparo do projétil.

RELAÇÃO

Figura 1	Amostra de Corpo de Prova Plano;
Figura 2	Imagem dos vidros de uma veículo – formas variadas;
Figura 3	Zonas de fragmentação num CPP;
Figura 4	Zonas de fragmentação num CPP, maior que o dimensional da norma;
Figura 5	Zonas de fragmentação num CPP, menor que o dimensional da norma;
Figura 6	Detalhes da Zona de Fragmentação;
Figura 7	Imagem do Cone formado pelo impacto balístico;
Figura 8	Diagrama da forma de dispersão das ondas de choque no interior do CP;
Figura 9	Gráfico de Relação da Energia com a Velocidade do Projétil;
Figura 10	Gráfico de Correlação das Zonas de Fragmentação num CP;
Figura 8	Diagrama da forma de dispersão das ondas de choque no interior do CP;
Figura 9	Gráfico de Relação da Energia com a Velocidade do Projétil;
Figura 10	Gráfico de Correlação das Zonas de Fragmentação num CP;
Figura 11	Diagrama de Alcance das Zonas de Fragmentação;
Figura 12	Imagem de um vidro comercial de carro;
Figura 13	Diagrama do ângulo de instalação que o vidro é instalado no veículo;
Figura 14	Diagrama de alinhamento da trajetória do projétil com o ângulo de instalação do vidro no carro;
Figura 15	Diagrama de alinhamento do vidro perpendicular com a trajetória do projétil;
Figura 16	Diagramas de impacto em relação ao ângulo – 90° , 45° e 0° ;
Figura 17	Fórmula Trigonométrica que relaciona o ângulo com o segmento;
Figura 18	Gráfico do % de Transferência de Energia;
Figura 19	Desenho do suporte da amostra – esquema previsto em norma e imagem real;
Figura 20	Diagrama das fases de impacto do projétil sobre o vidro de amostra;
Figura 21	Gráfico de queda de energia nas fases do impacto;
Figura 22	Fig.22 – Diagrama de energia dos disparos;

CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

Se admitirmos que todo material é de alguma forma balístico, seja monocomponente ou em sistema compósito, e que existem uma infinidade de munições e projéteis, fica impossível correlacionar o grau de balística sem que tenhamos uma forma de testá-lo. Para que possamos testar a qualidade balística em questão, somente poderá ser feito através de um conjunto de regras pré-definidas, que chamamos de NORMA. A norma balística pré-estabelece todas as variáveis que interferem com a propriedade que estamos avaliando, para que os testes que serão realizados possam apresentar os resultados – APROVADO ou REPROVADO, únicos e exclusivamente dependentes do próprio material (ou sistema) testado.

A norma balística tomada para essa análise é a ABNT NBR 15.000. Essa norma brasileira foi extraída da NIJ-0108.01, americana. Portanto, os resultados desse trabalho poderão ser referidos para testes sob as condições da norma NIJ.

Abaixo apresentamos resumidamente os critérios pré-definidos para os testes balísticos segundo a NBR 15.000.

- O CP deve ter tamanho de $500 \times 500\text{mm}^{(1)(2)}$;
- O CP deve ser fixado à 5m de distância do provete;
- 5 disparos efetuados contra o CP, sendo 4 disparos nos vértices de um quadrado de $205 \times 205\text{mm}$ e o 5º disparo no centro geométrico do quadrado que deve ser exatamente o centro geométrico do CP ;
- O impacto deve ser num ângulo de 90° entre a trajetória do projétil e a face do CP, numa variação menor que 5° ;

(1) Na norma NBR 15.000 o corpo de prova deve ter dimensões exatas. Na norma NIJ 0108.01, a especificação é de tamanho mínimo equivalente à $305 \times 305\text{mm}$.

(2) Na norma não há especificação ou menção sobre a curvatura do corpo de prova, não estando claro se ele deve ser plano ou curvo. Na prática, o utilizado é PLANO para permitir o encaixe e fixação adequados no suporte.

NOTA GERAL

São também determinados, conforme o nível de proteção desejado, o tipo de munição e sua velocidade de disparo. Como nosso estudo não visa um nível de blindagem, esses critérios serão constantes seja para os testes no CPP ou CPC.

Nas condições da NBR 15.000, o CP será considerado APROVADO se nenhum projétil e/ou fragmento do corpo de prova, dos 5 disparos, perfurar uma folha de alumínio colocada a 15cm atrás. Caso contrário dir-se-á que o CP foi REPROVADO para o nível testado.

Para uso dessa tese, vamos ressaltar os seguintes itens da NBR 15.000:

...

“Item 6.1 – o impacto deverá ser aceitável se: a) o ângulo de incidência for inferior a 5° ;”

...

“Item 7.2.1 – dispositivo de apoio: o corpo de prova deve ser montado em dispositivo que propicie facilidade e rapidez no ajuste de sua posição, de modo que a face de impacto do corpo de prova fique perpendicular à direção da trajetória. Ver anexo A.”

...

“Tabela 1 – nível de proteção do sistema de blindagem quanto ao impacto balístico:

Nível III-A	munição: .44 magnum SWC GC
	massa do projétil: $15,6 \pm 0,1\text{g}$
	velocidade do projétil: $426 \pm 15\text{m/s}$ [mín: 411 / máx: 441]”

DIMENSIONAL

Vamos tomar inicialmente a característica DIMENSIONAL do corpo de prova e de uma peça hipotética produzida para o comércio geral.

Como vemos com frequência, as peças utilizados nos veículos são de formas e desenhos completamente diferentes do que é determinado para efeito de análise laboratorial. As amostras de laboratório, também chamadas de protótipo, são quadradas de dimensões exatas: 500 x 500mm.



Fig.1 - Vidro plano para ensaio em laboratório

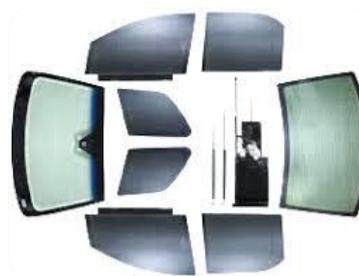


Fig. 2 - Diversos formatos de vidros no veículo

Vamos partir da amostra determinada pela norma de 500x500mm de tamanho. Não é difícil imaginar que se aumentarmos as dimensões das laterais do CP, qualquer que seja esse incremento, o resultado balístico será o mesmo. Veja o diagrama a seguir.

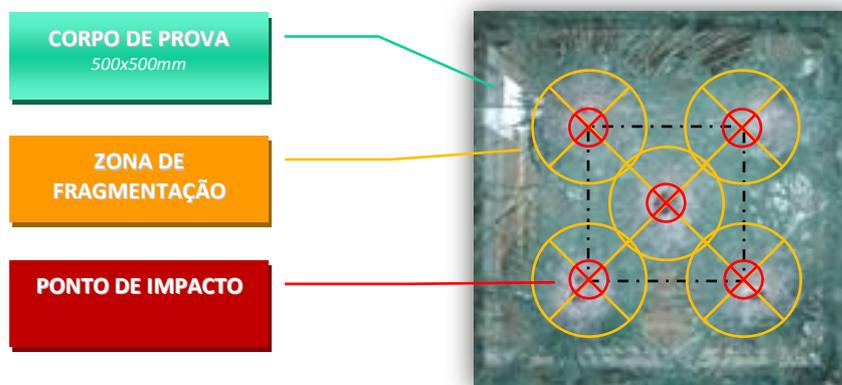


Fig.3 - Zonas de Fragmentação

Se aumentarmos o tamanho do corpo de prova, em qualquer de suas dimensões, é fácil verificar que não vai haver alteração no resultado, desde que se mantenha os pontos de impacto exatamente equidistantes e na mesma posição.

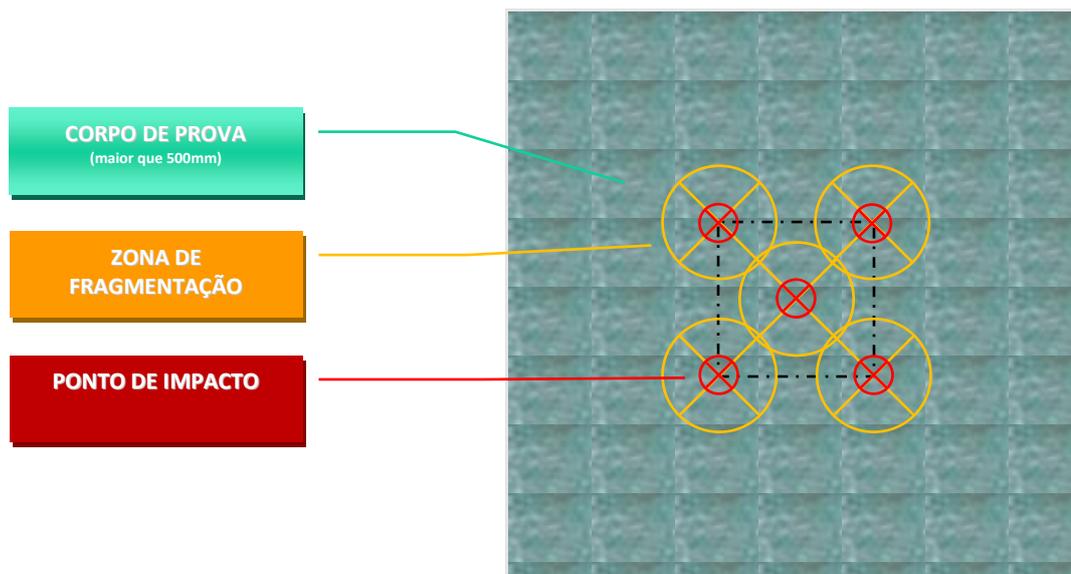


Fig.4 - Zonas de Fragmentação em CPP maior

Mas e no caso de reduzir o tamanho da amostra, vamos encontrar a situação abaixo.

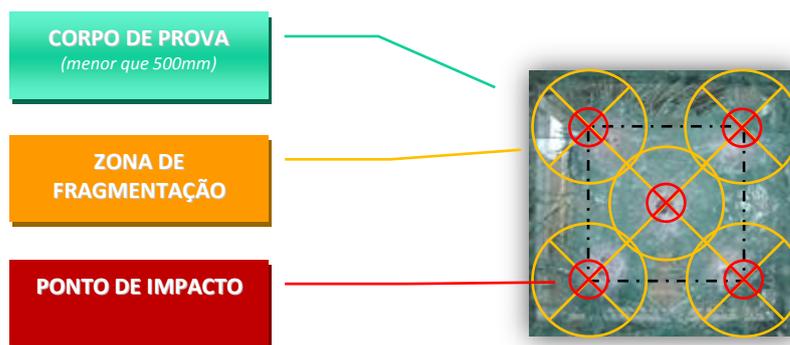


Fig.5 - Zonas de Fragmentação em CPP menor

Percebemos que embora o corpo de provas apresente quase que totalmente fragmentado, a região entre os primeiros 4 disparos não se altera com a redução do tamanho da amostra. Vamos ver como isso fica.

Para melhor compreensão, vamos fazer um estudo de comportamento de como a **zona de fragmentação** surge.

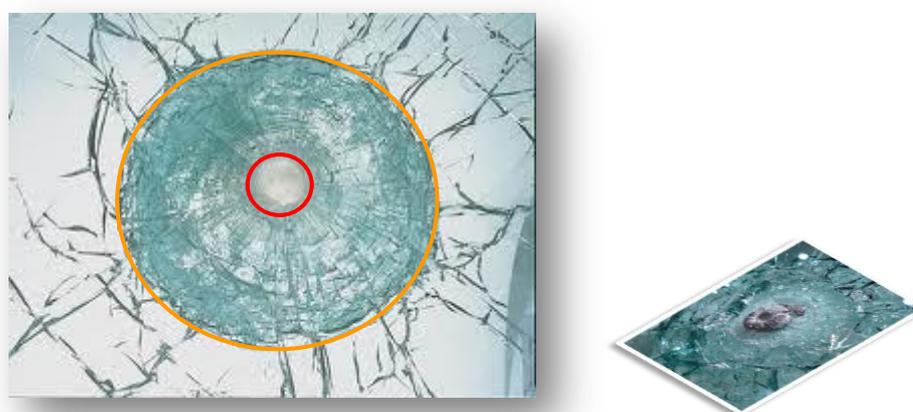


Fig.6 – Detalhes das Zonas de Fragmentação

Ao ser atingido pelo projétil, o vidro apresenta em torno do ponto de impacto 3 áreas distintas, sob vista em planta:

Núcleo

Representado acima pela área dentro do círculo vermelho. É o ponto de impacto do projétil. Devido à grande quantidade de energia transferida nesse ponto, essa área é característica pela alta fragmentação e remoção de material.

Zona Intermediária

Definido pela área entre o círculo laranja e vermelho do nosso desenho. A energia nesse ponto é apenas decorrente das ondas de choque provenientes do ponto de impacto. Tem um grau de estilhaçamento grande, porém sem remoção significativa de massa.

Zona de Dispersão

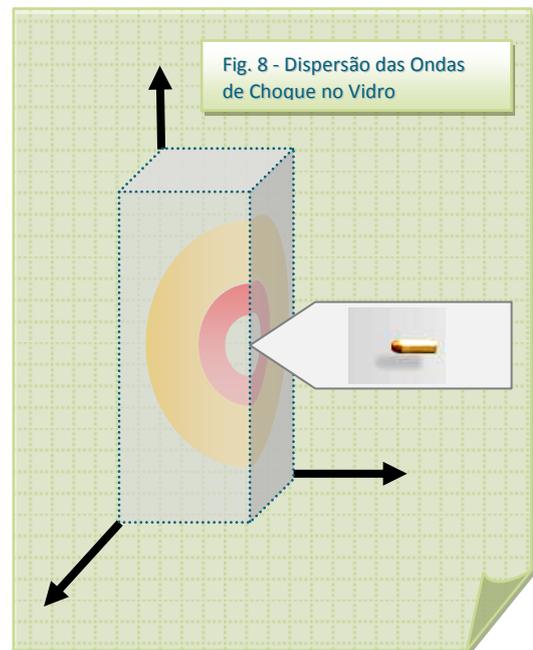
É toda a área externa ao círculo laranja. Nessa região ocorrem fissuras nas lâminas de vidro de forma espaçada e sem perda de material.

O primeiro aspecto importante a considerar é que as áreas se distinguem em formas circulares o que mostra que a energia dispersa igualmente em todas as direções. Veja o desenho ao lado, que representa o deslocamento das ondas de energia pelo CP. Isso se deve ao fato da constituição do blindado transparente ter características homogêneas.

Na parte posterior do vidro blindado, conforme a energia do projétil, é comum formar um cone. Esse cone expõe o formato resultante da dispersão de energia – ponto mais próximo ao impacto é mais alto e vai diminuindo nessa forma geométrica bem definida.



Fig.7 – Cone do Impacto



Imaginemos as condições que um projétil impõe sobre um corpo de prova, na medida que aumentamos sua energia, que nesse caso é na razão do quadrado de sua velocidade:

$$Ec = \frac{m * v^2}{2}$$

Onde: E_c = energia cinética (Joule) m = massa do projétil (kg) v = velocidade do projétil(m/s)

A primeira situação seria um projétil que atinge o vidro com velocidade bem baixa. Nesse caso, sabemos que o projétil não irá nem arranhar o vidro. E assim vamos subindo a velocidade gradativamente.

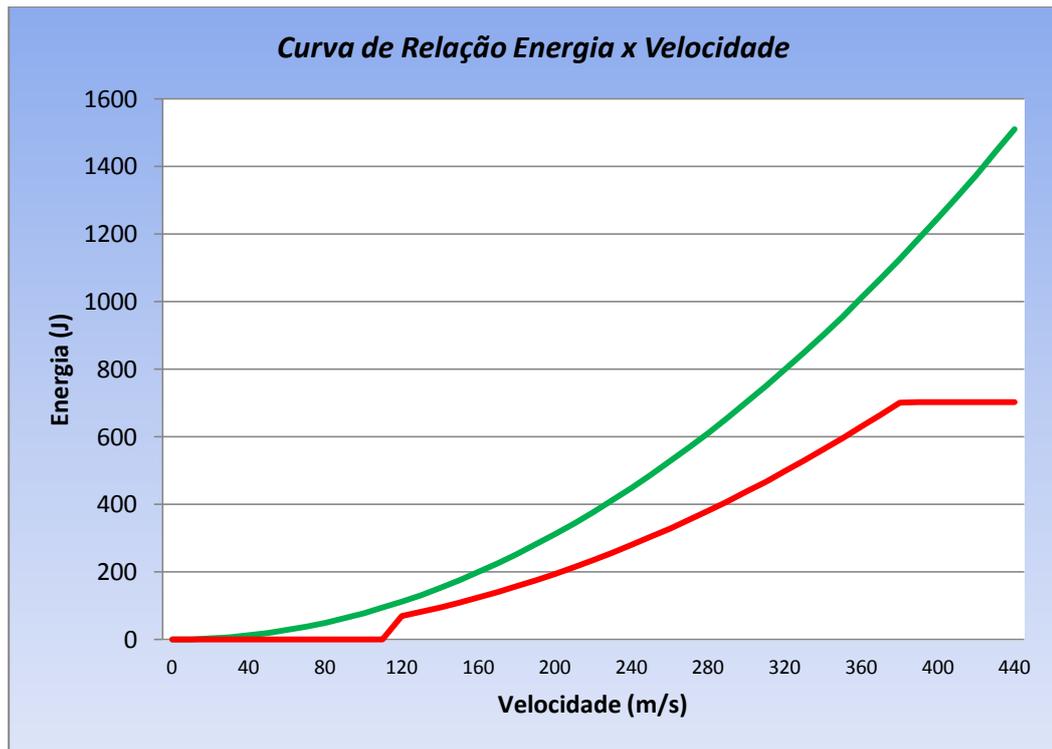
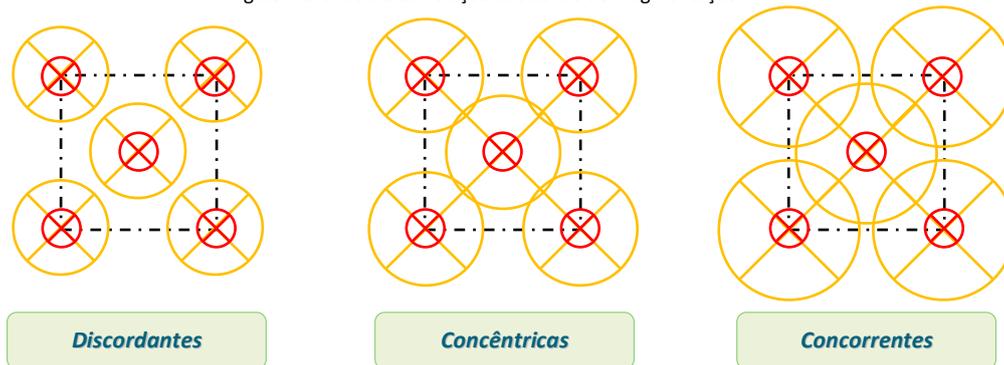


Fig.9 – Gráfico de Relação da Energia com a Velocidade do Projétil

Num dado momento, o projétil terá energia suficiente para começar a impor ao CP as zonas de fragmentação, algo como exemplificada pela linha vermelha do gráfico acima. Na medida em que continuamos a aumentar a energia até o ponto de fazer o projétil perfurar o CP, desse ponto em diante, as áreas de fragmentação não mais crescerão, mantendo-se inalteradas.

Vamos então admitir que atingissem a maior área de fragmentação do vidro e nessa condição podemos ter, as seguintes situações, que vão depender exclusivamente da construção do vidro blindado.

Fig.10 – Gráfico de Correlação das Zonas de Fragmentação



Entre essas configurações, a maior preocupação quanto ao desempenho que a amostra vai ter com relação ao 5º disparo (central) está na “Concorrente”. Essa conclusão é muito simples quando analisamos os diagramas acima. Há partes do CP com um adensamento de energia que sobrecarregam e conseqüentemente a destruição é maior.

Com o propósito de simplificar o entendimento, vamos desconsiderar as ondas refletidas no interior do material. Vamos simular num diagrama semelhante a redução do tamanho da amostra, passando pelas mesmas situações de

“Discordantes”, “Concêntricas” e “Concorrentes”, porém numa relação entre a área de fragmentação e o limite do corpo de prova.

Note que na última figura da direita, há uma área de fragmentação que hipoteticamente ultrapassa os limites do corpo de prova. Em termos práticos, isso significa dizer que a dispersão de energia não foi, nesses pontos, exatamente igual às situações anteriores. Acontece que o corpo de prova nessas áreas é mais destruído, que observamos quando projéteis são disparados nas bordas e contornos dos vidros blindados, antes de haver a dispersão da energia do impacto, o fragmento se desprende do CP e com isso parte da sua energia se perde, muitas vezes junto com o próprio projétil. Por isso, nas normas balísticas há o cuidado para que as geometrias garantam que deve haver um distanciamento da borda do corpo de prova. No caso da NIJ, essa medida é de 2”.

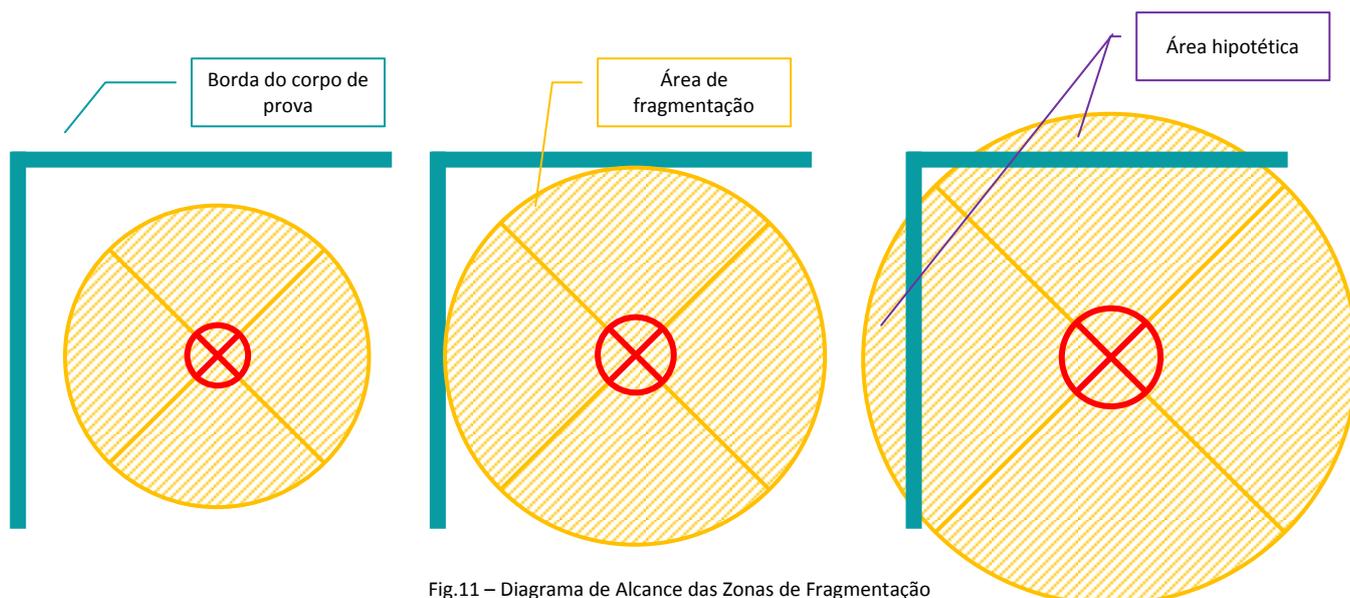


Fig.11 – Diagrama de Alcance das Zonas de Fragmentação

Mesmo nessas condições, verifique que o distanciamento entre os disparos continua igual, por determinação de norma. E, mesmo que o corpo de prova pudesse estar menor que sua dimensão regulamentada, desde que garanta que os projéteis possam impactar diretamente contra o corpo de prova na posição determinada no quadrado de 205x205mm, e não considerarmos o resultado de APROVADO ou REPROVADO para esses 4 disparos, o 5º disparo terá seu valor mantido, isto é, sua análise e consideração de APROVADO/ REPROVADO correspondem com a verdade, no que se refere ao desempenho balístico do vidro, simplesmente porque essa divergência no contorno do corpo de prova não afeta a área entre os disparos. Se vier a afetar seria a favor do desempenho do vidro blindado, pois se ocorrer um dos disparos de bordas fora do vidro ou numa condição muito limítrofe, esse não poderá transferir integralmente sua energia para o CP, diminuindo o *stress* no material (diminuindo as zonas de fragmentação), e assim favorecendo ao desempenho no 5º disparo, mesmo que tenha um pedaço de sua massa desconectada do corpo de prova.

Concluimos que se um vidro produzido comercialmente apresentar dimensões maiores ou igual que o determinado em norma, o seu resultado deve ser avaliado, no que se refere ao dimensional, pelos 5 impactos. No entanto, se a amostra apresentar dimensões menores que a prevista em norma, até o ponto de permitir que os 5 disparos sejam realizados sobre o CP, deve-se descartar os 4 primeiros disparos (dos vértices) e considerar apesar o resultado do 5º disparo, no centro. Se a amostra reter o projétil e os fragmentos, pode-se afirmar que a composição está adequada com o nível requerido. No entanto, se o 5º disparo transpassar a amostra, podemos afirmar que a composição balística desse vidro não está condizente com o nível desejável.

ÂNGULO DE INCIDÊNCIA

Vamos tratar a seguir os aspectos que podem diferenciar um corpo de prova e uma peça de vidro produzida comercialmente no que se refere ao ÂNGULO DE INCIDÊNCIA.

Quando um protótipo é produzido para análise de impacto balístico, sua geometria é plana, conforme já vimos. Vale ressaltar que a norma não determina que deve ser plano, mas que o ângulo de impacto do projétil deve ser a 90° em relação a superfície do CP. Essa determinação por si só exclui a necessidade de especificar que a amostra deve ser plana ou não. Podemos verificar essa condição conforme o diagrama abaixo.

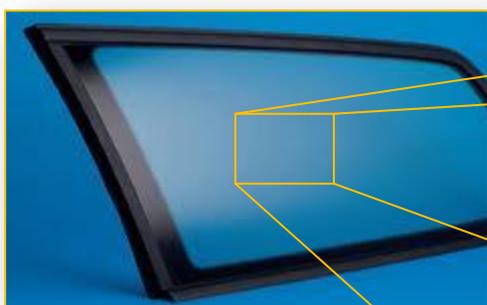
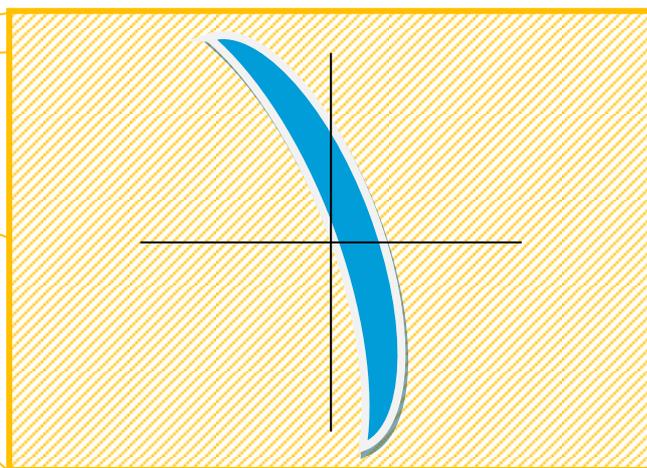


Fig.12 – Vidro comercial de carro

Fig.13 – Vidro comercial de carro em sua posição de instalação



Imagine que esse seja o perfil do vidro comercial e queremos que o impacto sobre o vidro esteja nas condições normatizadas. Para isso, basta garantirmos que o projétil irá atingi-lo num ângulo reto. Ou alinhamos o projétil ou alinhamos a peça de vidro no suporte.

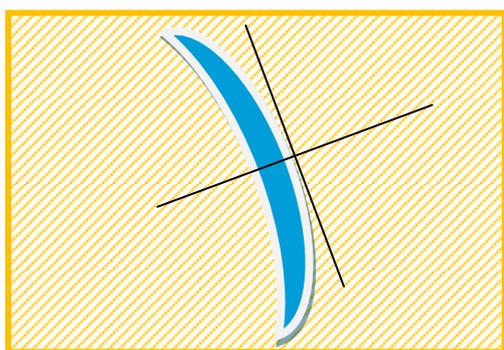


Fig. 14 - Alinhamento do projétil

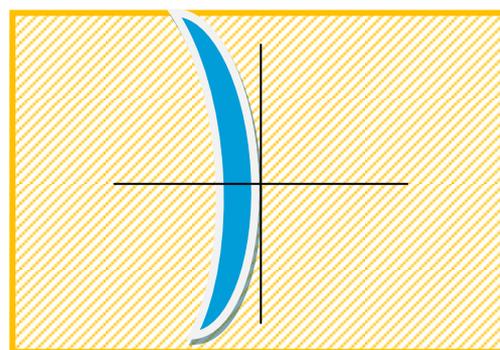


Fig. 15 - Alinhamento do vidro

Mas supondo que não seja possível fazer o alinhamento nem do projétil e nem do vidro. Vamos demonstrar abaixo que a situação de maior impacto é quando o projétil atinge a amostra em 90° . Qualquer outra condição de impacto sempre vai favorecer a segurança, isto é, o projétil terá menos eficiência no aspecto de penetração.

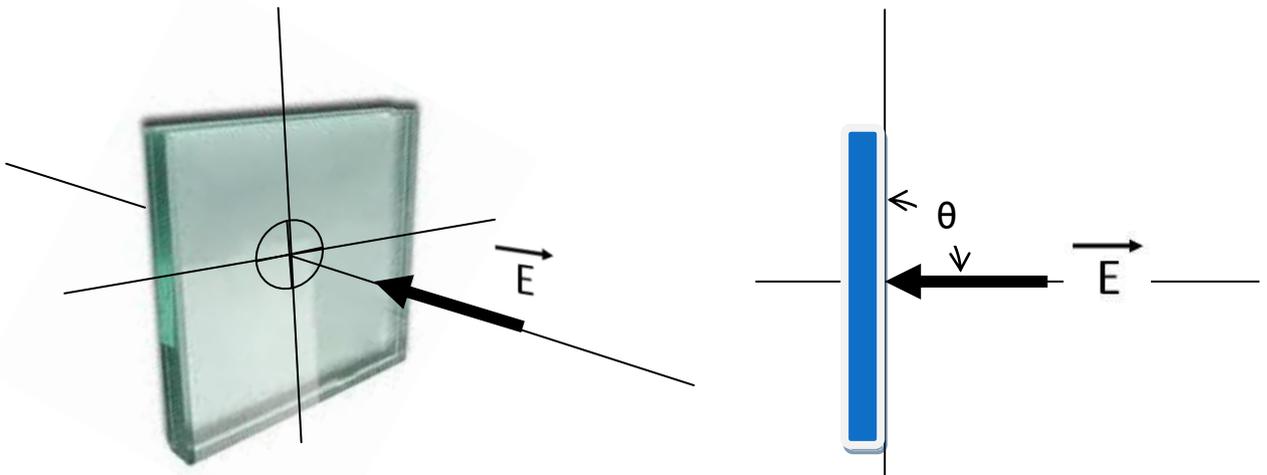
Para simplificar nossa análise e tornar a compreensão mais fácil, vamos descartar a trajetória parabólica do projétil, seu movimento de rotação, e outros aspectos físicos desse tipo de lançamento. Nossa análise irá ater-se ao momento inicial do impacto do projétil no vidro e vamos supor como condição inicial que o impacto está ocorrendo à 90° .

Como já vimos, no momento do impacto há uma transferência de energia enorme para o vidro. Vamos chamar essa grandeza física de "E" que será representado por um vetor, conforme abaixo.

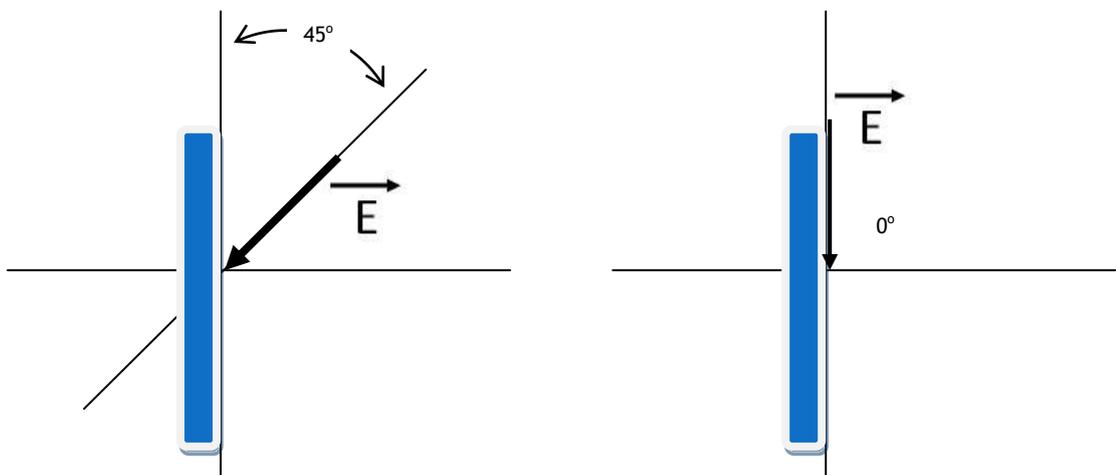


Vamos agora diagramar no momento do impacto, como esse componente \vec{E} é transferido para o vidro. Verifique que por condição inicial, o ângulo de impacto $\theta = 90^\circ$.

Fig.16 – Diagramas de impacto em relação ao ângulo

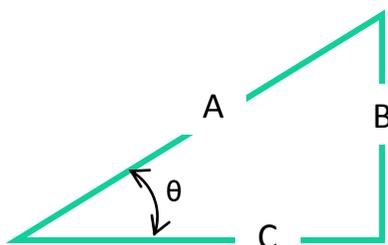


Vamos agora mudar o ângulo θ para 45° e 0° para ver o que acontece com a energia de impacto.



Na medida em que vamos inclinando a trajetória do projétil em relação à superfície do CP, a energia é transferida em ângulo, isto é, há uma decomposição dessa força em uma componente no sentido paralelo e outra no sentido perpendicular da superfície do vidro. Para determinarmos o valor dessas componentes, utilizamos a seguinte fórmula trigonométrica:

Fig.17 – Fórmula Trigonométrica



$$B = A \times \text{sen } \theta$$

$$C = A \times \text{cos } \theta$$

É evidente que a componente paralela à superfície do vidro não impõe nenhuma força (transferência de energia) para o vidro. Assim, na condição do ângulo de incidência ser 0° , a força imposta ao vidro é ZERO. Essa verificação pode ser comprovada aplicando-se a fórmula trigonométrica acima.

$$B = A \times \text{sen } \theta, \text{ ou seja: } E_h = E \times \text{SEN } 0^\circ = E \times 0 = 0$$

Ou seja, não há força no sentido de impacto com o vidro. Da mesma forma, vamos calcular quando o ângulo de incidência for de 45° .

$$B = A \times \text{sen } \theta, \text{ ou seja: } E_h = E \times \text{SEN } 45^\circ = E \times 0,71$$

Ou seja, de toda a energia **E** empregada no disparo, apenas 71% dela será aplicada de fato ao vidro. O restante é perdida. Desta forma, podemos montar um gráfico onde veremos como a energia **E** será transferida ao corpo de prova em função do ângulo de incidência.

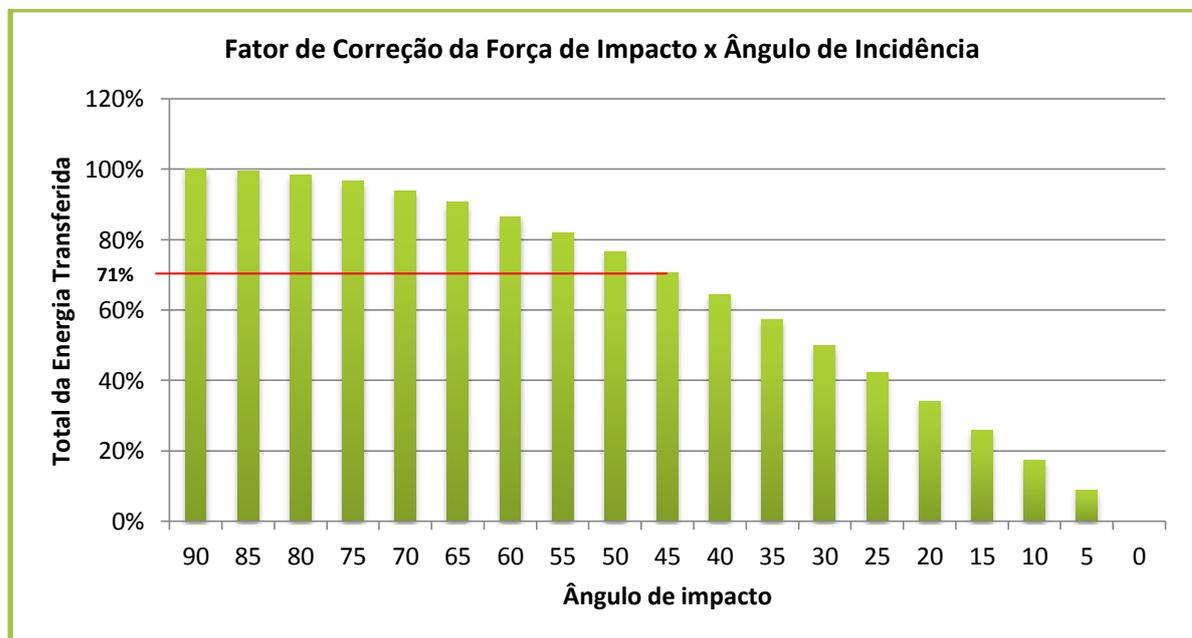


Fig.18 – Gráfico do % de Transferência de Energia

Por exemplo, no ângulo de 45° , vimos que esse fator é 0,71. Assim, a energia que será utilizada para perfuração do corpo de prova será 71% da energia total do projétil.

Como vemos pelo gráfico, na medida que o ângulo de incidência diminui, a energia de impacto no vidro decai até ZERO, quando o projétil está totalmente paralelo ao vidro e portanto não impõe nenhum impacto.

Voltando a nossa tese, a conclusão entre testar um corpo de prova plano ou um curvo não faz diferença alguma desde que se garanta que o impacto ocorrerá num ângulo de 90° porque é nessa condição que o projétil terá maior efeito sobre o vidro. Qualquer outra situação de incidência vai favorecer ao desempenho do vidro, pois o projétil não irá impactar com toda sua energia sobre o vidro. Por isso, a inclinação dos vidros instalados no veículo é fator de melhoria contra os disparos de arma.

FIXAÇÃO DA AMOSTRA

A seguir, vamos analisar se há perda ou ganho de desempenho na proteção balística da amostra em relação ao vidro comercial, pois o CPP tem seu perímetro totalmente fixado ao suporte de teste no laboratório e o vidro comercial, em razão de sua geometria diversa, é fixado em alguns pontos entorno do seu perímetro.

O protótipo quando produzido para teste em laboratório é plano e com dimensões rigorosas. Isso permite que sua montagem seja precisa no suporte que irá segurá-lo durante os impactos, conforme diagrama abaixo copiado na NBR 15.000.

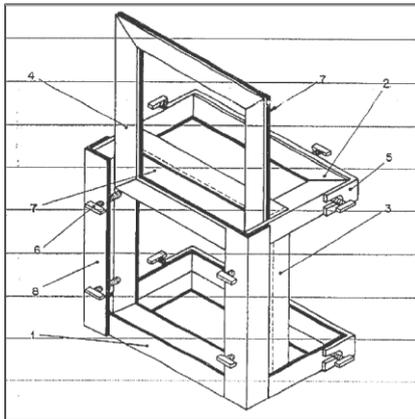
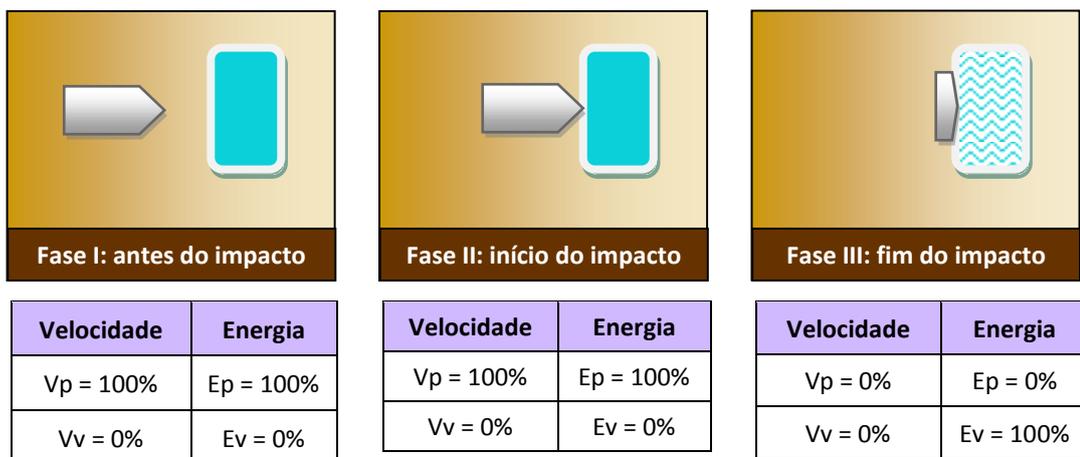


Fig.19 – Desenho do Suporte do Vidro para teste em laboratório

Esse suporte foi projetado para que todo o perímetro da amostra fosse fixado e garantir que o CP não se movimente no momento dos impactos. Essa condição é importante para garantir que nenhuma parte da energia seja dispersa na forma de MOVIMENTO, o que viria a favorecer ao desempenho do vidro no que se refere ao grau de proteção balística. Isto é, se no impacto o CP mover-se junto com o projétil, não haverá transferência de energia ou pelo menos ela será parcial. Isso pode ser verificado no esquema a seguir.

Fig.20 – Diagramas das fases de impacto



Onde: Vp = Velocidade do projétil; Vv = Velocidade do vidro; Ep = Energia no projétil; Ev = Energia no vidro

Veja que na condição final, toda a energia é transferida ao vidro que acaba se dissipando na forma de estilhaçamento do vidro na região do impacto (núcleo), com fragmentação na zona intermediária e trincas nas demais partes do vidro, conforme já vimos anteriormente nesse estudo. Isso é válido considerando que o projétil não transpasse a amostra do teste, pois nessa condição fica evidente que parte de toda energia ficará com o projétil para manter seu movimento. Mas nessas situações, o corpo de prova já foi reprovado, o que foge a nossa proposta de análise.

Não vamos aqui nos preocupar com a taxa de energia transferida ou a perda que há para realização da fragmentação, do estilhaçamento ou das trincas no interior do corpo de prova. Sabemos que há uma perda considerável de energia no interior da amostra e, portanto, podemos aceitar que a energia vai se dissipando a cada evento e que poderia ser representada pelo gráfico a seguir.

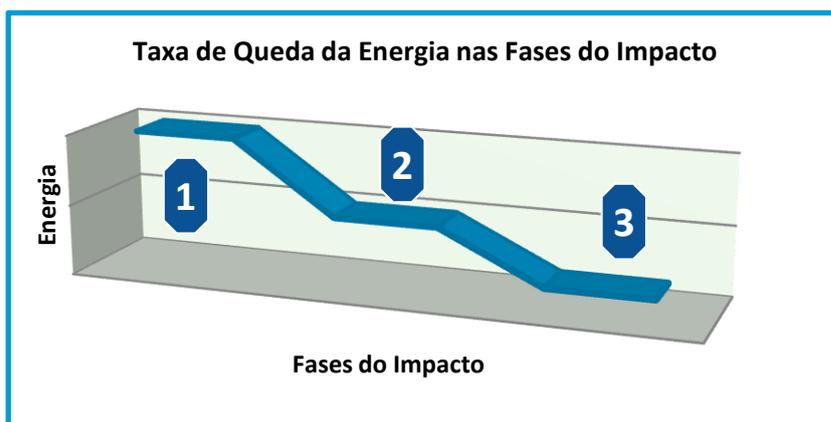


Fig.21 – Gráfico de queda de energia nas fases do impacto

Na fase “2”, o corpo de prova tentará iniciar seu movimento, isto é, estará aplicando sobre o suporte através dos pontos de contorno uma força. Essa força aplicada sobre cada centímetro do período impõe uma determinada pressão. Se diminuirmos os pontos de contato ou aumentarmos a força do impacto ou diminuirmos o tamanho da amostra, essa pressão sobre cada ponto irá mudar. Quando a norma estabelece o tamanho padrão do corpo de prova de 500x500mm para toda a faixa de níveis, a norma não está preocupada qual vai ser o “estrago” na borda de contato do CPP. Ela apenas quer garantir que o CP não se desloque. Isso é verificado quando vemos que as energias de cada projétil mudam consideravelmente, conforme mostra o quadro abaixo.

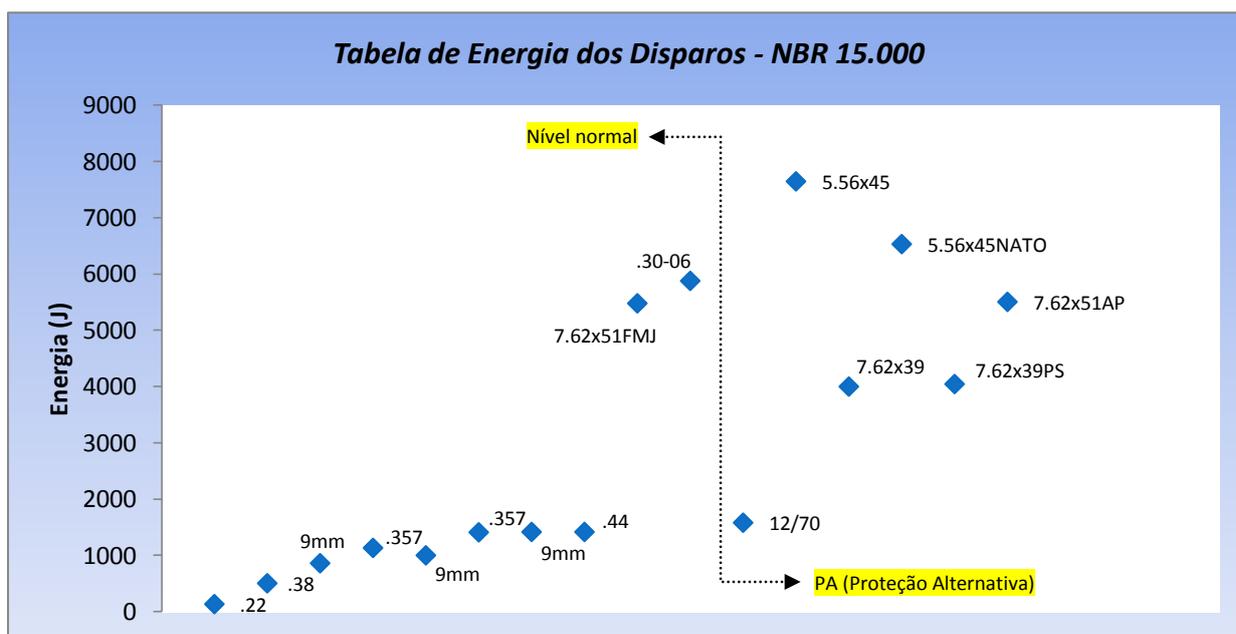


Fig.22 – Diagrama de energia dos disparos

Repare que os valores vão de aproximadamente 100 a 8000 joules por cada impacto, para um mesmo tamanho de amostra.

Assim, desde que a peça em teste estiver presa suficientemente para garantir que em todos os disparos não vai haver movimentação, estaremos garantindo que a energia do projétil seja toda transferida para o CP e aí teremos a real avaliação de sua proteção balística. Se por qualquer motivo houver movimentação da amostra, a resultante dessa movimentação da amostra em relação ao do projétil irá mascarar o resultado de desempenho do vidro blindado. E poderá ser para o sentido de piorar a condição ou melhorar, conforme o sentido de movimentação do CP.

Vamos entender isso através da Energia Cinética que está concentrada no projétil e vamos descartar a resistência do ar ao movimento do projétil por ser um trecho muito curto de impacto (5m na norma NBR 15.000/NIJ 0108.01). É fácil entender que quando o projétil atinge o alvo, sua energia é transferida integralmente ao corpo. Então, numa situação inicial, a energia de um projétil, por exemplo de .44 Magnum, é de 1.415 joules (conforme já vimos) e pode ser verificada através da fórmula de Energia Cinética: $E_c = 1/2 \cdot m \cdot v^2$. Se imaginarmos que a energia não se perde, apenas se transforma, temos:

$$E_{[inicial]} = E_{[final]}, \text{ sendo inicial o momento antes do impacto e final o momento após o impacto.}$$

$$E_{[inicial]} = \frac{1}{2} m \cdot v^2, \text{ sendo } m = 15,6 \text{ gramas (.44 Magnum) e } v = 426\text{m/s (velocidade nominal da norma NBR nível 3-A).}$$

Podemos supor que o corpo ao ser atingido pelo projétil, moveria-se. Assim teríamos uma equação do tipo:

$$E_{[inicial]} = E_{[fragmentação]} + E_{[movimentação do corpo]}$$

A $E_{[fragmentação]}$ poderia ser toda energia consumida para fazer a fragmentação, os estilhaços e tudo mais, exceto a movimentação do corpo de prova, supondo que ele não estivesse fixado, que fosse apenas colocado num carrinho com livre movimentação. E, portanto, por simples equação matemática:

$$E_{[fragmentação]} = E_{[inicial]} - E_{[movimentação do corpo]}$$

A $E_{[movimentação do corpo]}$ também seria de característica cinética, isto é, regida pela equação:

$E_c = 1/2 \cdot m \cdot v^2$, sendo que a massa m = (massa do projétil + massa do corpo de provas) e a velocidade v seria a velocidade em que o conjunto caminha no nosso carrinho imaginário.

Como a massa do projétil em relação à massa do corpo de prova é muito pequena, podemos admitir que a massa do conjunto é a própria massa do corpo de prova (supondo que não haja perda de massa pelo impacto – apenas como teoria).

Resta portanto, concluirmos que quanto maior for a velocidade de deslocamento do nosso conjunto “CP + projétil” no nosso carinho imaginário, pela equação acima, a energia de fragmentação será menor, para que se mantenha a igualdade universal da conservação de energia.

Por se tratar de uma equação de 1º grau e se denominarmos de $E_{[inicial]}$ de E_i , $E_{[fragmentação]}$ de E_f e nossa $E_{[movimentação do corpo]}$ de E_m , nossa equação fica:

$$E_f = E_i - E_m = (1/2 \cdot m_i \cdot v_i^2) - (1/2 \cdot m_m \cdot v_m^2)$$

Ordenando as variáveis e aplicando a massa e velocidade nominais de um projétil .44 Magnum, segundo a norma, teremos:

$$E_f = (1/2 \cdot 0,0156 \cdot 426^2) - (1/2 \cdot m_m \cdot v_m^2) = 1.415 - (1/2 \cdot m_m \cdot v_m^2)$$

Supondo a massa após o impacto como um valor fixo, podemos reescrever a equação acima desta forma:

$$E_f = 1.415 - A \cdot v_m^2, \text{ onde } A \text{ é um valor numérico constante.}$$

Concluimos que a Energia utilizada para fragmentação do corpo de prova será tanto maior quanto menor for a Energia de movimentação, que é relacionada principalmente ao quadrado da sua velocidade. E, portanto, a única forma de garantir a máxima transferência de energia para o corpo de prova, sem perder, é que NÃO haja movimentação do mesmo. Assim: Para $v_m^2 = 0 \Rightarrow E_f = 1.415 - A \cdot 0 = 1.415$ joules

CONCLUSÃO

O desenvolvimento desse trabalho foi focado na amostra de vidro blindado, sob condição de teste de disparos de .44 Magnum, segundo norma NBR 15.000 nível III-A. No entanto, a primeira consideração que podemos fazer é que os princípios de desenvolvimento aqui aplicados podem servir para outros materiais, tais como o aço e outros compósitos, bem como para eventuais testes para os outros nível da norma balística.

As simulações aqui procuram trabalhar mais no nível da percepção cotidiana e com pouco embasamento nas longas teorias e soluções matemáticas avançadas, que fogem da compreensão leiga. No entanto, não deixam de validar a proposta desse trabalho. Os pontos apresentados nesse estudo foram escolhidos como mais relevantes para a correlação das análises dos resultados balísticos no laboratório.

Mostramos que as condições pré-definidas na norma para os testes balísticos exigem igualmente do corpo de prova plano quanto do curvo. A exceto pelo dimensional que uma vez garantido a condição de impacto dos primeiros 4 tiros na amostra e desconsiderarmos seus resultados, podemos avaliar a amostra apenas pelo 5º disparo.

BIBLIOGRAFIA

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2006), **ABNT NBR 15000:2005**;

Leandro Neckel (2012), **Modelagem e Simulação de Impacto Balístico em Sistema Cerâmico-Metal** (Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais, pela Universidade Federal de Santa Catarina);

Rafael Telles da S. Vale, Ricardo B. Silveira(2009), **Desenvolvimento de Um Modelo Numérico para Estudo de Impacto Balístico em Placas e Vigas de Alumínio Aeronáutico**, Trabalho de Conclusão de Curso, Escola Politécnica de São Paulo;

Alexandre Paris(2004), **Informe Técnico Ano 3 Número 12 da Gepco**;

Eliana Giacomini (2005), **Material O Vidro**, Mestrado em Construções de Edifícios – Tecnologia de Fachadas, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto;

Mauro Akerman(2000), **Natureza, Estrutura e Propriedades do Vidro**, CETEV – Centro Técnico de Elaboração do Vidro - Saint Gobain;

Carlos Alberto de Oliveira Couto(2011), **Estudo de Blindagem Mista Contendo Compósito Cerâmico Para Proteção Contra Impactos de Micrometeoróides em Satélites Artificiais**, Tese de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/ Materiais e Sensores, pelo INPE;

Jorge Manuel C. F. Justo(2005), **Estudo do Comportamento ao Impacto de Alta Velocidade de Estruturas em Materiais Compósitos**, Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica da Universidade do Porto;

João Guerra Martins, Emanuel Lopes Pinto(2004), **Materiais de Construção I – O Vidro** , 1ª edição, Faculdade de Engenharia Civil da Universidade do Porto;