

AÇOS PARA APLICAÇÃO EM BLINDAGEM DE VIATURAS DE TRANSPORTE DE VALORES

Cleilton Santana dos Santos ¹

Diego Paula Ferreira ²

Antônio Carlos Neto de Jesus ³

1. RESUMO

Atualmente a utilização de blindagem para viaturas de transporte de valores, carros de passeios e forças armadas, são importantes devido ao crescimento da criminalidade no mundo somado a utilização de armamentos de alto poder de fogo, os tipos de blindagens e matérias utilizados se tornam muito importantes. Aços de alta resistência e baixa liga (ARBL), tem sido utilizado para esta aplicação, pois apresentam valores elevados de propriedade mecânica. Com novos materiais, pode-se conseguir uma blindagem, com alta resistência, menor peso e redução do desgaste de peças dos veículos. Este trabalho irá estudar a aplicação de ARBL na aplicação de blindagens para veículos, serão realizados testes práticos e resultados de ensaio de tração e composição química dos aços estudados.

Palavras-chaves:ARBL. Blindagem. Carro forte.

2. INTRODUÇÃO

Até meados do século XX, eram utilizadas placas de aço monolítico, na I guerra mundial os carros blindados de combate possuíam aços de 12 mm de espessura. Com o avanço do desenvolvimento de munições, na II guerra mundial, no curto espaço de 20 anos era necessário que a espessura do aço fosse a torno de 280 mm, o que resultava em carros extremamente pesados cerca de 60 toneladas de peso total. (HOUSE, 2008)

¹Acadêmico do curso de Engenharia Mecatrônica, Centro Universitário ENIAC. e-mail: cleilton.santos@outlook.com

² Acadêmico do curso de Engenharia Mecatrônica, Centro Universitário ENIAC. e-mail: 249992014@eniac.edu.br

³Professor Mestre, dos cursos de Engenharia, Centro Universitário ENIAC. e-mail: antonio.jesus@eniac.edu.br

Após a II guerra mundial ocorreu o desenvolvimento dos elementos de liga como cromo, níquel, manganês e molibdênio aos aços convencionais que associados aos tratamentos superficiais, conferem a estes materiais propriedades mecânicas muito superiores.

Os blindados produzidos hoje têm peso total de aproximadamente 6 toneladas. (DADOS TECNICOS DO VBL)

Atualmente diversos estudos relacionados com materiais utilizados na blindagem de veículos, tanto para aplicação civil como militar, vêm sendo desenvolvidos (JUNIOR,2016). Isto ocorre devido ao avanço tecnológico na produção de armamentos e munições (CARDOSO, 2000).

Com o passar dos anos e com a evolução tecnológica, projeteis de armamentos pesados como de fuzis calibre 7,62 mm, deixaram de ser exclusividade das forças armadas e passaram a ser utilizados ilegalmente pelo crime organizado Tornou-se necessário uma grande evolução para a blindagem de carros fortes contra a criminalidade, as blindagens de carros se tornaram muito mais viáveis e com várias categorias de proteção e com a redução de peso considerável. As normas permitem cinco tipos de blindagens que são as de níveis: I; II; III-A; III (esta usada em viaturas de transporte de valores); e nível IV (restrita às Forças Armadas) (Blindagem segurança, 2010).

A especificação de aços de alta resistência e baixa liga (ARBL), utilizados na fabricação da blindagem são os seguintes: NBR 6656 grau LNE 600; LNE 700; DOMEX 700 MC; entre outras, que não são aplicadas em viaturas de transporte de valores. Uma das vantagens de usar aços com limite de escoamento acima de 600 MPa (usados atualmente), é a redução da espessura da composição balística para aplicação nível III (ABNT 15000, 2005).

Com o material aço LNE 900 viu-se a possibilidade de obter uma composição balística tão resistente quanto a atual, porém com uma redução de peso ainda mais considerável em uma viatura blindada com relação ao LNE 700 para o LNE 600.

3. OBJETIVOS

O objetivo deste estudo é comparar a especificação ARBL grau LNE 600 MPa e DOMEX 700, utilizados para aplicação em blindagem de carros fortes (veículos especializados em transporte de valores) com um material USIPROT 350 LNE 900

MPa, para assim reduzir o peso de um carro forte em até 16% mantendo a segurança necessária, tornando a viatura mais ágil.

4. METODOLOGIA

Os materiais utilizados para os ensaios segundo norma NBR 15000, foram os aços LNE 600, DOMEX 700 e LNE 900, dispostos conforme determinação da norma. As composições são preparadas com duas chapas com a mesma espessura e tamanho, onde são devidamente soldadas em um perfil de aço com largura de 30 a 50mm de largura (distância a ser seguida, segundo norma para blindagem nível III), conforme se pode observar abaixo na figura 1.

Figura 1- Composição do material balístico



Fonte: AUTOR, 2018.

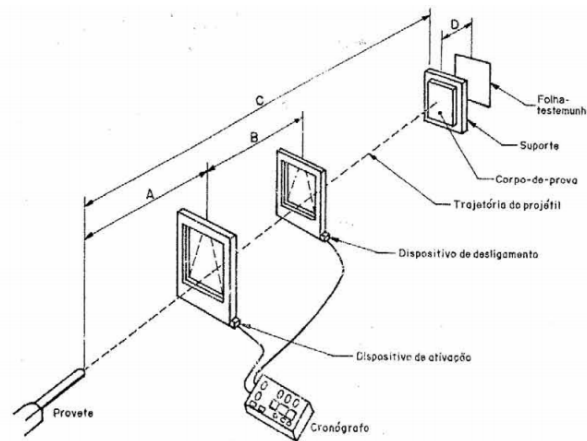
Os corpos de prova para os ensaios balísticos foram obtidos com as seguintes dimensões:

- 2 chapas de aço DOMEX 700 MC com espessura de 6,00 mm, largura e comprimento de 500 mm.
- 2 chapas de aço NBR 6656 Grau LNE 600 com espessura de 4,75 mm, largura e comprimento de 500 mm.
- 2 chapas de aço USIPROT 350 LNE 900 com espessura de 3,00 mm, largura e comprimento de 500 mm.

Na figura 2 é apresentado o arranjo para o ensaio balístico conforme norma NBR 15000. A temperatura durante o teste balístico foi de 20,6°C e umidade relativa do ar

de 65%. N. As distâncias mostradas na figura 1 são: A=2m; B=1m; C=15m; D=0,15m. O ensaio balístico foi realizado conforme norma NBR 15000.

Figura 2- Esquema do arranjo para ensaio balístico



Fonte: NORMA NBR15000, 2005.

Para calcular a energia do projétil (bala) foi adotada a equação da energia cinética, pois está relacionada com o movimento dos corpos, levando em consideração a massa do corpo e a velocidade de movimento:

$$EC_p = \frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{0,0098 \cdot 840^2}{2} = 3457 J^{(1)}$$

Onde:

- EC_p = Energia Cinética do projétil;
- m= massa do projétil; (dados fornecidos por tabela na norma NBR15000)
- v= velocidade do projétil (dados fornecidos por tabela na norma NBR15000)

Com os dados da energia cinética obtidos pode-se calcular a força do projétil dividindo a energia cinética pela distância de penetração do projétil, onde:

$$Fp = \frac{EC_p}{d} = \frac{3457}{0,006} = 576166 N^{(2)}$$

Onde:

- Fp= Força do projétil;
- EC_p = Energia Cinética do projétil;

- d = distância de penetração do projétil segundo norma NBR15000;

Os dados obtidos através dos cálculos acima são padrão para a munição 7,62x51 FMJ NATO, os mesmos valores serão considerados para qualquer tipo de material já usado ou a se testar para nível III de blindagem.

Para ser calculada a tensão do limite de resistência dos materiais foram utilizados dados fornecidos pelos fornecedores.

Na tabela 1 a seguir são apresentadas as composições químicas de cada aço, informações fornecidas pelos fornecedores.

Tabela 1 – Composição Química

ESPECIFICAÇÃO	C%	Mn%	P%	S%	Si%	Al%	Nb%	V%	Ti%
USIPROT 350 LNE 900 ¹	0,18	1,8	0,025	0,1	0,7	----	----	----	0,57
DOMEX 700 MC ²	0,06	1,87	0,011	0,003	0,06	0,033	0,06	0,02	0,11
NBR 6656 GRAU LNE 600 ³	0,1	1,54	0,025	0,003	0,05	0,042	0,043	0,006	0,108

Fonte: ¹SBB BLINDAGENS (2018). ²PCP (2017). ³USIMINAS (2017).

Na tabela 2 a seguir são apresentadas as propriedades mecânicas de cada aço utilizado

Tabela 2 – Propriedade mecânica dos aços 600, 700, 900

ESPECIFICAÇÃO	LIMITE DE ESCOAMENTO (Mpa)	LIMITE DE RESISTÊNCIA A TRAÇÃO (Mpa)	ALONGAMENTO (%) (50mm)
USIPROT 350 LNE 900	900	1000	8
DOMEX 700 MC	778	832	22
NBR 6656 GRAU LNE 600	752	792	17

Fonte: ¹SBB BLINDAGENS (2018). ²PCP (2017). ³USIMINAS (2017).

Com os seguintes dados, pode-se calcular a tensão do limite de resistência utilizando a fórmula abaixo, onde se isolou o **h** para obter assim a confirmação da espessura mínima necessária para que o material LNE900 resista ao ensaio, onde:

$$\sigma_{LR} mm = \frac{Fp}{2 \pi \cdot R(h+R)} \rightarrow 1065 \frac{N}{mm^2} = \frac{576166 N}{2 \pi \cdot 7,62 mm(h+7,62 mm)} \rightarrow h=3,70 mm$$

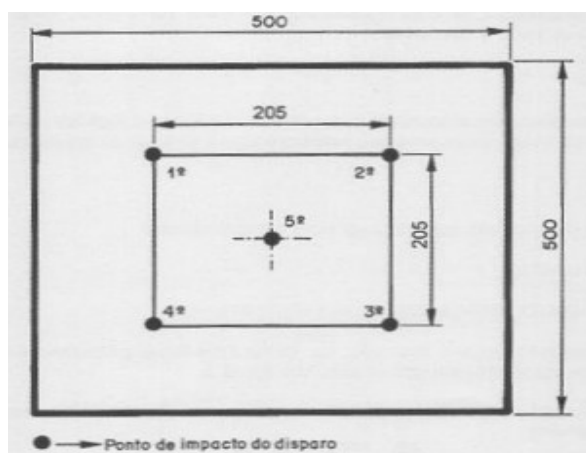
Onde:

- σ_{LR} = tensão do limite de resistência
- F_p = força do projétil
- R = diâmetro do projétil
- h = espessura mínima da chapa

O Brasil segue o exemplo da norma americana, que serve como modelo para qualquer país da América Latina, inclusive para o DFPC (departamento de fiscalização de produtos controlados) do exército brasileiro que é quem regulamenta os produtos balísticos produzidos e comercializados no Brasil.

Então para o teste balístico se seguem os termos redigidos pela ABNT que é a NBR15000/2005. A norma determina que os testes devam seguir os seguintes padrões: na figura 3 mostrada abaixo, vemos as distancias aproximadas exigidas para cada impacto

Figura 3- disparos do ensaio balística



Fonte: NORMA NBR15000, 2005.

A fixação do corpo de provas é feita através de um suporte especialmente preparado para recebê-lo, sua inclinação é de 0°, ou seja, reta, os testes foram realizados em túnel balístico homologado pelo exército seguindo a norma NBR 15000, com a climatização controlada à 21° ambiente. Os disparos foram realizados através de um provete balístico, onde neste temos maior facilidade de ajuste e maior precisão de impacto.

No caso dos materiais testados foi usada a cota C da figura 1, que simula o Nível III de blindagem, e a distância dos disparos partem de 15 metros de distância.

5. DESENVOLVIMENTO

Após todos os cálculos realizados, foram preparados os ensaios balísticos com suas devidas composições em um túnel balístico para teste prático dos materiais.

O túnel segue todas as instruções segundo a norma NBR 15000, para seu espaçamento interno, foram disponibilizadas para o ensaio quinze munições 7,62x51 FMJ NATO, porem apenas onze foram deflagradas através de um provete.

Os testes foram realizados sequencialmente, após a finalização com cinco disparos com o material DOMEX 700, fora a vez do LNE 600 também receber os cinco disparos e que foi aprovado, lembrando que estes materiais já são aprovados pelo exército para viaturas de transporte de valores nível III, o ultimo material a ser testado foi o LNE 900 um material com espessura bem menor aos demais testados, porem neste fora efetuado apenas um disparo, pois sua composição não suportou o impacto da munição.

6. RESULTADOS

Conforme os resultados obtidos para os materiais testados, fora comprovado matematicamente que para este tipo de composição com apenas as chapas de aço, a espessura mínima para o material LNE900 atender o nível III é de 3,70mm, para comprovar os estudos os ensaios balísticos continuaram.

Abaixo seguem as tabelas com os resultados dos onze disparos realizados nos materiais disponibilizados para os ensaios e as imagens reais dos corpos de provas após o ensaio balístico.

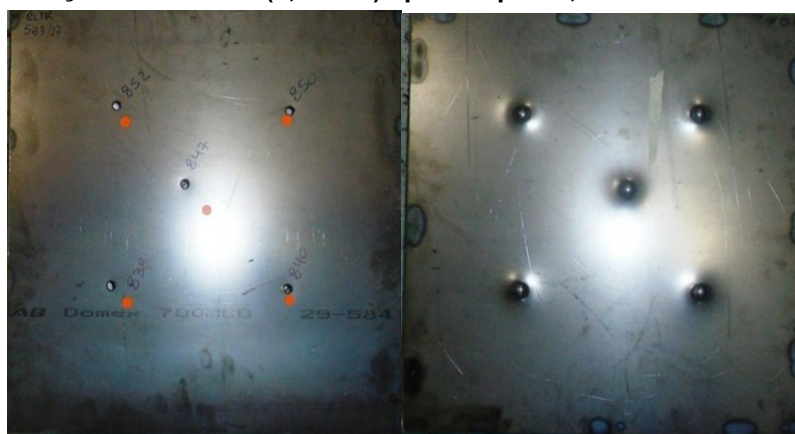
Nas Tabelas 3, 4 e 5 estão os materiais: aço DOMEX 700 MC; NBR 6656 LNE 600; LNE 900 seguido de imagens reais dos materiais testados.

Tabela 3 – Resultados dos ensaios balísticos para o aço DOMEX 700MC

DISPARO	VELOCIDADE (M/S)	PENETRAÇÃO	STATUS
1	852	Sem Perfuração	Aprovado
2	850	Sem Perfuração	Aprovado
3	840	Sem Perfuração	Aprovado
4	838	Sem Perfuração	Aprovado
5	847	Sem Perfuração	Aprovado

Fonte: AUTOR, 2018.

Figura 4 – Aço DOMEX 700 (6,00mm) após disparos, fotos dianteira e traseira.



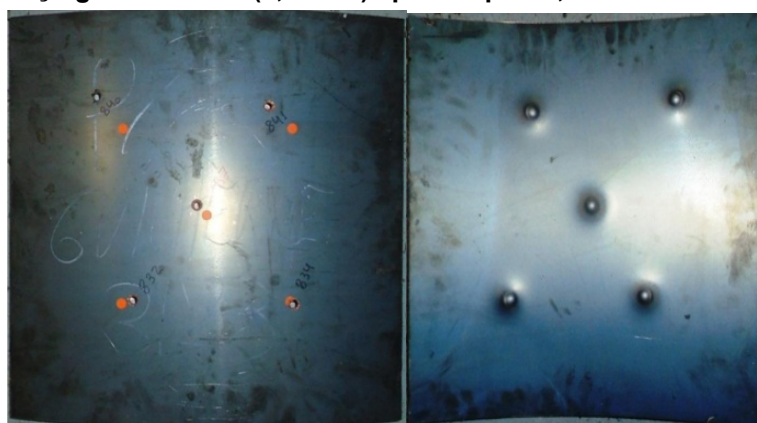
Fonte:Autor, 2018

Tabela 4 – Resultados dos ensaios balísticos para o aço NBR 6656 LNE 600

DISPARO	VELOCIDADE (M/S)	PENETRAÇÃO	STATUS
1	840	Sem perfuração	Aprovado
2	841	Sem perfuração	Aprovado
3	834	Sem perfuração	Aprovado
4	832	Sem perfuração	Aprovado
5	837	Sem perfuração	Aprovado

Fonte: AUTOR, 2018.

Figura 5 – Aço grau LNE 600 (4,75mm) após disparos, fotos dianteira e traseira.



Fonte:AUTOR, 2018

Tabela 5 – Resultados dos ensaios balísticos para o aço USIPROT 350 LNE 900

DISPARO	VELOCIDADE (M/S)	PENETRAÇÃO	STATUS
1	840	Com Perfuração	Reprovado
2	-----	-----	-----
3	-----	-----	-----
4	-----	-----	-----
5	-----	-----	-----

Fonte: AUTOR, 2018.

Na tabela acima apresenta apenas os dados referente ao primeiro disparo, pois pelo fato do material USIPROT 350 LNE 900 ter sido perfurado, não houve a necessidade da realização dos demais disparos.

Figura 6 – Aço grau LNE 900 (3,00mm) após disparos, fotos dianteira e traseira.



Fonte:Autor, 2018

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento deste trabalho foi focado na composição do material para amostra do aço USIPROT LNE 900, sob condição de teste de disparo 7.62x51 FMJ NATO, segundo norma NBR 15000 para atender o nível III de blindagem. No entanto, a primeira consideração que se pode fazer é que os princípios de desenvolvimento aqui aplicados podem servir para outros materiais, tais como vidros e outros compósitos, bem como para eventuais testes para outros níveis da norma balística.

Com todos os estudos, cálculos e testes realizados neste projeto, pode-se confirmar que com este tipo de composição balística que o material USIPROT LNE900 não tem a mesma resistência dos materiais DOMEX 700 MC e LNE 600, pois mesmo tendo uma alta resistência apesar da baixa liga, fica vulnerável ao tipo de armamento usado para blindagem nível III sendo assim reprovado no teste com este tipo de composição.

Mesmo após o teste não se descarta o uso do mesmo para o segmento, serão agora estudados outros métodos de composição para que este material possa atender o nível III, como incluir materiais entre as chapas como por exemplo o kevlar (material usado em coletes a prova de balas). Porém, neste caso aumentaria significativamente seu custo, tornando assim inviável para o segmento

8. FONTES CONSULTADAS

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2006), **ABNT NBR15000:2005**;

A Revista da **Blindagem&Segurança**, ano 2010 – Ed.98

CARDOSO, A.L.V. et al. **A evolução das blindagens para viaturas militares de reconhecimento**, In: ETQM, 2000, Instituto de Pesquisas da Marinha, Rio de Janeiro.

JUNIOR, W.F.A. et al. **Comportamento sob impacto balístico de um sistema compósito para blindagem**, Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v.1, 2006, p 12-18 , São Paulo.

PCP (Produtos siderúrgico LTDA).

SBB (Sociedade Brasileira de Blindagem Ltda).

USIMINAS (Usinas siderúrgicas de minas Gerais S.A).