

BLINDAGEM METÁLICA DE ALTA DUREZA: COMPORTAMENTO MECÂNICO *

Suzane de Sant' Ana Oliveira¹
Karollyne Gomes de Castro Monsore²
Anderson Oliveira da Silva³
Géssica da Silva Nicolau⁴
Vinicius de Souza Pereira⁵
Ricardo Pondé Weber⁶

Resumo

Materiais metálicos são os mais utilizados em carros de combate, fator este devido ao baixo custo quando comparado aos materiais poliméricos, cerâmicos e compósitos, além das excelentes propriedades obtidas por meio dos tratamentos térmicos apropriados, a saber, têmpera e revenido. Antes de uma blindagem ser analisada balisticamente e dinamicamente, suas propriedades mecânicas devem ser concernentes com as apresentadas nas normas que regem sua produção. O Exército Brasileiro (EB), juntamente com as Siderúrgicas Nacionais, estão realizando diferentes corridas, destinadas ao desenvolvimento da blindagem adequada para a Nova Família de Blindados Sobre Rodas (NFBR). Sendo assim, este trabalho visa analisar e avaliar por meio dos ensaios de tração, impacto, dureza e dureza por microindentação Vickers, se este novo aço pode ser ensaiado balisticamente e dinamicamente.

Palavras-chave: Aço de alta dureza; Comportamento mecânico; Aço balístico.

MECHANICAL BEHAVIOR OF A NEW HIGH HARDNESS ARMOR STEEL

Abstract

Metallic materials are the most used in battle cars, this factor due to the low cost when compared to the polymeric materials, ceramic and composites, besides the excellent properties obtained by means of the appropriate thermal treatments, namely tempering and tempering. Before armor is analyzed ballistically and dynamically, its mechanical properties must be related to those presented in the norms governing its manufacture. The Brazilian Army (EB), together with the National Steelworks is carrying out different races, destined to the development of the adequate armor for the New Family of Armored On Wheels (NFBR). Thus, this work aims to analyze and evaluate by Vickers microindentation tensile, impact, hardness and hardness tests, if this new steel can be tested ballistically and dynamically.

Keywords: High hardness steel; Mechanical behavior; Ballistic armor.

¹ *Tecnologia em Processos Metalúrgicos, Mestre, Doutoranda em Ciência dos Materiais, Seção de Engenharia Mecânica e de Materiais, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.*

² *Tecnologia de Polímeros, Mestre, Doutoranda em Ciência dos Materiais, Seção de Engenharia Mecânica e de Materiais Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro e Brasil.*

³ *Licenciatura em Química, Mestre, Doutorando em Ciência dos Materiais, Seção de Engenharia Mecânica e de Materiais Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro e Brasil.*

⁴ *Tecnologia de Polímeros, Graduada, Mestranda em Ciência dos Materiais, Seção de Engenharia Mecânica e de Materiais Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil*

⁵ *Graduando em Engenharia Mecânica e de automação, Seção de Engenharia Mecânica e de Materiais, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.*

⁶ *Engenharia Mecânica, Doutor, Professor do curso de Ciência dos Materiais, Seção de Engenharia Mecânica e de Materiais, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, não apenas no Brasil, mas em muitos lugares em volta do mundo, o índice de conflitos urbanos tem aumentado de maneira exponencial, permitindo com que os sistemas nacionais de segurança necessitem de blindagens para auxiliá-los a conter as mais variadas situações. As blindagens utilizadas, geralmente, são constituídas de materiais metálicos, poliméricos, cerâmicos e compósitos, sendo cada uma escolhida de acordo com uma finalidade específica [1, 2]

Para que um material seja classificado como blindagem ele deve cumprir aos critérios de proteção, poder de fogo, mobilidade e transportabilidade. A proteção está relacionada ao indivíduo, carro ou estrutura. O poder de fogo diz respeito ao tipo de munição a qual a proteção está sujeita. A mobilidade e a transportabilidade estão relacionadas ao peso da blindagem, pois para resistir a diferentes ameaças uma chapa metálica, por exemplo, deveria possuir uma elevada espessura. Sendo assim, as pesquisas atuais têm se preocupado em diminuir o peso, a fim de aumentar a mobilidade e, conseqüentemente, a transportabilidade [1, 3].

Todavia, os metais, normalmente, são os mais utilizados para carros de combate. Isso devido ao custo benefício e as excelentes propriedades que eles podem alcançar por meio dos tratamentos térmicos de têmpera e revenido [2, 4].

A blindagem metálica de alta dureza é desenvolvida de acordo com normas específicas, as quais não estabelecem apenas os tratamentos necessários a qual esta deve ser submetida, mas também o desempenho mecânico mínimo exigido para que ela seja testada balisticamente e, posteriormente, dinamicamente [2, 3, 5, 6].

2 DESENVOLVIMENTO

O material utilizado nesta pesquisa foi um aço de alta dureza (HHA – High Hardness Armor steel), desenvolvido por Siderúrgicas Nacionais, juntamente com o Exército Brasileiro (EB). Este aço foi temperado a partir de 910°C, aproximadamente, e revenido em 310°C. O HHA foi fornecido em placas 500 x 500 x 7 mm e a Tabela 1 apresenta a sua composição química.

Tabela 1. Composição química (%).

C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Ti	Nb	Cu	Al	Mo
0,201	1,011	0,014	0,004	1,090	0,529	0,571	0,021	0,023	0,013	0,068	0,394

2.1 Ensaio de tração

O ensaio de tração foi realizado de acordo com a norma ASTM E8/E8M (2013) [7] à temperatura ambiente. Os corpos de prova (CP's) de tração foram fabricados nas direções longitudinal e transversal da chapa, de acordo com a direção de laminação. Foram ensaiados 5 CP's na longitudinal e 5 na transversal e as seguintes propriedades em tração foram determinadas: módulo de elasticidade, limite de escoamento, resistência à tração, alongamento e estrição.

2.2 Ensaio de Impacto Charpy

O ensaio de impacto Charpy foi realizado a -40° C, de acordo com a norma ASTM E-23 (2013) [8]. Foram empregados CP's com entalhe em V na face frontal, usinados

de acordo com as direções longitudinal e transversal da chapa. Foram ensaiados 5 CP's, em cada direção, e o comportamento em impacto foi avaliado em relação aos requisitos da norma MIL-DTL-46100E [3].

2.4 Ensaio de Dureza Rockwell

O ensaio de dureza Rockwell foi realizado segundo a norma ASTM E-18 (2014) [9] utilizando-se a escala "C", na temperatura ambiente, com 6 indentações ao longo das faces frontal, distal e duas linhas paralelas na espessura (em $\frac{1}{4}$ e $\frac{1}{2}$) da chapa.

2.5 Ensaio de dureza por microindentação Vickers

O ensaio de dureza por microindentação Vickers foi realizado segundo a norma ASTM E-384 (2011) [10], em temperatura ambiente, utilizando uma carga de 0,5 Kgf. Foram realizadas 5 indentações em cada face (frontal e distal) e ao longo da espessura, determinando-se um perfil de dureza.

Os ensaios realizados permitiram alcançar os resultados que serão apresentados a seguir.

A Figura 1 apresenta o gráfico tensão x deformação, de engenharia, de um dos CP' ensaiados.

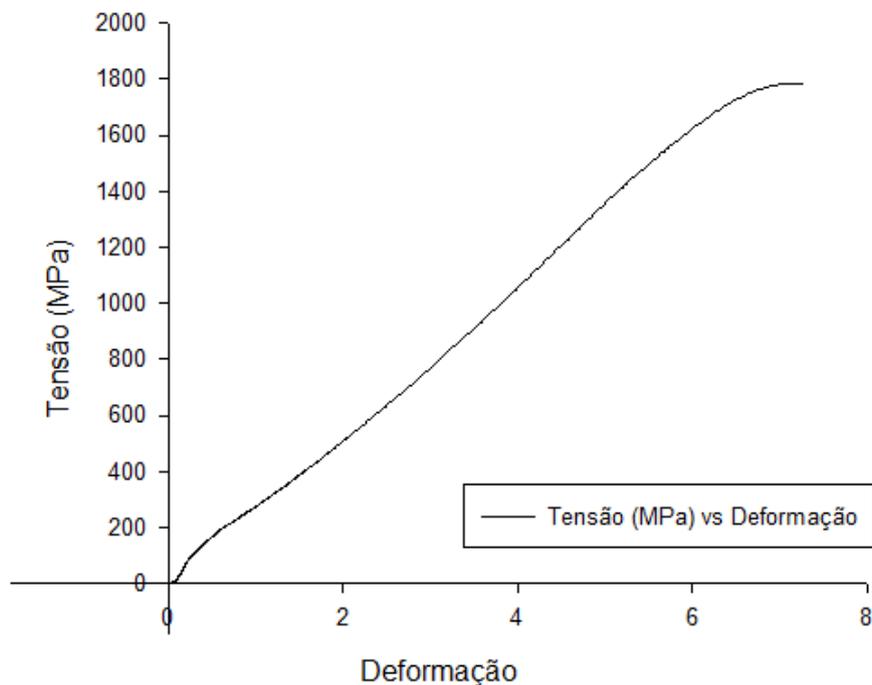


Figura 1 - Gráfico tensão x deformação dos CP's de tração (longitudinal).

Nas Tabelas 2 e 3 são apresentados os resultados do ensaio de tração.

Tabela 2 – Resultados do ensaio de tração (CP's Transversais).

CP Transversal	Escoamento (MPa)	Limite de Resistência (MPa)	Alongamento (%)	Estricção (%)
1	1489,00	1647,31	2,823	49,799
2	1486,22	1651,89	3,641	51,901
3	1482,44	1648,61	2,934	50,844
4	1475,47	1668,01	3,729	44,850
5	1507,98	1665,32	3,781	44,459
Média	1488,22	1656	3,382	48,371
Desvio	12,15	9,72	0,464	3,476

Tabela 3 – Resultados do ensaio de tração (CP's Longitudinais).

CP Longitudinal	Escoamento (MPa)	Limite de Resistência (MPa)	Alongamento (%)	Estricção (%)
1	1487,70	1659,72	3,641	51,332
2	1505,78	1664,86	3,486	48,358
3	1496,53	1672,68	3,741	48,803
4	1498,41	1656,62	3,980	47,742
5	1460,27	1593,57	3,792	50,803
Média	1489,74	1649,49	3,728	49,408
Desvio	17,68	31,84	0,183	1,573

Nas Tabelas 2 e 3 são apresentadas algumas propriedades como o limite de resistência à tração (1649,49 MPa) e a tensão de escoamento (1489,74 MPa). O valor do módulo de elasticidade é o coeficiente angular da curva no regime elástico, ou seja, aproximadamente 205,149 GPa.

Os valores médios, tanto da tensão de escoamento quanto do limite de resistência à tração, obtidos no ensaio, estão de acordo com os apresentados pelos metais desta classe e por aços de alta resistência [2, 11, 12]. De acordo com o desvio padrão, pode-se observar que a estricção dos CP's longitudinais possui maior homogeneidade que dos transversais. Essa característica pode estar relacionada à ductilidade do material, já que o alongamento sofrido por estes, foi superior ao apresentado pelos CP's longitudinais.

Na Figura 2 são apresentados os resultados obtidos no ensaio de impacto Charpy a -40°C.

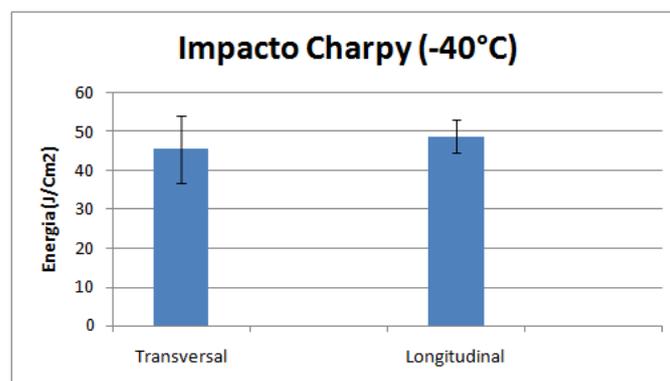


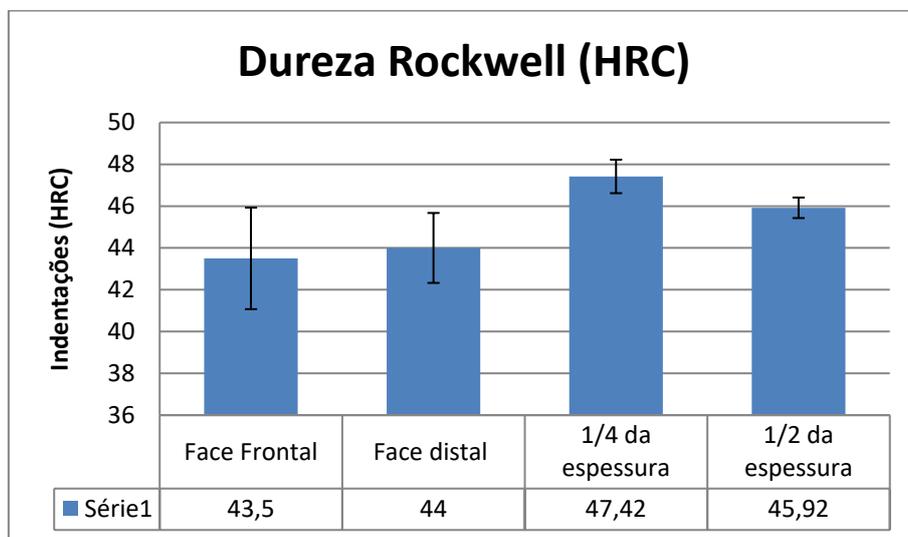
Figura 2 - Representação gráfica dos resultados do ensaio de Impacto Charpy (-40°C).

Os resultados de Impacto Charpy mostram uma grande homogeneidade, exceto pelo CP 4 da transversal que apresentou uma absorção de energia de 31,11 J/cm², gerando um desvio levemente acentuado, quando comparado às energias absorvidas pelos CP's longitudinais.

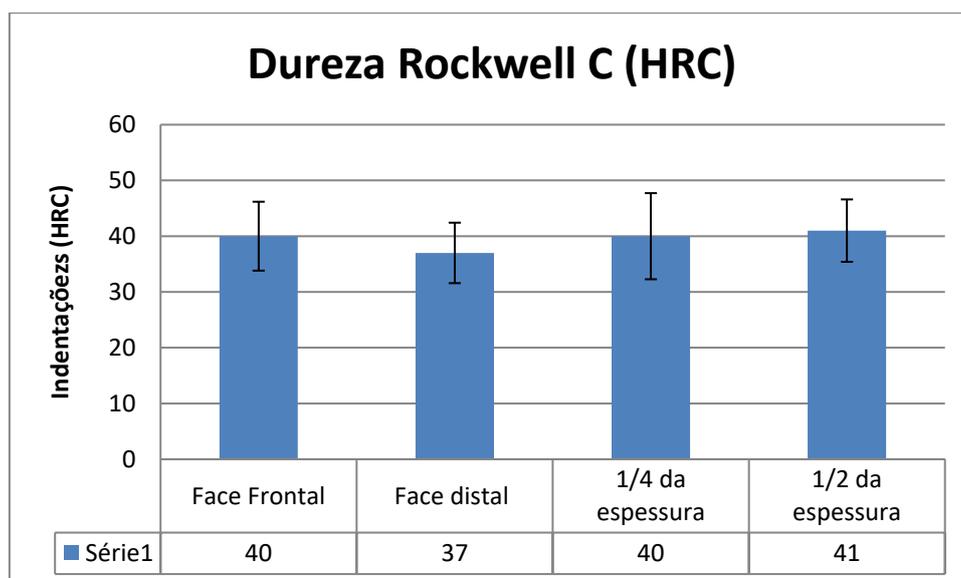
A norma MIL-DTL-46100E especifica uma energia de 20,34 J/cm² na transversal e 23,7 J/cm² na longitudinal. Nota-se que os resultados são superiores ao da norma, embora os CP's não sejam padronizados, pois foram confeccionados de acordo com a espessura da chapa, ~ 7 mm.

A elevada absorção de energia deste aço pode indicar uma boa resistência ao estilhaçamento e ao choque [2, 5].

Na Figura 3 são apresentados os valores de dureza Rockwell obtidos nas faces frontal, distal e na espessura do material (1/4 e 1/2), realizados a temperatura ambiente, em duas amostras retiradas de locais diferentes da chapa.



(a)



(b)

Figura 3 - Representação gráfica da Dureza HRC das amostras (a) 1 e (b) 2.

De acordo com os resultados apresentados da amostra 1, pode-se perceber que as faces frontal e distal possuem uma baixa dureza, comparada ao interior da amostra. Todavia, o desvio mostra que não há uma diferença significativa entre esses valores. Já o interior da amostra possui uma dureza superior a das faces. A amostra 2, embora possua uma dureza inferior, apresenta certa homogeneidade.

A norma MIL-DTL-46100E especifica que um aço HHA deve possuir entre 477 – 534 HBN (~47 – 54 HRC). Contudo, os resultados apresentados mostram que a ¼ da espessura a amostra 1 está de acordo com a norma, diferente da amostra 2.

É esperado que uma blindagem balística possua uma dureza superficial elevada, de forma que tenha a possibilidade de quebrar a ponta do projétil e de receber a maior parte da energia de impacto, pois sendo o interior mais dúctil, possivelmente, essa energia irá se dissipar. Durante esse processo, se trincas forem geradas, a ductilidade pode fazer com que haja diferentes rotas de dispersão de energia no interior do material.

Duas regiões do aço HHA foram analisadas e apresentaram durezas distintas, o que indica uma falta de homogeneidade em relação a essa propriedade.

Na Figura 4 são apresentados 2 perfis de dureza por microindentação Vickers.

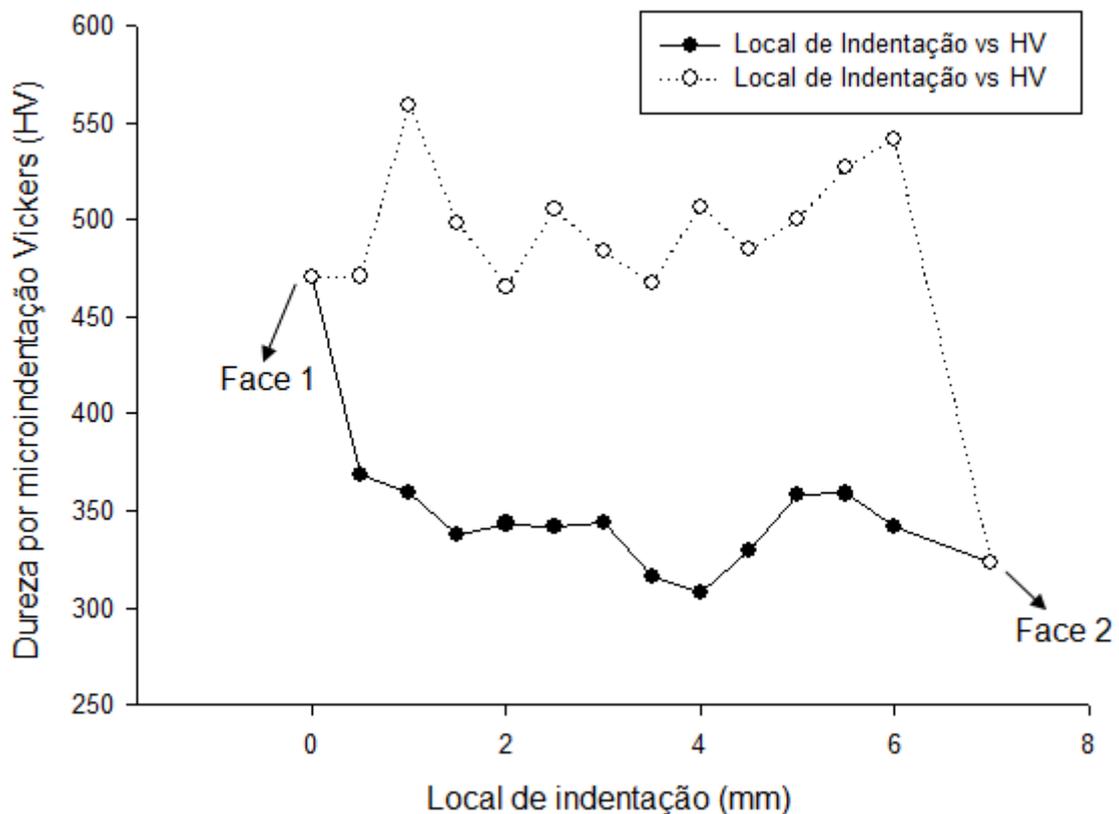


Figura 4 – Perfil de dureza por microindentação Vickers.

Os 2 perfis de dureza por microindentação Vickers indicam, também, a possível falta de homogeneidade ao longo da espessura dos CP's analisados. Essa heterogeneidade pode ser resultante do processo de fabricação do aço HHA.

3 CONCLUSÃO

De acordo com os ensaios realizados, este aço possui excelentes propriedades mecânicas, como elevadas tensões críticas e grande absorção de energia, mesmo ensaiado a -40°C , que poderia apresentar uma característica mais frágil que dúctil. Porém, a dureza apresentada não condiz com os valores especificados em norma. Por isso, um ensaio balístico deveria ser realizado, a fim de verificar se haveria implicações negativas no desempenho da blindagem.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Exército Brasileiro (EB), a agência de Fomento CNPQ (ano 2016 – processo: 140142/2016), ao Laboratório de ensaios Não-Destrutivos e Corrosão (LNDC) da UFRJ e aos laboratórios do IME.

REFERÊNCIAS

- 1 Verde-Oliva, O projeto de P&D da família de blindados Guarani, 2015
- 2 Crouch I, Cimpoeru SJ, Li H, Shanmugan D, (Ed.). The Science of Armour Materials. Woodhead Publishing, 2017; 55-115.
- 3 MIL-DTL-46100E, 200 UNITED STATE DEPARTMENT OF ARMY. Norma MIL-DTL-46100E (MR), Amendment 1, Detail Specification Armor Plate, Steel, Wrought, High Hardness, 2008.
- 4 Ryan S, Li H, Edgerton M, Gallardy D, & Cimpoeru SJ. The ballistic performance of an ultra-high hardness armour steel: An experimental investigation. International Journal of Impact Engineering, 2016; 94: 60-73.
- 5 Manganello SJ, Abbott KH. Metallurgical factors affecting the ballistic behavior of steel targets, J. Materials, 1972; 7: 231-239.
- 6 UNITED STATE DEPARTMENT OF ARMY. Norma MIL-A-46173, Armor steel, plate, wrought, (ESR), 1994.
- 7 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS Norma E8/E8M – Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials, 2013.
- 8 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS Norma E-23 – Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials, 2013.
- 9 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS Norma E-18 – Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials, 2014
- 10 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS Norma E-384 – Standard Test Method for Knoop and Vickers Hardness of Materials, 2011.
- 11 Gorni, Antonio Augusto. Aços avançados de alta resistência: microestrutura e propriedades mecânicas. Corte e Conformação de Metais, v. 4, n. 44, p. 26-57, 2008.
- 12 Jena, Pradipta Kumar, and Ponguru Senthil. Effect of tempering time on the ballistic performance of a high strength armour steel. Journal of applied research and technology 14.1 (2016): 47-53..