

AVALIAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ENERGIA DE UM AÇO DE ALTA DUREZA*

Suzane de Sant' Ana Oliveira¹
Karollyne Gomes de Castro Monsore²
Anderson Oliveira da Silva³
Géssica da Silva Nicolau⁴
Ricardo Pondé Weber⁵

Resumo

Blindagens balísticas precisam atender aos seguintes critérios: proteção, poder de fogo, mobilidade e transportabilidade. Para alcançar as propriedades necessárias que permitem atender a esses critérios, materiais metálicos podem ser submetidos aos tratamentos térmicos de têmpera e revenido, que permitem obter uma excelente dureza sem perda de tenacidade. Conciliar essas propriedades em uma blindagem é de fundamental importância, já que a dureza é responsável pela quebra da ponta do projétil e a tenacidade pela absorção do choque e da energia de impacto. Sendo a absorção de energia uma propriedade fundamental para a blindagem, o objetivo desse trabalho foi avaliar, por meio do ensaio de impacto Charpy, a quantidade de energia absorvida em um aço HHA por cm² a temperatura ambiente (~ 25°C), 0°C, -10°C, -40°C e -70°, além de realizar uma análise da superfície de fratura dos corpos de prova. Os resultados mostram que a temperatura ambiente, o aço HHA, apresentou uma grande absorção de energia.

Palavras-chave: Blindagem balística; Aço de alta dureza; Impacto charpy; Martensita revenida.

EVALUATION OF ENERGY ABSORPTION OF A HIGH HARD STEEL

Abstract

Ballistic armors must meet the following criteria: protection, firepower, mobility and transportability. To achieve the necessary properties to meet these criteria, metallic materials can be subjected to tempering and tempering, which allow excellent hardness without loss of toughness. To conciliate these properties in armor is of fundamental importance, since the hardness is responsible for the break of the projectile tip and the toughness for the absorption of the shock and the energy of impact. As the energy absorption is a fundamental property for the shielding, the objective of this work was to evaluate, by means of the Charpy impact test, the amount of energy absorbed in an HHA steel per cm² at room temperature (~25 ° C), 0 ° C, -10 ° C, -40 ° C and -70 °, in addition to performing an analysis of the fracture surface of the specimens. The results show that the ambient temperature, the HHA steel, presented a great absorption of energy.

Keywords: Ballistic armor; High Hardness Armor steel; Charpy impact; Tempered martensite.

- 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 *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

A indústria de defesa tem necessitado cada vez mais de materiais que apresentem um bom desempenho, seja mecânico ou balístico, que atendam as circunstâncias críticas de suas aplicações. Sendo assim, há anos materiais metálicos, não-metálicos e conjugados são estudados, objetivando o aumento da resistência [1].

Os aços são utilizados desde a segunda Guerra mundial para a produção de blindagens, seja na forma homogênea (uma única chapa) ou não-homogênea (duas chapas). Devido aos anos de sua utilização, diversos estudos a cerca dos processos realizados neste material vêm sendo analisados [1,2,3].

Os processos metalúrgicos, especificamente os tratamentos térmicos de têmpera e revenido, conferem ao aço uma microestrutura de martensita revenida, que proporciona o aumento de dureza sem perda de tenacidade. Essas características mecânicas contribuem para o estabelecimento das seguintes propriedades balísticas: resistência ao choque (absorção da energia de impacto), resistência ao estilhaçamento (resistências às trincas) e resistência à penetração (mede o quanto o alvo impede a penetração) [3,4].

Sendo a tenacidade uma característica muito importante para as blindagens balísticas, este trabalho tem por objetivo avaliar a absorção de energia de um aço HHA, que foi submetido ao ensaio de impacto Charpy nas seguintes temperaturas: 25°C, 0°C, -10°C, -40°C e -70° por cm². A avaliação da superfície será realizada por meio de macro e microscopias.

2 DESENVOLVIMENTO

O material de estudo é um aço de alta dureza desenvolvido por siderúrgicas nacionais, a fim de atuar na Nova Família de Blindados sobre Rodas (NFBR) do Exército Brasileiro (EB). O aço foi fornecido na condição temperado e revenido (não especificadas) e a composição química, analisada pelo laboratório da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1. Composição química do aço HHA (%).

Elemento	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Ti	Nb	Cu	Al	Mo
%	0,400	0,751	0,008	0,020	>0,30	>1,57	>0,805	0,0007	0,0001	0,12	0,028	>0,275

2.1 Ensaio de Impacto Charpy

Os corpos de prova foram confeccionados por meio de jato d' água com as seguintes dimensões: 50 mm x 10 mm x 10 mm, com entalhe de 45°, conforme apresentado na Figura 1.



Figura 1. Fotografia do CP de impacto Charpy.

O ensaio foi realizado de acordo com a norma ASTM-e23 [5], no Laboratório de Ensaio Não-Destrutivos e Corrosão da UFRJ (LNDC). Para alcançar as

temperaturas desejadas (25°C, 0°C, -10°C, -40°C e -70°), as amostras foram inseridas em uma cuba climatizada e posteriormente ensaiadas.

2.2 Análise fractográfica

A análise da superfície de fratura foi realizada por meio de macro e microscopias. A análise macroscópica foi realizada com o auxílio de um estereoscópio, no LNDC. Já as micrografias, foram obtidas por meio de um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) marca FEI, modelo Quanta FEG250.

A Figura 2 apresenta o gráfico de energia x temperatura.

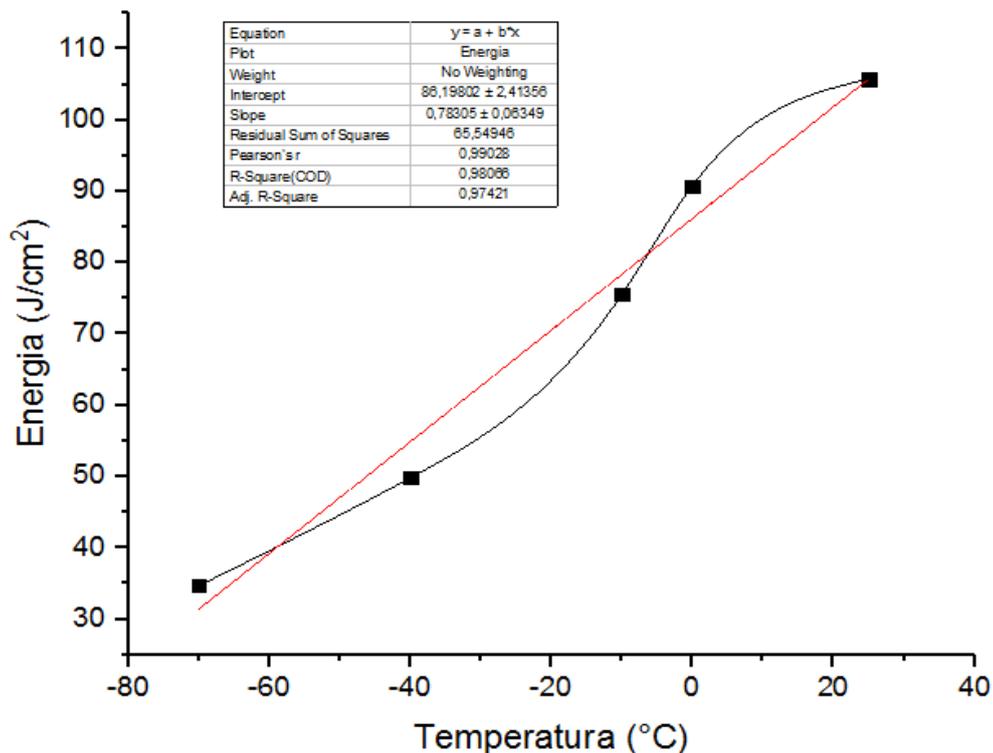


Figura 2. Gráfico de energia absorvida.

O gráfico de energia absorvida x temperatura, apresentado na Figura 2, mostra que a diminuição da temperatura do ensaio, causa um decaimento na absorção de energia. Esse comportamento sugere um aumento da fragilidade no material [6]. O declínio apresentado entre 0 e -10°C, indica uma possível temperatura de transição dúctil-frágil.

A Figura 3 apresenta o aspecto macrográfico da superfície de fratura.

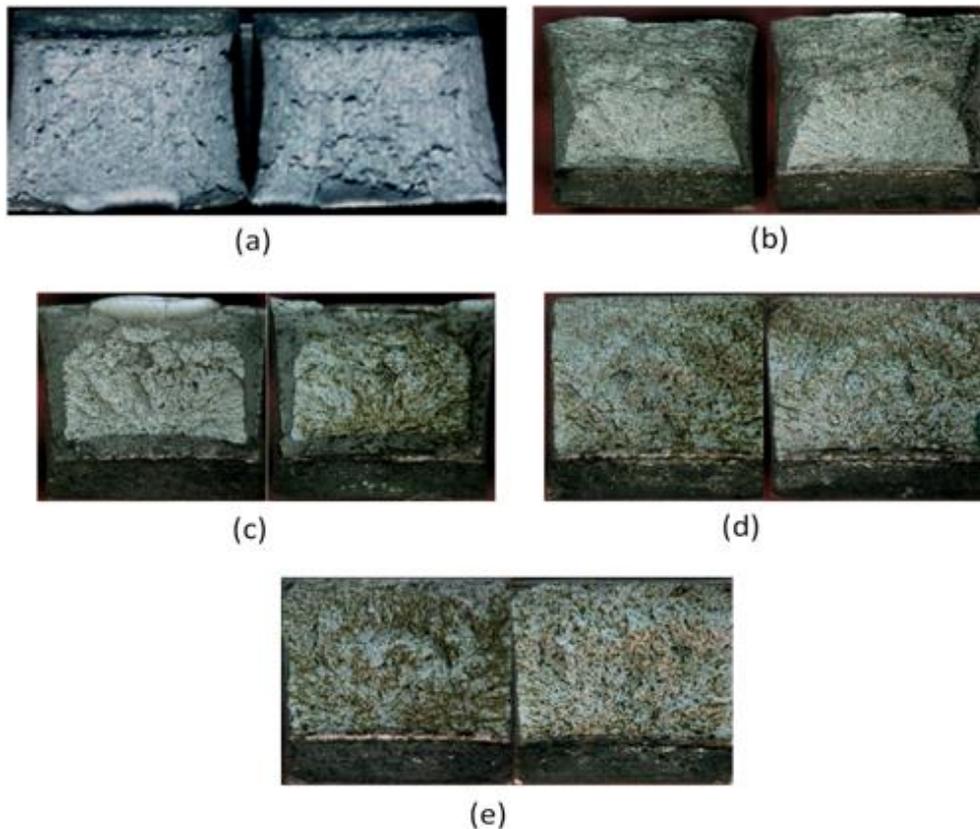


Figura 3. Fotomicrografia dos CP's de impacto. Em (a) 25°C, (b) 0°C, (c) -10°C, (d) -40°C e (e) 70°C.

A análise fatográfica, apresentada na Figura 3a, a 25°C, possui uma grande zona fibrosa. A zona fibrosa, geralmente associada à região dúctil, permite uma grande absorção de energia, como apresentado no gráfico Energia x Temperatura. A 0°C (Figura 3b) tem-se uma diminuição da zona fibrosa, seguida do aumento da zona de fratura instável. Esse comportamento se repete nas demais temperaturas [7,8]. Na Figura 4 é apresentada a micrografia da zona fibrosa a 25°C.

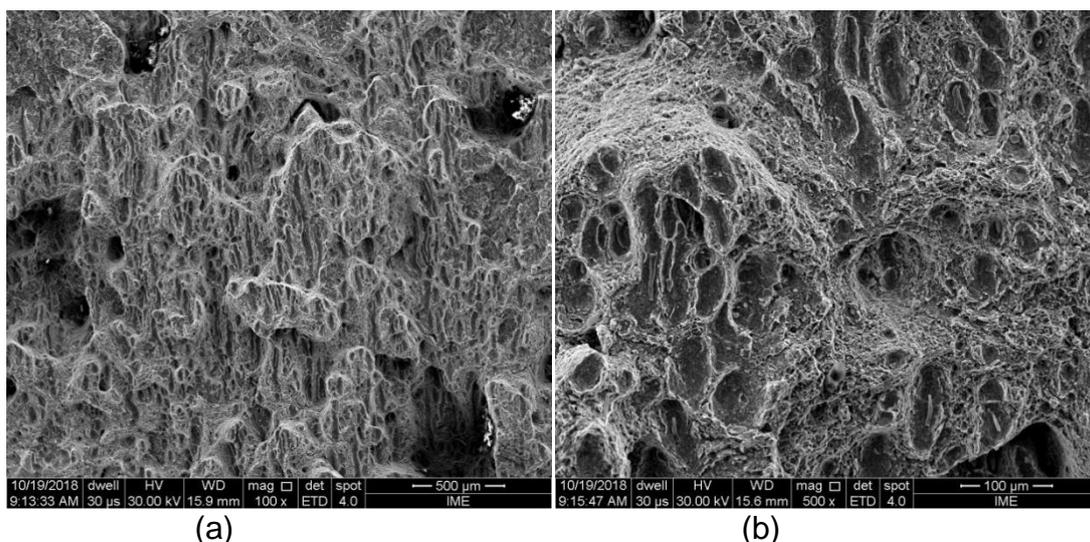


Figura 4 – Microfotografias da amostra ensaiada a 25°C (a) em 100x e (b) 500X.

As imagens obtidas por meio de MEV permitem confirmar a ductilidade da zona fibrosa, devido à presença de “microcavidades”. Na macrografia é possível perceber uma região fibrosa maior que a cisalhante, fato que corrobora tanto com a análise micrográfica quanto com as informações de absorção de energia obtidas por meio do ensaio de impacto Charpy [4,6,7].

A Figura 5 apresenta a micrografia da amostra a 0°C.

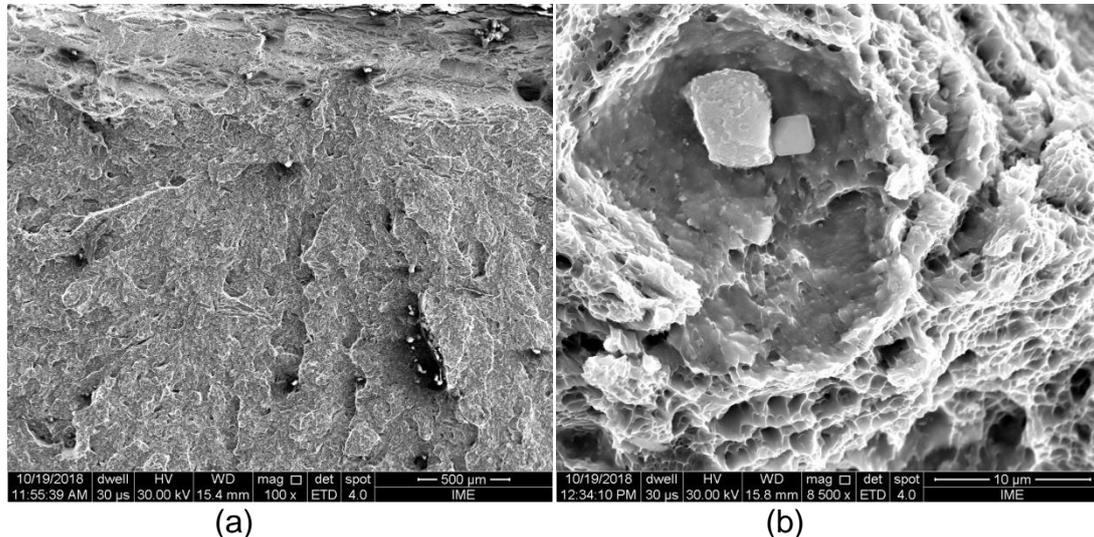
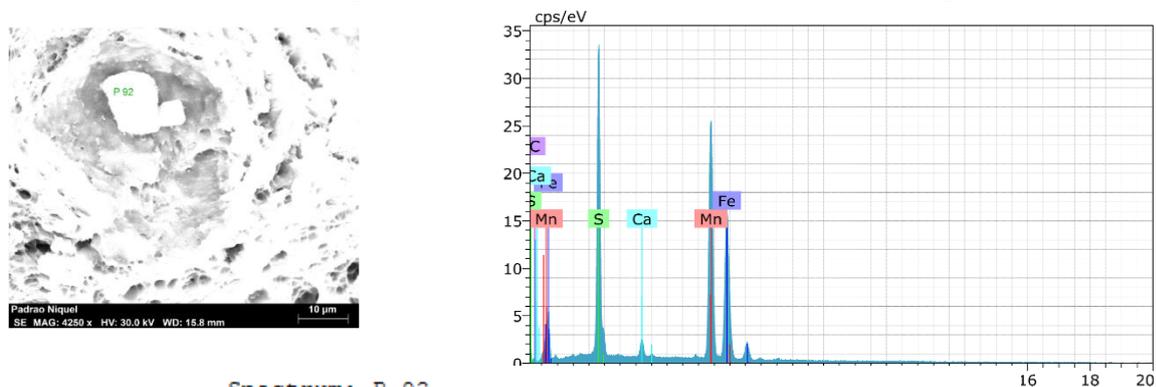


Figura 5 – Microfotografia da amostra ensaiada a 0°C na (a) zona fibrosa em 100X e da (b) zona de fratura instável em 8500X.

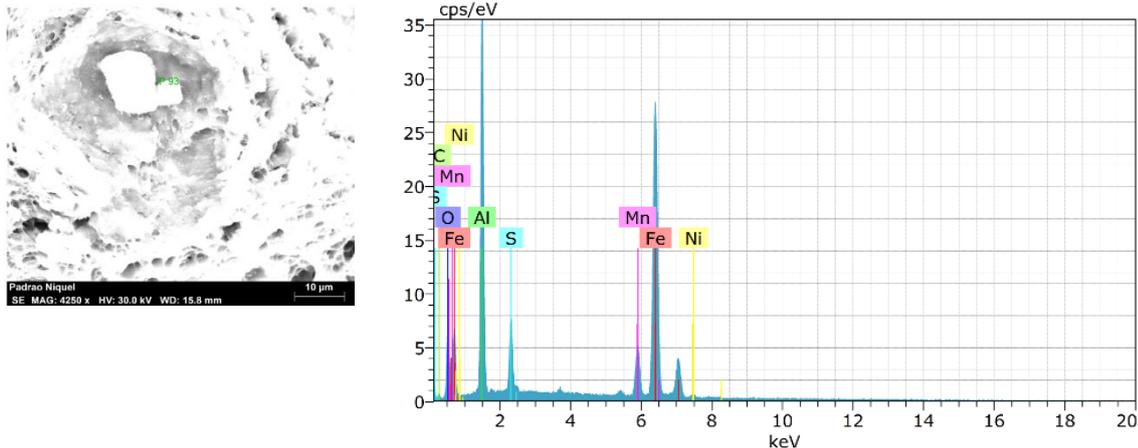
A 0°C a região fibrosa é menos acentuada do que a 25°C, embora ainda haja a presença de pequenas microcavidades. A Figura 5b mostra que na zona de fratura instável têm-se a presença de dois possíveis precipitados. A análise por meio de Espectroscopia por energia dispersiva (EDS) é apresentada na Figura 6.



Spectrum: P 92

El	AN	Series	unn. C [wt. %]	norm. C [wt. %]	Atom. C [at. %]	Error (1 Sigma) [wt. %]
Mn	25	K-series	38.86	45.69	36.14	1.03
Fe	26	K-series	24.66	29.00	22.56	0.66
S	16	K-series	17.46	20.53	27.82	0.68
C	6	K-series	2.78	3.27	11.84	0.87
Ca	20	K-series	1.28	1.51	1.64	0.07
Total:			85.04	100.00	100.00	

(a)



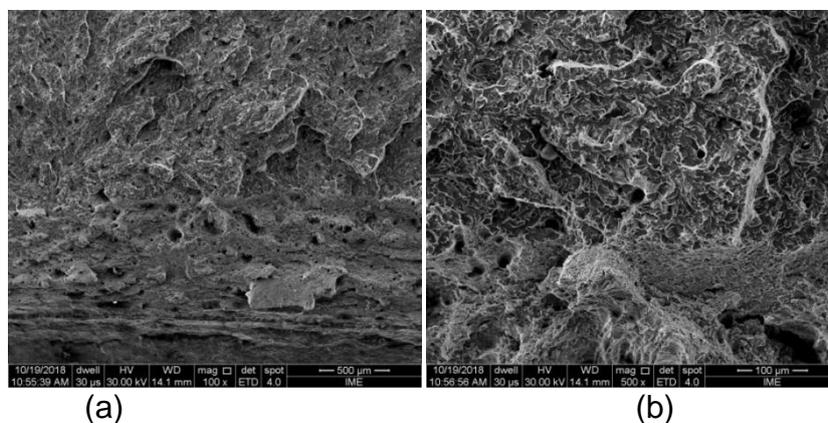
Spectrum: P 93

El	AN	Series	unn. C [wt. %]	norm. C [wt. %]	Atom. C [at. %]	Error (1 Sigma) [wt. %]
Fe	26	K-series	39.80	50.35	29.80	1.04
Al	13	K-series	18.81	23.80	29.15	0.98
O	8	K-series	8.80	11.13	23.00	1.33
Mn	25	K-series	5.38	6.80	4.09	0.17
S	16	K-series	2.90	3.67	3.78	0.14
C	6	K-series	2.81	3.55	9.78	0.80
Ni	28	K-series	0.55	0.70	0.39	0.05
Total:			79.05	100.00	100.00	

(b)

Figura 6 – EDS dos pontos (a) 92 e (b) 93.

A análise da zona de fratura instável, a 0°C, permitiu identificar duas heterogeneidades no interior de uma microcavidade. O ponto 92 possui uma grande quantidade de Mn e C. Já o ponto 93, apresenta Fe e O e grande quantidade. Uma análise por meio de EDS foi realizada, também, na matriz. A composição apresentada foi: 1,98% Fe; 0,77% C; 0,08% Ni e 0,05% Cr. Quando compara com a dos precipitados sugere-se que o ponto 92 seja um MnC e ponto 93 um FeO. Em blindagens balísticas, devido aos altos níveis de sollicitação, precipitados podem atuar como concentradores de tensão, gerado falhas no material [9, 10]. Na Figura 7 é apresentada a amostra ensaiada a -10°C.



(a)

(b)

Figura 7 - Amostra ensaiada a -10°C. Microfografia da (a) zona fibrosa em 100X e (b) a transição para a zona de fratura instável 500X.

A -10°C tem-se a diminuição da zona fibrosa e o aumento da zona de fratura instável, ou seja, expansão da fragilidade e a diminuição da absorção da energia de impacto.

3 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos no ensaio de impacto Charpy sugerem que a diminuição da temperatura levou a uma menor absorção de energia. A análise macrográfica da superfície corrobora com esta indicação, pois a zona fibrosa, que corresponde à região dúctil, aumenta juntamente com o aumento da temperatura.

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 ao laboratório de Microscopia do IME.

REFERÊNCIAS

- 1 CROUCH, I., CIMPOERU, S. J., LI, H., SHANMUGAN, D., (Ed.). **The Science of Armour Materials**. Woodhead Publishing, 2017, cap.2, p. 55-115.
- 2 MANGANELLO, S.J., ABBOTT, K.H. **Metallurgical factors affecting the ballistic behavior of steel targets**, J. Materials, 7 (1972) 231-239.
- 3 PAPETTI, D.J. **Metallic armor materials**. In: **Ballistic materials and penetration mechanics**, R.C. Laible (Ed). Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Co.,1980. Chapter 7, p.148-162.
- 4 SOUZA, Elson Renato Santos. **Estudo do comportamento microestrutural e balístico de um aço de blindagem após soldagem**. 2014. 184p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) – Instituto Militar de Engenharia, 2014.
- 5 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS Norma E-23 - **Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials**, 2013.
- 6 GARCIA, Amauri, **Ensaio dos Materiais** / Amauri Garcia, Jaime Alvares Spim, Carlos Alexandre dos Santos – 2. Ed. – Rio de Janeiro: LTC, 2012.
- 7 KIM, H., PARK, J., KANG, M., & LEE, S. **Interpretation of Charpy impact energy characteristics by microstructural evolution of dynamically compressed specimens in three tempered martensitic steels**. Materials Science and Engineering: A, v. 649, p. 57-67, 2016.
- 8 OLIVEIRA, Suzane de Sant' Ana. **Estudo de efeitos terminais em aço especial de alta dureza após impacto balístico**. 2015. 166p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) – Instituto Militar de Engenharia, 2015
- 9 PEREIRA, A.A., BOEHS, L., GUESSER, W.L., **A influência das inclusões na usabilidade**, 15º POSMEC. FEMEC/UFU, Uberlândia-MG, 2005, p. 1-10
- 10 MOGHADDAM, S.M., FARSHID SADEGHI, KRISTIN PAULSON, NICK WEINZAPFEL, MARTINS CORREA, VASÍLIOS BAKOLA, MARKUS DINKEL, **Effect of non-metallic inclusions on butterfly wing initiation, crack formation, and spall geometry in bearing steels**, International Journal of Fatigue – 80 (2015), 203-315.