

ESTUDO DE TÉCNICAS NÃO DESTRUTIVAS NA RECUPERAÇÃO DE MARCAÇÕES ADULTERADAS EM CHAPAS DE BAIXO CARBONO E ULTRABAIXO CARBONO*

Mariana Gaudencio Barbosa Lima¹
Clara Johanna Pacheco²
Maria Cecília de Souza Nóbrega³ □
Gabriela Ribeiro Pereira⁴

Resumo

O presente trabalho teve o objetivo de avaliar a aplicabilidade das técnicas não destrutivas de partículas magnéticas e visualização magneto-óptica na prática de investigação veicular, especificamente na área de recuperação de marcações adulteradas. As amostras utilizadas nesse estudo foram extraídas de partes do chassi de dois veículos. Com a finalidade de determinar os materiais, dos quais foram fabricados os chassis estudados, foi necessária a caracterização prévia dos mesmos através de análise química, magnética, mecânica e microestrutural. Em seguida, as amostras foram identificadas por estampagem e adulteradas por remoção e remarcação. As técnicas não destrutivas foram avaliadas de acordo com a definição dos códigos revelados e o tempo de análise. Com base nos resultados obtidos, as técnicas magnéticas não destrutivas apresentaram desempenho satisfatório na recuperação das marcações originais das amostras adulteradas.

Palavras-chave: Recuperação; Marcações Adulteradas; Visualização Magneto-Óptica; Partículas Magnéticas

APPLICATION OF NON-DESTRUCTIVE TECHNIQUES IN THE RESTORATION OF OBLITERATED MARKS IN LOW CARBON STEEL AND ULTRALOW CARBON STEEL SAMPLES

Abstract

This work aims the evaluation of the nondestructive magnetic particle and magneto-optical imaging techniques in the restoration of obliterated marks. The samples studied in this work were obtained from the chassis of two vehicles. To discover the material of each chassis, chemical, magnetic, mechanic and microstructural characterization was needed. After the characterization, the samples were identified by stamping followed by the adulteration of the codes by removal and re-stamping. Both nondestructive techniques were evaluated according to the definition of the revealed codes and the time of analysis. The results showed that both nondestructive techniques presented good performance in the recovery of the original marks.

Keywords: Recovery; Obliterated Marks; Magneto-Optic Imaging; Magnetic Particle.

¹ Engenharia de Materiais, M.Sc., Aluna de Doutorado, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Laboratório de Ensaios Não Destrutivos Corrosão e Soldagem, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

² Lic. Física, D.Sc., Pesquisadora, Laboratório de Ensaios Não Destrutivos Corrosão e Soldagem, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

³ Engenharia Metalúrgica, D. Sc., Professora Adjunta, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. □ Falecida em: 20 de setembro de 2017.

- ⁴ Física, D. Sc., Professora Adjunta, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Laboratório de Ensaios Não Destrutivos Corrosão e Soldagem, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Marcações de identificação, impressas por estampagem, são amplamente utilizadas pela indústria automobilística com o objetivo de possibilitar o rastreamento dos veículos e de seus componentes. Porém, organizações criminosas, na tentativa de impedir qualquer associação com o automóvel roubado, removem e/ou adulteram o código de identificação do chassi e blocos de motor. Para tal, são utilizadas algumas técnicas como: esmerilhamento, lixamento, recobrimento e remarcação. Com base nesse cenário, a recuperação de marcações originais é de comum ocorrência na investigação realizada pelos peritos criminais brasileiros, pois ela fornecerá fortes evidências que auxiliarão na recuperação do veículo e na busca pelos infratores. (1,2) A pesquisa em torno da caracterização de códigos adulterados é focada na detecção da zona de deformação plástica ou zona de tensões residuais, a qual está situada na região imediatamente abaixo da cavidade, criada pela impressão, e sua extensão é fortemente dependente das propriedades do material. Em adição, no momento da adulteração, as marcações originais são removidas ou recobertas sendo comum a remanescência de parte da zona de deformação plástica, mesmo após a remoção da cavidade. Deste modo, devido as zonas deformadas apresentarem propriedades físicas e químicas diferentes em comparação as demais regiões não deformadas, essas se tornam detectáveis por técnicas específicas, como: ataque químico, ataque eletrolítico, tratamento térmico, polimento de alívio, cavitação por ultrassom, partículas magnéticas e visualização magneto-óptica.(3)

Atualmente, as técnicas utilizadas pelos peritos brasileiros, para esse fim, são o ataque químico e o ataque eletrolítico. Contudo, essas possuem a desvantagem de se tratarem de métodos destrutivos, dependentes da composição química do material e de fazerem uso de agentes químicos nocivos à saúde e ao meio ambiente. Este fato, atrelado a implementação de novas ligas metálicas nos componentes e estruturas do veículo, além do desenvolvimento das técnicas de adulteração implementadas pelos criminosos, tornou necessária a pesquisa por novas técnicas de restauração, as quais não só preservem a superfície, como também não sejam dependentes da composição química do material e sejam capazes de gerar resultados confiáveis e em curto espaço de tempo.

Baseado nessa demanda, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a aplicabilidade de duas técnicas magnéticas não destrutivas. Para tal, foram usadas as técnicas de partículas magnéticas e visualização magneto-óptica, sendo esta última baseada em uma tecnologia recentemente desenvolvida pela empresa *Regula Forensics*, na recuperação de marcações adulteradas por remoção e remarcação em amostras metálicas, extraídas do chassi de dois veículos. As amostras utilizadas neste trabalho foram extraídas dos chassis de dois veículos diferentes, os quais serão referidos como: veículo A e veículo B. Devido ao desconhecimento quanto a origem dos materiais que compõem cada chassi, foi necessária, primeiramente, realizar a caracterização química, magnética, mecânica e microestrutural dos mesmos. Após a caracterização, foi realizado o estudo da recuperação das marcações originais.

2.1 Caracterização dos Materiais

2.1.1 Espectrômetro de Emissão Óptica

Nessa análise foi utilizado o espectrômetro de emissão óptica, da empresa Spectro modelo SPECTROMAXx, com o objetivo de definir a composição química dos materiais referentes aos chassis originários dos veículos A e B. O ensaio foi realizado com base na norma ASTM E 415/2015 e os parâmetros aplicados nesta análise foram: método Fe-10 F, temperatura de 21 °C e umidade de 59%.

Através das proporções dos elementos químicos presentes nos chassis de cada veículo e segundo (4–7), tem-se que o material referente ao chassi originário do veículo A corresponde a um aço de ultra baixo carbono, enquanto o material referente ao chassi originário do veículo B corresponde a um aço de baixo carbono.

As composições químicas de cada amostra estão dispostas na Tabela 1.

Tabela 1. Composição química das amostras A e B

	Fe	C	Al	Si	Ti	Mn
Chassi Veículo A	99,6%	0,002%	0,037%	0,001%	0,041%	0,154%
Chassi Veículo B	99,5%	0,05%	0,046%	0,003%	0,001%	0,320%

2.1.2 Magnetômetro de Amostra Vibrante (VSM)

O conhecimento do comportamento do material que compõe o chassi de cada veículo permitirá determinar a pertinência das técnicas magnéticas na realização do estudo de restauração de marcações originais. Desta forma, para o levantamento do comportamento magnético de tais materiais foi utilizado o magnetômetro de amostra vibrante (Vibrating Sample Magnetometer, VSM), da empresa LakeShore. Neste, foi levantada a curva de histerese, utilizando um ciclo padrão de magnetização com campo magnético aplicado variando entre 0 e 10.000 Gauss.

De acordo com os resultados obtidos, nota-se que o material referente ao chassi do veículo A não apresenta histerese, atingindo magnetização de saturação de 262,5 emu/g para o campo magnético aplicado de 5.270 G. Já para o material referente ao chassi do veículo B, a magnetização de saturação é de 250 emu/g, a um campo aplicado de 5.675 G, além de também não apresentar histerese. Em adição, pode-se afirmar que ambos os materiais apresentam comportamento ferromagnético com propriedades similares.

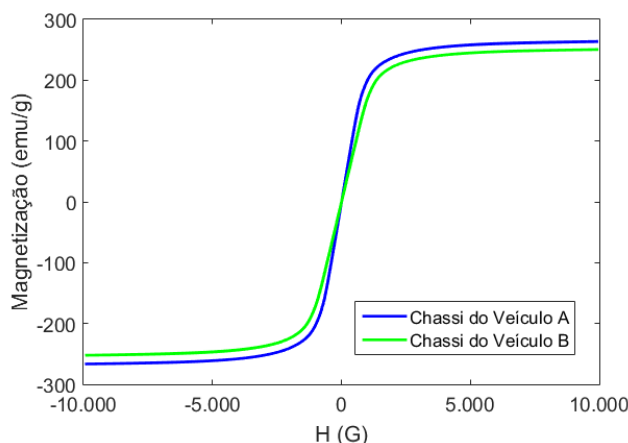


Figura 1. Curva de histerese em Gauss (G) dos materiais referentes aos chassis originários do veículo A e veículo B.

2.1.3 Microscopia Óptica

Nesta análise foi utilizado o microscópio ZEISS AXIO Imager M1.m com o intuito de caracterizar a microestrutura do material que compõe o chassi de cada veículo. Para revelação das microestruturas, com base na composição química encontrada, foi aplicado o reagente Nital 2% com composição: 2 mL de HNO₃ e 98 mL de álcool etílico, por 9 segundos, com uma pausa a cada 3 segundos para aquece-las e retornar à solução.

Com base nas micrografias ópticas adquiridas, observou-se uma microestrutura predominantemente ferrítica, com diferentes tamanhos de grãos, em ambos os materiais, como ilustrado nas Figuras 2 e 3. No material referente ao chassi do veículo A, observa-se diferentes tons entre os grãos de ferrita, os quais são resultado de uma revelação não uniforme, ou seja, a corrosão dos contornos de grãos ocorreu a diferentes taxas. Já no material referente ao chassi do veículo B, a revelação dos grãos foi realizada uniformemente. Na micrografia óptica deste material, também é possível observar finos precipitados dispersos pela matriz.

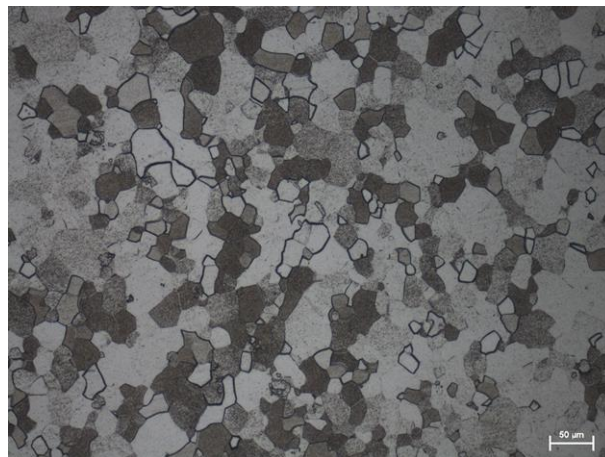


Figura 2. Micrografia óptica do material referente ao chassi do veículo A. Aumento: 200x.

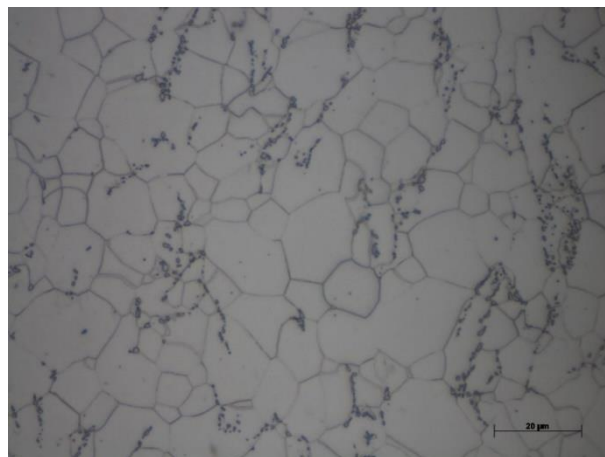


Figura 3. Micrografia óptica do material referente ao chassi do veículo B. Aumento: 1000x.

2.1.4 Microdureza Vickers

Neste experimento foi utilizado o microdurômetro BUHLER MICROMET S114 com indentador de diamante *Vickers*, aplicando um carregamento de 500 g por 15 segundos. O objetivo desta caracterização foi medir a microdureza das regiões não

deformadas, de forma a determinar a dureza *Vickers* média dos materiais referentes ao chassi de cada veículo, e estimar a profundidade da zona de deformação plástica através de um perfil de microdureza, de amostras estampadas, as quais foram cortadas transversalmente com um *Isomet* no centro da cavidade criada pela marcação.

Com base nessa análise, foi possível determinar a microdureza média dos materiais referentes aos chassis dos veículos A e B sendo elas, respectivamente: $59,2 \pm 9,01$ HV e $66,34 \pm 10,2$ HV, o elevado desvio padrão reflete a influência da heterogeneidade microestrutural na microdureza dos materiais. Segundo a literatura, os valores de microdureza *Vickers* média analisados conjuntamente com as micrografias ópticas e as composições químicas encontradas, tem-se que o material referente ao chassi do veículo A corresponde a um aço de *interstitial free (IF)* e o material referente ao chassi do veículo B corresponde a um aço 1005. (5,8)

Além disso, segundo a análise do perfil de microdureza realizado nas zonas de deformação plástica de cada material, observou-se uma profundidade de zona de tensões residuais de 337 μm para o aço IF e para o aço 1005, notou-se uma profundidade de 571 μm de zona de deformação plástica.

2.3 Amostras Utilizadas no Estudo Da Recuperação de Marcações Originais.

2.3.1 Identificação

Após a caracterização dos materiais referentes ao chassi de cada veículo, foram cortadas duas amostras, uma de cada material, para a análise de recuperação de marcações originais, as quais foram denominadas: Amostra A, composta por um aço IF, e Amostra B, composta por um aço 1005.

A amostra A, de dimensões 40 mm x 30 mm x 1,45 mm, foi identificada por estampagem manual com o código “GF”, apresentando uma profundidade média de caractere de 220 μm e 8 mm de altura de caractere (Figura 4a). Já a amostra B, de dimensões 55 mm x 30 mm x 1,51 mm, foi identificada por estampagem manual com o código “END”, apresentando uma profundidade média de caractere de 230 μm e 8 mm de altura de caractere (Figura 4b).

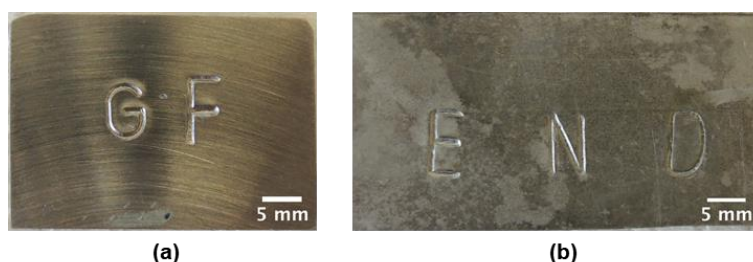


Figura 4. Identificação das amostras: (a) Amostra A estampada com o código **GF**; (b) Amostra B estampada com o código **END**.

2.3.2 Adulteração

Com base nas análises de caracterização dos materiais estudados, tem-se que ambos os materiais apresentam propriedade magnética, dureza e microestruturas semelhantes. Além disso, estudos anteriores (9) comprovam que as amostras de aço *interstitial free (IF)* e aço baixo carbono (1005) demonstraram comportamentos similares no estudo de revelação de marcações originais identificadas por

estampagem manual. Em vista disso, no presente trabalho, as amostras A e B sofreram dois tipos de adulteração: remoção e remarcação, as quais são comumente estudadas pela literatura (2,10,11).

Assim, a amostra A teve seu código de identificação totalmente removido por lixamento, utilizando-se uma lixa d'água P60, caracterizando assim uma adulteração por remoção (Figura 5a). Esse processo resultou em uma perda de espessura de 340 μm . Levando em consideração a profundidade média de caractere da amostra A e a perda de espessura após a adulteração, pode-se afirmar que a profundidade de restauração, ou seja, a profundidade da zona de deformação plástica analisada, será de aproximadamente 120 μm . Considerando a profundidade média de zona de deformação plástica de 337 μm , definida anteriormente na análise de microdureza para aço IF, pode-se afirmar a permanência da zona de deformação plástica, criada pela marcação do código original, mesmo após a adulteração.

No caso da amostra B, o código de identificação também foi totalmente removido por lixamento. Em seguida, a amostra foi identificada por estampagem manual, com um novo código “**BAP**”, caracterizando uma adulteração por remarcação (Figura 5b). Este processo resultou em uma perda de espessura de 290 μm , culminando em uma profundidade de restauração de 60 μm . Considerando a profundidade média de zona de deformação plástica de 571 μm , definida anteriormente na análise de microdureza para aço 1005, pode-se afirmar a permanência da zona de deformação plástica, criada pela marcação do código original, mesmo após a adulteração.

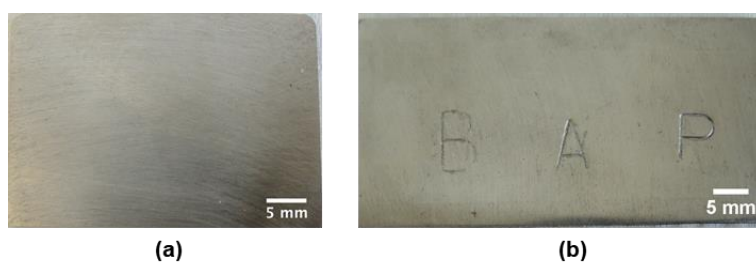


Figura 5. Adulteração das amostras: (a) Amostra A, adulterada por remoção, com remoção total do código original; (b) Amostra B, adulterada por remarcação, com remoção total do código original seguido da estampagem do novo código **BAP**.

É importante ressaltar que método de adulteração por remoção é amplamente estudado por cientistas forenses por ser um caso crítico de adulteração. Segundo (12), este método se trata de um caso impossível de restauração devido à sobreposição das zonas de deformação plásticas, causadas pelas marcações antigas e novas. Todavia, segundo o reportado em (3), o deslocamento acidental entre os novos e antigos caracteres influencia na restauração das marcações originais. Em outras palavras, dependendo do grau de deslocamento entre o código original e o novo código, a restauração pode ser parcial ou até mesmo total, sendo um desafio abordado no presente trabalho.

2.4 Ensaio Magnético Não Destrutivo Por Partículas Magnéticas

Na recuperação por partículas magnéticas foram aplicadas partículas fabricadas pela empresa Metal Chek, modelo BW333 na cor preta para aplicação por via úmida. As partículas foram aplicadas como sugerido pelo fabricante e pela literatura. (13) Para intensificar o contraste da revelação, foi aplicada uma tinta contraste de cor branca fabricada pela Metal Chek e para magnetização foi utilizado um ímã permanente com 300 mT medidos na face do ímã. As partículas foram aplicadas sobre

a amostra magnetizada por intermédio de um pulverizador e a aquisição dos resultados foi realizada com o auxílio de uma câmera fotográfica.

2.5 Ensaio Magnético Não Destrutivos Por Visualização Magneto-Óptica

Na recuperação por visualização magneto-óptica foram utilizados os equipamentos desenvolvidos pela empresa *Regula Forensics*, sendo eles: Magnetografia por Corrente Parasita de Superfícies Metálicas, *Regula 7515*, o leitor Magneto-óptico, *Regula 7505* e o software Nuca® para a obtenção da imagem.

O procedimento adotado nessa análise foi realizado através da preparação da fita magnética removendo todos os dados previamente armazenados, seguido da magnetização e saturação da mesma. Após a preparação, a fita magnética foi fixada por fitas adesivas sobre a amostra e, em seguida, ambas foram varridas por um indutor de correntes parasitas. A variação de polaridade e intensidade do campo magnético resultante ocasionada pela presença das zonas de deformações plásticas foi armazenada na fita magnética, criando um magnetograma. Após a magnetografia, a fita foi levada ao leitor magneto-óptico, onde foi incidida uma onda eletromagnética linearmente polarizada sobre a mesma. A variação dos ângulos de polarização da onda eletromagnética devido ao campo magnético armazenado na fita, foi transformada em uma distribuição de brilho e contraste, a qual foi convertida em uma imagem magneto-óptica. Por fim, o processamento da imagem, com as correções de distorções do sistema óptico e a junção panorâmica das imagens magneto-ópticas da magnetografia, foram executadas pelo *software NUCA®*.(14,15)

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Recuperação dos Códigos originais.

3.1.1 Amostra A

Segundo a análise de recuperação por visualização magneto-óptica da amostra A (Figura 6a), observou-se uma baixa definição e contraste do código revelado afetando negativamente a sua interpretação, tornando possível apenas a identificação parcial do mesmo. Este fato pode ter sofrido influência das dimensões da chapa, dificultando a varredura com o indutor de correntes parasitas sobre a mesma, o que culmina na variação de *lift-off*, afetando diretamente na intensidade do campo magnético detectado pela fita. Outra possibilidade, seria as regiões de deformação plástica de diferentes partes da marcação, se tornarem mais difusas com o aumento da profundidade, dificultando a restauração do código. A profundidade em que ocorre o aumento de difusividade dessa zona dependerá das propriedades microestruturais de cada material e do tamanho do símbolo estampado. (16)

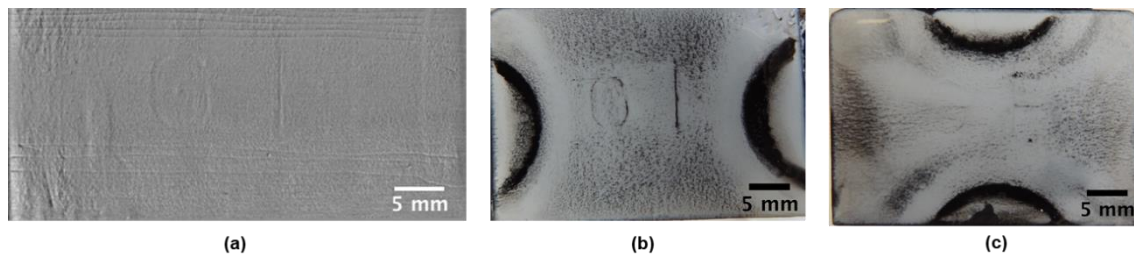


Figura 6. Recuperação dos códigos originais da Amostra A:(a) Magnetografia obtida pela análise de recuperação por visualização magneto-óptica; (b) Recuperação por partículas magnéticas; (c) Recuperação por partículas magnéticas com inversão dos ímãs permanentes.

Na revelação realizada pela técnica de partículas magnéticas (Figura 6b e 6c), as letras reveladas apresentaram contraste e nitidez satisfatórios. Embora seja reportada a não interferência do posicionamento dos ímãs na revelação dos códigos originais por partículas magnéticas, a variação do direcionamento de campo magnético, neste caso, permitiu intensificar o contraste dos traços horizontais das letras “G” e “F” (Figura 3c). (17)

Deste modo, pode-se afirmar que foi possível identificar totalmente o código original pela técnica de partículas magnéticas, enquanto a técnica de visualização magneto-óptica foi capaz de revelar apenas parcialmente o código original. Todavia, será necessária a realização de testes em amostras com maiores dimensões para avaliar, com maior exatidão, o desempenho da técnica de visualização magneto-óptica em comparação com a técnica de revelação por partículas magnéticas, neste caso.

Por fim, o tempo de análise da amostra A por cada técnica, medido a partir do posicionamento da amostra até a aquisição da imagem dos resultados, foi de: 10 minutos para a revelação por visualização magneto-óptica e 9 minutos para a revelação por partículas magnéticas.

3.1.2 Amostra B

Na revelação da amostra B, por ambas as técnicas não destrutivas (Figura 7a e 7b), nota-se a influência da sobreposição dos caracteres na recuperação do código original. Contudo, apesar da adulteração em questão ser tida como um caso crítico e até impossível por alguns pesquisadores, ambas as técnicas não destrutivas foram capazes de identificar parcialmente o código original da amostra de aço baixo carbono, mesmo com o baixo grau de deslocamento entre os novos caracteres e os antigos.

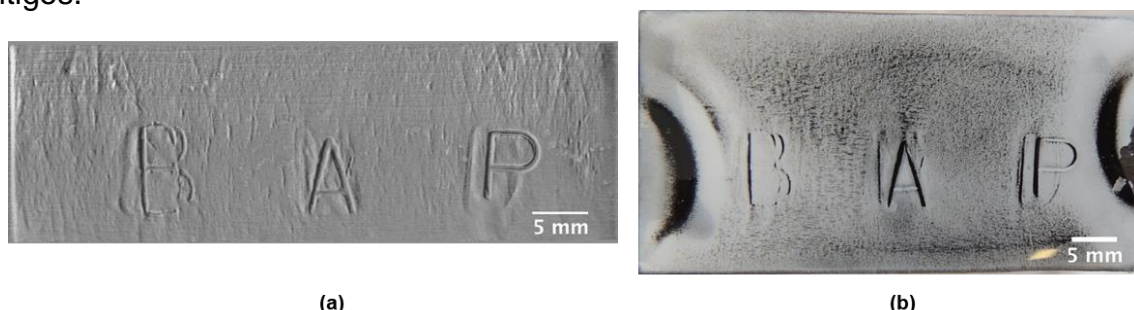


Figura 7. Recuperação dos códigos originais da Amostra B:(a) Magnetografia obtida pela análise de recuperação por visualização magneto-óptica; (b) Recuperação por partículas magnéticas;

Em adição, ao analisar as figuras 7a e 7b, observa-se menor definição das letras reveladas “E” e “D” na recuperação realizada por partículas magnéticas em comparação com a recuperação por visualização magneto-óptica. Tal fato pode estar

atrelado a curta distância entre estes caracteres e os imãs permanentes, culminando na atração preferencial das partículas magnéticas ao imã permanente gerando um pequeno acúmulo destas nas regiões deformadas, criando, por sua vez, uma revelação de baixo contraste.

Por fim, a inversão dos imãs permanentes na revelação por partículas magnéticas não evidenciou os traços horizontais dos caracteres presentes na amostra B como na amostra A, não sendo efetivo na interpretação dos resultados.

O tempo de análise desta amostra, medido a partir do posicionamento da amostra até a aquisição da imagem dos resultados, por cada técnica foi de: 7 minutos para a revelação por visualização magneto-óptica e 9 minutos para a revelação por partículas magnéticas.

4. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos, na amostra A, a técnica de revelação por partículas magnéticas apresentou melhor desempenho sendo capaz de revelar totalmente o código original.

No caso crítico da amostra B, apesar da sobreposição das zonas de deformação plástica ocasionada pela remarcação, ambas as técnicas não destrutivas foram capazes de revelar parcialmente o código original.

Em vista disso, os resultados obtidos nesse trabalho demonstram satisfatório desempenho das técnicas de recuperação por visualização magneto-óptica e partículas magnéticas na revelação de códigos originais, em curto espaço de tempo, em amostras de baixo carbono (aço 1005) e ultrabaixo carbono (aço IF) adulteradas por remoção e remarcação.

Agradecimentos

A Capes e a FAPERJ pelo apoio financeiro. A Regula e aos peritos dos órgãos de segurança pública pelo auxílio técnico.

REFERÊNCIAS

1. Song Q. Restoration of obliterated engraved marks on steel surfaces by chemical etching reagent. *Forensic Sci Int.* 2015;250:33–6.
2. Kuppuswamy R. Metallographic Etching of Aluminium and Its Alloys for Restoration of Obliterated Marks in Forensic Science Practice and Investigations. In: *Aluminium Alloys, theory and applications.* 2010. p. 331–53.
3. Izhar Mohd MB, Kuppuswamy R, Rahman AA. Recovering obliterated engraved marks on aluminium surfaces by etching technique. *Forensic Sci Int.* 2008;177(221–227).
4. ArcelorMittal. Extract from the product catalogue. 2017;176.
5. Moraes AL de, Carvalho FA de. Análise da Microestrutura e das Propriedades Mecânicas do Aço IF - Nb / Ti. Centro Federal De Educação Tecnológica Celso Suckow Da Fonseca – CEFET / RJ; 2016.
6. Zhang W, Elmer JW, DebRoy T. Modeling and real time mapping of phases during GTA welding of 1005 steel. *Mater Sci Eng A.* 2002;333(1–2):320–35.
7. Gerdau. Catalogo Aços Planos. 2003;
8. Fieto BM. Evolução da microestrutura e das propriedades mecânicas de aços if tratados termomecânicamente. 2013.

9. Lima M. Estudo de Técnicas Não Destrutivas Na Recuperação De Marcações Adulteradas Em Chapas Metálicas. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE/UFRJ); 2018.
10. Jin Y. Recovering Obliterated Engraved Vehicle Identification Number on Vehicle Frame Surfaces by Etching Technique. Adv Mater Res [Internet]. 2012;503–504:56–60. Available from: <http://www.scientific.net/AMR.503-504.56>
11. Azlan Mohd. Zaili M, Kuppuswamy R, Harun H. Restoration of engraved marks on steel surfaces by etching technique. Forensic Sci Int. 2007;171(1):27–32.
12. Polk DE, Giessen BC. Metallurgical aspects of serial number recovery. AFTE J. 1989;21:174–81.
13. Andreucci R. Partículas Magnéticas. Abendi; 2014.
14. Agalidi Y, Kozhukhar P, Levyi S, Rogozhinsky Y, Shumsky I. Eddy current fields/magnetic recording/magneto-optic imaging NDI method. Taylor Fr. 2011;27(2):109–19.
15. Science Systems RF. Operating Manual: Eddy-current magnetographing device of metal surface Regula model 7515. 2010.
16. M D, Turley M. Components Restoration of Stamp Marks on Steel Components Etching and Magnetic Magnetic Techniques by Etching. J Forensic Sci. 1987;32(3):640–9.
17. Utrata D, Johnson MJ. Magnetic particle recovery of serial numbers. 2003.