

QUANTIFICAÇÃO DE AUSTENITA RETIDA POR SATURAÇÃO MAGNÉTICA EM UM AÇO 300M COM MICROESTRUTURA MULTIFÁSICA¹

Roberto Masato Anazawa²

Antonio Jorge Abdalla³

Tomaz Manabu Hashimoto⁴

Marcelo dos Santos Pereira⁴

Gabriella Reis Carre⁵

Resumo

A determinação quantitativa da fração volumétrica da austenita retida é fundamental para a avaliação das propriedades dos aços multifásicos TRIP (*Transformation Induced Plasticity*), ou seja, aços com plasticidade induzida por deformação. A austenita retida é uma fase de grande importância para os aços multifásicos, pois é responsável por melhorar algumas propriedades nestes aços, estando presente em quantidades superiores a 5%. A principal contribuição deste trabalho foi a quantificação da austenita retida de um aço 300M com microestrutura multifásica após ser submetido a tratamentos térmicos intercríticos e isotérmicos, por meio de medidas de saturação magnética e foram comparadas com as medidas obtidas por difratometria de raios X e microscopia óptica.

Palavras-chave: Aços multifásicos; Austenita retida; Aço 300M.

QUANTITATIVE DETERMINATION OF RETAINED AUSTENITE FOR MAGNETIC SATURATION MEASUREMENTS ON 300M STEEL WITH MULTIPHASE MICROSTRUCTURE

Abstract

The accurate determination of the volume fraction of retained austenite is essential to the evaluation of the properties of multiphase TRIP steels. The retained austenite is a phase of great importance for the multiphase steels because it is responsible for to improve some properties in steels in amount greater than 5%. The main contribution of this study is the quantitative determination of retained austenite on 300M steel with multiphase microstructure after intercritical and isothermal heat treatments by means magnetic saturation and is compared with data from X-ray diffraction and light optical microscopy measurements.

Key words: Multiphase steels; Retained austenite; 300M steel.

¹ Contribuição técnica ao 63º Congresso Anual da ABM, 28 de julho a 1º de agosto de 2008, Santos, SP, Brasil

² Membro da ABM, Dr., Pesquisador Titular do Instituto de Estudos Avançados do Comando Geral de Tecnologia Aeroespacial – IEAv/CTA, São José dos Campos (SP). E-mail: anazawa@ieav.cta.br

³ Engenheiro Mecânico, Dr., Tecnologista do Instituto de Estudos Avançados do Comando Geral de Tecnologia Aeroespacial – IEAv/CTA, São José dos Campos (SP).

⁴ Engenheiros Mecânicos, Professores Livre Docente do Departamento de Materiais e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista - FEG/UNESP, Guaratinguetá (SP).

⁵ Aluna de graduação do curso de Engenharia de Materiais da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista - FEG/UNESP, Guaratinguetá (SP).

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de aços durante a última década mostra que os aços multifásicos TRIP constituem uma nova categoria de aços em chapas ou lâminas, em função da sua alta resistência e elevada conformabilidade. Estas excelentes propriedades mecânicas aparecem principalmente, devido à plasticidade induzida por deformação na transformação martensítica da austenita retida metaestável. Os aços TRIP possuem uma estrutura multifásica complicada, obtida por meio de tratamentos térmicos bem planejados e consistindo de fases diferentes, principalmente de ferrita, bainita, austenita retida e martensita.

Então, é essencial e fundamental uma determinação qualitativa e quantitativa da fração de volume das fases existentes, especialmente a austenita retida para a avaliação das propriedades dos aços TRIP.

Os métodos experimentais tradicionais que têm sido reportados na literatura incluem difração de raios X (DRX),^[1-5] difração de nêutrons,^[6] microscopia ótica combinada com análise de imagens,^[7-10] microscopia eletrônica de varredura (MEV),^[11-13] espectroscopia Mössbauer^[13,14] e dilatométrica.^[15]

A maioria dessas técnicas é destrutiva e invasiva e algumas delas são pouco usadas como ferramentas quantitativas, devido à complexidade da microestrutura do material deformado que, na maioria dos casos, requer grandes ampliações e técnicas sofisticadas de preparação de amostras. Foi por isso que surgiram técnicas não-destrutivas, capazes de analisar amostras de aço sem a necessidade de danificá-las. Uma delas utiliza medidas magnéticas^[5] para fazer as suas análises. Um resumo das características destas técnicas é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Uma comparação das características de diferentes técnicas para uma análise da fração de volume da austenita retida.

Técnica	Quantidade observada	Volume investigado
Difração de Raios X	Picos de difração	Camada superficial
Difração de nêutrons	Picos de difração	Volume
Metalografia/MEV	Grãos com ataque colorido	Camada superficial
Mössbauer	Espectro de transmissão	Filme fino
Magnetização	Magnetização de saturação	Volume
Dilatometria	Mudança de comprimento	Volume

Dentre elas, a técnica de DRX é a mais freqüentemente utilizada, para a determinação da fração de volume da austenita retida, mas existem alguns fatores que resultam em erros significantes nas medidas por DRX, por exemplo: 1) a intensidade integrada de pequenos picos de austenita é muito sensível em procedimentos para contagem de fundos e fronteira de picos; 2) as medidas por DRX são incapazes de detectar a austenita retida em amostras resfriadas; 3) a condição de tensão na superfície da amostra altera os sinais de difração da austenita retida, por exemplo, elevada tensão interna resulta no alargamento dos picos difratados e, conseqüentemente, influencia na fração de volume calculada. É difícil quantificar o erro total nas medidas por difração de raios causados pelos fatores citados.

Outras técnicas são usualmente aplicadas a fim de complementar as falhas da técnica por DRX. Entretanto, estes métodos têm suas próprias limitações com respeito à determinação da fração de volume da austenita retida nos aços TRIP com estrutura multifásica. Por exemplo, as medidas de espectroscopia Mössbauer requerem um filme muito fino (20 μm – 50 μm) que conduz a uma condição interna

de tensão diferente, em relação às amostras volumosas. Isto pode influenciar os resultados, já que a austenita retida é muito sensível à tensão. As medidas de dilatométrica podem ser empregadas para medir a fração da fase transformada *in situ* da mudança de comprimento, mas a exatidão da medida não é alta, pois o conhecimento dos parâmetros de rede é limitado, e a transformação por plasticidade pode também afetar dilatação da rede.

Uma outra técnica utilizada para determinar a fração de volume da austenita retida é por métodos magnéticos. Os métodos magnéticos, como medidas de magnetização e análise termomagnética, são geralmente utilizados em estudos metalúrgicos. Em medidas de magnetização, a magnetização de saturação pode ser obtida por meio da curva de magnetização. A diferença da magnetização de saturação das amostras com e sem austenita é diretamente relacionada com o volume de fração não-ferromagnética da austenita retida. Dentre as fases presentes nos aços multifásicos (ferrita, martensita, bainita e austenita retida), a austenita retida é a única que é paramagnética. A sua transformação em martensita durante a deformação altera a natureza da fase para ferromagnética. Este percentual de austenita transformada pode ser quantificada por processo magnético.

Neste trabalho, a técnica utilizada para determinar a fração volumétrica da austenita retida foi por meio das medidas de magnetização. Essas medidas possuem vantagens intrínsecas porque são exatas e sondam volumes dos materiais.

A ferrita, a martensita, a bainita e a cementita são todas ferromagnéticas, enquanto somente a austenita é paramagnética. Assim a fração volumétrica da austenita retida (%AR) pode ser determinada comparando as propriedades magnéticas de um aço TRIP contendo austenita retida em relação ao um aço livre de austenita retida de mesma composição química (que será chamado de referência=REF).^[16] Em geral, para a saturação magnética B_{SAT} , têm-se:

$$\%AR = \frac{B_{SAT}^{LIGA} - B_M}{B_{SAT}^{LIGA}}, \quad (1)$$

onde B_M é magnetização de saturação da amostra a ser medida. Ela é obtida medindo-se a magnetização de saturação de uma amostra de referência de mesmo material com a garantia que não há nenhuma austenita retida nesta amostra.

Este trabalho determinou a fração de volume da austenita retida no aço 300M com microestrutura multifásica através de medidas de saturação magnética e comparou com resultados obtidos por microscopia óptica e difratometria de raios X.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Estudou-se um aço de ultra-alta resistência, o 300M, utilizado na confecção de envelopes motores (propulsores) do Veículo Lançador de Satélites (VLS) e alguns veículos de sondagem, os quais fazem parte do Programa Espacial Brasileiro. A sua composição química é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Composição química do aço 300M (% em massa)

Elemento de liga	C	S	P	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Al	V	Cu
% em massa	0,39	0,0005	0,009	1,78	0,76	0,76	1,69	0,40	0,003	0,08	0,14

Para o estudo da determinação de austenita retida utilizou-se um roteiro de tratamentos térmicos baseado no estudo feito por Tomita e Okawa,^[17] que estudando o mesmo tipo de aço, obtiveram quantidade de austenita retida na faixa de 2% a 22%. Os corpos-de-prova receberam um tratamento inicial de recozimento pleno para eliminar os efeitos de laminação. Foram aquecidos a 900°C, mantido por 2 horas e resfriados ao forno até a temperatura ambiente. O primeiro lote foi mantido na condição de recozido. Os outros lotes foram submetidos ao seguinte roteiro de tratamentos térmicos:

- A)** aquecimento a 900°C, mantido por 1 hora, transferido para um forno a 320°C, mantido por 20 minutos e resfriado em óleo (IT320°C);
- B)** aquecimento a 900°C, mantido por 1 hora, transferido para um forno a 350°C, mantido por 17 minutos e resfriado em óleo (IT350°C);
- C)** aquecimento a 900°C, mantido por 1 hora, transferido para um outro forno a 370°C, mantido por 23 minutos e resfriado em óleo (IT370°C);
- D)** aquecimento a 900°C, mantido por 1 hora, transferido para um outro forno a 400°C, mantido por 30 minutos e resfriado em óleo (IT400°C);
- E)** aquecimento a 760°C, mantido por 15 minutos e resfriado em óleo (IC760°C) e
- F)** tratamento térmico de têmpera e revenimento convencional: aquecimento na temperatura de 900°C por uma 1 hora, resfriado em óleo e aquecimento na temperatura de 300°C por 2 horas.

O esquema da Figura 1 representa os ciclos de tratamentos térmicos que foram aplicados nos corpos-de-prova.

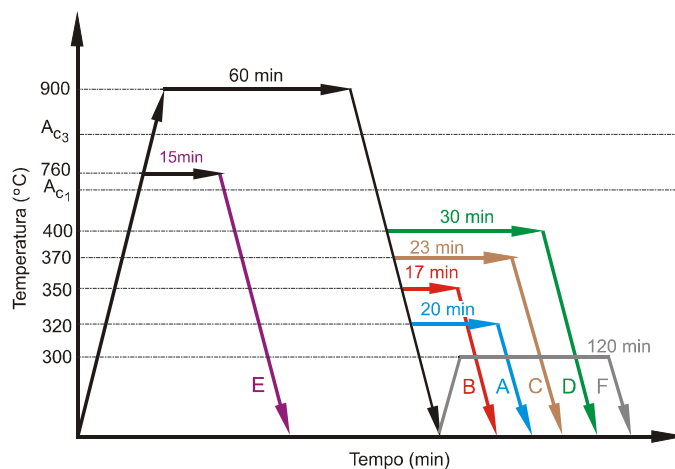


Figura 1 – Gráfico esquemático dos tratamentos aplicados

As amostras foram seccionadas e embutidas em baquelite. Após o embutimento fez-se uma seqüência de lixamento em lixadeira rotativa nas granulometrias: #320, #400, #600, #1000, #1200 e #1500, utilizando a técnica das perpendicularizações e sempre observando ao microscópio a ausência de riscos da lixa anterior. Em seguida, as amostras foram colocadas em becker contendo álcool etílico e transferido para o equipamento de ultra-som Arotec T7 com água, durante 5 minutos, a fim de remover pequenos resíduos de lixas e material, evitando riscos na amostra durante o polimento. O polimento foi feito na rotação de 500 rpm por aproximadamente 20 minutos para cada amostra a fim de remover os riscos inerentes do lixamento.

O resultado por microscopia óptica da fração da austenita retida, fez-se ataque com solução aquosa metabissulfito de sódio (10 g de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ +100 ml de água

destilada). Neste ataque foi usado um ataque de 5 segundos em média de Nital 2% para melhor revelação de contorno de grão, em seguida usou-se o ataque químico de metabissulfato de sódio por 10 segundos, lavando-o com álcool etílico e secando com algodão. Após o ataque químico, as amostras foram imediatamente observadas ao microscópio óptico de marca Nikon, modelo Epiphot 200, onde é acoplada uma câmara para aquisição de imagens. Foram capturadas no mínimo 20 imagens de cada amostra a um aumento de 1.000X (objetiva de 100X e adaptador de 10X) com o auxílio do programa Spot Insight. O processamento (captura e armazenamento) e a quantificação da austenita retida foram utilizados o programa Image J (Image Processing and Analysis in Java). O Image J consiste em um programa que possui ferramentas pré-programadas para as principais formas de manipulação de imagens e filtros e manipulação de níveis de cinza, cálculos com imagens. Este programa é de acesso livre e gratuito, podendo ser obtido pela Internet (<http://rsb.info.nih.gov/ij>).

As análises por difratometria de raios X foram feitas no equipamento XRDD6000 da Shimadzu. O equipamento possui tubo de cobre com monocromador de grafite para filtrar ruídos provenientes de outros comprimentos de onda. Foi utilizada uma voltagem de 40 kV e corrente de 30 mA. As medidas foram feitas varrendo as amostras de $2\theta = 20^\circ$ até 95° , com passo angular de $0,05^\circ$ e tempo de contagem de 1 s por passo. A superfície das amostras foi lixada até a lixa de granulometria 1000 e acomodada em porta-amostra para medida de amostra sólida.

As medidas pelo método magnético foram realizadas com o equipamento Traçador de Curvas de Histerese Magnética (TCHM) da Brasmag, modelo BM 250-A. A caracterização magnética consiste, basicamente, em expor uma amostra do material a um campo magnético H, e medir sua indução magnética B através da curva de histerese magnética. A coleta de dados da curva de histerese magnética foi feita por um osciloscópio digital modelo 54610B da HP. Esses dados foram processados em um *notebook* Toshiba Satellite Pentium 4 de 2,66 GHz, por meio de uma interface GPIB/USB Agilent 82357A e do software VEE Pro 6.2 da Agilent. No software VEE Pro 6.2, foi desenvolvido um programa especificamente para fazer tratamento dos sinais coletados pelo osciloscópio, cálculos matemáticos para armazenamento de dados e obtenção de parâmetros de nosso interesse. A Figura 2 apresenta o *rack* de equipamentos para a aquisição desses dados.

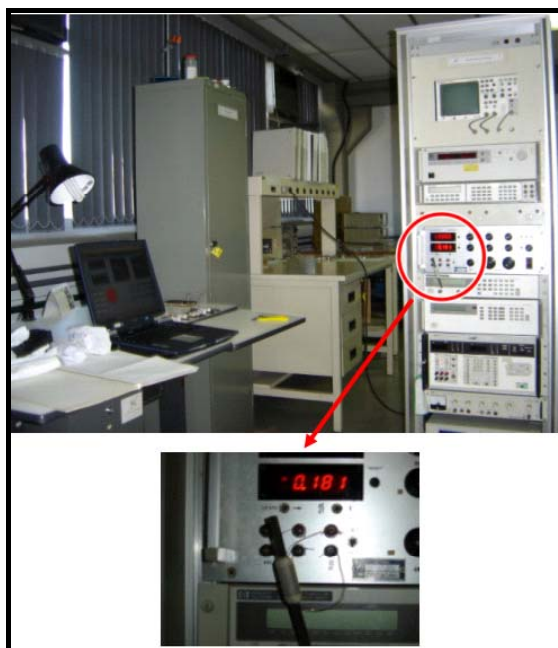


Figura 2 – Rack de equipamentos utilizados nas medidas da curva de histerese

Este programa computacional, desenvolvido pelo software VEE Pro 6.2 da Agilent Technologies, foi responsável pela aquisição de dados da histerese magnética coletados pelo osciloscópio. Com esses dados pode-se traçar a curva de histerese magnética. O software VEE Pro 6.2 utiliza uma linguagem gráfica de programação que facilita a aquisição e manipulação de dados. Também possui a linguagem MATLAB incorporada e com isso favorece grande compatibilidade com os equipamentos e interfaces de comunicação envolvidas na medida.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizadas medidas por difratometria de raios X. Nesta análise buscou-se encontrar e quantificar a austenita retida (ferro gama) presente nas amostras submetidas a tratamentos isotérmicos e intercríticos. O ferro gama cristaliza numa estrutura cúbica de faces centradas e possui parâmetro de rede de valor $a = 3,659 \text{ \AA}$. O seu pico mais intenso aparece em $2\theta = 43^\circ$. Em todas as amostras nota-se o pico bem definido da ferrita (ferro alfa) em torno de $2\theta = 44,8^\circ$. O ferro alfa cristaliza numa estrutura cúbica de corpo centrado e possui parâmetro de rede $a = 2,866 \text{ \AA}$. O refinamento da estrutura cristalina de ferrita e austenita retida foi feito pelo método de Rietveld usando o programa FullProf (versão 2.80 – Jul 2004). Por este refinamento foi possível obter a fração de ferrita e austenita retida de algumas amostras. A Figura 3 apresenta os difratogramas de raios X obtidas referentes aos tratamentos térmicos apresentados na Figura 1.

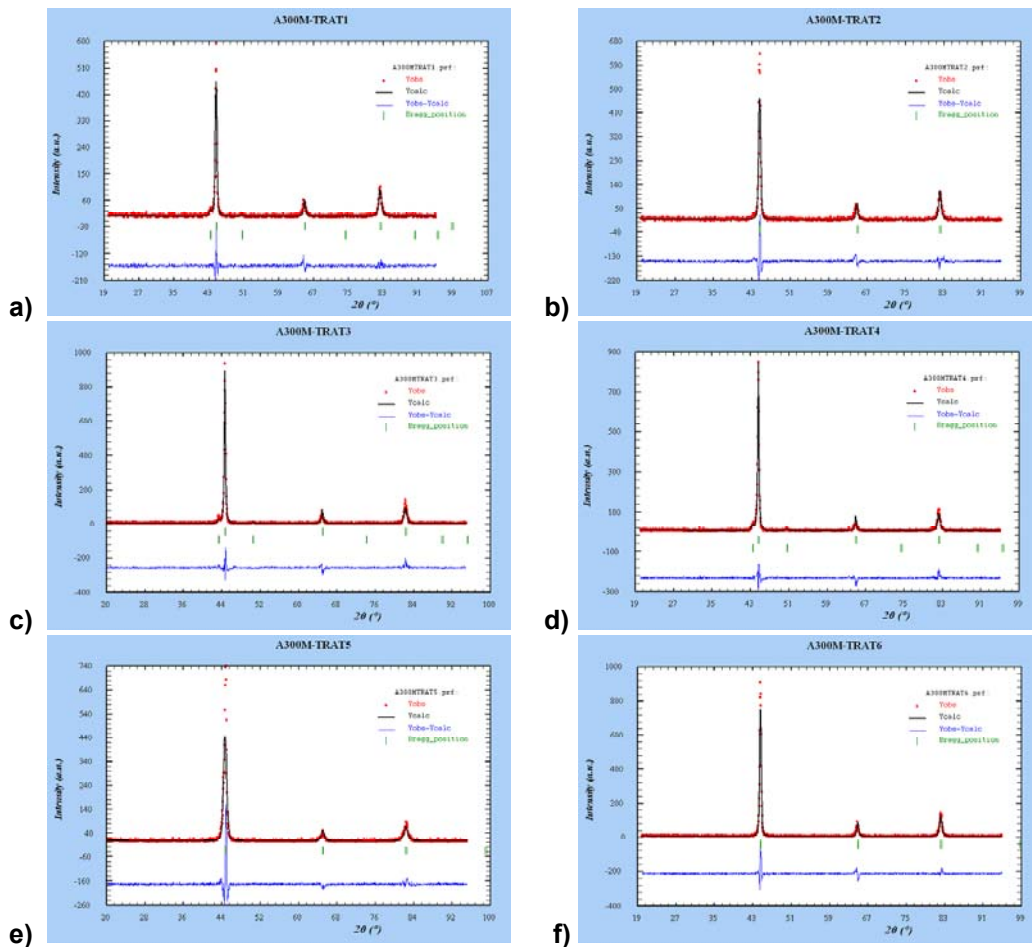


Figura 3 – Difratoformas de raios X do aço 300M submetidos aos tratamentos térmicos: a)) IT320°C; b) IT350°C; c) IT370°C; d) IT400°C; e) IC760°C e) TRC.

Também são apresentados os resultados de microscopia óptica. A Figura 4 representa uma micrografia do aço 300M submetido ao tratamento térmico intercrítico a 760°C, quando atacado com solução aquosa de 10% de metabissulfato de sódio. Este reagente ataca todas as fases presentes, exceto a austenita retida que permanece clara. Esta figura apresenta a aplicação do *threshold*, pelo software *Image J*, identificando em preto as áreas ocupadas pela austenita.

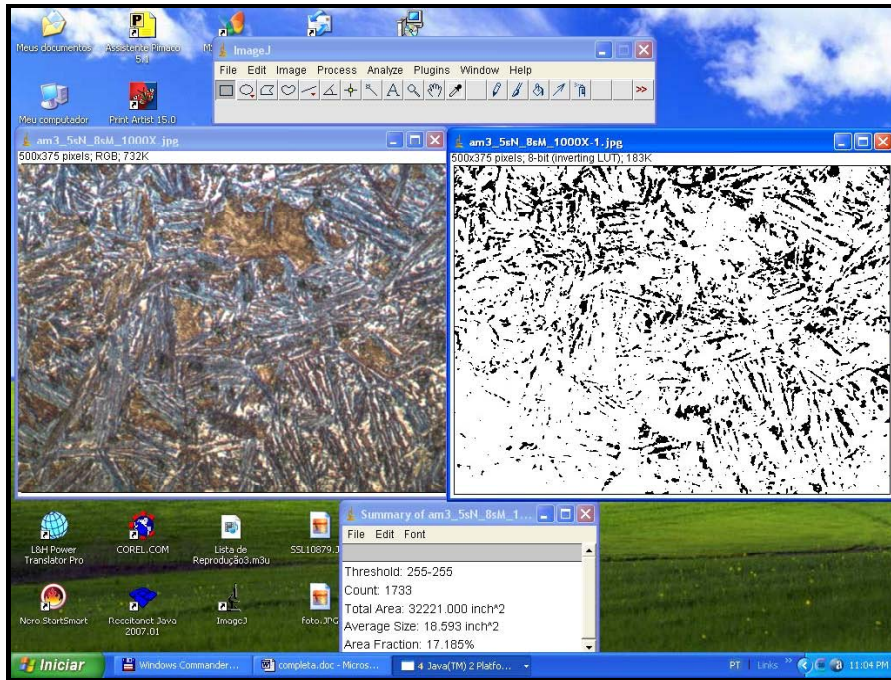


Figura 4 – Fotomicrografia do aço 300M, submetido ao tratamento térmico IC760°C, atacada com solução aquosa a 10% de metabissulfito de sódio após a análise do *threshold* do software *Image J*.

Um outro método utilizado para medir as frações volumétricas de austenita retida foi por meio de medidas de magnetização, através de obtenção da curva de histerese. As Figuras 5 e 6 apresentam a curva de histerese medida para o aço nos tratamentos térmicos IT370°C e IC760°C com o tratamento de dados.

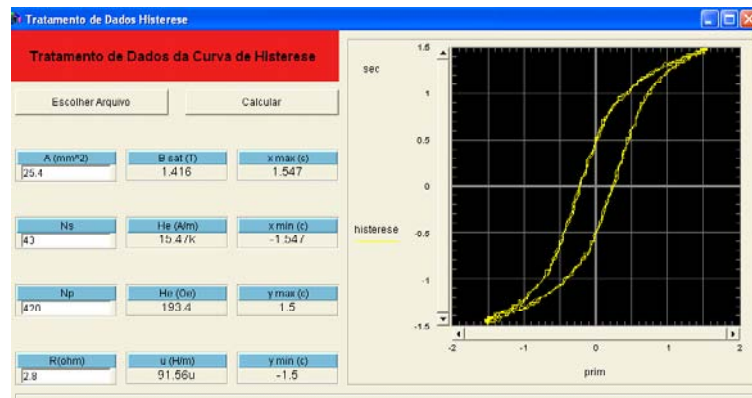


Figura 5 – Curva de histerese do aço 300M no tratamento térmico IT370°C.



Figura 6 – Curva de histerese do aço 300M no tratamento térmico IC760°C.

A Tabela 3 apresenta os valores obtidos por todas as técnicas utilizadas neste trabalho e valores de austenita retida de alguns tratamentos térmicos obtidos por Tomita e Okawa.^[17] Dos resultados de difratometria de raios X, a amostra de aço recozido é o que apresenta valor de austenita retida mais próximo dos outros métodos enquanto os tratamentos térmicos isotérmicos a 320°C, 370°C e 400°C apresentam resultados bem abaixo em relação às outras técnicas e por Tomita e Okawa.^[17] As amostras dos seguintes tratamentos isotérmicos: isotérmico a 350°C, intercrítico a 760°C e têmpera e revenimento convencional não apresentaram pico evidente de austenita retida. Nesses casos, não foi possível determinar com precisão a quantidade de austenita retida devido ao fato de não ser observado no difratograma de raios X o pico do ferro gama. Percentual muito baixo de austenita retida (abaixo de 5%) não é detectado.

Tabela 3 – Fração volumétrica de austenita retida

Tratamento Térmico	Trabalho de Tomita e Okawa^[17] (%)	Difratometria de raios X (%)	Metabissulfito de sódio (%)	Medidas magnéticas (%)
Recozido	-	8,3	7,3	9,2
IT – 320°C (A)	12	7,7	9,0	13,7
IT – 350°C (B)	18	*	18,4	23,7
IT – 370°C (C)	22	5,8	21,8	24,6
IT – 400°C (D)	25	14,3	21,2	26,1
IC – 760°C (E)	-	**	4,1	4,6
TRC	2	**	3,1	3,1

* não apresentaram picos de austenita retida. ** percentual abaixo de 5%. IT: isotérmico; IC: intercrítico; TRC: têmpera e revenimento convencional.

Observou-se que os resultados obtidos para a quantificação da austenita retida por métodos magnéticos são maiores do que os obtidos pelo trabalho de Tomita e Okawa,^[17] (para os tratamentos A, B, C e D), por difração de raios X e por microscopia óptica após o ataque com metabissulfito de sódio, isto porque as medidas magnéticas sondam o volume da amostra enquanto as outras duas técnicas medem na superfície. No caso de aços TRIP multifásicos, a utilização de difração de raios X pode trazer alguns problemas: as medidas são realizadas próximas da superfície, em uma profundidade de alguns μm . Se a distribuição da austenita retida na superfície do metal não for homogênea, as medidas devem ser repetidas várias vezes a fim de se obter uma boa estatística. A pequena dimensão dos grãos de austenita retida pode aumentar a incerteza dos resultados. Uma das precauções necessárias na hora da preparação das amostras é o polimento. É sugerido que seja feito um polimento eletrolítico, com a finalidade de não riscar a superfície. No processo de lixamento e polimento tradicional há criação de martensita artificialmente.

Portanto, em reforço às observações feitas, é sugerido que as quantificações de frações volumétricas da austenita retida por medidas magnéticas são mais confiáveis que as medidas por difração de raios X e microscopia óptica.

4 CONCLUSÕES

A quantificação da austenita retida, por medidas de saturação magnética, mostrou-se bastante eficaz, coerentes com resultados obtidos na literatura (Tomita e Okawa^[17]).

A austenita retida medida por microscopia óptica, após ataque com metabissulfito de sódio, é uma opção viável, pois fornece um valor bastante aproximado da fase, porém exige grande habilidade do pesquisador na realização do ataque químico, aquisição e tratamento das imagens.

A dificuldade em quantificar a austenita retida por difratometria de raios X, está relacionada à identificação clara dos picos do ferro gama, que conforme o tipo de processamento e tratamento térmico do material pode dificultar esta identificação devido às alterações nos parâmetros de rede ou orientação preferencial dos grãos. Está técnica é também ineficaz para baixos percentuais de austenita.

Pode-se concluir que o método utilizado neste trabalho, de medida de austenita retida por saturação magnética, é mais uma nova técnica efetiva para determinar a fração volumétrica da austenita retida.

REFERÊNCIAS

- 1 SAKUMA Y.; MATSUMURA, O.; TAKECHI, H. Mechanical properties and retained austenite in intercritically heat-treated bainite-transformed steel and their variation with Si and Mn additions. *Metallurgical and Transactions A*, v. 22A, p. 489-498, 1991.
- 2 ITAMI, A.; TAKAHASHI, M.; USHIODA, K. Plastic stability of retained austenite in the cold-rolled 0,14%C–1,9%Si–1,7%Mn sheet steel. *ISIJ International*, v. 35, nº 9, p. 1121-1127, 1995.
- 3 BASUKI, A.; AERNOULD, E. Effect of deformation in the intercritical area on the grain refinement of retained austenite of 0,4C TRIP. *Scripta Materialia*, v. 40, nº 9, p. 1003-1008, 1999.
- 4 SUGIMOTO, K. et al. Retained Austenite Characteristics and Tensile Properties in a TRIP Type Bainitic Sheet Steel. *ISIJ International*, v. 40, nº 9, p. 902-908, 2000.
- 5 ZHAO, L. et al. Magnetic and X-ray diffraction measurements for the determination of retained austenite in TRIP steels. *Materials Science and Engineering A*, v. A313, p. 145-152, 2001.
- 6 BOUET, M. et al. Micro-Alloying in Steels. *Materials Science Forum*, v. 319, p. 284-286, 1998.
- 7 ANAZAWA, R. M. et al. Efeito dos Tratamentos Intercrítico e Isotérmico sobre as Propriedades Mecânicas e na Microestrutura no Aço 300M. *Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo*, v. 25, nº 2, p. 93-97, 2006.
- 8 ABDALLA, A. J. et al. Alterações das propriedades mecânicas em aços 4340 e 300M através de tratamentos térmicos isotérmicos e intercríticos. (em CD-Rom) In: 59º Congresso da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, São Paulo, Brasil, Julho de 2004, Anais São Paulo, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2004.
- 9 HASHIMOTO, T. M. Caracterização mecânica e microestrutural de um aço médio carbono com estruturas bainíticas e multifásicas. 2004, 98f. Tese (Livre Docência)-Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2004.

- 10 PEREIRA, M. S. Caracterização microestrutural e mecânica de um aço multifásico, em consonância com o projeto ULSAB-AVC. 138f. Tese (Livre Docência)-Faculdade de Engenharia-Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2004.
- 11 JEONG, W. C.; MATLOCK, D. K.; KRAUSS, G. Effects of tensile-testing temperature on deformation and transformation behavior of retained austenite in a 0.14%C-1.2%Si-1.5% Mn steel with ferrite bainite austenite structure. *Materials Science and Engineering A*, v. 165, p. 9-8, 1993.
- 12 ITAMI, A.; TAKAHASHI, M.; USHIODA, K. Plastic stability of retained austenite in the cold-rolled 0,14%C–1,9%Si–1,7%Mn sheet steel. *ISIJ International*, v. 35, nº 9, p. 1121-1127, 1995.
- 13 JACQUES, P.J.; LADRIÈRE, J.; DELANNAY, F. On the Influence of Interactions between Phases on the Mechanical Stability of Retained Austenite in Transformation-Induced Plasticity Multiphase Steels. *Metallurgical and Materials Transactions A*, v. 32A, p. 2759-2768, 2001.
- 14 MIJOVILOVICH, A. et al. Mössbauer study of the retained austenitic phase in multiphase steels. *Materials Science and Engineering A*, A283, p. 65-69, 2000.
- 15 ALI, A.; AHMED, M.; HASHMI, F.H.; KHAN, A.Q. Incomplete reaction phenomenon in high strength bainitic steels. *Metallurgical and Materials Transactions A*, v. 24A, p. 2145-2150, 1993.
- 16 WIRTHL, E. et al. Determination of the volume amount of retained and ferrite in small specimens by magnetic measurements, *Int. Conf. on TRIP-Aided High Strength Ferrous Alloys*, p. 61-64, 2002.
- 17 TOMITA, Y.; OKAWA, T. Effect of microstructure on mechanical properties of isothermally bainite-transformed 300M steel. *Materials Science and Engineering A*, v. A172, p. 145-151, 1993.