

EFEITOS DO TEOR DE MANGANÊS E DA TEMPERATURA DE AUSTENITIZAÇÃO SOBRE AS TRANSFORMAÇÕES DE FASES EM AÇOS MÉDIO CARBONO ESTRUTURAIS*

Darliene Aparecida de Souza Pereira¹
Lorena Teixeira Gaspar²
Geraldo Lúcio de Faria³

Resumo

O aumento da concentração de manganês e o crescimento controlado de grão austenítico são artifícios de baixo custo que podem aumentar a temperabilidade de aços baixo e médio carbono comuns, permitindo que estes materiais possam ser aplicados em situações que exijam maior resistência mecânica. Este trabalho estudou o efeito destes dois parâmetros sobre as transformações de fase em dois aços médio carbono estruturais geralmente aplicados na industrial agrícola, naval e automobilística por meio da utilização de dilatométrica, gerando dados quantitativos ainda pouco publicados na literatura técnica para estes materiais com valor agregado relativamente baixo, mas com grande volume de produção e aplicação no Brasil. Pôde-se verificar que os dois aços são originalmente constituídos por ferrita primária e perlita, mas em função do diferente histórico de fabricação, o aço com menor teor de manganês se apresentou originalmente mais refinado. Esta microestrutura original influenciou significativamente a etapa de re-austenitização dos aços, assim como o tamanho de grão austenítico final. Durante o resfriamento contínuo, foi possível confirmar que tanto o aumento do teor de manganês como o crescimento de grão austenítico aumentaram significativamente a temperabilidade do aço, promovendo, de forma combinada, um aumento de dureza que pode chegar nas proximidades de 200HV.

Palavras-chave: Aço estrutural médio carbono; transformação de fases, teor de manganês, temperatura de austenitização.

EFFECT OF THE MANGANESE CONTENT AND THE AUSTENITIZING TEMPERATURE ON PHASE TRANSFORMATIONS IN MEDIUM CARBON STRUCTURAL STEELS

Abstract

The increase of manganese content and the controlled austenitic grain growth are low cost strategies that aims to increase the hardenability of low and medium carbon steels, allowing that these materials can be applied when a higher mechanical strength is required. This work studied the effects of these both parameters on phase transformations in two medium carbon steels generally used in agricultural, naval and automotive industries, applying dilatometry and generating quantitative data little published in technical literature for these materials that have relatively low added values, but are manufactured and applied in large scale in Brazil. It was observed that both steels are mainly constituted by primary ferrite and pearlite, but due to their different processing routs, the steel with the minor manganese content presented the most refined initial microstructure. These original microstructures influenced the re-austenitizing and the final austenitic grain size. During the continuous cooling, it was possible to confirm that the increase of manganese content and austenite grain size increased the steel hardenability, promoting a combined effect that can reach a hardness increase of about 200HV.

Keywords: Medium carbon structural steel; phase transformations; manganese content; austenitizing temperature.

¹ Estudante de Engenharia Metalúrgica, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto (MG), Brasil.

² Estudante de Engenharia Metalúrgica, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto (MG), Brasil.

³ Físico, Doutor, Docente, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto (MG), Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Aços médio carbono são geralmente aplicados em diversos segmentos da indústria onde se verifica a necessidade de boa resistência mecânica, boa usinabilidade, boa forjabilidade e média soldabilidade. Componentes para máquinas e equipamentos destinados aos mercados agrícola, automobilístico e naval como pinos, cilindros de transmissão de movimento, parafusos, braçadeiras, colunas, entre outros, são manufaturados a partir de aços com teor de carbono da ordem de 0,45%. Aços comuns com esta concentração de carbono são considerados de média temperabilidade e acabam sendo utilizados na fabricação de componentes que exijam dureza entre 180 e 300HB, sendo indicados para utilização como temperados apenas em peças com seção inferior a 60mm.

No entanto, muitas vezes adaptações se fazem necessárias para que seja possível alcançar maior resistência mecânica em alguns componentes específicos. Uma solução imediata seria a substituição do aço, porém, caso o valor agregado da peça não justifique a utilização de um material mais nobre, alternativas que permitam a aplicação de aços médio carbono modificados são aplicadas. Geralmente, busca-se mecanismos de baixo custo que possibilitem o aumento da temperabilidade destes aços.

Alguns fatores podem influenciar de modo significativo o desenvolvimento da microestrutura final de um aço médio carbono e assim a sua resistência mecânica, como, por exemplo, a adição de elementos de liga e o controle do tamanho de grão austenítico prévio (TGA). Em relação aos elementos de liga, sabe-se que o Mn é um elemento γ -gêneo que favorece a temperabilidade do aço quando em solução sólida. Como este é um elemento de custo relativamente baixo quando comparado a outros, geralmente pequenas adições extras do mesmo são utilizadas como artifício para ganho de resistência mecânica por transformação de fases, como ilustram alguns autores [1-3].

O aumento do tamanho de grão austenítico promove uma diminuição de sítios preferenciais para nucleação de constituintes difusionais nos aços, aumentando o tempo de decomposição da austenita, podendo assim ser utilizado como artifício de ganho de resistência mecânica em aços de baixa e média temperabilidade, desde que elevada tenacidade não seja requerida. Aranda *et al.*(2014) pesquisaram o efeito do TGA na decomposição da austenita em um aço hipoeutetóide Fe-C-Mn e concluíram que um menor TGA favorece a formação de perlita e ferrita, enquanto o crescimento de grão austenítico facilita a ocorrência de transformação martensítica [4].

Neste contexto, o propósito deste trabalho foi avaliar quantitativamente a influência da temperatura de austenitização, conseqüentemente do TGA, e do teor de manganês sobre as transformações de fase de decomposição da austenita em dois aços estruturais médio carbono por meio da realização de ensaios dilatométricos. O objetivo deste trabalho é gerar e disponibilizar dados que possam ser utilizados como referência por fabricantes e usuários de aços estruturais com concentração de carbono próximo de 0,45% em peso.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Caracterização do Estado de Entrega

Amostras representativas de dois aços médio carbono laminados a quente foram utilizadas no desenvolvimento deste trabalho. Ambas foram química e microestruturalmente caracterizadas.

A análise química foi realizada por meio da utilização de um espectrômetro de emissão ótica da Oxford Instruments, modelo Foundry - Master Xpert, localizado no Laboratório de Fundição do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais (DEMET) – Escola de Minas – Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).

As amostras foram preparadas para a metalografia no Laboratório de Tratamentos Térmicos e Microscopia Óptica (LTM) do DEMET/Escola de Minas/UFOP de acordo com os procedimentos padrões estabelecidos pela norma ASTM E3 – 11 [5], passando pelas etapas de corte, embutimento, lixamento, polimento e ataque químico com o reativo Nital 2%. As análises microestruturais foram executadas em um microscópio óptico LEICA DM 2700M.

2.2 Caracterização das Transformações de Fases Sob Resfriamento Contínuo

Para a realização da caracterização da cinética de transformação de fases, corpos de prova cilíndricos e maciços dos aços ABNT 1045 e ABNT 1345 foram usinados com 10mm de comprimento e 3mm de diâmetro. Ensaios de dilatometria foram realizados nesses corpos de prova em um dilatômetro da marca LINSEIS, modelo R.I.T.A. L78 do Laboratório de Tratamentos Térmicos e Microscopia Óptica (LTM) do DEMET/ Escola de Minas/UFOP.

Os ensaios dilatométricos foram realizados para diferentes temperaturas de austenitização que foram 920°C, 1100°C e 1200°C. Os corpos de prova foram individualmente aquecidos à uma taxa de 5°C/s até a temperatura de austenitização desejada e mantidos nessa temperatura por 180 segundos, de forma a garantir uma completa austenitização. Após a austenitização as amostras foram resfriadas continuamente até a temperatura ambiente sob diferentes taxas de resfriamento: 100°C/s, 30°C/s, 20°C/s, 10°C/s, 5°C/s, 3°C/s, e 1°C/s. Para cada taxa, as temperaturas críticas de início e término de decomposição da austenita durante o resfriamento contínuo (Ar_{1i} , Ar_{1f} e Ar_3) foram determinadas, possibilitando a determinação experimental dos diagramas de transformação sob resfriamento contínuo (TRC) dos aços em estudo.

Algumas amostras provenientes dos ensaios de dilatometria submetidas à taxas de resfriamento específicas (100°C/s, 30°C/s, 5°C/s e 1°C/s) foram selecionadas para análise microestrutural e ensaios de microdureza Vickers (carga de 200gf). Além disso, as amostras submetidas à uma taxa de resfriamento de 100°C/s foram atacadas com reativo Teepol (3g ácido pícrico, 240ml água destilada, 1,5ml HCl e agente tensoativo), a fim de revelar os grãos austeníticos prévios para cada temperatura de austenitização.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização do Estado de Entrega

A composição química dos aços estudados neste trabalho é apresentada na Tabela 1. Pode-se observar que os aços se caracterizam como aços estruturais médio carbono. Segundo a classificação da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, intermediada pela norma NBR NM 87: 2000, estes aços possuem características químicas que os classifica como ABNT 1045 e ABNT 1345 [6].

Tabela 1. Análise química dos aços estudados (% em massa).

Aço	C (%)	Mn (%)	Si (%)	Cr (%)	P (%)	S (%)
ABNT 1045	0,47	0,70	0,23	0,028	0,020	0,015
ABNT 1345	0,44	1,47	0,25	0,005	0,025	0,006

A caracterização química realizada diferencia os dois aços basicamente em função do teor de manganês. Enquanto o aço ABNT 1045 apresenta apenas 0,70% em peso de manganês, o aço ABNT 1345 apresenta 1,47% em peso.

As Figuras 1 e 2 apresentam, respectivamente, as microestruturas dos aços no estado de entrega. Pode-se observar que ambos são constituídos por perlita e ferrita proeutetóide. No entanto, percebe-se que a microestrutura do aço ABNT 1045 está significativamente mais refinada do que a do aço ABNT 1345. Desta forma, pressupõe-se que os aços em estudo apresentem diferentes históricos de fabricação, o que justificaria as microestruturas encontradas. Presume-se, levando em conta o que foi descrito por Hanlon *et al.* (2001) [7], que o aço ABNT 1045 tenha experimentado um maior grau de deformação em relação ao aço ABNT 1345 em processos de conformação mecânica a quente, o que refinaria o tamanho de grão da estrutura. Esta hipótese justificaria as microestruturas equiaxiais dos dois aços, assim como a estrutura mais refinada do aço ABNT 1045 apesar do menor teor de Mn que é um elemento γ -gêneo que favorece a estabilização da austenita, retardando a nucleação e o crescimento de constituintes difusionais [8]. Apesar de apresentar uma estrutura mais refinada, o aço ABNT 1045 possui aparentemente uma maior fração de ferrita em comparação ao aço ABNT 1345, reforçando essa hipótese.

Complementando a caracterização do estado de entrega, a Tabela 2 apresenta os valores de microdureza Vickers de ambos os aços, bem como os desvios médios associados. O aço ABNT 1045 apresentou microdureza média de 323HV, portanto, superior à microdureza de 256HV obtida para o aço ABNT 1345. Os resultados obtidos condizem com o esperado, já que a microestrutura do aço ABNT 1045 é significativamente mais refinada.

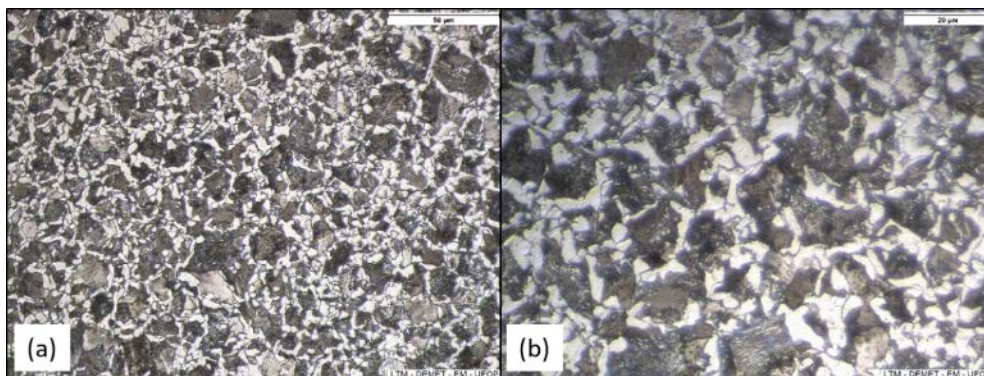


Figura 1. Microestrutura do aço ABNT 1045 no estado de entrega (a)500X (b)1000X–MO–Ataque Nital 2%.

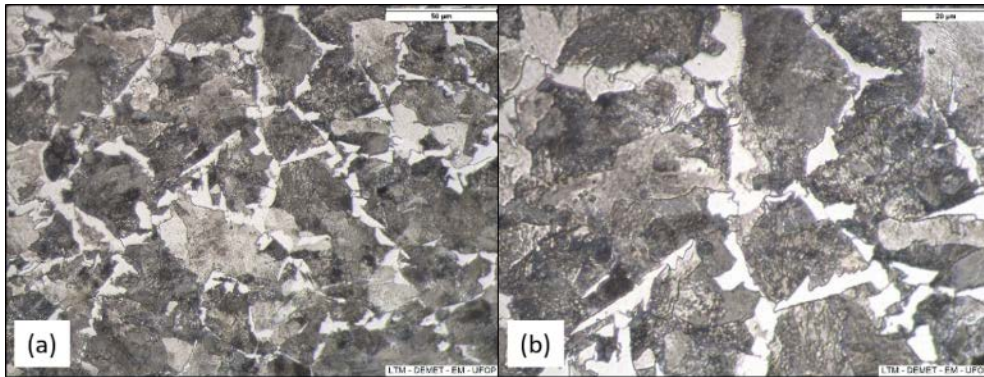


Figura 2. Microestrutura do aço ABNT 1345 no estado de entrega (a)500X (b)1000X–MO–Ataque Nital 2%.

Tabela 2. Microdureza dos aços estudados no estado de entrega.

Aço	Dureza Média (HV)	Desvio Médio (\pm HV)
ABNT 1045	323	7
ABNT 1345	256	13

3.2 Caracterização das Transformações de Fases Sob Resfriamento Contínuo

Como apresentado em Materiais e Métodos, amostras representativas dos dois aços estudados foram submetidas a ensaios de dilatométrica sob resfriamento contínuo a diferentes taxas a partir de três temperaturas de austenitização diferentes, que foram 920°C, 1100°C e 1200°C. Sabendo-se que os aços estudados possuem composições químicas relativamente simples, espera-se que com o aumento da temperatura de austenitização não haja grandes restrições à migração de contornos de grãos austeníticos e o crescimento dos mesmos ocorra [9,10]. Buscando avaliar o efeito da temperatura de austenitização sobre o tamanho de grão austenítico dos dois aços, o reativo Teepol (2,0ml de ácido clorídrico, 3g de ácido pícrico, 240ml de água destilada) foi utilizado. A Figura 3 apresenta os resultados obtidos.

Pode-se observar que a 920°C não houve diferença significativa nos tamanhos de grãos austeníticos, porém para as temperaturas de 1100°C e 1200°C, o aço ABNT 1345 apresentou os maiores valores. Supõe-se que este resultado seja uma consequência da microestrutura do estado de entrega do aço ABNT 1045 ser mais refinada. Nesse sentido, haveria mais sítios de nucleação heterogênea o que favoreceria a taxa de nucleação da austenita. Considerando que todas as amostras foram aquecidas continuamente, a uma mesma taxa, até as temperaturas de residência, onde permaneceram pelo mesmo intervalo de tempo, seria possível que a maior taxa de nucleação resultasse nos menores tamanhos de grãos austeníticos [8,11,12]. Supõe-se que a 920°C os grãos austeníticos dos dois aços tenham apresentado tamanhos semelhantes em decorrência da segregação química de Mn no aço ABNT 1345 e do seu efeito de arraste de soluto que dificulta o crescimento de grão austenítico em baixas temperaturas.

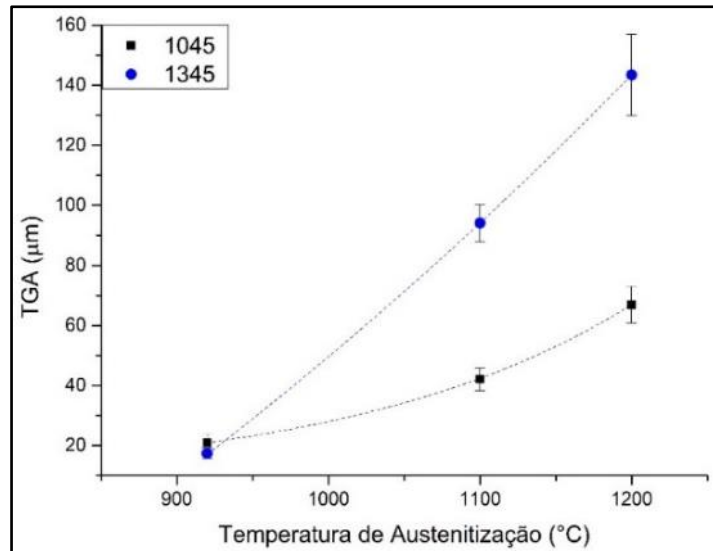


Figura 3. Efeito da temperatura de austenitização sobre o tamanho de grão austenítico prévio médio (TGA) para os aços ABNT 1045 e ABNT 1345.

Uma vez conhecido o efeito da temperatura de austenitização sobre o tamanho de grãos austenítico médio para os dois aços estudados, passa-se a estudar as transformações de decomposição da austenita durante resfriamento contínuo. A Figura 4 apresenta os diagramas de resfriamento contínuos (TRC) determinados experimentalmente para os dois aços, nas três temperaturas de austenitização avaliadas.

Comparando-se os diagramas TRC do aço ABNT 1045 com os do aço ABNT 1345, fica nítido que as curvas do aço ABNT 1345 são deslocadas para a direita e para baixo em relação às curvas do aço ABNT 1045. O aumento da concentração de manganês, elemento γ -gêneo, no aço ABNT 1345 reduz as temperaturas de transformação da austenita, deslocando as linhas Ar_3 e Ar_1 para baixo, assim como retardando a formação de constituintes difusionais[13]. A Figura 5 ilustra, a título de comprovação do efeito do teor de Mn, a evolução da decomposição austenítica dos aços estudados quando austenitizados a 920°C e resfriados a 1°C/s.

É possível observar que o aumento da temperatura de austenitização também influencia de forma significativa o posicionamento das curvas. O crescimento de grão austenítico resultou em uma redução da densidade de contornos de grão na estrutura. Por atuarem como sítios de nucleação heterogênea de uma nova fase durante o resfriamento, uma redução da densidade de contornos de grão retardou a decomposição austenítica[12].

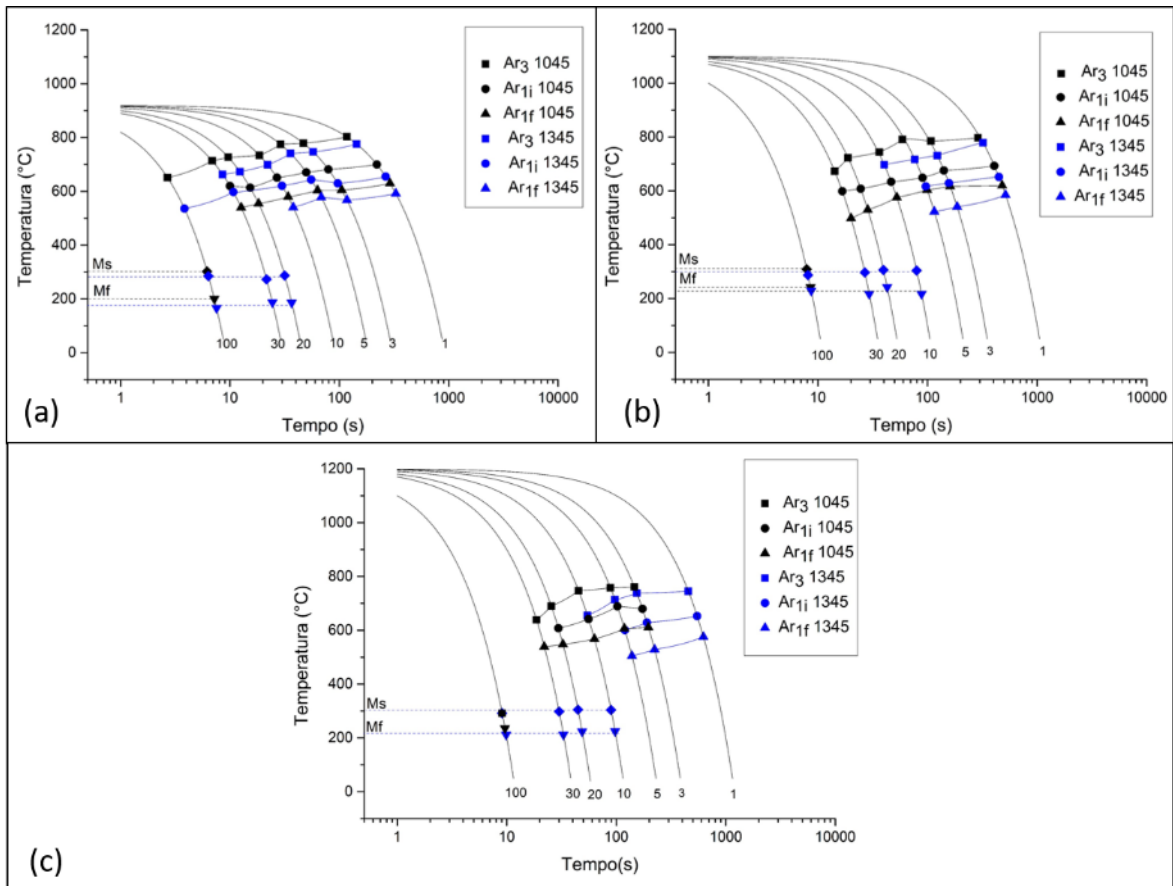


Figura 4. Comparativo entre os diagramas TRC dos aços ABNT 1345 e ABNT 1045 para diferentes temperaturas de austenitização: (a) 920°C, (b) 1100°C e (c) 1200°C.

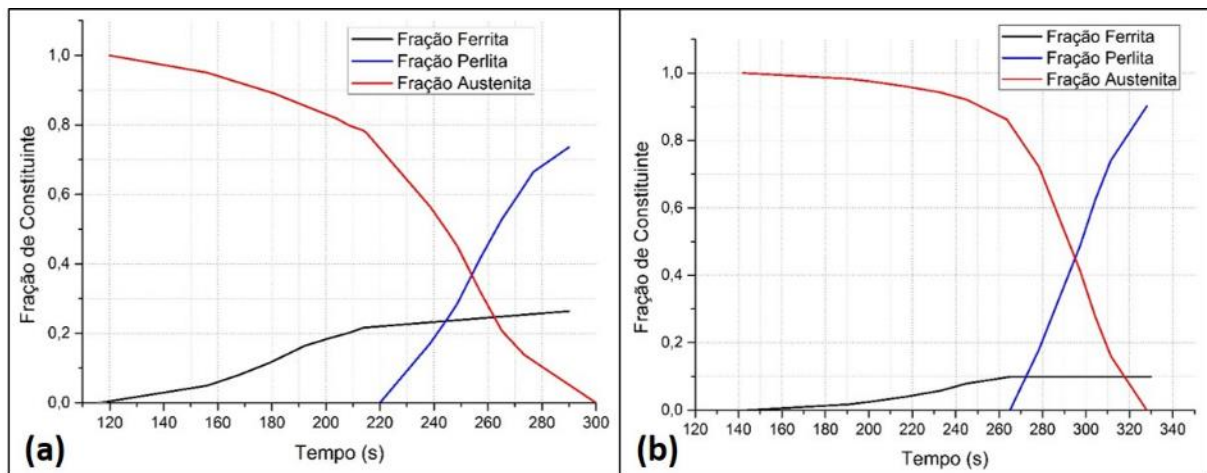


Figura 5. Cinética de decomposição da austenita em ferrita dos aços (a) ABNT 1045 e (b) ABNT 1345 austenitizados a 920°C e resfriados a uma taxa de 1°C/s.

As Figuras de 6 a 9 apresentam as microestruturas dos corpos de prova de dilatométrica submetidos, respectivamente, às taxas de resfriamento de 1°C/s, 5°C/s, 30°C/s e 100°C/s para as três temperaturas de austenitização estudadas. Pode-se observar que com o aumento da velocidade de resfriamento há uma diminuição crescente das frações de ferrita primária e perlita, de forma que para 100°C/s os dois aços, nas três condições de austenitização, são majoritariamente martensíticos. É

possível observar o efeito combinado do maior teor de Mn e do crescimento de grão austenítico uma vez que para os dois aços, quanto maior a temperatura de austenitização menores são as frações de ferrita primária e perlita quando se compara a mesma taxa de resfriamento, assim como percebe-se claramente que a presença de martensita é verificada, para menores taxas de resfriamento, no aço com maior concentração de Mn.

Deve-se destacar que no aço ABNT 1345, mesmo para baixas velocidades de resfriamento, verificou-se pequenas ilhas de martensita alinhadas no sentido de laminação, como pode-se observar na Figura 6-f, por exemplo. Na vizinhança destas linhas era comum a observação de inclusões de sulfeto de manganês, indicando que estas são regiões com possível segregação química de manganês.

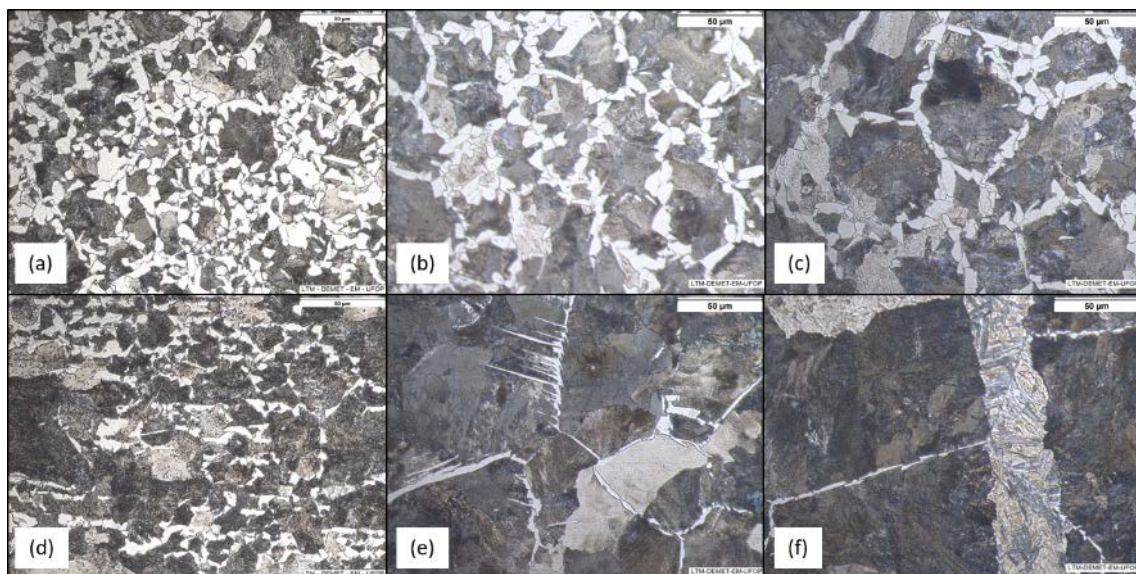


Figura 6. Microestruturas dos corpos de prova ensaiados por dilatometria dos aços ABNT 1045 (a-920°C, b-1100°C, c-1200°C) e ABNT 1345 (d-920°C, e-1100°C, f-1200°C) submetidos a taxa de resfriamento de 1°C/s. MO-500X. Ataque Nital 2%.

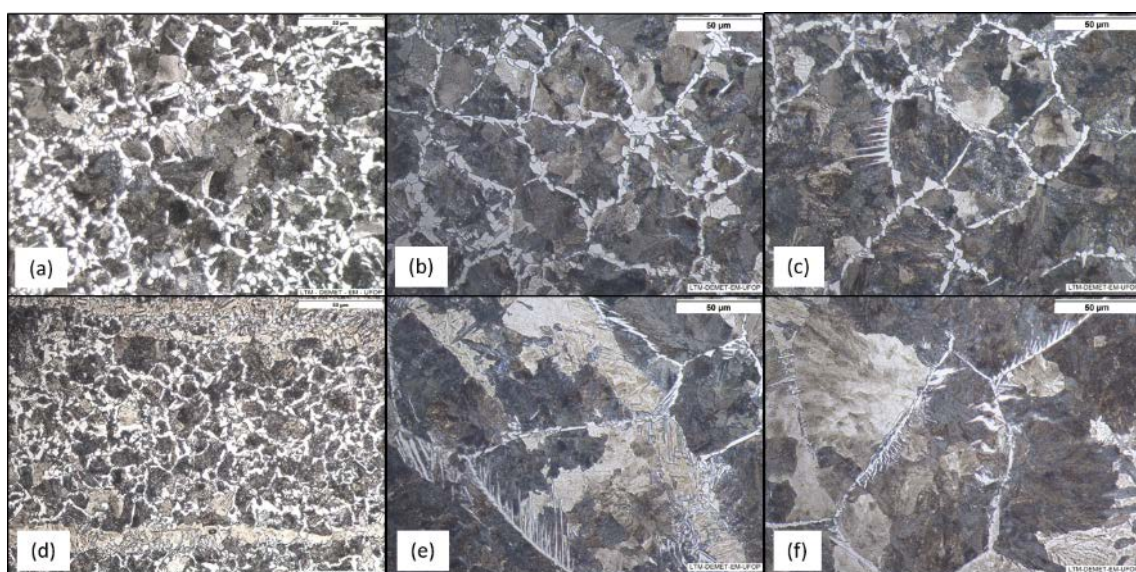


Figura 7. Microestruturas dos corpos de prova ensaiados por dilatometria dos aços ABNT 1045 (a-920°C, b-1100°C, c-1200°C) e ABNT 1345 (d-920°C, e-1100°C, f-1200°C) submetidos a uma taxa de resfriamento de 5°C/s. MO-500X. Ataque Nital 2%.

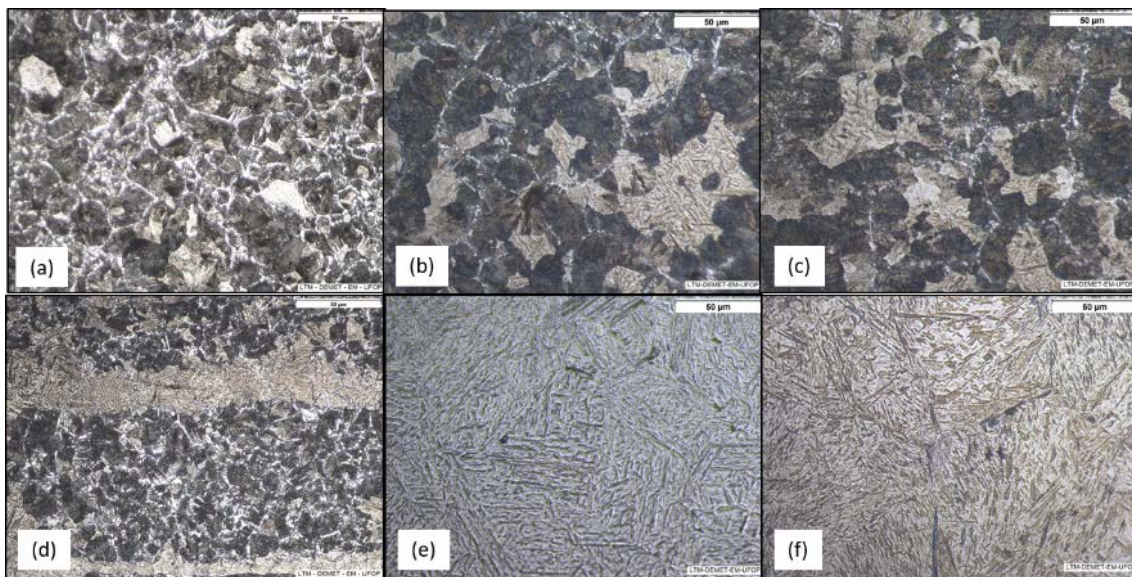


Figura 8. Microestruturas dos corpos de prova ensaiados por dilatometria dos aços ABNT 1045 (a-920°C, b-1100°C, c-1200°C) e ABNT 1345 (d-920°C, e-1100°C, f-1200°C) submetidos a taxa de resfriamento de 30°C/s. MO-500X. Ataque Nital 2%.

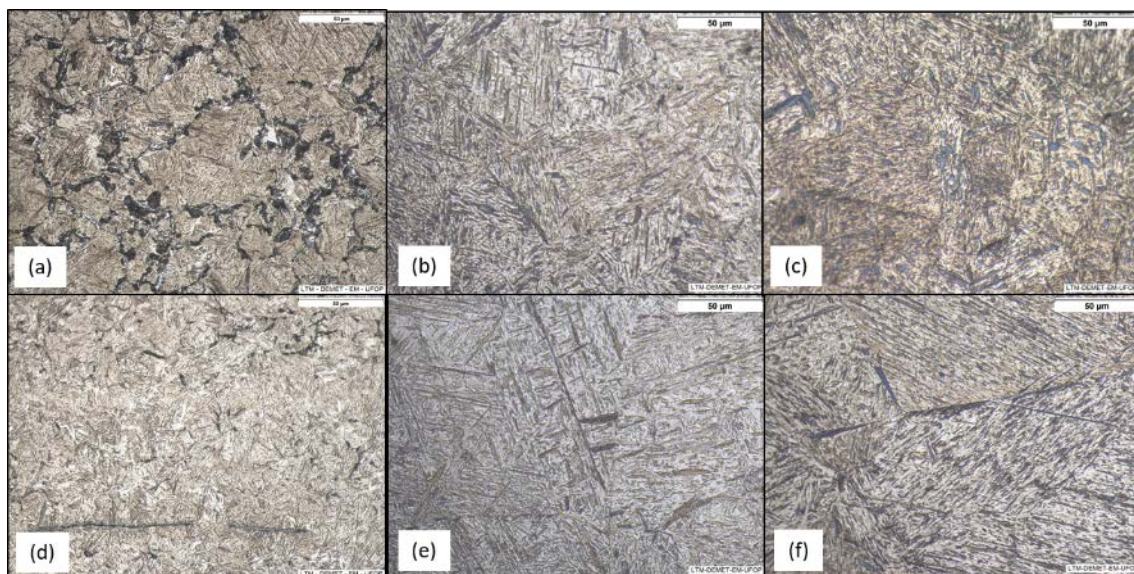


Figura 9. Microestruturas dos corpos de prova ensaiados por dilatometria dos aços ABNT 1045 (a-920°C, b-1100°C, c-1200°C) e ABNT 1345 (d-920°C, e-1100°C, f-1200°C) submetidos a taxa de resfriamento de 100°C/s. MO-500X. Ataque Nital 2%.

A Figura 10 apresenta as médias das microdurezas Vickers dos corpos de prova de dilatometria submetidos às taxas de resfriamento de 1°C/s, 5°C/s, 30°C/s e 100°C/s dos aços (a) ABNT 1045 e (b) ABNT 1345 para temperaturas de austenitização de 920°C, 1100°C e 1200°C e seus desvios médios. As linhas pontilhadas nos gráficos representam as microdurezas no estado de entrega.

Como descrito por Prawotto *et al.* (2012) [11], para aços de boa temperabilidade, que propiciam a obtenção de uma estrutura majoritariamente martensítica, quanto maior o TGA, mais grosseira a martensita e menor a dureza resultante, porém o oposto foi

observado. O aumento de dureza constatado com o aumento da temperatura de austenitização pode ser explicado haja vista a temperabilidade limitada dos aços em estudo. Analisando-se as microestruturas, nota-se a presença significativa de constituintes difusionais (nos contornos de grão austenítico prévio, em cor mais escura), principalmente para as temperaturas de austenitização mais baixas, mesmo sendo a taxa de resfriamento elevada. Deste modo, pode-se inferir que com o aumento da temperatura de austenitização, a redução da densidade de contornos de grão dificultou a formação de constituintes difusionais, aumentando a temperabilidade dos aços. Assim, para temperaturas mais elevadas, a fração de martensita formada foi maior, fazendo com que a dureza aumentasse.

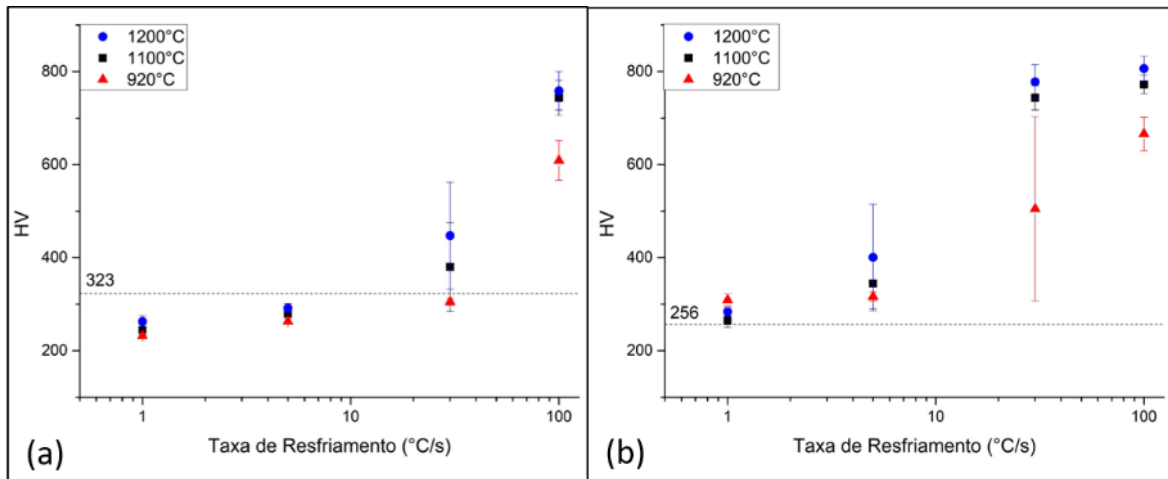


Figura X. Média das microdurezas Vickers dos corpos de dilatométrica submetidos às taxas de resfriamento de 1, 5, 30 e 100°C/s dos aços (a) ABNT 1045 e (b) ABNT 1345 para temperaturas de austenitização de 920°C, 1100°C e 1200°C.

4 CONCLUSÕES

Um teor mais elevado de manganês resultou em uma redução das temperaturas de decomposição da austenita assim como gerou um atraso na formação de constituintes difusionais, deslocando as curvas Ar_3 e Ar_1 para direita e para baixo. Temperaturas de austenitização mais elevadas ocasionaram um retardono início da etapa de crescimento de constituintes difusionais pelo desfavorecimento da nucleação heterogênea em contornos e grãos austeníticos.

Taxas de resfriamento mais elevadas reduziram as temperaturas de início e final de transformação, propiciando a formação de microestruturas mais refinadas e aumentando a tendência à formação de constituintes fora do equilíbrio. Como consequência, quanto maior a velocidade de resfriamento, maiores foram os valores de microdureza medidos.

O aço ABNT 1345 apresentou maior tendência em formar constituintes não difusionais. A maior concentração de manganês em sua composição química aumentou a sua temperabilidade. Em função disso, os valores das microdurezas Vickers obtidos para esse aço, para todas as taxas de resfriamento e temperaturas de austenitização, foram superiores se comparado ao aço ABNT 1045.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa de produtividade concedida a um dos pesquisadores.

REFERÊNCIAS

1. Maciel, P. H. C., Faria, G. L., Godefroid, L. B. Influência de Tratamentos Térmicos de Têmpera e Revenimento Sobre Vergalhões de Aço ABNT 1015 de 10mm. 21º CBECIMAT – Cuiabá (MT). 2014.
2. Mendes, M. K. O., Faria, G. L., Maciel, P. H. C. Efeito da Composição Química e Temperatura de Austenitização sobre a Temperabilidade Jominy de Aços Baixo Carbono. 15º ENEMET. Rio de Janeiro (RJ). 2015.
3. Silva, D., Ogliari, V., Oliveira, C. A. S., Ferrer, M. H., Hupaló, M. F. Efeito do Teor de Manganês na Evolução Microestrutural e na Cinética da Transformação Bainítica Incompleta, em um Aço de Alto Carbono. Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração. 2017 (14):69-77.
4. Aranda, M. M., Kim, B., Rementeria, R., CAPDEVILA, C.; ANDRÉS, C. G. Effect of prior austenite grain size on pearlite transformation in a hypoeutectoid Fe-C-Mn steel. Metallurgical and Materials Transactions. 2014;45(4):1778-1786.
5. American Society for Testing and Materials - ASTM. ASTM E3 – 11: Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens. West Conshohocken: ASTM International, 2011. 12 p.
6. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. NBR NM 87:2000: Aço carbono e ligados para construção mecânica: Designação e composição química. Rio de Janeiro: ABNT, 2000. 19 p.
7. Hanlon, D. N., Sietsma, J., Zwaag, S. The effect of plastic deformation of austenite on the kinetics of subsequent ferrite formation. ISIJ international. 2001;41(9):1028-1036.
8. Bhadeshia, H. K. D. H., Honeycombe, R. W. K. Steels: Microstructure and Properties. 3rd ed. Oxford: Butterworths-Heinemann, 2006.
9. Caballero, F., Capdevila, C., Andrés, C. G. Modelling of Kinetics of Austenite Formation in Steels with Different Initial Microstructures. ISIJ international. 2001; 41(10):1093-1102.
10. Calcagnotto, M., Ponge, D., Raabe, D. On the Effect of Manganese on Grain Size Stability and Hardenability in Ultrafine-Grained Ferrite/Martensite Dual-Phase Steels. Metallurgical and Material Transactions. 2012; 43(1): 37-46.
11. Prawoto, Y., Jasmawati, N., Sumeru, K. Effect of Prior Austenite Grain Size on the Morphology and Mechanical Properties of Martensite in Medium Carbon Steel. Journal of Materials Science and Technology. 2012; 28(5):461-466.
12. Krauss, G. Steels: Processing, Structure and Performance. 2nd ed. Ohio: ASM International, 2015.
13. Santos, A. A. Modelamento da Transformação de Fases de Aços de Alta Resistência Microligados ao Nb durante Resfriamento após Laminação em Tiras a Quente. 2007. 335f. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.