



Evolução microestrutural da cinética de austenitização do aço 1045

Claudio Cassio Lima², Íris Andrade Bezerra², Mário Cezar Alves da Silva¹, Rodrigo Estevam Coelho¹,
Maria Doroteia Costa Sobral¹

¹Professores do IFBA. e-mail: cezar@ifba.edu.br, roesco@ifba.edu.br, doroteia@ifba.edu.br

²Bolsistas do PIBIC. e-mail: claudiocassio@ifba.edu.br, iris_bezerra@hotmail.com

Resumo: Neste trabalho será apresentado um estudo da evolução microestrutural e da dureza sobre a rápida austenitização do aço SAE 1045, nas condições de temperado e revenido para diversas condições de tempo e temperatura. Os resultados dos ensaios mostraram que a dureza diminuiu drasticamente com o aumento da temperatura de revenimento de 350°C para 550°C, independentemente do tempo de encharque. Para as mesmas condições de tempo e de temperatura do tratamento de revenido, as amostras austenitizadas isotermicamente a 850°C, 950°C e 1050°C e temperadas a partir desta temperatura, sob condições diferentes de tempo de encharque, não apresentaram variação significativa nos valores de dureza, significando que as dimensões da amostra de $\phi 25 \times 10$ mm proporcionaram uma homogeneização e decomposição completa da austenita. A microestrutura das amostras temperadas em temperaturas elevadas (1050°C) e revenidas (550°C) são formadas por martensita revenida e ferrita de Widmanstätten e das amostras somente temperadas é predominantemente martensita.

Palavras-chave: Rápida austenitização, SAE 1045, tratamento térmico.

1. INTRODUÇÃO

Os tratamentos termomecânicos visam à mudança da microestrutura do material para melhorar alguma propriedade mecânica, nesses tratamentos é inevitável a formação austenita. Diversos pesquisadores têm estudado o fenômeno da austenitização para explicar a cinética de austenitização no aquecimento isotérmico e não isotérmico a partir de uma dada microestrutura ou microestrutura dissimilares (Stein, 2005). A condição inicial da austenita determina o desenvolvimento da microestrutura final e, conseqüentemente, das propriedades mecânicas finais do aço (Stein, 2005). Assim, o comportamento e as propriedades mecânicas dos aços dependem, não somente da natureza da decomposição da austenita no resfriamento contínuo (a fase final do aço), mas também da cinética de reaustenitização, ou seja, se a fase austenítica é homogênea ou heterogênea, e ainda, de seu tamanho de grão, da taxa de aquecimento, da presença de inclusões não metálicas e da distribuição das fases (Stein, 2005; Castro, 2007).

A austenitização é a etapa crítica para a qualidade do tratamento térmico. O resultado da têmpera depende das condições de austenitização e de temperabilidade e essas são interdependentes. Podendo-se originar efeitos indesejados como trincas e falhas prematuras no material. A qualidade da austenitização esta relacionada à temperatura, ao tempo de encharque, elementos de liga e da estrutura prévia (Shipway, 1997; Yang, 1997).

O revenido é o tratamento térmico que normalmente acompanha a têmpera, pois elimina a maioria dos inconvenientes produzida por esta; além de aliviar ou remover as tensões internas ele corrige as excessivas dureza e fragilidade, aumentando a ductilidade e resistência ao choque (Shipway, 1997; Yang, 1997). O estudo do tempo e da temperatura de revenimento é importante, pois pode-se estudar as propriedades do aço em várias condições de tratamento.

Nesse trabalho foi estudada a influência da cinética da austenitização no aquecimento isotérmico e a influência da temperatura e do tempo de encharque no tratamento posterior de revenido, na microestrutura e na dureza de um aço SAE 1045.



O aço SAE 1045 foi escolhido devido a sua grande aplicabilidade industrial em eixos, chavetas, porcas, parafusos, hastes de sondagem entre outros. Por conta disso é muito importante um estudo aprofundado das propriedades deste aço em diferentes condições de tratamento.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A composição química do aço SAE 1045 pode ser vista na Tabela 1.

Tabela 1. Composição em % em peso do aço SAE 1045.

C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo	Al	Ti
0.46	0.68	0.012	0.008	0.2	0.01	0.02	0.02	0.002

As amostras foram extraídas de uma barra de 25 mm de diâmetro de aço 1045 trefilada. O equipamento utilizado para realização dos tratamentos de austenitização, têmpera e revenimento foi um forno Brasimet, pertencente ao laboratório de Metalografia do DTMM/IFBA. O reagente utilizado foi o Nital a 2%. A observação da microestrutura foi realizada empregando um microscópio óptico, pertencente ao laboratório de Metalografia do DTMM/IFBA. A medição da dureza Rockwell C foi realizada utilizando o Durômetro de bancada modelo PANTEC modelo HR150A, pertencente ao laboratório de Metalografia do DTMM/IFBA. A metodologia empregada na realização dos tratamentos térmicos pode ser vista nas figuras 1a, 1b e 1c.

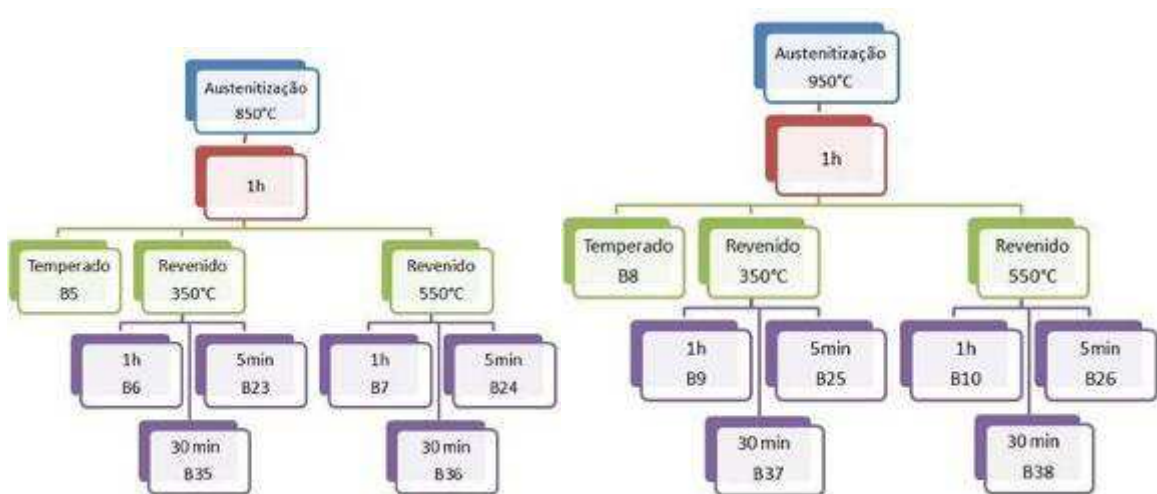


Figura 1- Fluxograma das amostras austenitizadas por 1h nas temperaturas de 850°C (a) e 950°C (b), seguidas de têmpera em água. Logo após revenidas a 350°C e 550°C, para de tempos de encharque de 5 min, 30 min e 1h.

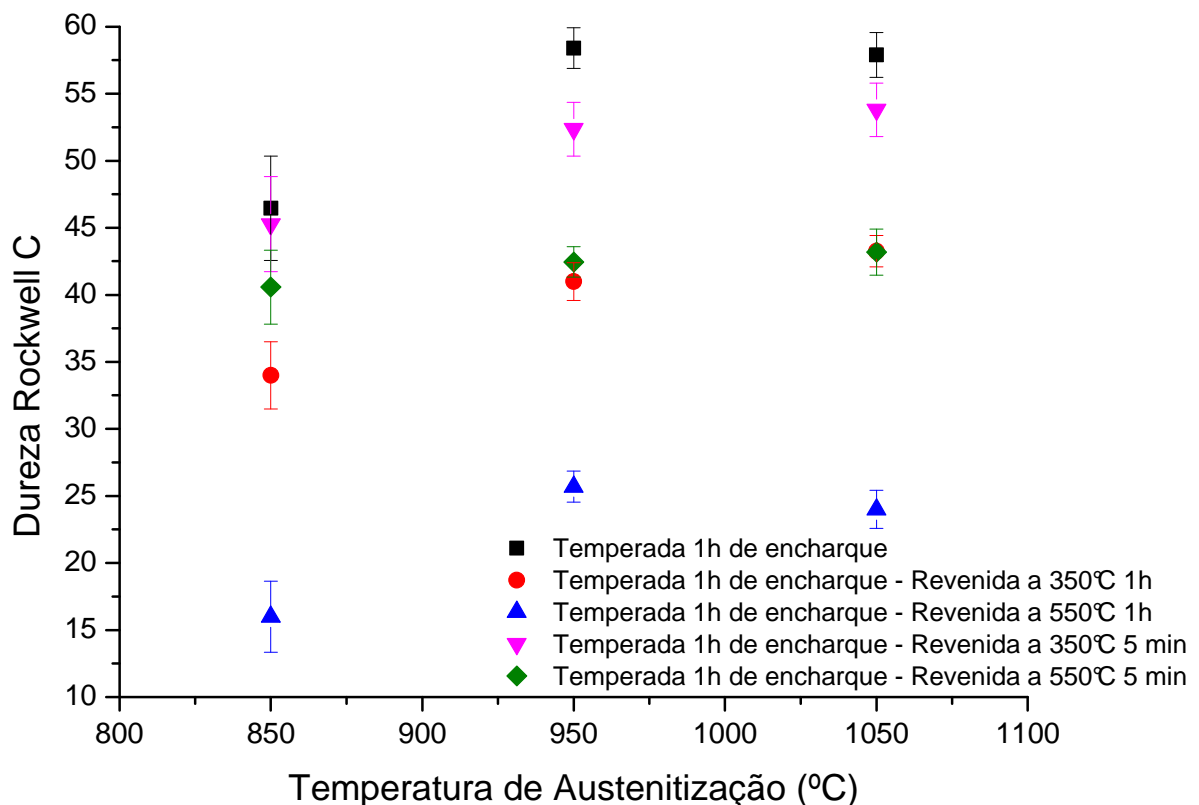


Figura 1c - Fluxograma das amostras austenitizadas por 1h na temperatura de 1050°C, seguidas de têmpera em água. Logo após revenidas a 350°C e 550°C, para de tempos de encharque de 5 min, 30 min e 1h.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos ensaios de dureza e de tração em função da temperatura e do tempo de austenitização seguido de resfriamento rápido (têmpera) e da temperatura e do tempo de revenimento, estão apresentados nas figuras 3 e 4.

Os resultados da metalografia podem ser vistas nas figuras 4 a 8. As micrografias estão dispostas em função da temperatura e do tempo de austenitização e da temperatura e do tempo de revenimento. A microestrutura está identificada em cada micrografia.



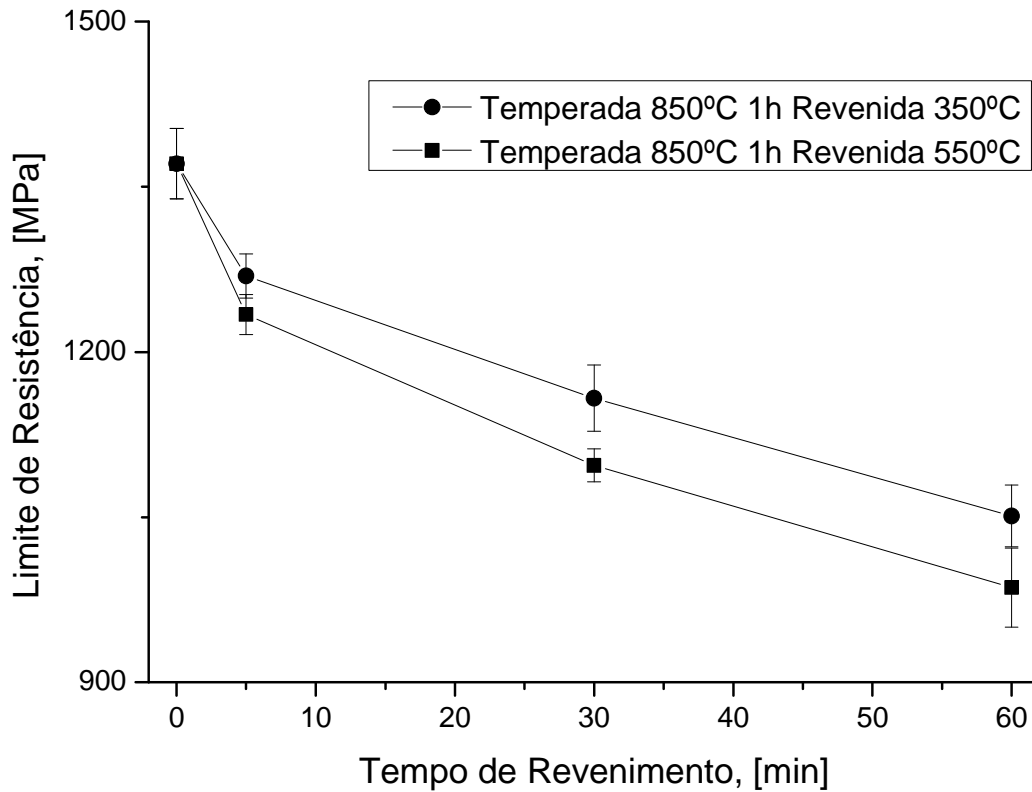


Figura 2 - a) Dureza Rockwell C e b) Limite resistência das amostras austenitizadas isotermicamente nas temperaturas de 850°C, 950°C e 1050°C, para tempo de encharque de 1h, seguidas de têmpera em água e posterior revenimento a 350°C e 550°C para tempos de encharque de 5 min e 1h para cada temperatura.

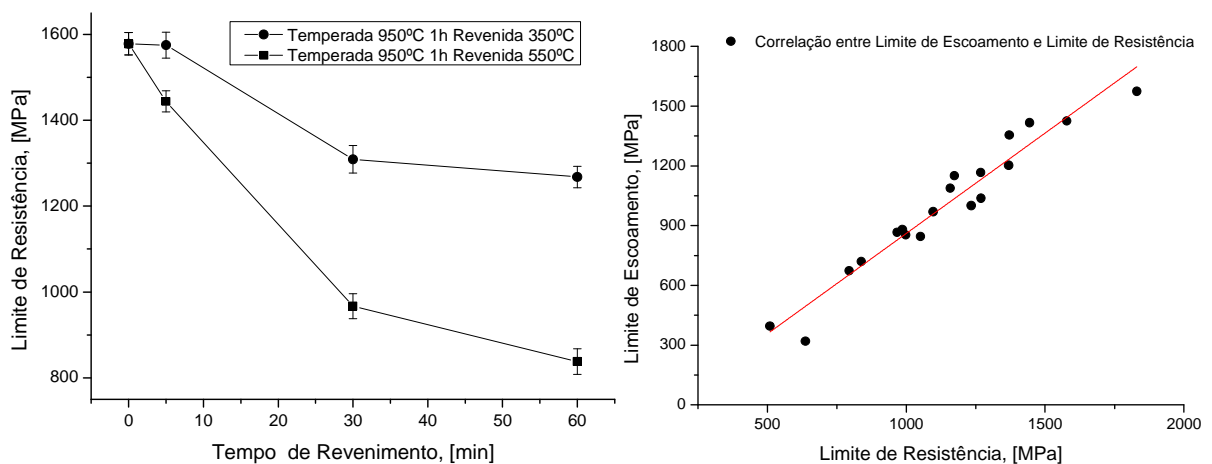


Figura 3 – a) Limite de Resistência e b) Correlação entre os limites de escoamento e de resistência, para as amostras austenitizadas isotermicamente nas temperaturas de 850°C, 950°C e 1050°C, para tempo de encharque de 1 h, seguida de têmpera em água e posterior revenimento a 350°C e 550°C para tempos de encharque de 5, 30 e 60 minutos.

Os gráficos das figuras 2a, 2b e 3a fazem comparações dos resultados obtidos no ensaio de dureza Rockwell C (HRC) e do limite de resistência das amostras austenitizadas isotermicamente nas



temperaturas de 850°C, 950°C e 1050°C, para tempo de encharque de 1h e 5 min., seguidas de têmpera em água e posterior revenimento nas temperaturas de 350°C e 550°C para tempos de encharque de 5 min e 1h.

Analisando o gráfico da figura 2a pode-se observar que a dureza do aço temperado e revenido é inversamente proporcional a temperatura e ao tempo de revenimento, porém observa-se que a influência da temperatura é muito maior que o tempo. Isso ocorre devido à elevada precipitação de carbonetos da matriz martensítica supersaturada e ao fenômeno de recuperação, que tem como força motriz a energia de deformação associada à densidade de discordâncias geradas na transformação martensítica.

Os gráficos das figuras 2b e 3a mostram o limite de resistência (LR) das amostras temperadas e revenidas, para três tempos de revenimento a 350°C e 550°C, como uma função do tempo de encharque. Para o tempo de encharque de 0s, ou seja, têmpera após a amostra atingir a temperatura de austenitização, verifica-se que o limite de resistência da amostra austenitizada a 950°C é maior que a da amostra austenitizada a 850°C. Esse fato pode ser explicado pelo maior tamanho de grão austenítico da amostra austenitizada a 950°C em comparação com a amostra austenitizada a 850°C. Na têmpera, a martensita oriunda da austenita possui tamanho médio dos seus pacotes relacionado com o tamanho médio dos grãos austeníticos. Assim, quanto menor o tamanho médio do grão austenítico, menor será o tamanho médio dos pacotes de martensita, resultando em um maior limite de resistência.

A figura 3b mostra a correlação linear entre o limite de resistência e o de escoamento, com a inclinação da reta variando de acordo com as condições do tratamento térmico realizado. A razão de escoamento (LE/LR) é um parâmetro que permite avaliar, indiretamente, a taxa de encruamento. Verificou-se que essa razão tem uma tendência a diminuir, de forma muito suave, com o aumento do tempo de revenimento. Isto implica que os efeitos das transformações de fases no revenimento sobre os limites de resistência e escoamento são os mesmos. O alto valor da razão de escoamento sugere que as amostras temperadas e revenidas têm uma baixa taxa de encruamento. Os valores de LE/LR variaram de 0,96 a 0,85, ou seja, pode-se considerar que o tempo de revenimento tem um efeito considerável sobre a razão de escoamento, para todas as condições de austenitização utilizadas nesse trabalho.

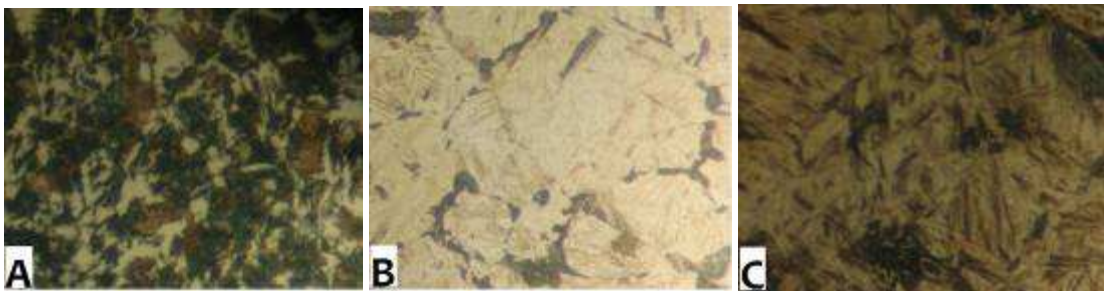


Figura 4 - Apresenta as microestruturas observadas nas amostras austenitizadas por 1h nas temperaturas de 850°C, 950°C e 1050°C e temperadas em água. A) perlita fina + martensita; B) e C) martensita e contornos de bainita. Aumento 123X.

Na Figura 4 as microestruturas observadas mostraram uma predominância na formação da martensita (estrutura acicular), com a estrutura bainita presente nos contornos, nas temperaturas de 950°C e 1050°C, e estrutura perlita fina na temperatura de 850°C.

Na Figura 4 as microestruturas observadas mostraram uma predominância na formação da martensita (aspecto acicular e reticulado tetragonal) com a estrutura perlita fina (mistura mecânica lamelar) na temperatura de 850°C e a estrutura bainita (também acicular) presente nos contornos, nas temperaturas de 950°C e 1050°C. Uma vez que a martensita é o constituinte mais duro dos aços temperados e a bainita apresenta uma dureza superior a encontrada na perlita fina, constata-se que a

amostra submetida a temperatura de austenitização correspondente a 850°C apresenta uma dureza inferior àquelas de 950°C e 1050°C , quando o revenimento não é feito após a tempera.

As amostras austenitizadas por 1h a 850°C , 950°C e 1050°C sofreram variações com o intervalo do tempo e temperatura de revenimento. Isto porque, o tempo e a temperatura foram suficientes para que acontecesse a austenitização completa.

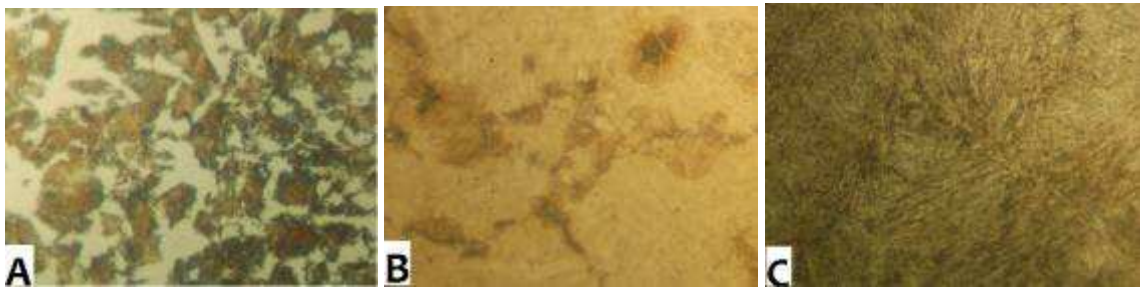


Figura 5 - Apresenta as microestruturas observadas nas amostras austenitizadas por 1h nas temperaturas de 850°C , 950°C e 1050°C e temperadas em água e revenidas a 350°C por 1h. A) perlita fina + martensita revenida; B) e C) martensita e contornos de bainita. Aumento 123X.



Figura 6 - Apresenta as microestruturas observadas nas amostras austenitizadas por 1h nas temperaturas de 850°C , 950°C e 1050°C e temperadas em água e revenidas a 550°C por 1h. Estruturas completamente recuperadas da: A) perlita fina + martensita revenida; B) estrutura acicular de ferrita e cementita; C) estrutura acicular de ferrita e cementita e contornos de ferrita de *Widmanstätten*. Aumento 123X.

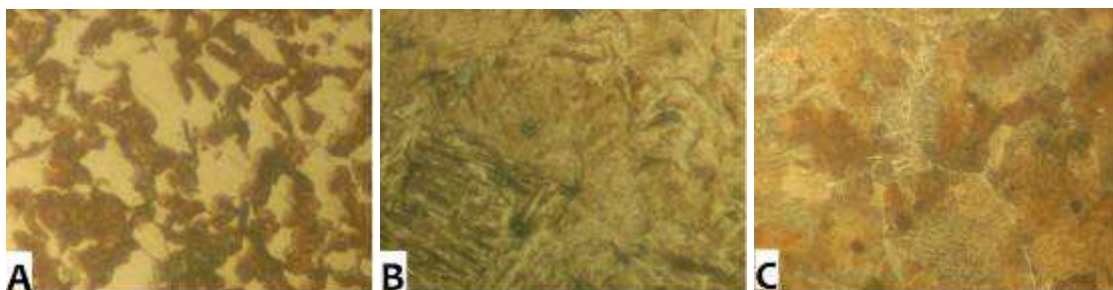


Figura 7 - Apresenta as microestruturas observadas nas amostras austenitizadas por 1h nas temperaturas de 850°C , 950°C e 1050°C e temperadas em água e revenidas a 350°C por 5 min. Estruturas completamente recuperadas da: A) perlita fina + martensita revenida; B) estrutura acicular de ferrita e cementita; C) estrutura acicular de ferrita e cementita e contornos de ferrita de *Widmanstätten*. Aumento 123X.

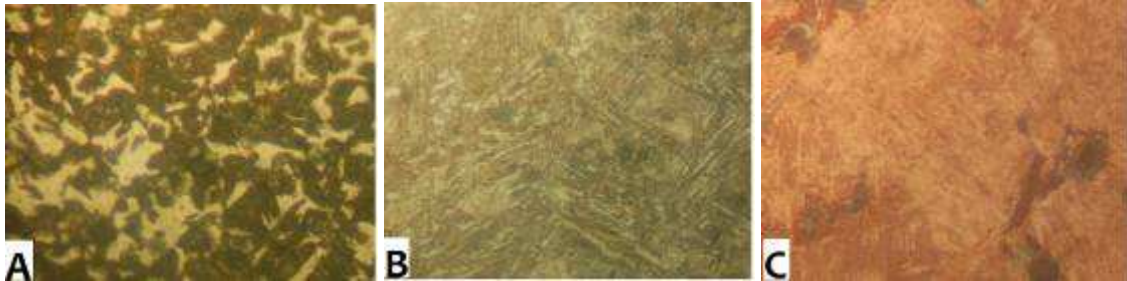


Figura 8 - Apresenta as microestruturas observadas nas amostras austenitizadas por 1h nas temperaturas de 850°C, 950°C e 1050°C e temperadas em água e revenidas a 550°C por 5 min. Estruturas parcialmente recuperadas da: A) perlita fina + bainita; B) estrutura acicular de ferrita e martensita; C) estrutura acicular de ferrita e martensita. Aumento 123X.

Comparando os resultados quando o processo de revenimento é executado a uma temperatura de 350°C com tempo de encharque de 1h (Figura 5) e 5 min (Figura 7), observa-se que quanto menor o tempo de revenimento, maior a dureza da amostra. Isso é válido para qualquer que seja a temperatura de austenitização. A mesma conclusão é obtida quando a amostra é submetida à temperatura de revenimento correspondente a 550°C por 1h (Figura 6) e 5 min (Figura 8). O tempo de 5 min não é suficiente para que as tensões sejam rompidas de forma significativa e a dureza permanece elevada.

Os resultados dos ensaios mostraram que a dureza diminuiu drasticamente com o aumento da temperatura de revenimento de 350°C para 550°C, independentemente do tempo de encharque. A martensita vai deixando de existir com o aumento da temperatura de revenimento e, esse fato justifica a alteração na dureza da amostra por ser a martensita a estrutura mais dura dos aços.

As amostras austenitizadas a 1050°C cujo revenimento se deu a 550°C por 1h (Figura 6C) ou 350°C por 5min (Figura 7C) apresentaram em sua micrografia contornos de ferrita de *Widmanstätten*, essa estrutura consiste de ferrita e perlita e tem uma aparência hachurada devido à ferrita formada ao longo de certos planos cristalográficos, além do aspecto esbranquiçado. É a microestrutura resultante quando aços são resfriados a uma taxa crítica de temperaturas extremamente elevadas.

A microestrutura das amostras revenidas foi basicamente composta por martensita revenida e as amostras temperadas foi predominantemente martensita.

6. CONCLUSÕES

A microestrutura das amostras temperadas é constituída, essencialmente, de martensita, sendo que as amostras austenitizadas a 950 e 1050°C e temperadas imediatamente ao atingir essas temperaturas, têm a microestrutura constituída de martensita refinada, devido ao pequeno crescimento dos grãos austeníticos, exceto para 1050°C, onde ocorreu crescimento de grão. A otimização das propriedades mecânicas do aço SAE1045, alta dureza, é obtida com o tratamento térmico realizado a uma temperatura de austenitização de 950°C, têmpera imediatamente após atingir essa temperatura, e revenimento por 5 min, para a temperatura de revenimento utilizada de 550°C. Verificou-se uma acentuada redução dos valores da dureza e formação de martensita revenida a 350°C e a formação da ferrita de *Widmanstätten* na temperatura de revenimento de 550°C, conforme podem ser vistas nas figuras 6C e 7C.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao IFBA, Campus Salvador pelo apoio técnico e a Fapesb/SECTI, Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Bahia/Secretaria de Ciência e Tecnologia e Inovação pelo apoio financeiro.



REFERÊNCIAS

CASTRO, D.B.V. Influência da temperatura de austenitização para têmpera e de revenimento na tenacidade e na vida em fadiga do aço SAE 5160 com diferentes teores de fósforo. Dissertação. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo-SP, 2007.

STEIN, C.R., Hermenegildo, T.F., Araújo, F.G.S. e Cota, A.B. Efeito da rápida austenitização sobre as propriedades mecânicas de um aço SAE1045. Metalurgia e Materiais. Ouro Preto, 2005.

SHIPWAY, P.H. e Bhadeshia, H.K.D.H. The Mechanical stabilisation of Widmanstätten ferrite. Materials Science and Engineering. A223, 179-185, 1997.

YANG, J.R e L.C. Chang L.C. The effect of stress on the Widmanstätten ferrite transformation. Materials Science and Engineering: A. V. 223, 158-167, 1997.