

LEVANTAMENTO EXPERIMENTAL DA CURVA TTT DO AÇO AISI 15B30 - ZONA BAINÍTICA¹

Rodrigo Magnabosco²
Tamires Corghi Veríssimo³

Resumo

O AISI 15B30 é um aço ao boro, com crescente aplicação industrial. Suas principais aplicações são as molas estáticas, as ferramentas para a construção civil, os implementos agrícolas e as auto peças. Na maioria das vezes, esse material é vendido com a estrutura bainítica e para atender a essa exigência, é fundamental o conhecimento da curva TTT. Visando essa exigência, o objetivo desse trabalho consiste no levantamento experimental da curva TTT do aço AISI 15B30, e um objetivo secundário é o de validar a curva esboçada pelo programa SteCal 3.0. Para isso, utilizou-se o software SteCal 3.0 para esboçar a curva e com os resultados experimentais, foi possível concluir que o programa não estima os tempos de transformação de bainita coerentes com os reais, independente de algumas falhas cometidas ao longo do experimento. Possíveis explicações para o ocorrido estão ligadas a maneira que os dados de composição química são inseridos no programa, ao tamanho de grão da matéria prima e a veracidade dos dados da composição química do material.

Palavras-chave: Aço AISI 15B30, Austêmpera; Curva TTT; SteCal3.0.

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF TTT CURVE FOR AISI 15B30STEEL – BAINITIC ZONE

Abstract

The AISI 15B30 is a boron steel, with increasing industrial application. Its main applications are the static springs, tools for construction, agricultural implements and auto parts. In most cases, this material is sold with a bainitic structure and to meet this requirement, it is crucial the understanding of its TTT curve. The objective of this study is a survey of the experimental TTT curve of AISI 15B30, and a secondary objective is to validate the experimental curve outlined by the SteCal 3.0 software. For this, the software SteCal 3.0 was used to sketch the curve and with the experimental results it was possible to conclude that the program does not estimate correctly the times of bainite transformation, independent of the mistakes occurred during the experiments. Possible explanations are linked to the way that chemical composition data are entered into the program, the grain size of the raw material and the accuracy of the chemical composition data of the material.

Key words: AISI 15B30 Steel, austempering, TTT curve, SteCal3.0.

¹ Contribuição técnica ao 68^o Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Prof. Dr. do Departamento de Engenharia de Materiais do Centro Universitário da FEI, rodrmag@fei.edu.br.

³ Engenheira de Materiais – FEI, tamires_26@hotmail.com.

1 INTRODUÇÃO

Os aços ao boro (B) vem sendo utilizados desde a segunda metade do século XX por apresentarem uma boa temperabilidade. Por ser relativamente mais barato quando comparado a outros elementos de liga, como o Mo, o B passou a ser muito utilizado já que uma pequena quantidade desse elemento nos aços gera uma melhora significativa em suas propriedades.⁽¹⁾

O aço AISI 15B30 é um aço médio carbono que contém boro e que é comercializado, geralmente, com microestrutura bainítica – produto de transformação formado em uma faixa de temperatura intermediária, entre a formação de perlita e de martensita - constituída de agregados de ferrita e cementita em dimensões características muito pequenas.⁽²⁾

A presença de Boro no aço, mesmo em pequenas quantidades, permite que a reação bainítica ocorra em menores tempos e temperaturas, pois retarda as transformações ferrítica e perlítica gerando separação entre as curvas de formação dessas transformações e a da transformação bainítica. Portanto, para maior variedade de taxas de resfriamento é possível obter a estrutura bainítica.⁽³⁾

As principais aplicações dos aços ao boro são as molas estáticas, as ferramentas para a construção civil (espátulas e desempenadeiras), os implementos agrícolas (facas para corte de cana, colheita e descaroçamento de algodão, lâminas roçadeiras de grama) e as auto peças (linguetas de cinto de segurança, componentes de embreagem e presilhas para contra-peso de roda automotiva).

Para que esse aço atinja as propriedades que lhe são exigidas, este deve ser submetido a uma austêmpera - tratamento térmico no qual o aço é aquecido até sua temperatura de austenitização e resfriado rapidamente para uma temperatura de 230 a 400°C (que varia de acordo com o aço) que é mantida constante a fim de se obter uma transformação isotérmica gerando bainita - e para que seja possível determinar as condições para esse tratamento, o conhecimento da curva Tempo – Temperatura – Transformação (TTT) é de extrema importância e utilidade.⁽⁴⁾

Portanto, o objetivo do presente trabalho consiste no levantamento de dados experimentais para que seja possível a construção da curva TTT do aço AISI 15B30 na região de transformação da austenita em bainita. Como objetivo secundário, pretende-se validar a curva TTT obtida por simulação computacional usando-se o programa “SteCal”.⁽⁵⁾ Comprovando-se a eficácia do programa na simulação da curva TTT do aço 15B30, a necessidade de trabalhos como este serão minimizados, pois levará ao aumento da confiabilidade para simulação da curva para outros aços ao B.

2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Neste trabalho as curvas TTT foram determinadas através de tratamento isotérmicos na região de formação de bainita, em diferentes tempos, de amostras previamente austenitizadas, utilizando-se metalografia como forma de acompanhar as transformações da austenita nos diferentes tempos e temperaturas de tratamento.

Para estabelecer as temperaturas e tempos de trabalho utilizou-se como base uma simulação da curva TTT obtida pelo programa Stecal 3.0⁽⁵⁾ criada com os teores médios dos elementos contidos no aço 15B30 conforme a Tabela 1 e valor médio de tamanho de grão ASTM 7. Para unificar a unidade do eixo das abcissas e tornar a leitura dos pontos da curva mais fácil traçou-se a curva no programa Microsoft Excel,

Figura 1, com o auxílio do esboço da curva TTT. Estão indicados por pontos na Figura 1 os tempos de tratamento a 575°C, 450°C e 380°C utilizados.

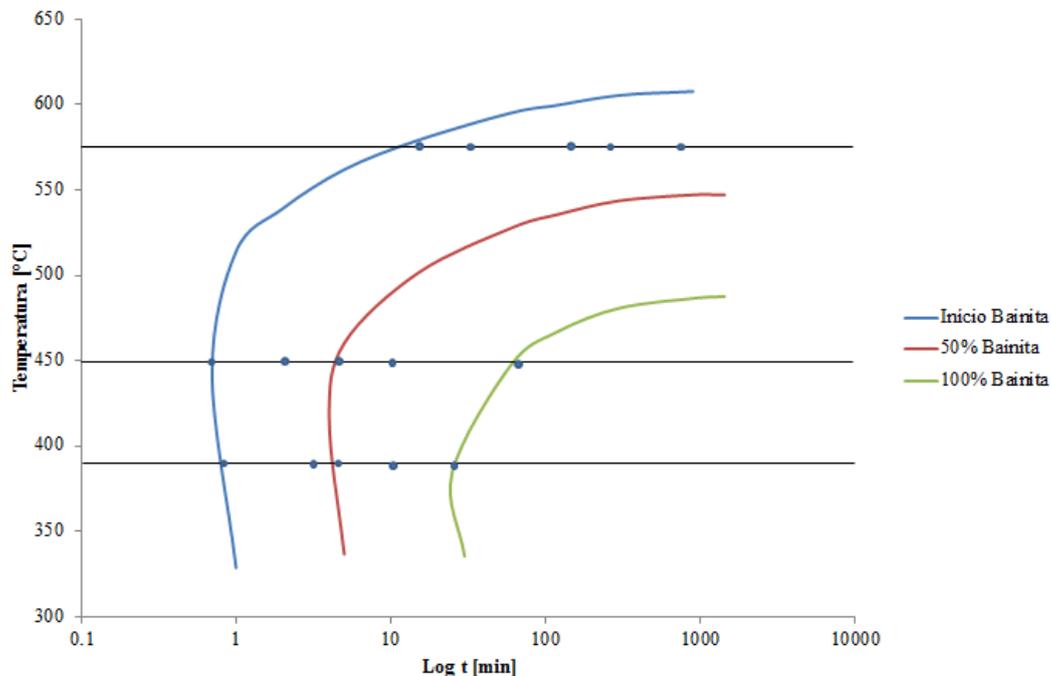


Figura 1. Curva TTT da região de transformações de austenita em bainita, simulada em SteCal ⁽⁵⁾, e tempos e temperaturas empregados nesse trabalho.

Tabela 1. Composição química do aço utilizadas nas simulações (%m)

Elemento (%)	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	B
	0,3	1,3	0,23	0,04	0,012	0,3	0,1	sim

O material foi recebido em forma de chapa de 2,25 mm de espessura, sendo cortado em retângulos de 20x25 mm para execução dos tratamentos térmicos, que se iniciaram com todos os corpos de prova sendo austenitizados à temperatura de 850°C por 20 minutos em forno tipo mufla. Após a completa austenização os corpos de prova foram transferidos para o outro forno mufla para serem resfriados e mantidos em banho de sal fundido, permitindo a rápida troca térmica e garantindo a obtenção da temperatura de tratamento em tempo viável à duração do tratamento isotérmico pretendido. Por fim as amostras foram retiradas do banho de sal e submersas em água. O procedimento foi realizado variando-se somente a temperatura do tratamento isotérmico e os tempos de permanência dessas amostras nesses tratamentos.

Após os tratamentos térmicos as amostras foram preparadas metalograficamente e atacadas com Nital 2% ou Picral 4% para serem observadas no microscópio LEICA. Para identificar as microestruturas que não eram completamente nítidas apenas visualizando no microscópio óptico (MO) LEICA DMLM fez-se o uso do microscópio eletrônico de varredura (MEV) CamScan CS3200LV.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 2 a 4 apresentam as micrografias típicas do aço em estudo nas temperaturas de 380°C, 450°C e 575°C. Nas imagens de microscopia óptica (MO) foi utilizado ataque de Picral 4%, e nas imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) as amostras foram atacadas com Nital 2%.

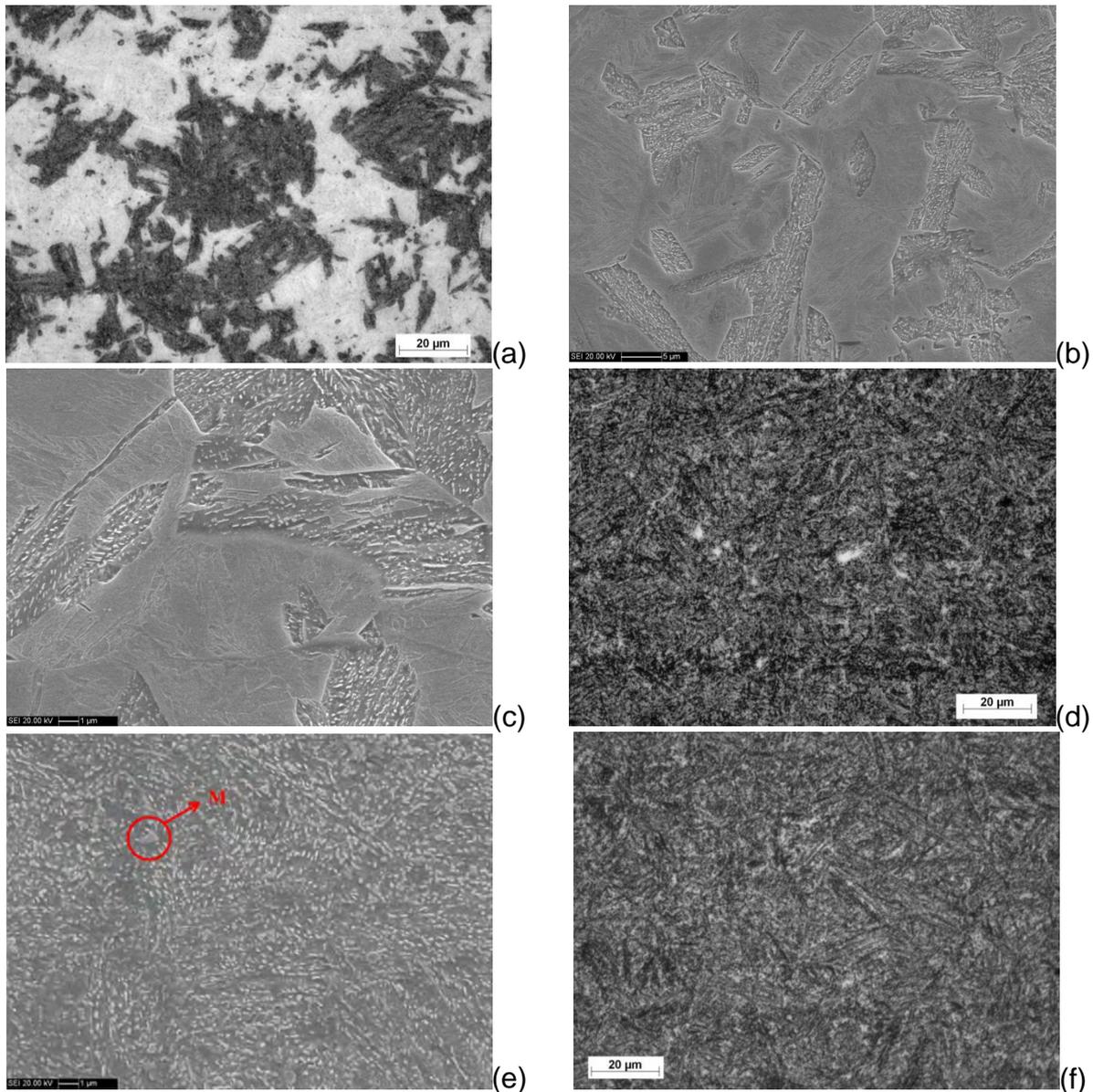


Figura 2. Microestruturas das amostras austemperadas a 380°C por (a, b, c) 48s, (d, e) 3 min e (f) 15 min. MO após ataque de Picral 4% em (a), (d) e (f), e MEV após ataque de Nital 2% nas demais amostras.

Analisando a Figura 2a é possível observar grande quantidade de bainita presente (região escura), e martensita (região clara). Entretanto, para esse

tratamento (48s a 380°C) esperava-se encontrar a bainita no início de sua formação e, como se pode observar, essa microestrutura já se apresenta em muita quantidade na amostra. As Figuras 2b e 2c não deixam dúvidas que a região clara da Figura 2a, e que a bainita pode ser classificada como inferior, visto que os carbonetos apresentam-se alinhados e finos. Após 3 min de tratamento a 380°C (Figuras 2d e 2e) pode se notar que a microestrutura presente apresenta praticamente 100% de bainita, com pequenas porções de martensita (em branco) mais ao centro da amostra (Figura 2e). No entanto, segundo a simulação da Figura 1, nesse tempo o material deveria apresentar mais bainita que o tempo de 0,8 minutos, porém a transformação não deveria ter ocorrido em 100% da amostra, como se observou nas Figuras 2d e 2e. Como a transformação bainítica consumiu toda a austenita já no segundo tempo estudado a 380°C (3 min), as estruturas seguintes também apresentam-se 100% bainíticas, como observado na Figura 2f.

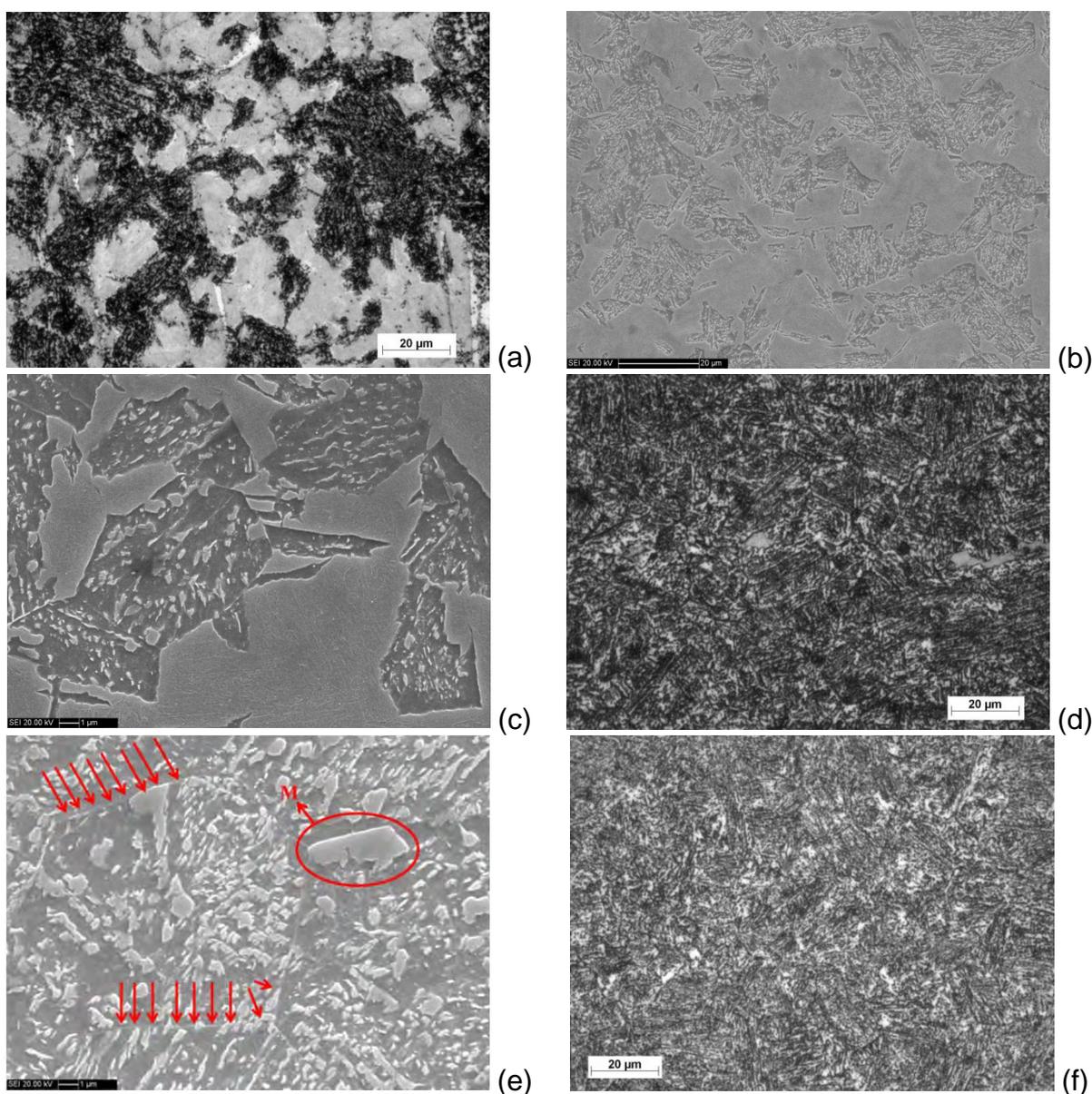


Figura 3. Microestruturas das amostras austemperadas a 450°C por (a) 42s - MO após Picral 4%, (b,c) 42s - MEV após Nital 2%, (d) 2 min - MO após Picral 4%, (e) 2 min - MEV após Nital 2% e (f) 65 min - MO após ataque de Picral 4%.

A imagem obtida na análise da amostra tratada a 450°C por 42 s pode ser visualizada na Figura 3a. Da mesma forma que o primeiro tempo da temperatura de 380°C, a quantidade de bainita excede a esperada, já que neste tempo, segundo o software SteCal 3.0 (Figura 1), ter-se-ia o início da formação de bainita e, como se pode observar, essa estrutura já se encontra em praticamente 50% da amostra. Também é possível notar a presença de regiões brancas próximas as regiões bainíticas. Para identificar essa estrutura, utilizou-se o MEV, e as imagens obtidas são mostradas nas Figuras 3b e 3c. Analisando as imagens, fica claro que a estrutura é constituída apenas de martensita e bainita, mais grosseira que aquela obtida a 380°C, como se pode observar ao comparar as estruturas das Figuras 2c e 3c. A região clara da Figura 3a, da mesma forma que a da temperatura de 380°C, também é composta por martensita.

A estrutura obtida na amostra tratada por 2 min a 450°C de tratamento é mostrada nas Figuras 3 d e 3e. As imagens mostram uma estrutura quase 100% bainítica, pequenas porções martensíticas. Isso não era esperado, já que nesse segundo tempo dessa temperatura, a figura 1 previa uma quantidade de bainita ainda inferior a 50%. As análises de MEV confirmam a presença de martensita e bainita na estrutura (Figura 3e). Entretanto, pode se observar que, se comparada a temperatura de 380°C, a bainita apresenta-se mais grosseira, com carbonetos maiores. Isso se deve ao fato da transformação bainítica ocorrer por difusão, sendo a temperatura maior favorável a sua formação, gerando uma estrutura mais grosseira. Na Figura 3e também é possível observar os antigos contornos de grão austeníticos (indicados com setas). Isso comprova a ocorrência de nucleação heterogênea da bainita, com início nos contornos de grão crescendo em direção ao centro. Ainda nos contornos de grão, é possível notar as regiões compostas por martensita, indicadas na Figura 3e por M. Os tempos seguintes apresentaram estruturas 100% bainíticas, como mostra a Figura 3f.

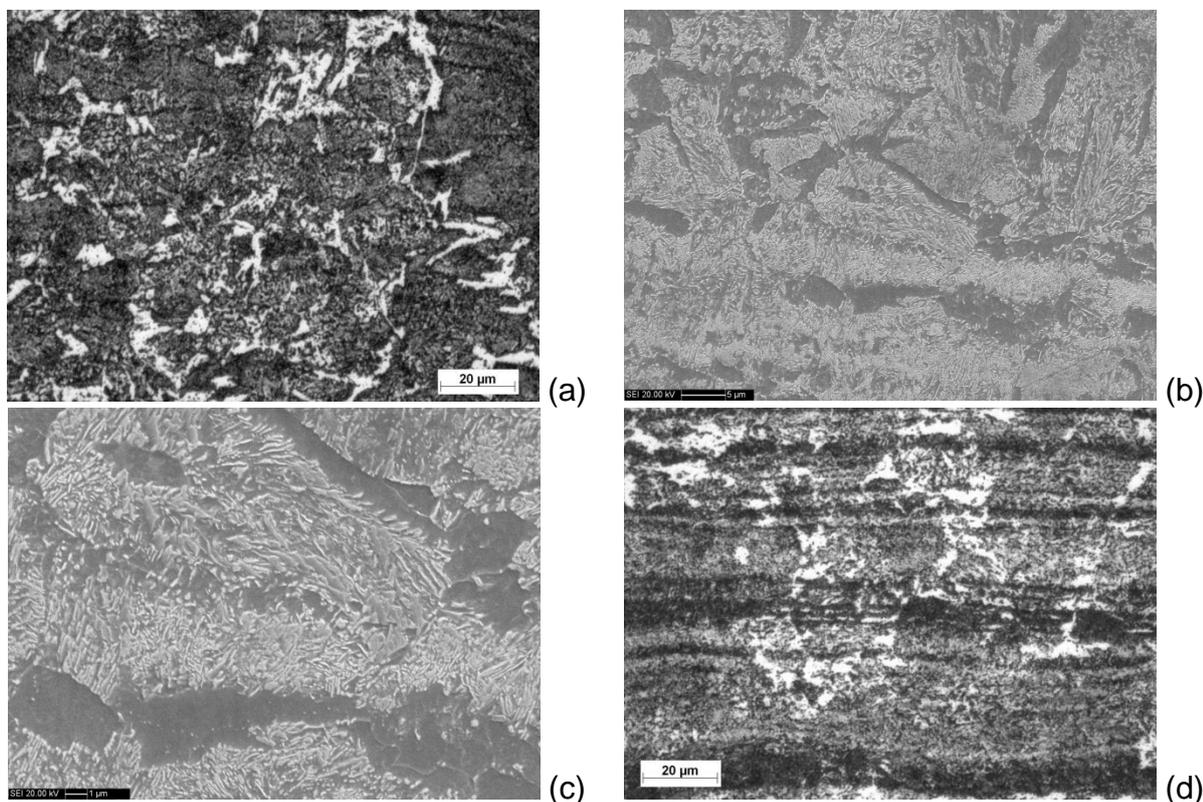


Figura 4. Microestruturas das amostras austemperadas a 575°C por (a) 16 min - MO após Picral 4%, (b,c) 16 min - MEV após Nital 2%, (d) 750 min - MO após Picral 4.

A Figura 4a mostra a estrutura da amostra tratada termicamente a 575°C por 16 minutos. Como se pode notar, a estrutura apresenta-se em MO predominantemente bainítica, porém com regiões clara. Por ser uma temperatura mais elevada, é possível que nessa temperatura a curva de bainita se encontre com a curva de início de formação de ferrita e perlita. Para identificar essas microestruturas de forma mais precisa fez-se o uso do MEV (Figuras 4b e 4c). As imagens confirmam a presença de ferrita e de estrutura de transição entre bainita superior e perlita, já que alguns carbonetos se encontram em disposição próxima a lamelar. Também é possível observar que a bainita é mais grosseira se comparada às obtidas nos tempos anteriores (Figuras 2 e 3). Também é possível observar que nessa temperatura não ocorre a formação de martensita, ou seja, desde o primeiro tempo a austenita já foi completamente transformada, não ocorrendo estrutura martensítica mesmo com o resfriamento rápido após o banho de sal.

Todas as amostras tratadas a 575°C apresentam ferrita, aparentemente no antigo contorno de grão austenítico, e microconstituinte de transição entre perlita fina e bainita superior, sendo esta a microestrutura comum aos demais tempos de tratamento, elustradas pelo tratamento após 750min (Figura 4d).

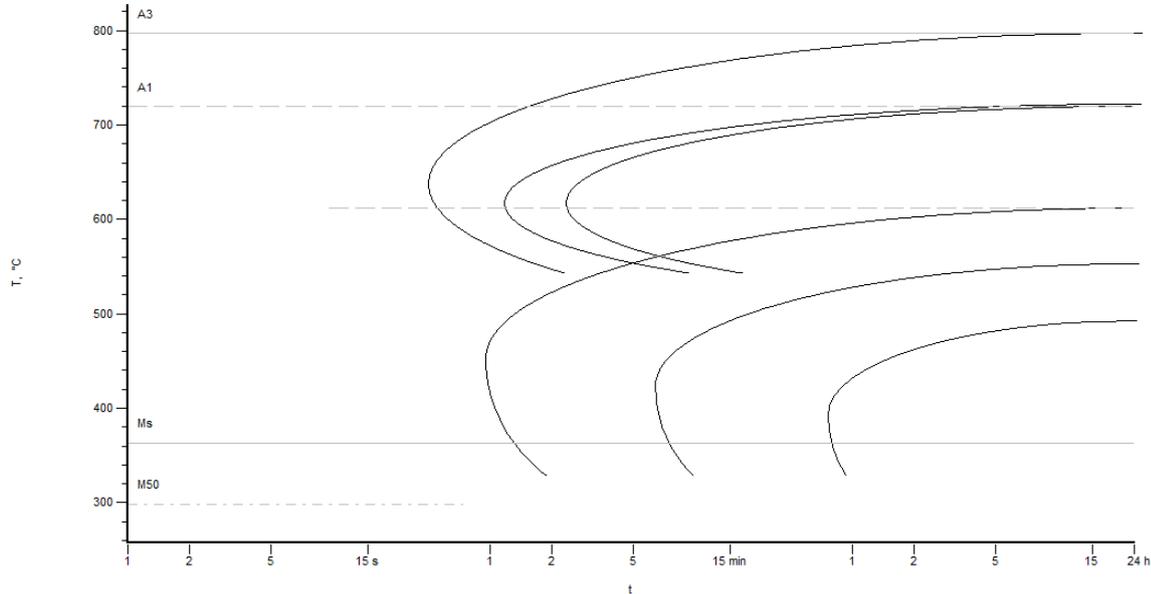
Observando os resultados obtidos, é possível notar que os dados adquiridos por microscopia foram insuficientes para o levantamento experimental da curva TTT. Por isso, fez-se uma análise dos possíveis motivos dos resultados experimentais estarem tão deturpados dos reais. Um fator que pode ter influenciado os resultados é o tamanho de grão de partida. Para esboço da Figura 1 utilizou-se tamanho de grão ASTM 7. Para melhor discussão, fez-se um comparativo dos gráficos obtidos com o maior e menor tamanho de grão possíveis no SteCal (ASTM 4 e ASTM 10); essa comparação pode ser vista na Figura 5, onde é possível observar que o tamanho de grão menor desloca a curva para a esquerda e diminui a temperabilidade do aço. Analisando a curva da bainita, pode-se observar que para o tamanho de grão menor, a transformação tem início por volta dos 15 segundos a aproximadamente 450°C, enquanto com o tamanho de grão maior esse início se desloca para quase 1 minuto. Como não foi determinado o tamanho de grão da matéria-prima, essa pode ter sido uma fonte da não congruência entre os resultados obtidos e os esperados pela simulação, já que as transformações por difusão ocorreram em tempos menores que os estimados pelo software SteCal 3.0. Provavelmente, o tamanho de grão da amostra era inferior ao estimado.

Além disso, o programa não permite a entrada exata do teor de boro nos dados da composição química, permitindo apenas informar se existe ou não boro na composição do aço em simulação. Nos resultados experimentais, pode-se observar que as transformações ocorrem em tempos menores que os previstos na Figura 1, o que leva a pensar que o SteCal superestima o efeito do boro na temperabilidade, prevendo um efeito muito maior deste elemento sobre o aço (o que estima a curva muito mais deslocada para a direita do que ela efetivamente está).

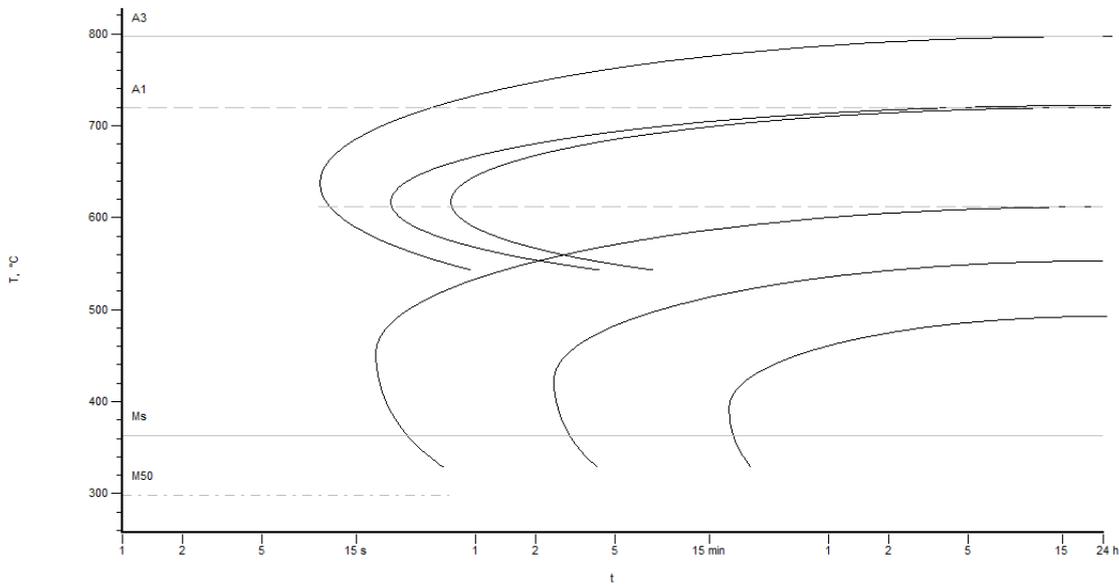
Considerando a matéria-prima, também não foi feita análise química comprovando a presença do boro no aço em estudo. A ausência deste elemento no material causaria um grande deslocamento da curva para a esquerda, diminuindo os tempos de início de transformação bainítica, o que estaria mais coerente com os resultados experimentais.

Por fim, levando em conta a temperatura de austenitização, vale ressaltar que essa pode não ter sido selecionada corretamente. Se a temperatura não foi alta o

suficiente, o boro pode não estar na estrutura como solução sólida, e sim precipitado como carbo-boretos $M_{23}(B,C)_6$ nas regiões dos contornos de grão austeníticos e, conseqüentemente, não inibiria a nucleação de ferrita,⁽⁶⁾ o que não levaria a um aumento na temperabilidade do aço e as transformações bainítica ocorreriam em tempos inferiores aos previstos pelo software.



(a)



(b)

Figura 5. Gráficos esboçados pelo SteCaL 3.0 para tamanhos de grão ASTM 4 (a) e ASTM 10 (b).

4 CONCLUSÕES

A curva esboçada pelo software SteCal não está de acordo com os resultados experimentais obtidos nos tratamentos isotérmicos do aço AISI 15B30 na região de formação de bainita, e as possíveis causas são:

- a curva esboçada pelo SteCal 3.0 poderia estar mais em acordo com os resultados experimentais se tivesse sido medido o tamanho de grão da matéria-prima, avaliando o efeito desse na temperabilidade do aço;

- o programa pode superestimar a presença do Boro, esboçando uma temperabilidade muito maior ao aço; r
- o aço pode não ter o teor de boro esperado, ou o boro não foi totalmente solubilizado na temperatura de austenitização adotada.

Deste modo, conclui-se que é possível o estudo cinético das transformações bainíticas isotérmicas do aço AISI 15B30 por meio de análise metalográfica e por simulações com o software SteCal, mas o estudo pode ser aprimorado se o tamanho de grão austenítico for melhor avaliado, se o teor de B efetivo no aço for devidamente verificado, e se a melhor temperatura de austenitização for previamente determinada.

REFERÊNCIAS

- 1 P. H. MALTREPIERRE; D. THIVELLIER; R. TRICOT. Influence of Boron on the Decomposition of Austenite in Low Carbon Alloyed Steels. Metallurgical Transactions, França, Fevereiro de 1975, p. 287 – 301.
- 2 H. COLPAERT. Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns. 4. ed. São Paulo, Edgard Blücher, 2008.
- 3 R. W. K. HONEYCOMBE. Aços: microestrutura e propriedades. Londres, Edward Arnold Ltd, 1981.
- 4 AMERICAN SOCIETY FOR METALS. ASM Handbook Vol. 4: Heat Treating. 12. ed. Estados Unidos da América, ASM Internacional, 1991.
- 5 P. TARÍN. SteCal 3.0.3, Low-alloy steels: their properties and how to obtain them – A program to predict the properties and behavior of steel. ASM ; Ohio, 2004.
- 6 S. K. BANERJI; J. E. MORRAL. Boron in steel. Estados Unidos da América, Metallurgical Society of AIME, 1979.