

LEVANTAMENTO DA CURVA TTT DO AÇO 15B30 COM ANÁLISE DOS CONSTITUINTES FERRITA E PERLITA¹

Rodrigo Magnabosco²
Cecília de Freitas Vendramine³

Resumo

O estudo proposto teve como objetivo determinar as curvas TTT (temperatura, tempo e transformação), dos constituintes ferrita e perlita do aço 15B30. O trabalho foi realizado por meio de análises de microscopia de diversas amostras, previamente austenitizadas, que foram submetidas a diferentes tratamentos isotérmicos da região de formação de ferrita e perlita. Para a escolha das temperaturas e tempos de trabalho fez-se o esboço da curva TTT do aço em estudo com o auxílio do programa Stecal 3.0. Um objetivo secundário é o de validar a curva TTT esboçada pelo programa Stecal 3.0. Observou-se que é possível o levantamento da curva TTT do aço 15B30 partindo-se da escolha das variáveis de trabalho através da curva prevista pelo software Stecal 3.0 e por meio de análises de microscopia, porém deve-se medir previamente o tamanho de grão austenítico da matéria-prima e é necessário o controle de temperatura do banho de sal com o auxílio de um termopar para correta determinação da real temperatura de transformação isotérmica.

Palavras-chave: Aço AISI 15B30; Temperabilidade; Transformação de fases.

DETERMINATION OF THE FERRITE AND PERLITE TTT DIAGRAM OF 15B30 STEEL

Abstract

The study proposed aims the determination of the TTT diagram (temperature, time and transformation), of ferrite and perlite of 15B30 steel. The study has been done through microscopy analysis of various samples, previously austenitized and submitted to different isothermal treatments in the region of ferrite and perlite formation. Temperatures and times choices were made up the TTT diagram outlined of the steel in study with the help of the Stecal 3.0 software. A secondary objective is to certify the TTT diagram outlined with the Stecal 3.0 program. It was observed that it's possible to determine the 15B30 steel TTT diagram choosing the variables through the curve outlined by Stecal 3.0 and through microscopy analysis, but the prior austenitic grain size should be measured and it is necessary to control the salt bath temperature with the aid of a thermocouple for a better determination of the exact isothermal transformation temperature.

Key words: AISI 15B30 steel; Hardenability; Phase quantification; Phase transformation.

¹ Contribuição técnica ao 68º 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 Engenharia de Materiais da Tenaris Confab, ceciliavendramine@gmail.com.

1 INTRODUÇÃO

O elemento boro é adicionado ao aço para melhorar sua temperabilidade, ou seja, a capacidade do aço endurecer, isto ocorre pela redução da nucleação de ferrita nos contornos de grão da austenita consequente da redução da energia associada aos contornos austeníticos.⁽¹⁾

Sua eficácia depende dos seguintes fatores: o baixo teor de carbono e nitrogênio do aço, a presença de elementos que auxiliam a não formação de nitreto de boro, a total desoxidação do aço e a baixa temperatura de tratamento.^(2,3) A presença deste elemento em teores abaixo de 0,005% aumenta a temperabilidade e a resistência mecânica. Já acima de 0,005%, existirá a tendência de perder sua ductilidade a quente.⁽¹⁾

O aço 15B30 é um aço ao boro com 0,0005% de B mín. Possui médio percentual de carbono garantindo uma boa conformabilidade e tenacidade.⁽³⁾ Este aço é muito utilizado em implementos agrícolas (facas para corte de cana, colheita e descaroçamento de algodão, lâminas roçadeiras de grama) onde o desgaste e o impacto são exigidos. O aço 15B30 também é utilizado em molas estáticas, ferramentas para construção civil (espátulas e desempenadeiras), ferramentas manuais (picaretas e enxadas) e autopeças (linguetas de cinto de segurança, componentes de embreagem e presilhas para contrapeso de roda automotiva).

Para acompanhar a formação dos constituintes deste aço utilizam-se curvas TTT (temperatura, tempo, transformação) que se subdividem em: ITT (transformação isotérmica) e TRC (transformação em resfriamento contínuo).⁽³⁾ De acordo com Hubertus Colpaert as curvas TTT podem ser definidas como a combinação entre a taxa de nucleação e a velocidade de crescimento, sendo possível avaliar a velocidade de transformação em condições isotérmicas, para determinada temperatura abaixo da temperatura de equilíbrio.⁽⁴⁾

Este trabalho tem por objetivo levantar os dados experimentais para que seja possível a construção das curvas TTT (temperatura, tempo transformação), do aço 15B30, na região de formação dos microconstituintes ferrita e perlita. O estudo será feito por meio de análises de microscopia de diversas amostras em diferentes temperaturas e tempos. Busca-se também a validação das simulações de diagramas TTT deste aço obtidas pelo software Stecal 3.0.

2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Neste trabalho o método para se determinar experimentalmente as curvas TTT foi o tratamento isotérmico, em diferentes tempos, de amostras previamente austenitizadas, utilizando para acompanhamento das transformações de fase técnicas de metalografia.

Para estabelecer as temperaturas e tempos de trabalho utilizou-se como base uma simulação da curva TTT obtida pelo programa Stecal 3.0 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 X 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. Os tempos de tratamento a 590°C, 645°C e 710°C indicados na Figura 1 por pontos.

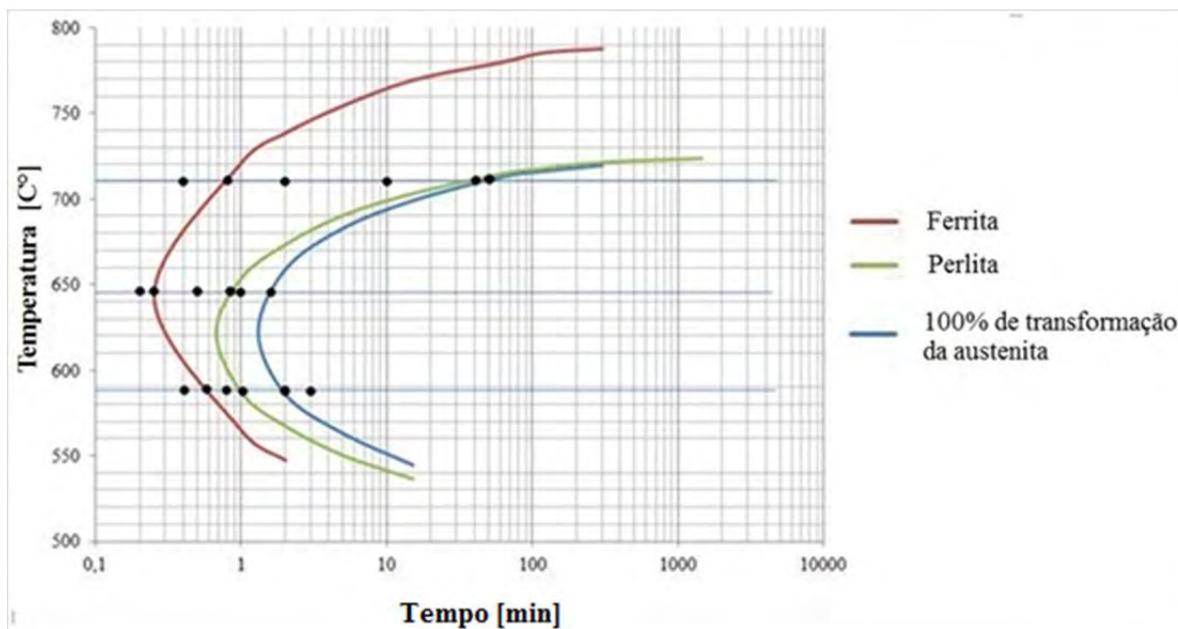


Figura 1 - Curva TTT da região de transformações de austenita em ferrita e perlita construída no programa Microsoft Excel e tempos e temperaturas empregados nesse trabalho.

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 barras, com 20 milímetros de diâmetro e 300 milímetros de comprimento, sendo cortado transversalmente na forma de discos com 3mm de espessura cada um. A razão de se utilizar espessuras pequenas é garantir a capacidade de troca térmica dos corpos de prova resfriados da temperatura de austenitização para a temperatura de tratamento isotérmico. A composição real do aço em estudo está indicada na Tabela 2.

Tabela 2 - Composição química do aço em estudo (%m)

Elemento %	C	Mn	Si	S	P	Cu	Cr	Ni
	0,33	1,22	0,25	0,004	0,01	0,23	0,17	0,06
Elemento %	Mo	As	Nb	Sn	V	W	Ti	B
	0,015	0,003	0,002	0,015	0,008	0,005	0,03	0,0034

Iniciou-se o experimento com todos os corpos de prova sendo austenitizados à temperatura de 850°C por 20 minutos no forno 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 para serem observadas no microscópio LEICA. Para identificar as microestruturas que não eram completamente nítidas

apenas visualizando no microscópio óptico LEICA DMLM fez-se o uso do microscópio eletrônico de varredura (MEV) CamScan CS3200LV.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observando as microestruturas para o tempo de 24s a 590°C (Figura 2a, é possível notar a formação de muita martensita e somente poucas e pequenas regiões de início de surgimento de ferrita. Já com o aumento do tempo para essa mesma temperatura, 35s, observa-se na Figura 2b a formação de ferrita, boa quantidade de perlita fina, bainita superior granular e martensita. Pode-se confirmar a presença dessas fases pela imagem obtida pelo MEV, Figura3a. Analisando o tempo de 48s as microestruturas presentes, Figura2c, são: ferrita, muita perlita, pouca bainita e martensita também confirmadas pelo MEV (Figura 3b). A estrutura formada para o tempo de 1 minuto, Figura2d, é composta por pouca ferrita, muita perlita e pouca martensita. Segundo o gráfico esboçado no Excel com auxílio do software Stecal 3.0 (Figura 1), as microestruturas obtidas nos primeiros 4 tempos para a temperatura de 590°C ocorreram antes do previsto. Sendo assim a curva prevista pelo software para estes pontos pode estar deslocada para a direita. Uma possível explicação para este fato é de que o tamanho de grão utilizado na simulação (7) pode ter sido maior do que o real ou que o efeito do elemento boro foi superestimado pelo Stecal. Observando o diagrama esboçado (Figura 1), pode ser que em alguns pontos durante o resfriamento o material tenha cruzado o campo bainítico, e esta suposição é reforçada pelas microestruturas das Figura 2b, 2c e 3.

No tempo de 1 minuto a 590°C a microestrutura (Figura 2e), é constituída de muita perlita porém ainda apresenta pequenas zonas de martensita indicando que a transformação da austenita por meios difusionais não chegou ao fim e constatando que a curva prevista pelo Stecal, Figura1, para este ponto provavelmente deve estar deslocada para a esquerda. Já no último tempo para essa mesma temperatura é possível notar, Figura 2f, uma microestrutura com muita perlita e pouca ferrita o que mostra que esse tempo de tratamento térmico cruzou a linha que simboliza o fim de transformação, não restando austenita para a formação de martensita. Sendo assim a microestrutura obtida experimentalmente está de acordo com a prevista pelo software (Figura 1).

Comparando os resultados obtidos com os esperados pelo Stecal é possível notar que a transformação de ferrita e perlita ocorreram antes do previsto. Possivelmente os pontos reais a 590°C no início de transformação de ferrita e perlita estão relativamente deslocados para a direita. Em contrapartida o ponto da curva prevista pelo Stecal de 100% de transformação da austenita deve estar deslocado para a esquerda já que o fim da transformação da austenita por meios difusionais não chegou ao fim no ponto previsto. Provavelmente as curvas de início de transformação de ferrita e perlita estão mais próximas da curva de 100% de transformação da austenita nessa temperatura. Observando o diagrama esboçado (Figura1), pode ser que em alguns pontos durante o resfriamento o material tenha cruzado o campo bainítico, e esta suposição é reforçada pelas microestruturas das Figuras 2b, 2c e 3.

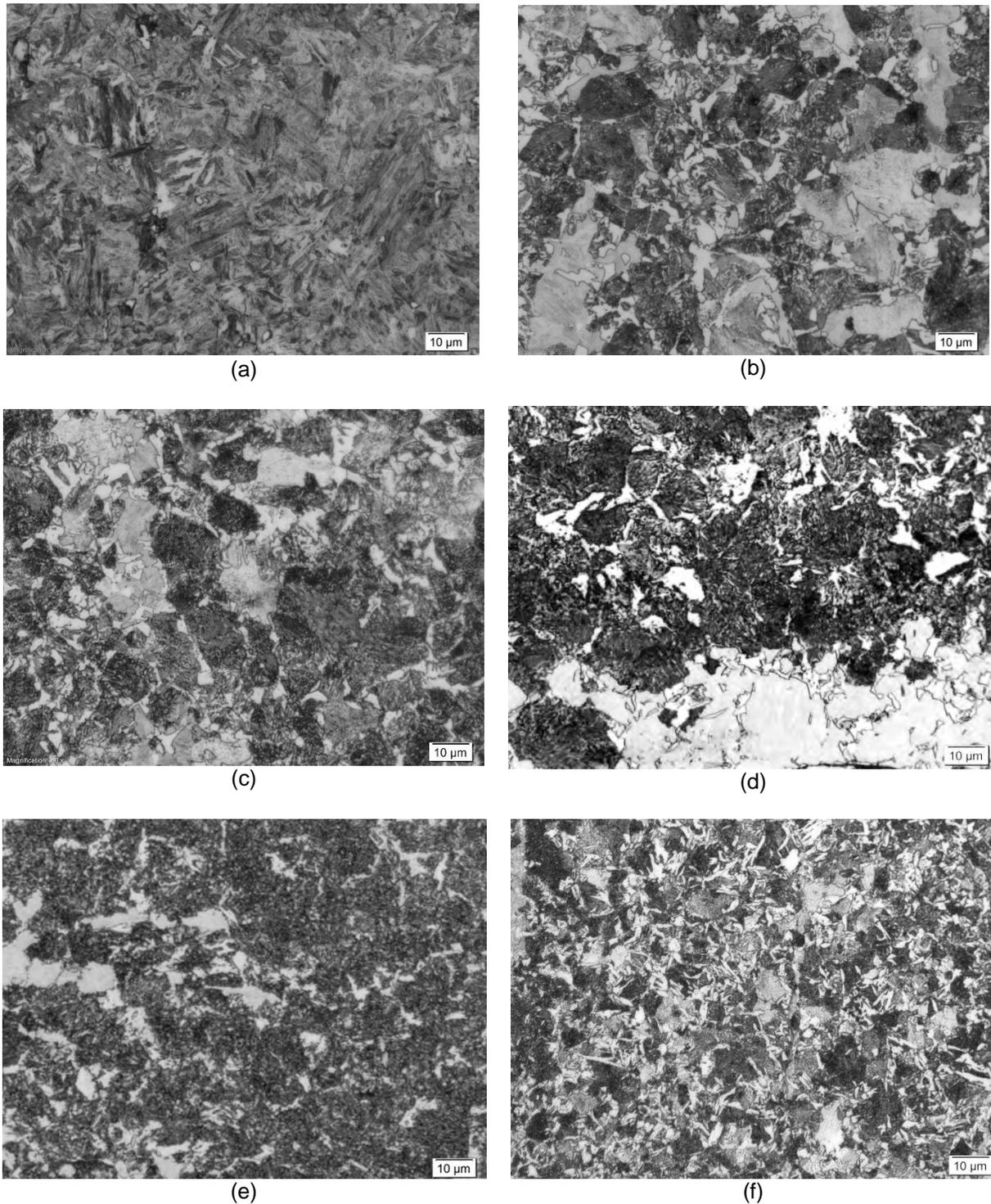


Figura 2 - Micrografias com aumento de 50x obtidas pelo tratamento térmico à 590°C em diferentes tempos. Ataque: Nital 2% (a) Amostra tratada termicamente por 24s (b) Amostra tratada termicamente por 35s (c) Amostra tratada termicamente por 48s (d) Amostra tratada termicamente por 1 minuto (e) Amostra tratada termicamente por 1,5 minutos (f) Amostra tratada termicamente por 2 minutos.

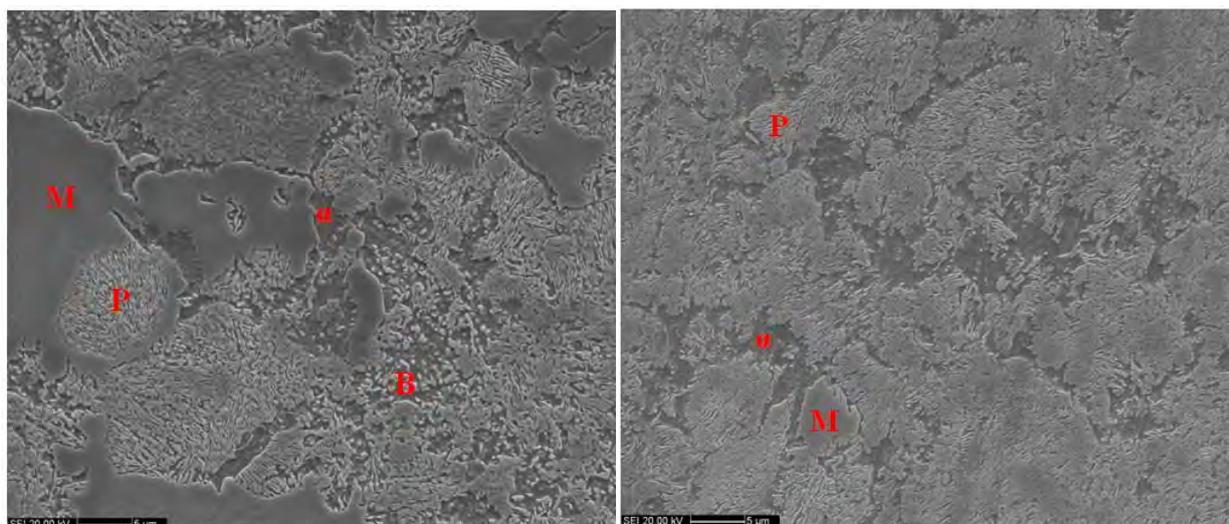


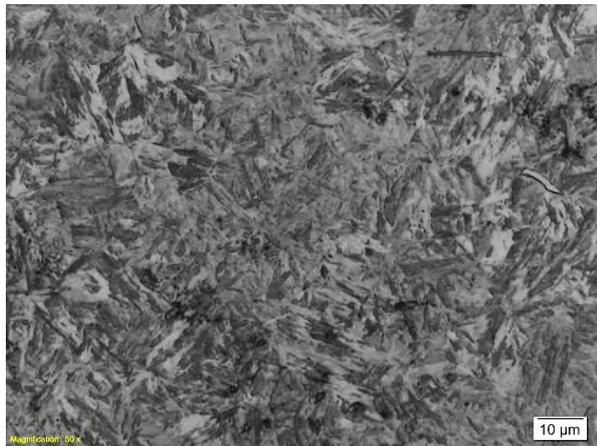
Figura 3 - Micrografia da amostra tratada termicamente à 590°C. (a) por 35 segundos (b) por 48 segundos. Ataque: Nital 2%

Para o primeiro tempo, 12s, a 645°C a microestrutura (Figura 4a), obtida é totalmente condizente com a prevista pelo Stecal (Figura 1), já que esta se apresenta 100% martensítica. Em contrapartida o programa não conseguiu descrever precisamente o início de formação de ferrita como indicam as microestruturas apresentadas nas Figura 4b e Figura 4c, já que no tempo de 15s a estrutura é completamente composta por martensita e no tempo de 30s encontra-se início da formação de ferrita e muita martensita quando esperava-se encontrar uma fração maior de ferrita e menor de martensita. A curva esboçada na Figura1 para esses dois pontos, está possivelmente deslocada para a esquerda pelas explicações já citadas: o tamanho de grão real pode ser menor do que o utilizado para esboçar a curva e o programa Stecal subestimou o efeito do elemento boro.

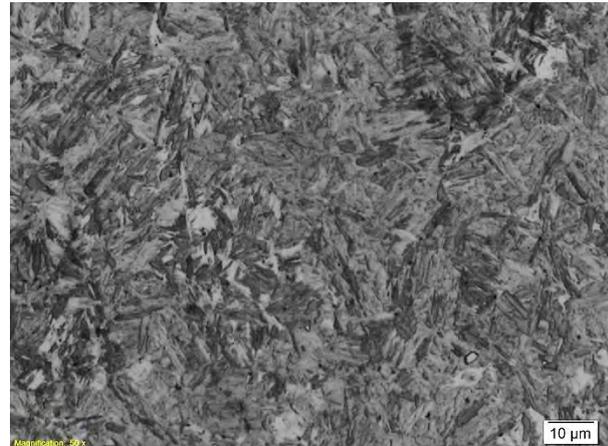
No tempo de 31s a microestrutura apresentada (Figura 4d) é composta por grande quantidade de ferrita, perlita e pouca martensita e essas microestruturas podem ser confirmadas pela Figura 5 obtida pelo MEV.

Por fim para o tempo de 1 minuto encontrou-se uma estrutura (Figura 4e), ferrítico-martensítica e para o tempo de 1,42 minutos indicou em sua microestrutura, Figura4f, a presença de perlita muito fina, ferrita e martensita. Uma possível explicação para esse comportamento é que o tempo de tratamento térmico é elevado e as variações de temperatura da mufla, que continha o cadinho com o banho de sal, poderiam reaustenitizar parcialmente o material, e que para o tempo de 1 minutos durante o resfriamento rápido voltou a formar martensita e ferrita. Já para o último tempo além de cruzar o campo ferrítico, como o tempo é maior (1,42 minutos) o tratamento isotérmico se estende até o campo perlítico e a austenita remanescente se transforma em martensita.

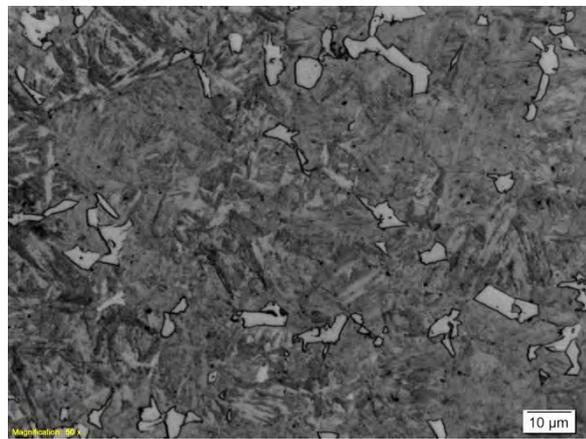
Comparando os resultados obtidos com os esperados pelo Stecal é possível notar que a transformação de ferrita inicia-se após o esperado e a formação de perlita ocorre antes do previsto. Possivelmente para esta temperatura os pontos da ferrita estão deslocados para a direita e os pontos da perlita para a esquerda. Provavelmente as curvas de ferrita e perlita estão mais próximas nessa temperatura. Não foi possível avaliar os dois últimos tempos já que como esses tempos de tratamentos são elevados é possível que as temperaturas da mufla tenham variado reaustenitando parcialmente o material.



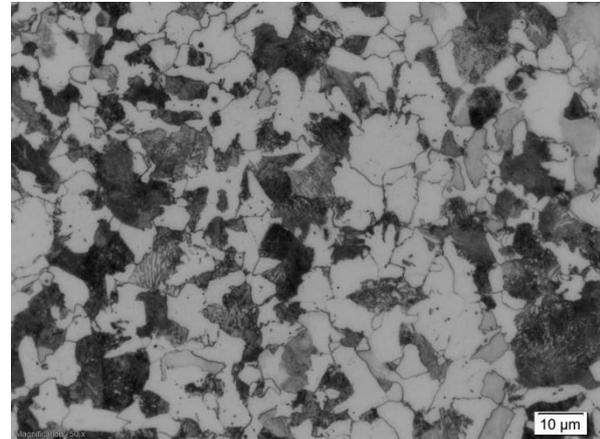
(a)



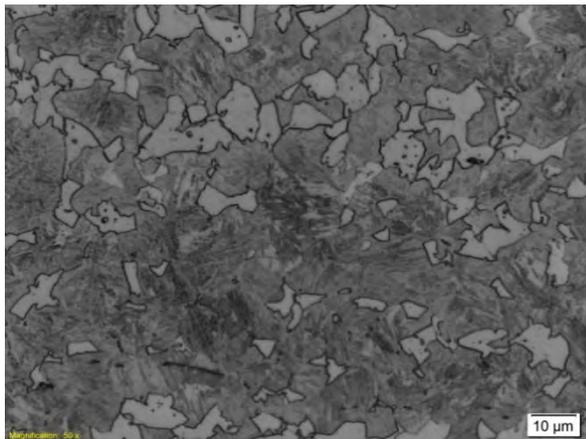
(b)



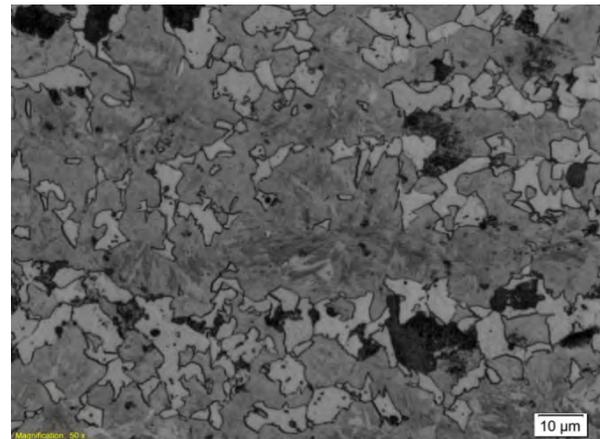
(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 4 - Micrografias com aumento de 50x obtidas pelo tratamento térmico à 645°C em diferentes tempos. Atque: Nital 2% (a) Amostra tratada termicamente por 12s (b) Amostra tratada termicamente por 15s (c) Amostra tratada termicamente por 30s (d) Amostra tratada termicamente por 51s (e) Amostra tratada termicamente por 1 minuto (f) Amostra tratada termicamente por 1,42 minutos.

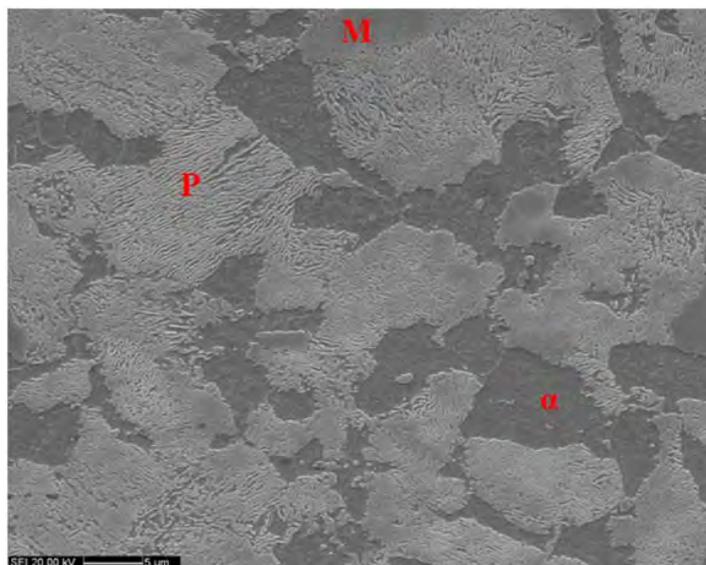


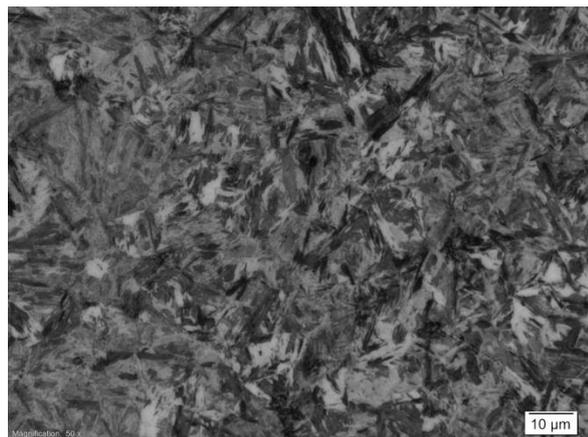
Figura 5 - Micrografia da amostra tratada termicamente à 645°C por 51 segundos. Ataque: Nital 2%.

Os primeiros dois tempos para a temperatura de 710°C apresentam microestruturas coerentes com as previstas pelo Stecal (Figura 1), já que a Figura 6a observa-se 100% de martensita e a Figura 6b o início da formação de ferrita.

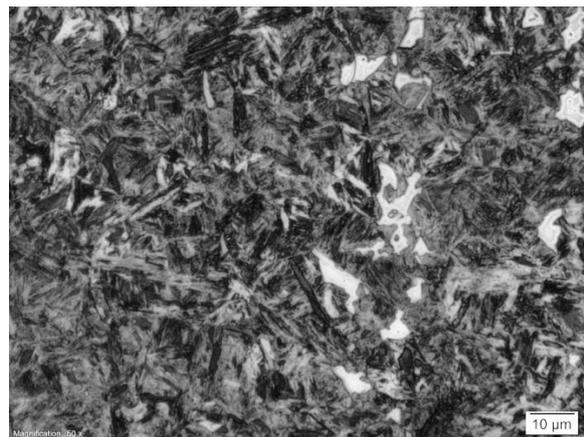
Analisando o tempo de 2 minutos para essa mesma temperatura formada por ferrita, perlita e pouca martensita, Figura 6c, considera-se o resultado experimental incoerente com o previsto (Figura 1), e é possível afirmar que a curva prevista pelo software para este ponto pode estar deslocada para a direita explicando a presença do início de transformação de perlita na microestrutura obtida experimentalmente. Uma explicação para este fato, já citada, é de que o tamanho de grão utilizado na simulação (7) pode ter sido maior do que o real ou que o efeito do elemento boro foi superestimado pelo Stecal.

Nota-se que para os tempos de 10 minutos (Figura 6d), 40 minutos (Figura 6e) e 50 minutos (Figura 6f), as estruturas são compostas por ferrita e martensita. Uma possível explicação para o ocorrido, já que o tempo de tratamento térmico é elevado, é de que o material reaustenizou parcialmente, devido as flutuações de temperatura da mufla, e iniciou novamente a nucleação e crescimento da fase ferrítica e o restante da austenita se transformou em martensita.

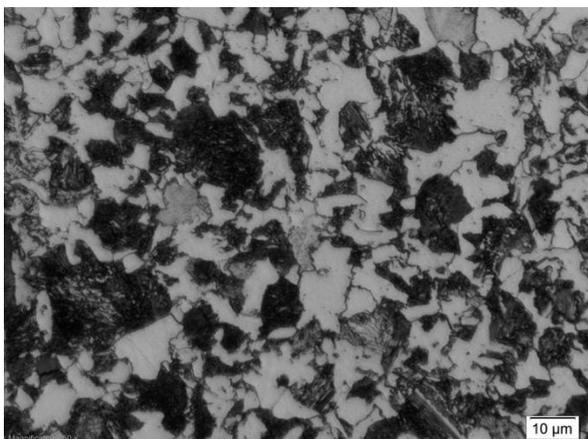
Comparando os resultados obtidos com os esperados pelo Stecal é possível notar que o início da transformação de ferrita ocorreu de acordo com o previsto pelo programa Stecal. Em contrapartida o início da transformação de perlita ocorreu antes do previsto pelo software. Não foi possível avaliar os três últimos tempos já que como esses tempos de tratamentos são elevados é possível que as temperaturas da mufla tenham variado reaustenizando parcialmente o material. Consequentemente não é possível avaliar a curva de 100% de transformação da austenita para essa temperatura.



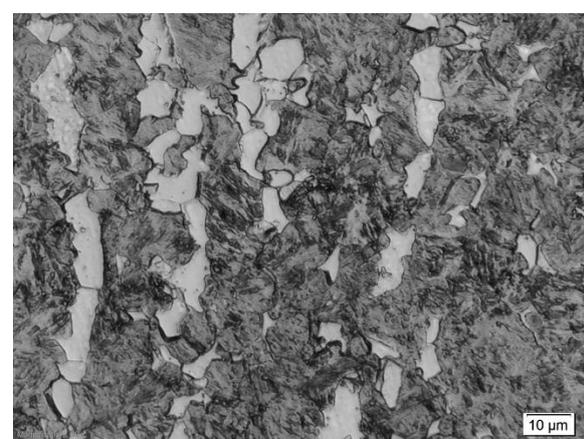
(a)



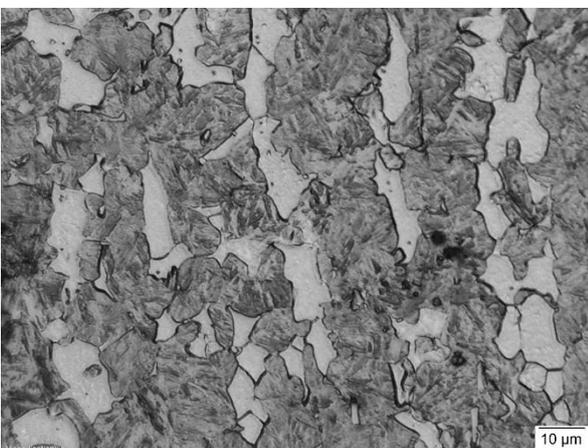
(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 6 - Micrografias com aumento de 50x obtidas pelo tratamento térmico à 710°C em diferentes tempos. Ataque: Nital 2% (a) Amostra tratada termicamente por 24s (b) Amostra tratada termicamente por 48s (c) Amostra tratada termicamente por 2 minutos (d) Amostra tratada termicamente por 10 minutos (e) Amostra tratada termicamente por 40 minutos (f) Amostra tratada termicamente por 50 minutos.

Como não foi medido o tamanho de grão da matéria prima e da amostra austenitizada fez uma análise do efeito deste nas curvas esboçadas pelo programa Stecal, como pode ser visto nas Figura 7 e Figura 8. Para o esboço do gráfico utilizado no trabalho (Figura 1) estimou-se um tamanho de grão intermediário (7).

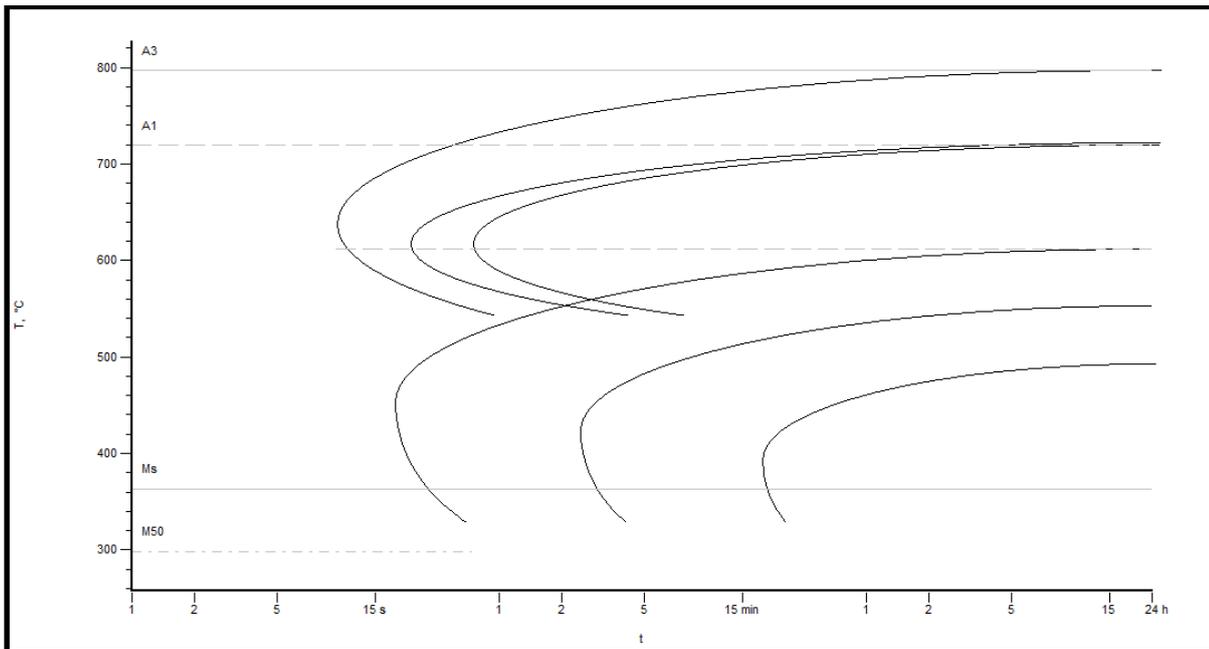


Figura 7 - Esboço da curva TTT para o aço 15B30 considerando tamanho de grão 10.

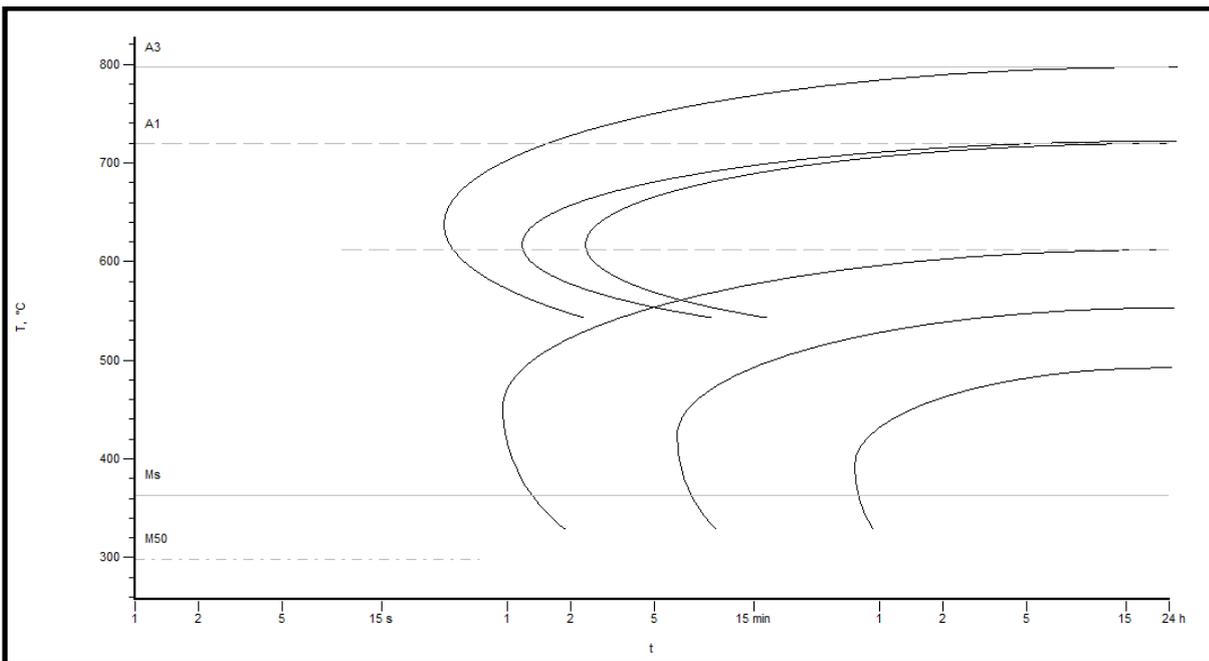


Figura 8 - Esboço da curva TTT para o aço 15B30 considerando tamanho de grão 4.

É possível identificar que quando o grão é menor (10) o diagrama é deslocado para esquerda e o início de transformação da ferrita ocorre antes dos 15 segundos enquanto que quando é maior é deslocado para direita e o início da transformação ferrítica começa por volta dos 30s. Ambos os tempos citados são da temperatura de 645°C. Esse fato pode ter sido uma fonte de erros já que a curva esboçada (Figura 1) e utilizada durante os experimentos estimava o início da transformação de ferrita em torno de 15s para temperatura de 645°C.

4 CONCLUSÕES

Através da análise dos resultados obtidos e levando-se em consideração a teoria abordada pode-se concluir com este estudo que:

- A curva prevista pelo programa Stecal 3.0 poderia estar mais coerente com os resultados experimentais se o tamanho de grão da matéria prima tivesse sido medido sendo avaliado o efeito do mesmo na temperabilidade do aço.
- Para tratamentos térmicos realizados em uma adaptação de um forno banho de sal é necessário o uso de um termopar para controle de temperatura do banho, evitando as possíveis ocorrências de reaustenitização parcial observadas.
- É possível o levantamento da curva TTT do aço 15B30 por meio da escolha das variáveis de tempo e temperatura através do esboço da curva prevista pelo programa Stecal 3.0 e através de análises de microscopia de diversas amostras, porém é necessário medir previamente o tamanho de grão austenítico e utilizar um termopar para controlar a temperatura do banho de sal.

REFERÊNCIAS

- 1 TAVAREZ, Claudiomar, *Estudo do proceso de têmpera em aço 15B28 aplicado em lâminas de motoniveladoras*, Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.
- 2 ASM HANBOOK, Properties and Selection: Irons Steels and High Performance Alloys, *ASM Handbook vol. 1*, ASM International, Estados Unidos da America, 1993.
- 3 SILVA, André, MEI, Roberto, *Aços e Ligas Especiais*: São Paulo, 2010.
- 4 COLPAERT, H, *Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns*, 4. ed. São Paulo, Edgard Blücher, 2008.