

AVALIAÇÃO DA TEMPERABILIDADE DE AÇOS COM BAIXOS TEORES DE CARBONO POR DILATOMETRIA¹

José Britti Bacalhau²
Celso Antonio Barbosa³
Jorge Otubo⁴

Resumo

O consumo de materiais poliméricos pela sociedade moderna aumentou consideravelmente nos últimos dez anos, tendo em vista que muitos componentes que eram tradicionalmente fabricados em materiais metálicos foram substituídos por plásticos. Nesse cenário, a demanda por aços com médio teor de carbono tais como o AISI P20, DIN 1.2738 e DIN 1.2711 para produzir moldes e matrizes para produtos poliméricos também aumentou. O presente trabalho teve como objetivo caracterizar a temperabilidade de possíveis aços para moldes plásticos, com baixos teores de carbono e níquel, assegurando que grandes blocos desses aços possuam uma estrutura homogênea, baixos níveis de segregação e custo competitivo. Quatro ligas foram produzidas em um forno de indução sob vácuo em escala piloto, e suas temperabilidades foram determinadas através da construção de curvas TRC via dilatometria. Caracterizações microestruturais e de dureza também foram realizadas. O trabalho permitiu selecionar a melhor liga para a fabricação de aços para moldes plásticos, aliando o melhor compromisso entre temperabilidade, homogeneidade microestrutural e a dureza necessária.

Palavras-Chave: Aços baixo carbono; Temperabilidade; Dilatometria.

HARDENABILITY EVALUATION OF STEELS WITH LOW CARBON CONTENTS BY DILATOMETRY

Abstract

The consumption of polymeric materials by the modern society has considerably increased over the last ten years, once that many components that were traditionally made of metallic materials have been replaced by plastic. In this scenario, the demand for medium carbon steels such as AISI P20, DIN 1.2738 and DIN 1.2711 to produce molds and dies for polymeric products also increased. This study aimed to characterize the hardenability of possible plastic mold steels with low carbon and nickel contents, ensuring that large blocks of these steels have more homogeneous structures, low levels of segregation and competitive cost. Four alloys were produced in a pilot scale vacuum induction furnace, and their hardenability was determined with CCT curves done by dilatometry. Microstructural and hardness characterization were also done. The study allowed selecting the best alloy for the manufacture of plastic mold steels, combining the best compromise between hardenability, homogeneous microstructure and the required hardness.

Key words: Low carbon steels; Hardenability; Dilatometry.

¹ Contribuição técnica ao 67^o Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Eng. de Materiais, membro da ABM, Pesquisador da Villares Metals S.A. e Mestrando do curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e Aeronáutica do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), Brasil; jose.bacalhau@villaresmetals.com.br.

³ Eng. Metalurgista, membro da ABM, Diretor de Tecnologia e P&D da Villares Metals S.A. Brasil; celso.barbosa@villaresmetals.com.br.

⁴ Dr. em Engenharia Mecânica, Professor Adjunto do ITA, Brasil; jotubo@ita.br.

1 INTRODUÇÃO

O uso de materiais poliméricos vem conquistando com o passar dos anos novos campos de aplicações, e substituindo com sucesso muitos componentes que tradicionalmente eram fabricados em materiais metálicos.⁽¹⁾ Atualmente muitas peças de veículos, eletrodomésticos, utensílios domésticos, da construção civil, e as embalagens são fabricados em plásticos. A Figura 1 exemplifica a grande versatilidade de aplicações dos materiais poliméricos e seu consumo porcentual por setor de mercado.

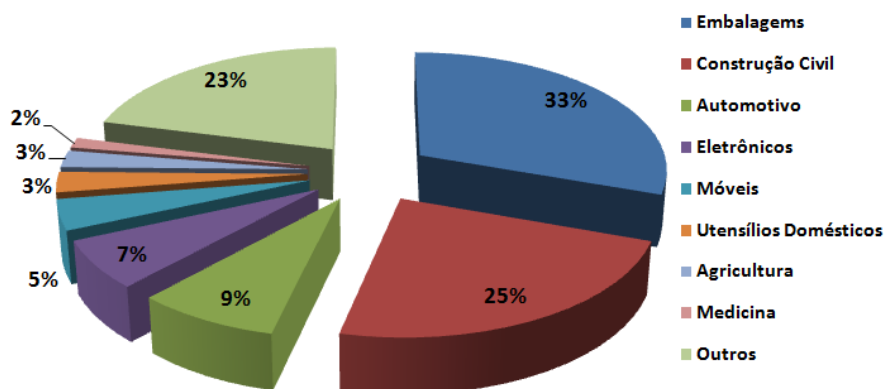


Figura 1. Consumo europeu de materiais plásticos em 2007.⁽²⁾

O intensivo aumento na produção e consumo de peças fabricadas em materiais plásticos influenciou fortemente o mercado de aços para moldes e matrizes, já que é necessária a sua manufatura para a conformação dos polímeros através dos processos de fabricação tais como: injeção, extrusão, sopro, entre outros.

O setor automotivo é o que mais demanda moldes e matrizes para a fabricação de suas peças, sendo que mais de 80% dos moldes fabricados na Alemanha são empregados direta ou indiretamente no setor automobilístico.⁽³⁾ Além disso, esse ramo industrial é o que manufatura as ferramentas de maiores dimensões como os grandes moldes para a injeção de pára-choques, painéis, colunas e pára-lamas. A Figura 2 apresenta fotos de moldes para injeção de pára-choques.

Podem ser mencionados os aços AISI P20 (DIN 1.2311), DIN 1.2738 (AISI P20 com adições de Ni) e DIN 1.2711 como as principais matérias primas fornecidas às ferramentarias para a fabricação de moldes plásticos.⁽³⁻⁵⁾ Normalmente os fabricantes de aço já fornecem esses produtos em blocos previamente beneficiados via têmpera e revenimento, sendo que os aços 2311 e 2738 são tratados termicamente para a faixa de dureza entre 28 HRC a 32 HRC, e o 2711 entre 38 HRC a 42 HRC.^(6,7)

Uma característica metalúrgica fundamental em aços para moldes plásticos é a sua temperabilidade, já que grandes blocos de aço não devem apresentar heterogeneidade de propriedades entre sua superfície e núcleo, garantindo assim, que os requisitos necessários para a confecção de moldes sejam alcançados, tais como: boa usinabilidade, polibilidade, uniformidade de dureza, resposta a texturização entre outros.^(8,9)

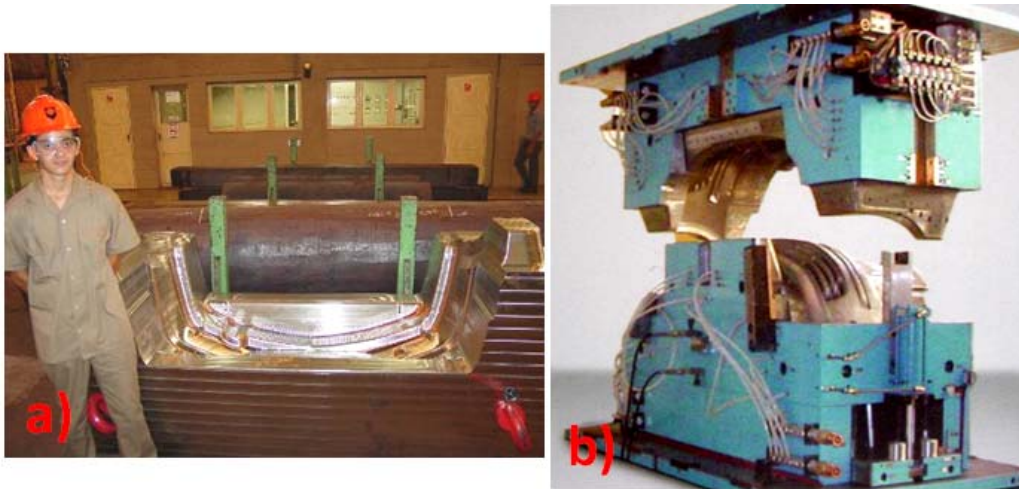


Figura 2. Moldes para injeção de pára-choques: (a) Apenas a cavidade do molde; (b) molde montado com seus componentes.

As curvas TRC (transformação em resfriamento contínuo) dos aços é uma forma de avaliar a temperabilidade de um determinado produto, e de prever qual seria a dureza alcançada e a microestrutura formada no núcleo de grandes blocos, após seu tratamento térmico. As Figuras 3 a 5 apresentam as curvas TRC respectivamente dos aços 2311, 2738 e 2711, e a Tabela 1 suas composições químicas típicas.

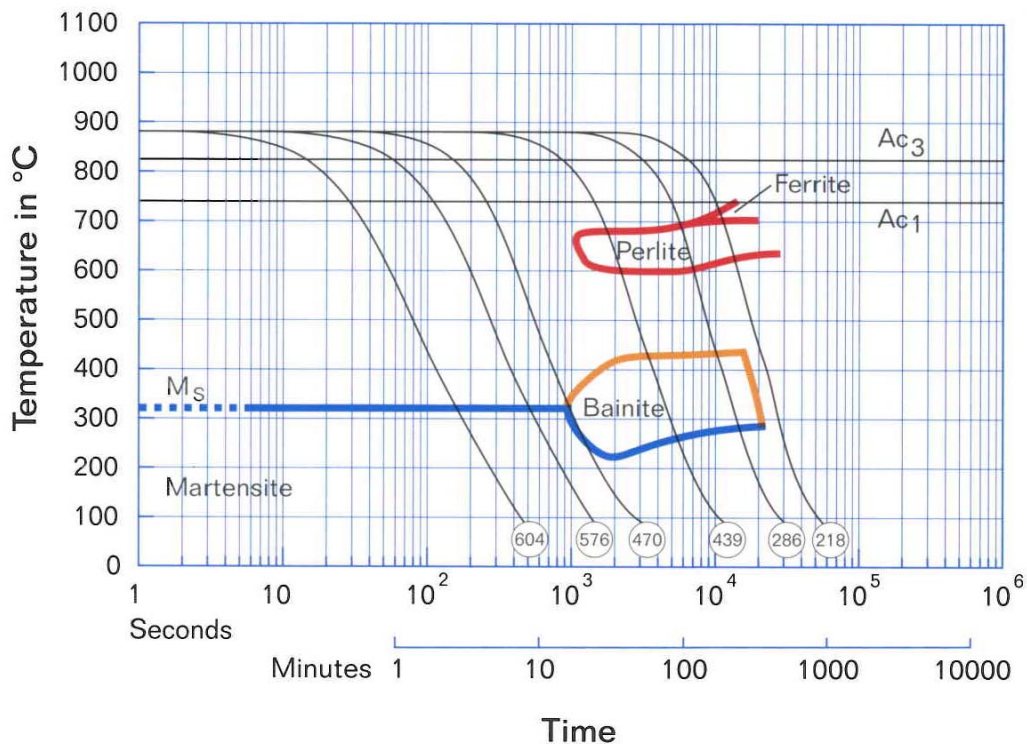


Figura 3. Curva TRC do aço DIN 1.2311 (AISI P20).⁽³⁾

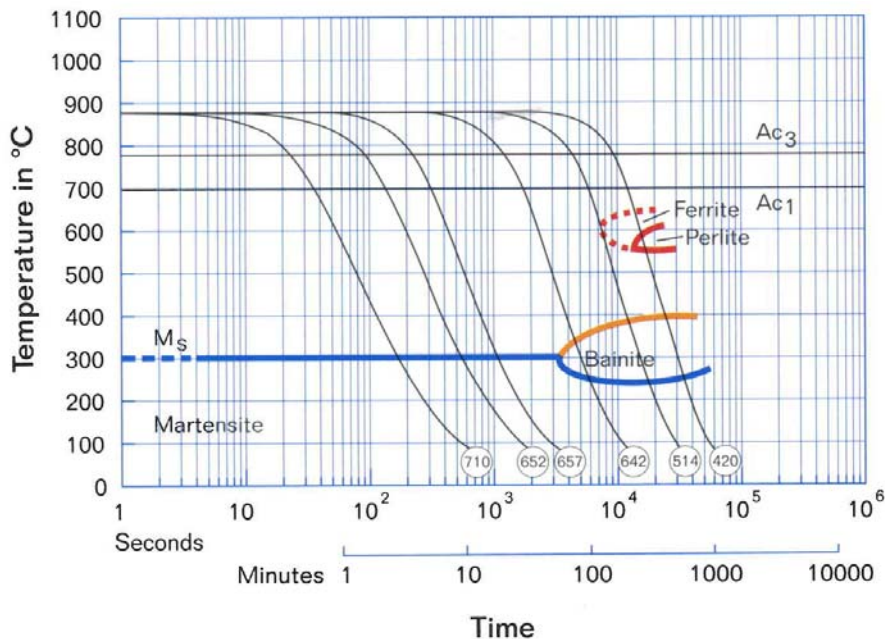


Figura 4. Curva TRC do aço DIN 1.2738 (AISI P20 + Ni).⁽³⁾

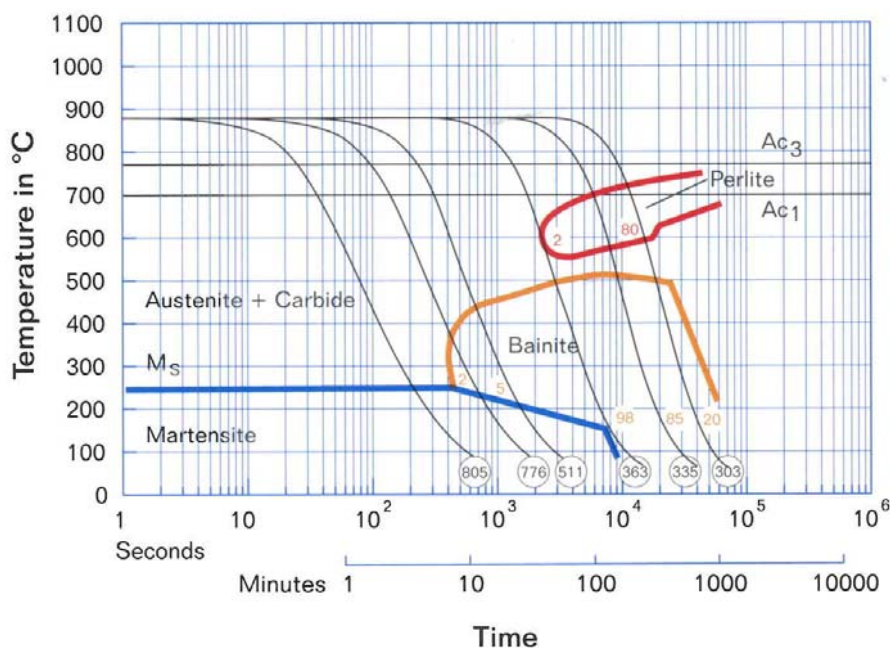


Figura 5. Curva TRC do aço DIN 1.2711.⁽³⁾

Tabela 1. Composição química típica de aços para moldes plásticos.^(3,10) Valores em porcentagem em massa e balanço em Fe

Composição Química Típica									
Aços	C	Si	Mn	S	Cr	Ni	Mo	V	
DIN 1.2311	0,4	0,3	1,45	< 0,035	1,95	-	0,2	-	
DIN 1.2738	0,4	0,3	1,45	< 0,030	1,95	1,05	0,2	-	
DIN 1.2711	0,55	0,25	0,7	< 0,025	0,7	1,65	0,3	0,1	

Como pode ser observado na Tabela 1, os três aços possuem teores médios de carbono, sendo que esse elemento altamente influencia na formação de regiões segregadas em grandes lingotes de aço,⁽³⁻⁵⁾ os quais, serão posteriormente conformados mecanicamente para a produção de blocos. Regiões segregadas contribuem com a existência de heterogeneidades de dureza na secção de uma peça, a qual prejudica a usinabilidade e os acabamentos superficiais de um molde. Além disso, os aços 2738 e o 2711 possuem elevados teores de níquel para aumentarem sua temperabilidade, porém, esse é um elemento de alto custo. Baseado nesse cenário, o presente trabalho teve como objetivo avaliar qual seria o menor teor de carbono necessário para se produzir um aço para moldes plásticos com excelente temperabilidade, possuindo ainda baixo teor de níquel e uma dureza no estado beneficiado entre 38 HRC a 42 HRC (370 HV – 410 HV).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Produção das ligas

Em um forno de indução a vácuo VIM (*Vacuum Induction Melting*) em escala piloto foram produzidos quatro pequenos lingotes de possíveis aços para moldes plásticos com 0,5 kg de massa (retirada de bidus), com o intuito de avaliar suas temperabilidade em função da variação do teor de carbono e um baixo teor de níquel. A composição química de cada um desses lingotes pode ser observada na Tabela 2.

Tabela 2. Composição química dos lingotes produzidos em escala piloto

Aços	C	Mn	Cr	Ni	Mo
Lingote 1	0,14	1,5	1,9	0,5	0,7
Lingote 2	0,18	1,5	1,9	0,5	0,7
Lingote 3	0,22	1,5	1,9	0,5	0,7
Lingote 4	0,26	1,5	1,9	0,5	0,7

* Valores em porcentagem em massa e balanço em Fe.

2.2 Avaliação da Temperabilidade dos Aços

Para avaliar a temperabilidade das quatro ligas produzidas, foi utilizado um dilatômetro *LK02 da Adamel*, sendo assim possível construir a curva TRC de cada aço. Corpos de prova de todos os lingotes foram cortados, e posteriormente, usinados para uma dimensão cilíndrica de 2 mm de diâmetro por 12 mm de comprimento. A Figura 6 apresenta uma foto do dilatômetro e o detalhe do corpo de prova utilizado nos ensaios.



Figura 6. Dilatômetro LK02 - Adamel detalhando a zona de aquecimento do corpo de prova.

Os ensaios foram conduzidos sob vácuo onde as amostras foram primeiramente aquecidas numa taxa de 3°C/s até 900°C, mantido patamar de 10 minutos, e resfriadas até a temperatura ambiente nas seguintes taxas: 0,01°C/s; 0,02°C/s; 0,05°C/s; 0,5°C/s e 50°C/s. Para a determinação das temperaturas críticas AC1 e AC3, as amostras foram aquecidas em uma taxa mais lenta, que é de 0,05°C/s. As amostras ensaiadas no dilatômetro foram posteriormente preparadas metalograficamente para caracterização microestrutural e avaliação da sua dureza Vickers em um micro-durômetro com uma carga de 5 kg.

3 RESULTADOS

3.1 Curvas TRC dos Lingotes Produzidos em Escala Piloto

As Figuras 7 a 10 apresentam as curvas TRC dos aços para moldes plásticos que possuem sua composição química apresentada na Tabela 2, respectivamente, Lingotes 1 a 4. Nessas curvas é possível correlacionar às taxas de resfriamento utilizadas com a dureza final da microestrutura gerada.

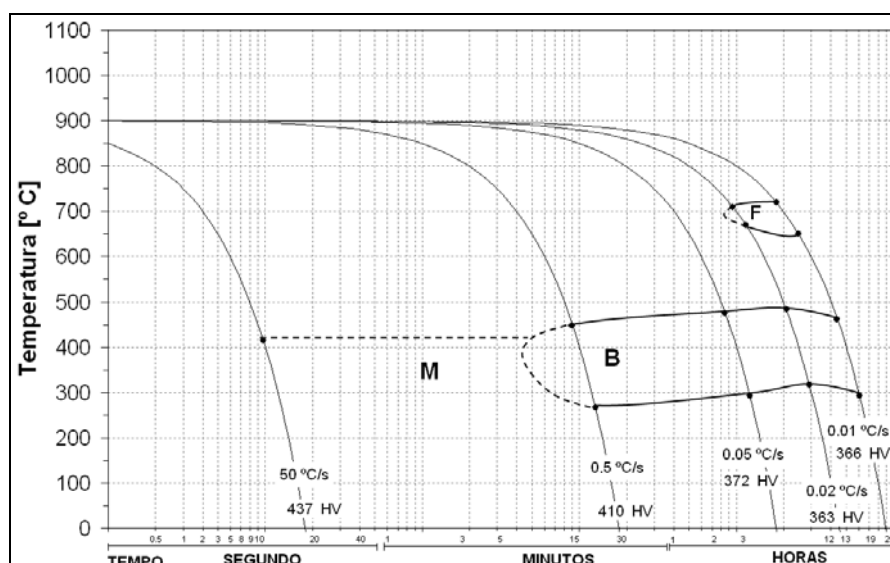


Figura 7. Curva TRC do Lingote 1, aço com 0,14% de Carbono.

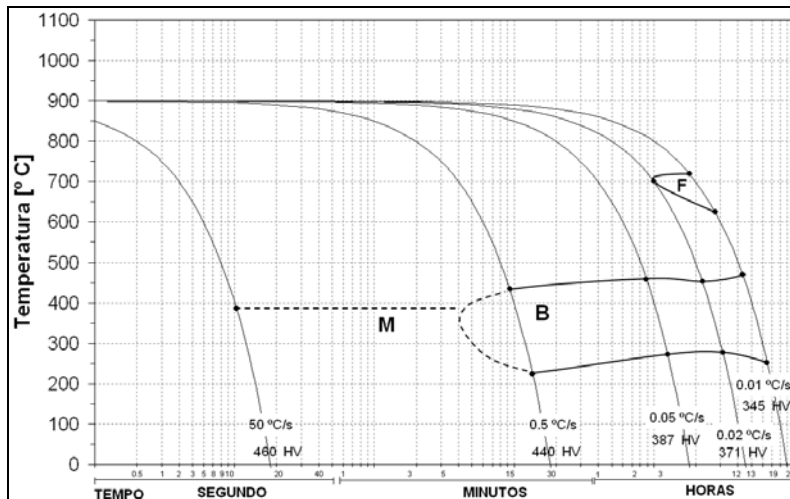


Figura 8. Curva TRC do Lingote 2, aço com 0,18% de Carbono.

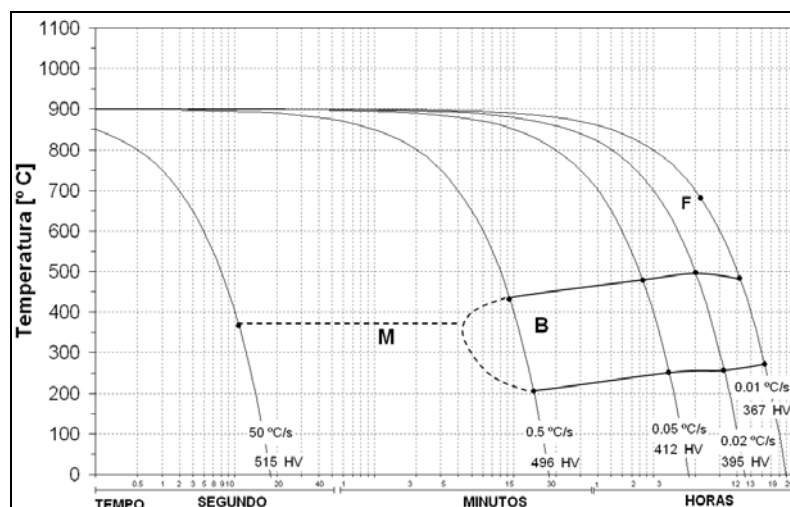


Figura 9. Curva TRC do Lingote 3, aço com 0,23% de Carbono.

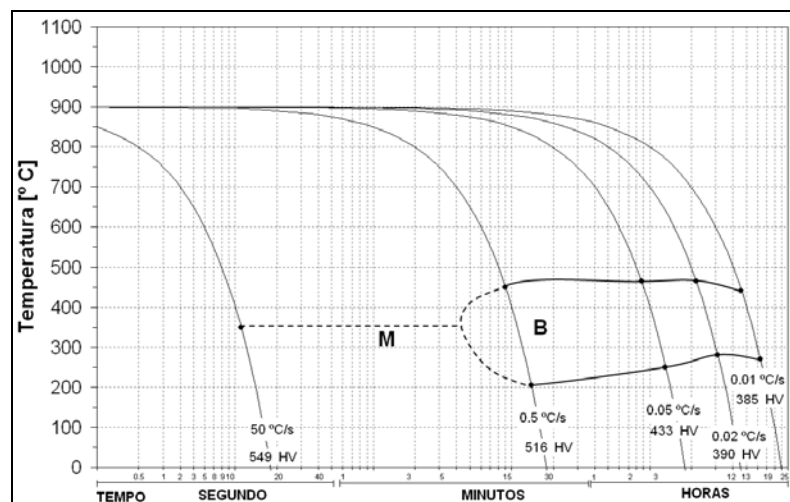


Figura 10. Curva TRC do Lingote 4, aço com 0,26% de Carbono.

Como é possível observar, os aços com teores de carbono mais elevados apresentam maior temperabilidade, ou seja, as frações volumétricas de ferrita formadas nas amostras submetidas a taxas de resfriamento mais lentas foram diminuindo, com o aumento do teor de carbono. Esse fato ocorreu até que no aço

com 0,26% de carbono (Lingote 4), mesmo quando submetido a uma taxa de resfriamento muito lenta, 0,01°C/s, a microestrutura formada foi 100% bainítica e com uma dureza de 385 HV.

A Tabela 3 apresenta as temperaturas críticas AC1, AC3 e Mi dos quatro materiais estudados. Como era de se esperar, com o aumento do teor de carbono há um decréscimo nos valores das temperaturas críticas.

Tabela 3. Temperaturas críticas dos materiais estudados

Temperaturas Críticas em °C			
Aços	AC1	AC3	Mi
Lingote 1	699	845	415
Lingote 2	681	826	385
Lingote 3	688	824	379
Lingote 4	680	813	350

3.2 Caracterização Microestrutural

As Figuras 11 a 14 apresentam as microestruturas dos aços identificados como Lingotes 1 a 4, que foram submetidos ao ensaio de dilatometria com as taxas de resfriamento de 0,01°C/s e 0,05°C/s. Nota-se que o diagnóstico do dilatômetro (curvas TRC acima), referente a formação de fases pró-eutotéides em algumas taxas de resfriamento, se comprovaram na análise microestrutural identificando essas fases como ilhas de ferrita pró-eutetóide, veja as indicações com setas vermelhas nas Figuras 11 a 13.

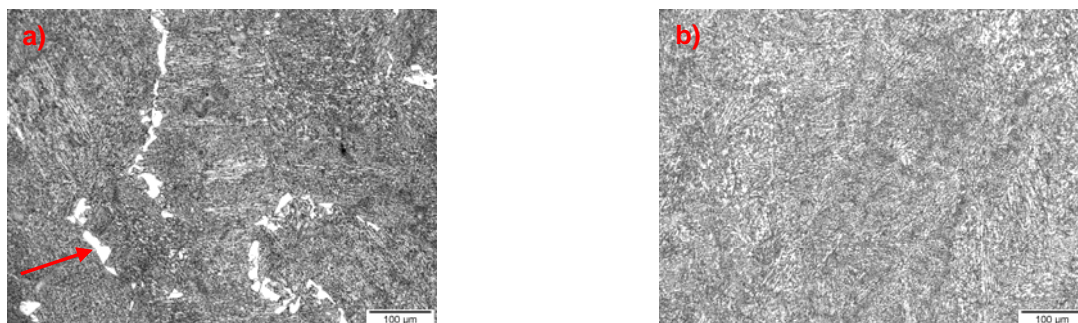


Figura 11. Microestrutura do Lingote 1, aço com 0,14% de Carbono. Taxas de resfriamento de: (a) 0,01°C/s; e (b) 0,05°C/s. A seta vermelha indica as ilhas de ferrita.

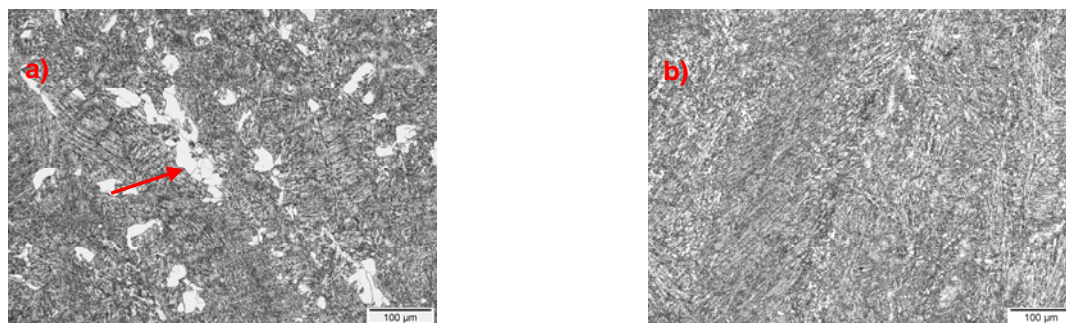


Figura 12. Microestrutura do Lingote 2, aço com 0,18% de Carbono. Taxas de resfriamento de: (a) 0,01°C/s; e (b) 0,05°C/s. A seta vermelha indica as ilhas de ferrita.

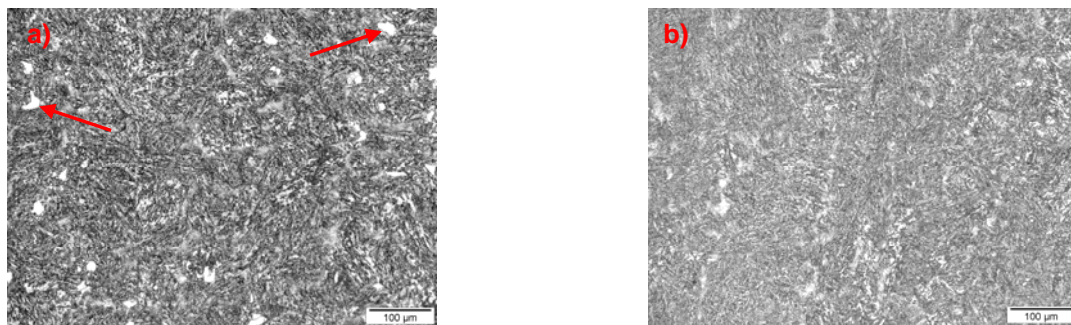


Figura 13. Microestrutura do Lingote 3, aço com 0,23% de Carbono. Taxas de resfriamento de: (a) 0,01°C/s; e (b) 0,05°C/s. A seta vermelha indica as ilhas de ferrita.

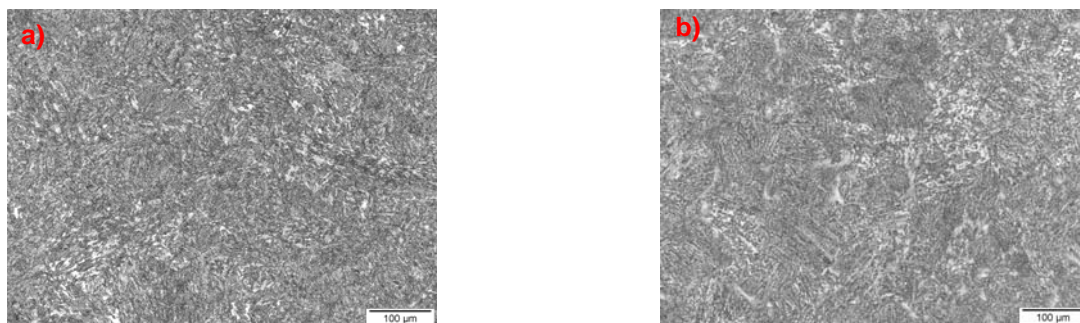


Figura 14. Microestrutura do Lingote 4, aço com 0,26% de Carbono. Taxas de resfriamento de: (a) 0,01°C/s; e (b) 0,05°C/s.

A Figura 15 apresenta um gráfico com os valores de dureza que cada aço atingiu, após sua austenitização a 900°C e resfriamento a 0,05°C/s conforme ensaiado no dilatômetro.

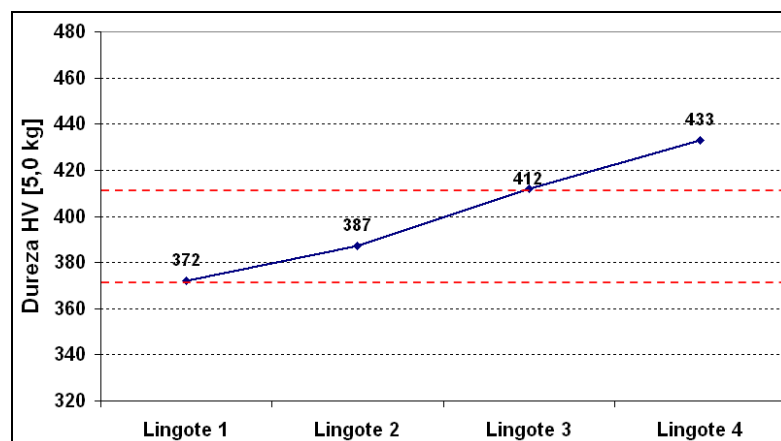


Figura 15. Dureza dos aços após resfriamento a 0,05°C/s.

4 DISCUSSÃO

Comparando as curvas TRC da literatura dos aços para moldes plásticos P20, 2738 e 2711 (Figuras 3 a 5), com as curvas dos aços propostos no presente trabalho (Figuras 7 a 10), nota-se que mesmo com teores bem inferiores dos elementos carbono e níquel esses materiais apresentaram excelente temperabilidade. Isso foi possível devido aos pequenos incrementos nessas novas ligas dos elementos Mn, Cr e Mo que como é conhecido na literatura,^(12,13) contribuem fortemente com a temperabilidade dos aços.

Assim, é possível reduzir custos com elementos de liga tais como o níquel, e os efeitos prejudiciais, que aços com médio teor de carbono estão susceptíveis, tais como: Presença de regiões segregadas principalmente no núcleo e cabeça de grandes blocos de aço, que afetam tanto a usinabilidade quanto o acabamento superficial (polibilidade e texturização); bem como as zonas termicamente afetadas com elevadas durezas após a soldagem.

Apenas as metalografias das amostras com taxas de resfriamento de 0,01°C/s e 0,05°C/s foram apresentadas, pois estas são as mais representativas para esse estudo. O resfriamento de 0,01°C/s, por ser o mais lento, facilitou a verificação da temperabilidade dos aços. Já a taxa de 0,05°C/s corresponde ao resfriamento que o núcleo de blocos entre 500 mm e 600 mm de espessura apresenta quando resfriado ao ar.⁽¹¹⁾

As microestruturas que se formaram após o resfriamento a 0,05°C/s, das quatro composições propostas nesse trabalho, foram 100% bainíticas (Figuras 11 a 14), o que assegura uma boa homogeneidade de dureza em cada material. Porém, nem todos os aços nessas condições, superaram a dureza inicialmente proposta no objetivo desse trabalho, que é entre 370 HV a 410 HV, vide as curvas TRC e a Figura 15.

Como o fornecimento de aços para moldes plásticos, geralmente ocorre em blocos que foram previamente temperados e revenidos, a composição química do aço denominado Lingote 4, foi a que mais se qualificou para a fabricação de aços para moldes plásticos de 370 HV a 410 HV de dureza. Essa composição apresentou uma dureza de 433 HV após seu resfriamento a 0,05°C/s, o que resulta na possibilidade, de que blocos temperados desse material, possam ter sua dureza reduzida através do tratamento térmico de revenimento, e mesmo assim permanecer dentro da faixa especificada para o aço DIN 1.2711.

As composições dos aços denominados Lingotes 1 a 3 possuem totais possibilidades para a fabricação de aços com menores especificações de dureza, como é o caso do P20 e DIN 1.2738 que é 28 HRC a 32 HRC (286 HV – 320 HV).

5 CONCLUSÕES

- Foram propostas composições químicas para possíveis aços para moldes plásticos com excelente temperabilidade, mesmo esses possuindo menores teores de carbono e níquel que os tradicionais aços DIN 1.2738 e DIN 1.2711;
- apesar do baixo teor de carbono e níquel dos aços denominados Lingotes 1 a 4, esses apresentaram boa temperabilidade pois possuem pequenas adições de elementos que altamente influenciam a temperabilidade dos aços, como o Cr, Mn e Mo;
- o aço denominado Lingote 4, foi o que apresentou as melhores características para um bom substituto do aço DIN 1.2711; e
- os demais aços denominados Lingotes 1 a 3, podem ser considerados possíveis alternativas a aços para moldes plásticos de menores durezas que o DIN 1.2711, tais como o P20 e DIN 1.2738.

REFERÊNCIAS

- 1 GEHRICKE, B.; SCHRUFF, I. Trends in Plastic Mould Steel Applications. In: JEGLITSCH, F.; EBNER, R. LEITNER, H. (org.). INTERNATIONAL CONFERENCE ON TOOLING, 5.,1999, **Proceedings...** Leoben: University of Leoben, 1999. p.83-92.

- 2 KONSTRUKTIONSBÜRO JAKOB. Disponível em: <<http://www.gojakob.de/>>. Acesso em: 1 mar. 2012.
- 3 HIPPENSTIEL, F. et al. **Handbook of Plastic Mould Steels**. Wetzlar: Edelstahlwerke Buderus AG, 2004. 328p.
- 4 VETTER, P.; HIPPENSTIEL, F. A new pre-hardened plastic mould steel as a tailored solution for large moulds. In: ROSSO, M; GRANDE, M. A. UGUES, D. (ed.) INTERNATIONAL CONFERENCE ON TOOLING: Tooling materials and their applications from research to market, 7., 2006, Turin, Italy. **Proceedings...** Turin: Politecnico di Torino, vol. 1, May 2006. p.317-324.
- 5 CORRE, S. et. al. Development of a new pre-hardened mold steel with improved machining, welding, polishing and conducting capacities. In: JEGLITSCH, F.; EBNER, R.; LEITNER, H. (ed.). INTERNATIONAL CONFERENCE ON TOOLING, 5., 1999, **Proceedings...** Leoben: University of Leoben, 1999. p.677-683.
- 6 VILLARES METALS S.A. **Ficha técnica do aço VP20ISO**. Disponível em <www.villaresmetals.com.br>. Acesso em: 1 fev. 2012.
- 7 VILLARES METALS S.A. **Ficha técnica do aço N2711M**. Disponível em <www.villaresmetals.com.br>. Acesso em: 1 fev. 2012.
- 8 ROBERTS, G. A; KRAUSS, G; KENNEDY, R. L. Tool steels. 5.ed. Materials Park, OH: ASM International, 1998. 364p.
- 9 BACALHAU, J. B.; BARBOSA, C. A. Desenvolvimento de aço inoxidável de alta usinabilidade para moldes plásticos – VIMCOR. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 66. 2011, São Paulo.. **Anais...**, São Paulo: ABM, p. 2580-2591, 2011.
- 10 STAHL EISEN LISTE. Register of European Steels. Stahleisen-Verlag. 11.ed. 2003. 360p.
- 11 LUO, Y.; et al. Microstructure and properties of big section microalloyed steel in unquenched and untempered for moulds. In: ROSSO, M; GRANDE, M. A. UGUES, D. (ed.) INTERNATIONAL CONFERENCE ON TOOLING: Tooling materials and their applications from research to market, 7., 2006, Turin, Italy. **Proceedings...** Turin: Politecnico di Torino, vol. 1, May 2006. p.123-130.
- 12 THELNING, K. E.; Steel and Its Heat Treatment, 2nd edition, 1984, Butterworths
- 13 SILVA, A. L. C., MEI, P. R., Aços e ligas especiais. 2.ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2006. 646 p.