



AVALIAÇÃO DO MOLDE PARABÓLICO NA MÁQUINA DE LINGOTAMENTO CONTÍNUO DA V & M DO BRASIL¹

Rodrigo Camargos Barroso²
Rubens de Paula Machado³
César Nery de Abreu⁴
Antônio de Paula Gandra⁵
Fabrício Batista Vieira⁶
Luiz Fernando da Silva⁷

Resumo

A qualidade da pele solidificada na saída do molde é um dos pontos mais críticos do lingotamento contínuo interferindo diretamente no sucesso do processo, pois uma pele mal formada pode causar diversos danos, principalmente o rompimento do veio, gerando perda de material, atrasos na produção e custos adicionais de limpeza e manutenção. O grande responsável pela correta formação desta casca é o molde de cobre. Sua geometria, tamanho e conicidade tem a função básica de promover uma troca de calor adequada que garanta um bom desempenho do lingotamento. E é com foco na melhoria deste desempenho que a V & M do BRASIL adquiriu quatro moldes parabólicos para a realização de experimentos. Os resultados mostraram barras com temperaturas superficiais mais baixas por causa da maior extração de calor promovida pelo molde parabólico, permitindo elevar a velocidade de lingotamento a valores superiores a 3,0m/min, sem que houvesse nenhum rompimento do veio ou piora na qualidade da barra. Conclusão: incremento da produtividade do lingotamento em aproximadamente 5,4t/h por veio.

Palavras-chave: Molde parabólico; Molde cônico; Lingotamento contínuo de barras.

PARABOLIC MOLD EVALUATION IN THE CONTINUOUS CASTING MACHINE OF V & M DO BRASIL

Abstract

The quality of solidified skin after the end of the mold, one of the most critical point of continuous casting, interfering directly in the process success. Bad skin can cause several damages, mainly, the strand breakout, resulting in material lost, production delay and additional cleaning and maintenance costs. The greatest responsible for the correct skin growing is the copper mold. Its geometry, size and conicity have the basic function of promoting heat transfer that warrants satisfactory casting performance. Aiming this performance, V & M do BRASIL purchased four parabolic molds to carry out tests. The results showed that the parabolic mold produced the coldest bar based on the most efficient heat transfer. Because of this, it was possible to increase the casting speed to over 3,0m/min, without strand breakout or superficial defects in the bar. Conclusion: there was an improvement in productivity of around 5,4t/h per strand.

Key words: Parabolic mold; Conic mold; Bars continuous casting.

¹ Contribuição técnica ao 42º Seminário de Aciaria – Internacional, 15 a 18 de maio de 2011, Salvador, BA, Brasil.

² Engenheiro Metalurgista - MsC, Gerência de Qualidade e Pesquisa Siderúrgica da V & M do Brasil, Belo Horizonte, MG.

³ Coordenador Técnico do Lingotamento Contínuo, Gerência de Aciaria da V & M do Brasil, Belo Horizonte, MG.

⁴ Engenheiro Civil, Gerência de Aciaria da V & M do Brasil, Belo Horizonte, MG.

⁵ Supervisor do Lingotamento Contínuo, Gerência de Aciaria da V & M do Brasil, Belo Horizonte, MG.

⁶ Engenheiro Metalurgista - MsC, Gerência de Aciaria da V & M do Brasil, Belo Horizonte, MG.

⁷ Engenheiro Metalurgista - MsC, Gerência de Qualidade e Pesquisa Siderúrgica da V & M do Brasil, Belo Horizonte, MG.



1 INTRODUÇÃO

A demanda crescente por aumento de produtividade de produtos (e serviços) de qualidade a um custo baixo, feitos com segurança e respeito ao meio ambiente é uma realidade em todos os setores da sociedade.

E não podia ser diferente na indústria siderúrgica. De acordo com Barcellos,⁽¹⁾ a siderurgia tem procurado cada vez mais desenvolver processos onde a produção dos aços seja o mais próximo possível do produto final, aliando qualidade e maior valor agregado, tendo o lingotamento contínuo como um dos principais representantes.

Essa qualidade e produtividade esperadas dependem significativamente das condições iniciais de solidificação que ocorre no molde. Aliás, a qualidade da pele solidificada na saída do molde é um dos pontos mais críticos do lingotamento contínuo interferindo diretamente no sucesso do processo, pois uma pele mal formada pode causar diversos danos, principalmente o rompimento do veio (*breakout*), gerando perda de material, atrasos na produção e custos adicionais de limpeza e manutenção.

Ciccuti⁽²⁾ relata que a correta formação desta casca sólida, capaz de resistir a pressão ferrostática e ainda possuir uma superfície externa isenta de defeitos, está diretamente relacionada com o controle da transferência de calor no molde, que é influenciada por vários fatores: velocidade de lingotamento, teor de carbono do aço, tipo do pó fluxante, geometria, tamanho e conicidade do molde.

Spim⁽³⁾ mostra de maneira esquemática através da Figura 1, como a complexa transferência de calor é caracterizada por diferentes modos de extração, que podem ocorrer isolada ou simultaneamente. São eles:

- condução e convecção no metal líquido;
- condução na casca de aço sólido;
- condução, convecção e radiação na região na camada de ar formada entre o molde e o metal (*gap*);
- condução na parede do molde; E
- convecção e radiação na região do ambiente (água de refrigeração).

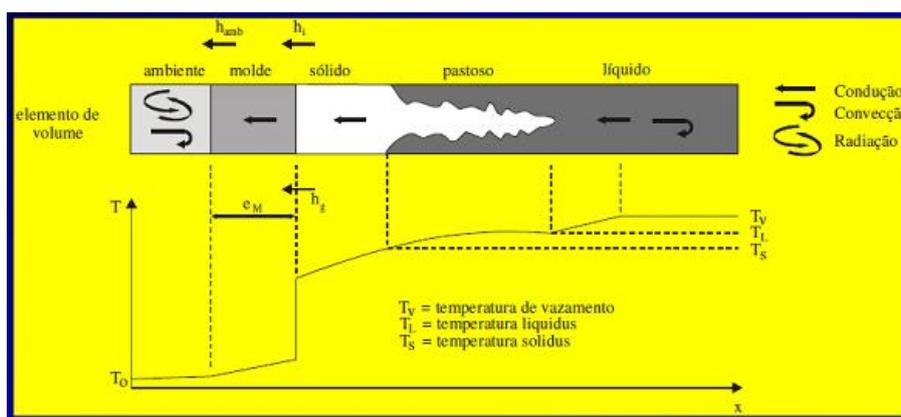


Figura 1 – Mecanismos de transferência de calor no sistema metal molde.⁽³⁾

Independentemente do(s) mecanismo(s) atuantes, o fato é que, de acordo com Garcia⁽⁴⁾, a espessura da pele solidificada cresce à medida que o molde é resfriado que, devido à sua contração volumétrica, se afasta da parede do molde (que também pode estar se expandindo em função de seu aquecimento) criando um



vazio, um *gap* de ar. Com isso, a extração do calor, diminui progressivamente a partir do menisco até a saída do molde, conforme ilustrado pela Figura 2.

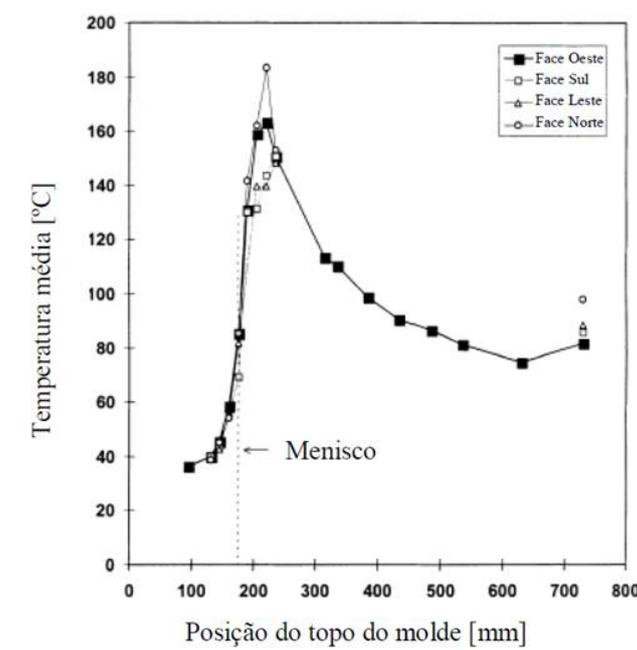


Figura 2 – Perfil das temperaturas médias nas quatro faces do molde de um aço com 0,32%C, Ti e B.⁽⁴⁾

Nota-se que, no final do molde, houve um aumento da temperatura média provocado, talvez, pelo melhor contato entre o aço e o molde devido a elevada conicidade do molde, segundo Barcellos.⁽¹⁾

Essa é a premissa do molde parabólico. Por causa de seu *taper* diferenciado, na forma de uma parábola, a área de contato entre a pele solidificada do aço e o molde é ampliada, o que minimiza o *gap* de ar existente e, com isso, melhora o processo de transferência de calor entre eles, culminando num desempenho superior da máquina de lingotamento contínuo, com menor risco de rompimentos (*breakouts*) e defeitos superficiais. A Figura 3 ilustra o perfil do molde parabólico em comparação ao molde cônico.

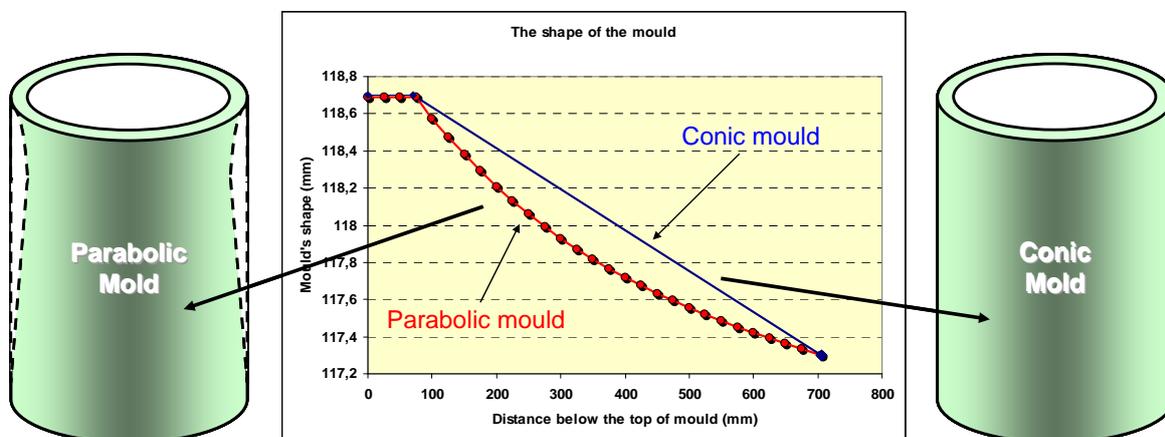


Figura 3 – Comparativo do *taper* do molde parabólico e cônico.⁽⁵⁾



Barcellos,⁽¹⁾ através da Figura 4 a seguir, reforça essa idéia de superioridade do molde com relação a extração de calor.

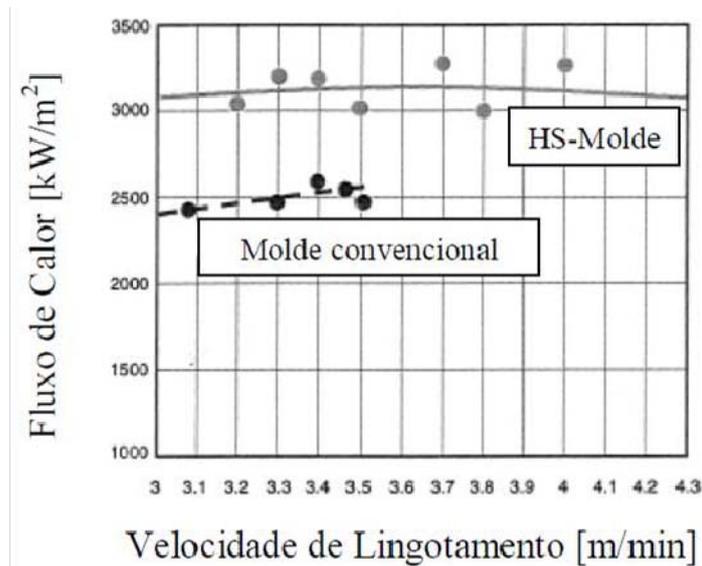


Figura 4 – Comparativo do fluxo de calor entre o molde parabólico (HS-molde) e o molde convencional.⁽¹⁾

2 METODOLOGIA

A atual máquina de lingotamento contínuo da V & M do Brasil é uma máquina curva com 10,5 m de raio composta de um distribuidor de 18t, dois carros porta-painel, quatro veios para barras redondas nos diâmetros 180mm, 194mm e 230mm, quatro zonas de resfriamento secundário por sprays, além de oxicortes, carimbadora e um leito caminhante para resfriamento das barras. Cada veio é constituído de molde cônico de cobre de 705mm de comprimento refrigerado à água, *vibromold* e agitadores eletromagnéticos superior, no molde e inferior, no final da refrigeração secundária. Tudo automatizado e controlado via sistema supervisório.

Mesmo com toda essa tecnologia, em busca da melhoria contínua, a V & M do Brasil adquiriu quatro moldes parabólicos, 180 mm x 700 mm / 180 mm x 800 mm / 230 mm x 700 mm e 230 mm x 800 mm (diâmetro x comprimento), para que fossem realizados testes comparativos com o atual molde cônico com o objetivo de melhorar o desempenho do equipamento e, é claro, reduzir os índices de defeitos na barra solidificada e nos tubos.

Esses moldes parabólicos (P800 e P700) foram instalados nos veios intercalados com os moldes cônicos (C700) conforme ilustrado pela figura 5 abaixo.

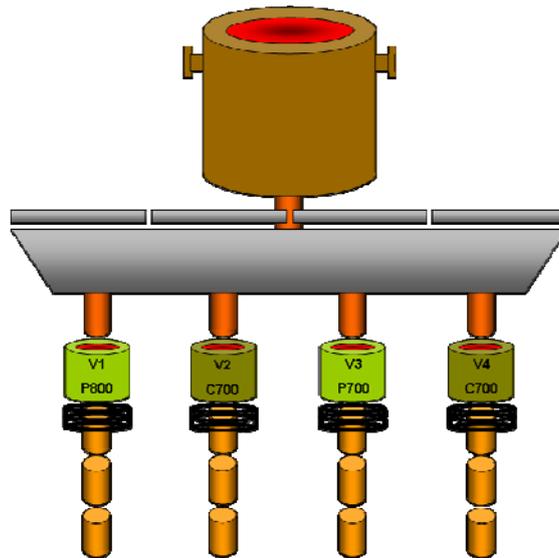


Figura 5 – Representação esquemática da disposição dos moldes parabólicos na máquina de lingotamento contínuo para execução dos experimentos.

Uma vez iniciado e estabilizado o lingotamento, as velocidades, iguais para todos os veios, foram sendo aumentadas gradativamente até alcançar o valor máximo permitido para aquela situação em função da temperatura do banho, do tipo de aço e do diâmetro da barra produzida. A partir deste ponto, com base nas medições de temperatura da superfície das barras, na saída do molde, realizadas por um pirômetro a laser, a velocidade dos veios que continham o molde parabólico foi novamente elevada até o limite de segurança da máquina, para que não houvesse rompimentos.

Os demais parâmetros de processo (refrigeração primária e secundária, agitação eletromagnética, nível de aço no molde, frequência de oscilação, qualidade e quantidade de pó fluxante etc.) que pudessem influenciar de alguma forma a transferência de calor, não foram alterados.

Após o resfriamento das barras, amostras, representando cada alteração de velocidade, foram cortadas e levadas ao laboratório para análises.

Para a execução do experimento, foram selecionados quatro diferentes tipos de aço em função de seu teor de carbono: 0,11%C, 0,20%C, 0,34%C e 0,42%C.

3 RESULTADOS

Como já era esperado, não foram observadas alterações nas refrigerações primárias e secundárias, conforme ilustrado pela figura 6 a seguir, pois essa era uma das prerrogativas do experimento. Para todos os tipos de molde e qualidade testados, os resultados não variaram mesmo com a mudança da velocidade, além de se manterem dentro da faixa. Neste experimento, a faixa especificada da refrigeração primária foi de 1940L/min a 1960L/min, independente da velocidade, enquanto para a refrigeração secundária, o valor visado foi de 50L/min por metro lingotado.

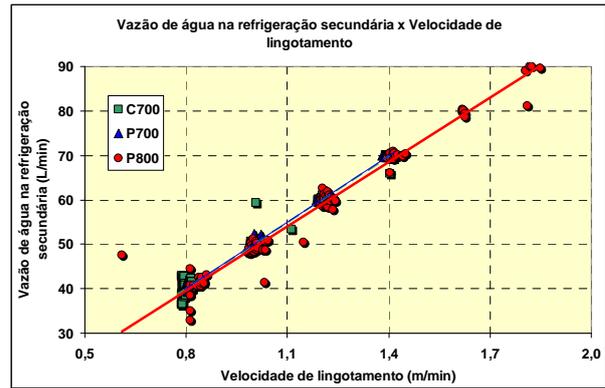
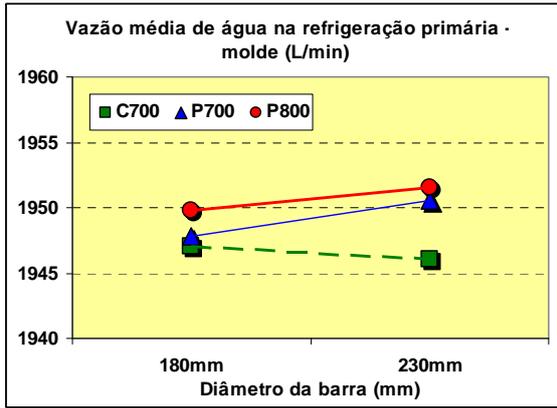


Figura 6 – Resultados da refrigeração primária e secundária para todos os aços.

Apesar da refrigeração ter sido a mesma, as barras, na saída do molde, apresentaram temperaturas diferentes. De acordo com a Figura 7 as barras oriundas do molde parabólico obtiveram temperaturas superficiais inferiores as de seus pares do molde cônico (cerca de 15°C a menos).

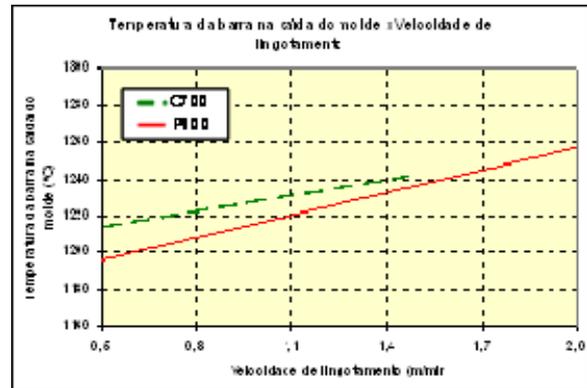
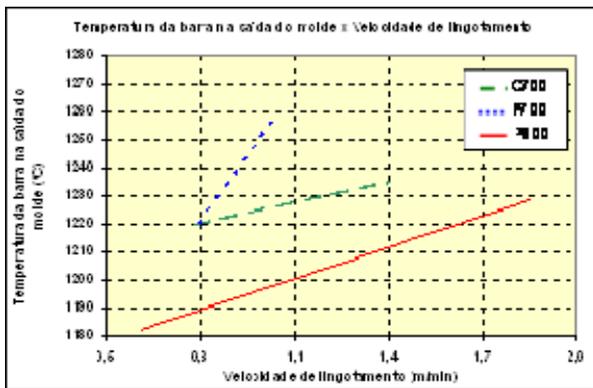


Figura 7 – Resultados da temperatura da barra na saída do molde para aços com 0,11%C e 0,20%C respectivamente.

Por outro lado, o delta de temperatura da água de refrigeração do molde (diferença entre a temperatura da água de saída e entrada) ficou ligeiramente mais elevado para o molde parabólico, conforme ilustrado pela figura 8, em todas as velocidades praticadas. Este aumento foi de 0,5°C a 0,8°C em média, apesar da grande variabilidade verificada entre as medições.

Ou seja, esses resultados mostram que realmente houve uma maior extração de calor da barra em função, apenas, do tipo de molde (parabólico ou cônico), uma vez que os demais parâmetros se mantiveram estáveis.



42º Seminário de Aciaria Internacional

42nd Steelmaking Seminar - International

15 a 18 de maio de 2011 / May 15th - 18th, 2011

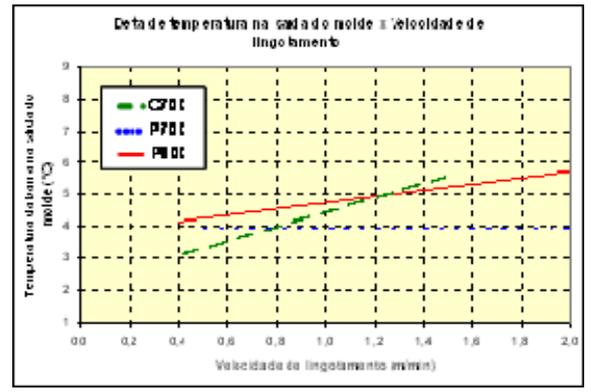
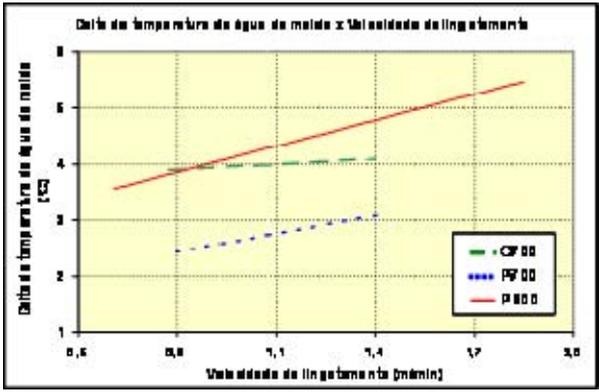


Figura 8 – Resultados da temperatura da água de refrigeração do molde (delta T) para aços com 0,11%C e 0,20%C respectivamente.

Outra forma de confirmar essa assertiva foi a análise da leitura da temperatura superficial das barras após a câmara de spray, utilizando um pirômetro manual, conforme ilustrado pela figura 9 a seguir. Novamente, a barra que apresentou a menor temperatura foi aquela que estava no veio que continha o molde parabólico.

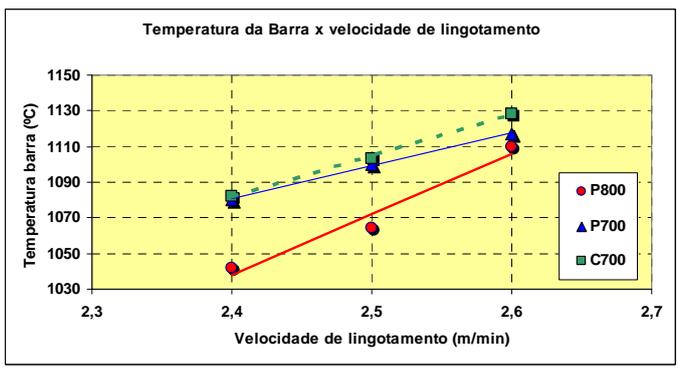
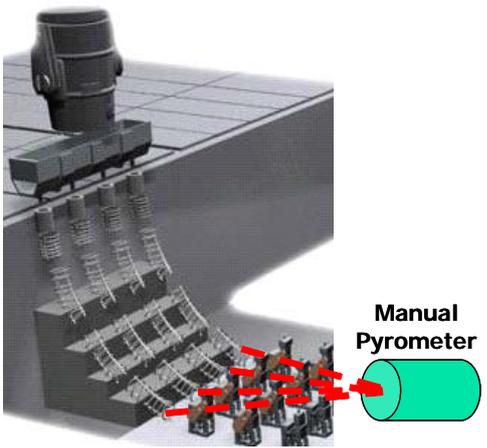


Figura 9 – Resultados da temperatura superficial da barra após a câmara de spray para aço com 0,20%C.

Com uma barra de temperatura mais baixa, que pode ser traduzida em uma pele solidificada mais grossa na saída do molde, tornou-se factível a elevação da velocidade de lingotamento a valores superiores a 3,0 m/min, significando um aumento de aproximadamente 23% do valor máximo praticado no experimento (indicado na Figura 10) com a seta preta).

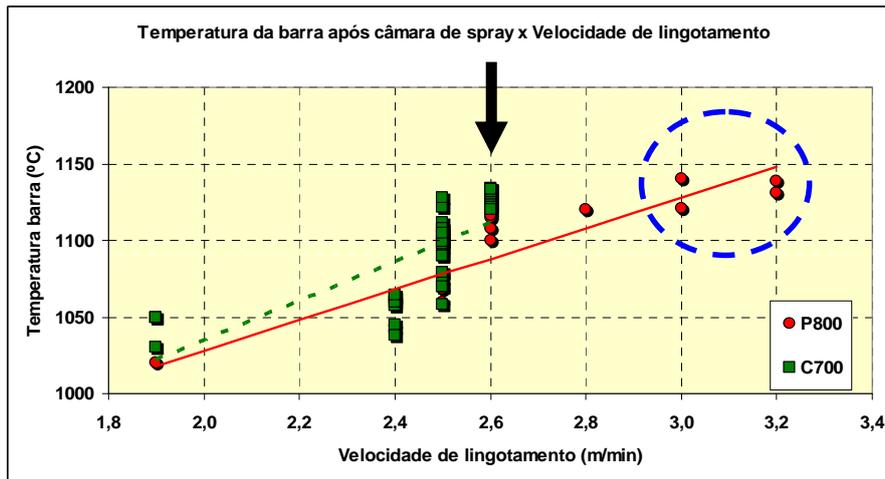


Figura 10 – Variação da velocidade de lingotamento para aço com 0,20%C.

Ainda, ressalta-se que, apesar de toda essa variação, a qualidade do material não piorou. A superfície das barras se manteve com a mesma aparência, conforme pode ser observado na Figura 11, e o índice de defeitos de matérias primas detectados após laminação das barras (nos tubos) reduziu até 17% para alguns casos. E, principalmente, não houve *breakout* em nenhum dos experimentos, mesmo nas velocidades mais altas.

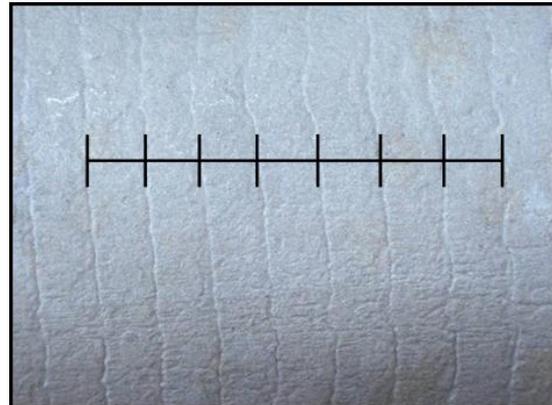


Figura 11 – Aspecto superficial das barras de aço produzidas com o molde parabólico na banca de inspeção e detalhe das marcas de oscilação após jateamento.

Resumindo, este aumento na velocidade de lingotamento sem perda de veio e geração adicional de barras defeituosas pôde propiciar um ganho potencial de 5,4 t/h por veio para a máquina da V & M do Brasil.

4 CONCLUSÃO

Este estudo procurou avaliar o desempenho da máquina de lingotamento contínuo da V & M do Brasil utilizando o molde parabólico em substituição ao atual molde cônico. Para tanto, os experimentos foram conduzidos diretamente na produção com todas as suas variáveis e interferências. Apesar disso, os resultados mostraram que o molde parabólico possui, sim, como abordado pela literatura, uma maior eficiência na troca de calor, promovendo uma barra com uma pele solidificada mais espessa na saída do molde, garantindo, com isso, uma melhor qualidade superficial e,



principalmente, uma redução considerável na ocorrência de *breakouts* na aciaria. O ganho de produtividade, em mais de 5 t/h por veio, é uma consequência natural dessa performance superior que pode ser transformada em aumento de produção ou minimização da perda de ritmo, se necessário for, sem afetar a qualidade das barras e tubos produzidos com essa tecnologia.

REFERÊNCIAS

- 1 BARCELLOS, V. K. 2007. *Análise da Transferência de Calor Durante a Solidificação de Aços em Moldes no Lingotamento Contínuo*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, PPGEM/Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), 131pp.
- 2 CICCUTI, C.; SCHWERDTFEGGER, K. 2008. *Overview of Metallurgical Know how in the Mold of Continuous Casting for Slabs, Squares and Rounds*. Continuous Casting International Course na V & M do BRASIL, Belo Horizonte, Minas Gerais, Novembro, 553pp.
- 3 SPIM, J. A. 2006. *Solidificação no Lingotamento Contínuo*. Apostilas de Treinamento sobre Lingotamento Contínuo. Laboratório de Fundição da Universidade Federal do Rio grande do Sul (UFRGS), 104pp.
- 4 GARCIA, A. 2001. *Solidificação: Fundamentos e Aplicações*. Campinas SP Editora da Unicamp.
- 5 PREVOST, B.; LADEUILLE, L.; PASSAGLI, D. ; BELLET, M. 2007. *Project of Parabolic Mold*. Relatório Técnico do Grupo Vallourec, 78 pp.