

COMO A CONDIÇÃO DE OPERAÇÃO DE RESFRIAMENTO EM UMA NOVA MÁQUINA DE LINGOTAMENTO CONTÍNUO CONTRIBUI PARA O DESEMPENHO DAS LANÇAS AIR MIST*

Ludmila Vieira da Silva Matos¹

Resumo

O presente artigo investigou como a condição de operação das zonas de resfriamento em máquina de lingotamento de placas contribui para o desempenho de lanças *air mist*. Tal investigação foi realizada no laboratório da Spraying Systems Brasil a partir das premissas de projeto de uma nova máquina de lingotamento e um novo conceito de lança *air mist*: menor consumo de ar comprimido, amplo *turndown* e qualidade de cobertura por toda a curva de operação do resfriamento. As curvas de performance foram montadas para diferentes condições de utilização de ar comprimido: de 1,5 a 4,5bar de pressão constante. Cada lança teve das vazões mínimas às máximas de água ensaiadas. A qualidade do perfil do jato produzido foi verificada para cada ponto das curvas obtidas, em mesa de distribuição no laboratório da Spraying Systems. Com as imagens em mãos, foi possível selecionar aquelas condições de vazão de água e pressão de ar comprimido com melhores perfis de jato e cobertura. Como resultado, a fabricante da máquina pode validar e/ou modificar a curva de trabalho de resfriamento da máquina e garantir as melhores condições do perfil do jato e uniformidade de resfriamento.

Palavras-chave: Lingotamento Contínuo; Resfriamento; Lança *air mist*.

HOW THE COOLING OPERATIONAL CONDITION IN A NEW CONTINUOUS SLAB CASTER MACHINE CONTRIBUTES TO THE AIR MIST LANCES PERFORMANCE

Abstract

The present article features an investigation of how the cooling operational condition in a new continuous slab caster machine contributes to the air mist lances performance. The research was carried out at Spraying Systems Laboratory, in São Bernardo do Campo/SP, Brazil. The design of the new continuous slab caster machine had some premises for the new air mist nozzles, such as: lower consumption of compressed air, wide flow rate turndown and coverage quality throughout the air mist lance operational curve. Performance curves were set up for different compressed air pressure conditions: 1.5 to 4.5bar. With the images in hand, it was possible to select those conditions of water flow and compressed air pressure with better jet profiles and coverage. As a result, the machine manufacturer can validate and / or modify the machine cooling working curve and ensure the best conditions for uniform cooling.

Keywords: Continuous casting; cooling; air mist nozzle.

¹ Engenharia Mecânica, Gerente de Produto, Spraying Systems, São Bernardo do Campo, São Paulo, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Dentre os vários mecanismos de transferência de calor no resfriamento secundário de lingotamento contínuo, o contato direto com a água de resfriamento, dado em vazão específica de água ($l \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$) é o principal parâmetro de controle em uma máquina de lingotamento [1]. Uma vez conhecidos o tipo de aço, as dimensões da placa e a velocidade de lingotamento, a vazão específica de água é distribuída ao longo dos segmentos da máquina e bicos spray são os dispositivos finais de aplicação da água sobre o produto lingotado [1].

Usualmente, produtos tipo placa utilizam bico atomizados a ar comprimido para o resfriamento secundário [2]. Chamados lanças *Air Mist*, o bico atomizado é um projeto mecânico de orifícios calibrados desde as câmaras internas até a ponta, criando condições ideais de atomização de fluido refrigerante [3].

A atomização é o nome dado para o efeito de quebra da massa de água que se desloca com velocidade em partículas menores, evoluindo desde cordões a gotas de pequeno diâmetro. Esse efeito é obtido pela interação de fases, líquida e gasosa, e é influenciado por características como densidade, velocidade, tensões superficiais dos fluidos, entre outros [3]. Um exemplo é a atomização hidráulica que ocorre quando o jato de água, saindo do orifício do bico, interage com o ar atmosférico.

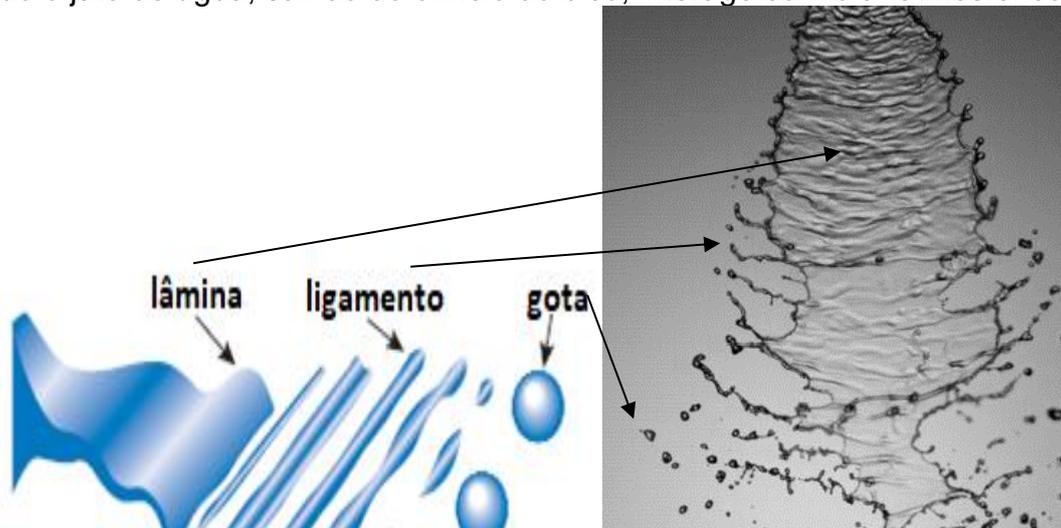


Figura 1 – Atomização do fluido em montatdo com o ar.

Quando a atomização ocorre dentro da câmara de mistura de ar comprimido e líquido, potencializa-se a quebra da lâmina de água em gotas, o que produz gotas com diâmetro bem menores, conseqüentemente, maior número de gotas e maior superfície de contato entre fases, líquido e gás [3]. Além disso, a atomização em câmara de mistura promove maior velocidade e maior impacto ao jato atomizado que sai da ponta da lança *air mist*.

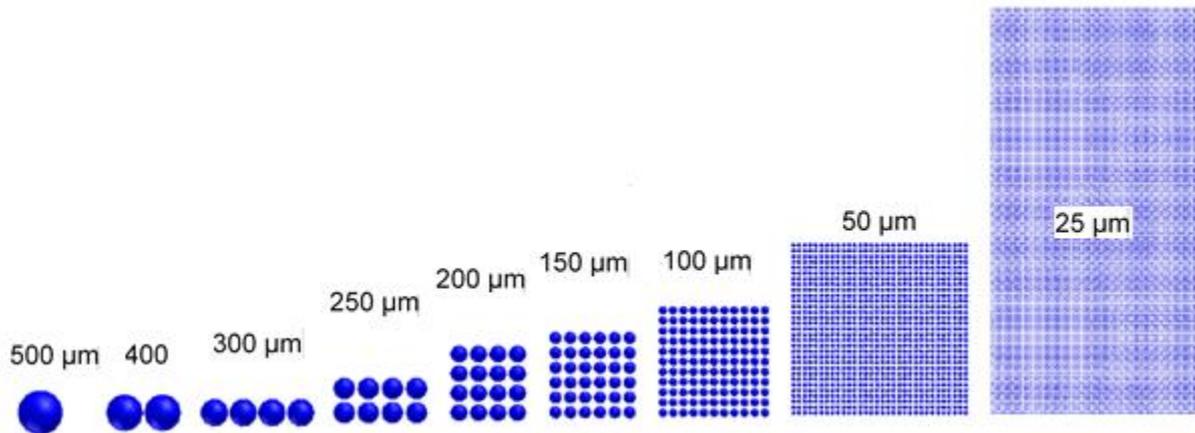


Figura 2 – Relação de redução de diâmetro de gota x quantidade de gota x superfície de contato (fora de escala para melhor efeito didático)

Em condições de resfriamento, gotas menores e maior área de superfície de contato potencializam o efeito de transferência de calor [3]. Especialmente no caso de resfriamento em lingotamento contínuo, a maior velocidade do jato atomizado é fundamental para romper a camada de vapor que se forma na face do produto lingotado e tem característica isolante, prejudicando a transferência de calor.[4]

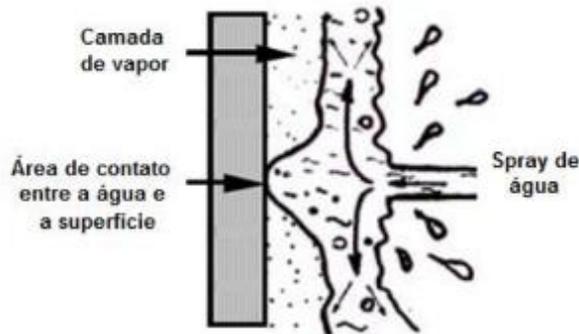


Figura 3 – Diagrama de formação da camada de vapor na face de troca térmica

No entanto, há uma relação ideal de água e ar comprimido, para qual a câmara de mistura é projetada, assim como dimensionais dos orifícios calibrados internos à lança *air mist*. Para definir essa relação de massa de fluidos interagindo na câmara de mistura, a Spraying Systems constrói a curva de performance para cada modelo de lança *air mist*.

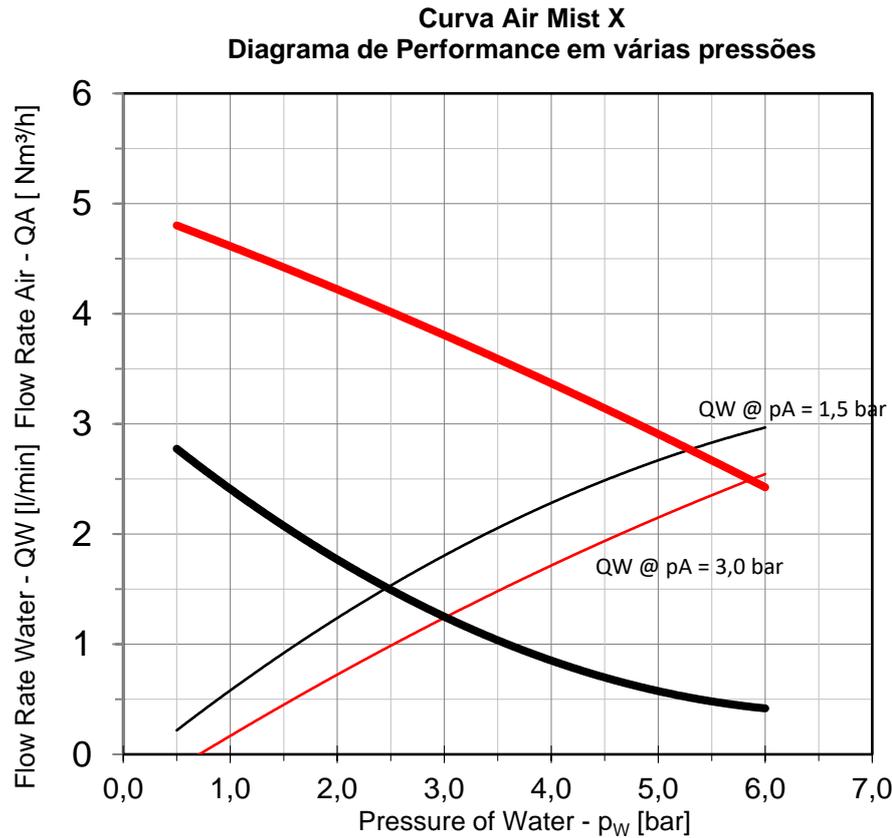


Figura 4 – Exemplo de curva de bico spray *Air Mist*
Fonte: Spraying Systems

Para cada ponto da curva de performance, há um resultado de atomização na ponta da lança que produz: uma área de distribuição de água, a uniformidade de distribuição de água nessa área e a massa distribuída nessa área.

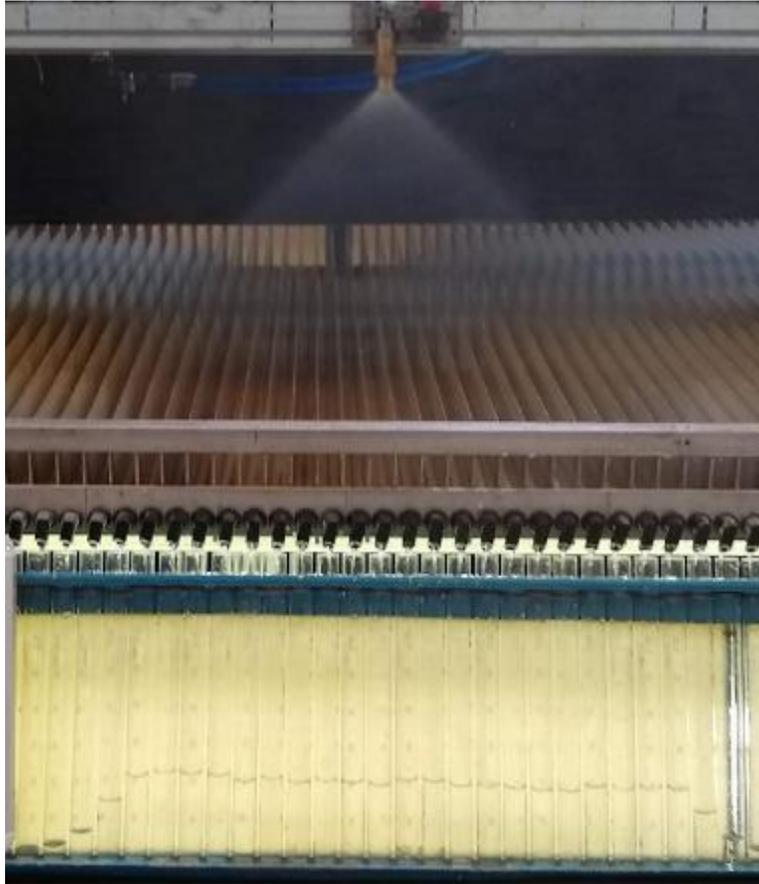


Figura 5 – Equipamento de laboratório da Spraying Systems para aferição de perfil de jato
Fonte: Spraying Systems

A principal ferramenta para que se possa construir um sistema automático de aplicação de vazão específica de água no resfriamento secundário em lingotamento contínuo é a curva de performance da lança *air mist* selecionada para a máquina. Apesar de usualmente os fabricantes de máquinas de lingotamento utilizarem as curvas de performance em seus programas, aspectos de qualidade de padrão de jato, cobertura e uniformidade não são observados. Como resultado, algumas condições de operação de resfriamento da máquina não produzem as melhores condições de cobertura e problemas de qualidade oriundos de sobre e sub resfriamento são observados nos produtos lingotados.



Figura 6 – Exemplo de perfil de jato não ideal pela não uniformidade das bordas carregadas
Fonte: Spraying Systems

Para promover a correta interpretação das curvas de performance de lanças *air mist* e mitigar problemas de qualidade por condições não ideais de resfriamento, a Spraying Systems abre seu laboratório para usinas siderúrgicas e testa essas condições em bancada, na fábrica em São Bernardo do Campo/SP. O presente artigo é fruto de um estudo realizado para uma nova máquina de lingotamento a ser montada em um usina siderúrgica no Brasil.

2 DESENVOLVIMENTO

O projeto de máquina de lingotamento envolve premissas de produtividades que se traduzem em velocidades de lingotamento desejadas e taxas de resfriamento necessárias. Determinada a vazão específica de água para a transferência de calor do resfriamento secundário, tem-se uma definição inicial de massa de água para a qual os bicos tipo *Air Mist* serão projetados. Como existem velocidades de lingotamento mínimas e máximas, é necessário que o bico *Air Mist* seja versátil o suficiente para atender vazões mínimas e máximas projetadas para a máquina. Os bicos *Air Mist* são projetados para variações amplas entre vazões mínimas e

máximas, chamado *turn down*, o que permite operações de lingotamento sem *set up* de resfriamento em função das variações de velocidade, dimensional e tipo de aço. Tendo em mãos as vazões mínimas e máximas por zonas do lingotamento, os bicos *Air Mist* foram selecionados e levados ao laboratório da Spraying Systems para avaliação de distribuição por toda a curva de operação selecionada para a máquina. A fim de conhecer a característica do jato produzido e a previsão da uniformidade de resfriamento, todos os pontos de operação de vazão definidos para testes foram avaliados a 1.5, 2, 2.5, 3bar para uma das curvas de operação da máquina, curva esta denominada “C” e imagens de pontos e transições de operação na sequência de figuras de 7 a 14.

Tabela 1: Dados básicos do bico *spray Air Mist* Curva C

Curva C
Vazão mínima pretendida de água: 4,60l/min
Vazão máxima pretendida de água: 28,0l/min
Turn down obtido: 1 para 6

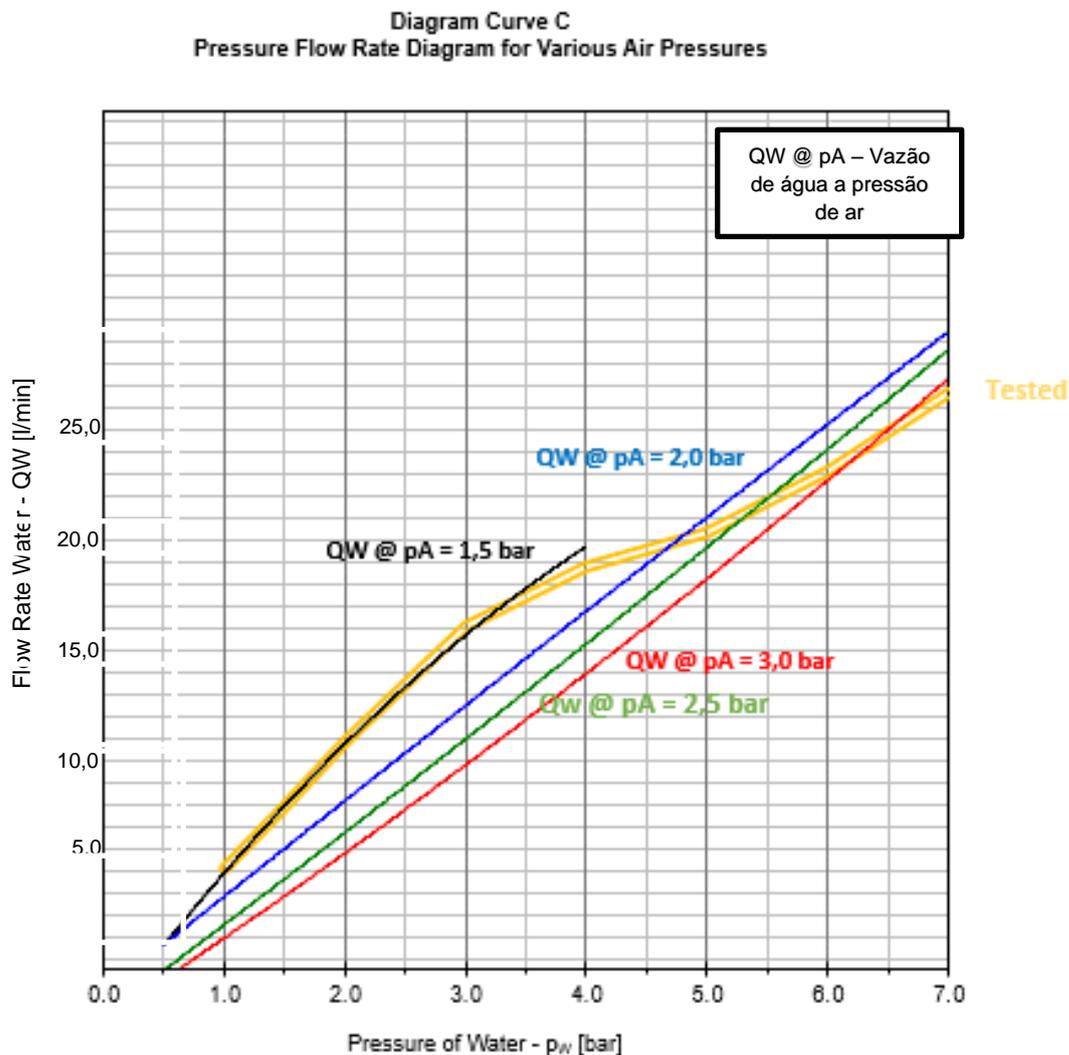


Figura 7: Curva selecionada para a máquina a partir de teste de qualidade de distribuição em comparação com as curvas do bico para diferentes pressões de ar comprimido.

Fonte: Spraying Systems

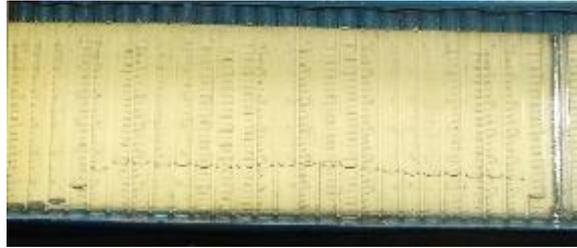
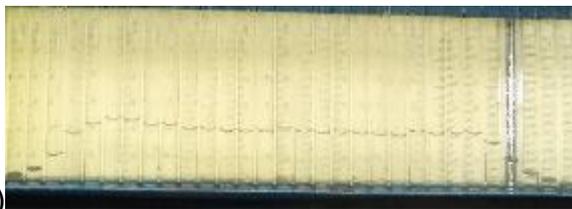


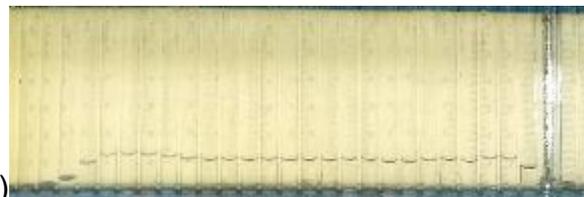
Figura 7: 4,60l/min de água por Bico Air Mist e 1,5bar de ar comprimido
Fonte: Spraying Systems



Figura 8: 7,70l/min de água por Bico Air Mist e 1,5bar de ar comprimido
Fonte: Spraying Systems



a)



b)

Figura 9: Primeiro ponto de transição da curva da máquina em função da qualidade de distribuição do bico *spray Air Mist*: a) 10,90l/min e 1,5bar com bordas mais carregadas e b) 9,0l/min a 2,0bar de ar comprimido sem bordas carregadas; ou seja, para vazões superiores a 9,0l/min, o resfriamento operará com ar comprimido a 2,0bar.

Fonte: Spraying Systems



Figura 10: 15,60l/min a 2,0bar de ar comprimido
Fonte: Spraying Systems



a)



b)

Figura 11: Segundo ponto de transição da curva da máquina em função da qualidade de distribuição do bico *spray Air Mist*: a) 19,80l/min a 2,0bar com bordas mais carregadas e b) 18,40l/min a 2,5bar sem bordas carregadas; ou seja, para vazões superiores a 18,0l/min, o resfriamento operará com ar comprimido a 2,5bar.

Fonte: Spraying Systems

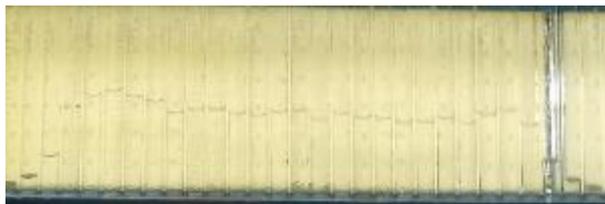


Figura 12: 22,30l/min a 2,5bar de ar comprimido
Fonte: Spraying Systems



a)



b)

Figura 13: Terceiro ponto de transição da curva da máquina em função da qualidade de distribuição do bico *spray Air Mist*: a) 26,20l/min a 2,5bar com bordas mais carregadas e b) 24,10l/min a 3,0bar sem bordas carregadas; ou seja, para vazões superiores a 9,0l/min, o resfriamento operará com ar comprimido a 3,0bar

Fonte: Spraying Systems

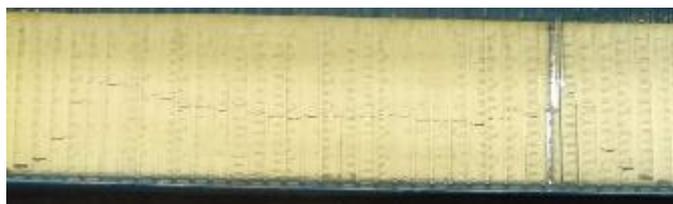
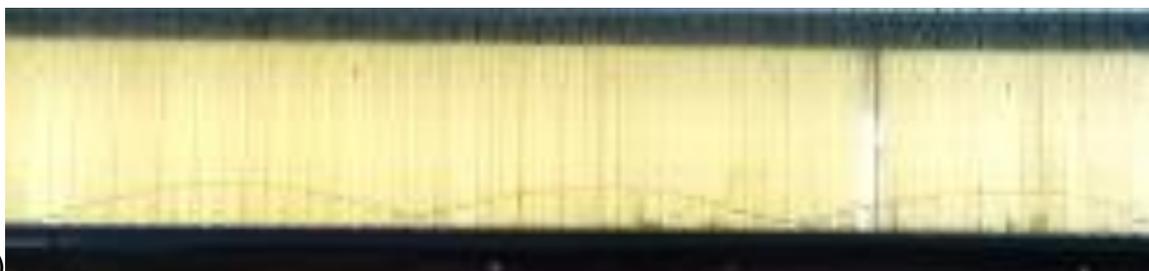


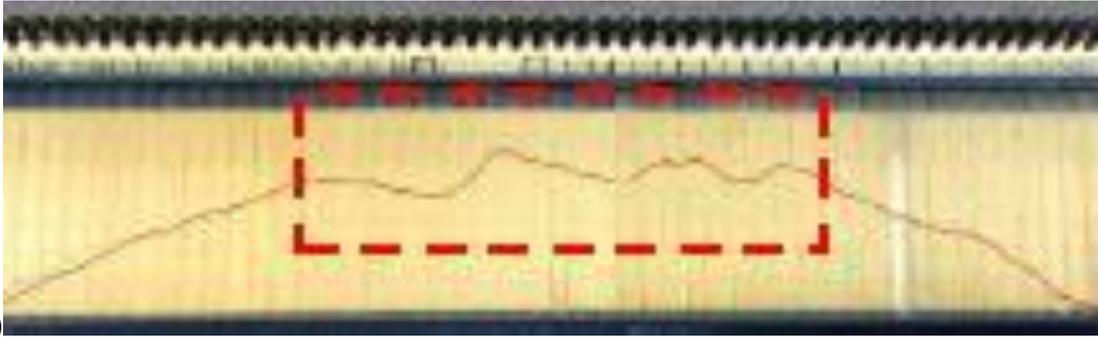
Figura 14: 28,0l/min a 3,0bar de ar comprimido
Fonte: Spraying Systems

2.1 Discussão

A curva C foi uma das curvas de operação da máquina com *Turn Down* de 6 vezes. Isso garantirá ampla versatilidade para corridas de aços diferentes, dimensões diferentes e velocidades diferentes. Resguardando a uniformidade máxima da pulverização dos bicos e o melhor projeto de resfriamento uniforme, é importante que os pontos de transição entre adição de ar comprimido sejam verificados. Dessa forma, evita-se que, quando colocados bicos lado a lado, apareçam zonas de maior volume de água, gerando poças com baixa velocidade de deslocamento, baixa troca de calor e problemas relacionados ao resfriamento não uniforme, como segregação de microligantes.



a)



b)

Figura 15: Condições não ideais de resfriamento por distribuição não uniforme de jato: a) bordas afiladas e/ou espaçamento entre bicos não adequado; b) bordas carregadas e/ou espaçamento entre bicos não adequado.

Fonte: Spraying Systems

Especialmente sobre as bordas carregadas, ao evita-las favorece a uniformidade da distribuição da água e o resfriamento. Esse estudo, realizado ainda em etapa de projeto de reformas ou novas máquinas de lingotamento podem prevenir condições não favoráveis a performance total de projeto e acelerar a etapa de partida e rampa de produção das aciarias.

3 CONCLUSÃO

Condições de resfriamento em máquinas de lingotamento contínuo em aciaria de aços planos são críticas para a performance produtiva e devem ser investigadas em etapa de projeto de reforma ou máquinas novas. Nos casos em que os problemas operacionais já existem, ainda é possível investigar performance em ambiente de laboratório e implementar melhorias para bicos spray tipo *Air Mist*. No entanto, melhor seria se houvesse possibilidade de implementar, no conceito original da máquina, as melhores práticas de resfriamento e previsibilidade de comportamento de transferência de calor. Este trabalho é possível e envolve a colaboração e parceria entre o projetista da máquina, a usina siderúrgica e a empresa especialista em spray. São parcerias assim que possibilitarão desenvolvimento de tecnologias mais robustas, previsíveis e assertivas, capazes de partir e entrar em capacidade de produção total em menores prazos.

REFERÊNCIAS

- 1 KUSHNAREV, A. V. et al. Determination of the heat transfer factor characterizing sprayer cooling of continuously cast blank. *Metal Science and Heat Treatment*.v. 49, n.9 e 10. P. 497 – 500, 2007.
- 2 CHARLES, S.A. Determinação da distribuição de água no resfriamento secundário do lingotamento contínuo da Vallourec Tubos do Brasil e de seus efeitos sobre o comportamento térmico do aço. Tese de Doutorado apresentada ao PPGEM, Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, 2014. Belo Horizonte.
- 3 LIPP, Charles W., *Practical Spray Technology: Fundamentals and Practice*, 1 ed. Texas, USA, Lake Innovation LLC, 2012
- 4 SENGUPTA, J.; THOMAS, B.G; WELL, M.A. Understanding the role water-cooling plays during continuous casting of steel and aluminum alloys. In: MS&T CONFERENCE, 2004, New Orleans. Warrendale: AIST, 2004. p. 179-193.