

# INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS OPERACIONAIS NAS CONDIÇÕES DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR AO LONGO DE UM MOLDE INDUSTRIAL DE LINGOTAMENTO CONTÍNUO<sup>1</sup>

Vinicius Karlinski de Barcellos<sup>2</sup>  
Carlos Raimundo Frick Ferreira<sup>3</sup>  
Carlos Alexandre dos Santos<sup>4</sup>  
Jaime Alvares Spim<sup>5</sup>

## Resumo

Este trabalho consiste do estudo e análise da transferência de calor na solidificação de tarugos produzidos pelo processo do lingotamento contínuo, especificamente na região do molde. Para analisar a transferência de calor num molde em condições industriais, durante o lingotamento de aços peritéticos, foram utilizados termopares e um sistema de aquisição de dados. As medidas de temperatura no molde foram realizadas através da inserção de termopares estrategicamente posicionados nas paredes do mesmo, ao longo da altura. Para determinar os coeficientes de transferência de calor (h) na interface metal/molde ao longo da distância a partir do menisco foi desenvolvido um modelo matemático computacional da solidificação baseado na solução do problema inverso de condução de calor. Efeitos da composição do aço, transformações peritéticas e parâmetros de processo foram analisados e correlacionados com os coeficientes de transferência de calor (h). A implementação do modelo computacional resultou no desenvolvimento de um software de simulação que permite estimar o comportamento térmico durante a solidificação do tarugo e o crescimento da casca solidificada. Os resultados gerados pela simulação de corridas com diferentes composições químicas mostram a forte influência dos parâmetros operacionais no fenômeno da transferência de calor no molde da planta industrial.

**Palavras-chave:** Lingotamento contínuo; Coeficiente de transferência de calor; Solidificação; Simulação numérica.

## INFLUENCE OF THE OPERATIONAL PARAMETERS IN HEAT TRANSFER BEHAVIORS ON A CONTINUOUS CASTING INDUSTRIAL MOLD

### Abstract

This work centers upon comprehension and analysis of the heat transfer behavior during the billet solidification in the continuous casting process along the mold. This study has a focus on peritectic steels solidification and the temperature measurement by thermocouples inside the industrial mold. In order to analyze the results software produced by the study group in association with the industry was used and it is called InALC+. That software is able to analyze the solidification behavior and heat transfer during the continuous casting process. The results of temperature were correlated with heat transfer coefficients which are variable along the length of the mold. The heat transfer coefficients were obtained by a inverse problem heat transfer modeling and real conditions of the process. The simulation results presented curves of the heat transfer variation along the mold and it was used to improve the simulation of the solidification. The results showed a great influence of the steel grade and process condition in heat transfer coefficient.

**Key words:** Continuous casting; Heat transfer coefficient; Solidification; Numerical models.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.

<sup>2</sup> Mestrando LAFUN / PPGEM / UFRGS - [viniciuskarlinski@yahoo.com.br](mailto:viniciuskarlinski@yahoo.com.br); Laboratório de Fundição/Departamento de Metalurgia/Centro de Tecnologia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS Av. Bento Gonçalves, 9500 / Cx.P. 15.021 91501-970 – Porto Alegre – RS / Brasil Fone / FAX: (0xx) (51) 3316-6142 [www.ct.ufrgs.br/lafun](http://www.ct.ufrgs.br/lafun)

<sup>3</sup> MSc. Pesquisador LAFUN / PPGEM / UFRGS - [frick@ufrgs.br](mailto:frick@ufrgs.br)

<sup>4</sup> Prof. Dr. Adjunto PUCRS – [carlos.santos@pucrs.br](mailto:carlos.santos@pucrs.br). Núcleo de Engenharia de Materiais Metálicos/PGETEMA/FENG, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul – PUCRS; Av. Ipiranga, 6681, 90619-900 – Porto Alegre – RS / Brasil Fone / FAX: (0xx) (51) 3320-3584 [www.em.pucrs.br/nuclemat](http://www.em.pucrs.br/nuclemat)

<sup>5</sup> Prof. Dr. Adjunto LAFUN / PPGEM / UFRGS - [spim@ufrgs.br](mailto:spim@ufrgs.br)

## INTRODUÇÃO

Muitos estudos têm sido conduzidos com o objetivo de estudar a influência dos parâmetros de processo na transferência de calor pelo molde. É observado que em um processo convencional de lingotamento contínuo, o sobre-aquecimento e a velocidade da água de refrigeração do molde tem pouco efeito sobre o perfil de fluxo de calor pelo molde. As variáveis de maior significância e que possuem forte influência na transferência de calor no molde são a composição química do aço e a velocidade de lingotamento.<sup>(1)</sup>

Dentro deste contexto, o molde é considerado a mais importante zona de resfriamento. A eficiência da extração de calor no molde é o principal responsável pela qualidade superficial do produto lingotado e pela produtividade da máquina.

A transferência de calor no molde é influenciada pela composição química dos aços. Aços com concentrações até 0,1%C, o fluxo de calor decai apresentando para esta concentração, o seu valor mínimo. Acima desta concentração, o fluxo de calor volta a elevar se mantendo aproximadamente constante para concentrações acima de 0,25%C.<sup>(2)</sup>

Para os aços com elementos de liga como níquel, manganês, silício, cromo, molibdênio, ocorrem mudanças nas temperaturas de transformação peritética, sendo que a influência desses elementos é melhor descrita através de concentrações equivalentes.<sup>(3)</sup> Para aços ao carbono e aços com baixos teores de liga, o efeito dos elementos de liga pode ser expresso em termos de carbono equivalente ( $C_p$ ), conforme equação apresentada a seguir:

$$C_p = [\%C] + 0,02.[\%Mn] + 0,04.[\%Ni] - 0,1.[\%Si] - 0,04.[\%Cr] - 0,1.[\%Mo] \quad (1)$$

Na solidificação, o metal ao ser resfriado abaixo da temperatura de transformação peritética, sofre uma variação negativa de volume causado pela transformação  $L + \delta \rightarrow \gamma$ . A intensidade da transformação volumétrica do metal faz com que o tarugo durante a solidificação tenda a agarrar-se ou a descolar-se da parede do molde.

Em virtude disso, Wolf<sup>(3)</sup> chamou de Potencial Ferrítico a tendência do aço em contrair ou expandir durante a solidificação dentro do molde. A equação que define o potencial ferrítico (PF) é dada por:

$$PF = 2,5(0,5 - \%C_p) \quad (2)$$

Para melhor compreensão, Wolf definiu o termo *Aços Tipo A* para os aços com tendência a forte contração e caracterizados com valores de PF entre 0,85 – 1,05, e o termo *Aços Tipo B* para os aços com tendência a agarramento à parede do molde e que apresentam valores de  $PF > 1,05$  ou  $PF < 0,85$ .

O objetivo deste trabalho consiste em analisar o fluxo de calor no molde a partir dos coeficientes de transferência de calor ( $h$ ) da interface metal/molde, e correlacioná-los com os parâmetros operacionais como: composição química do aço, velocidade de lingotamento e tipo de molde durante o processo de lingotamento contínuo, verificando suas influências na transferência de calor.

## Modelo Matemático

Para determinar os coeficientes de transferência de calor foi desenvolvido um software que simula a solidificação dos aços no processo de lingotamento contínuo. O software InALC+ (Inteligência Artificial no Lingotamento Contínuo) foi desenvolvido em linguagem de programação C++ orientada a objeto, trabalhando em plataforma Windows, possui rotinas que acoplam o modelo matemático do fenômeno de transferência de calor e solidificação com uma base de conhecimento dos fenômenos que ocorrem no processo. Esse programa simula a solidificação do aço ao longo do processo de LC para diferentes geometrias da seção transversal.<sup>(4)</sup>

Para aplicação do modelo de solidificação foi necessário o acoplamento de uma malha numérica unidimensional ao longo da espessura do molde e ao longo da metade do comprimento da seção, como representado na Figura 1. Devido ao raio de curvatura da máquina, definiram-se as faces do molde como: face raio externo, face raio interno e face lateral. Na malha as únicas incógnitas a serem encontradas serão os valores numéricos dos coeficientes de transferência de calor. As considerações feitas no modelo são:

- 1.) Fluxo unidimensional de calor;
- 2.) Ausência de correntes convectivas no metal líquido;
- 3.) Propriedades termofísicas do metal (densidade, calor específico e condutividade térmica) variam com a temperatura somente na região pastosa, sendo a fração sólida na região pastosa calculada pela regra da alavanca;
- 4.) Propriedades termofísicas constantes para o material do molde;
- 5.) As temperaturas de transformação (solidus e liquidus) da liga são parâmetros dependentes da composição. A literatura oferece algumas equações empíricas importantes para se chegar a valores aproximados desses parâmetros. No presente trabalho, as temperaturas liquidus e solidus são calculadas por equações utilizadas por Thomas et al.,<sup>(5)</sup> mostrados abaixo:

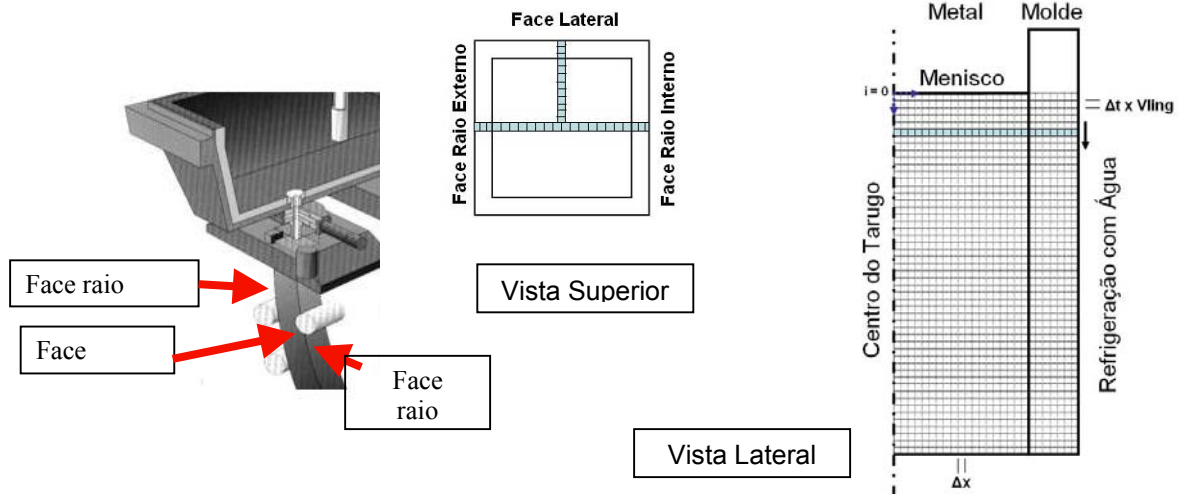
Temperatura Solidus ( $T_S$ ):

$$T_S = 1535 - 200(\%C) - 12.3(\%Si) - 6.8(\%Mn) - 124.5(\%P) - 183.9(\%S) - 4.3(\%Ni) - 1.4(\%Cr) - 4.1(\%Al)$$

Temperatura Liquidus ( $T_L$ ):

$$T_L = 1537 - 88(\%C) - 25(\%S) - 5(\%Cu) - 8(\%Si) - 5(\%Mn) - 2(\%Mo) - 4(\%Ni) - 1.5(\%Cr) - 18(\%Ti) - 2(\%V) - 30(\%P)$$

- 6.) Velocidade de lingotamento constante;
- 7.) O perfil de temperatura inicial do metal na altura do menisco no molde ao longo da seção é considerada igual à temperatura do aço no distribuidor;
- 8.) A temperatura da água de refrigeração adotado nos cálculos é assumida como constante ao longo do comprimento do molde e é dado por  $T_a = 20^\circ\text{C}$ ;
- 9.) Efeito de oscilação do molde, deformações do molde, segregação e flutuação do nível do metal no menisco foram ignoradas.



**Figura 1** - Desenho representativo da malha numérica acoplada ao molde (sistema físico) da máquina de lingotamento contínuo.

O método usado para determinar os coeficientes de transferência de calor nas interfaces metal/molde ( $h_{m/m}$ ) e molde/água de refrigeração ( $h_{m/a}$ ) é baseado na solução do problema inverso de condução de calor. Este método utiliza-se da medida de temperatura experimentais obtidas por termopares acoplados ao molde e/ou metal em posições conhecidas, e comparadas com perfis de temperaturas simuladas no InALC+.<sup>(6-8)</sup>

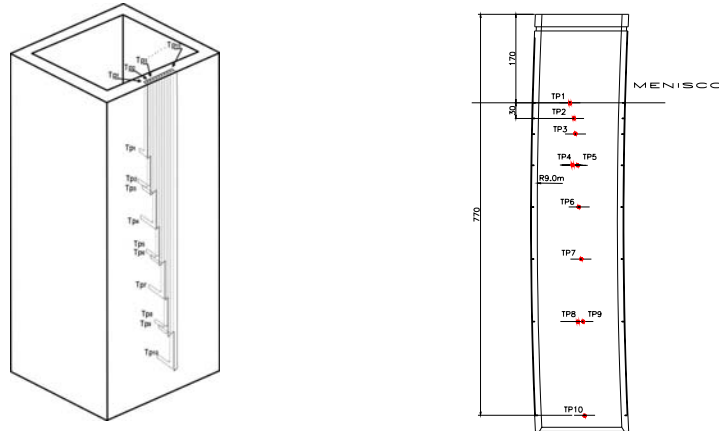
O procedimento para determinação dos  $h$ 's é realizado assumindo um valor inicial de  $h_i$  e com esse valor, as temperaturas de cada posição, tanto no molde como no metal em cada intervalo de tempo são calculadas utilizando um modelo matemático. A correção em  $h_i$  a cada interação é realizada com o incremento ou decremento de um valor  $\Delta h_i$ , e novas temperaturas são estimadas.<sup>(8)</sup>

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados experimentais foram obtidos em uma planta industrial com medidas de temperaturas em moldes da máquina de lingotamento contínuo. As especificações relevantes do processo e as condições operacionais estão listados na Tabela 1. Em três faces dos moldes foram instalados termopares tipo K na região central de cada face e dispostos em linha ao longo do comprimento do molde. Para cada face foram instalados 10 termopares, em diferentes distâncias, posicionados a partir da altura do menisco até à 31 mm acima da saída do molde, conforme mostra a Figura 2. Foram monitorados 03 moldes com dimensões da seção transversal de 150x150mm, 180x180mm e 240x240mm. Para as 03 seções os moldes apresentavam conicidade parabólica, isto é, com variações nas dimensões internas ao longo do seu comprimento. Para a seção 240x240mm, também foi monitorado um molde com conicidade linear (somente um ângulo de conicidade interna).

**Tabela 1** - Especificações do processo e condições operacionais experimentais.

<b>Nº de veios</b>	<b>03</b>
Material do molde	Cobre
Comprimento do molde (mm)	801
Comprimento útil da região de processo (m)	24



**Figura 2** - Disposição dos termopares no interior da espessura do molde de cobre da máquina de lingotamento contínuo.

Para exemplificar, os resultados de entrada do software numérico são dados conforme mostra a Tabela 2. Nestes, observar que os valores de velocidade de lingotamento ( $v_L$ ) e temperatura de vazamento ( $T_v$ ) das corridas correspondem aos valores médios ponderados no tempo, uma vez que o processo naturalmente apresenta pequenas oscilações desses valores ao longo do lingotamento.

**Tabela 2** – Informações de alimentação do software InALC+.

Corrida	Ceq	C	PF	Tipo	$v_L$ [m/min]	$T_v$ [°C]	$T_L$ [°C]	$\Delta T$ [°C]
1	0,13	0,07	0,93	A	0,84	1557	1513	45
2	0,12	0,07	0,95	A	0,60	1583	1513	70
3	0,13	0,14	0,92	A	1,03	1561	1513	49
4	0,15	0,16	0,88	A	1,10	1531	1510	20
5	0,18	0,17	0,8	A	0,85	1575	1511	64
6	0,32	0,2	0,44	B	0,98	1556	1505	51
7	0,35	0,21	0,38	B	0,97	1552	1504	48
8	0,35	0,21	0,38	B	0,89	1558	1504	54
9	0,24	0,24	0,64	B	0,97	1570	1509	61
10	0,25	0,24	0,63	B	1,05	1542	1505	37
11	0,24	0,25	0,64	B	1,06	1551	1504	47
12	0,34	0,34	0,4	B	0,96	1538	1499	39
13	0,33	0,36	0,43	B	0,82	1552	1491	61
14	0,35	0,36	0,38	B	0,72	1539	1490	49
15	0,39	0,38	0,28	B	0,88	1533	1495	38
16	0,43	0,39	0,19	B	0,94	1531	1490	41
17	0,39	0,39	0,26	B	0,57	1546	1493	53
18	0,44	0,39	0,14	B	0,83	1514	1489	25
19	0,97	0,95	-1,17	B	0,80	1502	1444	58
20	0,98	0,95	-1,19	B	0,69	1513	1445	68

## RESULTADOS

Os resultados obtidos pelos termopares inseridos no molde correspondem a valores de temperatura em função do tempo. Uma típica resposta dos termopares no molde é mostrado na Figura 3. As temperaturas gravadas receberam um filtro para remover variações de temperatura causada pela flutuação do nível do metal no menisco e pela variação da velocidade de lingotamento durante a corrida, após receberem tratamento estatístico, fornecendo um valor médio e um desvio padrão dos valores de temperatura para cada ponto de monitoramento. Essas temperaturas médias são posteriormente usadas para obter o perfil de fluxo de calor ao longo do molde a partir dos coeficientes de transferência de calor.

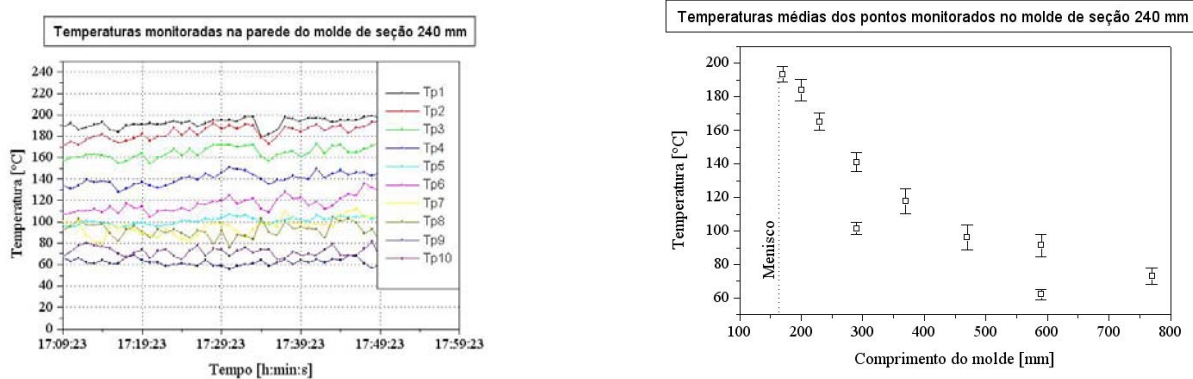
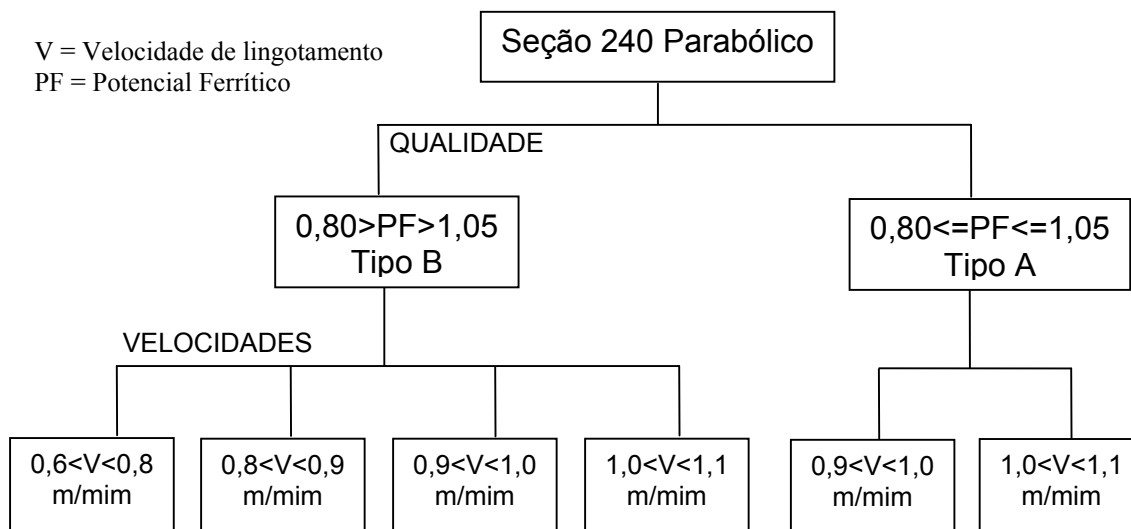


Figura 3 - Perfil de temperaturas monitoradas na parede do molde de uma corrida.

## Efeito das Variáveis de Processo

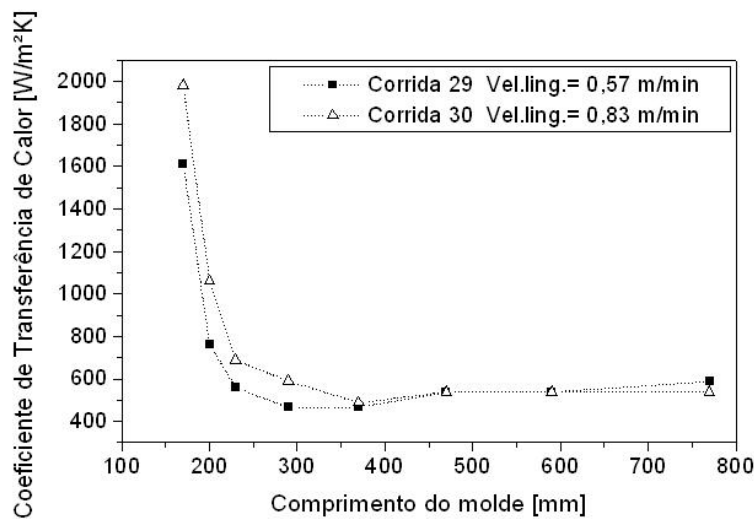
Após a simulação de todas as corridas e determinação dos coeficientes de transferência de calor do molde, as corridas foram separadas por potencial ferrítico, que está relacionado com a composição química do metal, em seguida buscou-se analisar a influência da velocidade separando-as em faixas. Essas análises foram feitas individualmente nas três faces do molde. O Fluxograma 1 mostra a metodologia adotada para análise dos resultados.



Fluxograma 1 - Metodologia adotada para estudo da influência da composição química e da velocidade de lingotamento na transferência de calor no molde.

Analisando duas corridas com composições químicas semelhantes e diferentes velocidades de lingotamento, observa-se que a corrida com maior velocidade de lingotamento transfere mais calor pelo molde, principalmente na região próxima ao menisco, conforme mostra a Figura 4. Chow et al.<sup>(1)</sup> observaram que o fluxo de calor no molde é sensível a variações da velocidade de lingotamento quando ocorrem variações maiores de 0,5 m/min.

Analisando os gráficos da Figura 5, observou-se que, os aços lingotados com maior velocidade de lingotamento apresentam, na região do menisco, maior fluxo de calor; e, à medida que se distancia do menisco, observam-se maiores taxas de transferência de calor para menores velocidades. Apesar das curvas mostrarem claramente esse comportamento, nota-se que as curvas para cada faixa de velocidade estão uma dentro do desvio-padrão da outra.

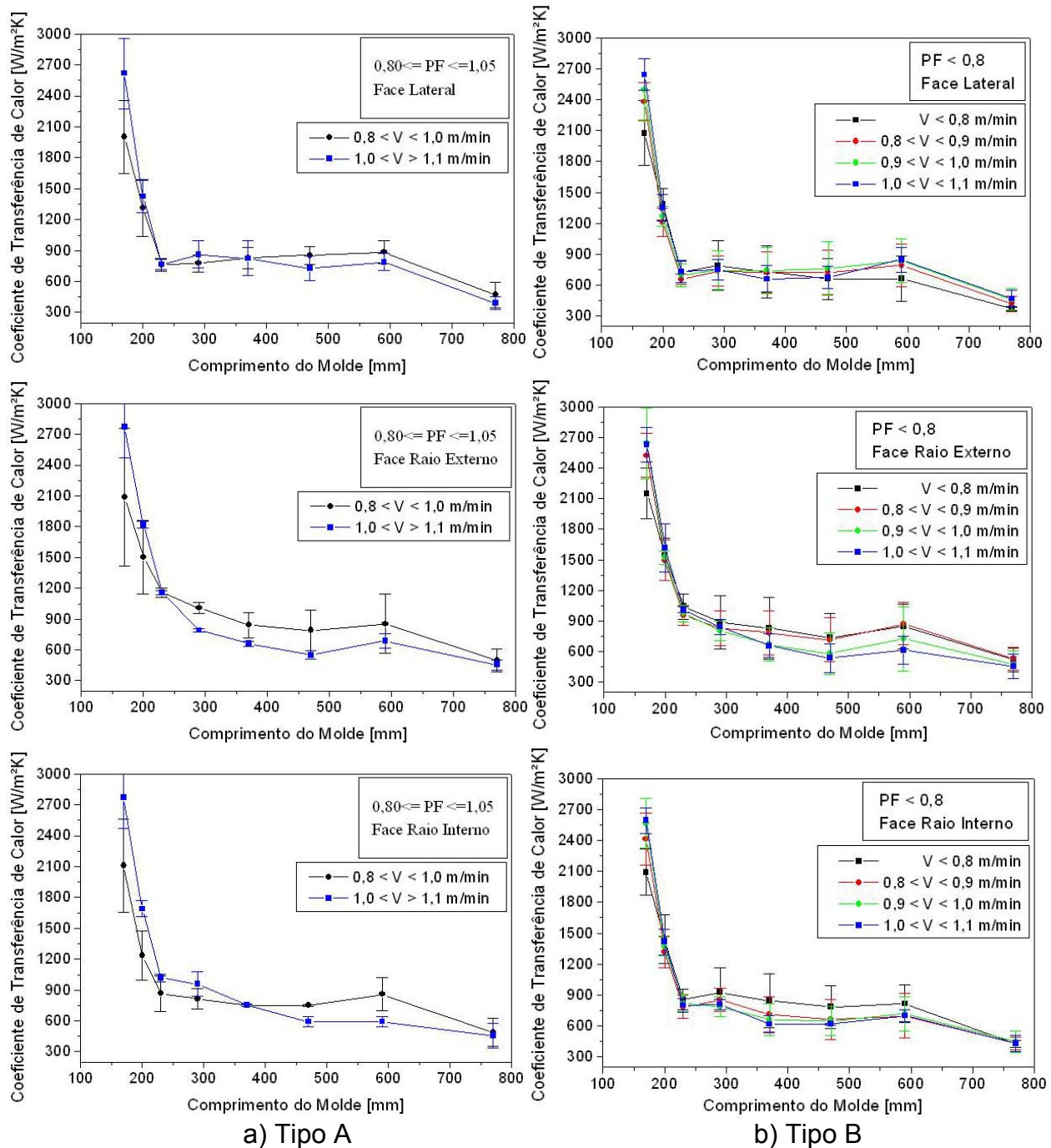


**Figura 4** - Curvas de  $h$  x distancia do menisco de duas corridas de composição química semelhante com velocidades de lingotamento diferentes, mostrando o fluxo de calor médio entre as faces.

Nos gráficos da Figura 5 não são visíveis grandes diferenças nos valores dos  $h$ 's; as curvas apresentam comportamentos semelhantes. Elas mostram que, de uma forma geral, a tendência dos  $h$ 's no molde não variam para diferentes potenciais ferríticos em um molde de seção 240x240mm. Isto ocorre devido ao fato de que os gráficos foram gerados considerando uma média de diversas corridas analisadas, e que foram divididas em 02 grupos por potencial ferrítico, e muitas corridas de um determinado grupo apresentaram valores de potencial ferrítico próximos dos valores do outro grupo. Entretanto, se forem analisadas corridas com potenciais ferríticos extremos, isto é, aços hipoperitéticos e aços hiperperitéticos com maiores índices de tendência, caracterizando os aços tipo A e tipo B, respectivamente, é possível observar claramente as tendências de agarramento e depressão da casca solidificada da parede do molde.

A Figura 6 mostra gráficos dos  $h$ 's ao longo do molde de 04 corridas simuladas, 02 aços baixo carbono do tipo A e 02 aços alto carbono do tipo B, com diferentes velocidades de lingotamento, analisados para cada face do molde. Os gráficos mostram que os aços tipo A apresentam valores médios de fluxo de calor maiores que para os aços tipo B.

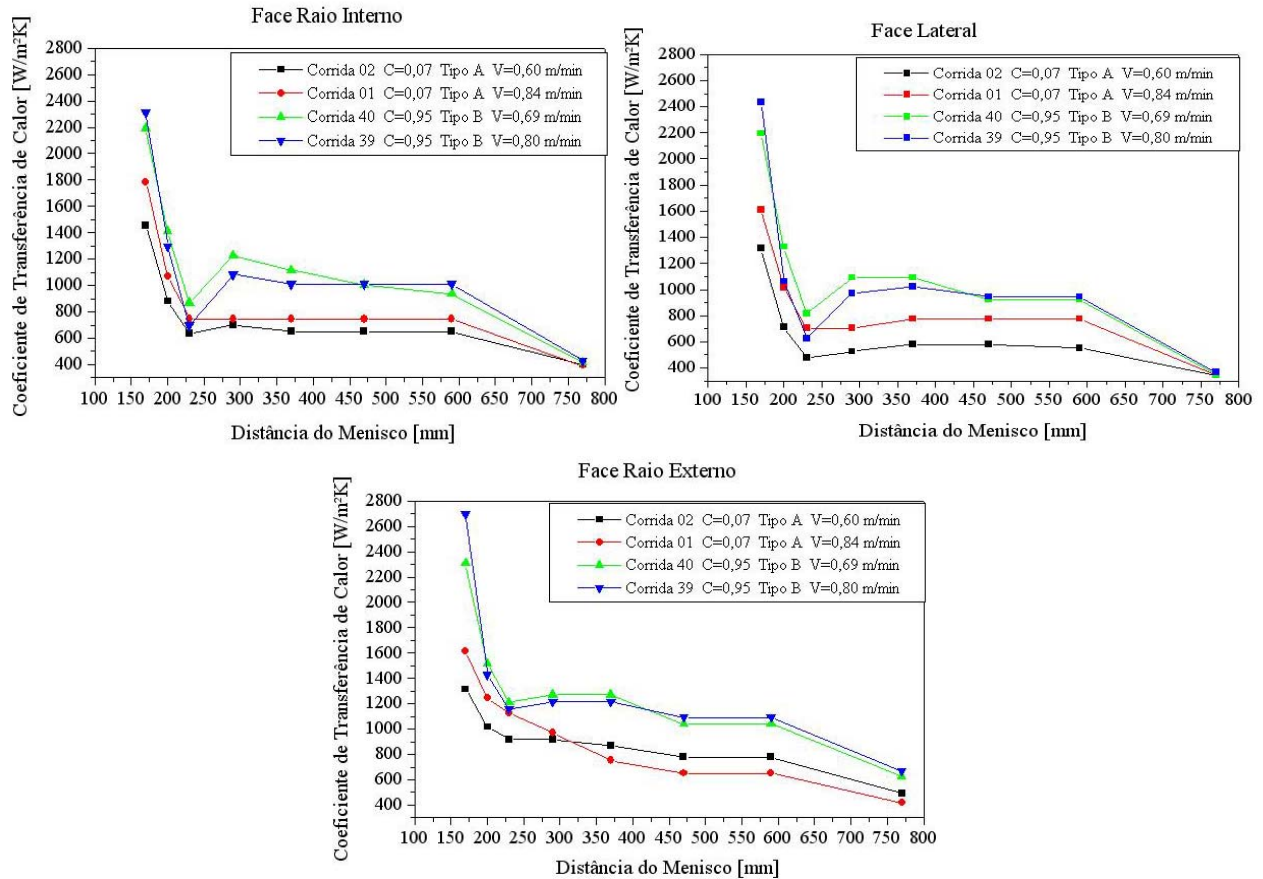




**Figura 5** - Gráficos das médias e desvios-padrão das curvas de  $h$  no molde das corridas analisadas e separadas em grupos por diferentes potenciais ferríticos e velocidades de lingotamento. a) Aços do tipo A; b) Aços do tipo B.

Outra constatação observada em todas as corridas analisadas é o fato que na região próxima ao menisco, o fluxo de calor é maior na face raio externo em relação às demais faces. Isto se explica devido ao melhor contato do tarugo à parede do molde proporcionado pela curvatura do molde e da máquina de lingotamento.





**Figura 6** - Curvas de  $h \times$  distância mostrando a influência do potencial ferrítico na transferência de calor no molde.

Analisando a média dos  $h$ 's calculados da face lateral do molde de seção 240 mm para 30 corridas com molde parabólico e 10 corridas com molde linear, observou-se que a transferência de calor pelo molde parabólico é mais efetiva, como mostra a Figura 7. Isso se deve à forma do molde parabólico que apresenta maior conicidade em sua geometria, proporcionando maior contato da casca solidificada do tarugo com a parede do molde refrigerado, e conseqüentemente redução do "gap" de ar interfacial.

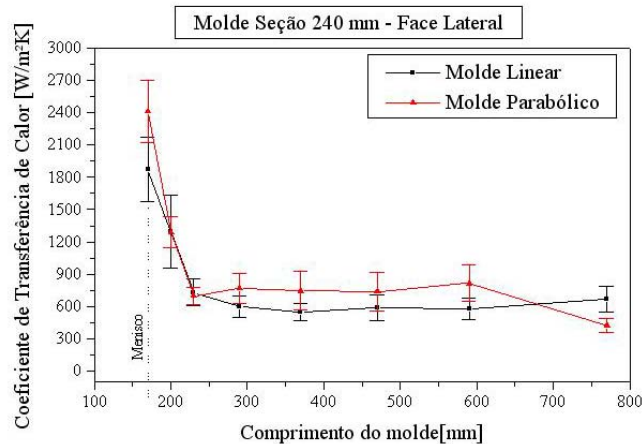
Foi obtido a média e calculado o desvio padrão das curvas de  $h$  de todas as corridas analisadas para cada tipo de molde. Com os resultados obtiveram-se equações genéricas polinomiais de 5º grau que define o coeficiente de transferência de calor em função da distância do menisco para os 04 moldes estudados. A Figura 8 mostra a comparação das curvas de  $h$  das corridas analisadas para cada tipo de molde com as curvas geradas pelas equações de  $h = f(\text{Distância})$ . A equação geral é dada por:

$$h = A + B1 \times D + B2 \times D^2 + B3 \times D^3 + B4 \times D^4 + B5 \times D^5 \quad (3)$$

onde  $D$  = distância do menisco em milímetros e  $B1$ ,  $B2$ ,  $B3$ ,  $B4$  e  $B5$  são os coeficientes da equação que estão relacionados com os tipos de molde analisados. A Tabela 03 lista os valores calculados dos coeficientes.

**Tabela 3** - Coeficientes da equação de  $h = f(D)$  para cada molde analisado.

	<b>Molde 240mm Parabólico</b>	<b>Molde 240mm Linear</b>	<b>Molde 150mm Parabólico</b>	<b>Molde 180mm Parabólico</b>
<b>A</b>	38005,91494	18473,72656	11270,85491	36986,08189
<b>B1</b>	-470,55158	-206,41007	-96,46498	-465,02662
<b>B2</b>	2,27291	0,92336	0,34778	2,31544
<b>B3</b>	-0,005256	-0,0019997	-0,000499161	-0,00547
<b>B4</b>	0,00000582896	0,00000209554	0,00000019687	0,0000061467
<b>B5</b>	-0,00000000248395	-0,000000000849873	0,000000000614351	-0,00000000263733



**Figura 7** - Média e desvio-padrão dos coeficientes de transferência de calor de corridas com molde parabólico e linear.

## DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

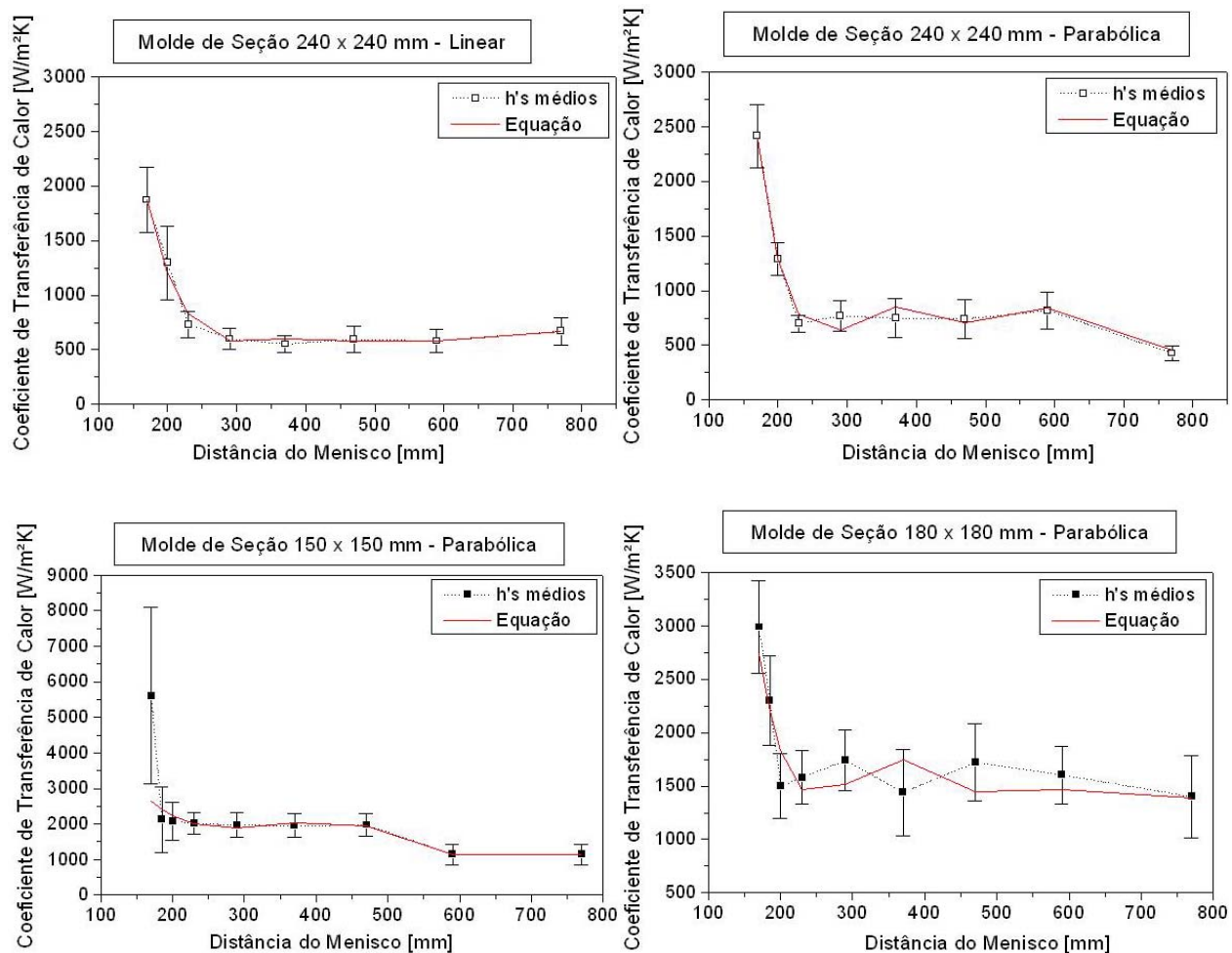
Os resultados gerados pelo simulador e comparados com as medidas experimentais obtidas em planta industrial permitiram as seguintes conclusões:

- O aumento na transferência de calor pelo molde em maiores velocidades de lingotamento é explicado por três razões. Primeiro, o menor tempo de residência do aço em altas velocidades resulta em menor casca solidificada que deforma facilmente sob ação da pressão metalostática, reduzindo o gap de ar entre o tarugo e a parede do molde. Segundo, esse menor tempo de residência resulta em maiores temperaturas na superfície do tarugo, que aumenta o gradiente térmico e a força motriz para o fluxo de calor pelo molde. Terceiro, há uma menor contração térmica da casca solidificada devido a sua maior temperatura, que melhora o contato metal/molde por não contribuir para o aumento do tamanho do gap.<sup>(1)</sup>

- A influência do potencial ferrítico no comportamento do tarugo durante a solidificação é melhor observada quando se compara o fluxo de calor no molde de um aço baixo carbono com aço alto carbono.

- A instrumentação em moldes de LC mostrou-se uma ferramenta poderosa para a análise da transferência de calor e a compreensão dos fenômenos associados ao estágio inicial de solidificação;

- A metodologia utilizada para a determinação dos coeficientes de transferência de calor ao longo do molde permitiu a obtenção de valores numéricos específicos destes coeficientes relativos às condições de contorno empregadas no processo, como da velocidade de lingotamento, composição do aço e tipo de molde;



**Figura 8** - Comparação das curvas de  $h$  das corridas analisadas com as curvas geradas pelas equações de  $h = f(D)$ .

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao suporte financeiro provido da CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), a GERDAU Aços Especiais Piratini (AEP)/Charqueadas-RS e em particular ao MSc. Eng. Paulo Carvalho Fernandes pela parceria estabelecida para estudos sobre o processo de solidificação via lingotamento contínuo.

## REFERÊNCIAS

- 1 CHOW, C., SAMARASEKERA, L. V., WALKER, B. N., AND LOCKHART, G., High Speed Continuous Casting of Steel Billets. Part 2: Mould Heat Transfer and Mould Design. *Ironmaking and Steelmaking*, Vol. 29 No. 1, pp 61-69. (2002).
- 2 SINGH, S.N. & BLAZEK, K.E., Heat Transfer and Skin Formation in a Continuous Casting Mold as a Function of Steel Carbon Content. *Journal of Metals*, pp. 17-27. (1974).
- 3 WOLF, M. M.; KURZ, W., The Effect of Carbon Content on Solidification of Steel in the Continuous Casting Mold, *Metallurgical Transactions B*, Volume 12B, pp.85-93. (1981).
- 4 KARLINSKI, V.; FOGAZZI, W.; FERREIRA, C.R.F.; DOS SANTOS, C.A.; SPIM, J.A.; Desenvolvimento de rotinas para determinação e avaliação dos coeficientes de transferência de calor em um molde no lingotamento contínuo de aços. *Anais do 61º Congresso Anual da ABM*. Rio de Janeiro – RJ – Brasil. 2006 (1).
- 5 THOMAS, B.G.; SAMARASEKERA, L.V.; BRIMACOMBE, J.K., Mathematical Model of the thermal Processing of Steel Ingots, Part 1. Heat Flow Model. *Metallurgical Transaction B* v.18, p. 119-130. (1987).
- 6 SPINELLI, J.E.; TOSETTI, J.P.; SANTOS, C.A.; SPIM, J.A.; GARCIA, A., Microstructure and solidification thermal parameters in thin strip continuous casting of a stainless steel, *Journal of Materials Processing Technology*. V 150, p. 255–262. 2004.
- 7 SANTOS, C. A. ; GARCIA, A. ; FERREIRA, C. R. F. ; SPIM JR, J. A. Evaluation of Heat Transfer Coefficients Along the Secondary Cooling Zones in the Continuous Casting of Steel Billets. In: *Inverse Problems, Design and Optimization Symposium*, Rio de Janeiro. Inverse Problems, Design and Optimization. Rio de Janeiro : E-papers Publishing House Ltd, 2004. v. II. p. 28-35. 2005.
- 8 KARLINSKI, V. B.; FERNANDES, P.C.; FOGAZZI, W.; COLEMBERGUE, L.A.K.; FERREIRA, C. R. F.; COCIAN, L.F.E.; SANTOS, C.A.; SPIM, J.A.; “Aferição do Software InALC+ com Dados Experimentais de Lingotamento Contínuo (LC) da Aços Especiais Piratini (AEP – GERDAU)”; *Anais do XXXVII Seminário de Aciaria Internacional da ABM*. Porto Alegre – RS. 2006 (2).