

# MODELAGEM FÍSICA DO ESCOAMENTO EM UM DISTRIBUIDOR DE LINGOTAMENTO CONTÍNUO DE AÇOS

**Autor:** Augusto Lachini Pereira  
**Orientador:** Magda G. François  
Antônio C. F. Vilella

Laboratório de Siderurgia  
Centro de Tecnologia – UFRGS  
Avenida Bento Gonçalves, 9500 - Porto Alegre/RS  
Fone: (51) 3308-7116 – www.ct.ufrgs.br/lasid



## 1 INTRODUÇÃO

O distribuidor de lingotamento contínuo é um reator fundamentalmente empregado como reservatório e fonte de aço líquido para os moldes. Ele também pode ser empregado como um reator para qualificar o escoamento de forma a aumentar a limpeza do aço. Estes estudos podem ser realizados na planta ou por meio de modelos físicos ou numéricos do distribuidor. Os modelos físicos são implementados de modo mais econômico e proporcionando menos riscos, em relação aos estudos realizados na planta. Para a simulação do escoamento do aço, são empregados modelos em escalas reais ou reduzidas, e água como fluido de simulação, pois a viscosidade cinemática da água apresenta valores na mesma ordem de grandeza do aço líquido na temperatura de trabalho. Estes estudos geralmente tratam da visualização do escoamento (com emprego de traçadores) e ensaios de DTR (Determinação de Tempo médio de Residência), que informam os tempos médios, mínimos e os volumes característicos.



Figura 1 – Modelo físico do distribuidor de lingotamento contínuo localizado no LaSid

## 2 OBJETIVOS

Qualificar o escoamento no interior do distribuidor por meio de visualização das linhas de fluxo (ensaio de corante) e análise da curva de distribuição dos tempos médios de residência e volumes característico através dos ensaios de DTR.

## 3 METODOLOGIA

O equipamento utilizado para os ensaios deste projeto é um modelo físico (construído em acrílico e em escala 1:1)[1] de distribuidor de lingotamento contínuo tipo delta configurado com três veios ( dois veios laterais e um central), soleira, tubo longo e inibidor de turbulência. Ele é dotado de medidores de fluxo na entrada do distribuidor e na saída de cada veio. O posicionamento do tubo longo é exatamente no centro do inibidor e a profundidade do mesmo é similar a uma operação da indústria siderúrgica. Por questões de simetria, a saída do veio central e um veio lateral são instrumentados com sensores de condutividade.

### • Ensaio de visualização de escoamento

Uma solução de corante ( Permanganato de potássio + água) é injetada em forma de pulso quando o distribuidor está operando em regime permanente no nível de operação normal do distribuidor. As condições de entrada e saída no distribuidor são equivalentes a uma operação de lingotamento com velocidade de 0,85 m/min. O ensaio é registrado em forma de vídeo e em três vistas: frontal, lateral e superior. Nestas vistas é possível visualizar: a existência de curto-circuito, a ascensão do corante, a distribuição do corante no distribuidor e as zonas mortas existentes [2].

### • Ensaio de Distribuição de Tempo de Residência (DTR)

Com o distribuidor operando em regime permanente (com vazão de líquido simulando velocidade de lingotamento de 0,85m/min), uma solução de Ácido clorídrico é injetada, na forma de pulso, na válvula de entrada do distribuidor. Como a condutividade é uma função da concentração do ácido que passa pelo sensor, é possível gerar uma curva de DTR (concentração versus tempo). A partir dessas curvas, diversos parâmetros podem ser calculados. São eles: tempo mínimo de residência, tempo médio de residência e volumes característicos [3].

## 4 RESULTADOS

### • Ensaio de visualização de escoamento

É possível visualizar o comportamento ascendente do escoamento após o contato com o inibidor de turbulência (figura 3a), a distribuição uniforme na parte superior do distribuidor (figura 3c), as zonas mortas no interior do distribuidor e nos cantos (figura 4a) e o distribuidor com fluxo final de distribuição (figura 5).

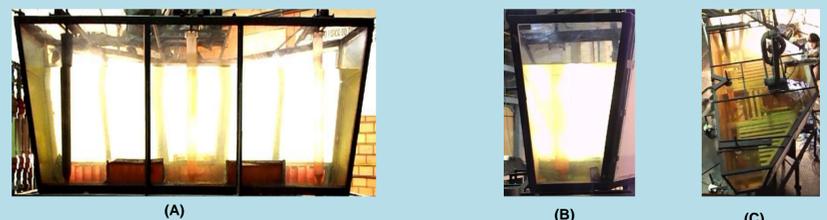


Figura 2– Visão do escoamento no tempo 0s: A) Frontal B) Lateral C) Superior

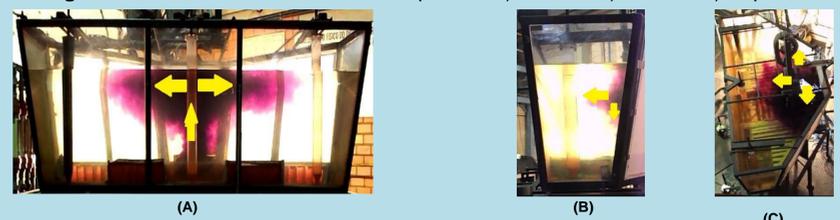


Figura 3– Visão do escoamento no tempo 15s: A) Frontal B) Lateral C) Superior



Figura 4– Visão do escoamento no tempo 30s: A) Frontal B) Lateral C) Superior

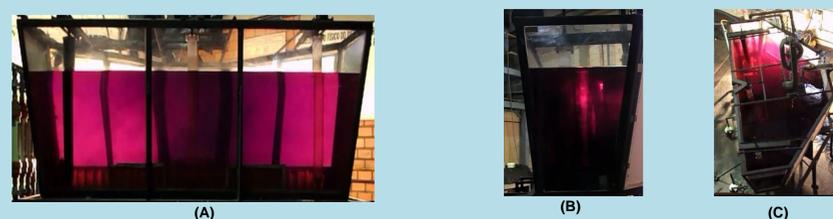


Figura 5– Visão do escoamento no tempo 60s: A) Frontal B) Lateral C) Superior

### • Ensaio de Distribuição de Tempo de Residência (DTR)

Na tabela 1, são mostrados os tempos médios e mínimos de residência em segundos e normalizados pelo tempo de residência teórico. O tempo médio encontrado para o distribuidor considerando a configuração do mesmo é de 575,6 segundos, o que corresponde a 70,3% do tempo de residência teórico. Os tempos mínimos são coerentes com o comportamento de fluxo descrito pelo ensaio de escoamento.

Na figura 6 como resultado final do distribuidor, entende-se que o distribuidor funciona com praticamente um terço de volume morto, com escoamento de volume de mistura entorno de 59%, 6% de volume pistonado e nenhuma ocorrência de curto-circuito.

	Central	Lateral	Distribuidor
TEMPO MÉDIO (s)	625	551	575,6
TEMPO MÉDIO (min)	10,4	9,18	9,59
TEMPO MÍNIMO (s)	64	44	50,6
TEMPO MÉDIO (norm.)	0,764	0,67	0,70
TEMPO MÍNIMO (norm.)	0,078	0,053	0,061

Tabela 1- Tempos médios e mínimos de residência



Figura 6- Volumes característicos

## 5 CONCLUSÕES

### • Ensaio de visualização de escoamento

Pode-se observar duas configurações de escoamento principais: Uma ascendente e distribuída pela parte superior do distribuidor, na linha de escória e outra que é dirigida ao veio central.

### • Ensaio de Distribuição de Tempo de Residência (DTR)

Com relação a diferença entre os tempos mínimos e médios do veio central e veio lateral, o veio lateral apresentou o menor tempo mínimo ou médio. Portanto, o mais suscetível a apresentar inclusões.

Como um todo, o distribuidor apresentou 35% do volume em escoamento do tipo morto, de baixa velocidade, 6% do tipo pistonado e 59% em fração de mistura.

## 6 REFERENCIAS

- [1] Heaslip, L.J.; Mclean, A.; Sommerville, I.D. Continuous Casting, Chemical and Physical Interactions during Transfer Operation, Iron & Steel Society, Sahai, Y. e Emi, T., ISIJ International, vol.36,p.667-672,196  
[2] FRANÇOIS, M. G., BOCK, M. L. e VILELLA, A. C. F. How to choose a good flow modifier/tundish set in the continuous casting of steel. XXXVII Seminário de aciaria, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais – ABM, Porto Alegre, p.388-97, 2006.  
[3] Machado FD. Modelagem física de remoção de inclusões em distribuidor de lingotamento contínuo de tarugos. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais – PPGE3M, 2014.