



Tema: Solidificação / Lingotamento

## REFORMA DO LINGOTAMENTO CONTÍNUO DE PLACAS Nº 1 DA ARCELORMITTAL TUBARÃO\*

*Altemar Dettogne do Nascimento*<sup>1</sup>

*José Carlos de Pontes Junior*<sup>2</sup>

*Alexandre Toniati*<sup>3</sup>

*Reinaldo de Arruda Silva*<sup>4</sup>

*Gisele Magalhaes Batista de Bortol*<sup>5</sup>

*Denis Risso Errera*<sup>6</sup>

*Luiz Cláudio Thiébaud Pereira*<sup>7</sup>

### Resumo

A Máquina de Lingotamento Contínuo nº 1 da ArcelorMittal Tubarão (AMT), com capacidade nominal de 1,8 milhões de toneladas/ano, teve seu *start up* em 1995. A máquina é curva com raio de 10,5 m. São produzidas placas de 200, 225 e 250 mm, largura de 800 a 1650 mm e velocidade até 1,7 m/min. Em Abril de 2012, a Máquina parou para uma reforma geral. A empresa Italiana Danieli Davy Distinguon foi contratada para fornecer a engenharia, fabricação e entrega dos equipamentos no período de 12 meses. No ano anterior à parada da máquina, foi realizado um site survey, o que possibilitou a elaboração de um planejamento detalhado de todas as atividades. A reforma da máquina teve como objetivos principais: correção do alinhamento da máquina, substituição de estruturas oxidadas, implantação de novas tecnologias e redução do tempo de exposição dos operadores a ambientes agressivos (alta temperatura, projeção de aço, queda de cascão da panela e material particulado) através da implantação da sala remota de controle dos veios. A máquina foi colocada em operação em 10 de agosto 2012 após ter completado, sem desvios, as fases de instalação e testes. Este trabalho mostra as fases de desenvolvimento deste projeto, os resultados das tecnologias implantadas e os testes de performance para diferentes famílias de aço.

**Palavras-chave:** Reforma; Lingotamento contínuo de placas.

### REVAMP OF TWO-STRAND SLAB CASTER AT ARCELORMITTAL TUBARÃO

#### Abstract

The Continuous Casting Machine #1 of ArcelorMittal Tubarão (AMT), with a nominal capacity of 1.8 million tons of steel/year, had its start up in 1995. The caster has a 10.5m-radius curved machine, producing slabs with a thickness of 200, 225 and 250 mm, width from 800 to 1,650 mm and casting speed up to 1.7 m/min. The caster's shutdown was on April 2012. Danieli Davy Distinguon was hired to supply the complete engineering, manufacturing and deliveries within 12 months. The activities' schedule and the equipment's detailed analysis were carried out by the results of the site survey. The main purpose of the caster revamp was: machine's alignment correction, elimination of oxidized structures, implementation of new technologies and reduction in the time of operators' exposure to harsh environments (e.g. high temperature, splash of steel, drop of ladle skull and particulate material) through the installation of a strand remote control. The revamped machine was put into operation successfully on August 10th, 2012, after the installation and commissioning phases. This paper shows the development stages of this project, the implemented technologies and the performance results for different steel grades.

**Keywords:** Revamp; Slab caster.

<sup>1</sup> *Mestre em Engenharia de Materiais, Especialista Sênior de Lingotamento Contínuo, ArcelorMittal Tubarão, Serra, ES, Brasil.*

<sup>2</sup> *Engenheiro Metalurgista, Gerente da Área de Confiabilidade de Produção de Placa, ArcelorMittal Tubarão, Serra, ES, Brasil.*

<sup>3</sup> *Engenheiro Mecatrônica, Especialista de Manutenção Elétrica do Lingotamento Contínuo, ArcelorMittal Tubarão, Serra, ES, Brasil.*

<sup>4</sup> *Engenheiro Produção, Especialista de Manutenção Mecânica do Lingotamento Contínuo, ArcelorMittal Tubarão, Serra, ES, Brasil.*

<sup>5</sup> *Engenheira Mecânica, Especialista de Engenharia Mecânica da ArcelorMittal Tubarão, Serra, ES, Brasil.*

<sup>6</sup> *Engenheiro Eletricista, Especialista de Eng. Elétrica e Eletrônica, ArcelorMittal Tubarão, Serra, ES, Brasil.*

<sup>7</sup> *Engenheiro Eletricista, Coordenador de Projetos de Investimento, ArcelorMittal Tubarão, Serra, ES, Brasil.*

\* *Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.*





Italiana Danieli Davy Distinguon foi contratada para fornecer a engenharia, fabricação e supervisão. O planejamento de todas as atividades foi realizado previamente através dos resultados do *site survey*.

## 2 OBJETIVO

O objetivo principal do trabalho é apresentar as fases de desenvolvimento deste projeto, os resultados das tecnologias implantadas e os testes de performance para diferentes famílias de aço.

## 3 REVISÃO DA LITERATURA

A disponibilidade dos equipamentos é reduzida com aumento dos anos de operação principalmente em função de manutenções corretivas. As atualizações tecnológicas e reformas são necessárias visando reduzir custos de produção. A Figura 2 demonstra que os picos das atualizações tecnológicas do lingotamento contínuo ocorrem com 10 anos de operação [3].

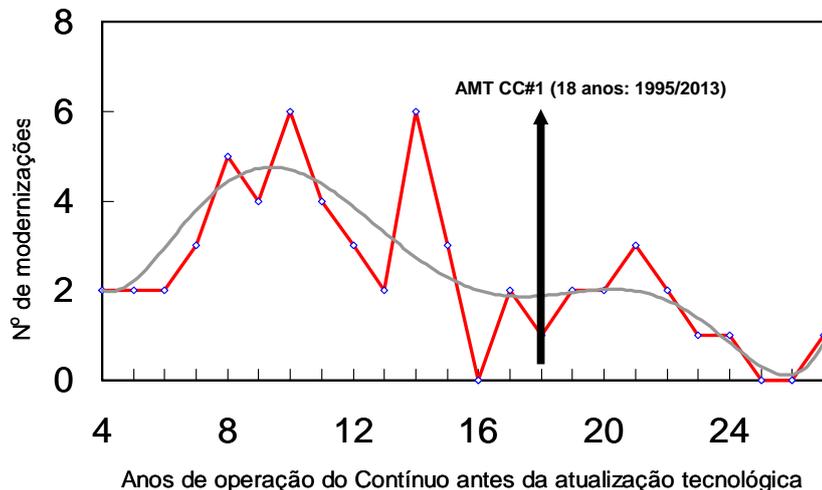
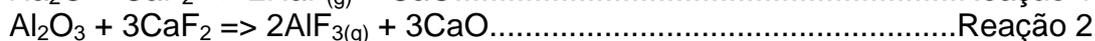


Figura 2. Anos de operação do Contínuo vs nº de modernizações [3]

Item relevante é a taxa de corrosão da estrutura da câmara de exaustão e dutos de exaustor que são influenciados diretamente pelas condições de temperatura e aproximadamente 20-30% do fluoreto do pó fluxante que é dissolvido na água do resfriamento secundário.

Zaitsev *et al.* [4] realizou experimentos de laboratório e testes industriais com fluxantes contendo flúor. Constatou emissões de HF(g) fluoretos solúveis (ex. NaF) e insolúveis. As Reações 1 a 4 descrevem a emissão de fluoretos como gás.



Sabe-se que NaF(g) e HF(g) são formados em temperaturas acima de 530°C e que o SiF<sub>4</sub>(g) e AlF<sub>3</sub>(g) formam em temperaturas mais elevadas.

A umidade reage com flúor de acordo com a Reação 5.

\* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.



Sabe-se que  $\text{NaF}_{(g)}$  e  $\text{HF}_{(g)}$  são formados em temperaturas acima de  $530^{\circ}\text{C}$  e que o  $\text{SiF}_{4(g)}$  e  $\text{AlF}_{3(g)}$  formam em temperaturas mais elevadas. A umidade reage com flúor de acordo com a Reação 5.



Emissões de criolita ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) são aproximadamente 100 vezes maiores do que  $\text{CaF}_2$ . Geralmente é adicionado  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  ou aplicado no spray da água de refrigeração para compensar o aumento da acidez da água, sendo que no Brasil atualmente é adicionado  $\text{Na}(\text{OH})_2$  [5]. Além deste tratamento químico, na água do resfriamento secundário, é realizado também tratamento superficial e pintura principalmente de base Epóxi, nas estruturas metálicas, visando reduzir a taxa de corrosão. Nos últimos anos tem intensificado o desenvolvimento de fluxantes visando eliminar a emissão de fluoretos [6].

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

As principais características da máquina de lingotamento contínuo #1 são demonstradas na Tabela 1. A máquina de lingotamento contínuo #1 é do tipo curva com raio principal de 10,5 m, não apresentando raio de dobramento, reduzindo os níveis de trincas superficiais e internas, principalmente nos aços micro ligados. Estes aços representam 16,9% do mix de produção, Figura 3. O comprimento metalúrgico é 30,2 m que permite lingotar até 2 m/min (espessura 200 mm), o qual depende da composição química do aço e densidade do resfriamento secundário. O controle do aço no molde é realizado através do sensor NKK (*eddy current*) que alcança excelente performance quanto ao desvio de aço no molde. Quanto à partida da máquina, o distribuidor possui a tecnologia de partida a frio, somente com aquecimento da válvula submersa e canal da válvula gaveta. É realizada a purga com argônio no distribuidor, antes de lingotamento, visando aumentar a limpidez do aço e reduzir a ocorrência de obstrução por alumina.

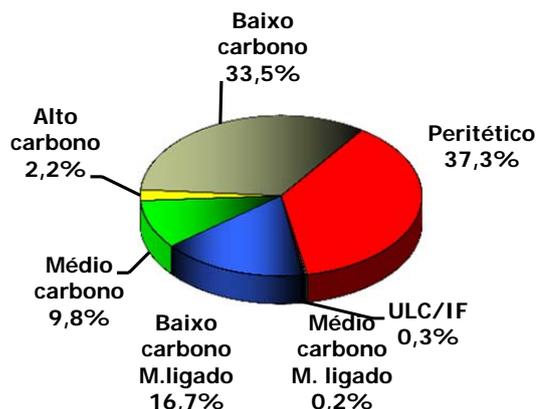
### 4.1 Site Survey

Especificamente sobre as condições do alinhamento da máquina, condição das vigas bananas em termos de corrosão, e da parte civil, foram realizadas diagnoses através de contratações de empresas especializadas. Esta fase da reforma, antes das contratações, é relevante no sentido de direcionar os componentes a serem trocados, reduzindo os custos totais do projeto. A Figura 4 mostra as condições de corrosão da estrutura lateral dos veios.

\* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.

**Tabela 1.** Principais características do lingotamento contínuo 1 da ArcelorMittal Tubarão

DADOS TÉCNICOS		CC #1
START UP		12/4/95
CAPACIDADE NOMINAL	t	1,800,000
TIPO		Curva
FORNECEDOR		Demag
NÚMERO DE VEIOS		2
ESPESSURA	mm	200,225,250
LARGURA	mm	1050 ~ 1650
COMPRIMENTO	mm	5000 ~ 12500
RAIO PRINCIPAL	m	10,5
NUMERO DE RAIOS DESDOBRAMENTO		3
COMPRIMENTO METALÚRGICO	m	30,2
Nº SEGMENTOS POR VEIO		15 (incluindo segmento zero)
MÁXIMA VELOCIDADE (TH 200)	m/min	2.0
MÁXIMA VELOCIDADE (TH 225)	m/min	1.6
MÁXIMA VELOCIDADE (TH 250)	m/min	1.4
CAPACIDADE DO DISTRIBUIDOR	t	45
DETECTOR DE ESCÓRIA		AMEPA
CONTROLE DE FLUXO DE AÇO NO DISTRIBUIDOR		Válvula gaveta
ADIÇÃO DE FLUXANTE		Semi automático
CONTROLE DE FLUXO DE AÇO NO MOLDE		NKK - com auto start
SISTEMA DE OSCILAÇÃO DO MOLDE		Convencional - excêntrico
PLACA DO MOLDE		CuCrZr (revestimento Ni)
TROCA DE LARGURA		SIM
INSERÇÃO DA BARRA FALSA		Topo
MODELO DE INTERFACE DE CORRIDA		Dinâmico



**Figura 3.** Mix de produção 2013 do CC#1 - ArcelorMittal Tubarão.



**Figura 4.** Corrosão da estrutura lateral dos veios do lingotamento contínuo 1 da ArcelorMittal Tubarão.

## 4.2 Modelo de Contratação

Foi aplicado um modelo tendo como líder a ArcelorMittal Tubarão (AMT), contratando os próprios fornecedores dos equipamentos a serem reformados. Para o pacote de tecnologias foi contratada a empresa Italiana Danieli Davy Distington. O gerenciamento, planejamento e fiscalização ficaram a cargo da própria AMT com

\* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.



suporte de uma empresa externa. Foram necessários 115 dias para realização da reforma da máquina de lingotamento contínuo #1. A Figura 5 apresenta o cronograma das principais fases deste projeto, como também, à divisão de escopo das atividades de reforma e implantação das tecnologias.

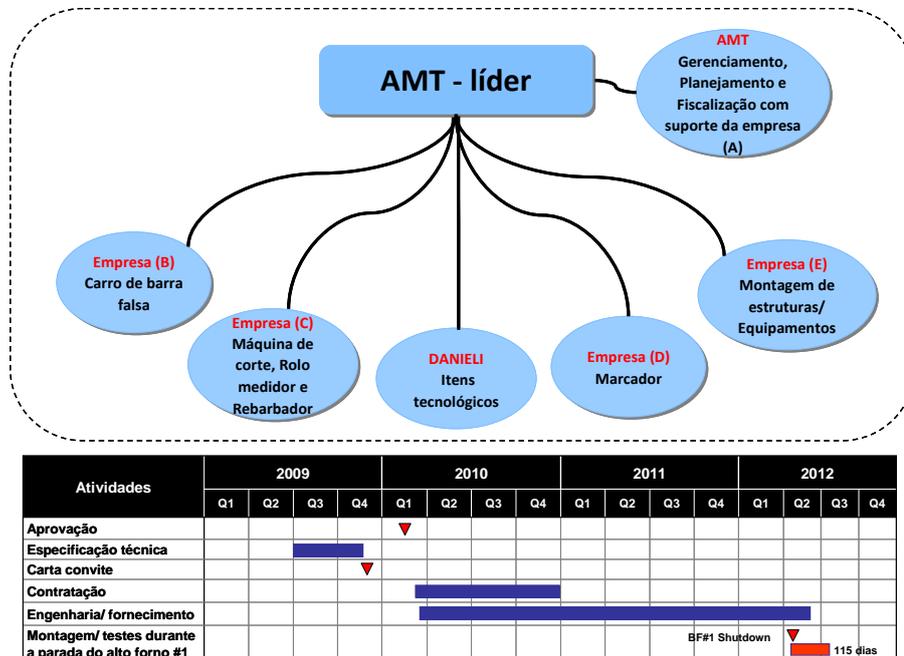


Figura 5. Modelo de contratação e cronograma das principais fases da reforma do contínuo 1.

### 4.3 Escopo da Reforma do Contínuo 1

O escopo da reforma do CCM#1 englobou aspectos de eliminação de corrosão da máquina, troca de componentes com defasagem tecnológica e melhoria das condições de trabalho dos operadores dos veios. A Tabela 2 apresenta o detalhamento deste escopo.

Tabela 2. escopo principal da reforma do CC#1

ITEM	ESCOPO
Carro distribuidor	Reforma da estrutura, controle automático de içamento (desgaste da SEN) e instalação do controle remoto de adição de fluxante
Válvula Gaveta do TD	Instalação do sistema de troca rápida da SEN
Molde	Troca dos PLC's da troca largura e controle nível do aço no molde com Upgrade dos Softwares e instalação de fusos tipo Ball Screw
Veios	Instalação da cabine remota de controle dos veios com reforma do SOP (strand operation panel), substituídos os assentos de apoio dos segmentos e alinhamento dos stands dos segmentos
Carro Barra Falsa	Reforma dos componentes mecânicos
Câmara Exaustão e área de run out	Troca das estruturas com elevado índice de corrosão/pintura especial
Máquina de Corte	Troca dos rolos medidores e reforma completa da máquina de corte

#### 4.3.1 Carro distribuidor

Foi feito reforço no carro distribuidor em função da instalação de vários equipamentos extras ao longo do tempo.

\* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.



O projeto original do carro distribuidor não contemplava os controles de desgaste automático da válvula submersa, durante o lingotamento, e adição semi-automática do pó fluxante no molde. Foram instalados novos motores e *drives* para controle automático do desgaste da SEN (Figura 6) e silos para recebimento de pó fluxante, pressurizados com nitrogênio, com recursos de controle a distância da vazão de fluxante para o molde (Figura 7).

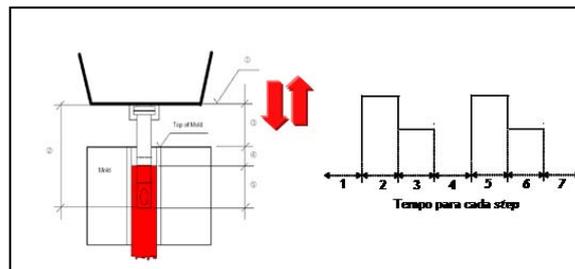


Figura 6. Controle de desgaste automático da SEN – CC#1.

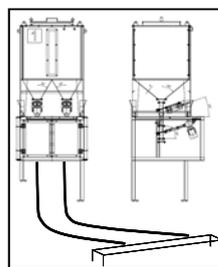


Figura 7. Adição semi-automática de fluxante - CC#1.

#### 4.3.2 Mecanismo de válvula gaveta do distribuidor

Instalado mecanismo de válvula gaveta de distribuidor com cilindro hidráulico de troca da válvula submersa durante o lingotamento (Figura 8). Esta tecnologia contribui para aumentar o sequencial de corridas no distribuidor.

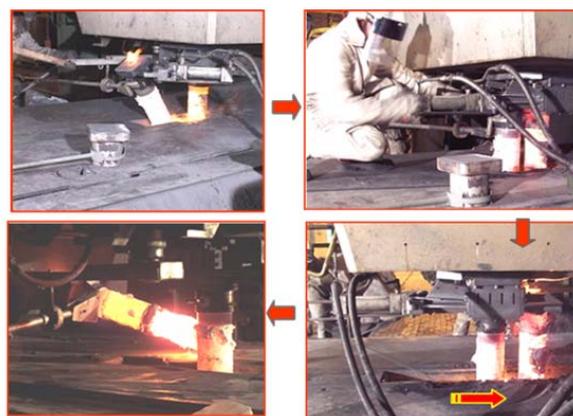


Figura 8. Mecanismo de válvula gaveta do TD com troca da SEN – CC#1.

#### 4.3.3 Medição contínua de temperatura do aço no distribuidor

Instalação de Termopar na lateral do distribuidor, visando coletar automaticamente a temperatura do aço. Além da redução da exposição do operador às altas temperaturas, esta tecnologia possibilita ganho de produtividade no contínuo (Figura 9).

\* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.

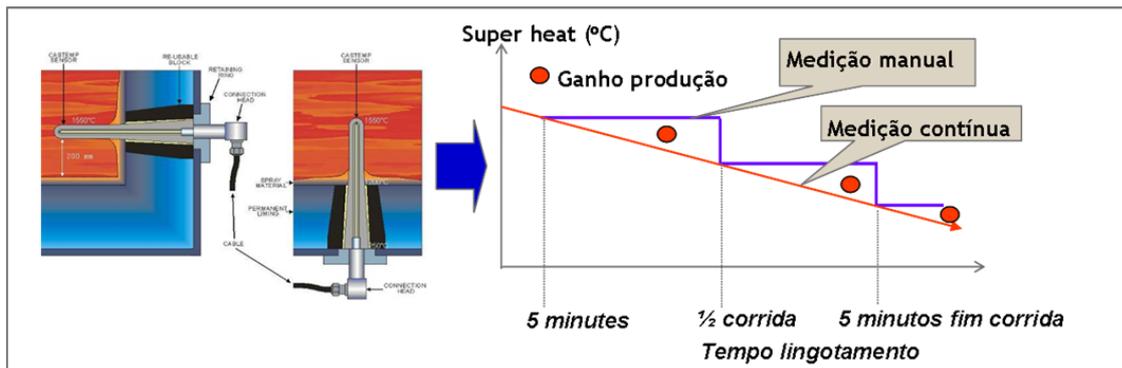


Figura 9. Comparativo de ganho de produção: medição de temperatura no TD manual vs contínua.

#### 4.3.4 Controle de nível do aço no molde

Realizada substituição completa do *hardware* em função da descontinuidade pelo fornecedor, como também, individualização de controle por veio. O sensor ECLM foi substituído visando atender os requisitos para partida automática dos veios. A Figura 10 demonstra o diagrama básico de controle de nível com aplicações dos controladores PID ou LQG (Linear Quadrático Gaussiano).

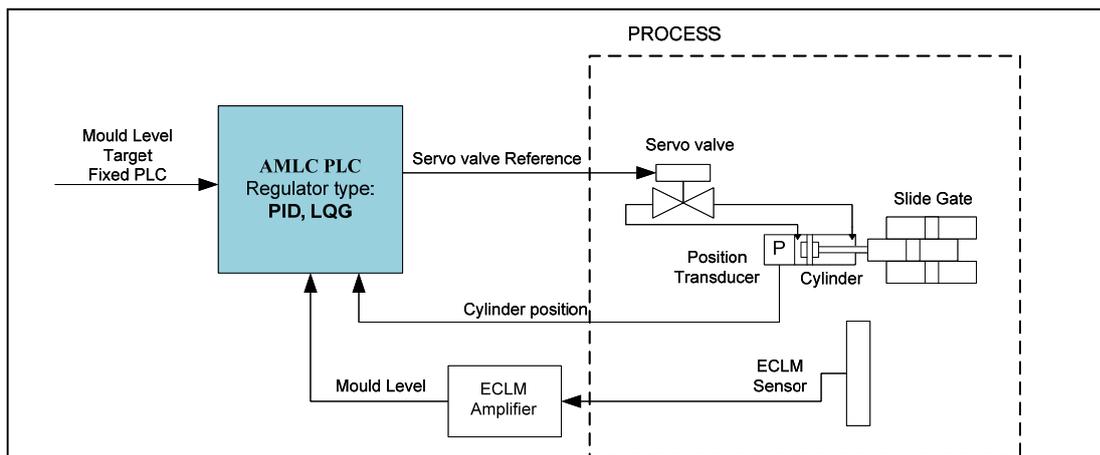


Figura 10. Diagrama básico de controle de nível de aço no molde – CC#1.

#### 4.3.5 Sistema de troca de largura do molde

Substituição dos *Drives* de acionamento dos servos motores devido descontinuidade. Foi alterado o mecanismo de acionamento das faces estreitas do molde de fusos trapezoidais para fusos com esferas visando eliminar folgas excessivas e conseqüentemente possíveis perdas de *taper* durante o lingotamento (Figura 11). O Software de troca de largura foi modificado com cálculo dinâmico do *effective taper*.

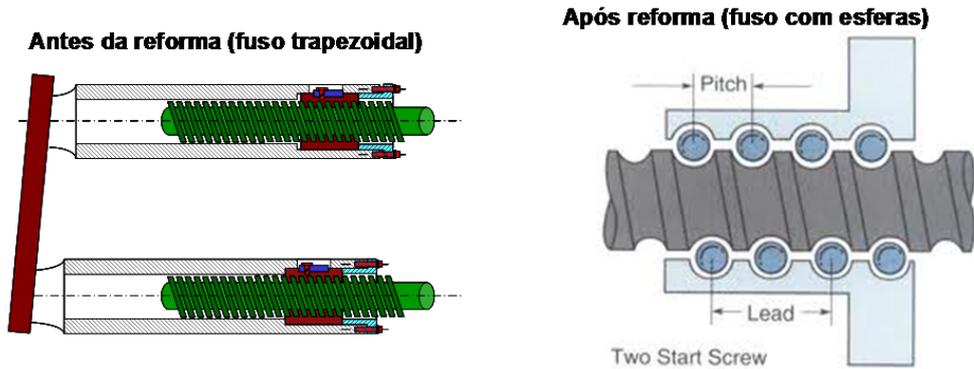


Figura 11. Tipo de acionamento das faces estreitas do molde – CC#1.

#### 4.3.6 Cabine remota de controle dos veios

Implantada cabine remota de controle dos veios com uma distância de 10 m dos moldes. Os comandos foram duplicados conforme painel local (Figura 12). As principais vantagens desta operação remota são: reduzir o tempo de exposição do operador às altas temperaturas, ruídos e projeção de aço; melhorar as condições de ergonomia e maior poder de análises das variáveis de processo pelos operadores dos veios.

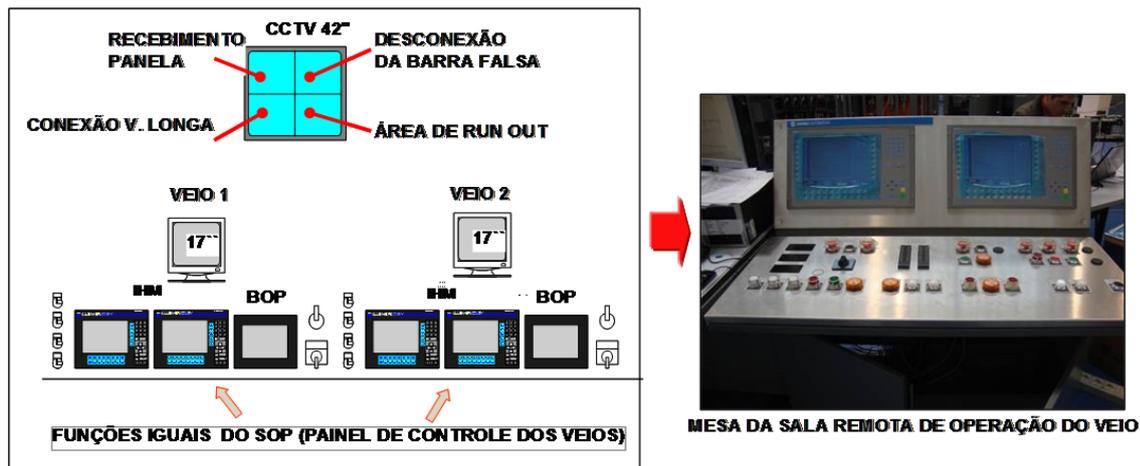


Figura 12. Comandos e equipamentos da sala remota dos controles dos veios – CC#1.

#### 4.3.7 Câmara de exaustão

Durante o período de parada de 115 dias foram substituídas todas as guias de inserção de segmentos bem como as estruturas que as suportam. As vigas de sustentação da plataforma de lingotamento foram jateadas e pintadas com tinta com escamas de vidro e suas ligações foram substituídas, como também, os dutos de exaustão (Figura 13). Foram trocadas aproximadamente 450 t de estruturas metálicas.

As vigas bananas (Figura 14) foram jateadas, pintadas e substituídos os assentos dos segmentos e do *quick change* e depois os seus alinhamentos utilizando medição a laser. Para finalizar o alinhamento foram montadas as bases inferiores dos segmentos para verificar o *pass line*, após re-alinhamento dos segmentos nos stands de manutenção.

\* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.

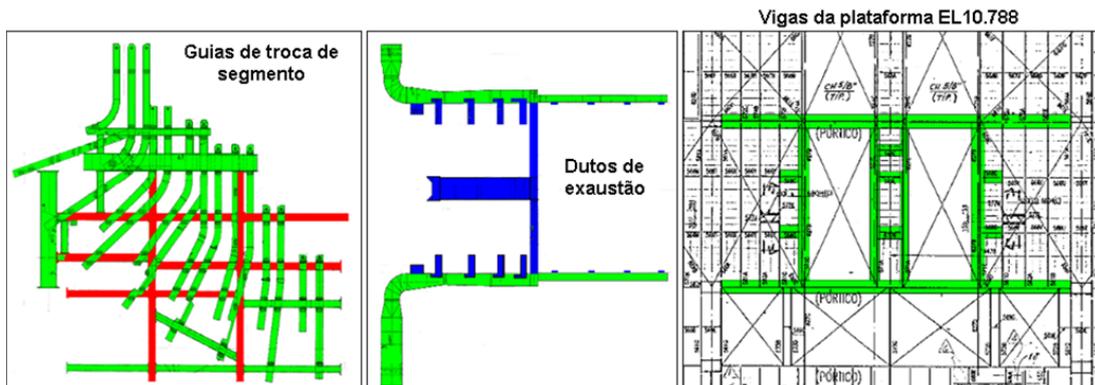


Figura 13. Estrutura da câmara e dutos de exaustão - CC#1.

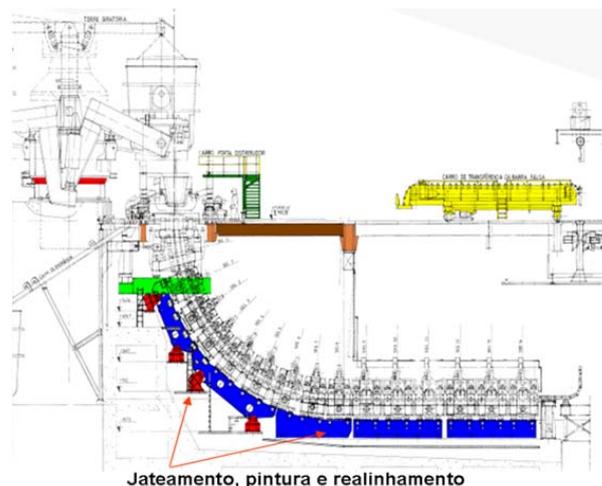


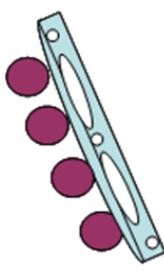
Figura 14. Viga banana e suportes -- CC#1.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A reforma do lingotamento contínuo da ArcelorMittal Tubarão teve a duração de 115 dias atingindo todas as premissas de projeto sem ocorrências de acidentes. Os principais destaques foram:

- ✓ Zero Acidente CPT com a implantação do Plano de Segurança, onde Guardiões de Segurança atuavam efetivamente na fiscalização. Esse Plano foi baseado no programa *red scorpions* da AM South Africa, através da vigilância, influência e motivação das boas práticas de segurança e saúde, garantindo que a segurança seja um valor;
- ✓ Desalinhamento máximo dos segmentos =  $\pm 0,3$  mm;

Tabela 3. Desalinhamento máximo dos segmentos

	Entre molde, segmento zero e 1	$\pm 0.3$ mm
	Entre segmentos da parte curva	
	Entre segmentos parte curva e desdobramento	
	Entre segmentos de desdobramento e região horizontal	
	Entre segmentos da região horizontal	



- ✓ *Rating up* de produção e mix de tipo de aço, conforme planejado, atingido 7000 t/dia após 25 dias de operação;
- ✓ Operação remota dos veios com ganhos segurança e ergonomia para os operadores dos veios;
- ✓ Troca de largura durante o lingotamento de até 300 mm sem perda de *Taper*;
- ✓ Partida automática dos veios;
- ✓ Redução dos índices de segregação (Figura 15) e trincas.

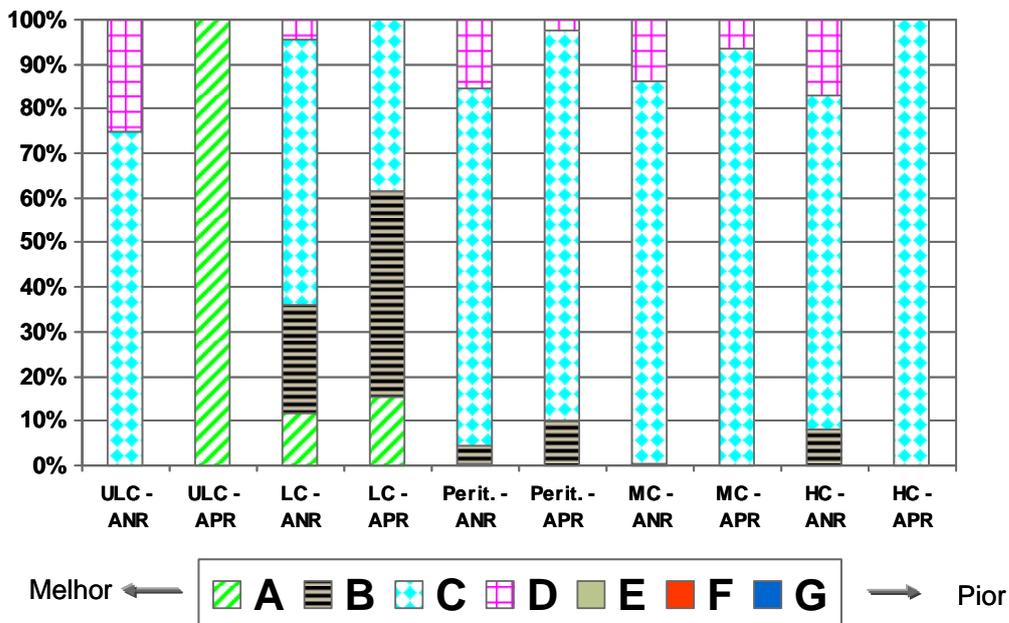


Figura 15. Índice de segregação interna nas placas do CC#1.

## 6 CONCLUSÃO

A reforma do lingotamento contínuo é uma atividade complexa e o sucesso depende de um planejamento estruturado com a participação de todas as especialidades com conhecimento dos equipamentos. A reforma do lingotamento contínuo 1 da ArcelorMittal Tubarão atingiu todas as metas de segurança, qualidade, produção e prazo.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a toda equipe da unidade técnica, operação, manutenções, metalurgia, engenharias e contratadas pelas valiosas contribuições na execução da reforma do lingotamento contínuo 1.

## REFERÊNCIAS

- 1 Perim CA, Matos M, Moreira D, Duarte J, Valle LR. Productivity increase in the continuous casting machines at Companhia Siderúrgica de Tubarão. In: Proceedings of the 5th European Continuous Casting Conference; 2005; Nice, France. Nice: La Revue de Metallurgie; 2005. vol.1, p.232-38.
- 2 Nascimento AD, Andrade KB, Sant'anna IP, Reis ALG. New Slab Technologies at ArcelorMittal Tubarão. In: Proceedings of the 6th European Continuous Casting

\* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.



Conference; 3-6 June 2008; Riccione, Italy. Milano: Associazione Italiana di Metallurgia; 2008.

- 3 VAI(3) descreve: Atualizações tecnológicas das máquinas de continuo em função do tempo de operação – survey 1996 [ relatório interno VAI-Survey]; 1996.
- 4 Zaitsev AI, Leites AV, Litvina AD, Mogutnov BM. Investigation of the mould powder volatiles during continuous casting. Steel Research. 1994;65(9):368.
- 5 Souza Junior JA, P Junior JC, Santos SS, Bezerra MCC, Valadares CAG, Diego AA. Análise da influência do fluxante isento de flúor no lingotamento contínuo de placas para aços baixo carbono. In: ABM. Anais do 43º Seminário Internacional de Aciaria; 2012; Araxá, Brasil. São Paulo: ABM; 2012.
- 6 Wen G, Sridhar S, Tang P, Qi X, Liu Y. Development of fluoride-free mold powders for peritectic steel slab casting. ISIJ International. 2007;47(8):1117-25.

---

\* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.