



STRESS TESTS DA MÁQUINA DE LINGOTAR GUSA DA USINA DA VALLOUREC & SUMITOMO TUBOS DO BRASIL (VSB)*

Paulo César Lemes de Almeida¹
Ronnie Lima de Souza²
Hélder Sales Rodrigues³
Luciana Resende Alvim⁴
Onidio Teixeira Pinto Junior⁵
Thiago André Oliveira⁶
Luciano Gonçalves de Lima⁷

Resumo

No projeto da usina da VSB, em Jeceaba – MG estão contemplados dois altos-fornos de 350 m³ de volume útil e uma máquina de lingotar gusa (MLG) com capacidade de 150 t/h. Um destes altos-fornos já está pronto para o início de operação. Visando realizar os testes a quente da MLG a aciaria da VSB tem produzido aço com alto teor de carbono para testar o equipamento. Realizaram-se 07 etapas de testes que possibilitaram a implantação de algumas melhorias na MLG, coletar dados sobre a logística de movimentação de panelas, estimar perdas térmicas do gusa e treinar o pessoal para a operação. Nesta contribuição técnica descrevem-se os testes realizados e as modificações decorrentes.

Palavras-chave: Lingotamento; Gusa; Máquina de lingotar gusa.

STRESS TESTS OF THE PIG CASTING MACHINE AT VALLOUREC & SUMITOMO TUBOS DO BRASIL (VSB)

Abstract

VSB is an integrated steel plant located in Jeceaba, Brazil. Two blast furnaces of 350m³ working volume were considered in the project and one of them (Blast furnace Nr 2) is ready for the start-up. One pig casting machine (PCM) with the nominal capacity of 150 tons/hour is also considered. VSB melt shop has produced high Carbon steel aiming to test the PCM. It was carried out 07 tests. The main gains of these tests are, as follows: collecting data about logistics of hot metal ladles and heat losses; training of PCM team; improvements at the PCM facilities. The tests, their results and PCM improvements are commented in this paper.

Keywords: Casting; Hot metal; Pig casting machine.

- ¹ Engenheiro Metalurgista, engenheiro de processo do alto-forno, gerência de alto-forno, Vallourec & Sumitomo Tubos do Brasil, Jeceaba, Minas Gerais, Brasil.
- ² Engenheiro Metalurgista, coordenador da equipe de alto-forno, gerência de alto-forno, Vallourec & Sumitomo Tubos do Brasil, Jeceaba, Minas Gerais, Brasil.
- ³ Técnico em Metalurgia, supervisor de produção, gerência de alto-forno, Vallourec & Sumitomo Tubos do Brasil, Jeceaba, Minas Gerais, Brasil.
- ⁴ Tecnólogo em Gestão de Produção Industrial, técnica industrial, gerência de alto-forno, Vallourec & Sumitomo Tubos do Brasil, Jeceaba, Minas Gerais, Brasil.
- ⁵ Engenheiro Metalurgista, gerente do alto-forno, Vallourec & Sumitomo Tubos do Brasil, Jeceaba, Minas Gerais, Brasil.
- ⁶ Engenheiro Químico, engenheiro de processo da metalurgia primária e secundária, gerência de aciaria, Vallourec & Sumitomo Tubos do Brasil, Jeceaba, Minas Gerais, Brasil.
- ⁷ Técnico em eletromecânica, inspetor da manutenção mecânica, gerência de manutenção da siderurgia, Vallourec & Sumitomo Tubos do Brasil, Jeceaba, Minas Gerais, Brasil.

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



1 INTRODUÇÃO

A usina siderúrgica da Vallourec & Sumitomo Tubos do Brasil (VSB) contempla dois altos-fornos, projetados pela Paul Wurth, que atenderão a uma aciaria elétrica. O Alto-forno 2 teve a sua montagem concluída e está pronto para entrar em operação. Suas principais características do Alto-forno 2 da VSB estão anotadas na tabela 1.

Tabela 1 – Principais características do Alto-forno 2 da VSB [1]

Parâmetro	Unidade	Valor
Volume útil	m ³	350
Nº de ventaneiras	–	14
Diâmetro do cadinho	mm	4.800
Diâmetro da goela	mm	4.250
Topo	–	SBPT (single bell pressure top)
Regeneradores	–	3
Temperatura máxima de sopro	°C	1.000
Pelota na carga	%	70 – 80
Redutor	–	Carvão vegetal

O projeto contempla uma Máquina de Lingotar Gusa (MLG) com capacidade de 150 t/h, cujas principais características estão mostradas na tabela 2.

Tabela 2 – Principais características da Máquina de Lingotar Gusa da VSB [1]

Parâmetro	Unidade	Valor
Produção horária	t/h	50 a 150
Nº de esteiras	–	02
Peso individual do lingote	kg	13
Número de lingotes por lingoteira	-	03
Número de lingoteiras por esteira	-	464
Velocidade da esteira – máxima	m/min	9,2
Temperatura do lingote na descarga da MLG	°C	200 – 250

O transporte de gusa será realizado utilizando-se painéis de gusa com capacidade de 90 t. Na MLG o metal líquido é vertido usando basculador hidráulico e é direcionado para os veios lingotadores sendo cada um acionado por um motor. *Sprays* de água estão instalados na máquina, ao longo dos veios, com o objetivo de resfriar e solidificar os lingotes. Os mesmos são pulverizados com uma polpa de água / argila na parte inferior da máquina com o objetivo de facilitar a desmoldagem dos lingotes durante a operação de descarga. Depois de solidificados, os lingotes são desmoldados na parte superior dos veios e, por gravidade, são descarregados através dos chutes na estação de descarga da máquina. Os lingotes que não se desprendem da esteira na região de descarga são removidos por rodas tipo estrela situadas na região intermediária da máquina. As esteiras ainda são sujeitos a aquecedores instalados sob a máquina com o objetivo de promover o pré-aquecimento dos moldes antes da operação.

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



Figura 1 – Máquina de lingotar gusa da VSB

Em situações de parada da aciaria, a produção do alto-forno será desviada para a máquina de lingotar gusa. Dessa forma, esse equipamento deve apresentar alta disponibilidade para manter a operação contínua do alto-forno. Com o objetivo de testar a máquina de lingotar gusa antes do alto-forno entrar em operação, a aciaria da VSB produziu “aço alto carbono” (teor de carbono do aço maior que 2,0%). Foram realizados 07 testes, entre fevereiro de 2013 a março de 2014, e após cada teste, ações de melhorias foram identificadas e implementadas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os testes com aço alto-carbono na máquina de lingotar gusa contemplam as seguintes etapas:

- i. aquecimento das placas de ferro-gusa;
- ii. elaboração do aço alto-carbono na aciaria;
- iii. medição da temperatura do aço na placa;
- iv. lingotamento.

2.1 Aquecimento das Placas de Ferro-gusa

Inicialmente, tem-se o aquecimento das placas de ferro-gusa de forma a prepará-las para receber o metal produzido na aciaria. O aquecimento das placas é iniciado 4 dias antes do teste, de forma a garantir que as placas atinjam o encharque térmico desejado nos aquecedores. Nas primeiras horas, é estabelecida uma curva de aquecimento, conforme figura 2, de forma a não danificar o refratário da placa.

* *Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

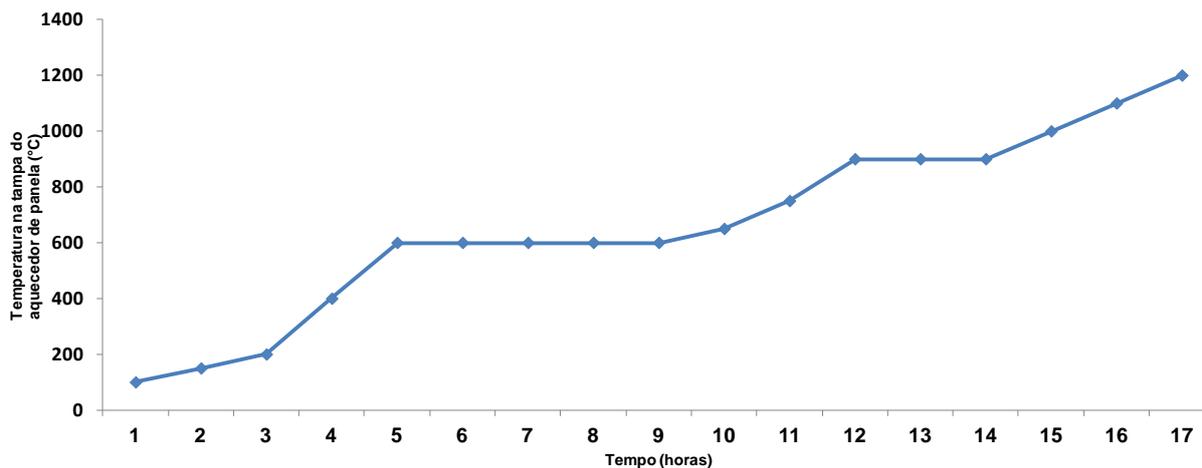


Figura 2 – Curva de aquecimento da panela de ferro-gusa

Durante o aquecimento das panelas foram realizadas medições de temperatura de carcaça metálica. As medições foram feitas utilizando pirometria (infravermelho) em pontos definidos. A figura 3 indica a posição de dois pontos onde foram feitas as medições.



Figura 3 – Posição de medição de temperatura na carcaça da panela de ferro-gusa

Com base nas medições de temperatura da carcaça foi possível avaliar o estado térmico da panela.

2.2 Elaboração do “Aço Alto-carbono” na Aciaria

A elaboração do metal na aciaria é realizada na rota: forno elétrico e forno panela, em sequência. Objetiva-se teor de carbono no aço maior que 2%, visto que quanto maior o teor de carbono, menor será a temperatura *liquidus* do metal e mais semelhante será o comportamento do material com o ferro-gusa.

A tabela 3 apresenta a composição química do aço utilizado nos 7 testes a quente da MLG.

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



Tabela 3 – Composição química do metal utilizado nos testes

Testes	Composição química do “aço alto-carbono” (%)			Temperatura <i>liquidus</i> do aço (°C)
	C	Si	Mn	
1°	2,04	0,50	0,71	1387
2°	2,26	0,53	0,62	1369
3°	2,12	0,57	0,7	1381
4°	2,15	0,57	1,22	1378
5°	3,76	0,54	0,69	1219
6°	3,36	0,51	0,70	1264
7°	2,96	0,64	0,65	1305

2.3 Medição de Temperatura do Metal na Panela de Ferro-Gusa

Foram realizadas medições de temperatura com o objetivo de avaliar a perda térmica do metal na panela. Após a elaboração do aço alto-carbono na aciaria, a panela de ferro-gusa (previamente aquecida) é transportada para o galpão da aciaria para receber o metal líquido. O momento que se inicia o basculamento do metal para a panela é tomado como referência para se avaliar a evolução de temperatura ao longo do tempo. Após o término do basculamento são realizadas medições de temperatura do metal, tanto no galpão da aciaria e quanto no galpão do alto-forno, após o transporte da panela.

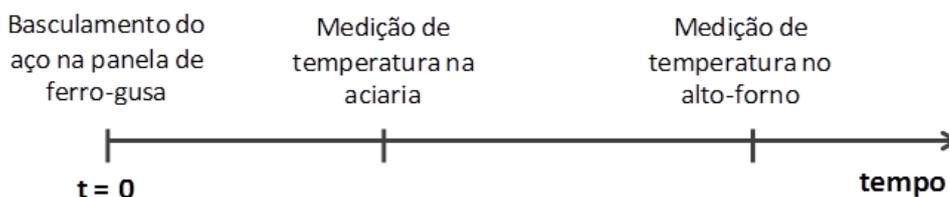


Figura 4 – Momentos de medição da temperatura do metal na panela de ferro-gusa

Tanto no galpão da aciaria quanto do alto-forno, foram realizadas no mínimo 3 medições de temperatura respeitando o tempo de aproximadamente 2 minutos entre cada medição.

Com as informações levantadas foi possível avaliar a perda de temperatura do metal líquido na panela.

2.4 Lingotamento

Durante a operação da máquina de lingotar foram avaliados principalmente os seguintes itens:

- i. capacidade de produção da máquina;
- ii. geração de sucata;
- iii. eficiência na refrigeração e desmoldamento dos lingotes;
- iv. avaliação de aspectos de segurança.

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Aquecimento das Panelas de Ferro-gusa

Com base na medição de temperatura da carcaça das panelas de ferro-gusa, foi possível avaliar o estado térmico da panela. A figura 5 mostra a evolução da temperatura da carcaça, em que pode-se perceber que a mesma estabiliza a partir de 20 horas de aquecimento.

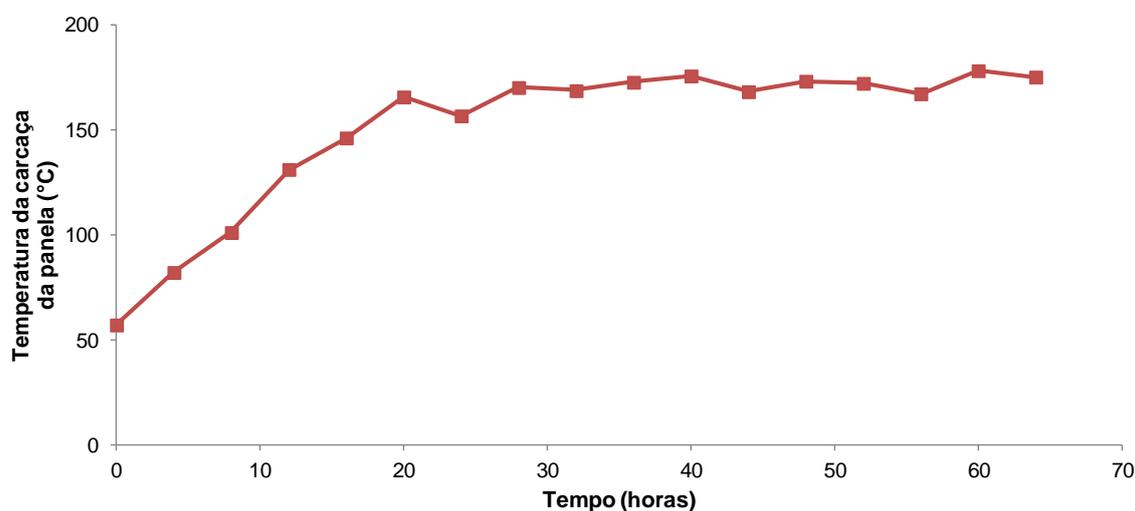


Figura 5 – Evolução da temperatura da carcaça da panela de ferro-gusa durante aquecimento

3.2 Avaliação da Perda Térmica do Gusa

A perda térmica do gusa é afetada principalmente pelos seguintes fatores:

- i. condição térmica da panela (medida pela temperatura da carcaça);
- ii. tempo de permanência do metal na panela;
- iii. utilização de tampa ou palha de arroz;
- iv. quantidade de gusa líquido na panela;
- v. temperatura inicial do metal.

Durante os testes a quente avaliou-se a perda térmica média do metal na panela, utilizando-se a relação (i).

$$\text{Perda térmica média} = \frac{(\text{Temperatura final} - \text{temperatura inicial})}{\text{Tempo total}} \quad (i)$$

Um dos fatores que mais afetam a perda térmica média é o tempo de permanência do metal na panela. No início, quando a diferença de temperatura entre o gusa e o revestimento refratário é grande a perda térmica será maior, e reduzirá a medida que a temperatura do revestimento subir. Dessa forma, longos tempos de permanência tendem a reduzir a perda térmica média. Essa afirmação pode ser vista na figura 6, em que cada ponto do gráfico está associado a uma panela utilizada no teste.

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.

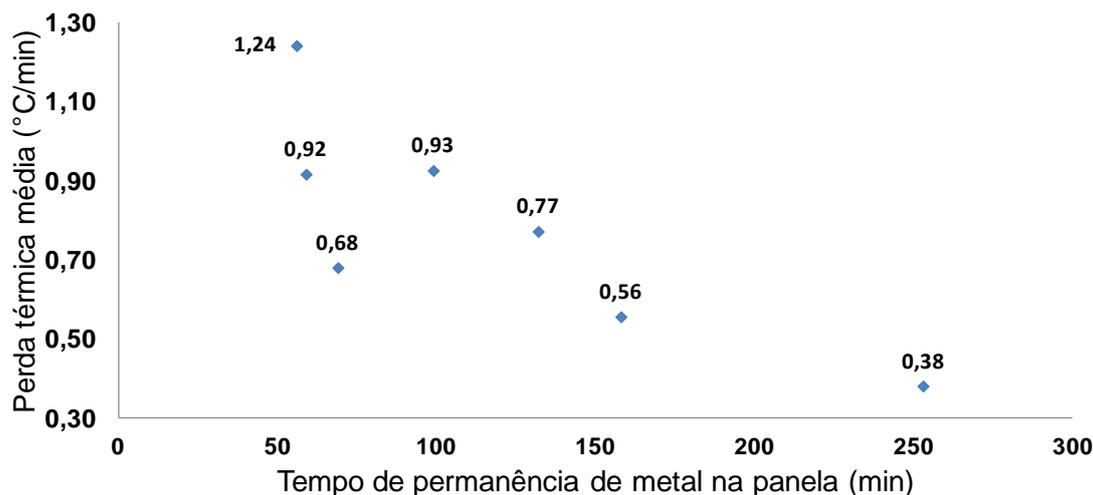


Figura 6 – Perda térmica média em função do tempo de metal na panela de ferro-gusa

3.3 Lingotamento

3.3.1 Capacidade de produção da MLG

Nos dois primeiros testes a quente foram lingotadas uma panela por teste. Nos quatro testes seguintes, passou-se a lingotar duas panelas, até que no último teste onde foram lingotadas quatro panelas em sequência, simulando uma situação de parada de cerca de 8 horas da aciaria com o alto-forno operando normalmente. A tabela 4 mostra a evolução do peso de aço alto-carbono lingotado por teste.

Tabela 4 – Número de panelas lingotadas e peso de metal por panela nos testes da MLG

Teste	Número de panelas	Peso de aço por panela (t)
1 ^o	1	79
2 ^o	1	99
3 ^o	2	81
		56
4 ^o	2	89
		56
5 ^o	2	55
		77
6 ^o	2	67
		73
7 ^o	4	57
		74
		52
		80

A figura 7 apresenta a produção horária da MLG obtida durante os testes a quente.

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.

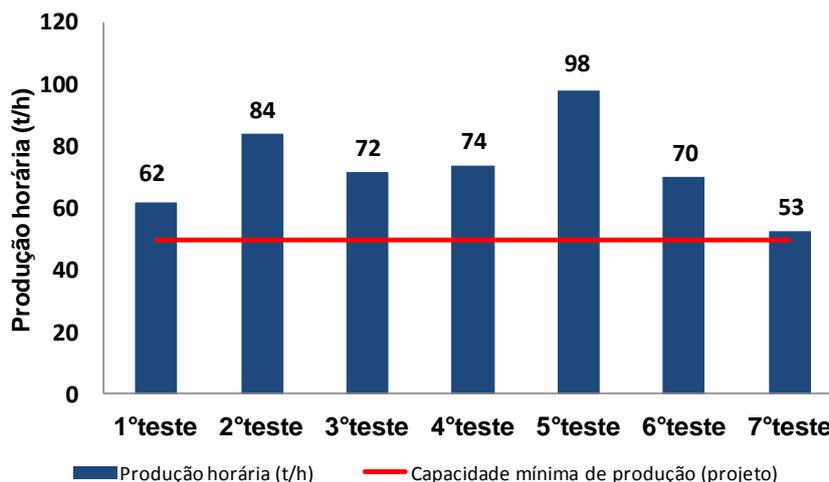


Figura 7 – Capacidade de produção da MLG durante os testes

A produção horária nominal do Alto-forno 2 é de 35 t/h e conforme pode ser visto na figura 7 a produção da MLG foi superior a 50 t/h em todos os testes. A capacidade nominal da MLG é de 150 t/h considerando 90% de enchimento das lingoteiras. No entanto, por solicitação do cliente aciaria, durante os testes o fluxo de metal foi controlado de forma a produzir lingotes menores, conforme pode ser visto na figura 8.



Figura 8 – Lingoteiras da MLG com baixo percentual de enchimento de metal

Com esse nível de enchimento das lingoteiras não houve retorno de lingotes que não desmoldaram. Avaliou-se que a temperatura do lingote na descarga não deve ser superior a 550°C para garantir que os mesmos desmoldem.

3.3.2 Geração de sucata

A geração de sucata na MLG é avaliada em termos da sucata de canal e dos respingos de metal líquido retidos na caçamba localizada abaixo das esteiras. A figura 9 exemplifica as duas situações.

* *Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.*



(a)



(b)

Figura 9 – Geração de sucata na MLG: (a) sucata no canal; (b) sucata na caçamba de respingos.

A figura 10 apresenta a evolução da geração de sucata durante os testes a quente.

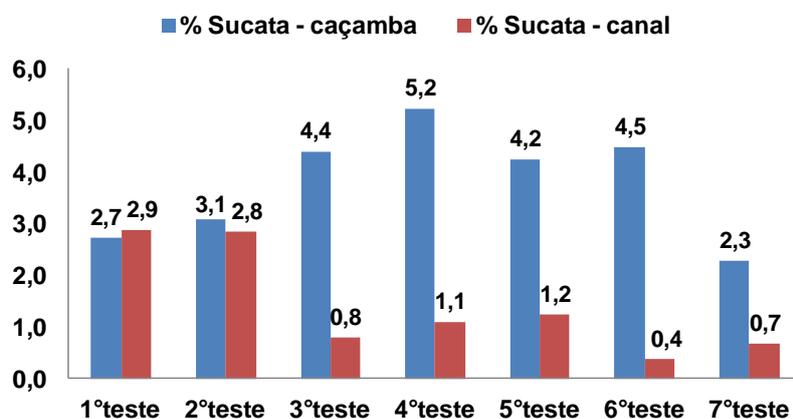


Figura 10 – Geração de sucata na MLG

Durante os testes, a geração total de sucata (caçamba de respingos e canal) situou-se entre 3% e 6,3%. Pode-se perceber na figura 10, uma redução na geração de sucata do canal. O item 3.4.2 detalha qual melhoria foi realizada para atingir essa redução.

3.4 Ações de Melhorias Realizadas na Máquina de Lingotar Gusa

Durante os testes foram identificadas várias ações de melhoria, com o objetivo reduzir risco associado a projeção de respingos, reduzir geração de sucata, melhorar distribuição de metal nas lingoteiras, melhorar refrigeração e desmoldamento dos lingotes.

3.4.1 Instalação de proteção térmica e anti-respingo

Com o objetivo de reduzir respingos na plataforma da MLG, foi instalada uma proteção cobrindo a primeira parte do canal, conforme mostra a figura 11.

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



(a)



(b)

Figura 11 – Proteção térmica e anti-respingo: (a) 1^o teste da MLG; (b) canal com a modificação no 3^o teste.

3.4.2 Modificação no canal da MLG

Foi identificado durante os dois primeiros testes a quente elevada geração de sucata no canal, principalmente decorrente do acúmulo de metal. A modificação realizada buscou reduzir esse acúmulo, conforme pode ser visto na figura 12.



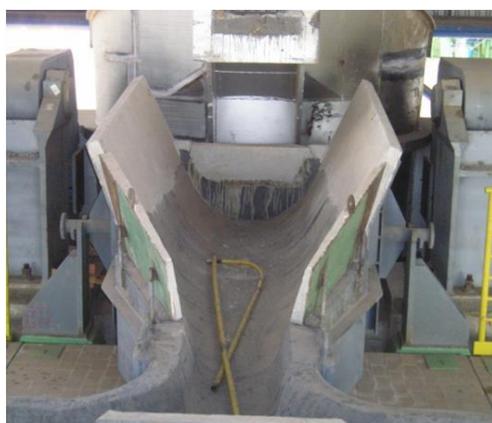
(a)



(b)

Figura 12 – Modificação no canal da MLG: (a) canal original; (b) canal modificado.

Outra modificação realizada no canal foi a fabricação de uma rampa para reduzir a geração de respingos durante o basculamento do metal líquido, o que pode ser visto na figura 13.



(a)



(b)

Figura 13 – Modificação no canal da MLG: (a) canal original; (b) canal modificado.

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



3.4.3 Modificação na distribuição do metal nas bicas da MLG

No 1^o teste foi identificada necessidade de melhorar a distribuição do metal nas coquilhas, conforme pode ser visto na figura 14.



(a)



(b)

Figura 14 – Distribuição do metal nas coquilhas: (a) situação original; (b) após modificação na bica.

A figura 15 apresenta a modificação realizada na bica, que buscou adequar à distribuição do metal nas coquilhas.



(a)



(b)

Figura 15 – Modificação na bica na MLG: (a) situação original; (b) após modificação na bica.

3.4.4 Ações para garantir o funcionamento da MLG

Com o objetivo de aumentar a disponibilidade do equipamento, foram redimensionadas as quantidades sobressalentes dos principais componentes, tais como bica, lingoteiras, elos, *sprays* e foram realizados simulados substituindo:

- i. bica;
- ii. lingoteira;
- iii. estrela desmoldadora;
- iv. trava do basculador de panela

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



A figura 16 mostra o momento de um dos simulados de substituição da bica da MLG.



Figura 16 – Simulado de substituição da bica da MLG

4 CONCLUSÃO

Do exposto, conclui-se:

- i. os testes possibilitaram testar a máquina de lingotar gusa, treinar o pessoal envolvido, determinar parâmetros críticos, tais como perdas térmicas, e executar melhorias no equipamento antes do início de operação do alto-forno;
- ii. a composição química do metal produzido para os testes apresentou teor de C variando de 2,04 a 3,76%;
- iii. os testes mostraram que a produção horária mínima de projeto foi ultrapassada;
- iv. a geração de sucata ficou entre 3 e 6%.

REFERÊNCIAS

- 1 Consolidated Technical Proposal – Blast furnaces BF#1 & BF#2 - Paul Wurth do Brasil–Vallourec & Sumitomo Tubos do Brasil Ltda Plant of Jeceaba. 2008.

* *Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.*