



## DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO PARA AFERIÇÃO DA TEMPERATURA INTERNA DOS FUROS DE CORRIDA DE UM ALTO-FORNO SIDERÚRGICO

Autores: Carlos Roberto Ferreira – Prof. Eng. Metalúrgica/IFMG Campus Ouro Branco, Victor Eric de Souza Moreira – Graduando em Eng. Metalúrgica/IFMG Campus Ouro Branco IFMG Campus Ouro Branco, Dimas Henrique Barros Andrade – GERDAU S/A.

Palavras-chave: Perfil térmico, Alto-forno, Furo de corrida, ferro-gusa e escória.

Campus: Ouro Branco

Área do Conhecimento (CNPq): Engenharia de Materiais e Metalúrgica, Metalurgia extrativa

Tipo de bolsa. PIBIC

Órgão financiador – IFMG/Campus Ouro

Branco

### RESUMO

O alto-forno é um reator siderúrgico destinado à produção do ferro-gusa, e como subproduto principal, produz escória. O ferro-gusa e escória são drenados do alto-forno, no estado líquido, através de um furo de corrida que se localiza na região inferior do mesmo e, em função disso essa região, devido às altas temperaturas e, ao regime de escoamento do ferro-gusa e da escória por ali drenados, é acometida por diversos mecanismos de desgaste tais como; o desgaste térmico e o desgaste abrasivo. Com o intuito de desenvolver maior conhecimento a respeito das condições térmicas e físicas dos furos de corrida de um alto forno siderúrgico, é proposto no presente estudo o desenvolvimento de um dispositivo para e aferir, com precisão, a temperatura interna dos furos de corrida e, em função das medições de temperaturas, traçar o perfil térmico ao longo do comprimento do furo de corrida. Com os experimentos realizados foram avaliadas diversas montagens dos dispositivos, e, assim, pode-se indicar qual montagem foi a mais apropriada para aferição das temperaturas e, também, foi possível padronizar uma metodologia, em conformidade com condições operacionais vigentes, permitindo registrar temperaturas da ordem de 620 °C a 500 mm da extremidade externa do furo de corrida de um alto-forno.

### INTRODUÇÃO:

O alto-forno é um reator siderúrgico destinado à produção do ferro-gusa, liga metálica de ferro e carbono, obtida a partir da redução de óxidos de ferro em contracorrente com os gases redutores (CO e H<sub>2</sub>), composta de 90 a 95% de ferro, 3,0 a 4,5% de carbono, além de elementos de liga como Si e Mn e impurezas como P e S. (RIZZO, 2009)

Além de ferro-gusa, são gerados nos altos-fornos subprodutos como; escória, gás de alto-forno, pó, lama e vapor (que pode ser utilizado na geração de energia elétrica). A escória é obtida pela fusão e separação da ganga das matérias-primas e dos fundentes sendo, constituída, principalmente, de óxidos termodinamicamente estáveis, como MgO, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e SiO<sub>2</sub>.



O gás que sai do topo do alto-forno, contém de 20 a 25% de CO e 3% de H<sub>2</sub> e, por apresentar poder calorífico da ordem de 700 a 800 kcal/Nm<sup>3</sup> pode ser usado como combustível. Os outros produtos (pó e lama) geralmente são aproveitados, para siderurgia, como matéria prima em processos de aglomeração/sinterização de finos de minério de ferro. (RIZZO, 2009; AGUIAR, 2016). A Figura 1 ilustra, esquematicamente o perfil de um alto-forno e suas principais partes estruturais.

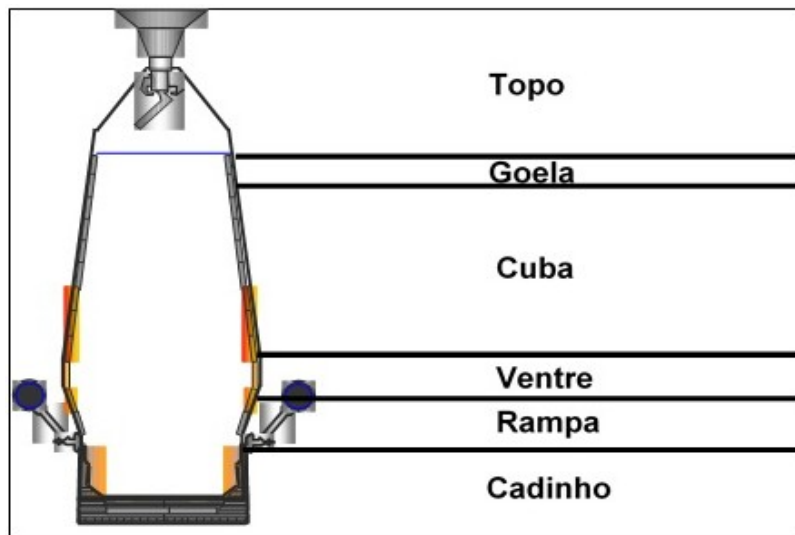


Figura 1: Principais partes do alto-forno (GUIMARÃES, 2003)

Durante a operação de redução do minério de ferro nos altos-fornos, o ferro-gusa e a escória são produzidos continuamente e acumulados, no cadinho, na parte inferior do alto-forno. À medida que se aumentam o volume de ferro-gusa e a escória, torna-se necessário a abertura do alto-forno para que se possa vaziar, pelo furo de gusa ou furo de corrida esse material líquido (SCUDELLER, 1997, GEERDES *et al.*, 2015). Atualmente, como mostrado na figura 2a, na maioria dos altos-fornos modernos, o furo de corrida é aberto por uma perfuratriz hidráulica que possui uma broca de WC (carbeto de tungstênio) e obturado, como mostrado na figura 2 b, com massa refratária, com o auxílio de um canhão pneumático ou hidráulico (canhão de lama).



Figura 2: (a) Perfuratriz no momento da abertura do furo de corrida (TMT), (b) Canhão de injeção de massa refratária (TMT).



Falhas durante a operação de tamponamento comprometem o processo de fabricação do ferro-gusa, sendo assim, é de extrema importância o conhecimento do perfil térmico do furo de corrida para que sua composição química da massa de tamponamento seja ajustada afim de que tenha uma performance que atenda ao processo (SPENCE, 1977). Para que se tenha uma ideia da severidade do ambiente no qual a massa de tamponamento opera, segundo Ribeiro (2010), um furo de corrida pode produzir 5000 toneladas por dia de ferro-gusa ou seja, o furo de corrida de um alto-forno é exposto a um elevado número de ciclos de tamponamento, abertura e vazamento de ferro-gusa e escória líquida a uma temperatura média de 1500°C.

O conhecimento operacional e circunstancial de reatores como os altos-fornos siderúrgicos é determinante na estabilidade e previsibilidade dos processos que os englobam, para alcançar e sustentar alta produtividade com custos competitivos. Na prática, constantemente é tomada medidas operacionais que visam retardar uma grande reforma do alto-forno pois, além de serem onerosas, demandam tempo sem produção, comprometimento financeiro da empresa e conseqüentemente dificuldades em manter as vagas de emprego, fato que reflete negativamente na sociedade. Neste contexto, o presente trabalho busca desenvolver um dispositivo e uma metodologia que torne possível, em um alto forno, aferir a temperatura interna do furo de escoamento do ferro-gusa bem como traçar o perfil térmico ao longo do comprimento do mesmo, obter informações sobre os valores de temperatura dentro e ao longo do furo de escoamento do ferro gusa e, por conseguinte, criar um histórico de acompanhado que, provavelmente, permitirá a análise do desgaste do alto-forno e auxiliará nas escolhas de procedimentos para a preservação do mesmo. Assim, o presente estudo possibilitará a obtenção de conhecimento, aprofundado, sobre o assunto em questão, que é de escassa literatura.

Os possíveis produtos deste trabalho são o desenvolvimento de um dispositivo para medir a temperatura e a definição do perfil térmico dentro do furo de corrida informações, essas, que poderão auxiliar na tomada de decisões no que se diz respeito à preservação do cadinho do alto-forno e como ganho, aumentar a vida útil (campanha) do mesmo com conseqüente impacto nos custos de operação de uma usina siderúrgica. Com a execução deste estudo, também, tornar-se-á possível a adequação da composição química das massas de tamponamento em função com o perfil térmico do furo de corrida, ou seja, promoverá o desenvolvimento tecnológico, que contribuirá para melhor drenagem de ferro-gusa e da escória contido dentro do alto-forno.

## **METODOLOGIA**

### **Materiais e equipamentos**

- Serra policorte;
- Termopares Tipo K 8 AWG (termo elemento positivo: liga chromel Ni (90%) e Cr (10%); diâmetro de 3,26mm e diâmetro de 4,00mm; sensibilidade de aproximadamente 41µV/°C; f.e.m. produzida: -5,891mV a 51,00mV; faixa de utilização: 0 a 1260 °C;
- Equipamento de soldagem;
- Eletrodos E6013, com 2,5mm de diâmetro;



- Brocas em WC para perfuração do alto forno
- Leitor de temperatura;
- Manta isolante térmica.

Para execução deste trabalho, foi utilizada a metodologia PDCA para o controle e melhoria contínua de processos e produtos. Na primeira etapa fez-se o planejamento e o desenvolvimento de uma lança adequada às operações de perfuração do furo de corrida de um alto-forno e capaz de resistir temperaturas da ordem de 2000 °C.

Na segunda etapa foram estudados os tipos de termopares e respectivos fios metálicos e cabeamentos mais adequados para realizar as medições de temperatura ao longo da extensão do furo de corrida de um alto forno bem como o desenvolvido dos demais acessórios destinados à para proteger o dispositivo de aferição da temperatura.

Após a montagem por soldagem dos componentes, procederam-se as etapas de testes, do dispositivo, afim de verificar a sua eficiência na aferição da temperatura. Durante essa etapa procurou-se identificar os pontos de melhorias afim de se chegar em um produto final. Findadas as adequações no dispositivo, foram executadas medições das temperaturas ao longo do comprimento do furo de corrida. A figura 3 ilustra, esquematicamente o conjunto de equipamentos (leitor, cabeamento, lança) desenvolvidos para compor o dispositivo de aferição de temperaturas ao longo do comprimento do furo de corrida de um alto forno

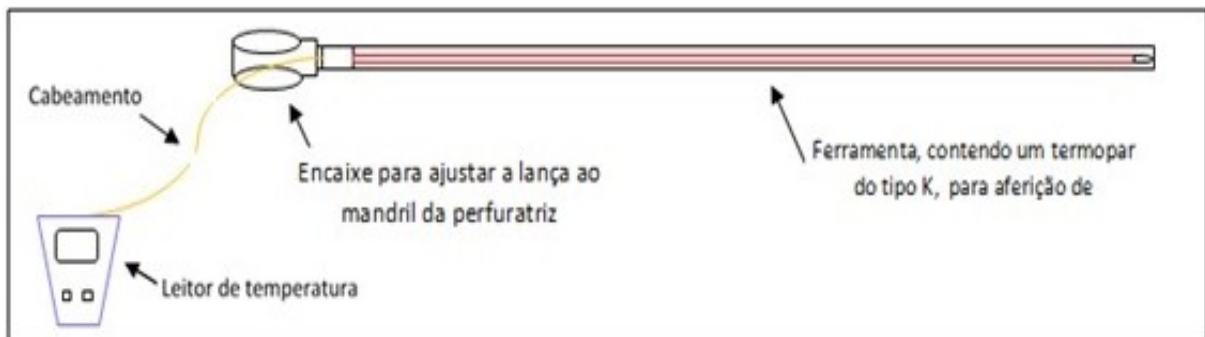


Figura 3: Ilustração esquemática do conjunto de equipamentos (leitor, cabeamento, lança) desenvolvidos para compor o dispositivo de aferição de temperaturas ao longo do comprimento do furo de corrida de um alto forno

Logo após a etapa de validação do dispositivo de aferição, foram realizadas a padronização e a elaboração de um documento com todos os detalhes para realizar as medições.

Os furos de corrida, de um alto-forno, investigados no experimento apresentaram em média 3000 mm de comprimento e, a aferição das temperaturas, foram realizadas em condições onde não houve possibilidades de escoamento metal. As medições, em relação a parte externa do furo de corrida, se deram nos comprimentos: 500 mm, 1000 mm e 1500 mm, as medidas são exemplificadas, esquematicamente, na figura 4.





temperatura [min]	6	5	3	3	5	5	13	7	5	12	7	
-------------------	---	---	---	---	---	---	----	---	---	----	---	--

Ao atingir a profundidade de 500 mm, fez-se uma medição da temperatura. Com exceção do valor obtido no teste 4, todos os demais valores, de temperatura, registrados para a referida profundidade não apresentaram coerência com os valores, de temperatura, estimados em função dos relatos das práticas operacionais para a profundidade atingida.

Nesses testes, apesar da haste metálica do termopar ter, aparentemente, ficado intacta houve, porém, o sobreaquecimento dos fios metálicos que constituíam o termopar e, assim, provavelmente, tal avaria conduziu ao registro de resultados equivocados.

Dando continuidade aos testes, fez-se a substituição do tubo de aço carbono, camisa, por um tubo de aço inoxidável. No interior desse tubo/camisa foi, então, introduzido um termopar, do tipo K, com 4500mm de comprimento, envolto por um revestimento polimérico e revestido com manta para isolamento térmico. Mediante a tais modificações foi dado prosseguimento aos testes e, a haste metálica do termopar, aparentemente, ficou intacta e, a proteção polimérica que o envolveu evitou a fusão dos fios metálicos que constituíram o termopar. Mesmo não se observando nenhuma avaria no dispositivo, as temperaturas registradas forma incompatíveis aos valores esperados.

Visto que os resultados das temperaturas registradas com os termopares de 3,26 mm de diâmetro não resultaram em valores, de temperaturas, compatíveis àqueles estimados em função das operações industriais foi, então, proposto o uso de um termopar, do tipo K, com 4 mm de diâmetro, com haste metálica (cabeamento) 16000 mm de comprimento envolto por um revestimento polimérico e revestido com manta para isolamento térmico. Sob tais condições, conforme registrado no teste 4 para a profundidade de 500 mm, o desempenho do dispositivo foi considerado /satisfatório uma que, os valores de temperatura registrados foram compatíveis àqueles valores já observados durante operações industriais e, também, não houve avaria no dispositivo desenvolvido para medição de temperaturas.

Como se pode observar, mediante aos resultados apresentados na tabela 1 não foi, ainda, possível obter medições, de valores de temperatura, confiáveis para as profundidades de 1000 e 1500 mm pois, não houve condições operacionais seguras, para tais atividades, na área de trabalho operacional do alto forno. A figura 5 (a), (b) (c) e (d) mostra detalhes dos insumos usados nas diversas etapas de montagem do dispositivo destinado a aferir temperaturas ao longo do duro de corrida de um alto forno



Figura 5 - (a) Cabeamento do termopar do tipo K 8 AWG. (b) e (c) Montagem do termopar tipo K 8 AWG, envolto por um revestimento polimérico e revestido com manta para isolamento térmico, no interior de um



tubo (“camisa”) de aço. Inoxidável. (d) Vista geral dispositivo para aferição de temperatura, envolvido, com manta para isolamento térmico, desenvolvido no presente estudo.

## CONCLUSÕES

Foi possível, com um termopar do tipo K, com 4 mm de espessura e com 16000 mm de haste metálica desenvolver um dispositivo para aferição de temperatura, ao longo do comprimento do furo de corrida de um alto forno e, com o dispositivo, foi possível registrar temperaturas da ordem de 624 °C valor, esse, condizente com valores registrados em práticas industriais para a profundidade de 500 mm Para as outras profundidades, propostas, não foi possível validar o dispositivo uma vez que não foram obtidas condições operacionais, seguras, aos procedimentos. Assim sendo, as próximas etapas para o projeto serão:

- Aferir de temperatura a 1000 mm, a 1500 mm e a 2000 mm de profundidade ao longo do comprimento do furo de corrida de um alto forno
- Traçar e avaliar as diferenças entre os perfis térmicos dos quatro furos de corrida;
- Mensurar o custo total do desenvolvimento do equipamento;
- Mensurar o custo para implementação de uma rotina de medição da temperatura do furo de corrida e sua viabilidade;
- Concluir e documentar todos os resultados e produtos gerados com a execução do projeto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

SCUDELLER, L., A., M., **Avaliação da Massa de Tamponamento Através da Sua Caracterização e da Monitoração e Simulação Operacional do Furo Decorrida de Alto-Forno**, 1997, 234 f., Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 1997.

RIZZO, E.M.S; **Processo de Fabricação de Ferro-Gusa em Alto-Forno**, Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração, Editora ABM, São Paulo. 2009, 278p.

AGUIAR, P. G. O., **Balanço de Massa Integrado do Ferro-Gusa entre Altos-Fornos e Aciaria**, 2016, 78 f., Dissertação (Mestrado em Metalurgia Extrativa) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Minas Gerais, 2016.

SPENCE, A.; PRITCHARD, W.; **Development of expert systems for blast furnace operation and control**, European Commission Technical Steel Research. In: Luxemburgo; 117p, 1977.

GEERDES *et. al.*, **Modern Blast Furnace Ironmaking: an introduction**, Delft University Press. 3th edition, In: Amsterdam; 57p, 2015.

GUIMARÃES, V.A.; **Princípios Básicos de Fabricação de Gusa em Altos-Fornos**, 81p (Apostila), 2003.

TMT – Tapping Measuring Technology GmbH, **Tecnologias do Furo de Corrida**, Cartilha de divulgação de produtos, 12p.P.O. Box 2233 - L-1022, Luxemburgo.



RIBEIRO, A. S., **Análise sistêmica das Massas de Tamponamento para Altos-Fornos**, 2010, 187 f.,  
Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Centro de Ciências Exatas e de  
Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, São Paulo, 2010.