

## REDUÇÃO DO DESVIO DE MEDIÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DE COQUE NOS ALTOS FORNOS DA TERNIUM BRASIL PELA METODOLOGIA DMAIC\*

Rodrigo Faislon Kubrusly<sup>(1)</sup>  
André Wulff Hirano<sup>(2)</sup>  
Deilton de OliveiraSouza<sup>(3)</sup>  
Eduardo CezarRibeiro<sup>(4)</sup>  
Marilene Aparecida Ennes Landim<sup>(5)</sup>  
Geovane Viturino Silva <sup>(6)</sup>

### Resumo

A umidade é um dos principais parâmetros de controle do coque metalúrgico devido ao impacto direto na marcha estável dos Altos-Fornos e no controle dos combustíveis. No entanto, a diferença entre os valores dos resultados de umidade gerados através de medição online e aqueles das análises de Laboratório precisam ter baixo desvio para confirmar a confiabilidade da medição e da calibração do instrumento. O projeto para redução do desvio de medição de umidade do coque enfiado foi um dos escolhidos para o programa seis sigma implementado na Ternium Brasil que foi operacionalizado utilizando-se o método estruturado DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control). Então, o presente trabalho tem como objetivo a redução do desvio dos resultados do teor de umidade do coque entre laboratório e instrumento, utilizando-se a metodologia DMAIC. O resultado obtido foi uma redução média do desvio de 1,95% para 0,98%. Foi observado também uma redução no desvio do teor de silício do gusa.

**Palavras-chave:** Umidade, Coque metalúrgico, Alto Forno, DMAIC

### REDUCTION OF COKE MOISTURE MEASUREMENT DEVIATION AT TERNIUM BRASIL BLAST FURNACES BY DMAIC METHODOLOGY

#### Abstract

The coke moisture is one of the most important parameters of the metallurgical coke due to its impact on Blast Furnace stability. However, the difference between the values generated from online measurements and lab analysis must have low deviation to confirm the reliability of device measurement and calibration. The project to reduce those results was one of Six Sigma Project chosen to be implemented at Ternium Brasil, which was carried out by using the structured method DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control). Thus, the present work aims to reduce the deviation between the results of coke moisture content from online measurements and laboratory analysis by using DMAIC methodology. There was a reduction of the deviation from 1.95% to 0.98%. It was observed a reduction of hot metal silicon content deviation as well.

**Keywords:** Moisture, Metallurgical coke, Blast Furnace, DMAIC.

- <sup>1</sup> Engenheiro Químico, Engenheiro de processo, Unidade Técnica Redução, Ternium Brasil LTDA., Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- <sup>2</sup> Engenheiro Metalúrgico, Coordenador de Unidade Técnica, Ternium Brasil LTDA., Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- <sup>3</sup> Engenheiro de Automação, Manutenção Altos Fornos, Ternium Brasil LTDA., Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- <sup>4</sup> Engenheiro Industrial e Metalúrgico, Especialista Sistemas Produção, Engenharia industrial Ternium Brasil LTDA., Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- <sup>5</sup> Engenharia de Produção, Engenheira de processo, Unidade Técnica Redução, Ternium Brasil LTDA., Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- <sup>6</sup> Engenheiro Metalurgista, Mestre em Engenharia Metalúrgica, Engenheiro de Processo, Unidade Técnica Redução, Ternium Brasil LTDA., Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

O Alto-forno é um reator metalúrgico que opera em contracorrente, onde o gás é produzido através da gaseificação do carbono do coque com oxigênio, em frente às ventaneiras, na região inferior do Alto-forno. O gás redutor gerado em frente às ventaneiras ascendente reduz a carga metálica descendente, em contracorrente.

Nesse contexto, o coque metalúrgico é uma matéria-prima importantíssima para o Alto-forno, sendo responsável por fornecer energia, é redutor, age como suporte estrutural da carga e fornece permeabilidade ao leito do Alto-forno. Um coque com alta qualidade suporta uma descida de carga estável, mantém o nível térmico do processo adequado, maximiza a redução dos óxidos de ferro e otimiza a permeabilidade, significando, normalmente, um menor coque rate, alta produtividade e baixo custo do ferro gusa.

Dessa forma, um dos parâmetros chave no controle da qualidade do coque é sua umidade. A umidade do coque é uma consequência do sistema de resfriamento adotado pelo projeto da Coqueria e depende da granulometria do coque, sendo variável de usina para usina. Quando o coque apresenta altas taxas de umidade e apresenta muitas variações, isso pode afetar o balanço energético do alto-forno, podendo causar grandes perdas de produção. Além disso, uma elevada umidade do coque pode afetar a distribuição de carga no Alto-forno devido às propriedades de superfície de partícula, como atrito e ângulo de repouso.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Medição da umidade do Coque

A umidade do coque afeta a temperatura dos gases no interior do Alto-forno. Com a umidade mais alta a temperatura do gás do topo cai, com isso não se obtém energia suficiente para secar a carga para o gás arrastar os finos gerados no processo e levar para o sistema de limpeza dos gases com isso esses finos vão para a cuba do Alto-Forno, dificultando a passagem dos gases, aumentando a pressão dentro do Alto-Forno, necessitando então de reduzir a produção (JESUS, H., 2016).

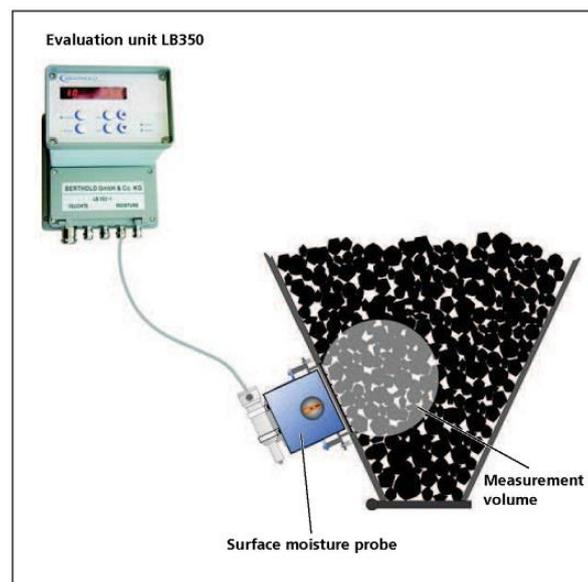
Outro ponto relevante é o aumento do ponto de orvalho do gás de topo. A variação na umidade do coque pode causar a necessidade de operação com altas temperaturas de gás de topo; ou se as temperaturas de topo trabalham muito baixas, pode ocorrer condensação e corrosão nas tubulações da limpeza de gás (BERTLING, H., 1999).

Para minimizar o impacto da variação da umidade do coque, as empresas, normalmente, adotam sistemas radioativos de medição da umidade do coque para haver uma compensação dessa umidade com envio adicional de coque para o alto-forno.

Geralmente, esses medidores de umidade consistem em uma cabeça em aço inox contendo uma fonte radioativa de Nêutrons tipo câmara iônica. A fonte radioativa emite nêutrons de alta energia (rápidos, em torno de 10 keV a 20 MeV) que passam pela parede da tremonha até o material do processo. À medida que os nêutrons rápidos entram no material do processo, eles são dispersos por repetidas colisões com outros tipos de núcleos no material do processo, inclusive o hidrogênio da umidade. A dispersão reflete muitos dos nêutrons de volta pela parede da tremonha que são captados e lidos pelo detector do analisador de umidade (JESUS, H., 2016).

A medição é possível porque, enquanto os nêutrons rápidos perdem pouca energia cinética em colisões com o Carbono, Oxigênio e outros núcleos no material do processo, eles sofrem uma grande perda de energia em colisões com núcleos de hidrogênio, o que os converte em nêutrons de baixa energia (ou térmicos como são conhecidos em geral, com velocidade de 0,01 a 0,3 eV). A perda da energia cinética do nêutron é elevada quando ele bate com uma partícula de massa similar à sua, o que é o caso do hidrogênio, que possui uma massa similar à dos nêutrons, fazendo com que esses nêutrons formem ao redor da fonte radioativa, uma nuvem de nêutrons térmicos os quais são captados pelo detector, geralmente constituído de BF<sub>3</sub> (Trifluoreto de Boro) ou <sup>3</sup>He, que o absorvem e emitem uma partícula de He, criando assim um pulso elétrico. Este pulso por sua vez é levado ao medidor que registra a leitura, ou seja, quanto mais hidrogênio no material (mais água) mais nêutrons Rápidos serão transformados em Térmicos, maior número de pulsos enviados, maior a leitura. O número de nêutrons térmicos produzidos é proporcional à densidade do hidrogênio no material do processo, sendo o número utilizado para cálculo da umidade do material (JESUS, H., 2016).

A figura 1 mostra o esquema de um aparelho radioativo de medição de umidade do coque.



**Figura 1:** Representação de um analisador de umidade instalado em uma balança de coque (JESUS, H., 2016).

## 2.2 Metodologia

O objetivo deste trabalho é reduzir o desvio dos resultados do teor de umidade do coque provenientes de análise laboratorial e de instrumento de medição, utilizando a metodologia DMAIC.

O DMAIC (sigla para os termos *Define, Measure, Analyse, Improve e Control*) é um método que faz parte do conjunto de práticas dos Seis Sigma e tem como meta melhorar um processo existente na empresa. Um projeto DMAIC é efetivo também para o aumento da produtividade, redução de custos, melhoria em processos

administrativos e outros afins. No caso deste trabalho, a metodologia foi utilizada para reduzir o desvio dos resultados da medição do teor de umidade do coque metalúrgico enviado para os Altos-fornos da Ternium Brasil.

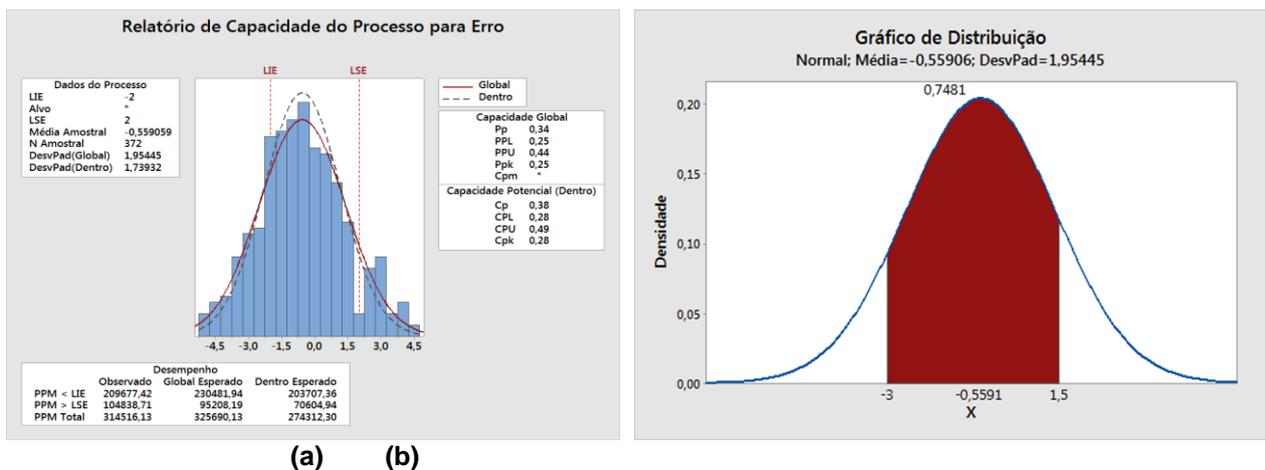
Na etapa “*Define*” da metodologia DMAIC são definidos os problemas ou oportunidades de melhoria vinculadas aos processos. A figura 2 mostra o sistema silo, peneira, balança do sistema de coque.



**Figura 2:** Sistema silo, peneira, balança de coque. Destaque para a medição de umidade.

A Ternium Brasil possui 2 Altos-fornos gêmeos com capacidade de produção de 7.500t/dia. Cada forno possui 2 sistemas silo, peneira, balança de coque, cada uma com seus respectivos medidores de umidade online. Normalmente, utiliza-se 1 silo para coque interno e 1 silo para coque comprado.

Ao analisar os dados históricos de desvio (%) dos resultados do teor de umidade provenientes do instrumento de medição online e os valores medidos no laboratório no período de outubro/15 a agosto/16, obtém-se os seguintes relatórios, explicitado pela figura 3.



**Figura 3:** Desvio histórico (%) dos resultados do teor de umidade do coque entre instrumento de medição online e as amostras analisadas no laboratório.

Pode-se observar no relatório de capacidade de processo (a) um Cpk baixo de 0,28 devido à distribuição estar centrada, mas há uma variação maior que a faixa dos limites de especificação e um desvio padrão alto de 1,95. Já o gráfico de distribuição (b) mostra 75% dos valores entre -3,0 e 1,5%.

Utilizando os valores médios mensais de desvio entre medidor online e as amostras analisadas no laboratório e definida a meta de 1,0% de desvio como objetivo do trabalho, obtém-se a seguinte curva, explicitada pela figura 4.

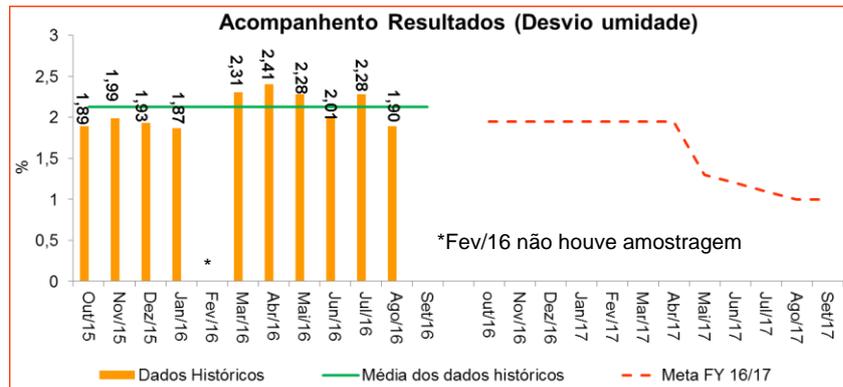


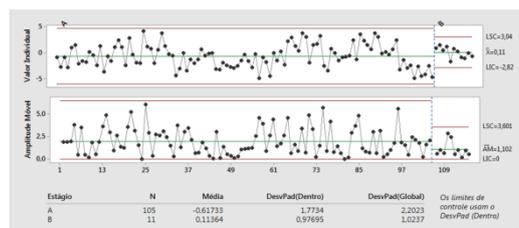
Figura 4: Resultados históricos e meta do projeto.

## 2.3 RESULTADOS

Foram realizadas 10 amostras/silo por mês para avaliação e calibração do instrumento de medição online. As figuras 5, 6, 7 e 8 mostram os resultados de desvio antes (período “A”) e depois das calibrações mensais do instrumento online (período B).

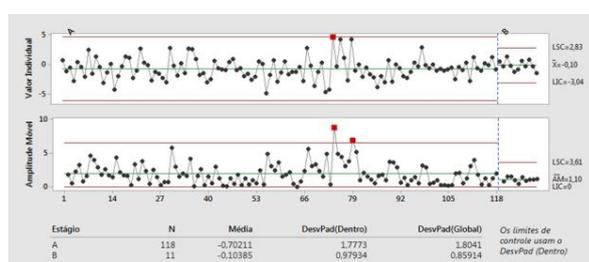


Figura 5: Carta de controle referente ao desvio de umidade entre instrumento online e análise das amostragens no laboratório referente à Balança 1 de coque do Alto-forno 1.



Painel comparativo de Resultados			
Item	Antes	Depois	Redução
Desvio Padrão (curto prazo)	1,7734	0,9769	↓ -44,9%
Desvio Padrão Global	2,2023	1,0237	↓ -53,5%
Média amplitude móvel	2,000	1,102	↓ -44,9%

Figura 6: Carta de controle referente ao desvio de umidade entre instrumento online e análise das amostragens no laboratório referente à Balança 2 de coque do Alto-forno 1

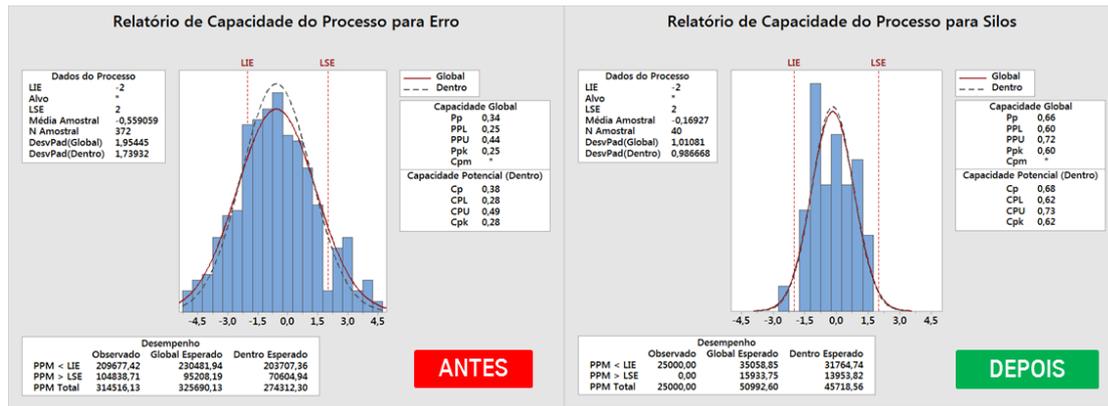


Painel comparativo de Resultados			
Item	Antes	Depois	Redução
Desvio Padrão (curto prazo)	1,7773	0,9793	↓ -43,9%
Desvio Padrão Global	1,8041	0,8591	↓ -53,2%
Média amplitude móvel	2,000	1,100	↓ -45,0%

Figura 7: Carta de controle referente ao desvio de umidade entre instrumento online e análise das amostragens no laboratório referente à Balança 1 de coque do Alto-forno 2

Observando-se as cartas de controle, pode-se verificar uma melhora significativa no desvio do teor de umidade entre instrumento online e análise das amostragens no laboratório referente às balanças de coque.

A figura 8 mostra a melhora na capacidade de processo após a redução do desvio dos resultados do teor de umidade entre instrumento online e análise das amostragens no laboratório.

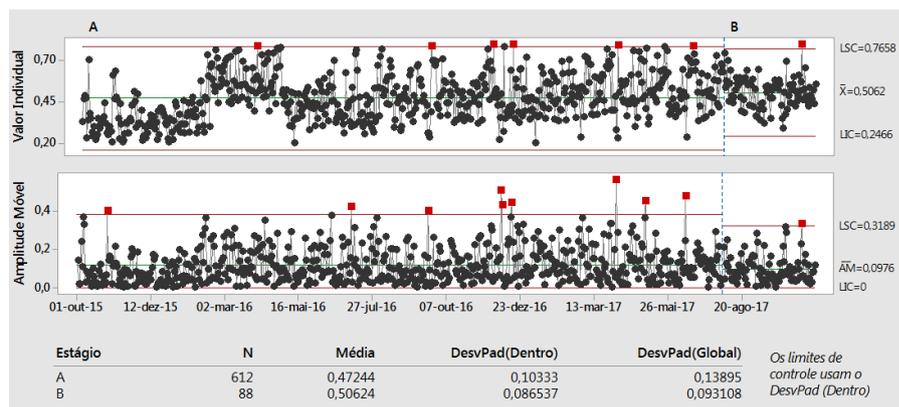


**Figura 8:** Capacidade de processo antes e depois da redução do desvio do teor de umidade entre instrumento online e análise das amostragens no laboratório.

Observa-se na figura 8 uma melhora no Cpk de 0,28 para 0,62 após a bateria de amostragens na balanças de coque.

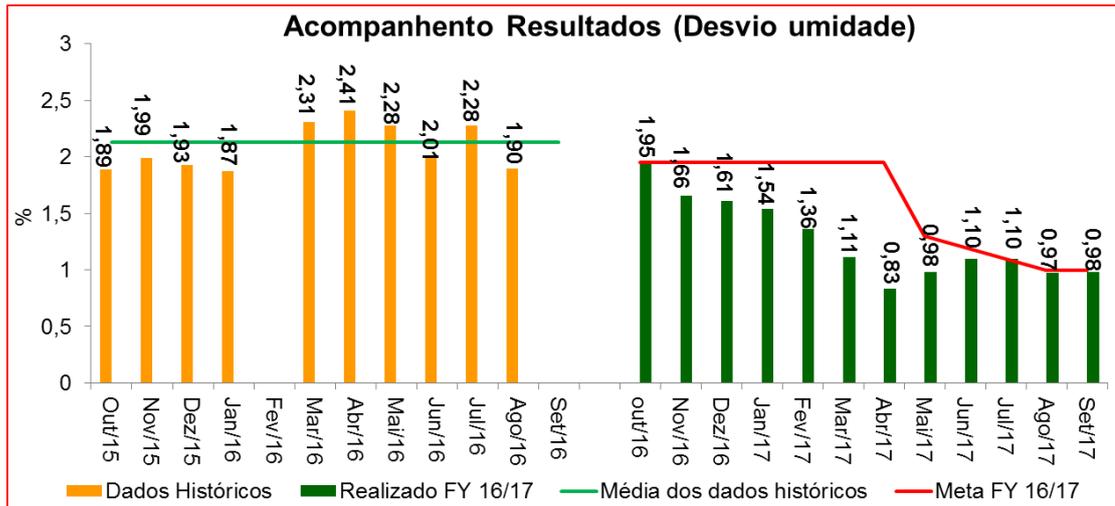
Nos Altos-fornos, uma série de melhorias de processo foram realizadas no sentido de estabilizar o nível térmico do Alto-forno. Considerando o resultado dessas melhorias, como o teor de silício do gusa, pode-se observar uma redução no seu desvio padrão como resposta.

Adotando o período após a redução do desvio do teor de umidade (B) do coque entre instrumento online e análise das amostragens no laboratório, pode-se observar uma redução de 16% no desvio padrão do teor de silício, o qual não pode ser associado totalmente à melhora no controle da umidade do coque, mas que com certeza teve uma grande contribuição para uma melhora na estabilidade do nível térmico do alto-forno, conforme observado na figura 9.



**Figura 9:** Desvio do teor de silício do gusa antes e após a redução do desvio dos resultados do teor de umidade do coque entre instrumento online e análise das amostragens no laboratório.

Por fim, observando a média mensal do desvio de umidade entre instrumento online e análise das amostragens no laboratório, pode-se verificar na figura 10 que os objetivos do trabalho foram alcançados.



**Figura 10:** Resultados históricos e acompanhamento do projeto de redução do desvio do teor de umidade do coque entre instrumento online e análise das amostragens no laboratório.

### 3 CONCLUSÃO

Ao fim dos trabalhos, pode-se concluir que:

1 – Houve uma redução de mais de 40% do desvio padrão do teor de umidade do coque entre instrumento online e análise das amostragens no laboratório, quando observados os dados individuais por balança de coque.

2 – Houve uma melhora na capacidade de processo devido a uma menor variação na faixa dos limites de especificação, com Cpk melhorando de 0,28 para 0,62.

3 – Com relação ao processo do Alto-forno, foi observada uma melhora de 16% no desvio padrão do teor de silício do gusa, a qual foi parcialmente associada a este trabalho.

4 – Em suma, o acompanhamento do projeto mostrou um desvio padrão inicial do teor de umidade do coque entre instrumento online e análise das amostragens no laboratório de 1,95% em outubro de 2016 e foi alcançado 0,98% em setembro de 2017 ao final do trabalho.

### REFERÊNCIAS

- 1 - JESUS, H. **Avaliação e comparação umidade de coque alto-forno.** 46º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 17º Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 4º Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, parte integrante da ABM Week, realizada de 26 a 30 de setembro de 2016, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- 2 – BERTLING, H. **Coal and Coke for Blast Furnaces.** ISIJ International, Vol. 39 (1 999), No. 7, pp. 617-624.