

INFLUÊNCIA DAS MATÉRIAS-PRIMAS FERROSAS NA OPERAÇÃO DOS ALTOS FORNOS DA TKCSA*

André Wulff Hirano¹
Bruno Pinheiro da Silva²
Geovane Viturino da Silva³

Resumo

A operação estável de um Alto Forno com alta produtividade e baixo consumo de combustíveis, dependente significativamente das matérias-primas ferrosas utilizadas. Diante do cenário cada vez mais desafiador devido à piora da qualidade dos ferrosos, o desenvolvimento de novas soluções de carga tem sido um item essencial para a manutenção da estabilidade e produtividade. Dessa forma, tornando importante a compreensão dos fenômenos para a adequação do modelo operacional. O objetivo deste trabalho é apresentar uma revisão dos fenômenos decorrentes da variação na composição química do sinter e a consequência observada no controle de processo dos Altos Fornos da TKCSA. Foi observado elevação nos teores de sílica e alumina, os quais têm forte influência nas propriedades físicas, metalúrgicas e de fusão do sinter. No Alto Forno, o sinter analisado causou uma variação de 200°C na temperatura de fusão da escória primária, variações bruscas no rendimento CO e no desvio CO/CO₂, chegando a valores de 4% e 70%, respectivamente.

Palavras-chave: Matérias-primas ferrosas; Composição química do sinter; Temperatura de fusão da escória; Processo de alto forno.

INFLUENCE OF FERROUS RAW MATERIALS IN THE TKCSA BLAST FURNACES OPERATION

Abstract

The stable operation with high production and low fuel consumption depend on the ferrous materials used. In view of the current challenge in the markets of ferrous raw material due to the worsening of the quality, the development of new solutions of charge has been an important issue to keep stability and high productivity. Thus, the phenomena comprehension is the key to make the operational model suitable. The aim of this paper is presents a review of the phenomena caused by a variation in the chemical composition of the sinter and the consequences in the process of the TKCSA Blast furnaces. It was found that the Al₂O₃ and SiO₂ content rose, which have strong influence in the physical, metallurgical, and melting properties of the sinter. In the Blast furnace the sinter analyzed has caused a variation of 200°C in the melting point of the slag, great variations in the ETA CO and in the CO/CO₂ deviation, reaching 4% and 70%, respectively.

Keywords: Ferrous raw materials; Chemical composition of sinter; Melting temperature of slag; Blast furnace process.

¹ Engenheiro Metalúrgista, Coordenador de Unidade Técnica, Thyssenkrupp CSA, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Engenheiro Químico, Engenheiro de Processo, Thyssenkrupp CSA, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

³ Engenheiro Metalúrgista, Mestre em Engenharia Metalúrgica, Engenheiro de Processo, Thyssenkrupp CSA, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A operação estável de um Alto Forno com alta produtividade e com baixo nível de combustíveis começa pela escolha das matérias-primas. Diante do cenário cada vez menos favorável na aquisição e formação de carga metálica de boa qualidade, a operação dos Altos Fornos está se tornando ainda mais desafiadora.

Assim como acontece normalmente em outras usinas, nos fornos da TKCSA o sínter tem papel fundamental no ajuste da qualidade química da escória. Por outro lado, a composição química influencia diretamente nas propriedades físicas, metalúrgicas e de fusão do sínter, as quais afetam substancialmente a operação dos Altos Fornos. Neste trabalho será mostrada a influência da variação da qualidade química do sínter em suas próprias propriedades físicas e metalúrgicas e no processo dos Altos Fornos da TKCSA.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Uma variação brusca na composição química do sínter produzido na TKCSA devido à piora da qualidade, principalmente nos teores de ferro, sílica e alumina, impactaram diretamente nas propriedades físicas, metalúrgicas e de fusão do sínter e conseqüentemente na operação dos Altos Fornos da TKCSA. Nessas condições, pode-se fazer necessária a redução da participação do sínter na carga. Porém, para a saúde econômica da empresa é necessário buscar a carga metálica otimizada, e que por sua vez mantém a capacidade da usina de reutilizar os coprodutos, reduzindo gastos com processamento.

Outro aspecto relevante seria que, mesmo com uma redução na sua participação no leito de fusão, a contribuição do sínter ainda tem grande importância para o ajuste da escoria e cinética do reator. Por outro lado, a necessidade da correção da escoria agravaria ainda mais o desempenho da matéria prima no processo de redução, aumentando o prejuízo na operação do Alto Forno. Desta forma, para um bom desempenho é necessário avaliar além do balanço de massa, certos aspectos que influenciam no desempenho do forno, tais como as propriedades físicas e metalúrgicas da matéria prima e sua correlação com a composição do material.

2.1 Influência da composição química nas propriedades físicas, metalúrgicas e de fusão do sínter

A elevação do teor de alumina tem relação direta com as propriedades físicas e metalúrgicas do sínter.

Com relação às propriedades físicas, este fenômeno está associado à formação de microconstituintes de baixa resistência mecânica na microestrutura do sínter provocado pela alumina, causando redução da resistência a frio do sínter. A perda da resistência à frio causa elevação da quantidade de finos carregados no Alto-forno, podendo ser evidenciados pela redução do tamanho médio do sínter ⁽¹⁾. A figura 1 mostra a relação entre o teor de alumina e a resistência a frio no sínter, ilustrada neste caso pelo shatter test.

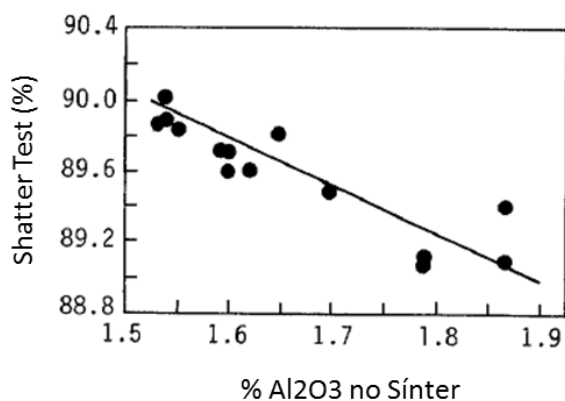


Figura 1 – Influência do teor de alumina na resistência à frio do sinter ⁽²⁾

Já as propriedades metalúrgicas também são fortemente afetadas pelo teor de alumina no sinter, pois a alumina concentrada nas frações mais finas participa intensamente nas reações de sinterização, dissolvendo-se na rede da hematita secundária. Estas reações fragilizam o sinter durante sua redução no interior do Alto Forno através do aumento do RDI, gerando finos e causando instabilidade na permeabilidade e conseqüentemente na marcha do Alto Forno. Além disso, pode causar diminuição na redutibilidade do sinter (RI) ⁽³⁾. A figura 2 mostra a influência do teor de alumina nas propriedades metalúrgicas, redutibilidade (RI) e degradação sob redução (RDI) do sinter.

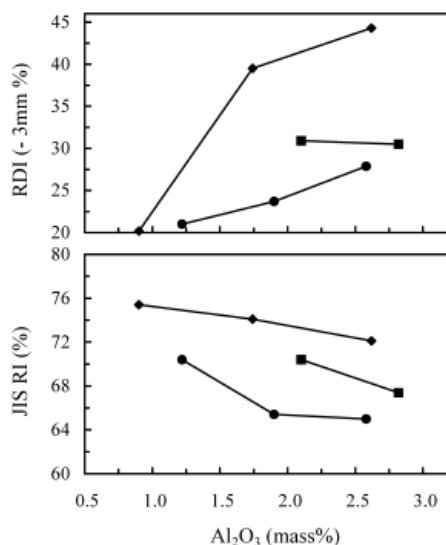


Figura 2 – Influência do teor de alumina nas propriedades metalúrgicas do sinter ⁽⁴⁾

Outro ponto, trata-se sobre a elevação da sílica e redução do teor de ferro no sinter, em que além de aumentar o volume de escória para o processo, também causa aumento na espessura da zona de coesão à medida que a diferença entre as temperaturas de início e fim de fusão da escória primária é aumentada ⁽²⁾. Isso causa aumento na perda de carga e dependendo as condições de contorno adotadas pode causar distúrbios durante a passagem dos gases gerados na região inferior do Alto Forno, tornando irregular a descida de carga. A figura 3 mostra uma relação entre o teor de sílica na distância entre as temperaturas de início e fim da fusão.

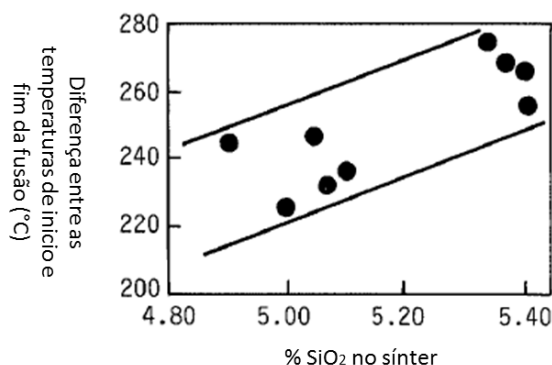


Figura 3 – influência do teor de sílica do sinter nas propriedades de fusão da escória (2)

Adicionalmente, as temperaturas de início de fusão e gotejamento são muito dependentes da composição química da escória formada, com forte dependência de $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-FeO}$, os quais são os principais constituintes da escória primária. Sendo assim, aspectos como a redução da concentração de FeO devido ao aumento do volume de escória podem trazer impactos negativos, devido o prejuízo à sua difusão.

Outro fator relevante, refere-se aos valores de basicidade maiores que 1,0, que aumentam a temperatura de fusão e de gotejamento com o aumento da basicidade. Isso ocorre principalmente quando o aumento da basicidade do sinter acontece simultaneamente à elevação no teor de sílica. Para estes valores de basicidade, a proporção líquido/sólido reduz drasticamente porque durante o processo de redução a fase $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ precipita em fase sólida. Pode-se observar na figura 4 a influência da basicidade nas temperaturas de gotejamento e de amolecimento e fusão da escória $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-FeO}$ (5).

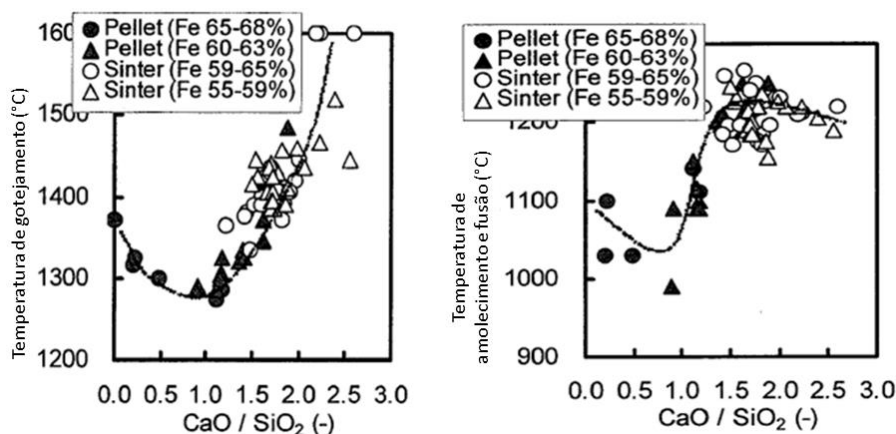


Figura 4 – Influência da basicidade nas temperaturas de início de gotejamento e de amolecimento e fusão (5)

Por fim, a redução do teor de ferro e aumento do volume de escória influencia no índice de redutibilidade do sinter que por sua vez traz impactos negativos durante o processo de redução no interior do Alto Forno, conforme mostrado na figura 5.

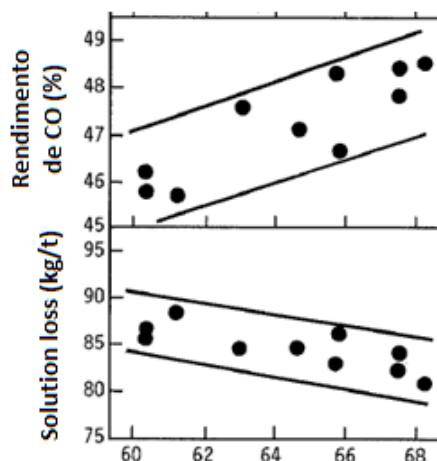


Figura 5 – Influência do índice de redutibilidade do sinter em seu comportamento de redução. (5)

Assim, o prejuízo na cinética de reação na zona de preparação pode levar a um aumento da taxa de reação na zona de elaboração e o aumento da gaseificação do carbono devido às reações de *solution loss*. Fato este que implica diretamente no aumento da taxa de redução direta e consumo de combustível no Alto Forno.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Variações na qualidade química do sinter produzido na TKCSA e influencia no controle de qualidade da escória gerada nos Altos-fornos

A grande variação de basicidade causa uma variação na temperatura final de fusão da escória primária, bem como uma maior variação na escória final. Variações bruscas na temperatura de fusão da escória pode causar diversos desvios, como a perda de carga do forno, perda da capacidade de dessulfuração, perda da capacidade de drenagem, necessidade de carregamento de fundentes e deformação na zona de coesão.

A figura 6 mostra a variação da basicidade e a marcação do ponto de fusão da escória primária no diagrama ternário CaO-SiO₂-MgO, para Al₂O₃ = 15%.

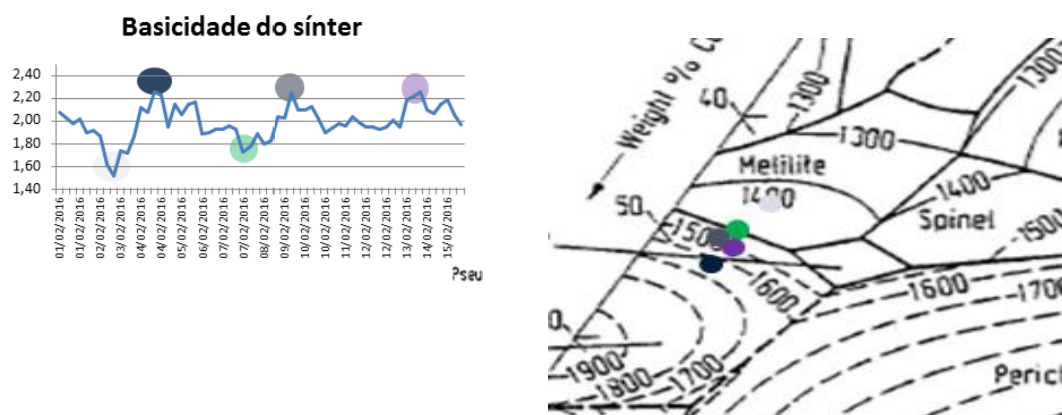


Figura 6 – Variação da basicidade do sinter e marcação da temperatura de fusão da escória primária no diagrama ternário (15% de Al₂O₃) (6)

Pode-se observar na figura 6 que, devido à variação na basicidade, associada composição química do sinter e consequente a variação da carga metálica, uma grande variação da escória primária.

3.2 Influência da variação da composição química e propriedades metalúrgicas do sinter no processo dos Altos Fornos da TKCSA

Durante o consumo do sinter com maior variação, foi possível avaliar os impactos no processo dos fornos da TKCSA.

Pode-se observar na figura 7(a) que a elevação nos teores de Al_2O_3 , de SiO_2 e consequentemente o volume de escória, provocaram uma oscilação no rendimento de CO. Este fenômeno está associado à piora nas propriedades metalúrgicas do sinter (reduzibilidade - RI e degradação sob redução - RDI) e pela deformação na zona de coesão causada pela elevação do teor de sílica. Além disso, a qualidade química do sinter causou efeito negativo na resistência à frio do sinter.

A perda das propriedades físicas do sinter provocam o carregamento e a geração de finos em excesso no Alto Forno. O carregamento de finos somado à elevação dos teores de sílica e alumina provocaram diversos períodos de instabilidade, os quais podem ser observado pelo indicador de instabilidade σ_{CO/CO_2} . A figura 7(b) mostra a variação do tamanho médio do sinter, do desvio CO/CO_2 e a curva vazão de sopro.

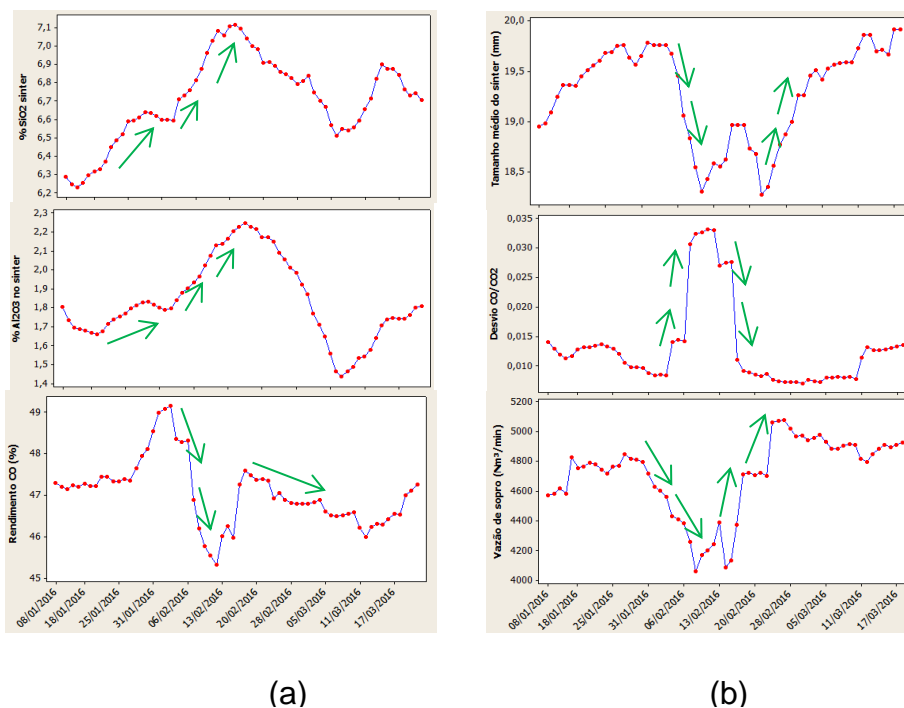


Figura 7 – (a) Elevação dos teores de Alumina e Sílica no sinter e variação do rendimento de CO. (b) Variação no tamanho médio do sinter, impacto no desvio CO/CO_2 e a necessidade de redução da vazão de sopro.

Observa-se que, com a redução do tamanho médio do sinter, houve uma variação no desvio CO/CO_2 de mais de 70%, sendo necessária a redução da vazão de sopro para controle.

Acompanhado da redução da vazão de sopro, outras ações foram necessárias para recuperação da estabilidade dos Altos Fornos, como elevação do coque rate e fuel rate e redução da participação do sinter na carga.

Todo o cenário de oscilação de qualidade do sinter produto levou a necessidade de tomada de ações para controle, como a redução na participação do sinter na carga visando mitigar variações abruptas diante ao volume de escória no processo. Nesse contexto, foi evidenciado um prejuízo à operação do Alto Forno.

A figura 8 mostra o aproveitamento gasoso do Alto Forno, o aumento do consumo de combustíveis, maior necessidade na redução do volume de sopro e, por vezes, a limitação de sopro para controle de estabilidade. Adicionalmente, pode-se observar uma maior dispersão no índice de redução direta não enfatizando seu aumento, devido a influencia da elevação do fuel rate.

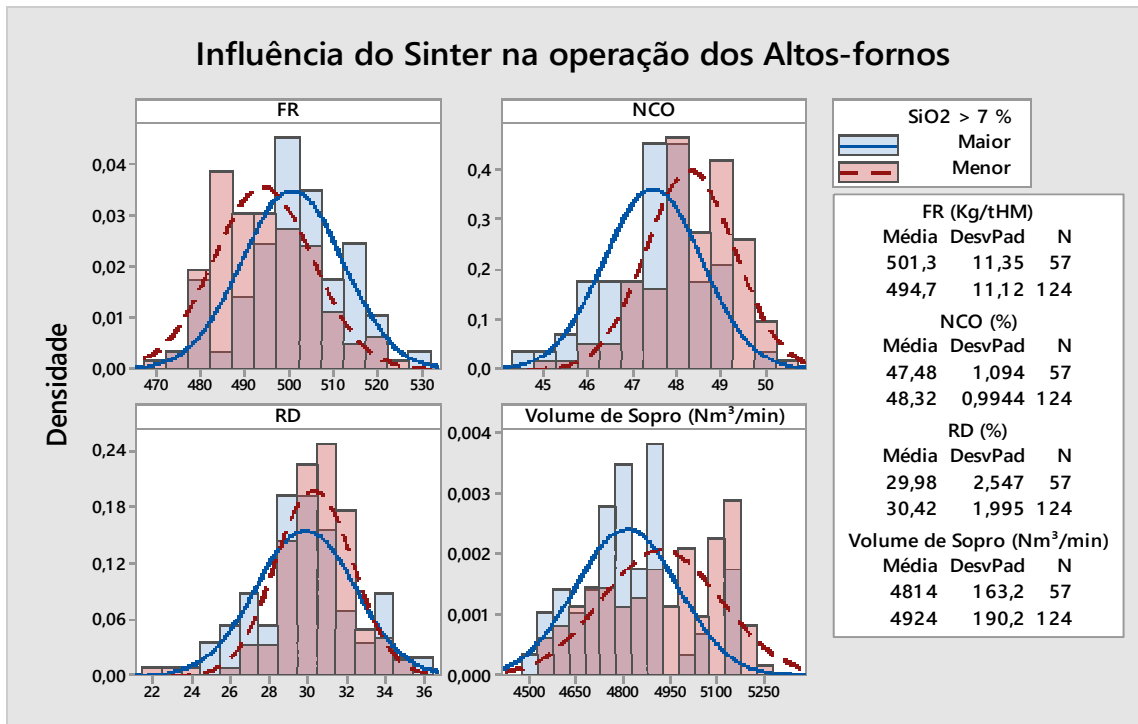


Figura 8 – Influência do sinter na operação dos Altos-fornos da TKCSA.

Dessa forma, para contingenciamento e manutenção da estabilidade foi necessária a elevação do coque rate, indicado na figura 9.

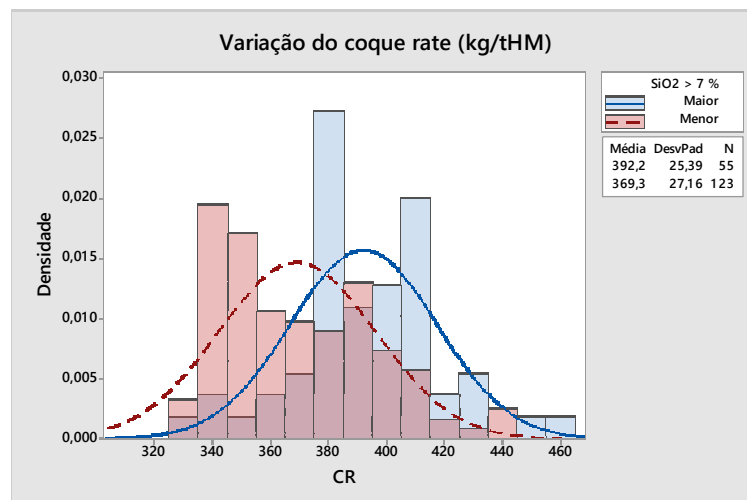


Figura 9 – Variação do coque rate nos fornos da TKCSA

4 CONCLUSÃO

Durante a primeira metade de 2015, foi produzido um sínter na TKCSA com alta variação e alto teor de Al_2O_3 e SiO_2 , os quais influenciaram nas propriedades físicas e metalúrgicas do sínter, que ao serem carregados nos Altos Fornos mesmo com participação reduzida, impactaram em:

1. Os significativos desvios nos percentuais de SiO_2 indicam perda no controle de formação da escória no interior do Alto Forno. Foi identificada uma forte variação na temperatura de fusão da escória primária que ocorreu principalmente devido à variação da basicidade, a qual acontece simultaneamente com a elevação do teor de sílica;
2. Perda do aproveitamento do gás no Alto Forno, onde se observa que ocorre em parte considerável pela diminuição da redutibilidade do sínter, que por sua vez interfere na cinética do forno na zona de preparação. Assim, foi necessário o aumento do fuel rate para compensar a perda de energia e redução da vazão do forno para aumento do tempo de residência do gás, como tentativa de minimizar a queda do rendimento;
3. Aumento no desvio CO/CO_2 , com períodos de forte variação indicando excessivas escapadas de gás. Sendo evidência de instabilidade causada pelo carregamento de excesso de finos no Alto Forno. Justificada pela perda de resistência à frio, o qual pode ser indicado tanto pela redução do tamanho médio do sínter quanto pela perda de resistência à quente em função a variação do RDI. Fatos ligados à elevação do teor de Al_2O_3 no sínter.

Portanto, a elevação da alumina e sílica com o consequente aumento do volume de escória, mostra forte influência nas propriedades físicas e metalúrgicas do sínter. Nos quais afetam diretamente sobre a estabilidade do Alto Forno. Desde a zona granular por meio da perda de rendimento gasoso, passando pela zona de coesão através do seu alargamento e deformação. Impactando também na dinâmica de processo de escoamento, uma vez que as instabilidades ocasionadas com descida de carga irregular trazem como resultado a perda da produtividade. E consequentemente, baixo desempenho do cadinho.

REFERÊNCIAS

- 1 LU, L.; HOLMES R.; MANUEL J. Effects of Alumina on Sintering Performance of Hematite Iron Ore. ISIJ International, Vol. 47 (2007), No. 3, pp. 349–358.
- 2 YAMAGUCHI, K.; et al. Influence of Al_2O_3 on Reduction-Meltdown Behavior of Sinter Blast Furnace. ISIJ International. Vol. 34 (1994). No. 12, pp. 964-972.
- 3 ISHIKAWA, Y. Recent progress in the sintering technology – high reducibility and improvement of fuel consumption. Ironmaking Conference Proceedings, AIME, v. 41, p. 80-89, 1982.
- 4 HSIEH, L. Effect of raw material composition on the sintering properties. ISIJ International, Vol. 45 (2005), No. 4, pp. 551–559.
- 5 HIGUCHI, K, et al. Quality Improvement of Sintered Ore in Relation to Blast Furnace Operation. Nippon Steel Technical Report, N° 94, July, 2006.
- 6 SLAG ATLAS, Verlag Stahleisen GMBH, Dusseldorf, 2ª. Edição, setembro de 1995.