

## AVALIAÇÃO DE PELOTAS ÁCIDAS PRODUZIDAS COM TALCO<sup>1</sup>

Priscilla Messias Pereira<sup>2</sup>  
Fernando Oliveira Boechat<sup>3</sup>  
Bruno Cezar Evaristo Pereira<sup>4</sup>  
Vinicius Perin Passigatti<sup>5</sup>  
Thiago Marchezi Doelling<sup>6</sup>  
Andre Sereno Cardoso<sup>7</sup>

### Resumo

Mesmo nos dias de hoje, muito do que se passa na pelotização permanece um mistério. A dinâmica dos processos, com todas as suas reações são, em muitos aspectos, ainda não completamente conhecidas e previsíveis. Por este motivo, há muitas oportunidades de estudos e avaliações a serem realizadas em escala piloto (*Pot Gate*). A experiência da operação de uma usina de pelotização, juntamente com ensaios e testes realizados em escala laboratorial, proporcionou um melhor conhecimento do efeito de aditivos sobre as propriedades das pelotas para utilização em alto forno. Pelotas de diferentes basicidades binárias foram produzidas (com CaO/SiO<sub>2</sub> de razão 0.3, 0.2 e 0.1) e os resultados físicos e metalúrgicos foram comparados com a atual pelota ácida (basicidade binária de 0,45). Os teores de MgO variaram entre 0,5% e 1%. Os resultados dos testes indicaram que o uso do talco como fonte de MgO resultou em um produto com boas propriedades metalúrgicas. Por outro lado, as propriedades físicas da pelota queimadas (mais especificamente tamboramento e resistência a compressão) apresentaram uma leve tendência de piora pela adição de MgO na composição química da pelota. Essa tendência mostrou-se relevante, visto que a resistência à abrasão e a resistência à compressão são utilizados para medir o desempenho de uma usina de pelotização em termos de qualidade do produto.

**Palavras-chave:** Pelotas ácidas; Talco; MgO.

### EVALUATION OF ACID FLUXED PELLETS PRODUCED WITH TALC

#### Abstract

Even these days, much of what goes on in the pelletizing remains a mystery. The dynamic processes with all their reactions are, in many respects, still not completely known and predictable. For this reason, the opportunity has been taken to run trials at Samarco's Pot Gate. The experience from the pellet plant operation coupled with examination and tests on the material from lab scale tests gave us a better knowledge of the effect of additives over the blast furnace pellets. Different blast furnace acid pellets (both with CaO/SiO<sub>2</sub> ration of 0.3, 0.2 and 0.1) were produced and the physical and metallurgical results were compared with Samarco's current acid pellet (binary basicity of 0.45). Pot Gate tests were made with two different amounts of MgO, 0.5% and 1%. Laboratory test results indicated that the usage of talc as a pellet additive resulted in a product with improved metallurgical properties. It means that the quality of talc pellets apparently seems to contribute to a smooth blast furnace operation. On the other hand, cold strength and tumble index were not improved by the addition of MgO. This is quite important since Samarco measures product abrasion resistance and cold compression strength to quantify furnace and balling performance in terms of product quality. Therefore, a trial production of these acid pellets with magnesia oxide will certainly impact over the daily production rate so as to keep the physical lower limit specification of Samarco

**Key words:** Acid pellets; Talc; MgO.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 41º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 12º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 12 a 26 de setembro de 2011, Vila Velha, ES.

<sup>2</sup> Engenheira de Minas, Engenheira de processo da Gerência de Produção, Samarco Mineração, Unidade de Ponta Ubu, ES.

<sup>3</sup> Engenheiro de Produção, Engenheiro de processo da Gerência de Engenharia de Processo e Automação, Samarco Mineração, Unidade de Ponta Ubu, ES.

<sup>4</sup> Engenheiro de Metalurgia, Analista de Técnico de Produto da Gerência de Assistência Técnica, Samarco Mineração, Unidade de Ponta Ubu, ES.

<sup>5</sup> Graduando em Eng<sup>a</sup> de Metalurgia, Técnico de processo da Gerência de Engenharia de Processo e Automação, Samarco Mineração, Unidade de Ponta Ubu, ES.

<sup>6</sup> Engenheiro de Metalurgia, Chefe de Equipe da Gerência de Engenharia de Processo e Automação, Samarco Mineração, Unidade de Ponta Ubu, ES.

<sup>7</sup> Engenheiro Eletricista, Engenheiro de Insumos da Gerência de Suprimentos, Samarco Mineração, Unidade de Ponta Ubu, ES.

## 1 INTRODUÇÃO

Mesmo após a crise mundial, existe uma tendência ao aumento taxa de crescimento da produção de aço. Devido a este fator, os produtores de aço têm sido obrigados a aumentar sua produção de sinter feed, o que é possível pelo aumento da basicidade deste. Além do crescimento da produtividade, o aumento da basicidade tem efeito de melhorar a qualidade do sinter e melhorar a resistência mecânica e diminuir a taxa de degradação sob redução (*Reduction Degradation Index*, ISO 4696-<sup>2(1)</sup>). A evolução da qualidade do sinter na Europa demonstra a tendência de aumento da basicidade, de 1,2 na década de 1970 para 2,1 em 2006.<sup>(2)</sup>

O *lump* é considerado uma carga direta de correção de basicidade da escória nos alto fornos, pois não possui elementos básicos como CaO e MgO. O *lump* é de extrema importância para atingir-se a escória ideal nas diferentes operações. Entretanto, a produção de minério de ferro granulado (*lump*) de qualidade não tem crescido o suficiente a ponto de suprir a demanda decorrente do aumento do uso de sinter de maior basicidade.

Como consequência, tem-se aumentado a exigência do mercado por pelotas que tenham uma especificação que corrija a basicidade da escória do alto forno. Neste sentido, as pelotas ácidas mostram-se as mais aplicáveis, desde que sejam mantidas condições mínimas de suas propriedades químicas, físicas e metalúrgicas. Como pode ser observado pela Figura 1, para um nível de basicidade entre 0,1 e 0,3 temos um piora das qualidades metalúrgicas das pelotas.

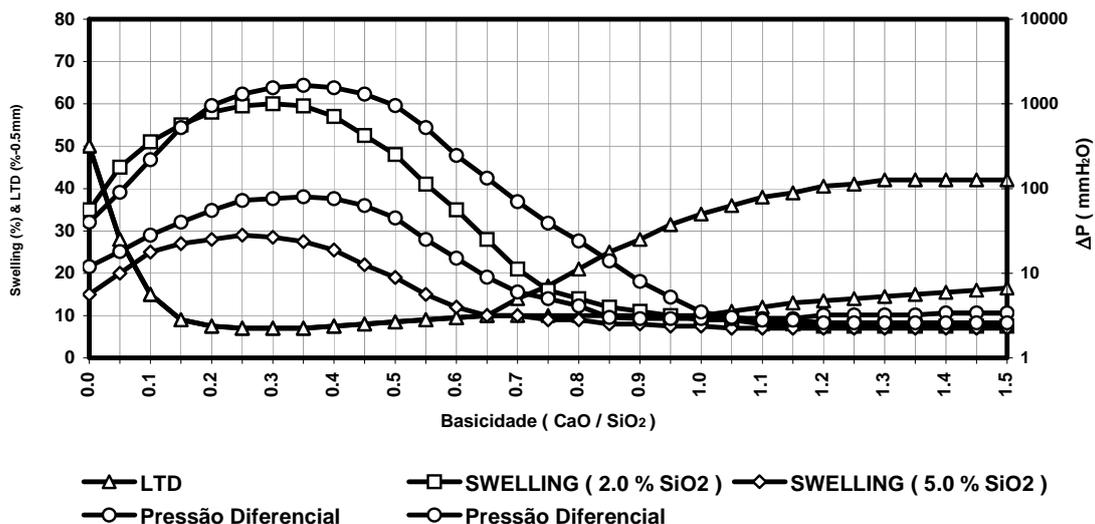


Figura 1. A Curva de Burghard.<sup>(3,4)</sup>

De modo a evitar esta queda, buscam-se trabalhar com aditivos que mantenham ou melhorem suas propriedades. A adição de MgO promove esta melhoria de forma a:

- promover a formação em sua microestrutura de fases silicatadas<sup>(5)</sup> na forma de  $2(\text{Fe},\text{Mg})\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ , resultantes da dissolução do MgO e simultânea precipitação do FeO nos silicatos durante o processo de queima; e
- promover a formação de “magnésio-ferritos”,  $\text{MgO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ , resultantes da dissolução do MgO nos óxidos de ferro e que durante o processo de queima promoverá o endurecimento das pelotas segundo ligações magnetita-magnetita.<sup>(6)</sup>

O MgO pode ser adicionado a pelota de minério de ferro pela inclusão na mistura de uma fonte de óxido de magnésio. Dentre estas fontes, destacam-se a dolomita, olivina, dunito, serpentinito, talco, entre outros. No presente trabalho foi abordado apenas a utilização do talco como fonte de MgO na produção de pelotas ácida.

O mineral talco é um filossilicato de magnésio hidratado com fórmula estrutural do mineral talco puro  $Mg_3(Si_2O_5)_2(OH)_2$  ou  $3MgO.4SiO_2.H_2O$ , correspondente à composição química teórica de: 31,7% MgO, 63% de  $SiO_2$  e 4,8% de  $H_2O$ . O talco trata-se de um mineral monoclinico, raramente cristalizado, estrutura lamelar fibrosa ou compacta, de baixa dureza, clivagem perfeita em uma direção, translúcido e com densidade em torno de  $2,7 \text{ g/cm}^3$ . As suas principais propriedades que o habilitam para uso industrial são a alta resistência ao choque térmico, leveza, baixo teor de umidade, alto poder de absorção de óleo e graxa, baixa condutividade térmica e elétrica e inércia química.<sup>(7)</sup>

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O pellet feed utilizado nos testes foi coletado na área industrial, após a etapa de filtragem e prensagem nas prensas de rolos. Foi utilizado um pellet feed com as características descritas na Tabela 1. O mesmo material foi utilizado para todos os ensaios. As quantidades adicionadas de água e insumos na etapa de mistura foram feitas com base na caracterização química do pellet feed e balanço de massa. Com isso, os teores de carbono fixo, bentonita, soda cáustica e umidade da mistura foram mantidos constantes durante os ensaios. Desta forma, apenas o talco apresentava-se como variável durante os ensaios, possibilitando avaliar o seu impacto no pelotamento.

**Tabela 1.** Caracterização do pellet feed

Pellet feed utilizado	
% $SiO_2$	1.44
$Al_2O_3$	0.39
CaO	0.08
-325# (44 $\mu\text{m}$ )	88.9
SUPERFÍCIE ESPECÍFICA ( $\text{cm}^2 / \text{g}$ )	1990

Para a realização dos testes com talco, foram preparadas quatro composições, variando-se o teor de MgO e a basicidade binária ( $B_2$ ), conforme a Tabela 2. As pelotas foram produzidas em escala de laboratório. Comparativamente, foi feito um ensaio produzindo pelotas de basicidade de 0.45, que será chamado de teste padrão.

**Tabela 2.** Composição dos experimentos

TESTE	PADRAO	1	2	3	4
MgO (%)	0.13	0.50	0.50	1.00	0.50
$B_2$	0.45	0.10	0.30	0.30	0.20

A fonte de MgO foi o talco cuja caracterização deste insumo está na Tabela 3.

**Tabela 3 – Caracterização do Talco**

Amostra de Talco	
% SiO <sub>2</sub>	60.30
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.67
CaO	0.01
MgO	32.35
-325# (44 μm)	94.5
SUPERFÍCIE ESPECÍFICA ( cm <sup>2</sup> / g )	11904

A Tabela 4 mostra as condições utilizadas para todos os testes de pelotamento feitos em laboratório.

**Tabela 4 – Parâmetros utilizados no pelotamento**

PARÂMETROS DO TESTE	
UMIDADE PF	10.0%
DOSAGEM DE BENTONITA	0.400%
DOSAGEM DE NaOH	0.029%
ROTAÇÃO DO DISCO	15 rpm
DIAMETRO DO DISCO	60 mm
INCLINAÇÃO DO DISCO	45°

Os ensaios de pelotamento foram realizados em disco piloto (Figura 2). O disco possui diâmetro interno de 100 cm. Os testes foram conduzidos a uma rotação e inclinação constantes, assim como a taxa de alimentação.



**Figura 2.** Imagem do disco de pelotamento de laboratório.

As pelotas queimadas obtidas foram avaliadas em termos de resistência física (compressão - ISO4700 e tamboramento - ISO3271),<sup>(8,9)</sup> de qualidade metalúrgica (Diferencial de Pressão – ISO7992, Inchamento - ISO4698 e LTD – ISO13930).<sup>(10-12)</sup> As pelotas também foram submetidas a análise microestrutural, realizadas em microscópio óptico Zeiss, modelo Imager.M2m, com auxílio do *software* de análise de imagens AxioVision 4.8.

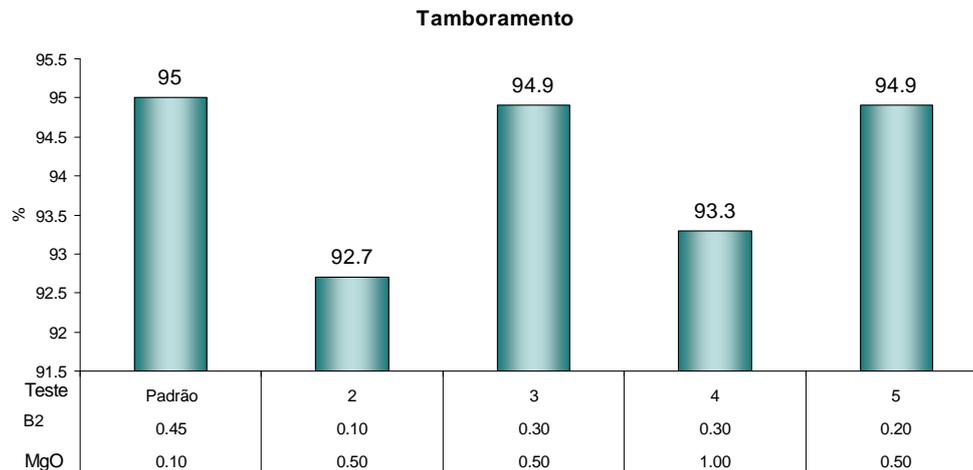
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todas as amostras analisadas atingiram temperaturas satisfatórias, cerca de 1.350°C na camada inferior durante a etapa de queima no forno piloto. Como

esperado, há uma redução do teor de ferro nas pelotas de menor basicidade e maior teor de MgO devido à maior quantidade de insumos utilizado.

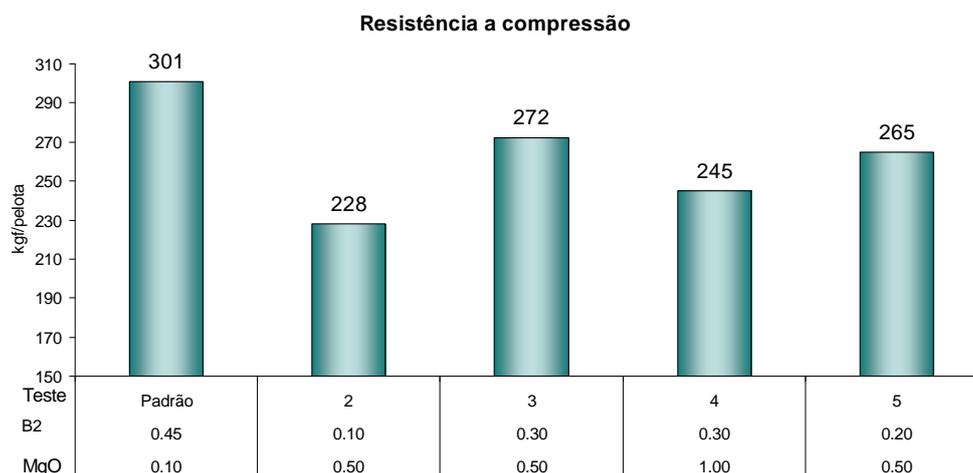
Percebe-se nos resultados uma queda na qualidade física das pelotas de baixa basicidade binária, quando comparada ao teste de basicidade padrão. Tanto o tamboramento como a resistência a compressão foram afetados pela adição de MgO a mistura (além da redução da basicidade).

Os melhores resultados de tamboramento (em relação ao teste padrão) foram obtidos com 0,50% de MgO e com basicidade de 0,2 e 0,3. Os resultados de tamboramento são mostrados na Figura 3.



**Figura 3.** Resultados de Tamboramento.

Nos resultados de compressão (Figura 4), pode-se observar a mesma tendência verificada no tamboramento. Entretanto, ficou evidenciado uma queda no resultado comparado a pelota obtida no teste padrão.



**Figura 4.** Resultados de Compressão.

A queda na resistência a compressão encontrada pode ser explicada pelo mecanismo de endurecimento da pelota crua durante a etapa de queima. O mecanismo de difusão atômica é importante na resistência física da pelota e este é favorecido pela adição de CaO. O CaO reage com a hematita e com a sílica para formar fases escorificadas que, por terem menor ponto de fusão que dos elementos puros, forma uma fase líquida capaz de dissolver partículas sólidas. Isto possibilita o

transporte de partículas para os contornos de grão na sinterização da fase sólida, funcionando como um veículo de transporte para o processo de difusão atômica. Ou seja, o quantidade de CaO, até um certo ponto, ajuda na resistência da pelota queimada.

Por outro lado, o MgO adicionado, apesar de ajudar na qualidade metalúrgica (retardando o início do amolecimento no forno de redução), aumentará a temperatura de fusão da escória na pelota, prejudicando o mecanismo de difusão atômica.

Resultado disto é que a relação entre MgO e o CaO deve ser tal que haja cal suficiente para favorecer os mecanismos de difusão e MgO suficiente para garantir as qualidade metalúrgicas da pelota. A questão da qualidade física pode ser observada pela regressões linear entre a relação MgO/CaO e a resitência a compressão, como mostra a Figura 5.

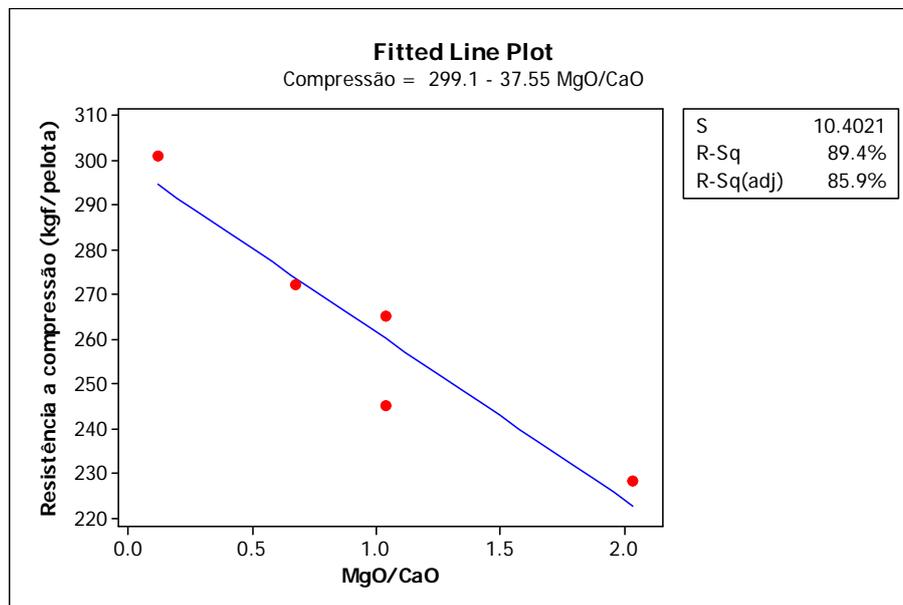


Figura 5. Regressão Linear entre compressão e relação MgO/CaO.

De forma prática, a figura nos diz que para garantir a qualidade física das pelotas devemos adicionar uma maior quantidade de CaO para neutralizar a influência do MgO (ou seja sua relação ser a menor possível).

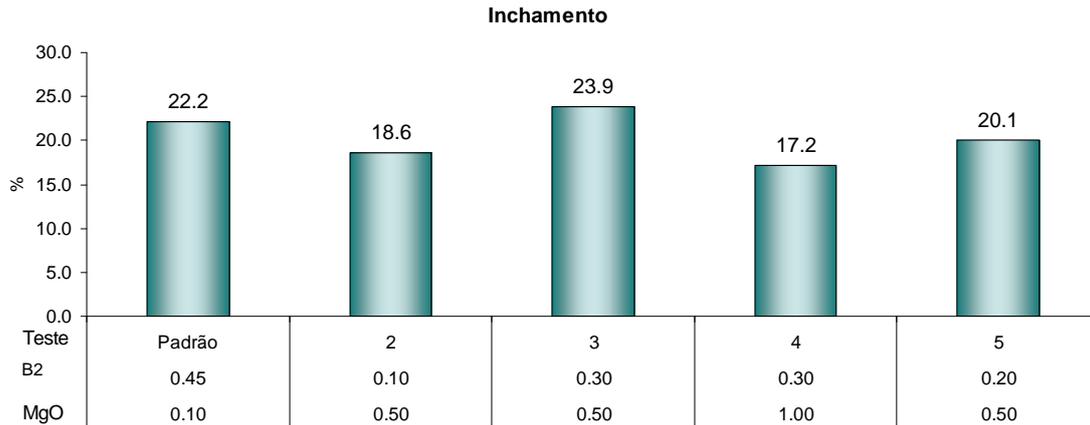
Para  $\frac{\%MgO}{\%CaO}$  baixo  $\rightarrow \%CaO \uparrow$ ,

Para aumentar o teor de CaO mantendo a basicidade constante;

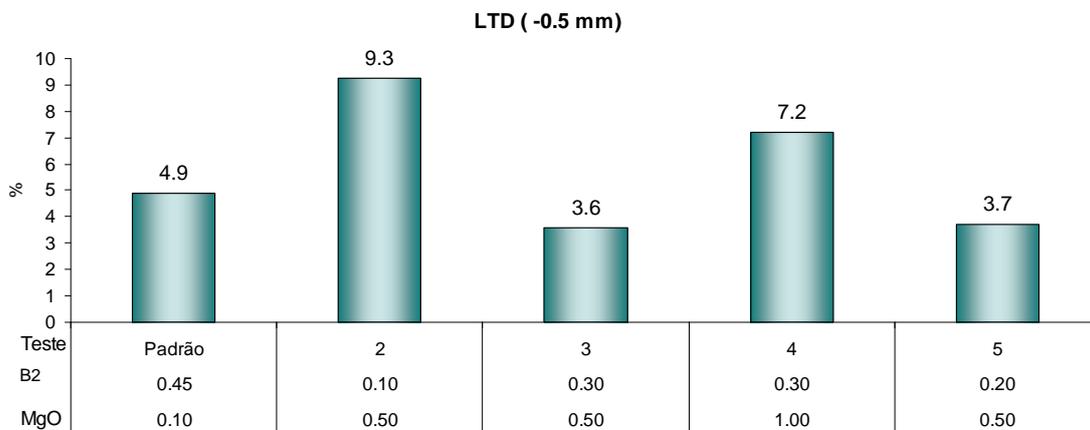
$$B2 = \frac{\%CaO}{\%SiO_2} = C^{te} = \frac{\%CaO \uparrow}{\%SiO_2 \uparrow}$$

Como a basicidade binária é determinado pela relação CaO/SiO<sub>2</sub> e objetivando uma pelota de baixa basicidade, a única forma de melhorar a resistência física seria aumentando o teor de cal e, conseqüentemente, o teor de sílica da mistura.

Com relação ao inchamento das pelotas (Figura 6), não se percebe uma melhora significativa nas pelotas com maior teor de MgO. A fração menor que 6,3 mm (Figura 7) do teste de LTD (*Low Temperature Degradation*, ISO13930) mostra que pelotas com basicidade de 0,1 ou MgO de 1% tendem a ter maior geração de finos durante a redução.

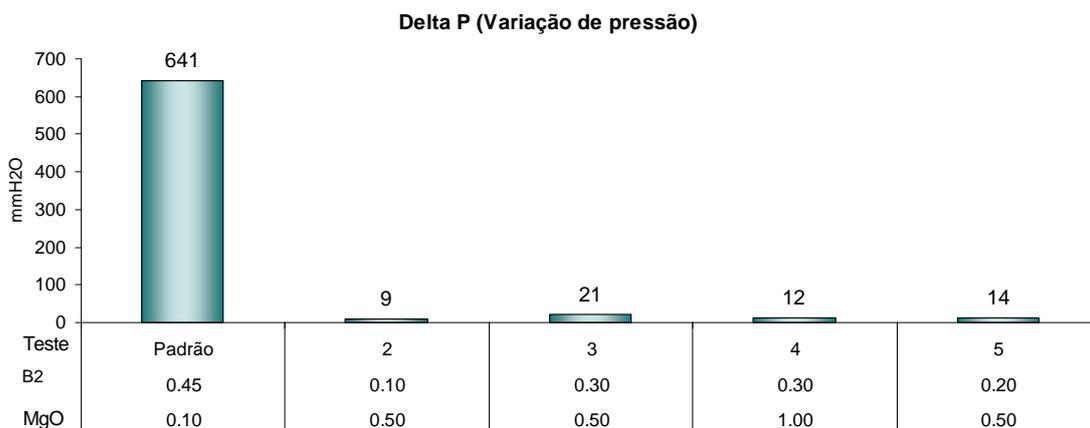


**Figura 6.** Resultado do teste de inchamento.



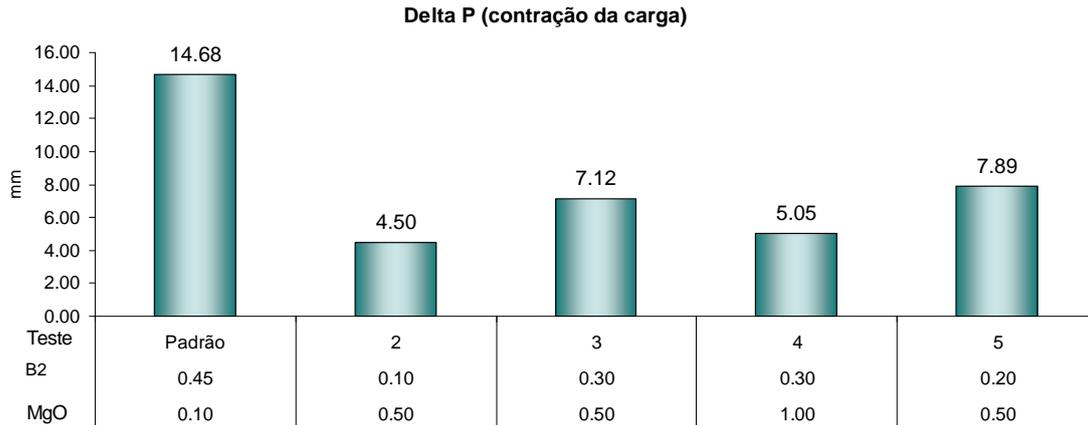
**Figura 7.** Resultado do teste de LTD – Fração menor 6,3 mm.

Um parâmetro importante da qualidade metalúrgica, o diferencial de pressão, apresentou um queda expressiva em todas as pelotas com alto teor de MgO (Figura 8). Fato este explicado pelo retardamento do início de amolecimento provocado pelo MgO presente (diminuindo a espessura da zona coesiva em escala industrial).<sup>(3,6,13)</sup>



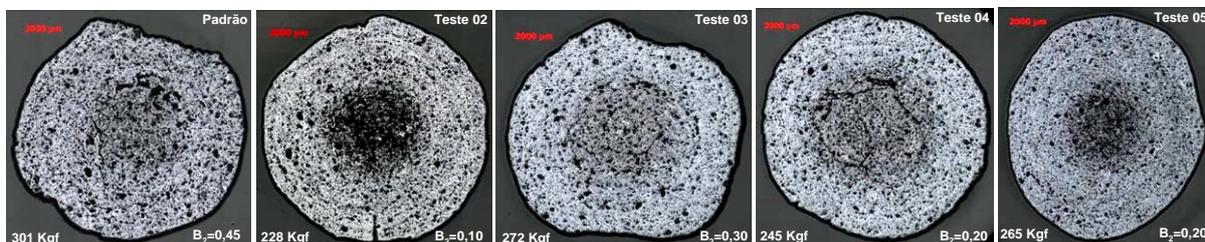
**Figura 8.** Resultado do teste de Variação sob Pressão.

Outro fator, a contração da carga, é mostrada na Figura 9. Nela é possível observar uma melhora em relação a pelota obtida no teste padrão (também explicadas pelo mecanismo anterior).



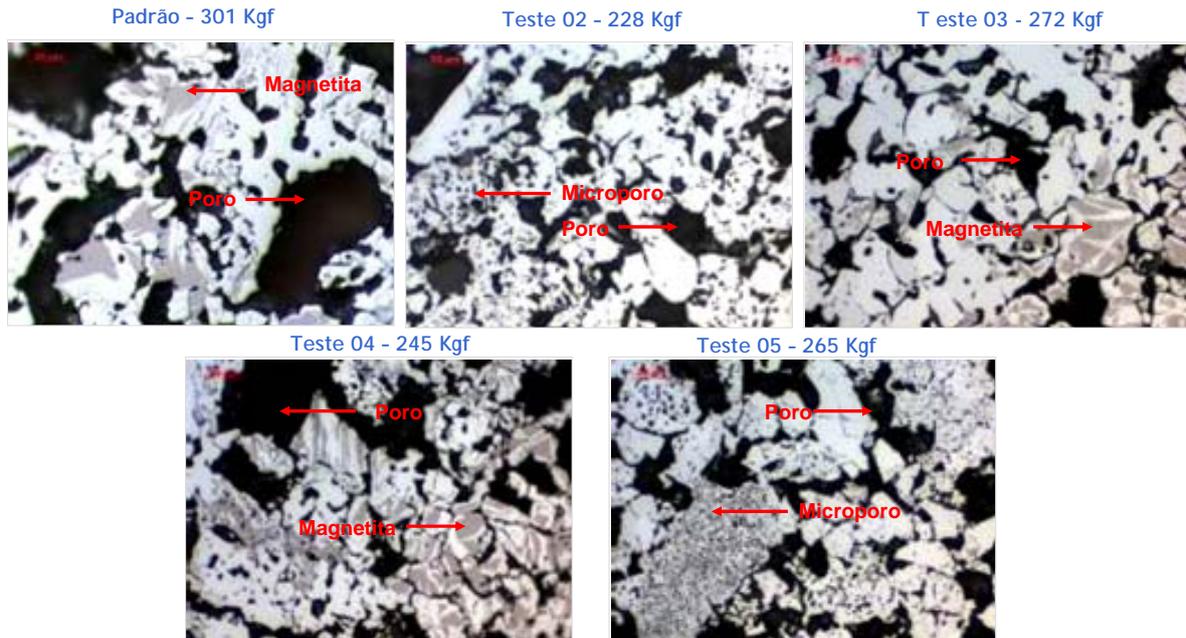
**Figura 9.** Resultado do teste de variação sob pressão (contração da carga).

Através da avaliação da macrografia das pelotas produzidas em cada teste (Figura 10), percebe-se que a pelota do teste 2 apresentou grande formação de poros no centro. Isso levou a uma fragilização de sua estrutura. O teste 3 apresentou pouca formação de magnetita e melhor distribuição dos poros. Isto explica o melhor resultado de compressão obtido nesta amostra. A avaliação feita na amostra do teste 4 mostrou uma maior formação de magnetita e consequente formação de trincas no núcleo. A pelota do teste 5 apresentou uma boa distribuição dos poros na borda e na extremidade. Entretanto, houve uma maior formação de poros no núcleo, o que pode ter causado a menor resistência em relação a pelota do teste 3.



**Figura 10.** Macrografia das pelotas queimadas.

Avaliando as pelotas com magnificação de 500x, podemos verificar que a microestrutura da pelota do teste 3 e a pelota do teste padrão estavam parecidas. Observou-se pouca formação de magnetita e de microporos. Nas pelotas do teste 2, houve uma maior formação de microporos. Estes microporos, aliado a porosidade no núcleo, tendeu a fragilizar a estrutura da pelota (diminuindo sua resistência física). O teste 4 apresentou maior formação de magnetita. Neste caso, devido a mudança de estrutura cristalina cúbica de face centrada (CFC) para hexagonal compacta (HC), de maior volume, houve um aumento de tensões internas com consequente fragilização da pelota. O teste 5 apresentou microestrutura parecida a mostrada no teste 2, com microporos e poros intragranulares. Sua melhor resistência a compressão esta associada a maior quantidade de ganga presente, o que se deve a maior quantidade de CaO presente na pelota.



**Figura 10.** Micrografia das pelotas queimadas, camada intermediária. Magnificação de 500x.

## 5 CONCLUSÃO

Através dos resultados encontrados podemos verificar que o aumento do teor de MgO e redução da basicidade binária tendem a reduzir a resistência a compressão das pelotas de minério de ferro. Por outro lado, percebe-se que a redução da relação MgO/CaO tende a melhorar estas características avaliadas.

A adição de MgO às pelotas de baixa basicidade melhorou suas características metalúrgicas, reduzindo a variação sob pressão e contração da carga devido ao aumento do ponto de fusão da escória contida na pelota.

Não houve variação do inchamento nas pelotas de alto MgO comparado a pelota padrão (basicidade 0.45).

Fazendo um balanço entre as características apresentadas na busca de um equilíbrio entre elas, pode-se concluir que as pelotas com 0,30 de basicidade e 0.50% de MgO apresentaram as melhores resultados. A pelota com mesmo teor de MgO e menor basicidade, apresentou resultados que podem ser melhorados com o aumento da quantidade de CaO na pelota. Sugere-se que a produção desta pelota com um maior teor de sílica para que seja avaliada a melhora da resistência física da pelota.

## Agradecimentos

Registra-se aqui o agradecimento à Samarco, que possibilitou a condução deste estudo. Ao corpo técnico e gerencial da Gerência Geral de Pelotização, cuja contribuição ao longo da discussão foi fundamental para a construção do raciocínio. A contribuição da equipe da Gerência de Assistência Técnica, possibilitando uma visão sistêmica ao estudo, fundamental à assertividade das análises e para o engrandecimento do trabalho. Por fim, aos laboratoristas e técnicos do laboratório da Samarco em Ponta Ubu, que se mostraram presentes desde a geração dos resultados, assim como na análise crítica dos mesmos.

## REFERÊNCIAS

- 1 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, ISO 4696-2: Iron ores — Static test for low-temperature reduction-disintegration, First edition, London, August 1998.
- 2 Lessa, M. L. et al; Desenvolvimento de Produtos - Pelota Ácida Samarco. Anchieta: Samarco Mineração S.A. 2008, 31p. Relatório Técnico.
- 3 KORTMANN, H.A. et. al. – Effect of Lime Addition Upon the Behavior During the Reduction of Iron Ore Pellets. AIME, 1973, Junho, vol. 254, p. 184-192.
- 4 GUDENAU, H.W., WALDEN, H. – Production of Stable iron Ore Pellets during Reduction – A Typical Solution of a Specific metallurgical Problem. Aufbereitungs, 1982, vol. 9, , p. 498-506.
- 5 LU, W-K et al. – The Quality of Iron Ore Pellets. McMaster University, Canada, Ontario, Hamilton.
- 6 LINGTAN, K., YANG, L., LU, K. – The Role of Magnesia in Iron Ore Pellets. First European Symposium on the Use of Olivine Pellets, 1982, Scandinavian Journal of Metallurgy, vol. 4, p. 166-176.
- 7 Campos, L. E. G.; Talco e Pirofilita, Balanço Mineral, Edição 2001Disponível em <<http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriadocumento/balancomineral2001/talco.pdf>> Acesso em 20 Abril.2011 – 19p.
- 8 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, BS ISO 4700:2007: Iron ores - Determination of tumble strength, Third edition, London, November 1995.
- 9 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, ISO 3271: Iron ore pellets for blast furnace and direct reduction feedstocks — Determination of the crushing strength, Third edition, London, September 2007.
- 10 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, ISO 4698: Iron ore pellets for blast furnace feedstocks — Determination of the free-swelling index, Second edition, London, October 2007.
- 11 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, ISO 13930: Iron ores for blast furnace feedstocks — Determination of low-temperature reduction-disintegration indices by dynamic method, Second edition, London, October 2007.
- 12 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, ISO 7992: Iron ores for blast furnace feedstocks — Determination of reduction under load, Second edition, London, October 2007.
- 13 WILKSTRÖN, J.O. – 100% Olivine Pellets in Blast Furnace No.2 in Luleå. Ironm. Proc., EUA, Atlanta, 1983, vol. 42. Blast Furnace Phenomena and Modeling. 1987, ed. Elsevier Science Publishing Co. Inc., USA, New York, p. 476-483.