

CORRELAÇÕES QUÍMICAS E METALÚRGICAS DOS PRODUTOS GRANULADOS DE MINÉRIO DE FERRO¹

Eunírio Zanetti Fernandes²

Resumo

Os teores químicos de ferro total, sílica, alumina e perda por calcinação, apresentam correlações mensuráveis com os índices metalúrgicos de produtos granulados de minério de ferro. O ferro total apresenta relação direta com grau de metalização, índices de crepitação e tamboramento, mas apresenta relação inversa com finos gerados, liberação de enxofre, redutibilidade, RDI e índice de abrasão. Os teores de sílica apresentam relação direta com finos gerados, liberação de enxofre, redutibilidade, RDI e índice de abrasão, havendo relação inversa com grau de metalização, crepitação e abrasão. Os teores de alumina são diretamente relacionados à liberação de enxofre, tendo relação inversa com grau de metalização, finos gerados, redutibilidade, RDI, crepitação, tamboramento e abrasão. A perda por calcinação apresenta correlação direta com finos gerados, liberação de enxofre, redutibilidade, RDI e abrasão, tendo correlação inversa com o grau de metalização, crepitação e tamboramento. Os processos de alteração desempenharam um papel muito importante nas características metalúrgicas dos produtos granulados de minério de ferro.

Palavras-chave: Granulado; Metalurgia; Química; Teor; Índice.

CHEMISTRY AND METALLURGIC CORRELATIONS OF IRON ORES' GRANULATED PRODUCTS

Abstract

The chemistry contents of total iron, silica, alumina and lost of ignition, present measurement correlations with metallurgic indexes of iron ore's granulated products. The total iron content presents direct relation with metallization grade, decrepitation and tumbler indexes, but presents reversal relation with fines generates, sulphur released, reducibility, RDI and abrasion index. The silica contents presents direct relation with generated fines, sulphur released, reducibility, RDI and abrasion index, having reversal relation with metallization grade, decrepitation and abrasion. The alumina contents are related directly to sulphur released, having reversal relation with metallization grade, generated fines, reducibility, RDI, decrepitation, tumbler and abrasion. The loss of ignition presents direct correlation with generated fines, sulphur released, reducibility, RDI and abrasion, having reversal relation with metallization grade, decrepitation and tumbler. The weathering processes attended a very important role in the metallurgic characteristics of iron ore's granulated products.

Key words: Granulated; Metallurgy; Chemistry; Content; Index.

¹ Contribuição técnica ao 40º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 11º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 19 a 22 de setembro de 2010, Belo Horizonte, MG.

² Geólogo, Gerente de Planejamento de Curto Prazo do Complexo Itabirito do Sistema Sul da Vale. Mestrado e Doutorado em Eng. Metalúrgica e de Minas pela Escola de Engenharia da UFMG.

1 INTRODUÇÃO

Os produtos granulados de minério de ferro são produzidos apenas por britagem e peneiramento, com alto valor agregado no mercado de minério de ferro. As amostras de produtos granulados utilizadas para este trabalho foram coletadas nas Usinas de Beneficiamento do Sistema Sul da Vale e são representativas dos produtos granulados desta porção do Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais, localizado ao sul da cidade de Belo Horizonte (Figura 1). Os testes metalúrgicos foram feitos com base nas normas ISO (International Organization for Standardization): grau de metalização e finos gerados,⁽¹⁾ liberação de enxofre,⁽²⁾ redutibilidade,⁽³⁾ índice de degradação sob redução (RDI),⁽⁴⁾ crepitação⁽⁵⁾ e tamboramento.⁽⁶⁾ As análises químicas foram feitas via raio x, utilizando pastilha fundida.

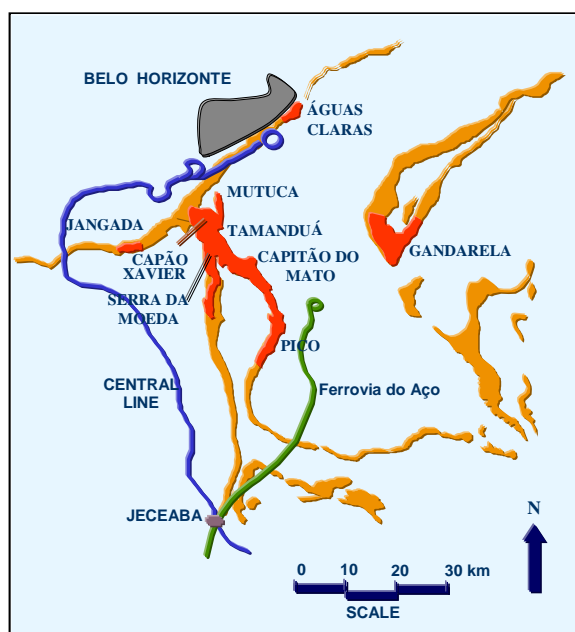


Figura 1. Mapa de localização geral das Minas de Ferro do Sistema Sul da Vale.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

As 11 amostras utilizadas na pesquisa foram compostas durante os turnos de produção das Usinas de Beneficiamento, coletadas em um período de seis meses, com quarteamentos mensais sistemáticos para redução do volume, sem perda da representatividade. No final dos 6 meses a massa média por amostra foi de 700 kg. A metodologia de coleta e preparação foi feita com base na norma NBR ISO 3082,⁽⁷⁾ incluindo a preparação para análises químicas e ensaios metalúrgicos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 estão relacionados os resultados químicos das 11 amostras e que foram utilizados nas correlações com os índices metalúrgicos.

Tabela 1 Resultados das análises químicas via raio x das amostras de produtos granulados de minério de ferro

Amostras	Teores (%)			
	Fe total	SiO ₂	Al ₂ O ₃	PPC (Perda ao fogo)
LO JGD - Produto	67,45	1,38	0,75	1,05
LO CMT - Produto	67,47	1,17	0,80	1,32
LO TAM - Produto	66,82	1,65	1,10	1,49
LO VGR - Produto	68,00	0,86	0,71	1,11
LO ABO - Produto	67,69	0,55	0,72	1,78
LO PIC - produto	68,64	0,10	0,10	1,32
LO CPX - Produto	64,31	0,35	2,95	2,38
PO A PIC Produto	67,49	1,20	0,76	1,20
PO B PIC - produto	62,64	7,21	0,93	2,10
LO B PIC - produto	66,55	0,96	1,25	1,94
LO ITA PIC - Produto	59,56	8,26	1,36	4,59

Os teores de ferro total (Fe₂O₃ + FeO) apresentam correlação direta com grau de metalização, índice de crepitação e tamboramento, mostrando que os minérios mais ricos têm metalização mais alta, maior resistência mecânica, mas índices maiores de crepitação na redução direta e alto forno (Figuras 2 a 4).

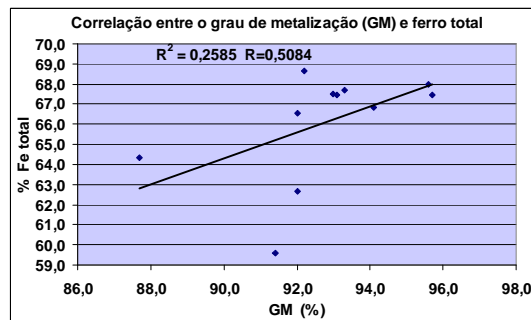


Figura 2. Correlação entre ferro total e grau de metalização.

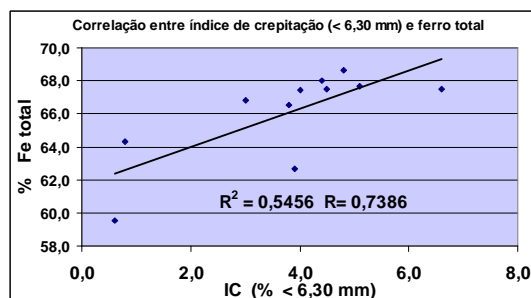


Figura 3. Correlação entre ferro total e índice de crepitação.

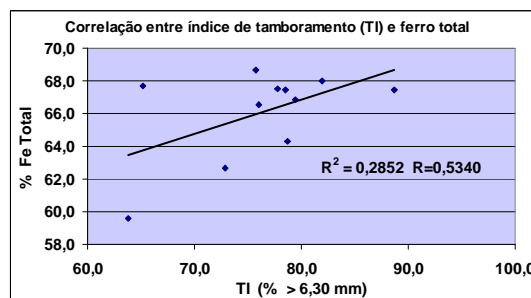


Figura 4. Correlação entre ferro total e índice de tamboramento.

Com relação aos finos gerados, liberação de enxofre, redutibilidade, RDI e abrasão, os teores de ferro total apresentam correlações inversas (Figuras 5 a 9). Com teores mais elevados de ferro, o percentual de contaminantes é mais baixo, principalmente alumina, sílica e perda por calcinação, elevando a resistência mecânica dos granulados, fazendo com que os índices de abrasão, RDI e finos gerados sejam mais baixos. A redutibilidade mais baixa é explicada pela redução da porosidade e permeabilidade dos produtos mais ricos em ferro, com menor grau de alteração. A relação inversa com a liberação de enxofre também está associada a níveis de alteração mais baixos dos minérios mais ricos em ferro.

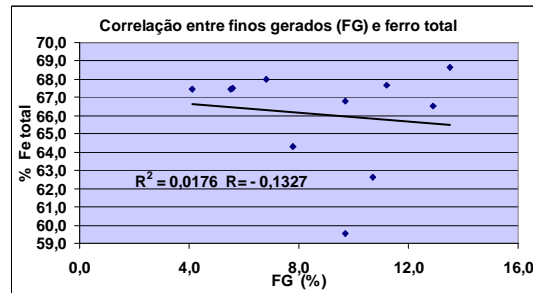


Figura 5. Correlação entre ferro total e finos gerados.

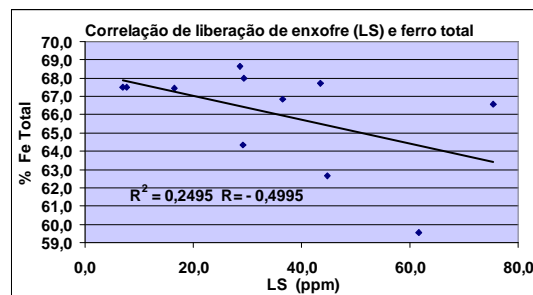


Figura 6. Correlação entre ferro total e liberação de enxofre.

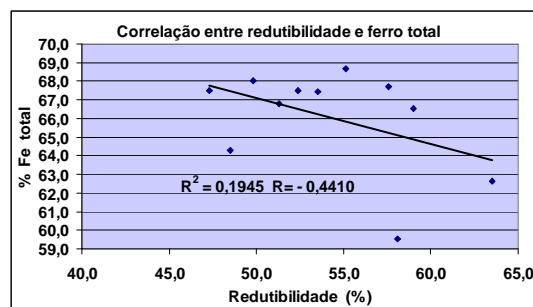


Figura 7. Correlação entre ferro total e redutibilidade.

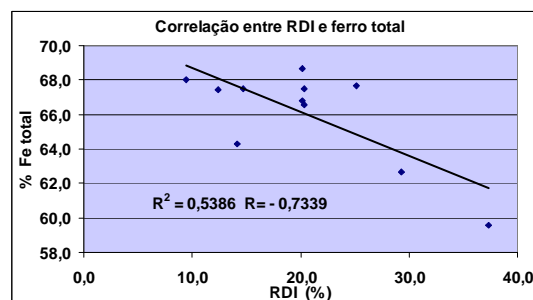


Figura 8. Correlação entre ferro total e RDI.

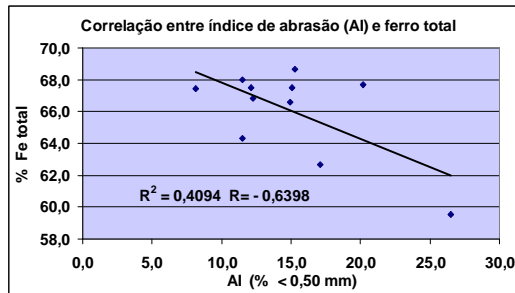


Figura 9. Correlação entre ferro total e índice de abrasão.

A variável química sílica apresenta correlação direta com finos gerados, liberação de enxofre, redutibilidade, RDI e índice de abrasão. Os produtos granulados mais silicosos são menos resistentes, gerando mais finos no processo de redução direta, valores mais elevados de RDI (índice de degradação sob redução), abrasão mais elevada, mas são mais facilmente redutíveis com índices de redutibilidade mais altos, pela maior porosidade e permeabilidade. A liberação de enxofre é mais alta, também pela maior porosidade e permeabilidade (Figuras 10 a 14).

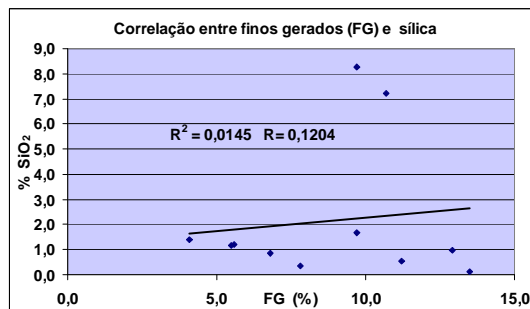


Figura 10. Correlação entre sílica e finos gerados.

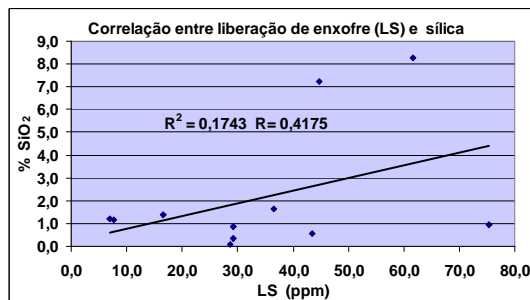


Figura 11. Correlação entre sílica e liberação de enxofre.

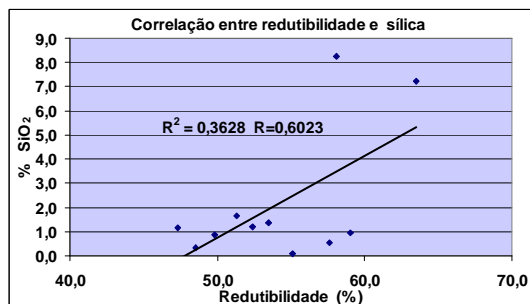


Figura 12. Correlação entre sílica e redutibilidade.

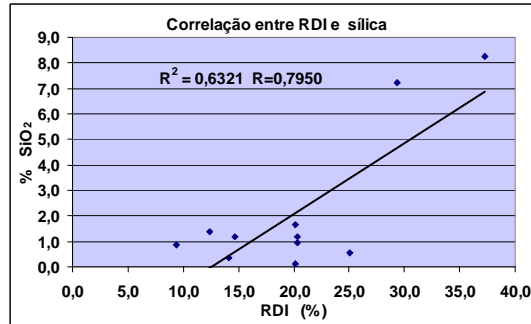


Figura 13. Correlação entre sílica e redutibilidade.

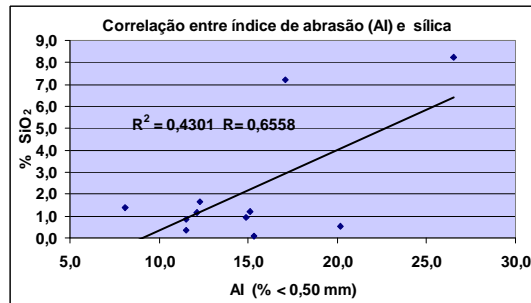


Figura 14. Correlação entre sílica e RDI.

Os teores de sílica se comportam de forma inversamente proporcional em relação ao grau de metalização, crepitação e tamboramento. Em termos de metalização, minérios silicosos têm teores de ferro mais baixos e metalizações menores, mas por outro lado apresentam comportamento com índices menores de crepitação, por ser mais frágeis e também mais porosos e permeáveis. A resistência mecânica mais baixa é indicada pelos valores menores dos índices de tamboramento (Figuras 15 a 17).

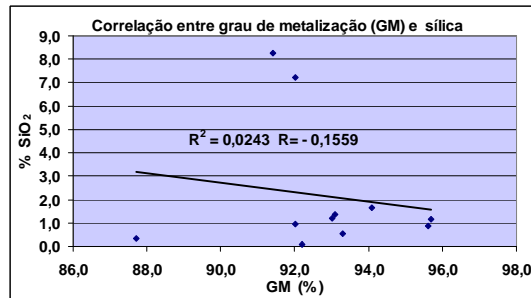


Figura 15. Correlação entre sílica e grau de metalização.

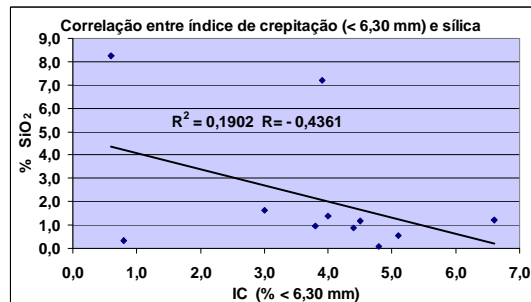


Figura 16. Correlação entre sílica e crepitação.

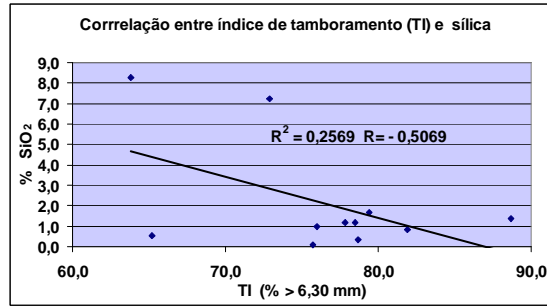


Figura 17. Correlação entre sílica e tamboramento.

Os teores de alumina apresentam uma fraca correlação positiva com liberação de enxofre, demonstrando que o nível de alteração maior dos minérios, aumenta o enxofre liberado (Figura 18).

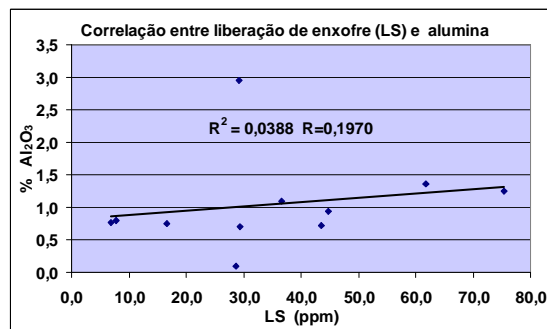


Figura 18. Correlação entre alumina e liberação de enxofre.

A alumina apresenta uma forte relação inversa com o grau de metalização e crepitação, pela associação a minérios mais alterados, fortemente lixiviados e com profundas modificações químicas e físicas. A alta porosidade e permeabilidade permitiram baixos índices de crepitação (Figuras 19 e 20).

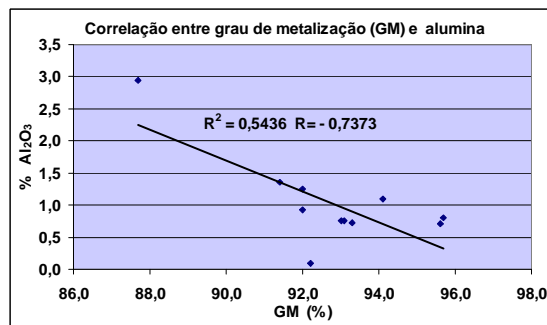


Figura 19. Correlação entre alumina e grau de metalização.

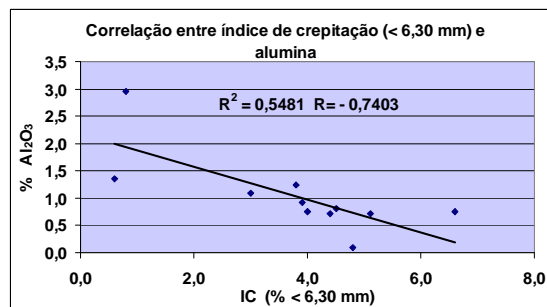


Figura 20. Correlação entre alumina e índice de crepitação.

Com as outras variáveis metalúrgicas, a alumina apresenta baixos coeficientes inversos de correlação, não permitindo considerações mais detalhadas (Figuras 21 a 25). Apenas a redutibilidade apresenta um coeficiente maior de correlação inversa, provavelmente associada aos minerais argilosos, que inibem a redução e influenciando também na micro-porosidade.

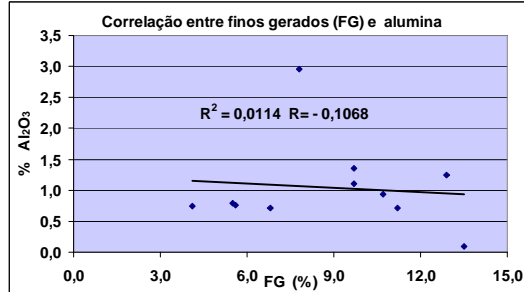


Figura 21. Correlação entre alumina e finos gerados.

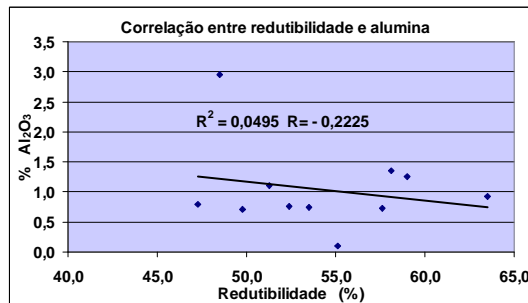


Figura 22. Correlação entre alumina e redutibilidade.

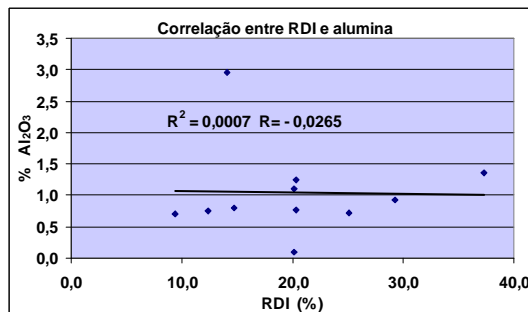


Figura 23. Correlação entre alumina e RDI.

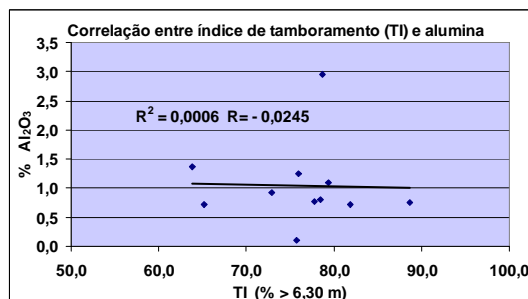


Figura 24. Correlação entre alumina e Tamboramento.

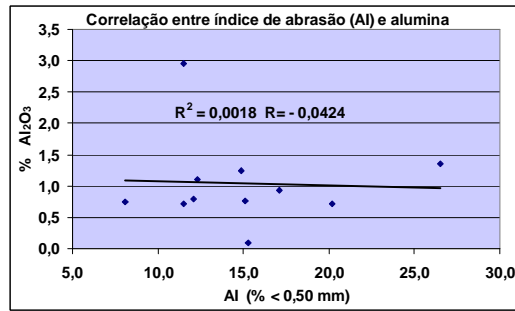


Figura 25. Correlação entre alumina e índice de abrasão.

A perda por calcinação é muito mais eficiente nas correlações com os índices metalúrgicos, quando comparada com a alumina. Apresenta correlação direta com os finos gerados, liberação de enxofre, redutibilidade, RDI e abrasão, decorrente dos níveis mais elevados de alteração. Favorece a redutibilidade, mas por outro lado gera mais finos, prejudicando substancialmente os produtos nos processos de redução direta e alto-forno (Figuras 26 a 30).

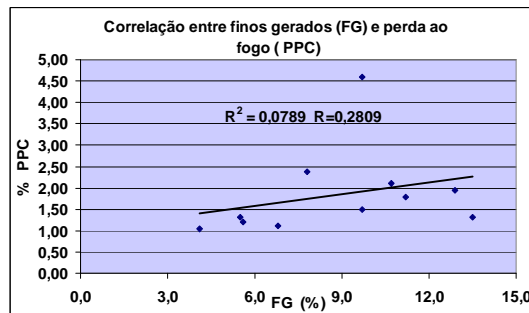


Figura 26. Correlação entre perda por calcinação e finos gerados.

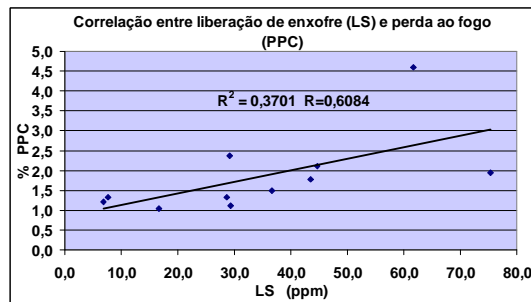


Figura 27. Correlação entre perda por calcinação e liberação de enxofre.

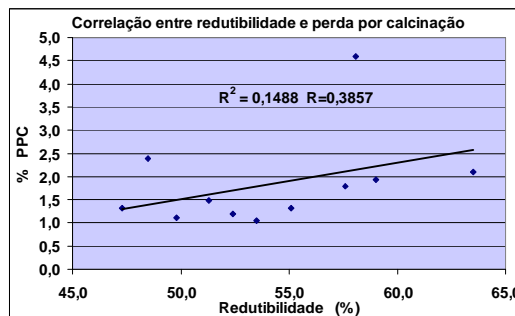


Figura 28. Correlação entre perda por calcinação e redutibilidade.

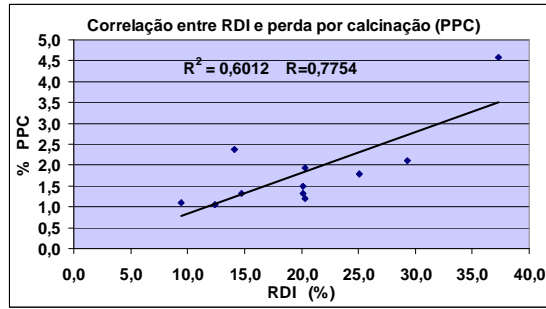


Figura 29. Correlação entre perda por calcinação e RDI.

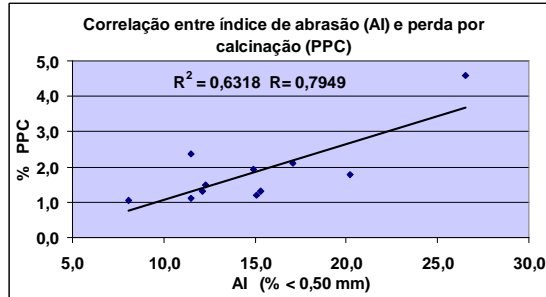


Figura 30. Correlação entre perda por calcinação e índice de abrasão.

O comportamento da variável perda por calcinação é inversa em relação ao grau de metalização, crepitação e tamboramento, pelo percentual elevado de argilo-minerais, que reagem com ferro, dificultando a metalização no processo de redução direta, mas ao mesmo tempo reduzindo a crepitação. A redução dos índices de tamboramento está associada aos elevados graus de alteração dos minérios (Figuras 31 a 33).

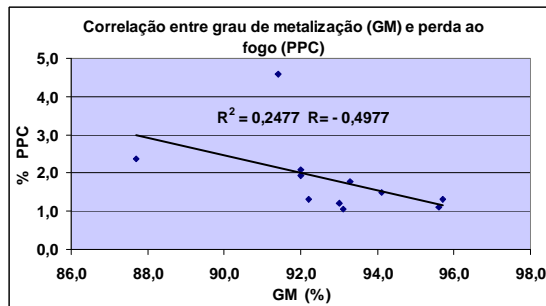


Figura 31. Correlação entre perda por calcinação e grau de metalização.

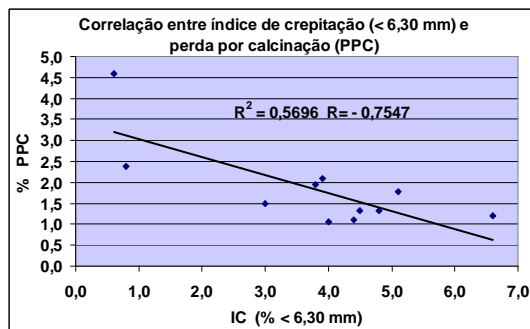


Figura 32. Correlação entre perda por calcinação e crepitação.

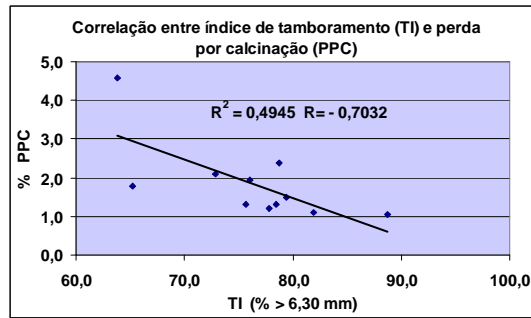


Figura 33. Correlação entre perda por calcinação e tamboramento.

4 CONCLUSÕES

4.1 As variáveis químicas ferro total, sílica e perda por calcinação podem ser facilmente correlacionadas com os principais índices metalúrgicos de produtos granulados de minério de ferro, destinados para redução direta e alto-forno. A alumina pode ser indicativa apenas para crepitação e grau de metalização.

4.2 Em uma avaliação preliminar do comportamento metalúrgico dos produtos granulados, as análises químicas podem ser fortes indicadores, principalmente no zoneamento de jazidas de ferro, combinadas com modelamento geológico e estrutural.

Agradecimentos

Agradecimentos especiais a Vale, Diretoria de Ferrosos Sul e a ABM, pela oportunidade de apresentar o trabalho e contribuir com o 11^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro.

REFERÊNCIAS

- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO, Genève, Switzerland. ISO 11257:1998 (E). Iron Ores – Determination of disintegration and metallization of feedstock for direct reduction by gas reforming processes. Genève, Switzerland. 1998 – 07 – 01. 12 p.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO, Genève, Switzerland. ISO N 170 E:1996. Iron Ores – Determination of sulphur released under reduction by hydrogen. Genève, Switzerland. 1996 – 05 – 23. 06 p.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO, Genève, Switzerland. ISO 7215:1995 (E). Iron Ores – Determination of relative reducibility. Genève, Switzerland. 1995 – 11 – 15. 11 p.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO, Genève, Switzerland. ISO 4696-2:1998 (E). Iron Ores – Static test for low-temperature reduction-disintegration. Genève, Switzerland. 1998 – 08 – 01. 13 p.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO, Genève, Switzerland. ISO 8371:1994 (E). Iron Ores – Determination of decrepitation index. Genève, Switzerland. 1994 – 11 – 15. 05 p.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO, Genève, Switzerland. ISO 3271:1995 (E). Iron Ores – Determination of tumble strength. Genève, Switzerland. 1995 – 11 – 01. 08 p.
- BRAZILIAN ASSOCIATION OF TECHNICAL NORMS, Rio de Janeiro. NBR ISO 3082; Iron's Ores – Procedures of sampling and samples' preparation. Rio de Janeiro, Brazil. 29-09-2003. 56 p.



- 8 Graça, L. M., Lordão, R. C., Roldão, D. G. Domínios Mineralógicos na Superfície das Minas de Fábrica. VII Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro, 12 a 15 de setembro 2006, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil.