

EFEITO DA ADIÇÃO DE GRANULADO BRITADO NA SINTERIZAÇÃO¹

Geraldo Majela de Sá²
Thiago Pinto Silva³
José Aurélio Medeiros da Luz⁴

Resumo

Com o empobrecimento das reservas de minério de ferro, a qualidade química e granulométrica do *sinter feed* tem sido reduzida drasticamente, resultando em dificuldades na sinterização. A incorporação parcial de *lump ore* rebitado, poderá viabilizar insumos com menores teores de ferro, mantendo a economicidade do processo de sinterização das siderúrgicas integradas a coque. A partir disso, fabricou-se um *sinter feed* com granulado rebitado, nomeado por *sinter feed* estudo. Neste trabalho estudou-se o efeito da adição deste minério na sinterização em escala piloto. Foi realizada a caracterização sob o aspecto químico, granulométrico e mineralógico e seu desempenho na sinterização foi comparado com outros de duas misturas de minério de ferro. Seu desempenho sugere necessidade de ajustes na distribuição granulométrica para um melhor aproveitamento comercial e técnico.

Palavras-chave: Granulado rebitado; Caracterização; Sinterização.

EFFECT OF LUMP ORE CRUSHED ON SINTERING

Abstract

Due to the iron ore reserves depletion, the sinter feed's chemical and granulometry quality has been drastically reduced, resulting in difficulties at sintering process. The partial incorporation of lump ore crushed may enable inputs with lower levels of iron content, keeping the sintering process economic. From this it was fabricated a sinter feed, appointed by sinter feed study, with lump ore crushed. In this work, it was studied the adding effect of that kind iron ore on sintering at pilot scale. Characterization was carried out under the aspect chemical, mineralogical and granulometry, its performance was compared with two other iron ore mixtures performances. Its performance suggests the need for adjustments in the size distribution for a better use commercial and technical.

Key words: Crushed lump ore; Characterization; Sintering.

¹ Contribuição técnica ao 43º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 14º Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 1º Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 1 a 4 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Engenheiro Eletricista, MSc, Gerente. Gerência de Qualidade da Mineração Usiminas, Membro da ABM, Itatiaiuçu, MG, Brasil.

³ Engenheiro Metalurgista, Pesquisador. Centro de Tecnologia da Usiminas, Membro da ABM, Ipatinga, MG, Brasil.

⁴ Engenheiro de Minas, Dr., Professor. Universidade Federal de Ouro Preto, Membro da ABM, Ouro Preto, MG.

1 INTRODUÇÃO

Os tipos de minérios utilizados na sinterização são escolhidos por critérios técnicos e econômicos de forma a buscar a situação ideal. Segundo Vieira et al.⁽¹⁾ a qualidade dos sínteres está relacionada com a qualidade intrínseca dos minérios de ferro utilizados na mistura a sinterizar. Entre elas, a distribuição granulométrica afeta diretamente a produtividade da sinterização, tornando necessário o controle da quantidade das partículas nucleantes, intermediárias e aderentes.

A distribuição granulométrica ideal dos minérios de ferro para a sinterização obedece à curva de Astier (Figura 1). Essa curva estabelece que os minérios devam ser limitados entre as malhas 6,35 mm a 0,105 mm e, aproximadamente, 50 % do minério deve estar acima de 1,0 mm, segundo Ishikawa et al.⁽²⁾

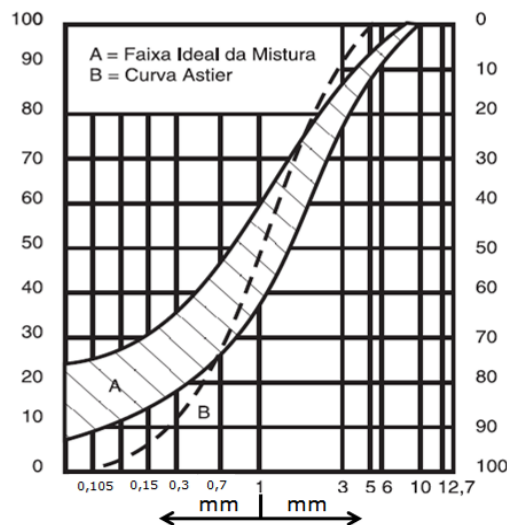


Figura 1. Distribuição granulométrica do *sinter feed*.⁽²⁾

A distribuição granulométrica do *sinter feed* sugerida por Astier evoluiu para o conceito de distribuição granulométrica de mistura de minérios, representada na Figura 1 pela porção hachurada conforme descrito abaixo: 0% acima de 9,5 mm; 5% máximo acima de 6,35 mm; 45% a 60% entre 1,0 mm e 6,35 mm; 10% a 25% máximo abaixo de 0,105 mm ou 150 mesh.

A análise da qualidade intrínseca das matérias-primas utilizadas na sinterização favorece a formulação otimizada de misturas, beneficiando o rendimento do processo, além da produção de sínteres com propriedades químicas, físicas e metalúrgicas adequadas à estabilidade operacional do alto-forno.⁽³⁾

O empobrecimento das reservas minerais de ferro do Quadrilátero Ferrífero, associado ao afinamento do *sinter feed* disponibilizado no mercado têm resultado em rendimentos, no processo de sinterização, cada vez menores.

Neste cenário, o presente estudo se propôs a avaliar a sinterabilidade em escala piloto de um *sinter feed* nomeado por *sinter feed* estudo. Este minério foi composto a partir de granulado (*lump ore*) reprocessado por britagem.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O *sinter feed* estudo foi fabricado a partir da composição de granulado rebitado, *sinter feed* resultante dos processos de beneficiamento mineral, *coarse pellet feed*, resultante do processo de concentração magnética, *sinter feed* fino resultante do

processo de concentração por espirais e uma pequena parcela de outros finos de processo. Esta composição, após ser misturada manualmente, foi dividida no quarteador carrossel.

Três misturas de minérios de ferro, A, B e C foram fabricadas, sendo a Mistura B composta por 100% do *sinter feed* estudo e foram caracterizadas a partir de ponderação da composição química, granulométrica (ensaio a seco) e mineralógica (por contagem de pontos das classes de minerais apresentadas na Tabela 3) de cada minério das misturas.

Tabela 1. Nomenclatura da mineralogia de minérios de ferro em estudos ópticos de luz refletida

Classes de minerais			
Óxidos de ferro	Hidróxido de ferro	Agregados terrosos	Minerais de Ganga
Magnetita	Goethita	Goethita+minerais indistintos	Quartzo
Martita	Goethita terrosa		Outros
Hematita Lobular			
Hematita Granular			
Hematita Tabular			

O comportamento das misturas na aglomeração a frio foi avaliado por meio da distribuição granulométrica dos agregados. Coletou-se amostra com 2 kg de mistura antes do carregamento na panela de sinterização. Após quarteamento, 500 g desta amostra foram levados à estufa com temperatura em 80°C durante o tempo necessário para atingir a umidade de 3%. Esta mistura foi classificada em peneiras com malhas de 4,76 mm, 2,83 mm, 1,00 mm, 0,50 mm e 0,25 mm, originando a distribuição granulométrica dos agregados. Estas faixas foram desagregadas com água e secas em estufa a 105°C durante 60 min. Com as amostras secas, procedeu-se à classificação das partículas não aglomeradas com as mesmas malhas usadas anteriormente, originando a distribuição granulométrica das partículas primárias. Procedeu-se da mesma maneira com a outra parte da amostra quarteada, até a classificação dos agregados.

Testes na Máquina Piloto de Sinterização da Usiminas foram realizados para avaliar o efeito da Mistura B (100% de *sinter feed* estudo) comparado-a com duas misturas A e C. As características da panela e do processo são apresentadas na Tabela 2. O processo se iniciou pela homogeneização da mistura no misturador intensivo, com posterior aglomeração no tambor e, finalmente, carregamento na panela piloto de sinterização. O sínter produzido foi submetido ao impacto por meio de duas quedas de uma altura de 2 m e a abrasão com 5 voltas em um tambor, visando simular a degradação do sínter industrial da Usina de Ipatinga. O sínter degradado foi classificado em peneiras (5 mm e 10 mm), sendo a faixa maior que 5 mm considerado o sínter produto.

Tabela 2. Parâmetros da panela e do processo de sinterização piloto

Parâmetros	Valor
Altura da camada	500 mm
Diâmetro da panela	300 mm
Relação ar/COG (<i>Coke Oven Gas</i>)	5,2
Altura do <i>bedding</i>	30 mm
Massa do <i>bedding</i>	3 kg
Tempo de ignição	1 min
Depressão durante ignição	600 mmH ₂ O
Depressão durante a queima	1100 mmH ₂ O
Tempo de residência (misturador intensivo)	2,0 min
Rotação do agitador (misturador intensivo)	346 RPM
Diâmetro do agitador (misturador intensivo)	350 mm
Velocidade tangencial na ponta do agitador (misturador intensivo)	6,3 m/s
Tempo de residência (tambor)	8 min
Rotação do tambor	14 RPM
Adição da água	100% no misturador intensivo
Umidade ótima	8,0%, 8,5% e 7,5%**

**(*mistura A, B e C, respectivamente*)

Uma mistura com 80 kg de matérias-primas cuja proporção e tipo são apresentados na Tabela 3 foi utilizada para fabricar os sinteres A, B e C.

Tabela 3. Proporção de matérias-primas

Matérias-primas	Proporção (%)		
	Sínter A (referência)	Sínter B	Sínter C
	Mistura parcial		
Mistura de minérios A	53,7	-	-
Mistura de minérios B	-	45,7	-
Mistura de minérios C	-	-	49,3
Calcário	4,7	6,8	3,2
Dolomita	4,4	4,3	4,5
Cal	2,2	2,2	2,2
Minério de manganês	0,0	6,0	5,7
Pó do alto-forno	0,3	0,3	0,3
Rejeito industrial	0,7	0,7	0,7
Degradado (sínter < 5 mm)	5,1	5,1	5,1
Carepa	0,7	0,7	0,7
Pó da sinterização	2,2	2,2	2,2
Coque	1,5	1,5	1,5
Antracito	1,5	1,5	1,5
Retorno (sínter < 5 mm)	23,0	23,0	23,0
Total	100	100	100
Basicidade (CaO/SiO ₂)	1,8		

O primeiro sínter (considerado como referência - Sínter A) foi fabricado com mistura de minérios A, o segundo sínter (Sínter B) com a mistura de minérios B e por fim, o terceiro sínter (Sínter C) com a mistura de minérios C.

No sínter referência foi adicionado 3,0% de combustível da mistura total para atingir o rendimento de 77% (23% de retorno), sendo este valor de combustível mantido para os Sinteres B e C.

O sinter foi caracterizado pela resistência mecânica (ensaio de queda - JIS M 8711⁽⁴⁾), mineralogia (análise quantitativa da hematita, magnetita, calcioferrita e silicato por meio do processamento e análise digital de imagens), porosidade (porosimetria por mercúrio) e pelo comportamento metalúrgico por meio do RDI (*Reduction Degradation Index* - ISO 4696-1⁽⁵⁾), conforme norma interna da Usiminas e RI (*Reducibility Index* - procedimento interno da Usiminas).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Avaliação das Misturas de Minérios

As distribuições granulométricas das misturas de minério calculadas por ponderação são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4. Composição granulométrica calculada das misturas minérios

Abertura (mm)	Retido Simples (%)		
	Mistura		
	A	B	C
>9,52	4,03	7,58	7,28
6,35	10,56	13,53	6,66
3,36	20,19	13,71	11,25
1,00	25,07	12,20	21,12
0,710	3,84	2,70	4,70
0,500	3,01	2,67	3,88
0,300	3,72	6,48	4,91
0,250	1,17	4,72	2,52
0,150	5,49	10,32	8,69
0,105	6,09	6,73	7,79
0,074	5,77	6,69	7,50
0,045	6,73	7,54	9,07
<0,045	4,33	5,13	4,63
>6,35	14,59	21,11	13,94
6,35~1	45,26	25,91	32,37
1~0,105	23,32	33,62	32,49
<0,105	16,83	19,36	21,20

Nota-se que todas as misturas de minérios, em especial a Mistura B, apresentaram-se grossas por excederem o limite de partículas maiores que 9,52 mm e da faixa 9,5 mm a 6,35 mm, estipulado pela curva de Astier. Observa-se que a Mistura A contemplou a maior quantidade de partículas na faixa entre 1 mm a 3,36 mm. Nesta faixa os nucleantes são mais efetivos na formação das quase partículas.

As composições químicas das misturas de minério calculadas por ponderação são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5. Composição química calculada das misturas minérios

Mistura de minérios	Fe _T	FeO	SiO ₂	PPC	Al ₂ O ₃	MnO	TiO ₂
A	61,3	0,2	6,0	2,7	1,5	2,3	0,07
B	60,6	0,9	7,1	3,1	2,3	0,1	0,06
C	64,8	0,9	4,5	1,4	0,8	0,2	0,07

Nota-se que a Mistura B (100 % *sinter feed* estudo) apresentou os maiores teores de sílica, alumina e PPC (Perda Por Calcinação), reduzindo teor de ferro do sinter a ser produzido com esta mistura.

Nas Figuras 2a e 2b é apresentada a distribuição da sílica e alumina nas misturas de minérios. Observa-se que a sílica se concentrou na fração nucleante em todas as misturas, mostrando o posicionamento inadequado da sílica na fração a nucleante, a partir da lavra de minérios itabiríticos. A alumina apresentou o comportamento inverso, concentrando-se na fração aderente.

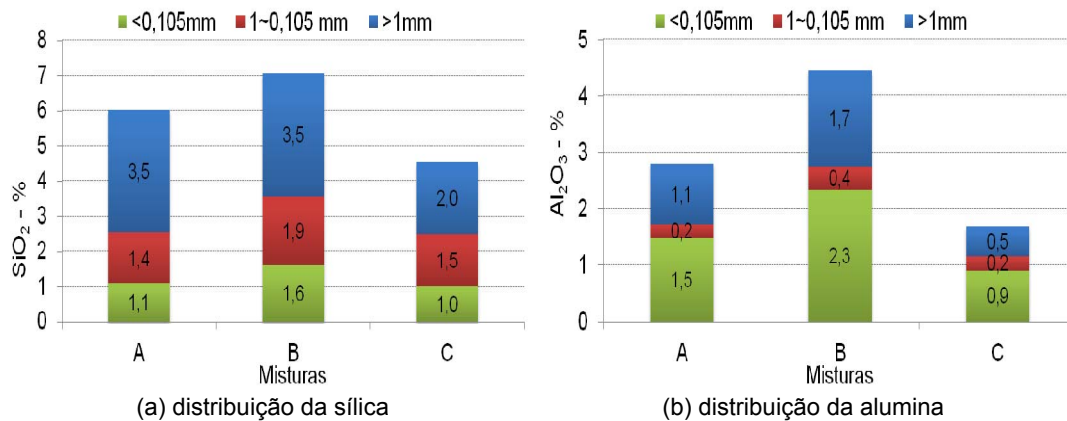


Figura 2. Distribuição granulométrica calculada para as misturas de minérios.

Na caracterização mineralógica das misturas de minérios, tabela 6, nota-se a elevada presença de quartzo e goethita na faixa >1 mm (nucleante), confirmando a análise química que apontou altos valores de sílica e PPC nesta faixa para a Mistura B (*sinter feed* estudo).

Tabela 6. Composição mineralógica calculada das misturas de minérios

mistura	faixas (mm)	composição mineralógica (% massa)								% retida simples
		H _{tabular}	H _{granular}	H _{lobular}	M _{artita}	M _{agnetita}	G _{oethita}	Q _{uartzo}	O _{utros}	
A	>1	5,4	0,0	28,4	2,3	1,2	16,9	5,3	0,4	59,8
	1~0,105	3,4	0,0	10,8	2,9	1,1	3,3	1,8	0,0	23,3
	<0,105	5,2	0,0	8,0	1,0	0,3	1,4	0,9	0,1	16,8
	TOTAL	13,9	0,0	47,2	6,1	2,6	21,6	8,0	0,5	100,0
B	>1	0,6	0,0	14,1	9,1	1,4	14,2	7,4	0,1	46,9
	1~0,105	0,8	0,0	8,3	16,0	2,1	2,6	3,5	0,1	33,6
	<0,105	3,2	0,0	3,1	9,6	0,8	2,5	0,2	0,0	19,4
	TOTAL	4,6	0,0	25,5	34,9	4,3	19,3	11,1	0,3	100,0
C	>1	8,8	6,5	13,3	2,4	5,8	6,4	3,1	0,1	46,3
	1~0,105	5,6	2,3	16,1	2,1	1,6	3,3	1,4	0,0	32,4
	<0,105	6,2	2,1	9,1	0,8	0,6	1,6	0,9	0,0	21,2
	TOTAL	20,7	10,9	38,4	5,2	7,9	11,3	5,4	0,1	100,0

Os resultados do ensaio GI (*Granulation Index*) são apresentados na Tabela 7. O maior grau de granulação foi obtido pelas Mistura A e B, sendo o maior crescimento

das partículas apresentado pela Mistura B. A maior presença da goethita no minério *sinter feed* estudo contribuiu para este crescimento. Já a mistura C apresentou os menores indicadores de granulação a frio, o que deve afetar negativamente a produtividade.

Tabela 7. Resultados do ensaio de granulação a frio

Mistura	GI (%)	Tamanho médio dos agregados - X (mm)	Tamanho médio das partículas primárias - Y (mm)	$[(X-Y)*100/Y]$ - (mm)
A	90,4±4,0	3,13±0,21	1,91±0,07	63,6±13,2
B	91,7±1,4	3,39±0,15	1,72±0,06	97,0±8,6
C	82,5±1,3	2,82±0,14	1,79±0,11	58,0±9,7

3.2 Desempenho na Sinterização Piloto

Os resultados da produtividade e da velocidade da frente de queima (FFS) são mostrados na Figura 7. Os Sínteres B e C apresentaram menores produtividades em relação ao Sínter A, contudo o Sínter B apresentou FFS similar ao Sínter A.

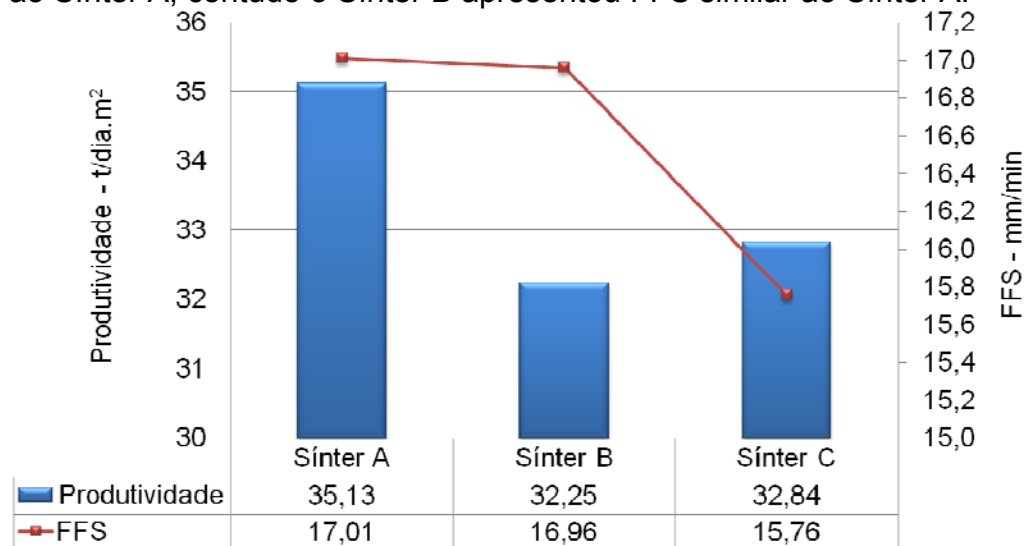


Figura 7. Produtividade e velocidade da frente de queima (FFS) dos sínteres A, B e C .

O comportamento do perfil térmico do processo de sinterização é mostrado na Figura 8. Nota-se que o perfil do Sínter B deslocou para baixo em relação ao Sínter A e C, devido ao maior aporte de calcário e com isso maior quantidade de calor foi necessária para calciná-lo. O perfil térmico do Sínter C deslocou para cima e direita em relação ao perfil dos Sínteres A e B, devido ao menor aporte de calcário (menor necessidade de aporte térmico para calcinação) e menor permeabilidade do leito, indicado pelo menor índice de granulação da Mistura C.

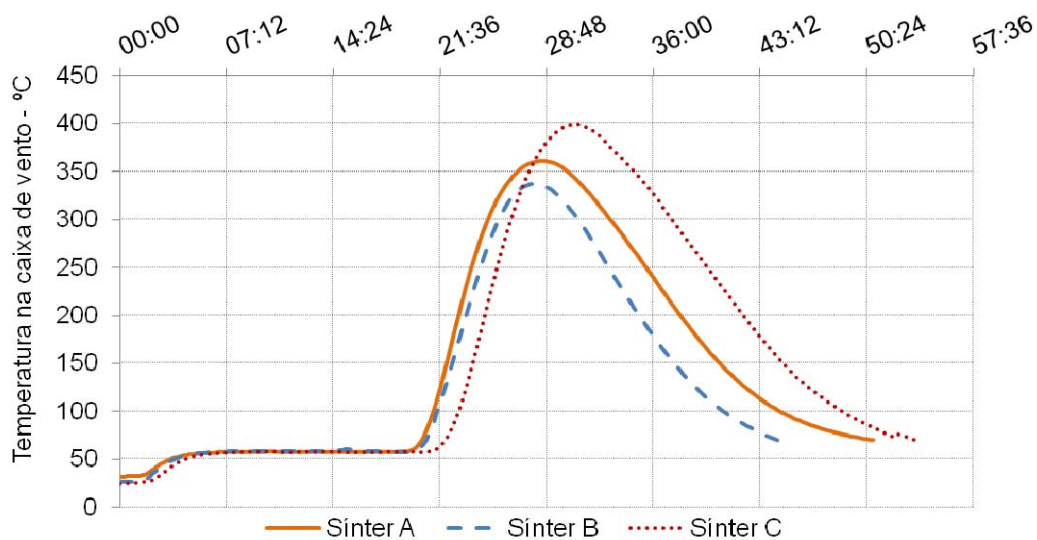


Figura 8. Perfil térmico dos sinteres A, B e C.

3.3 Caracterização dos Sinteres

Na Figura 9 é mostrado o comportamento do rendimento do produto e da resistência mecânica do sinter.

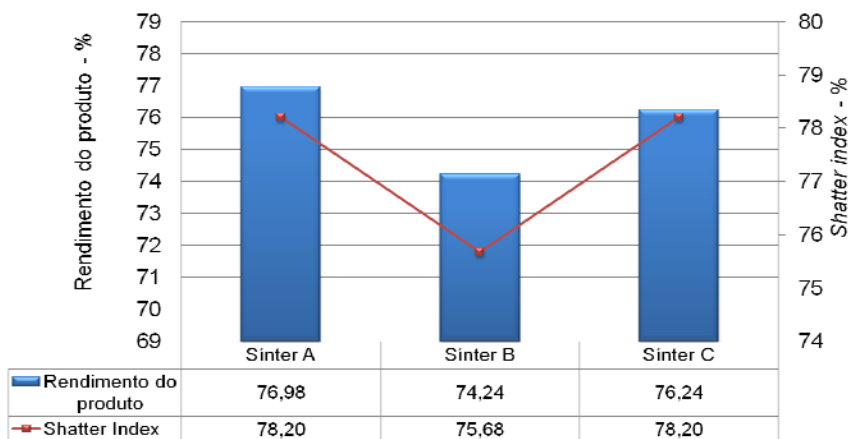


Figura 10. Shatter index e rendimento dos sinteres.

O Sinter B apresentou maior propensão à degradação e a conseqüente maior geração de retorno que os demais sinteres, mostrando ser necessário aumentar o aporte térmico na mistura para reequilibrar o rendimento e recuperar parcialmente o *shatter index*.

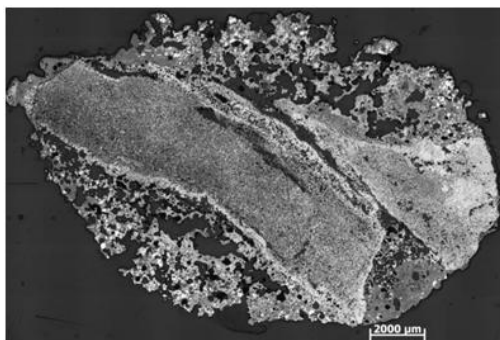
O desempenho do Sinter B foi inferior aos demais sinteres avaliados, embora apresentasse bons resultados de aglomeração a frio. A resistência deste sinter poderá ser elevada com o retardamento do tempo de sinterização, por meio do aumento da densidade de carregamento, sob o efeito da redução da permeabilidade. Outro meio para elevar a resistência mecânica deste sinter é pela redução da participação de partículas maiores que 6,35 mm do minério *sinter feed* estudo que contribuem para elevação da permeabilidade, contudo não participam completamente da sinterização, potencializando a formação de trincas no sinter.

Na Tabela 8 são mostrados os resultados da análise química dos sinteres A, B e C.

Tabela 8. Análise química dos sinteres, (%)

Sínter	Fe _T	FeO	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO/SiO ₂
A	54,9	2,7	10,0	5,7	1,4	1,2	1,7
B	51,2	1,8	12,1	7,6	1,9	1,4	1,6
C	55,9	2,5	9,2	5,1	1,0	1,4	1,8

O Sínter B que, foi produzido a partir do *sinter feed* estudo, apresentou visualmente algumas partículas esféricas após sua degradação mecânica, diferentes daquelas de um sínter normal, Figura 11. Investigou-se, então, a mineralogia e a porosidade deste sínter que foi denominado sínter-pelota.

**Figura 11.** Fotomicrografia geral do sínter-pelota (Sínter B). Escala 2000 µm.

A análise mineralógica quantitativa dos sinteres é apresentada na Tabela 9.

Tabela 9. Análise mineralógica dos Sinteres A, B, C e do sínter-pelota

sínter	valores	hematita	magnetita	calcioferrita	silicatos
A	média (%)	22,3	31,6	30,1	15,9
	desvio padrão (%)	8,4	5,7	4,5	2,1
B	média (%)	21,5	33,3	25,8	19,4
	desvio padrão (%)	4,3	2,6	3,6	1,4
sínter pelota	média (%)	46,0	16,2	19,8	18,0
	desvio padrão (%)	9,5	1,8	5,6	4,7
C	média (%)	49,2	23,4	15,5	11,9
	desvio padrão (%)	6,2	6,0	2,4	2,0

A mineralogia do Sínter B em relação ao Sínter A foi semelhante, exceto pela diminuição da calcioferrita (CF) e pelo aumento do silicato. Já o Sínter C em relação ao Sínter A apresentou elevação da fase hematita e redução das fases magnetita, calcioferrita e silicato.

O sínter-pelota apresentou a hematita como fase principal, o que pode ser explicado pela presença da partícula nucleante não reagida que, por sua vez, ocupou a maior parte do volume do sínter-pelota (Figura 11). Pode-se verificar ainda nesta figura o formato esférico e a presença da partícula nucleante no centro da partícula de sínter. A mineralogia do sínter tem sido relacionada com indicadores metalúrgicos e de resistência mecânica. De acordo com Kalenga⁽⁶⁾ a presença de calcioferrita colunar, silicato vítreo e hematita secundária esqueletiforme contribui para o aumento dos valores de RDI. Em termos de RI, Goldring e Fray⁽⁷⁾ dizem que a hematita não fundida, calcioferrita acicular e hematita secundária contribuem positivamente para a redutibilidade do sínter, enquanto que magnetita, negativamente. Em relação às propriedades a quente, Kalenga⁽⁶⁾ diz que calcioferrita possui papel importante na

melhora dessas propriedades. Para Ishikawa et al.⁽²⁾ a dispersão da hematita, magnetita, calcioferrita no silicato vítreo e poros governam a resistência mecânica do sínter.

Os resultados da porosimetria por mercúrio (Hg) são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10. Resultados da porosimetria por Hg

sínter	porosidade (%)
A	11,1±1,0
B	9,5±0,5
B (sínter-pelota)	27,9±2,3
C	10,6±1,9

Não foi notada variação expressiva nos valores de porosidade para o Sínteres A, B e C. No entanto, ao se analisar a porosidade apresentada pelo sínter-pelota, verifica-se um expressivo aumento em relação aos outros, justificando em parte a menor resistência mecânica apresentada pelo Sínter B.

Os resultados de RDI e RI são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11. Resultados de RDI e RI dos sínteres

Sínter	A	B	C
RDI _{-3,15mm} (%)	35,2±0,2	25,1±0,2	30,8±0,5
RI (%)	80,2±0,8	78,6±0,1	81,7±0,3

Em termos de RDI o Sínter B apresentou o menor valor. Embora a Mistura B (100% *sinter feed* estudo) tenha apresentado maior aporte do composto Al₂O₃, o que pode contribuir para a piora do RDI, o volume de escória (SiO₂ + MgO + CaO) no sínter foi maior que os sínteres A e B. Com isso a formação de hematita secundária foi reduzida devido à menor disponibilidade de hematita primária (haja vista o teor de Fe_T que foi 51,2% contra 54,6% e 55,9%), contribuindo para a redução do RDI.⁽⁸⁾

Outro indício do menor RDI foi a concentração de 73% da alumina na fração nucleante da Mistura B, não ocorrendo a participação deste composto nas reações da sinterização, principalmente, no sínter-pelota.

Em termos de redutibilidade, o Sínter B apresentou o valor semelhante aos demais sínteres. A presença da fase silicato, caracterizada pela baixa redutibilidade, foi a maior entre os sínteres. Esperava-se que a maior presença da martita (favorável a redutibilidade, devido a sua alta porosidade) na Mistura B elevasse esta propriedade. Logo, o produto da assimilação entre os diferentes tipos morfológicos de hematita e o óxido de cálcio devem ser elucidados, buscando correlações com a redutibilidade.

4 CONCLUSÕES

Foi avaliado o efeito da adição do *sinter feed* estudo, produzido a partir da britagem de granulado, na sinterização em escala piloto.

Em termos de processo, o Sínter B apresentou desempenho inferior na produtividade, rendimento e resistência mecânica do sínter, atribuída principalmente, à distribuição granulométrica desfavorável e elevados componentes de escória. Apresentou boa aglomeração a frio devido a forte presença da goethita e martita, contudo não foi suficiente para elevar a produtividade.

O uso do *sinter feed* estudo proporcionou notável formação de quase partículas com o formato de pelotas, aqui denominado sínter-pelota. Este comportamento pode ser

atribuído à sua mineralogia e ao efeito do misturamento intensivo. A grande presença das fases goethita e martita na faixa nucleante e martita na faixa aderente podem ter potencializado o crescimento das quase partículas.

REFERÊNCIAS

- 1 VIEIRA, C. B. *et al.* *Geometallurgical approach for quality control of iron ores for agglomeration in iron and steel industry*. 17th Steelmaking Conference-7th Ironmaking Conference – 1st Cleaner Production Seminar (IAS-JICA), Rosario, Santa Fé, Argentina, Novembro, P1, 2009.
- 2 ISHIKAWA, C. T. *et al.* *Improvement of sinter quality based on mineralogical properties of ores*. Ironmaking Conference Proceedings, AIME. v.42, p. 17-29, 1983.
- 3 HONORATO, E. P. Adequação granulométrica das matérias-primas e do sistema de segregação contínua (I.S.F.) para melhorias na produtividade e qualidade do sinter para os altos-fornos. (Dissertação de Mestrado), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.
- 4 JIS M 8711: 2011 - *Iron Ore Sinter - Determination Of Shatter Strength*
- 5 ISO 4696-1:2007 - *Iron ores for blast furnace feedstocks -- Determination of low-temperature reduction-disintegration indices by static method -- Part 1: Reduction with CO, CO₂, H₂ and N₂*.
- 6 KALENGA, M. *Investigation into influence of magnesia content, alumina content, basicity and ignition temperature on the mineralogy and properties of iron sinter*. Dissertação de mestrado; Universidade de Pretória, Julho, 2007.
- 7 GOLDRING, D. C. e FRAY, T. A. T. *Characterization of iron ores for production of high quality sinter*, Ironmaking and steelmaking Vol.16, Nº 2, pp 83-89; 1989.
- 8 INAZUMI, T. *Applied Mineralogical Studies on Self-Fluxing Sinter of Iron Ores: Relationship Between the Mineralogical Properties of Hematite and Size Degradability During the Reduction of Sinter*. 267 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola de Engenharia - Universidade de Tokyo. Março de 1975.