

CORRELAÇÃO ENTRE VOLUME DE ESCÓRIA E PARÂMETROS DE QUALIDADE DO SÍNTER PRODUTO

Railson Nogueira de Azevedo ⁽¹⁾

Hiller Geraldo Vieira Araújo ⁽²⁾

Egídio de Pádua Gondim ⁽³⁾

Marcus Rocha Duarte ⁽⁴⁾

Resumo

Este trabalho descreve as condições de realização dos testes de sinterização em escala piloto. Apresenta a análise de resultados através de correlação numérica entre o volume de escória e os parâmetros de qualidade e custo do sinter obtido na unidade piloto de sinterização da AÇOMINAS.

Palavras-chave: Correlação, escória e sinter.

Correlation Between Slag Amount and Quality Parameters of Sinter

Abstract

This paper describes the conditions of accomplishment of the tests of sintering in pilot scale and it presents the analysis of results through numerical correlation between the slag amount and the parameters of quality of sinter obtained in pilot unit of sintering of the AÇOMINAS.

Key-words: Correlation, Slag, Sinter.

1 INTRODUÇÃO

Altos valores de produção e altas taxas de produtividade no alto-forno estão diretamente ligadas às propriedades das matérias-primas utilizadas. Um aumento percentual da carga preparada, em detrimento do uso de minérios granulados, bem como o baixo nível de escória requerida, são parâmetros incessantemente buscados no alto-forno.

Essa busca por maiores produtividades passa pela redução percentual de escória, sendo esta redução direcionada principalmente pela redução do teor de SiO_2 no sinter carregado. Esta situação leva a alterações nas propriedades mecânicas do sinter, que por sua vez influenciam todo o processo de redução no alto-forno.

Dentro desta realidade de diminuição do percentual de SiO_2 , decidiu-se investigar a influência da variação do volume de escória nos parâmetros de qualidade e rendimento do sinter produzido, através de testes em escala piloto.

2 OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo apresentar a influência do teor de escória nas propriedades do sinter produzido.

3 DESENVOLVIMENTO

O fator determinante na realização dos testes baseou-se na composição química medida pelos teores de SiO_2 , Al_2O_3 , CaO e MgO . O controle da composição química foi tomado como ponto essencial e restritivo à realização de todos os testes. Tomando como essencial esta condição dos testes, foi realizado um estudo preliminar denominado *Avaliação da Previsibilidade da Qualidade Química do Sinter* pelo Método de *Cálculo Normal*, no processo de sinterização piloto. Nesta fase, observou-se uma diferença significativa em relação aos valores previsto e real sendo tal diferença associada à composição química do sinter retorno empregado na mistura total. Por este motivo, os ensaios foram realizados com o sinter retorno da unidade industrial, com composição química e distribuição granulométrica conhecida.

⁽¹⁾ Técnico Metalúrgico, Célula de Desenvolvimento Técnico da Gerência de Matérias-Primas – AÇOMINAS;

⁽²⁾ Engenheiro Metalúrgico, MC, Célula de Desenvolvimento Técnico da Gerência de Matérias-Primas – GERDAU AÇOMINAS;

⁽³⁾ Técnico Metalúrgico, Célula de Desenvolvimento Técnico da Gerência de Matérias-Primas, Facilitador da Célula de Produção de Sinter – AÇOMINAS;

⁽⁴⁾ Gerente de Matérias-Primas – GERDAU AÇOMINAS.

Todos os dados obtidos são analisados, onde são considerados os seguintes critérios de correlação:

- 0,0 ≤ | r | ≤ 0,3 - Correlação muito fraca e desconsideráveis;
- 0,3 ≤ | r | ≤ 0,6 - Correlação fraca entre as variáveis; e
- 0,6 ≤ | r | ≤ 1,0 - Correlação forte entre as variáveis;

Na determinação deste coeficiente é considerado o somatório dos percentuais de CaO e SiO₂ como variável independente da correlação, uma vez que estes são os principais compostos constituintes na matriz de escória.

3.1 Definição dos Níveis de Queimas

Os níveis de queimas foram realizados com a basicidade variando entre 1,45 e 2,15, com Δ = 0,10 e realização de três queimas por nível.

3.2 Definição da Mistura a Sinterizar

- A participação de degradado na mistura parcial foi mantida entre 6,00 e 6,50 %;
- Participação da dolomita fina na mistura parcial foi mantida entre 0,55 e 0,60 %;
- Participação do sínter retorno na mistura parcial foi mantida em aberto para o balanceamento, sínter retorno gerado / sínter retorno carregado;
- Participação de cal fina na mistura parcial foi mantida entre 1,15 e 1,30 %;
- Como combustível sólido, foi utilizado 3,50% de coque para sinterização na mistura total.

A Tabela 1 apresenta a basicidade visada para cada nível de ensaio.

Tabela 1. Identificação dos níveis de ensaios da basicidade visada

ITEM	IDENTIFICAÇÃO							
Nível	01	02	03	04	05	06	07	08
Basicidade	2,15	2,05	1,95	1,85	1,75	1,65	1,55	1,45

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS

Para apresentação, os resultados dos ensaios estão divididos em três grupos:

- Indicadores Operacionais;
- Propriedades Químicas, Físicas e Metalúrgicas do Sínter Produto;
- Análise Mineralógica do Sínter Produto;

4.1 Apresentação dos Resultados dos Indicadores Operacionais

Dentre os indicadores operacionais medidos são selecionados aqueles que melhor representam o desempenho do processo de sinterização, quais sejam:

- Produtividade (Prod.);
- Velocidade de Sinterização (V. S.);
- Rendimento da Mistura Parcial (RMP);
- Rendimento do Bolo-I (Bolo-I); e
- Consumo Específico do Carbono Fixo (C.E Cf.).

A Tabela II apresenta os resultados operacionais dos indicadores selecionados:

Tabela 2. Resultados operacionais dos indicadores selecionados.

NÍVEL DA QUEIMA	INDICADORES OPERACIONAIS					
	Prod. (t/m ² .24h)	V.S. (mm/min)	RMP (%)	Bolo-I (%)	C.E.Cf. (kg/t)	C.E.S.R. (kg/t)
01	32,90	15,37	90,93	77,30	44,13	293,18
02	30,34	14,27	89,76	76,90	44,42	299,93
03	29,97	13,70	92,29	77,70	43,77	287,61
04	30,18	14,01	91,71	76,90	44,10	299,70
05	29,77	13,60	92,32	76,40	44,06	312,02
06	30,08	13,96	91,79	75,30	44,62	326,61
07	30,00	13,90	91,21	73,90	45,20	352,95
08	28,07	12,92	92,26	73,40	45,30	363,14

4.2 Apresentação das Propriedades Químicas, Físicas e Metalúrgicas do Sínter Produto

4.2.1 Composição Química

A Tabela 3 apresenta a composição química do sínter produzido.

4.2.2 Propriedades Físicas e Metalúrgicas do Sínter

A Tabela 4 apresenta as propriedades físicas e metalúrgicas do sínter produzido:

4.3 Análise Mineralógica do Sínter Produzido

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 Microconstituintes do Sínter

Nos ensaios micrográficos dos 3 níveis de basicidade, os minerais predominantes foram magnetita e hematita, sendo que a presença de hematita decresceu com o aumento da basicidade (1,44 a 2,15), enquanto que a magnetita apresentou tendência crescente com o aumento da basicidade, conforme apresentada na Figura 1.

Tabela 3. Composição química do sinter.

NÍVEL DA QUEIMA	ELEMENTO / COMPOSTO									CaO + SiO ₂ (%)
	FeT (%)	CaO (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	MnT (%)	P (%)	FeO (%)	Basic.	
01	56,53	10,81	5,02	1,05	1,32	0,50	0,049	4,64	2,15	15,83
02	56,73	10,50	5,03	1,05	1,27	0,57	0,048	4,58	2,09	15,53
03	57,26	9,96	5,04	1,02	1,29	0,56	0,048	4,59	1,98	15,00
04	57,70	9,41	5,13	1,09	1,33	0,52	0,046	4,58	1,83	14,54
05	58,15	8,92	5,06	1,07	1,21	0,56	0,048	4,73	1,76	13,98
06	58,64	8,36	4,95	1,07	1,25	0,56	0,049	4,72	1,69	13,31
07	59,12	7,86	5,08	1,07	1,27	0,54	0,046	4,85	1,55	12,94
08	59,41	7,42	5,14	1,09	1,30	0,57	0,047	4,71	1,44	12,56

Tabela 4. Propriedades físicas e metalúrgicas do sinter.

NÍVEL DA QUEIMA	QUALIDADE									
	50mm (%)	25mm (%)	10mm (%)	5 mm (%)	< 5,0mm (%)	TM (mm)	TT (%) > 6,35mm	TQ (%) > 10,0mm	IR (%)	IDR (%)
01	17,14	26,37	39,38	15,70	1,41	28,71	76,42	89,98	68,15	19,73
02	17,29	26,94	39,65	14,83	1,29	28,99	79,88	90,30	-	18,61
03	15,49	31,14	38,13	14,04	1,20	29,11	79,55	90,67	-	19,87
04	14,36	31,85	38,08	14,54	1,16	28,70	77,39	89,94	-	25,15
05	17,57	30,62	34,84	15,78	1,19	29,77	76,35	90,40	66,18	26,68
06	16,39	31,91	34,65	15,80	1,25	29,49	74,39	89,25	-	25,12
07	26,90	27,89	28,21	15,70	1,31	33,42	69,04	87,48	-	24,68
08	24,69	30,58	27,51	15,89	1,33	32,94	66,78	86,44	66,90	25,45

Tabela 5. Resultados das análises quantitativas das fases do sinter produzido.

	FASES	SÓLIDO + PORO			FASE SÓLIDA		
		B ₂ - 1,44	B ₂ - 1,76	B ₂ - 2,15	B ₂ - 1,44	B ₂ - 1,76	B ₂ - 2,15
01	Hematita granular	25,30	29,30	21,60	30,90	35,70	26,30
02	Hematita romboédrica	11,20	5,30	2,50	13,70	6,50	3,00
03	Hematita esqueléticoform	4,50	2,70	1,50	5,50	3,30	1,80
04	Hematita dendrítica	0,50	0,10	0,10	0,60	0,10	0,10
05	Hematita secundária	0,40	1,90	0,00	0,50	2,30	0,00
	HEMATITA TOTAL	41,90	39,30	25,70	51,20	47,90	31,30
06	Magnetita	23,60	22,00	25,10	28,80	26,80	30,60
07	Ferrito acicular	7,80	9,10	24,30	9,50	11,10	29,60
08	Ferrito colunar	3,50	7,70	3,90	4,30	9,40	4,80
	FERRITO TOTAL	11,30	16,80	28,20	13,80	20,50	34,40
09	Silicato	2,40	2,20	2,10	2,90	2,70	2,60
10	Serpentinito	2,60	1,80	0,90	3,20	2,20	1,10
11	Quartzo	0,10	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00
	SOMA	81,90	82,10	82,00	100,0	100,0	100,0
12	Bolha + cavidade primária	13,80	12,70	13,00	- x -	- x -	- x -
13	Cavidades angulosas	4,00	4,40	4,50	- x -	- x -	- x -
14	Trinca	0,30	0,80	0,50	- x -	- x -	- x -
	SOMA	18,10	17,90	18,00	100,0	100,0	100,0

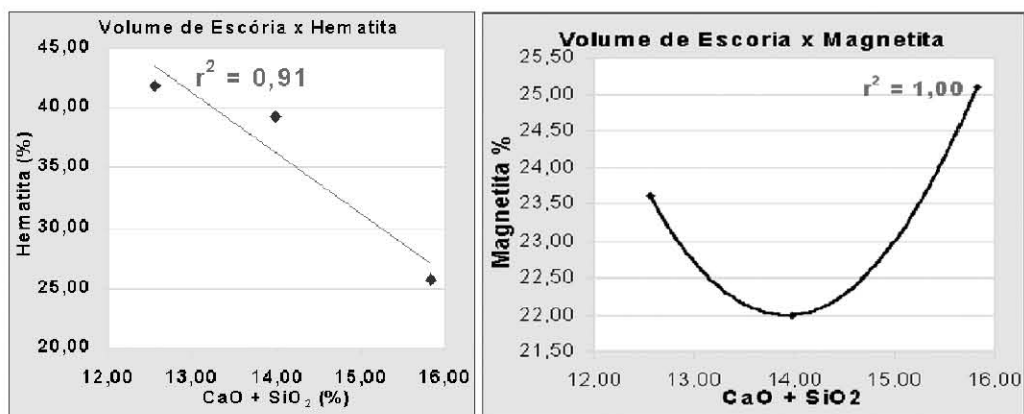
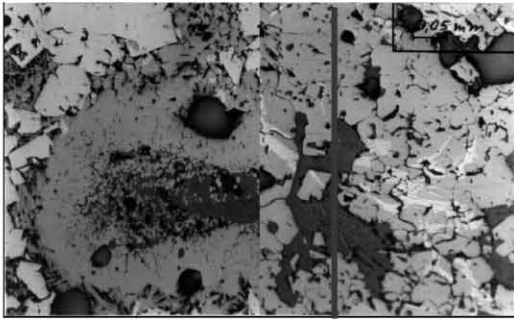


Figura 1. Volume de escória x Magnetita e Hematita.

Também as fotomicrografias em luz refletida dos ensaios de mineralogia são apresentadas a seguir:



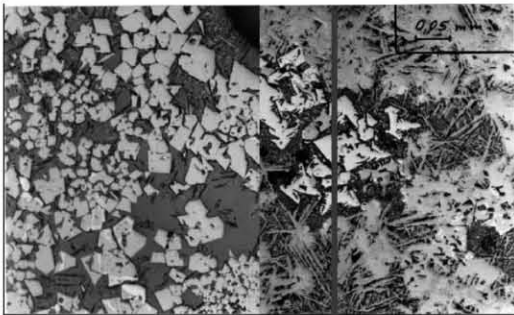
Fotomicrografia 01 - B2 = 1,44

A micrografia da esquerda apresenta um grão de serpentinito, sendo contornado por magnetita. Podem ser observadas porções de hematita romboédrica no canto superior esquerdo. Na micrografia da direita, observam-se magnetita e hematita secundária, silicato intersticial e bolhas.



Fotomicrografia 02 - B2 = 1,76

Na micrografia da esquerda, observam-se a formação de hematita esqueletiforme e grande presença de ferrito acicular. À direita têm-se hematita esqueletiforme com magnetita e ferrito envolvendo grão de magnetita, hematita dendrítica e a presença de algumas bolhas.



Fotomicrografia 03 - B2 = 2,15

À esquerda observa-se a presença de magnetita euédrica com silicato intersticial, hematita secundária. Ferrito acicular, com hematita esqueletiforme, hematita dendrítica, magnetita e bolhas são observados à direita.

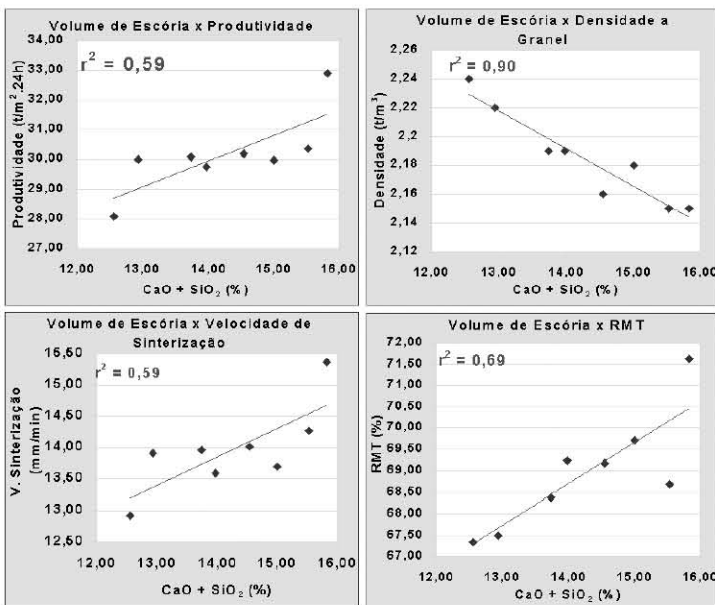


Figura 2. Influência do volume de escória na produtividade.

5.2 Produtividade

Definida como $P = d \cdot r \cdot V$ (t/m². 24h), a produtividade manteve-se inalterada aos níveis de volume de escória com CaO + SiO₂ entre 12,94 e 15,53 % e a basicidade de 1,55 e 2,09, respectivamente. Entretanto, para valores de basicidade entre 1,44 e 2,15, a produtividade sofreu influência do volume de escória, apresentando coeficiente $r = 0,77$. A queda de produtividade está associada à menor velocidade de sinterização, rendimento e massa específica a granel (Figura 2).

5.3 Rendimento do Bolo-I

Definido como : $R-I = \frac{Sp}{Sp + Sr}$, onde:

Sp = Sínter produto – (kg);

Sr = Sínter retorno – (kg);

O rendimento do bolo-I apresenta forte correlação com os volumes de escória. Isto deixa claro a dependência entre rendimento e a matriz de escória do sinter (Figura 3). A queda de rendimento é causada pelo aumento da geração de sinter retorno (Figura 4).

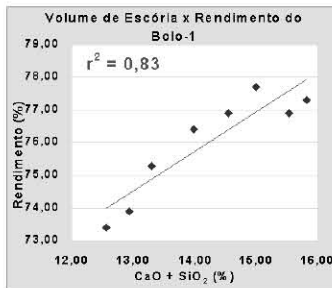


Figura 3. Volume de Escória x Rendimento do Bolo-I

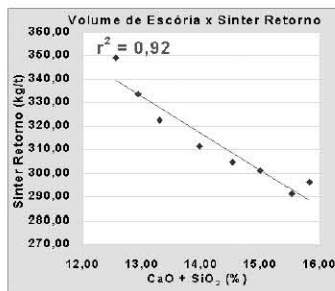


Figura 4. Volume de Escória x Sinter Retorno

5.4 Consumo Específico de Carbono Fixo

É definido como:

$$c.cf = \left[\frac{c.cq \times cfc}{100} \right] / S.pr \times 1000$$

c.cf = consumo de carbono fixo: (kg/t);
 c.cq = consumo de coque: (kg);
 S.pr = sinter produto: (kg);
 Cfc = carbono fixo do coque: (%);

O consumo de carbono fixo também é influenciado fortemente pelo volume de escória (Figura 5). A elevação do consumo específico de carbono fixo está associada à queda do rendimento, causada pelo aumento da geração de sinter retorno, como visto na Figura 6.

5.5 Fração < 5,0 mm no Sinter Produto

A Figura 7 apresenta a forte influência que o volume de escória apresentou na fração < 5 mm do sinter produzido.

5.6 Teste de Tambor (medido pelo % retido na malha de 6,35 mm)

A diminuição do volume de escória influenciou fortemente a resistência mecânica do sinter (Figura 8). Essa influência é atribuída à redução do teor de CaO, composto fundamental para a formação de constituintes de alta resistência na escória.

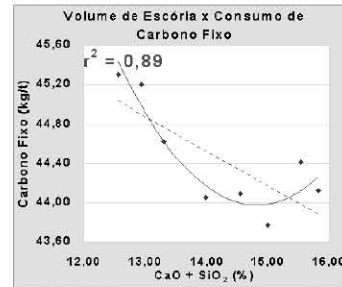


Figura 5. Volume de escória x Consumo de Carbono Fixo.

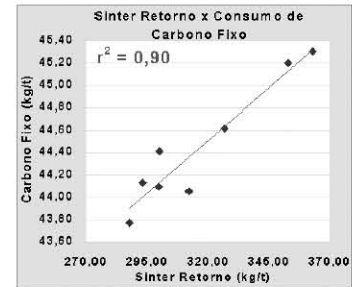


Figura 6. Sinter Retorno x Consumo de Carbono Fixo.

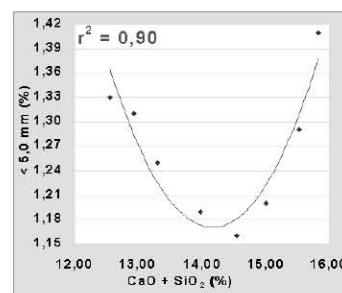


Figura 7. Volume de Escória x Fração < 5,0 mm

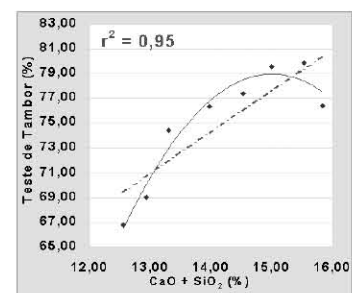


Figura 8. Volume de Escória x Teste de Tambor

5.7 Índice de Degradação na Redução - IDR

Fortemente influenciado por constituintes mineralógicos formados durante a sinterização, o IDR sofre grande influência do volume de escória. Para pequenos valores de escória, preferencialmente, obteve-se a formação de hematita, que é um constituinte mais propenso à degradação durante a redução, como apresentada na Figura 9. Esta influência está associada à crescente formação de hematita para valores decrescentes de volume de escória.

5.8 Índice de Redutibilidade - IR

Os ensaios de IR foram realizados somente nos níveis de basicidade alta = 2,15, média = 1,76 e baixa = 1,44, conforme apresentado na Figura 10. Embora com número de resultados reduzidos, o IR é influenciado pelo volume de escória, com correlação polinomial $r^2 = 1,00$. O aumento do IR em basicidade alta pode ser explicado pelo aumento do ferrito de cálcio acicular.

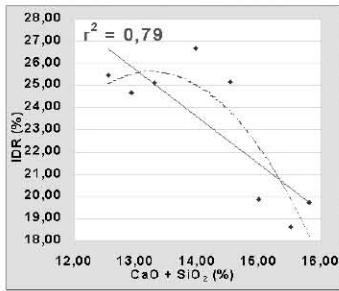


Figura 9. Volume de Escória x IDR

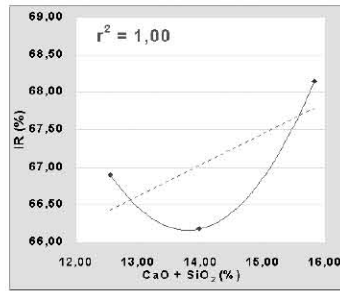


Figura 10. Volume de Escória x IR

6 CONCLUSÕES

Em face aos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- À medida que aumenta a basicidade tem-se uma diminuição do percentual de hematita. Este fenômeno, quantitativamente, ocorre tanto nas fases sólido + poro como na fase sólida;
- Paralelamente ao aumento da basicidade, tem-se o aumento do percentual de ferrito acicular, em todas as formas. Este aumento, tem interferência positiva e direta na redutibilidade do sinter produzido;

- A presença de hematita secundária não apresentou tendência ao longo do intervalo de variação do volume de escória o que é positivo, haja vista que a presença deste constituinte é maléfica às propriedades metalúrgicas do sinter produzido;
- Outros parâmetros dependentes da resistência a frio do sinter também foram influenciados pelo volume de escória, tais como: rendimento do bolo-I, consumo específico de carbono fixo, fração < 5,0 mm e fração de 10,0 ~ 25,0 mm;
- Na determinação do ponto de inflexão da curva que fisicamente mostrará o ponto de equilíbrio entre o maior teste de tambor e o volume de escória (CaO + SiO₂), tem-se: CaO + SiO₂ = 15,00 % - Teste de Tambor 78,96%;
- A queda de resistência a frio e resistência a quente do sinter são fatores **limitantes** à **diminuição** do volume de escória.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CRESPO, A. A. **Estatística**. 9.ed. São Paulo: Saraiva, 1993.
2. TAYLOR, J. K. **Statistical techniques for data analysis**. 4.ed. Boca Raton: Lewis Publishers, 1990.
3. GOLDRING, D. C. ; FRAY T. A. Characterisation of iron ores for production of high quality sinter. **Ironmaking and Steelmaking**, v. 16, n.2, p.259-269, July 1989.
4. COELHO, L. H.; KANEKO, K. M.; LIBANEO, C. A. F.; ALVES, S. A.; VIEIRA, C. B.; ARAÚJO, F. G. S. Classificação geosiderúrgica dos principais tipos de minérios de ferro brasileiros: sua gênese e seus produtos. In: SEMINÁRIO DE REDUÇÃO DE MINÉRIOS DE FERRO, 31., 2000, Santos. São Paulo: AMB, 2000. v.1, p. 215-229.
5. HOOEY, P. L., HEIÄNEN, K. Relationship between reductante consumption and sinter quality in Rautawenki blast furnaces. In: ECIC, 4., 2000, Paris 2000.
6. OLIVEIRA, R. C.; MEDEIROS, T. P. Relação entre composição química e mineralógica e qualidade do sinter, In: SEMINÁRIO DE REDUÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO, 29., 1998, Belo Horizonte. **Anais...** São Paulo: ABM, 1998. p 449-518.