

# VALOR EM USO DE COMPONENTES DA CARGA METÁLICA DE ALTOS-FORNOS<sup>1</sup>

*Rafael Mendes da Silva<sup>2</sup>*  
*Fernando Tadeu Pereira de Medeiros<sup>3</sup>*

## Resumo

Pelo presente trabalho buscou-se desenvolver uma ferramenta capaz de quantificar o valor de matérias-primas portadoras de ferro em função da análise do impacto técnico-econômico do seu uso no desempenho dos altos-fornos. O método proposto permite comparar as condições ótimas de operação para cada alternativa de carga de um alto-forno. Alguns resultados são apresentados neste trabalho, para demonstrar a efetividade e o poder de análise da ferramenta, dando o devido suporte à tomada de decisão.

**Palavras-chave:** Siderurgia; Alto-forno; Valor em uso.

## VALUE IN USE OF COMPONENTS OF CHARGE METALLIC A BLAST FURNACE

## Abstract

The present study aimed at developing a tool to quantify the value of iron bearing materials based on the related blast furnace technical and economic performance. The proposed method compares the optimal operation conditions associated to each alternative blast-furnace burden. Some results are presented here to demonstrate the effectiveness and power analysis tool, while giving support to decision making.

**Key words:** Ironmaking; Blast furnace; Value-in-use.

<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> *Aluno do Curso de Engenharia Metalúrgica, Universidade Federal Fluminense.*

<sup>3</sup> *Professor Associado, Universidade Federal Fluminense.*

## 1 INTRODUÇÃO

No setor de minério de ferro, o Brasil é o maior exportador mundial e o segundo maior produtor, com produção anual acima de 350 milhões de toneladas em 2010. A maioria da produção se origina principalmente de duas regiões, Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais, e Serra dos Carajás, no Estado do Pará. A produção de larga escala no Quadrilátero Ferrífero iniciou-se em 1942 e hoje existem mais de 15 minas em operação na região.

O minério de ferro é comercializado através de três tipos de produtos:

- minério granulado: possui maior valor de mercado devido a sua maior granulometria. Siderúrgicas podem utilizar o minério granulado de alta concentração de ferro diretamente em seus alto-fornos, sem necessidade de nenhum outro beneficiamento;
- *sinter feed*: é o produto de minério de ferro mais comercializado atualmente. O *sinter feed* é resultado de um processo de britagem, o qual permite uma maior concentração de teor de ferro. Minérios com teor de ferro mais pobre podem ser classificados e concentrados após sua britagem, resultando na obtenção de um produto com valor comercial. As siderúrgicas necessitam que o minério *sinter feed* sofra um processo adicional de sinterização para então o minério ser fundido em seus alto-fornos; e
- *pellet feed*: é o produto que tem aumentado sua participação no consumo mundial de minério de ferro. O *pellet feed* é o mais fino dos produtos de minério de ferro e o mais barato. Seu baixo preço em relação ao granulado e *sinter feed* se deve à necessidade de um processo de pelotização para sua aplicação pela indústria siderúrgica. A pelotização transforma o *pellet feed* em pelotas, ou pellets, as quais podem substituir o granulado nos alto-fornos.

O mercado global sinaliza para um novo modelo de gestão baseado principalmente, na área de redução principalmente das matérias primas, pois com o passar dos anos as matérias primas estão ficando mais escassas e com qualidade inferior.

Assim com o modelo computacional de avaliação do valor em uso do minério de ferro podemos prever como um *sinter feed* se diferencia do outro, agregando valor.

## 2 MATERIAS E MÉTODOS

Com um modelo computacional desenvolvido no Excel, podemos avaliar quanto a qualidade do minério de ferro influencia diretamente no rendimento do alto-forno. O modelo quantifica a influencia das características do minério no custo do gusa através de ajustes necessários na sinterização e no alto-forno para recompor a taxa de produção de um situação de referência às novas condições ótimas, essas com uso do minério em avaliação. As características das outras matérias-primas não se alteram neste processo, apenas a sua participação no balanço de massa.

A produtividade da sinterização é influenciada pela composição química do minério, de seu índice de perda por calcinação (PPC) e de sua distribuição granulométrica (< 0,150 mm e > 6,0 mm). A mistura a sinterizar se ajusta para produzir um novo sínter com características ótimas nas novas condições (aquelas impostas pela incorporação do novo minério à mistura) para o alto-forno. A alteração de produção de sínter e de sua composição, além de alterar seu custo unitário, altera a carga do alto-forno. A carga do forno é reajustada a partir das características do novo sínter. Esse ajuste inclui a composição da carga metálica, o consumo específico de coque e de fundentes para atingir a basicidade especificada para a escória. O consumo

específico de coque é influenciado pelo volume de escória e pela redutibilidade média da carga.

A alteração da carga do alto-forno altera a sua permeabilidade e o consumo de gás de processo associado. No modelo o gás de referência é o gás de rampa. A taxa de produção é recomposta com a injeção de oxigênio até o limite aceitável pelo processo. Para maiores perdas de produtividade seria necessário incluir no modelo o processo de refino e compensar essa perda pelo uso de sucata na carga. Porém essa situação está fora do escopo de presente trabalho.

As condições de operação forno, tanto no caso de referência como no caso em que o minério ou aglomerado é avaliado, são determinadas por um modelo apresentando em um trabalho anterior.<sup>(1)</sup>

No modelo são determinados dois fatores básicos:  $\theta$  e  $\phi$ . O Primeiro termodinâmico, deriva do balanço de massa e térmico do processo, e o segundo fluidodinâmico, e determinado pelo fator  $\delta$ , função da diferença de pressão entre ventaneira e topo e do fator  $\rho$ , resistência termodinâmica da carga. O último fator depende da granulometria da carga, do índice de degradação sob redução, da taxa de geração de escória e do volume relativo das camadas de coque e de minério.

O custo das matérias-primas, como por exemplo: Calcário para sinterização, moinha de coque, coque, gás natural e outros, são estimados com valores aproximado de mercado e não representam valores de nenhuma empresa que forneça alguma dessas matérias primas em particular, visando apenas ilustrar o uso do método.

### **3 RESULTADO E DISCURSÕES**

Utilizando 100% do *sinter feed* (SF0) de referência o custo final do gusa líquido será de R\$ 722,83 (Figura 1). Para manter o mesmo custo do gusa o *sinter feed* 1 (SF1) deveria ter um custo de R\$ 228,93 (Figura 2). Portanto esse é o valor em uso do novo *sinter feed*. O *sinter feed* 1 apresenta um melhor desempenho por ter suas qualidades químicas superiores ao *sinter feed* 0 (SF0), portanto o seu custo estimado é maior comparado ao SF0 que escolhi como base no trabalho.

Observa-se que a entrada do SF0 tem um maior o volume de escória, o consumo de coque e reduziu a permeabilidade, exigindo um maior enriquecimento do sopro para manter a mesma taxa de produção de gusa.

O modelo de avaliação em uso de minério para aplicação na produção de gusa facilitará o processo de avaliação e seleção dessas matérias primas.

A mesma técnica pode ser empregada para estimar o valor de qualquer outro modelo ou aglomerado no processo.

**MODELO DE AVALIAÇÃO DE VALOR EM USO DE MINERIO**

sinterização	kg/t	R\$/t	R\$/ts	mi/Σm	Fet	FeO	SiO2	Al2O3	CaO	MgO	Mn	P	S	PPC
SF0	991	225.00	223.01	1.000	0.600	0.225	0.040	0.016	0.011	0.005	0.002	9.0E-03	6.0E-04	0.135
SF1	0	225.00	0.00	0.000	0.630	0.020	0.050	0.015	0.010	0.001	0.018	1.2E-03	8.7E-04	0.135
carepa	50	1.00	0.05		0.730	0.313	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0E+00	0.0E+00	0.020
calcario	119	100.00	11.92		0.004	0.005	0.036	0.005	0.520	0.020	0.002	0.0E+00	5.0E-03	0.431
cal	20	125.00	2.50		0.004	0.005	0.020	0.005	0.900	0.050	0.001	5.0E-04	5.0E-03	0.020
moinha de coqu	50	350.00	17.50		0.004	0.005	0.070	0.040	0.000	0.000	0.000	5.0E-04	8.0E-03	0.876
Custo fixo			1.00											

alto-forno	kg/t	R\$/t	R\$/tg	mi/Σm	Fet	FeO	SiO2	Al2O3	CaO	MgO	Mn	P	S
sinter	1214	255.98	310.74	0.850	0.632	0.080	0.048	0.019	0.091	0.008	0.002	9.0E-03	8.5E-04
LO0	0	260.00	0.00	0.000	0.620	0.225	0.025	0.056	0.010	0.005	0.002	9.0E-03	6.0E-04
LO1	0	250.00	0.00	0.000	0.620	0.225	0.025	0.056	0.010	0.005	0.002	9.0E-03	6.0E-04
pelotas 1	0	330.00	0.00	0.000	0.630	0.225	0.025	0.056	0.010	0.005	0.002	9.0E-03	6.0E-04
pelotas 0	214	340.00	72.84	0.150	0.610	0.020	0.025	0.015	0.010	0.001	0.018	1.2E-03	9.0E-04
sucata de ferro	50	570.00	28.50		0.850	0.010	0.017	0.008	0.022	0.007	0.000	1.0E-03	5.0E-04
calcario	0.0	100.00	0.00		0.004	0.005	0.010	0.005	0.500	0.020	0.005	0.0E+00	5.0E-04
quartzito	13.9	125.00	1.74		0.004	0.005	0.900	0.005	0.020	0.020	0.005	0.0E+00	5.0E-04
coque	322	750.00	241.42		0.004	0.005	0.060	0.026	0.005	0.002	0.000	5.0E-04	7.5E-03
po+lama	-25	-25.00	0.63		0.250	0.150	0.120	0.030	0.150	0.005	0.015	2.0E-03	2.0E-03
escoria	-258	1.00	-0.26		0.050	0.069	-0.291	-0.131	-0.434	-0.044	-0.007	-	-4.5E-04
gás natural (m3)	80	780.00	62.40										
oxigenio (m3)	52	74.00	3.83										
custo fixo			1.00										

Indices	<5mm	>25mm	>40mm	RI	RDI	Gusa	Fet	Si	Mn	P	S	C	R\$/tg
sinter	0.050	0.500	0.050	62	31		0.926	0.0085	0.1636	0.0075	0.002	0.040	722.83
LO1	0.050	0.500	0.050	61	30								
LO0	0.050	0.500	0.050	62	30								
pelotas 1	0.050	0.500	0.050	62	30								
pelotas 2	0.050	0.500	0.050	62	25								

B2	escoria	sinter	(S)/[S]
	1.20	1.90	35

Modelo	$\pi$	$\theta$	$\phi$	$\rho$	$\delta$
	3.20	0.53	6.09	0.88	5.39

**Figura 1.** Dados e resultado do modelo com *sinter feed 0* na mistura a sinterizar.

**MODELO DE AVALIAÇÃO DE VALOR EM USO DE MINERIO**

sinterização	kg/t	R\$/t	R\$/ts	mi/Σm	Fet	FeO	SiO2	Al2O3	CaO	MgO	Mn	P	S	PPC
SF0	0	225.00	0.00	0.000	0.600	0.225	0.040	0.016	0.011	0.005	0.002	9.0E-03	6.0E-04	0.135
SF1	951	228.93	217.66	1.000	0.630	0.225	0.050	0.015	0.010	0.001	0.018	1.2E-03	8.7E-04	0.120
carepa	50	1.00	0.05		0.730	0.313	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0E+00	0.0E+00	0.020
calcario	156	100.00	15.55		0.004	0.005	0.036	0.005	0.520	0.020	0.002	0.0E+00	5.0E-03	0.431
cal	20	125.00	2.50		0.004	0.005	0.020	0.005	0.900	0.050	0.001	5.0E-04	5.0E-03	0.020
moinha de coqu	50	350.00	17.50		0.004	0.005	0.070	0.040	0.000	0.000	0.000	5.0E-04	8.0E-03	0.876
Custo fixo			1.00											

alto-forno	kg/t	R\$/t	R\$/tg	mi/Σm	Fet	FeO	SiO2	Al2O3	CaO	MgO	Mn	P	S
sinter	1202	254.26	305.59	0.850	0.636	0.080	0.057	0.017	0.108	0.005	0.017	1.2E-03	1.1E-03
LO0	0	260.00	0.00	0.000	0.620	0.225	0.025	0.056	0.010	0.005	0.002	9.0E-03	6.0E-04
LO1	0	250.00	0.00	0.000	0.620	0.225	0.025	0.056	0.010	0.005	0.002	9.0E-03	6.0E-04
pelotas 1	0	330.00	0.00	0.000	0.630	0.225	0.025	0.056	0.010	0.005	0.002	9.0E-03	6.0E-04
pelotas 0	212	340.00	72.11	0.150	0.610	0.020	0.025	0.015	0.010	0.001	0.018	1.2E-03	9.0E-04
sucata de ferro	50	570.00	28.50		0.850	0.010	0.017	0.008	0.022	0.007	0.000	1.0E-03	5.0E-04
calcario	0.0	100.00	0.00		0.004	0.005	0.010	0.005	0.500	0.020	0.005	0.0E+00	5.0E-04
quartzito	20.5	125.00	2.56		0.004	0.005	0.900	0.005	0.020	0.020	0.005	0.0E+00	5.0E-04
coque	328	750.00	245.87		0.004	0.005	0.060	0.026	0.005	0.002	0.000	5.0E-04	7.5E-03
po+lama	-25	-25.00	0.63		0.250	0.150	0.120	0.030	0.150	0.005	0.015	2.0E-03	2.0E-03
escoria	-289	1.00	-0.29		0.050	0.069	-0.316	-0.110	-0.455	-0.025	-0.025	-	-4.3E-04
gás natural (m3)	80	780.00	62.40										
oxigenio (m3)	60	74.00	4.46										
custo fixo			1.00										

Indizes	<5mm	>25mm	>40mm	RI	RDI	Gusa	Fet	Si	Mn	P	S	C	R\$/tg
sinter	0.050	0.500	0.050	62	31	0.926	0.0085	0.1636	0.0075	0.002	0.040		722.83
LO1	0.050	0.500	0.050	61	30								
LO0	0.050	0.500	0.050	62	30								
pelotas 1	0.050	0.500	0.050	62	30								
pelotas 2	0.050	0.500	0.050	62	25								

B2	escoria	sinter	(S)/[S]	R\$/tg
	1.20	1.90	35	722.83

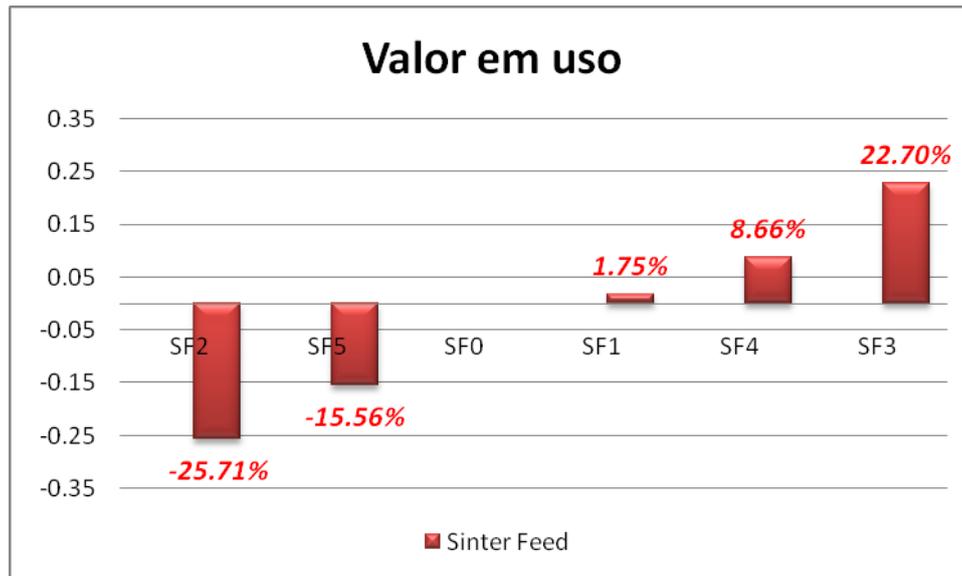
Modelo	$\pi$	$\theta$	$\phi$	$\rho$	$\delta$
	3.20	0.52	6.10	0.88	5.39

**Figura 2.** Dados e resultado do modelo com *sinter feed* 1 na mistura a sinterizar.

Simulando alguns *sinter feed* com qualidade variada, podemos quantificar o seu diferente desempenho, como mostra o gráfico a seguir. Tomando como base o *sinter feed* 0.

	Fet	FeO	SiO2	Al2O3	CaO	MgO	Mn	P	S	PPC
SF0	0.600	0.225	0.040	0.016	0.011	0.005	0.002	9.0E-03	6.0E-04	0.135
SF1	0.630	0.225	0.050	0.015	0.010	0.001	0.018	1.2E-03	8.7E-04	0.135
SF2	0.590	0.225	0.040	0.016	0.011	0.005	0.002	9.0E-03	6.0E-04	0.135
SF3	0.670	0.222	0.025	0.010	0.009	0.004	0.002	8.0E-03	7.4E-04	0.120
SF4	0.635	0.224	0.038	0.013	0.010	0.005	0.002	8.5E-03	6.7E-04	0.128
SF5	0.590	0.208	0.065	0.016	0.012	0.005	0.002	9.0E-03	6.0E-04	0.135

**Figura 3.** Diferentes qualidades de *sinter feed*.



**Figura 4.** Resultado das simulações dos *sinter feed*.

Como podemos observar na Figura 3, o SF2 e o SF5 possuem um teor de ferro total (Fet) inferior ao SF0 (o qual foi tomado como referencia), o que acarretaria em um pior desempenho na máquina de sinterização assim impactando diretamente o desempenho do Alto-forno e no custo do gusa, sendo assim eles possuem um valor em uso inferior ao que tomamos como base, devido ao seu desempenho inferior, e após as simulações quantificamos quanto um minério impactaria no custo do gusa em relação aos demais.

#### 4 CONCLUSÕES

Com o modelo desenvolvido, é possível estimar o valor em uso, de um minério granulado ou de uma pelota e ainda de um minério de sinterização na produção de gusa, avaliando seu desempenho operacional.

#### REFERÊNCIAS

- 1 Medeiros, F. T. P - Bi-Factorial Analysis of the Reduction Process in Iron Blast-Furnaces - The 3rd International Meeting on Ironmaking, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, São Luiz, 2008