

ANÁLISE COMPUTACIONAL DO CARREGAMENTO DE BRIQUETES DE RESÍDUOS EM MINI ALTOS-FORNOS¹

Franciene Teixeira de Souza²
José Adilson de Castro³
Luiz Fernando Andrade de Castro⁴
Alexandre José da Silva⁵

Resumo

Os processos siderúrgicos geram uma grande quantidade de resíduos que são em parte reaproveitados internamente. O modelamento e simulação de processos tem se mostrado uma ferramenta importante na busca por tecnologias que permitam o reaproveitamento de forma otimizada tanto do ponto de vista econômico quanto material. Este trabalho visa o estudo da influência de carregamento de briquetes de resíduos em mini altos-fornos, com o auxílio da simulação computacional do processo, através do modelo total do alto-forno desenvolvido no programa de pós graduação em metalurgia da EEIMVR. O modelo total do alto-forno considera seis fases interagindo simultaneamente. As fases consideradas são: 1) Sólido composto de minério, sinter, pelotas, coque e briquetes de resíduos, 2) Gás, 3) Gusa, 4) Escória, 5) Carvão pulverizado e 6) Finos (minério e fluxantes). Uma substituição parcial de sinter por briquetes de resíduos é comparada com a operação padrão. Para manter a estabilidade operacional e qualidade do gusa, as condições de sopro e distribuição da carga foram variadas. As equações diferenciais parciais resultantes da formulação são discretizadas baseado no método de volumes finitos.

Os resultados operacionais mais relevantes foram obtidos considerando altas taxas de injeção de oxigênio associado ao carvão pulverizado, finos de minérios pré-reduzidos e fluxantes com objetivo de controlar a temperatura de chama e formação de escória. Os resultados do campo de temperatura, fração de redução, distribuição da concentração dos componentes da carga etc. são comparados com o caso base, onde não se utiliza briquetes. Resultados de simulação mostraram que seria possível a substituição de aproximadamente 220 kg de briquetes por tonelada de gusa.

Palavras-chave: Briquetes de resíduos; Modelamento matemático; Alto-forno.

(1) Trabalho a ser apresentado no 60º Congresso Anual da ABM - Internacional, Belo Horizonte MG, 25 a 28 de julho de 2005.

(2) Engenheira . Metalúrgica, aluna de mestrado da EEIMVR / UFF,
e-mail: franciene@metal.eeimvr.uff.br.

(3) Professor Ph.D. do Programa de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica da Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica de Volta Redonda (EEIMVR / UFF),
e-mail: adilson@metal.eeimvr.uff.br.

(4) Professor Adjunto do Programa de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), lafc@demet.ufmg.br

(5) Professor Dr. Ing. do Programa de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica da Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica de Volta Redonda (EEIMVR / UFF),
e-mail: ajs@metal.eeimvr.uff.br.

1 INTRODUÇÃO

As indústrias integradas de ferro e aço geram grandes quantidades e diversos tipos de resíduos, nas diferentes etapas do processo. Um dos maiores desafios enfrentados pelas empresas do setor é atender, de forma economicamente viável, às exigências da legislação ambiental. Isto exige a criação de novas tecnologias que transformem os resíduos em materiais que possam substituir algumas necessidades de matérias-primas, como por exemplo a substituição de matérias-primas ferríferas por resíduos contendo ferro.

Os pós e lamas gerados no alto-forno e aciaria, possuem um considerável teor de ferro, no entanto, apresentam restrições para reciclagem devido, principalmente à sua baixa granulometria.

O pó de alto-forno é aquele resíduo recolhido na fase inicial do sistema de limpeza de gases do alto-forno. A lama de alto-forno é gerada no tratamento do efluente líquido da lavagem de gases do alto-forno. A lama de aciaria é resultante do tratamento do efluente da lavagem dos gases da aciaria.

Nos últimos anos surgiram algumas tecnologias de reutilização de tais resíduos:

i) Matéria-prima na sinterização - Materiais ultra-finos podem aumentar a emissão de pó, por isso, a sinterização não pode aceitar grande quantidade de pó como matéria-prima para o processo (Hyoung-Ky et al., 1995)¹⁾. Segundo Machado et al., 2004²⁾, este tipo de resíduo provoca oscilações nas características físicas e químicas do sinter, principalmente o teor de FeO e a basicidade. Os álcalis e zinco são apenas parcialmente eliminados no processo de sinterização sendo que a maior parte permanece no sinter. No alto-forno, são volatilizados concorrendo para a formação de cascões nas paredes.

ii) Injeção de pó de resíduos pelas ventaneiras do alto-forno – Erdmann¹⁾ em 1995, sugeriu esta técnica, visando tanto a recuperação de valores de ferro, quanto proceder a dessiliciação do gusa. No entanto, esta técnica é limitada, por causa de problemas de permeabilidade.

iii) Aglomeração dos resíduos para utilizar como carga de Aciaria – esta prática aproxima o uso da aciaria como vaso de redução, diminuindo a capacidade de fusão da sucata e conseqüentemente a produção de aço.

iv) Aglomeração dos resíduos para utilizar como matéria-prima de processos de auto-redução – Consiste em promover a redução direta dos óxidos de ferro contido nos resíduos produzindo ferro pré-reduzido (DRI), ou a redução-fusão produzindo ferro metálico líquido. O DRI pode ser reutilizado nos altos fornos ou também diretamente nas aciarias, em substituição à sucata. Como todo processo de redução direta, a ganga presente no aglomerado ficará incorporada ao DRI.

v) Aglomeração dos resíduos para utilizar como carga do alto-forno – devido à alta velocidade do gás, materiais finos não podem ser carregados pelo topo do alto-forno, sendo necessária a aglomeração prévia. Segundo Ellis(1999)¹⁾, a presença de sódio e potássio no material carregado no alto-forno podem causar problemas operacionais ou composição indesejável do gusa. No entanto, segundo Moore(1999)¹⁾ o maior problema é a concentração de zinco, pois ele forma um circuito no alto-forno resultando em um consumo extra de combustível e risco de incrustação, além de diminuir a vida do refratário. O zinco por ter um baixo ponto de ebulição, vaporiza-se no interior do alto-forno tendendo a acumular-se nas partes mais altas do forno, formando uma massa conhecida como “cascão” que dificulta a operação. O principal atrativo desta técnica é que, ela possibilita reciclar um grande volume de

resíduos. Dentro desta perspectiva este trabalho visa contribuir no sentido de investigar e desenvolver novas matérias-primas para o alto-forno visando um melhor aproveitamento de material no processo. Para tal, é sugerido a substituição parcial do minério atualmente carregado, por briquetes de resíduos.

Uma vez que os briquetes não oferecem uma boa resistência mecânica, a possibilidade de degradação dos mesmos no alto-forno convencional é muito grande. Portanto, para minimizar este efeito é sugerido carregar os briquetes em mini altos-fornos.

Neste trabalho será apresentado um modelamento conciso de tais fenômenos com o objetivo de prever o comportamento de briquetes de resíduos no interior de um mini alto-forno. Serão analisados casos com 5,15 e 30% de briquetes substituindo o minério e comparados com a operação normal do mini alto-forno (sem briquetes).

2 MODELAMENTO

O modelo do mini alto-forno é uma adaptação do modelo para o alto-forno convencional apresentado em trabalhos anteriores³⁾. Consiste em se formular os fenômenos que ocorrem no interior do reator como um sistema de seis fases que interagem entre si transferindo momentum massa e energia. De modo geral, os fenômenos de transferência de calor, momentum e massa no interior do mini alto-forno são representados pela equação geral de transporte (eq.1). Nesta equação o coeficiente de transferência (Γ) assume diferentes significados conforme a equação a ser resolvida. Os termos fonte (S_ϕ) levam em conta, por exemplo, as reações químicas, interações entre as fases, força externa e mudanças de fase. A equação 1 é uma típica equação de transporte, a ser resolvida pelo método de volumes finitos.

$$\frac{\partial(\rho_i \varepsilon_i \phi_{i,k})}{\partial t} + \text{div}(\rho_i \varepsilon_i \vec{V}_i \phi_{i,k}) = \text{div}(\Gamma_{\phi_{i,k}} \text{grad}(\phi_{i,k})) + S_{\phi_{i,k}} \quad (1)$$

As fases consideradas neste modelo específico são: sólido, que compreende minério, pelotas, carvão vegetal e briquetes de resíduos, a fase gasosa corresponde ao sopro e gases gerados devido as diversas reações químicas, as fases líquidas, gusa e escória, carvão pulverizado e Finos (minério e fluxantes). Na Tabela 1 são apresentadas todas as espécies químicas que são resolvidas para cada fase.

Para a simulação foram considerados briquete de forma cilíndrica, com 25mm de diâmetro e 35mm de altura, contendo 54.6g e composto de 38.84% em massa de lama de aciaria fração fina e 12.77 da fração grossa, 18.09% em massa da lama de alto-forno fração fina e 8.51 da fração grossa e mais 21.2% em massa de coque⁴⁾. A análise química do briquete é mostrada na Tabela 2.

Tabela 1. Modelo de seis fases aplicado ao mini alto-forno com carregamento de briquetes de resíduos.

Fases	Espécies químicas	
Gás	CO, CO ₂ , O ₂ , H ₂ , H ₂ O, N ₂ , SiO, CH ₄ , C ₂ H ₆ , C ₃ H ₈ , C ₄ H ₁₀	
Sólido	Minério	Fe ₂ O ₃ , Fe ₃ O ₄ , FeO, Fe, CaO, Al ₂ O ₃ , MgO, SiO ₂ , H ₂ O, Na ₂ O, K ₂ O, ZnO, SO ₃ , ganga
	Pelota	Fe ₂ O ₃ , Fe ₃ O ₄ , FeO, Fe, CaO, Al ₂ O ₃ , MgO, SiO ₂ , H ₂ O, Na ₂ O, K ₂ O, ZnO, SO ₃ , ganga
	Briquetes de resíduos	Fe, FeO, Fe ₂ O ₃ , SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , CaO, MgO, C, MnO, Na ₂ O, K ₂ O, ZnO, Cimento
	Carvão Vegetal	C, SiC, SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , CaO, MgO, H ₂ O, ganga
Gusa	Fe, C, Si, P, S, Mg	
Escória	FeO, SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , CaO, MgO, ganga	
Carvão Pulverizado	C, volatiles, SiC, SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , CaO, MgO, H ₂ O, ganga	
Finos de minério e fluxante	Fe ₂ O ₃ , Fe ₃ O ₄ , FeO, Fe, CaO, Al ₂ O ₃ , MgO, SiO ₂ , ganga	

Tabela 2. Análise Química do briquete de resíduos (%massa).

C	MnO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ^o	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	S	Fe ₂ O ₃	FeO	ZnO
0.271	0.008	0.043	0.011	0.022	0.173	0.001	0.001	0.046	0.001	0.136	0.283	0.005

O modelo total do alto-forno considera aproximadamente 120 diferentes possíveis reações, sendo as principais: redução da carga metálica pelo CO e H₂, combustão do carbono de maneira parcial ou total, conforme a temperatura reinante, as reações de transformação de fases tais como fusão e vaporização ou condensação da umidade, além das reações de incorporação do silício e carbono ao gusa. Neste trabalho, modelos adicionais de reações para o zinco, sódio e potássio, foram incorporados ao modelo total. Óxidos destes elementos entram no forno, em pequenas quantidades, via minério ou briquetes. Na parte mais baixa do forno, vapor de K, Na e Zn são gerados pela reação com CO (K₂O e ZnO) ou H₂ (Na₂O) da fase gás. Os vapores de K, Na e Zn ascendem juntamente com o gás e são reoxidados na parte mais alta do forno, onde parte escapa pelo coletor de pó e o resto desce com os sólidos para a zona de alta temperatura sendo novamente reduzido formando assim um ciclo dentro do forno.

Nº Reação	Fórmula da Reação	i	Descrição
1 _i	Fe ₂ O ₃ (i) + CO (g) → Fe ₃ O ₄ (i) + CO ₂ (g)	ospb,fo	Hematita - RI pelo CO
2 _i	$\frac{w}{4w-3}$ Fe ₃ O ₄ (i) + CO (g) → $\frac{3}{4w-3}$ Fe _w O (i) + CO ₂ (g)	ospb,fo	Magnetita - RI pelo CO
3 _i	Fe _w O (i) + CO (g) → wFe (i) + CO ₂ (g)	ospb,fo	Wustita - RI pelo CO
4 _i	3Fe ₂ O ₃ (i) + H ₂ (g) → 2Fe ₃ O ₄ (i) + H ₂ O (g)	ospb,fo	Hematita - RI pelo H ₂
5 _i	$\frac{w}{4w-3}$ Fe ₃ O ₄ (i) + H ₂ (g) → $\frac{3}{4w-3}$ Fe _w O (i) + H ₂ O (g)	ospb,fo	Magnetita - RI pelo H ₂
6 _i	Fe _w O (i) + H ₂ (g) → wFe (i) + H ₂ O (g)	ospb,fo	Wustita - RI pelo H ₂
7 _i	Fe _w O (slag) + C (i) → wFe (hm) + CO (g)	-	RD pelo C
8 _i	C (i) + ½O ₂ (g) → CO (g)	cv, pc	Combustão Parcial

9 _i	$C(i) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$	cv, pc	Combustão Total
10 _i	$C(i) + CO_2(g) \rightarrow 2CO(g)$	cv, pc	Solution Loss
11 _i	$C(i) + H_2O(g) \rightarrow CO(g) + H_2(g)$	cv, pc	Water Gas
12	$CO_2(g) + H_2(g) \leftrightarrow CO(g) + H_2O(g)$	-	Water Gas shift
13	$volatiles(pc) + \alpha_1 O_2 \rightarrow \alpha_2 CO_2(g) + \alpha_3 H_2O(g) + \alpha_4 N_2(g)$		Combustão voláteis
14	$volatiles(pc) + \alpha_3 CO_2(g) \rightarrow \alpha_6 CO(g) + \alpha_7 H_2(g) + \alpha_8 N_2(g)$		Combustão voláteis
15	$SiO_2(coke) + C(coke) \leftrightarrow SiO(g) + CO(g)$		Redução da sílica co coque
16	$SiO_2(coke) + 3C(coke) \leftrightarrow SiC(coke) + 2CO(g)$		
17	$SiC(coke) + CO(g) \leftrightarrow SiO(g) + 2C(coke)$		
18	$SiO_2(slg) + C(coke) \rightarrow SiO(g) + CO(g)$		Metal/Escória
19	$SiO(g) + C(hm) \rightarrow Si(hm) + CO(g)$		
20	$CH_4(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow CO(g) + 2H_2(g)$		Reações de Gás Natural
21	$CH_4(g) + CO_2(g) \rightarrow 2CO(g) + 2H_2(g)$		
22	$C_2H_6(g) + O_2(g) \rightarrow 2CO(g) + 3H_2(g)$		
23	$C_2H_6(g) + 2CO_2(g) \rightarrow 4CO(g) + 3H_2(g)$		
24	$C_3H_8(g) + \frac{3}{2}O_2(g) \rightarrow 3CO(g) + 4H_2(g)$		
25	$C_3H_8(g) + 3CO_2(g) \rightarrow 6CO(g) + 4H_2(g)$		
26	$C_4H_{10}(g) + 2O_2(g) \rightarrow 4CO(g) + 5H_2(g)$		
27	$C_4H_{10}(g) + 4CO_2(g) \rightarrow 8CO(g) + 5H_2(g)$		
28 _i	$Fe(i) \rightarrow Fe(hm)$	ospb	Fusão
29 _i	$Fe_w O(i) \rightarrow Fe_w O(slg)$	ospb	
30 _i	$SiO_2(i) \rightarrow SiO_2(slg)$	ospb	
31 _i	$Al_2O_3(i) \rightarrow Al_2O_3(slg)$	ospb	
32 _i	$CaO(i) \rightarrow CaO(slg)$	ospb	
33 _i	$MgO(i) \rightarrow MgO(slg)$	ospb	
34 _i	$Scrap \rightarrow Fe(hm) + C(hm) + Si(hm)$		
35 _i	$Gangue(i) \rightarrow Gangue(slg)$	ospb	
36	$C(coke) \rightarrow C(hm)$		Dissolução do Carbono
37	$H_2O(i) \rightarrow H_2O(g)$	cv, pc	Evaporação
38 _i	$Fe_2O_3(i) \rightarrow Fe_2O_3(fo)$	osp	Transferência de massa devido ao processo de degradação
39 _i	$Fe_3O_4(i) \rightarrow Fe_3O_4(fo)$	osp	
40 _i	$Fe_w O(i) \rightarrow Fe_w O(fo)$	ospb	
41 _i	$Fe(i) \rightarrow Fe(fo)$	ospb	
42	$C(coke) \rightarrow C(pc)$		
43 _i	$SiO_2(i, coke) \rightarrow SiO_2(fo, pc)$	ospb	
44 _i	$Al_2O_3(i, coke) \rightarrow Al_2O_3(fo, pc)$	ospb	
45 _i	$CaO(i, coke) \rightarrow CaO(fo, pc)$	ospb	

46 _i	MgO(<i>i</i> , coke) → MgO(<i>fo</i> , pc)	ospb
47 _i	Gangue(<i>i</i> , coke) → Gangue(<i>fo</i> , pc)	ospb
48 _i	ZnO(<i>i</i>) + CO(<i>g</i>) ↔ Zn(<i>g</i>) + CO ₂ (<i>g</i>)	Briquete
$R_{48_i} = K[ZnO](CO - CO^*)$ $K = A_0 T^n \exp\left[-\frac{\Delta E}{RT}\right]$ $CO^* = \frac{k_1 k_2}{k_3}$ $k_1 = \exp\left(-13.55 + \frac{21434}{T_i}\right); \quad k_2 = \exp\left(-20.91 + \frac{20339}{T_i}\right); \quad k_3 = \exp\left(-13.34 + \frac{15071}{T_i}\right)$		
49 _i	Na ₂ O(<i>i</i>) + CO(<i>g</i>) ↔ 2Na(<i>g</i>) + CO ₂ (<i>g</i>)	Briquete
$R_{49_i} = K[Na_2O](H_2 - H_2^*)$ $K = A_0 T^n \exp\left[-\frac{\Delta E}{RT}\right]$ $H_2^* = \frac{k_1 k_2}{k_3}$ $k_1 = \exp\left(-25.74 + \frac{39006}{T_i}\right); \quad k_2 = \exp\left(-6.71 + \frac{29757}{T_i}\right); \quad k_3 = \exp\left(-11.41 + \frac{12497}{T_i}\right)$		
50 _i	K ₂ O(<i>i</i>) + CO(<i>g</i>) ↔ 2K(<i>g</i>) + CO ₂ (<i>g</i>)	Briquete
$R_{50_i} = K[K_2O](CO - CO^*)$ $K = A_0 T^n \exp\left[-\frac{\Delta E}{RT}\right]$ $CO^* = \frac{k_1 k_2}{k_3}$ $k_1 = \exp\left(-20.13 + \frac{23659}{T_i}\right); \quad k_2 = \exp\left(-20.91 + \frac{20339}{T_i}\right); \quad k_3 = \exp\left(-10.7 + \frac{10440}{T_i}\right)$ <p>Sendo A₀, n e ΔE estimados.</p>		

3 RESULTADOS/DISCUSSÕES

Os principais resultados apresentados serão uma comparação de diferentes níveis de substituição do minério por briquetes de resíduos. A metodologia utilizada para comparação tomou-se como base a temperatura média do gusa, isto é, o resultado da temperatura final do gusa deverá ser no máximo uma tolerância de 5°C. Para tal, foram adotados como parâmetros ajustáveis a espessura relativa das camadas de carvão vegetal e carga metálica, a vazão de sopro e o enriquecimento de oxigênio. Através de métodos de “tentativa e erro” obtêm-se a simulação completa que fornece a temperatura do metal desejada, tomada como referência o caso de 80% minério e 20% de pelotas. Na figura 1 é apresentado os resultados

para os campos de temperatura no interior do mini alto-forno para 4 casos típicos calculados, 0%, 5%, 15% e 30% de briquete substituindo o minério. Na figura 1 observa-se uma elevação e ampliação da zona de reserva térmica conforme aumenta-se a percentagem de briquetes.

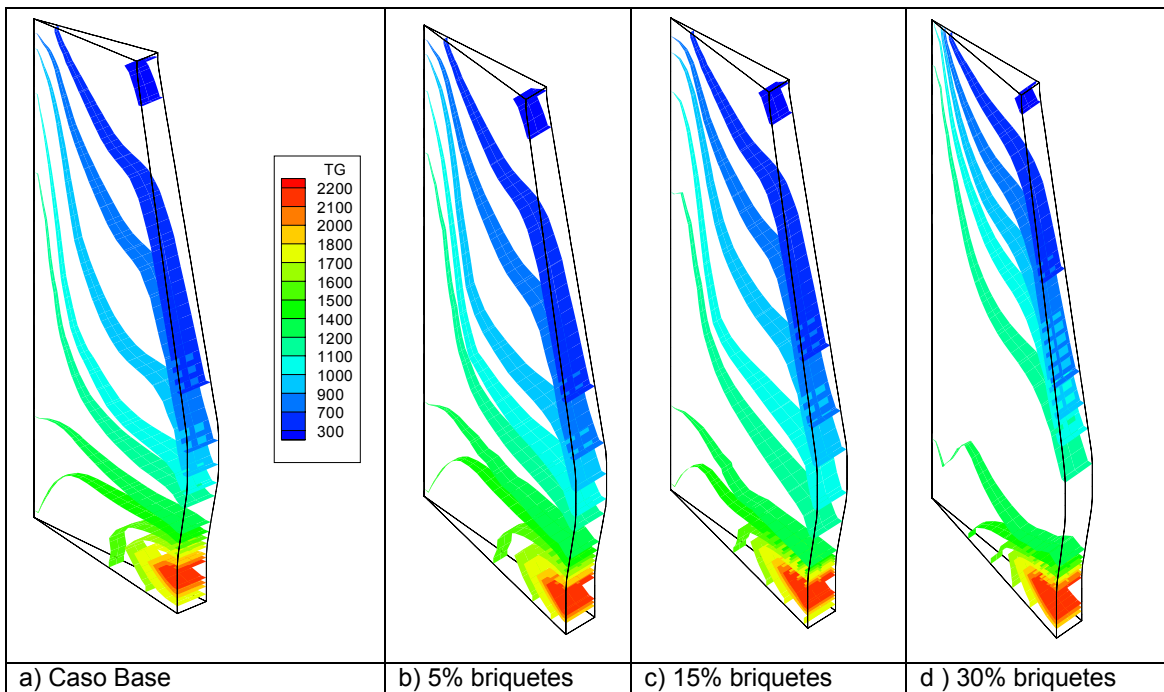


Figura 1. Distribuição de temperaturas no interior do mini alto-forno para gradual aumento de briquetes de resíduos na carga.

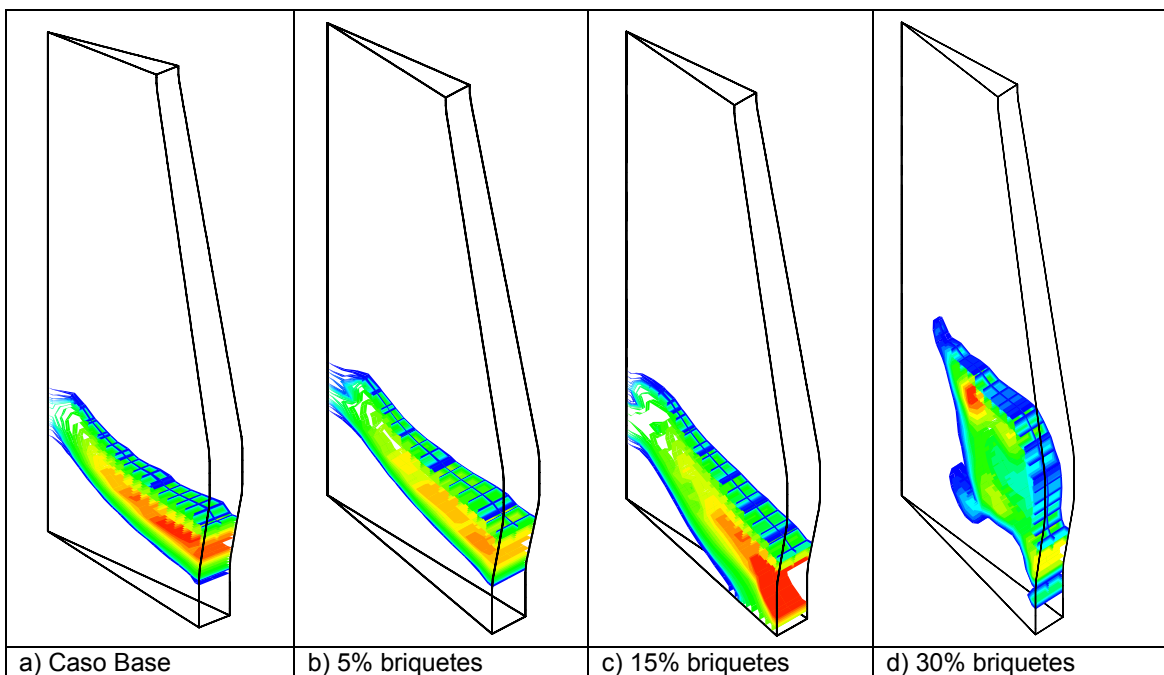


Figura 2. Previsão da localização da zona coesiva.

Na Figura 2 observa-se que a localização da zona coesiva não sofre maiores alterações para um percentual de 5% de briquetes (Figura 2b), sem a necessidade

de alterar a distribuição da carga (Figura 3b). Aumentando o percentual de briquetes para 15% nota-se que a raiz da zona coesiva abaixa até a zona de combustão, isto provoca um pequeno decréscimo de temperatura e a diminuição da permeabilidade nesta região (Figura 2c). Quando o percentual de briquetes foi aumentado para 30% observa-se que a zona coesiva torna-se muito espessa fazendo com que a passagem do gás seja dificultada (Figura 2d). Neste caso, houve a necessidade de uma drástica mudança na distribuição da carga, aumentando a camada de carvão no centro do forno (Figura 3d). Para valores superiores a 30% o modelo indicou instabilidade operacional.

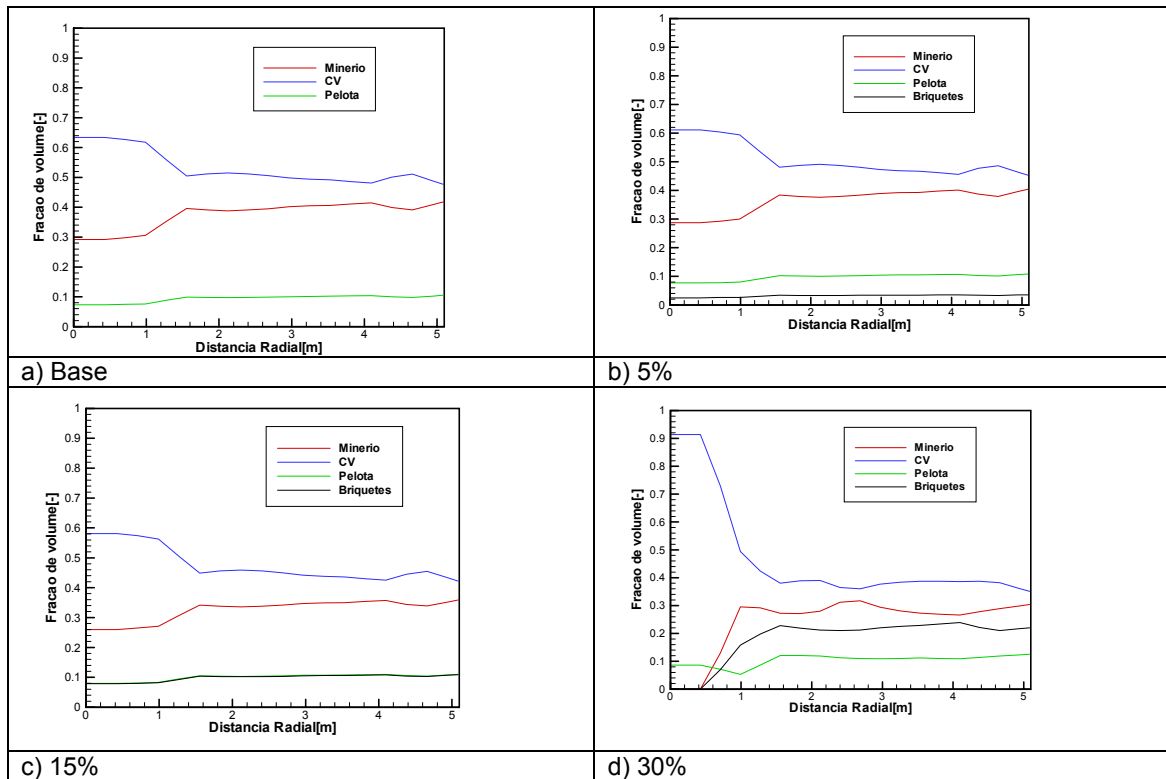


Figura 3. Distribuição da carga ao longo da direção radial no topo do alto-forno.

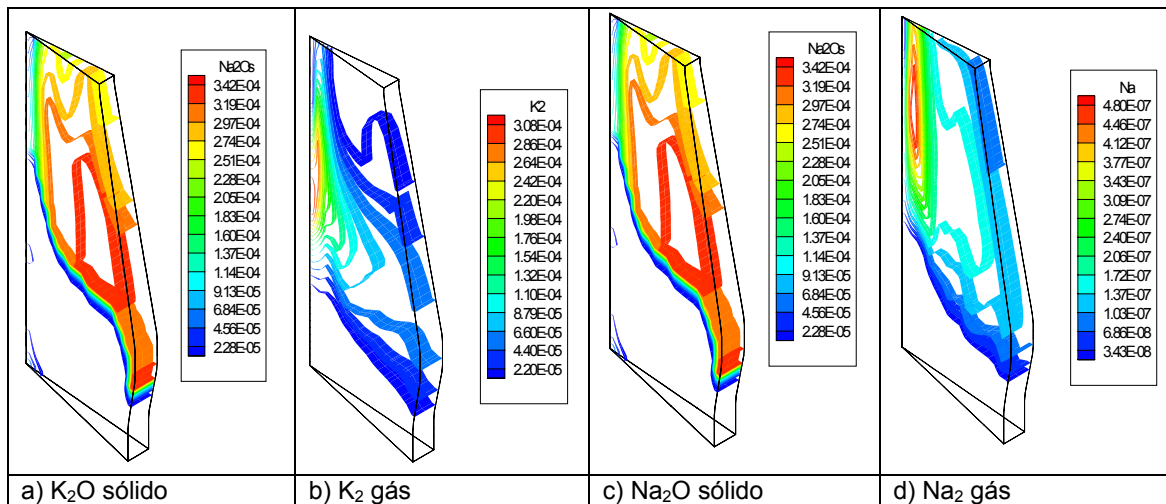


Figura 4. Distribuição dos álcalis.

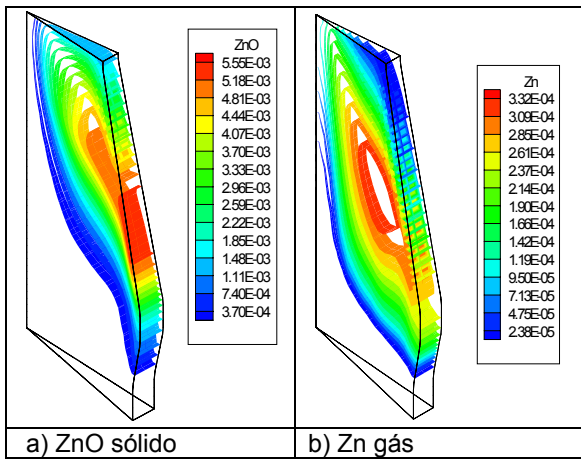


Figura 5. Distribuição do zinco.

Ao analisar as Figuras 4 e 5 observa-se pelos valores máximos e mínimos da fração mássica do potássio, sódio e zinco, nas fases sólido e gás, que é possível obter a confirmação do que foi discutido anteriormente, de que estes elementos formam um ciclo dentro do forno.

Analisando a Figura 6a observa-se um acréscimo da produtividade conforme aumenta-se a percentagem de briquetes na carga. A explicação para tal fenômeno encontra-se no aumento do enriquecimento de oxigênio com o objetivo de compensar a temperatura final do gusa (Figura 6b). O consumo específico de carvão vegetal diminui (Figura 6c) devido principalmente à substituição do carvão pelo carbono do briquete nas reações de “solution loss”, que ocorrem com maior frequência aumentando a demanda de energia no forno e consequentemente o “fuel rate”.

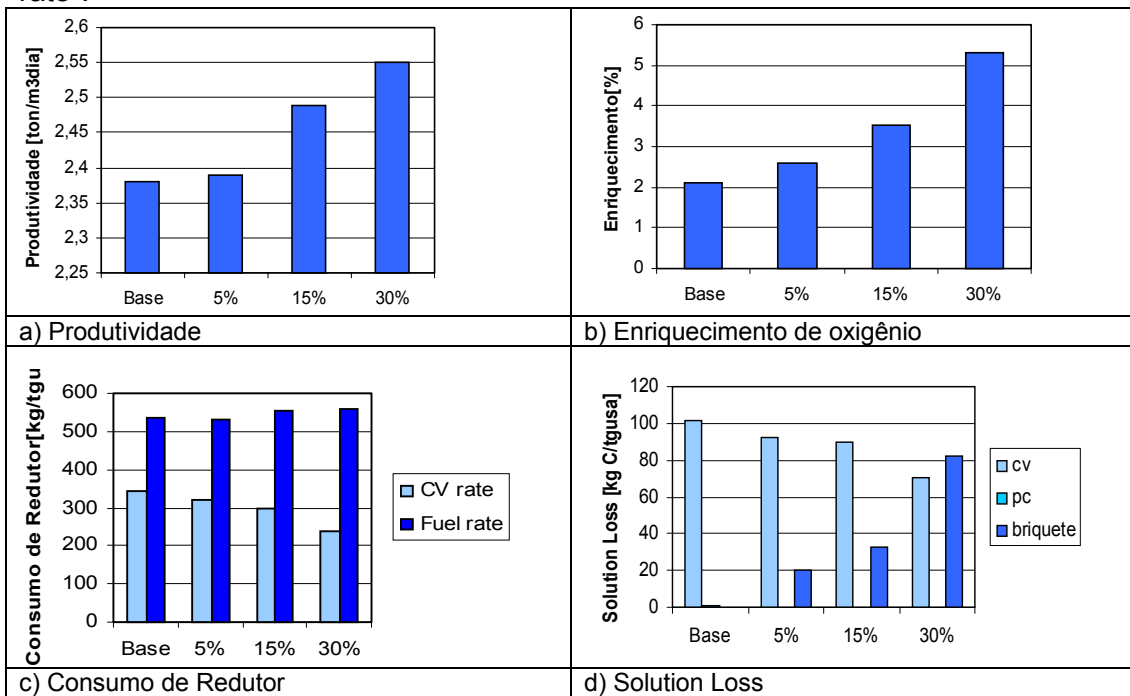


Figura 4. Parâmetros globais calculados pelo modelo para as condições de simulação.

4 CONCLUSÕES

Foi desenvolvido um modelo capaz de analisar o desempenho de briquetes de resíduos no interior de um mini alto-forno. O modelo prevê modificações consideráveis nas variáveis internas do reator. Dentre os principais resultados destacam-se: 1) substituição de até 15% de briquetes de resíduos na carga, aproximadamente 220Kg/tgusa, 2) aumento na produtividade de aproximadamente 5% e 3) diminuição de aproximadamente 14% do consumo de carvão vegetal, sem a necessidade de alteração da injeção de carvão.

5- NOMENCLATURA

R_i - Taxa de reação total ($\text{mol/m}^3/\text{s}$)	α - coeficiente estequiométrico
K_i - Taxa de reação constante para i	ε_i - fator de forma da fase i
ΔE - Energia de Ativação	S_ϕ - Termos fonte(varios)
k- Constante de Equilíbrio	ρ - Densidade
A_0 - Fator pré-exponencial	Γ - coeficiente de transferência
T- temperatura (K)	

Agradecimentos

Os autores agradecem ao **CNPq** pelo suporte financeiro através de projeto concedido no âmbito do Edital Universal 2003(proc: 477240-03-0)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. MAKKONEN, H.T.; HEINO, J.; LAITILA, L.; HILTUNEN, A.; PÖYLIÖ, E.; HÄRKKI, J. Optimisation of Steel Plant Recycling in Finland: Dusts, Scales and Sludge. **Resources, Conservation and Recycling**, v.35, p.77, 2002.
2. MACHADO, A.C. ; CHAVES, C.A. ; REIS, C.T. ; ANDRADE, L.A.F. ; BASSI, M.; TAMASSIA, L.C. J. Resíduos Sólidos da Siderurgia: Tecnologias de Reutilização e Reciclagem. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 59, 2003, São Paulo, p. 2373-2383.
3. CASTRO, J.A. A Multi-dimensional Transient Mathematical model of Blast Furnace Based on Multi-fluid Model. Japan, 2000. Tese de Doutorado – Tohoku University.
4. NASCIMENTO, R.C.; LENZ, G.F.B.; TAKANO, C.; MOURÃO, M.B.; CAPOCCHI, J.D.T. Self-Reducing of Iron and Steelmaking Wates: Effects of the Thermal. In: JAPAN-BRAZIL SYMPOSIUM ON DUST PROCESSING ENERGY ENVIRONMENT IN METALLURGICAL INDUSTRIES, 3th, 2001, São Paulo, p. 61-73.
5. CHU, M.; NOGAMI, H.; YAGI, J. Numerical Analysis on charging carbon Composite agglomerates into blast furnace. **ISIJ International**, v.44, p. 510-517, 2004.

COMPUTATIONAL ANALYSIS OF WASTES BRIQUETTES CHARGING IN THE MINI BLAST FURNACE¹⁾.

*Franciene Teixeira de Souza²⁾
José Adilson de Castro²⁾
Luiz Fernando Andrade de Castro³⁾
Alexandre José da Silva²⁾*

Abstract

The metallurgical industries produces a large amount of wastes which is mostly recycled in the steel plant. The mathematical modeling and simulation of the process has been an important tool to look for technologies that aims to recover these materials and improve the blast furnace operation. In this work the effect of recycling the steelmaking wastes briquettes in the mini-blast furnace is investigated by using a total blast furnace model. The blast furnace model considers six phases interacting simultaneously. The phases considered are: 1) solids(iron ore, sinter, pellets, coal and wastes briquettes), 2) gas, 3) hot metal, 4) slag, 5) pulverized coal and 6) fines iron ore/flux. The partial change of iron ore charged by wastes briquettes is compared with standard operation. In order to keep the operational stability and hot metal quality, the blast conditions and distribution of burden materials were modified. The partial differential equations describing the inner phenomena are discretized based on the finite volume method. The main operational results were found considering high rate of oxygen injection with pulverized coal, pre-reduced iron ore and flux aiming to control the frame temperature and slag formation. The results of temperature distribution, reduction degree, distribution of concentration within the solid components, etc are compared with a base case which does not use briquettes. Results of simulation indicated the possibility of charging about 200kg/thm of briquettes keeping smooth furnace operation.

Key-words: Wastes briquettes; Mathematical modeling; Blast furnace.

¹ *Paper to be presented at 60th Annual ABM International Congress – July, 25-28, (2005)- Belo Horizonte –MG-*

² *Post graduate program on metallurgical Engineering - EEIMVR-UFF, Av. dos Trabalhadores 420 – Vila Sta. Cecília – 27255-125 – Volta Redonda – RJ adilson@metal.eeimvr.uff.br www.eeimvr.uff.br*

³ *Post graduate program on metallurgical Engineering –UFMG-, lafc@demet.ufmg.br*