



CINÉTICA SIMULTANEA DA REDUÇÃO DE ÓXIDOS DE FERRO E PRECIPITAÇÃO DE CARBONO: PARTE 1*

Jose Carlos D'Abreu¹

Helio Marques Kohler²

Edelink Efrain Tinoco Falero³

Mauricio Marcos Otaviano⁴

Resumo

Os mais importantes processos de redução de minério de ferro em fornos de cuba convivem, com maior ou menor intensidade, o problema de precipitação de carbono no interior de seus reatores. Para melhor conhecer os efeitos dos parâmetros operacionais desses processos sobre as cinéticas simultâneas de redução das pelotas de minério de ferro e de precipitação de carbono, foi definido um programa cooperativo entre a Samarco e o Grupo de Siderurgia da PUC-Rio. O presente trabalho é a parte 1 deste programa, que analisou o comportamento de pelotas RD nas temperaturas de 500, 700 e 900 °C, vazões de 60 e 90 NL/min e pressões de 1,2 e 2,5 atm, quando reagiram com os gases de topo e sopro típicos das regiões superiores (Zona de Redução-ZR) dos fornos de produção de ferro esponja (DRI). O tratamento dos resultados obtidos nos testes programados pelo método estatístico fatorial, permitiu identificar as cinéticas concorrentes e propor um modelo global baseado no princípio da superposição. Finalmente, utilizando as curvas “Grau de Reação Global-GR versus tempo”, mostrou correlações plenamente compatíveis com os dados experimentais levantados e plena viabilidade de aplicação a outros processos de produção de ferro primário.

Palavras-chave: Cinéticas; Redução direta; Precipitação de carbono; Ferro primário.

SIMULTANEOUS IRON OXIDE REDUCTION AND CARBON PRECIPITATION KINETICS: PART 1

Abstract

Presently, the most important iron ore reduction processes in shaft furnaces, must deal, in greater or lesser degree, with carbon fines precipitation issues. To deepen the knowledge about the effects of the operational parameters of those processes on the simultaneous kinetics of the iron reduction and carbon precipitation a cooperative research program between PUC-Rio and Samarco was defined. The present work, labeled program's phase one, analyzed the behavior of RD pellets in the temperatures of 500, 700 and 900°C, flowrates 60 and 90 NL/min, pressures of 1.2 and 2.5 atm under gas compositions simulating the real furnace mixtures existing in the reactor's top and bustle blast, for the DRI production in the furnace's upper region (Reduction zone – RZ). The experimental results obtained from tests conducted under a statistical factorial analysis, permitted the identification of the concurrent kinetics and the proposition of a global model, utilizing the superposition principle. Finally, based upon the “Global Degree of Reaction - GR versus time”, curves with a strong correlation with the experimental results were obtained, also showing full feasibility and applicability to other ironmaking processes.

Keywords: Kinetics; Direct reduction; Carbon precipitation; Primary iron.

¹ Eng. Metalúrgico, DSc, Professor Emérito do Departamento de Engenharia dos Materiais (DEMa) da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), RJ, Brasil.

² Eng. Metalúrgico, PhD, Professor do Departamento de Mecânica da Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ), RJ, Brasil.

³ Eng. Metalúrgico, Doutorando do Departamento de Engenharia dos Materiais (DEMa) da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), RJ, Brasil.

⁴ Eng. Metalúrgico, DSc, Especialista Senior da Samarco Mineração, ES, Brasil.

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



1 INTRODUÇÃO

Os mais relevantes processos de produção de ferro primário, tanto em Altos Fornos como em reatores de Redução Direta, têm, como um de seus pontos em comum, a possível formação de finos de carbono no interior de seus reatores. Além dos problemas fluidodinâmicos que acarretam, seus arrastes também implicam em maiores gerações de pó nos sistemas coletores de gases e no aumento do consumo dos combustíveis-redutores. O presente trabalho analisa este fenômeno nos processos de Redução Direta em fornos de cuba. Na produção de aço em forno elétrico a arco-FEA, o ferro esponja-DRI, assim como o ferro gusa para aciaria, se tornaram importantes insumos alternativos à sucata, num movimento que se tornou mais intenso a partir da segunda metade do século XX. Hoje, esses dois insumos, devido aos contaminantes contidos no aço reciclado, passaram a ter presença ainda mais expressiva na composição das cargas dos FEA. No que se refere ao DRI, sua produção cresceu mais de 90 vezes desde 1970, atingindo cerca de 75 milhões de toneladas em 2013 [1]. Concomitantemente a este significativo crescimento, o Brasil se tornou o mais importante player internacional fornecedor de pelotas RD, com a expressiva quantidade de 47,25 milhões de toneladas em 2013 [1]. De uma maneira geral, as produtividades dos processos de ferro primário são dependentes, além dos fatores operacionais, das propriedades intrínsecas do minério de ferro, uma delas sua velocidade de redução. Enquanto a cinética de reação dos óxidos de ferro pelos gases redutores CO e H₂ foi, isoladamente, vastamente pesquisada durante as últimas décadas, a redução por misturas de CO-CO₂-H₂-H₂O-CH₄, ainda não se encontra muito explorada [2-4]. Estas misturas gasosas, obtidas por reações de reforma do gás natural com H₂O ou CO₂, são injetadas pelas ventaneiras dos fornos de cuba, localizadas na parte inferior da Zona de Redução-ZR do reator. Por outro lado, a necessidade de melhorar o custo do aço dos FEA, também incentivou o interesse pela fonte de energia química suprida pelo carbono da carga metálica (DRI e gusa) [5,6]. Isto implicou de imediato, na produção de DRI com maiores teores de carbono e no seu carregamento direto, à quente (HDRI), nas aciarias, ambas medidas com o intuito de abater o consumo de energia elétrica e, conseqüentemente, o custo do aço vazado. Assim, novos estudos envolvendo a precipitação de carbono via misturas CO-CO₂-H₂-H₂O-CH₄ e seu efeito na carburização do ferro esponja [7-11], abriram, nos últimos anos, importantes frentes de P&D neste tema, inclusive junto aos fornecedores de pelotas RD. O enfoque sistêmico da cadeiaprodutivado aço sempre deixou claro a relação entre a qualidade das pelotas RD, especificamente a morfologia de metalização, o carbono gerado no reator de redução direta e seu efeito na carburização do DRI [12-14], culminando com a performance energética deste último no FEA.

Considerando o contexto atual de valor da cadeia RD-FEA de produção de aço, o presente trabalho teve como objetivo central propor uma cinética global envolvendo simultaneamente a redução e a precipitação de carbono, utilizando as misturas gasosas típicas da ZR dos reatores de cuba. Complementarmente, objetivou garantir a vanguarda brasileira na produção de pelotas RD.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Amostras de pelotas RD, com características físicas e composição química apresentadas na Tabela 1, foram inicialmente acondicionadas numa retorta cilíndrica de 125 x 810mm e, posteriormente, inseridas num forno elétrico vertical, no qual se

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



acoplava uma balança termogravimétrica para registro contínuo da variação mássica da amostra, que pesava inicialmente 2 kg.

A montagem experimental, empregando controles de vazão e pressão dos gases CO, H₂, CO₂ e CH₄, está ilustrada na Figura 1, cujos parâmetros principais estão mostrados na Tabela 2. O planejamento estatístico fatorial concebido para os experimentos seguiu a sequência apresentada na Tabela 3.

Em todos os experimentos, as amostras foram inicialmente aquecidas numa atmosfera de N₂, até alcançar as temperaturas de 500, 700 e 900°C, escolhidas de forma a simular três níveis, nas condições de sopro e topo. Cada experimento levou um total de 3,6 h, considerado o tempo de residência típico da ZR.

Após cada ensaio procediam-se às tabulações das perdas de massa e às análises químicas dos produtos gerados, visando as determinações do Grau de Reação Global e a mensuração do pó de carbono formado.

Tabela 1. Composição química das pelotas.

Constituinte	Composição (%)
Fe _t	68.01
FeO	0.10
SiO ₂	1.17
Al ₂ O ₃	0.41
CaO	0.66
MgO	0.24
P	0.04
PPC	0.04
S	0.002
Basicidade Binária	0.56
Porosidade	31.6
Granulometria	50% 10-12.5 mm
	50% 12.5-16 mm

Tabela 2 . Parâmetros operacionais

Variáveis estudadas	Gás de topo (região superior)	Gás "bustle" (região inferior)
Temperatura, °C	500	900
Pressão, atm	1,2	2,5
Vazão, NL/min	90	50
Composição gasosa	CO 19 %	CO 32 %
	CO ₂ 15 %	CO ₂ 3 %
	H ₂ 39 %	H ₂ 53 %
	H ₂ O 23 %	H ₂ O 7 %
	CH ₄ 4 %	CH ₄ 5 %

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.

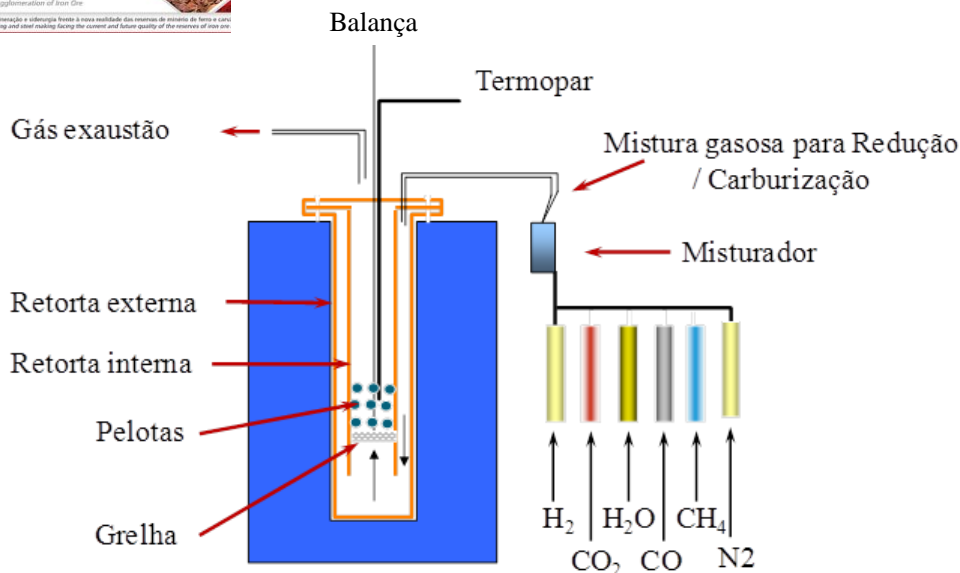


Figura 1. Montagem experimental.

Tabela 3. Planejamento estatístico fatorial

Experiência #	Temperatura (°C)	Pressão (atm)	Comp. gasosa (H ₂ /CO)	Vazão (NL/min)
1	(+)900	(-) 1,2	(-) (0,58)	(+) 90
2	(+)900	(+) 2,5	(-) (0,58)	(+) 90
3	(+)900	(-) 1,2	(-) (0,58)	(-) 60
4	(+)900	(+) 2,5	(-) (0,58)	(-) 60
5	(-)500	(-) 1,2	(-) (0,58)	(-) 60
6	(-)500	(+) 2,5	(-) (0,58)	(+) 90
7	(-)500	(+) 2,5	(+) (0,85)	(+) 90
8	(-)500	(-) 1,2	(+) (0,85)	(+) 90
9	(-)500	(+) 2,5	(+) (0,85)	(-) 60
10	(-)500	(-) 1,2	(-) (0,58)	(+) 90
11	(+)900	(-) 1,2	(+) (0,85)	(+) 90
12	(-)500	(-) 1,2	(+) (0,85)	(-) 60
13	(-)500	(+) 2,5	(-) (0,58)	(-) 60
14	(+)900	(-) 1,2	(+) (0,85)	(-) 60
15	(+)900	(+) 2,5	(+) (0,85)	(-) 60
16	(+)900	(+) 2,5	(+) (0,85)	(+) 90
17	(0)700	(+) 2,5	(-) (0,58)	(-) 60
18	(0)700	(-) 1,2	(-) (0,58)	(-) 60
19	(0)700	(-) 1,2	(+) (0,85)	(+) 90
20	(0)700	(+) 2,5	(+) (0,85)	(-) 60
21	(0)700	(+) 2,5	(-) (0,58)	(+) 90
22	(0)700	(-) 1,2	(-) (0,58)	(+) 90
23	(0)700	(-) 1,2	(+) (0,85)	(-) 60
24	(0)700	(+) 2,5	(+) (0,85)	(+) 90

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Redução / Precipitação de Carbono

Dos experimentos listados na Tabela 3, serão apresentados apenas os correspondentes às curvas das Figuras 2, 5, 6 e 7, por serem os mais ilustrativos dos fenômenos estudados. Nelas, GR representa o Grau de Reação Global, ou seja, a variação percentual total da massa da pelota (balanço de perdas e ganhos de massa).

$$GR = \frac{M_i - M_f}{M_i \times (0.429Fe_{tot} - 0.112Fe_o)} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

GR = Grau de Reação Global(%)

M_i = massa inicial das pelotas.

M_f = massa final registrada pela balança.

Fe_{tot} = fração de ferro total na pelota.

Fe_o = fração de wustita na pelota.

0,429 e 0.112 = relações mássicas na pelota (oxigênio removível)/(ferro).

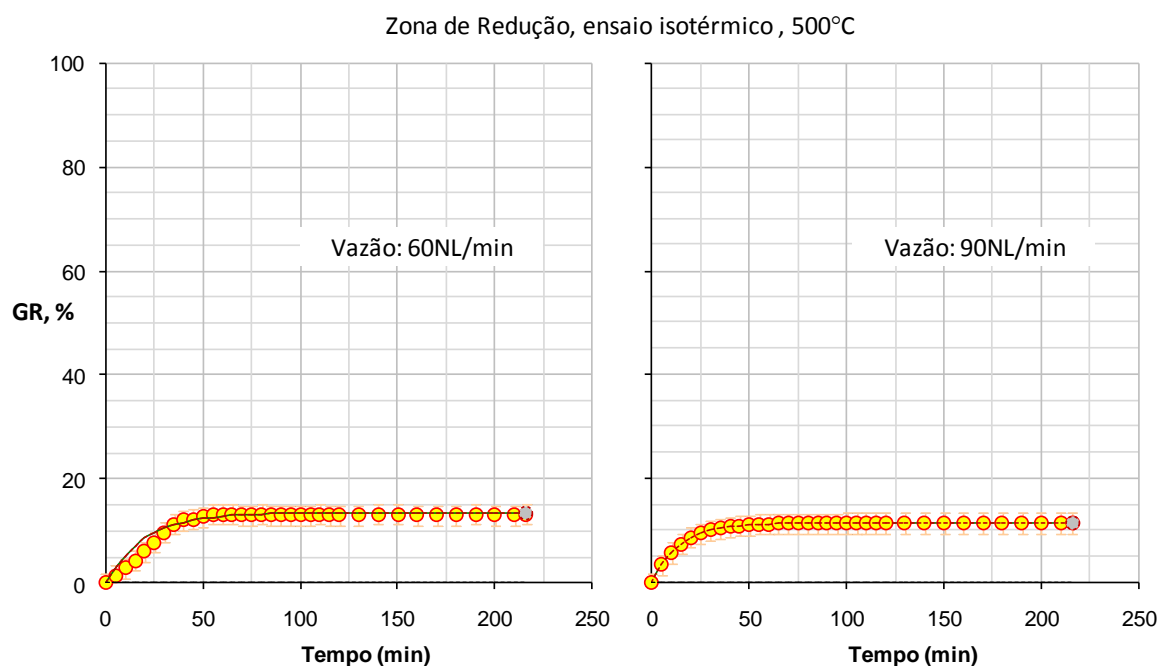


Figura 2. Grau de Reação Global (condição: Topo; Centro do forno; 500°C; 1,2atm)

Nos experimentos correspondentes à Figura 2, ou seja, simulando as condições correspondentes à parte central no topo do forno, observou-se, em ambos os casos, GR variando entre 10 e 15%, além de completa ausência de precipitação de carbono e formação de ferro metálico. Tais fatos se encontram justificados pelos diagramas termodinâmicos das Figuras 3 e 4. Da mesma forma, para as condições simuladas da região periférica do topo, mostradas nos gráficos da Figura 5, embora valores ligeiramente mais altos para GR tenham sido obtidos (22 a 27%), as formações de carbono e de ferro metálico continuaram ausentes, pelas mesmas razões anteriores.

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



$$\Omega = \frac{H_2 + CO}{H_2 + H_2O + CO + CO_2}$$

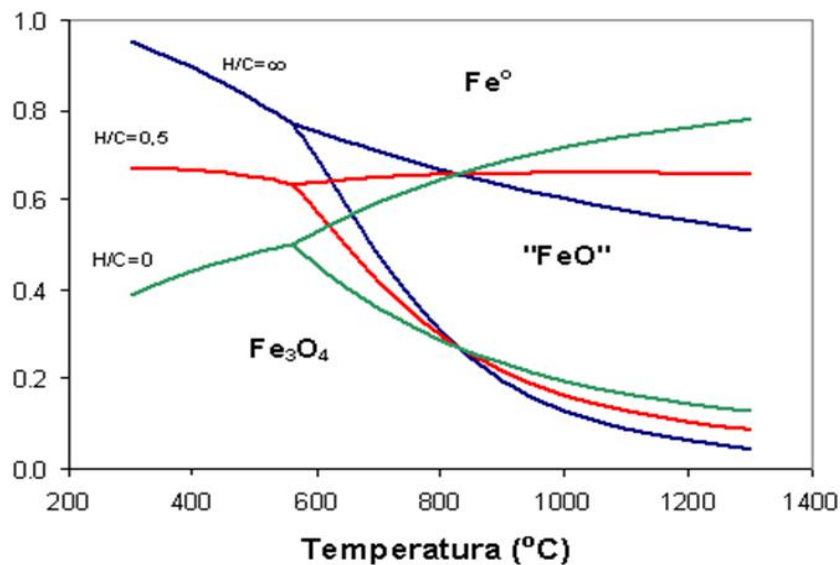


Figura 3. Diagrama de predominância operacional para o sistema Fe-O-C-H

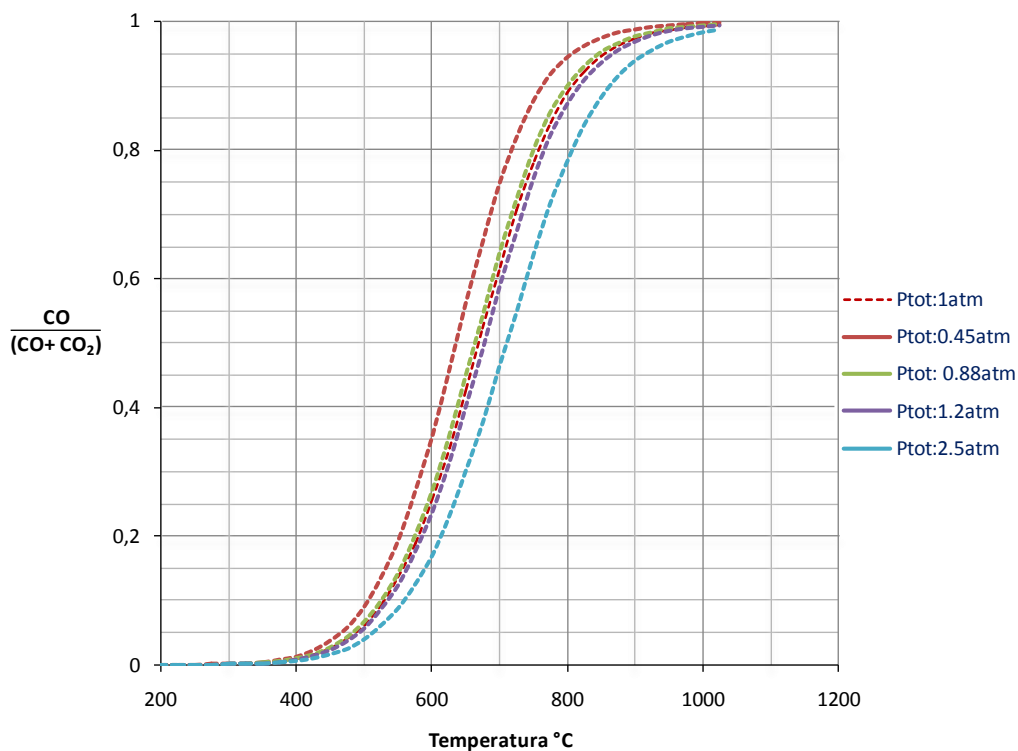


Figura 4. Curva de Boudouard para diferentes pressões

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.

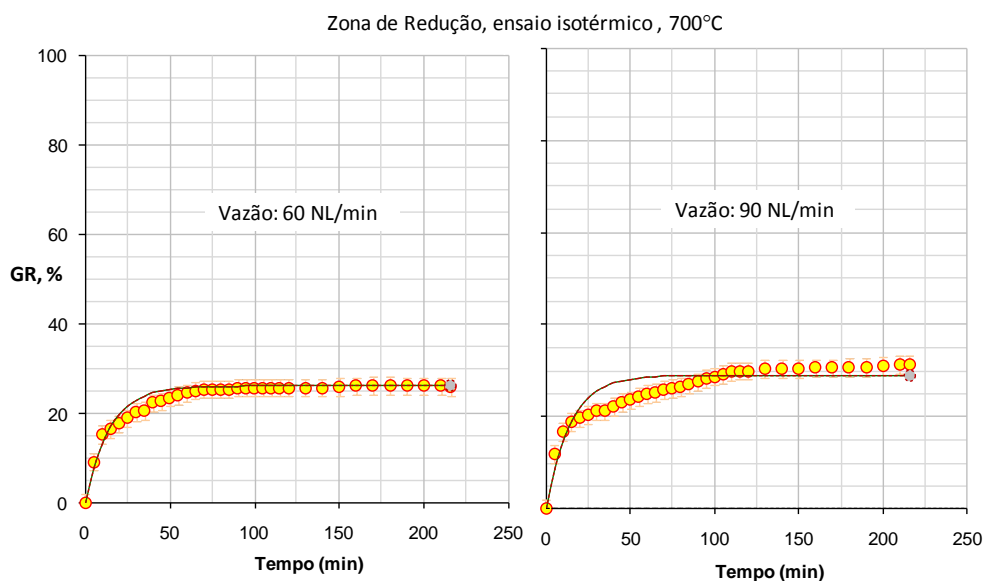


Figura 5. Grau de Reação Global (Condição: Topo; Periferia; 700°C; 1,2 atm)

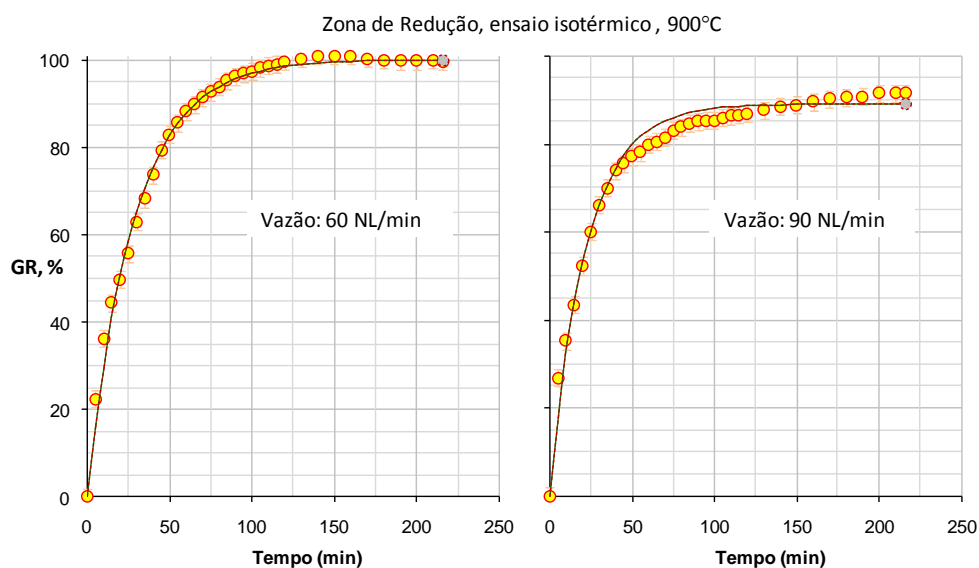


Figura 6. Grau de Reação Global, (Condição: Bustle; Periferia; 900°C; 2,5 atm)

Referindo-se à região inferior da Zona de Redução-ZR do forno de cuba, ou seja, ao nível das ventaneiras: a) Considerando primeiramente a Figura 6, representativa da periferia, observou-se que embora valores bem mais altos de GR_{Global} (90 a 100%) tenham sido alcançados, a precipitação de carbono continuou não sendo detectada, tal fato se justificando pela predominância de condições termicamente favoráveis à estabilidade do CO, muito embora pequenas carbonizações microestruturais do ferro metálico tenham ocorrido (0,03%). b) Reportando-se aos gráficos da Figura 7 representativos da região central do forno, no nível das ventaneiras, observou-se, pela primeira vez, que além da tradicional perda de massa devido à redução dos óxidos de ferro, também ocorreu um significativo ganho de peso em razão da precipitação de finos de carbono. Com isso configurou-se, de forma nítida, um quadro simultâneo e competitivo entre os dois fenômenos reacionais. Além disso, observou-se que a precipitação do carbono sempre acontecia após um determinado Grau de Reação Global, chama do GR_{crit} , que correspondia a um tempo de incubação, $t_{incubação}$, necessário para o aparecimento dos primeiros sítios de ferro reduzido. Esses sítios, dependendo da natureza alotrópica do ferro (alfa ou gama),

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



passavam a atuar, com maior ou menor intensidade, como catalizadores da reação reversa de Boudouard [9-12].

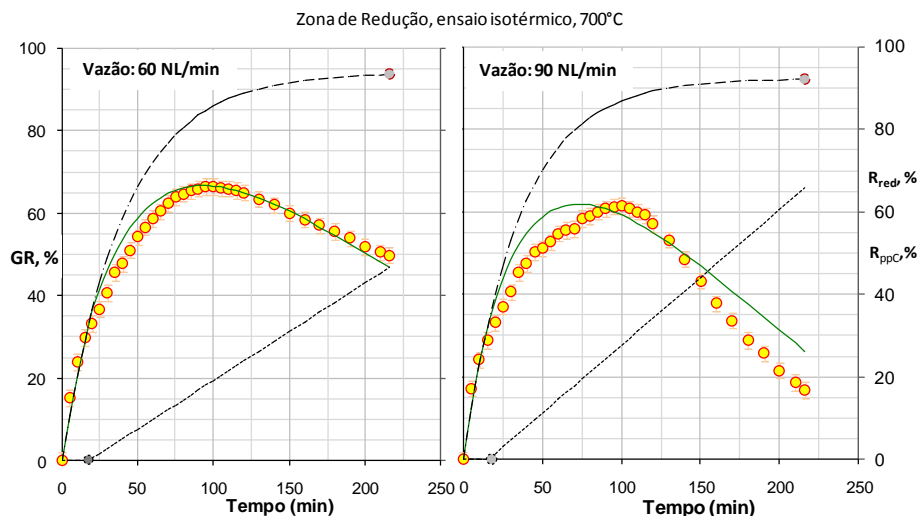


Figura 7. Grau de Reação Global (Condição: Bustle; Centro; 700°C; 2,5atm)

Na Figura 7, as curvas tracejadas representaram a perda de peso gerada pela remoção de oxigênio (redução dos óxidos de ferro). Por outro lado, as curvas pontilhadas retrataram o ganho de massa devido à precipitação de carbono, afetados pelos efeitos catalíticos da presença do ferro metálico. Finalmente, as curvas representadas pelos pontos circulares, representaram o balanço final da variação de peso das amostras. Ressalte-se, ainda, que os pontos circulares ao final das curvas tracejadas, representaram os resultados efetivos da redução dos óxidos de ferro, determinados via análise química. Por outro lado, os pontos circulares, marcados no eixo das abscissas e localizados no início das curvas pontilhadas, indicaram os resultados interpolados dos tempos de incubação ($t_{\text{incubação}}$).

Finalmente, considerando que todos os experimentos foram realizados numa retorta metálica, seu efeito catalítico na precipitação do carbono teve que ser também avaliado. Para tanto, “ensaios em branco” foram realizados, usando um leito não reativo formado por pelotas de alumina. A Figura 8 mostra as curvas “carbono precipitado versus tempo”, referentes aos testes realizados nas temperaturas de 500 e 700°C, usando o mesmo gás “bustle” especificado na tabela 2.

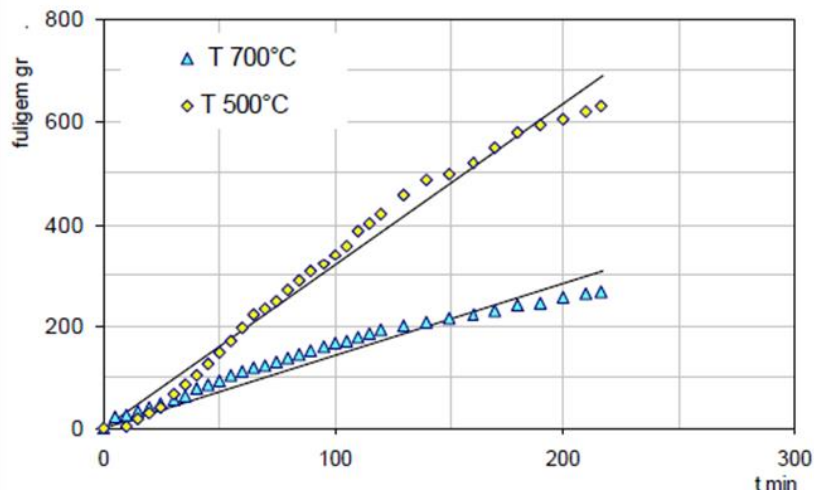


Figura 8. Precipitação de carbono: “Ensaio em Branco” (Condição: Bustle; 2,5atm; 90NL/min)

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



3.2 Equacionamentos Cinéticos

Considerando R_{red} o grau de redução dos óxidos de ferro, a equação 2 foi utilizada para mensurara cinética correspondente [8]:

$$R_{red} = B (1 - e^{-t/\tau}) \quad (2)$$

Onde, R_{red} é o percentual de redução; B, em %, é o coeficiente de saturação da redução (nível máximo da redução quando a curva se torna assintótica); τ representa o parâmetro de escala temporal (relacionado à taxa de reação no início da redução); e t, o tempo de reação.

No caso da precipitação de carbono, a equação 3 foi expressa em função do coeficiente de transferência de massa do sistema gás-sólido, k_g (%.min⁻¹), do tempo de incubação, $t_{incubação}$, e do tempo t, sendo R_{ppC} o percentual de Carbono precipitado:

$$R_{ppC} = k_g (t - t_{inc}) \quad (3)$$

Considerando a simultaneidade dos fenômenos, o Grau de Reação Global, GR_{Global} , foi representado pela equação geral 4:

$$GR_{Global} = \sum_{i=1}^{i=n} R_i \quad (4)$$

Abaixo estão indicados os valores calculados para os coeficientes de redução (B e τ) e para os parâmetros cinéticos da precipitação de carbono (k_g e t_{inc}), tendo em vista os resultados experimentais apresentados neste trabalho:

$$B=94$$

$$\tau = 40.816$$

$$k_g = 0.2362\%.\text{min}^{-1}$$

$$t_{incu} = 17.89 \text{ min}$$

$$GR_{crit} = 33.33 \%$$

Finalmente, reportando-se à mesma Figura 7, também foi traçada a curva correspondente à equação 4. Assim, tendo em vista o valor 98,8 obtido para r^2 , considerou-se plenamente adequado o ajuste obtido para os pontos calculados e os experimentais. Por fim, levando-se em conta sua formulação e o critério de obtenção dos seus parâmetros e coeficientes, considerou-se a equação 4 em condições de ser estendida a diferentes composições gasosas e, portanto, aplicável à outros processos.

4 CONCLUSÕES

Dos resultados obtidos, os seguintes pontos se destacaram:

- 1- Os experimentos com o gás de topo a 500 e 700°C, demonstraram não possuir potencial redutor capaz de gerar ferro metálico e, assim, também sem condições catalíticas para gerar finos de carbono;
- 2- Os experimentos com o gás “bustle”, a 900°C, apesar de gerarem alto Grau de Reação Global, também apresentaram ausência de precipitação de finos de carbono, neste caso devido essencialmente à alta estabilidade termodinâmica do gás CO;
- 3- Os experimentos com o gás “bustle”, a 700°C, realizados em ambiente de baixa estabilidade termodinâmica do gás CO, demonstraram possuir, além de potencial redutor para gerar ferro metálico, também condições catalíticas capazes de gerar finos de carbono;

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



- 4- Na faixa das vazões estudadas, 60 - 90 NL/min, não se detectaram efeitos significativos tanto dos Graus de Reação Global, como de precipitação de carbono;
- 5- O modelo cinético proposto representou de forma bastante adequada os dois modelos simultâneos, de redução dos óxidos de ferro e de precipitação de finos de carbono, considerando o valor calculado para r^2 (98,8).

Agradecimentos

A Capes e ao CNPq pela bolsa de pós-graduação.

REFERÊNCIAS

- 1 www.vale.com/PT/investors/Quarterly-result-reports
www.sinferbase.com.br
- 2 D'Abreu JC, Kohler HM, Rodrigues de Araujo D, Vera J. DRI Carburization in the Reduction Zone of a Shaft Furnace. Samarco's Technical Seminar III: The Global Experience, 2008, Vitoria, Brazil.
- 3 Szekely J, Tawil EL. The reduction of hematite pellets with carbon monoxide- hydrogen mixtures. Metallurgical transactions B, 1976; 7B: 490-492.
- 4 Szekely J, Choudhary M, Tawil EL. On the reaction of solids with mixed gases, metallurgical transaction B; 8B.
- 5 Basu SN, Ghosh AJ. Iron steel Inst., 1970; 208: 765-768.
- 6 Meraikib M, Friedrichs HA. Steel Res., 1987, 58; 439-445.
- 7 Towhidi N, Szekely J. The influence of carbon deposition on the reduction kinetics of commercial grade hematite pellets with CO, H₂ and N₂. Metallurgical Transactions B, Vol. 14B, September 1983, 359-367.
- 8 Mamani Paco LJ. Cinética da redução de pelotas de minério de ferro em condições simuladas de um reator Midrex [mestrado]. Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica; Outubro de 2010.
- 9 Belisario F, D'Abreu JC, Otaviano MM, Kohler HM. Simulação experimental da carburização de DRI em reator de cuba tipo Midrex. 40^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias Primas e 11^o Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, Belo Horizonte – MG, setembro 2010.
- 10 D'Abreu JC, Kohler HM, Tanure L, Souza C, Espinoza M. Contribuição à simulação matemática do processo de redução direta em fornos de cuba. 55^o congresso anual da ABM, Rio de Janeiro, Julho 2000.
- 11 Motlagh M. Catalytic activity of carbono-free iron. ISM, Feb 2000, pp 31-38
- 12 Turkdogan ET, Vinters JV. Catalytic effect of iron on decomposition of carbon monoxide. Part I. Metallurgical Transactions B, 1974; 5: 11-19.
- 13 D'Abreu JC, Rodrigues D. Contribution on DRI carburization kinetics in the reduction zone of a shaft furnace. 15^a Conferencia de Aceria, San Nicolás, IAS, 2005, vol 1, pp 39-46.
- 14 Towhidi N, Szekely J. The influence of carbon deposition on the reduction kinetics of commercial grade hematite pellets with CO, H₂ and N₂. Metallurgical Transactions B, 1893; 14 B: 359-367.

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.