



## ESTUDO TERMODINÂMICO DO PROCESSO DE DESFOSFORAÇÃO EM PANELA<sup>1</sup>

Edson Siqueira Nunes<sup>2</sup>  
Aryadne Jesus Picoli<sup>2</sup>  
Sayd Farage David<sup>3</sup>  
José Roberto de Oliveira<sup>4</sup>

### Resumo

O objetivo do trabalho é apresentar um estudo termodinâmico da desfosforação realizada em panela para o refino do ferro-gusa a partir de uma mistura desfosforante de dolomita e finos de minério. Sendo verificada a influência da massa de mistura em relação à massa de gusa entre outras condições de contorno. Após o processo de desfosforação, foram feitas análises químicas do ferro-gusa, e o teor de fósforo sofreu uma redução em torno de 50%. Parâmetros como basicidade ótica, atividade do fósforo, capacidade fosfato, atividade do P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> serão calculados através de suas equações, e seus resultados comparados com os resultados obtidos no processo real.

**Palavras-chave:** Desfosforação; Termodinâmico; Ferro-gusa.

### THERMODYNAMIC STUDY DEPHOSPHORIZATION IN THE PROCESS OF POT

### Abstract

The purpose of this paper is to present a thermodynamic study of dephosphorization held in the pot for the refining hot metal from a mixture of dolomite and desfosforante ore fines. As The influence of mass elements in relation to the mass of iron and other boundary conditions. After the process of dephosphorization, chemical analyses were made of hot metal, and phosphorus content was reduced by 50%. Parameters such as optical basicity, phosphate activity, ability phosphate, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> activity will be calculated using the equations, and their results compared with results obtained in the actual process.

**Key words:** Dephosphorization; Thermodynamic; Pig iron.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 43º Seminário de Aciaria – Internacional, 20 a 23 de maio de 2012, Belo Horizonte, MG, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheiro(a) Químico(a). Aluno(a) do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais do IFES, Vitória, ES - snunes@ifes.edu.br; ary.picoli@yahoo.com.br.

<sup>3</sup> Engenheiro Metalúrgico. Aluno do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais do IFES, Vitória, ES- saydfd@gmail.com.

<sup>4</sup> Professor Doutor e Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e Materiais – IFES- jroberto@ifes.edu.br.



## 1 INTRODUÇÃO

O processo de desfosforação do ferro-gusa durante a fabricação do aço no Brasil é realizada comumente junto com a dessiliciação e a descarburagem. Todas estas etapas são efetuadas numa só operação, na maioria dos casos, no convertedor LD. Algumas usinas japonesas já incorporaram etapas para a redução do silício e do fósforo como operações de refino prévio do ferro-gusa, assim como a Siderúrgica Ibiracú, tendo como resultado uma condição de valor agregado ao seu produto.

Sendo verificado que a desfosforação do ferro-gusa líquido realizado no seu pré-tratamento.

Utilizando como desfosforantes: uma fonte de oxigênio, que para o presente trabalho é fornecida por finos de minério; e outra fonte de cal (CaO), que é fornecida pela dolomita, mostra-se eficaz, resta a verificação por meio das equações termodinâmicas pertinentes dos resultados obtidos

Este trabalho, portanto, objetiva abordar os resultados obtidos em campo dando-lhes uma verificação dos resultados obtidos através de abordagens termodinâmicas pertinentes.

### 1.1 Desfosforação no Pré-Tratamento de Ferro-Gusa

Segundo Hino et al.,<sup>(1)</sup> em termos termodinâmicos, a reação de desfosforação se torna mais eficiente à medida que a temperatura do metal quente diminui. Verificou-se também que a influência da temperatura na desfosforação é grande, beneficiando o processo sempre que temperaturas mais baixas são utilizadas.

Em função destes fatores, a desfosforação quando realizada na etapa de pré-tratamento de gusa, têm uma maior eficiência termodinâmica e permite a obtenção de menores teores de fósforo (P) no gusa líquido. Por estes motivos, várias empresas japonesas (entre elas a Nippon Steel, NKK Corporation, JFE Steel Corporation, Sumitomo Metal) realizam não somente a desfosforação, mas como também a dessiliciação, além da dessulfuração na etapa de pré-tratamento de gusa. Segundo os autores, ocorre a redução de 25% na geração de escória (aproximadamente 80 kg/tonelada de aço), com relação aos processos onde há somente a etapa de dessulfuração no pré-tratamento de gusa.

O processo de desfosforação pode ser descrito de forma simplificada pelas etapas:

- ocorre formação do  $P_2O_5$ ; e
- formação do composto  $P_2O_5 \cdot 4CaO$ .

Desta maneira as melhores condições termodinâmicas para que a desfosforação ocorra são encontradas quando esta etapa é realizada no pré-tratamento de ferro-gusa,<sup>(2)</sup> pois neste estágio encontram-se as condições ideais para o pré-tratamento, que são:

- baixas temperaturas do gusa (1.300°C a 1.450°C);
- $e^C_P$  0,13; e
- altos teores de carbono (C) em torno de 4,2% no ferro-gusa, o que aumenta a atividade do fósforo.<sup>(2)</sup> Segundo os autores, para teores de carbono abaixo de 2%, a influência do carbono na atividade do fósforo não é tão acentuada.

Sobandi, Katayama e Momono,<sup>(3)</sup> verifica que se faz necessário uma escória com altos teores de CaO para que se possa reduzir a atividade do  $P_2O_5$  formado, mantendo-o com valores abaixo do equilíbrio, permitindo que a desfosforação ocorra. Quanto mais baixa a atividade do  $P_2O_5$  na escória, maiores teores de fósforo podem ser removidos do metal.



Mukawa e Mizukami<sup>(4)</sup> estudaram a desfosforação com equipamentos de escala laboratorial e industrial. A Figura 1 mostra um exemplo de dados obtidos em escala laboratorial com 0,5kg de ferro gusa.

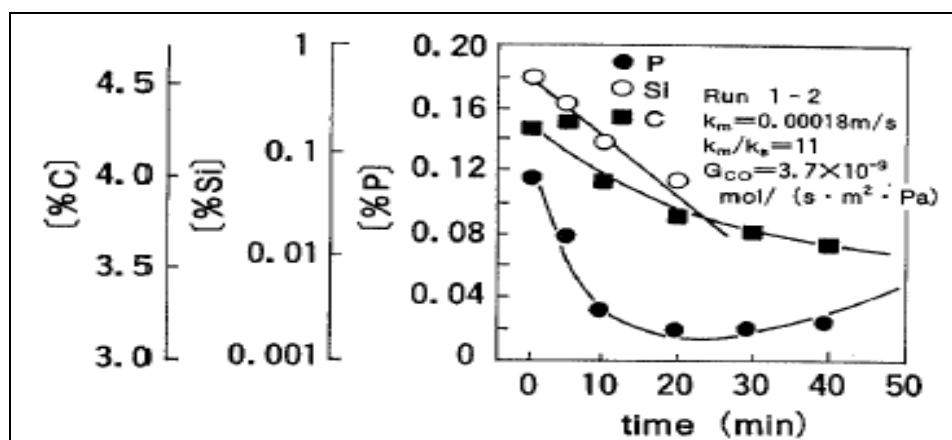


Figura 1. Comportamento dos elementos no metal quente. As linhas sólidas indicam os resultados calculados pelos autores.<sup>(4)</sup>

A Tabela 1 mostra a composição e peso dos fluxos utilizados no experimento, segundo os autores.

Tabela 1. Composição e peso dos fluxos utilizados para o experimento de Mukawa e Mizukami<sup>(4)</sup>

Escala (kg)	[Si] destinado	Composição do Fluxo (% em massa)				Peso Total (kg)	Basicidade destinada	Nº do Experimento
		CaO	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaF <sub>2</sub>			
0,5	0,0	27,0	13,5	48,5	11,0	0,0438	1,93	1
	0,3	20,5	3,2	72,2	4,1	0,0487	1,76	2

Esses fluxos para os experimentos 1 e 2 são uma mistura em pó, de grau reagente, preparadas mecanicamente. A quantidade de CaO foi determinada a partir da relação (%CaO)/(%SiO<sub>2</sub>) e da basicidade da escória para atingir valores entre 1,7 e 2, onde se extrapolando os resultados verifica-se uma dosagem de aproximadamente 900 kg de desfosforante para cada tonelada de gusa.

A empresa Siderúrgica Ibirapu, localizada no município de João Neiva – ES utiliza uma mistura desfosforante com dolomita e finos de minério de ferro, reduzindo o teor de fósforo, no tratamento do ferro-gusa, de 0,07% para 0,023%, sendo os dados obtidos das corridas verificadas para os cálculos termodinâmicos.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a elaboração deste trabalho foram desenvolvidas as seguintes etapas:

- caracterização dos materiais desfosforantes;
- acompanhamento das corridas;
- construção de uma relação massa de desfosforante x massa de gusa;
- análise qualitativa do desfosforante;
- cálculos termodinâmicos;
- análise dos resultados.



## 2.1 Caracterização dos Materiais

As caracterizações dos materiais utilizados neste trabalho foram divididas em análises granulométricas e químicas do minério de ferro e da dolomita.

Sendo que para os finos será considerada a composição química do minério.

Para o ensaio da determinação de composição granulométrica da dolomita, foram inicialmente secos os materiais em uma estufa e quarteados. Em seguida, foi separado 1 kg do material, que foi encaminhado a um peneirador para a realização das análises. O tempo de permanência dos materiais no peneirador foi aproximadamente 20 minutos e a sequência de peneiras utilizadas para a separação granulométrica foi: 10 mm; 20 mm; 30 mm e 40 mm.

Para a análise granulométrica do minério, partiu-se de uma amostra de 10 kg, que foi encaminhado a um peneirador para a realização das análises. O tempo de permanência dos materiais no peneirador foi de aproximadamente 30 minutos e a sequência de peneiras utilizadas para a separação granulométrica foi: 6.3 mm; 10 mm; 12,5 mm; 16 mm e 19 mm.

Para a caracterização química dos materiais foi utilizado o método por via úmida.

## 2.2 Acompanhamento das Corridas

Foram acompanhadas 10 corridas, com as análises de P inicial e final bem como a massa de desfosforante dosada.

## 2.3 Relação Massa de Desfosforante x Massa de Gusa;

Além da verificação da redução do fósforo em cada corrida foi verificado como se dá o comportamento desta redução analisando a redução do teor de P em relação à proporção de desfosforante em cada corrida.

## 2.4 Análise Qualitativa do Desfosforante

Com base na análise qualitativa dos reagentes e na melhor relação de massa de desfosforante em relação à massa de gusa a ser tratada.

## 2.5 Cálculos Termodinâmicos

### 2.5.1 Basicidade óptica

A basicidade é um conceito que esta relacionada à viscosidade e capacidade de fosfato, sendo que escórias básicas possuem maior fluidez e, portanto, são mais reativas tanto no banho metálico (devido ao elevado processo difusional), quanto na corrosão que exercem sobre os revestimentos dos reatores siderúrgicos.

Como a basicidade óptica é uma medida comparativa, tendo como padrão a variação na frequência do CaO, por definição  $\Lambda_{CaO} = 1$  para CaO puro.

Para escórias multicomponentes são utilizadas as Equações 1 e 2.<sup>(5)</sup>

$$\Lambda_{escória} = \sum(X_i \Lambda_{óxido}) \quad (1)$$

$$X_i = (n_i x_i) / \sum(n_i x_i) \quad (2)$$



## 2.5.2 Coeficiente de atividade do $P_2O_5$

Segundo Basu et al.,<sup>(6)</sup> o controle do teor de fósforo do ferro-gusa é um desafio para muitas aciarias, devido às matérias-primas que inevitavelmente contêm um alto teor de fósforo. Segundo os autores, a partição do fósforo entre o aço e escória depende

da atividade do  $P_2O_5$  na escória,  $a_{(P_2O_5)}$ , na qual por sua vez é uma função da composição química e temperatura. A presença de óxidos básicos causa a redução

do coeficiente de atividade do  $P_2O_5$  na escória,  $\gamma_{(P_2O_5)}$ , e, portanto, melhora a magnitude de partição do fósforo. Diversas pesquisas têm trabalhado para a

estimação do  $\gamma_{(P_2O_5)}$  nas escórias de diferentes composições químicas.

Para o presente trabalho será utilizada a Equação 3 que correlaciona o coeficiente de atividade do fosfato com sua basicidade ótica.

$$\text{Log } \gamma_{P_2O_5} = 9,4 - 38,09 \wedge \quad (3)$$

## 2.5.3 Partição do fósforo teórico

O modelo de Healy representa o equilíbrio em toda a faixa de composição da escória. Esse modelo foi montado para aços e adaptado para a desfosforação de ferro-gusa pela introdução do teor de carbono do ferro-gusa e da fluorita ( $CaF_2$ ) na escória (Equação 4):

$$\ln \frac{(P_2O_5)}{[\% P]} = -25,98 + 0,32 \cdot [\% C] + \frac{22350}{T} + 5,6 \cdot \log(\% CaO + 0,72 \cdot \% CaF_2) + 2,5 \log(\% FeO) \quad (4)$$

Foram usadas as concentrações mássicas para o cálculo de partição teórico.

## 2.5.4 Partição do fósforo real

Será considerado para tal a Equação 5:

$$(\%P_2O_{5real}) / [\%P_{real}] \quad (5)$$

Onde  $(\%P_2O_{5real})$  é a % de fosfato na escória medida nas análises químicas e  $[\%P_{real}]$  é a % fósforo no metal medida nas análises químicas.

## 2.5.5 Capacidade de fosfato

A capacidade de fosfato é uma medida da capacidade de desfosforação da escória sob um dado potencial de oxigênio e está relacionado com a atividade dos íons de oxigênio na escória. Com o propósito de determinar tal relação, ou a que existe entre as constantes de equilíbrio e a composição da escória, têm sido propostos vários modelos termodinâmicos.<sup>(6)</sup> Porém, devido às limitações de tais modelos teóricos e à falta de dados de atividades para escórias complexas de pré-tratamento de ferro-gusa,<sup>(7)</sup> nos últimos anos, a relação de partição de equilíbrio do fósforo, como também de outros elementos, passaram a ser determinadas através de capacidade de fosfato. Para o presente trabalho será utilizada a Equação 6 que relaciona a capacidade de fosfato com sua basicidade ótica.

$$\text{Log } C_p = 21,55 \wedge + (3292/(T)) - 27,90 \quad (6)$$



## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Análises Químicas

#### 3.1.1 Análise química da dolomita e do minério de ferro

As análises químicas apresentadas nas Tabelas 2 e 3 mostram uma composição favorável a desfosforação<sup>(3,4)</sup> devido ao seu teor de CaO e ao teor de FeO.

Tabela 2. Análise química da dolomita

Componente	Porcentagem (%)
CaO	39,79
MgO	10,20
CaCO <sub>3</sub>	29,66
MgCO <sub>3</sub>	13,22
SiO <sub>2</sub>	1,99
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,28
Outros	0,86
<b>Total</b>	<b>100</b>

Tabela 3. Análise química do minério de ferro

Componente	Porcentagem (%)
Fe	67.200
SiO <sub>2</sub>	1.640
Al <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0.860
CaO	0,028
MgO	0,021
P	0,073
Mn	0,032
TiO <sub>2</sub>	0,073
PPC*	0,840
H <sub>2</sub> O	2,350

\*PPC- perdas por calor

#### 3.1.2 Análise granulométrica dolomita e do minério de ferro

A Tabela 4 demonstra a classificação granulométrica da dolomita, utilizada pela siderúrgica em seu processo de desfosforação.

Tabela 4. Análise granulométrica da dolomita

Peneiras (mm)	Peso (gramas)	Porcentagem (%)
> 40	143,00	14,300
30 – 40	98,45	9,845
20 – 30	257,55	25,755
10 – 20	418,00	41,800
< 10	83	8,300

A maior parte do material desfosforante está compreendida na faixa entre 10 mm a 30 mm, o que não é ideal para esta operação, pois partículas menores de 1 mm a



3 mm aumentariam a área de contato da dolomita com o banho favorecendo por consequência a desfosforação.

A Tabela 5 apresenta os resultados das análises químicas do minério de ferro fornecido à Siderúrgica Ibraraçu.

**Tabela 5.** Análise granulométrica do minério de ferro

Peneiras (mm)	Peso (gramas)	Porcentagem (%)
> 6.3	1880	18,80
6.3	2780	27,80
10	2260	22,60
12,5	1980	19,80
16	960	9,60
19	140	1,40

### 3.2 Acompanhamento das Corridas

Após acompanhamento das corridas montou-se a Tabela 6, que apresenta o comportamento do teor de fósforo para cada corrida antes e após o pré-tratamento.

**Tabela 6.** Análises da composição do gusa antes e após o tratamento em panela

corrida	%P		Desfosforante Kg	Gusa Kg
	inicial	final		
1	0,074	0,027	1.250	19.820
2	0,077	0,027	1.000	16.950
3	0,073	0,024	1.000	23.440
4	0,07	0,027	750	19.650
5	0,076	0,03	750	23.470
6	0,078	0,024	1.000	20.490
7	0,075	0,03	500	24.320
8	0,072	0,034	750	22.110
19	0,071	0,032	750	22.040
10	0,078	0,046	500	21.860

A dosagem de dolomita para as corridas apresentadas na tabela 6 é pré-estabelecida com base nos teores de silício e fósforo contidos nas amostras de ferro-gusa de cada corrida anterior, esta massa varia de 500 kg a 1.250 kg de um combinado de 50% de dolomita e 50% finos de minério (Tabela 6).

Para uma análise mais crítica dos resultados foram criadas as figuras que apresentam a redução média dos teores de P em relação à massa de desfosforante aplicada no banho.

Na Figura 2 observamos o comportamento do teor de P, em relação à massa de desfosforante aplicada, não considerando a massa de gusa que sofreu tal tratamento.

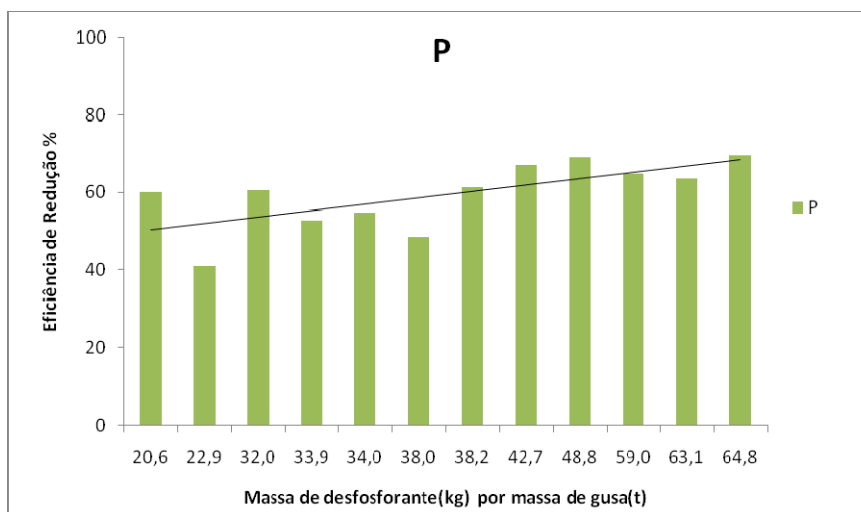


Figura 2. Redução média do teor de P em relação à massa de desfosforante aplicada.

Pode-se observar que os melhores resultados estão para uma massa de mistura de 1.000 kg e 1.250 kg respectivamente.

### 3.3 Relação Massa de Desfosforante x Massa de Gusa

A relação entre massa de desfosforante adicionada a massa de gusa apresentado na Figura 3 demonstra que a elevação desta relação pode propiciar uma melhor eficiência de redução de fósforo.

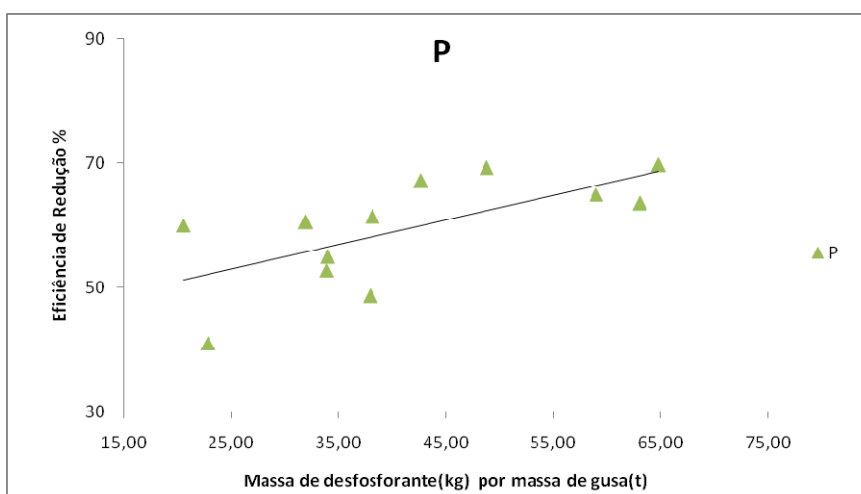


Figura 3. Redução média do teor de P em relação à massa de desfosforante aplicada.

### 3.4 Análise Qualitativa do Desfosforante

Como a mistura usada é na proporção de 1:1, foi criada a Tabela 7 que mostra a composição da mistura, quando usado dolomita já no banho, ou seja, considerando as possíveis calcinações.



**Tabela 7.** Composição da mistura

COMPONENTE	% componente na mistura	% componente no banho
FeO	-	62,3
CaO	18,90	18
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	47,00	-
MgO	7,10	6,10
SiO <sub>2</sub>	1,80	6,70
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,80	3,00
P	0,07	-
Mn	0,03	1,4
TiO <sub>2</sub>	0,07	0,1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	2,4
Outros	21,21	2,270

### 3.5 Cálculos Termodinâmicos

A Tabela 8 apresenta os valores calculados para basicidade ótica da mistura e da escória após o balanço de massa, assim como os valores da partição do fósforo no equilíbrio.

**Tabela 8.** Basicidade ótica da mistura

Corrida	$\Lambda$ Inicial	$\Lambda$ Final	Partição do fósforo no equilíbrio
1	0,665	0,656	1,19
2	0,665	0,657	1,16
3	0,665	0,654	1,13
4	0,665	0,652	1,10
5	0,665	0,657	1,10
6	0,665	0,660	1,21
7	0,665	0,652	1,09
8	0,665	0,654	1,01
9	0,665	0,651	0,98
10	0,665	0,669	1,08

Na Tabela 9 utilizando os valores de basicidade da Tabela 8 foram estabelecidos os valores para o coeficiente de atividade e capacidade de fosfato.

**Tabela 9.** Coeficiente de atividade e capacidade de fosfato

Corrida	Coeficiente de atividade do P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Capacidade de fosfato - C <sub>p</sub> 1.450°C	Partição do fósforo teórico	Partição do fósforo real
1	2,64. 10 <sup>-16</sup>	2,18 .10 <sup>5</sup>	1,19	0,838194
2	2,37. 10 <sup>-16</sup>	2,28 .10 <sup>5</sup>	1,16	0,657593
3	3,08. 10 <sup>-16</sup>	1,97 .10 <sup>5</sup>	1,13	0,741163
4	3,67. 10 <sup>-16</sup>	1,79 .10 <sup>5</sup>	1,10	1,108233
5	2,37. 10 <sup>-16</sup>	2,29 .10 <sup>5</sup>	1,10	0,968061
6	1,82. 10 <sup>-16</sup>	2,66 .10 <sup>5</sup>	1,21	1,115949
7	3,67.10 <sup>-16</sup>	1,79 .10 <sup>5</sup>	1,09	1,108733
8	3,08. 10 <sup>-16</sup>	1,97 10 <sup>5</sup>	1,01	1,03978
9	4,01. 10 <sup>-16</sup>	1,70 .10 <sup>5</sup>	0,98	0,766978
10	8,27.10 <sup>-17</sup>	4,16 .10 <sup>5</sup>	1,08	0,811296



## 4 ANÁLISE GRÁFICA DOS RESULTADOS

Com base Tabelas 8 e 9 foram montados gráficos com parâmetros pertinentes ao estudo termodinâmico do processo da Siderúrgica Ibraçú. Como mostra a Figura 4, que apresenta a relação entre basicidade e redução do teor de P no metal, onde quanto maior a basicidade melhor será o resultado da redução do teor de P no metal.

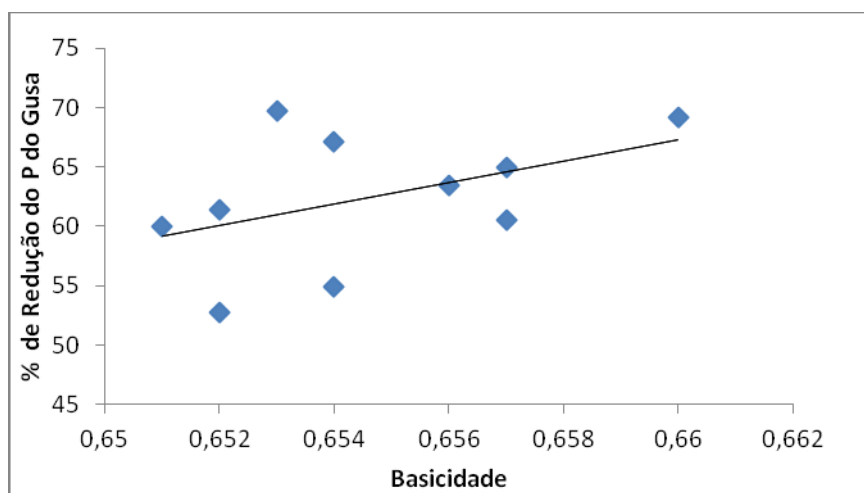


Figura 4. Relação da redução do P no metal pela Basicidade.

A tendência da Figura 4, comprova que onde o componente que mais caracteriza uma elevação da basicidade para o caso estudado é o CaO, e sendo o CaO o maior responsável pela retirada do P do metal Líquido, verifica-se que quanto maior a basicidade maior a redução de P no metal.

Para todas as escórias foram calculados os valores de capacidade de fosfato, sendo este um parâmetro que demonstra a capacidade da escória de extrair o P do banho, na Figura 5 observa-se que quanto maior valor da capacidade de fosfato maior a redução do teor de P no metal.

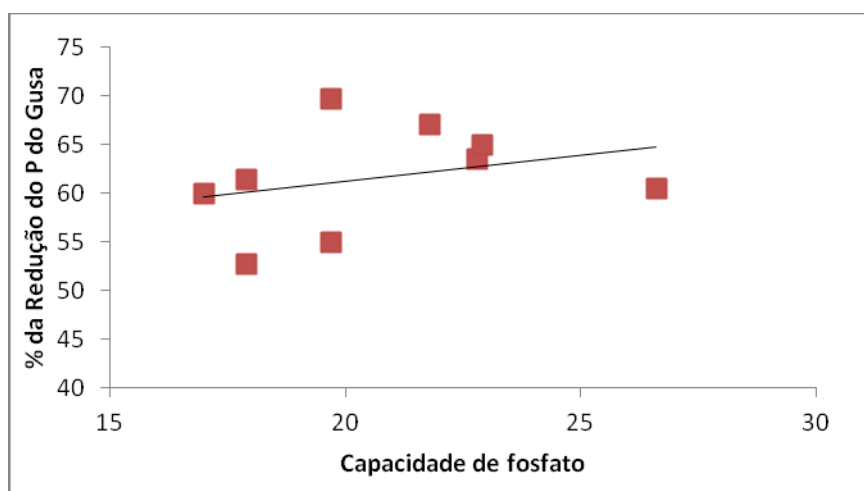


Figura 5. Redução do P no metal em relação a capacidade de fosfato.

Desta forma a Figura 5 atesta que com a elevação da capacidade de fosfato houveram ganhos na redução do P no metal.



Uma outra análise pertinente é a verificação da atividade do fosfato em relação a capacidade de fosfato (Figura 6), onde quanto maior a capacidade de fosfato, menor a atividade do  $P_2O_5$ .

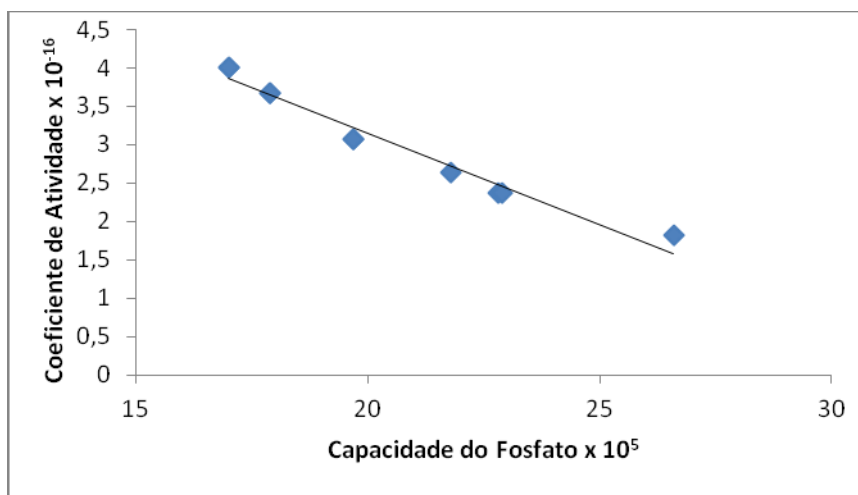


Figura 6. Relação entre coeficiente de atividade e capacidade de fosfato.

Tal tendência apresentado na Figura 6 pode ser explicado devido à presença de óxidos básicos na escória que reduzem a atividade do  $P_2O_5$ , sendo tal redução favorável a desfosforação. Assim como um alento na capacidade de fosfato propiciando uma melhor desfosforação (Figura 5). Desta forma a Figura 6 vem confirmar tais fenômenos.

## 5 CONCLUSÕES

Apesar dos resultados previstos por autores estimarem uma basicidade acima de 1 para uma desfosforação apreciável, com os resultados obtidos é possível concluir que uma basicidade em torno de 0,65 pode representar uma redução no teor de fósforo do gusa superior a 50% (Figura 4).

Com referencia ao parâmetro de partição, era esperado valores para a partição real menor que na de equilíbrio, o que se comprovou em 80% das corridas que demonstraram uma boa relação de partição, com o real próximo do valor de equilíbrio. O que também demonstra que o tratamento de gusa em panela para a redução do teor de gusa no metal, apesar de demonstrar excelentes resultados ainda pode se melhorado segundo as condições termodinâmicas.

Uma outra verificação pertinente é a atividade do fosfato em relação a capacidade de fosfato, onde quanto maior a capacidade de fosfato, menor a atividade do  $P_2O_5$  o que foi verificado segundo a análise bibliográfica pertinente.

Desta forma verifica-se que o estudo termodinâmico do processo de desfosforação de gusa em panela aponta para resultados equivalentes ou melhores de processo real já aplicado com eficácia na Siderúrgica Ibrarçu, onde análises posteriores poderão alcançar melhores teores de redução de P no gusa, agregando valor ao material e indo de acordo com as tendências de mercado futuros.



## REFERÊNCIAS

- 1 HINO, Y.; KIKUCHI, N.; NABESHINA, S.; TAKEUCHI, S. Effect of iron oxide feeding rate and hot metal temperature on dephosphorization rate in torpedo car. **ISIJ International**, 827-834, 2005.
- 2 BANNENBERG, N.; LACHMUND, H. Metallurgical procedures to achieve very low phosphorus contents. La Revue de Metallurge, CIT, Julho-Agosto, (1994).
- 3 SOBANDI, A.; KATAYAMA, H. G.; MOMONO, T. Activity of Phosphorus Oxide in CaO–MnO–SiO<sub>2</sub>–PO<sub>2,5</sub>(– MgO,Fe<sub>2</sub>O) Slags. **ISIJ INTERNATIONAL**, v. 38, n. 8, p. 781-788, (1998).
- 4 MUKAWA, S.; MIZUKAMI, Y. “Effect of Stiring Energy and Rate of Oxigen Supply on the Rate of Hot Metal Dephosphorization”. **ISIJ INTERNATIONAL**, v. 35, n.11, p. 1374-1380, (1995).
- 5 BASU, Somnath; Fukushima,H and Seshadri Seetharaman,A. Model for activity coefficient of P<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in BOF Slag and phosphorus Distribution between liquid Stel and Slag. **ISIJ INTERNATIONAL**, v.47, n.8, p. 1236-1238, (2007).
- 6 PIRES, J. C. Análise Termodinâmica e Avaliação Experimental da Formação de Inclusões em Aços de Baixo Carbono ao Longo das Etapas de Elaboração e Solidificação no Lingotamento Contínuo. **TESE DE DOUTORADO**, UNICAMP. Campinas, (2004).
- 7 FORLAND, T.; GRJOTHEIM, K. Thermodynamics of Slag-Metal Equilibrium. **METALLURGICAL TRANSACTIONS B**, Warrendele, v. 22B, p. 333-338, Junho, (1991).