

Estudo da Partição do Fósforo no Refino Primário de Aços em Fornos Elétricos a Arco

Mariana Boger Netto; Rodolfo A. M. de Almeida; Wagner V. Bielefeldt; Antônio C. F. Vilela.

1. INTRODUÇÃO

A redução de teores de fósforo no aço é uma grande exigência que deve ser atendida pela indústria siderúrgica. O fósforo é um elemento crítico na produção de aços, pois age como um poderoso endurecedor por solução sólida, resultando em efeitos prejudiciais como a fragilidade a frio, redução da resistência ao choque e redução de tenacidade (efeitos que se acentuam com o aumento do teor de carbono). Sendo assim, uma das operações mais importantes no refino dos aços é a remoção do fósforo, chamada desfosforação.

Para esse processo, é requerida uma boa interação entre o metal e a escória (já que as reações ocorrem nessa interface). Uma escória favorável à desfosforação deve ter elevada basicidade, (ou seja, alto teor de CaO), mas baixa viscosidade. A agitação do banho e as matérias primas empregadas também são aspectos importantes neste processo.

Uma forma de se medir a eficiência da desfosforação é através do coeficiente de partição do fósforo (Lp). Esse coeficiente é definido na equação 1, sendo (%P) o fósforo retido na escória e [%P] o fósforo existente no aço - quanto maior é o coeficiente de partição, maior é a desfosforação do banho metálico.

$$L_p = \frac{(\%P)}{[\%P]} \quad (1)$$

Existem modelos matemáticos para o cálculo do Lp desenvolvidos por diversos autores, baseados em dados de composição química e temperatura. O objetivo principal deste trabalho é a avaliação de dados industriais de um forno elétrico a arco, através da comparação entre o Lp real (calculado através da definição) com o Lp calculado por diferentes modelos, interpretando eventuais desvios.

2. METODOLOGIA

Dados utilizados: composição química do aço e escória de 180 corridas de um padrão de carga específico de uma planta siderúrgica. Foram realizadas simulações termodinâmicas utilizando o software FactSage versão 6.4 para calcular a composição química da fração líquida da escória, que é a responsável pela desfosforação. A temperatura usada foi de 1600°C. Após um estudo bibliográfico, foram escolhidos 6 modelos matemáticos para cálculo de Lp que foram usados para posterior comparação com o Lp real.

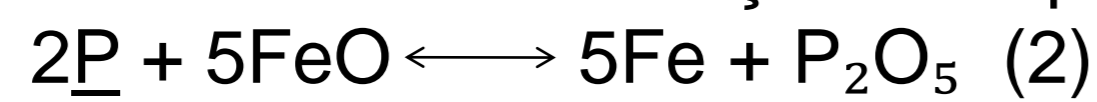
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 1 mostra os autores escolhidos e seus respectivos modelos.

Tabela 1: Modelos selecionados para o cálculo de Lp.

Modelo	Fórmula do Modelo
Healy (1970)	$\log \frac{(\%P)}{[\%P]} = -16 + \frac{22350}{T} + 2,5 \log(\%T.Fe) + 0,08(\%CaO \pm 0,4)$
Suito (1985)	$\log \frac{(\%P)}{[\%P](T.Fe)^{5/2}} = 0,072[(\%CaO) + 0,3(\%MgO) + 0,6(\%P_2O_5) + 0,6(\%MnO)] + \frac{11570}{T} - 10,52$
Toshi Emi (2000)	$\log \frac{(\%P)}{[\%P]} = 0,014(\%CaO) - 0,029(\%SiO_2) - 0,031(\%MnO) - 0,01(\%FeO) + \frac{16330}{T} - 6,172$
Ide (2000)	$\log \frac{(\%P)}{[\%P]} = \frac{10730}{T} + 4,11 \log(\%CaO + 0,15(\%MgO) - 0,05(\%FeO)) + 2,5 \log(FeO) + 0,5(\%P_2O_5) - 13,87$
Tata (2007)	$\ln \frac{(\%P_2O_5)}{[\%P]} = \frac{20254}{T} + 0,3638 \ln(\%FeO) - 0,0499(\%MgO) - 6,299$
Assis (2012)	$\log \frac{(\%P)}{[\%P](T.Fe)^{5/2}} = 0,068[(\%CaO) + 0,42(\%MgO) + 1,16(\%P_2O_5) + 0,2(\%MnO)] + \frac{11570}{T} - 10,52$

Esses modelos foram obtidos a partir da regressão múltipla de dados de escórias laboratoriais, assumindo que a escória estaria na condição de equilíbrio descrita pela equação 2.



Utilizando essas equações, foram calculados os coeficientes de partição de fósforo das amostras. Esses valores foram plotados em gráficos que os relacionam com o Lp real. As figuras 1-6 mostram esses gráficos para os modelos de Healy, Suito, Toshi Emi, Ide, Tata e Assis, respectivamente.

Para o modelo de Healy (figura 1), a porcentagem de CaO da escória deve ser maior que 24%, pois verificou-se que escórias com porcentagem de CaO mais baixas tornam a atividade de outros óxidos (como o P_2O_5) predominantes. Ao utilizar esse modelo para o cálculo do Lp dos dados industriais, se observou que ele é efetivo quando o Lp é baixo, mas se distancia da realidade de acordo com o aumento do Lp. O coeficiente angular da reta, igual a 4,62, mostra que esse modelo não seria adequado para prever o comportamento da escória.

Suito (figura 2) obteve um modelo que calcula o coeficiente de partição levando em consideração outros óxidos contidos na escória que também interferem na eficiência da desfosforação. Esse modelo obteve uma equação da reta com um coeficiente angular um pouco maior (4,85), também inadequado para prever o Lp. A razão para a obtenção desse resultado é que as escórias utilizadas no estudo de Suito tinham porcentagem de CaO consideravelmente

mais baixas que os dados recebidos para o presente estudo. Sabendo que esse óxido é o que tem maior peso na equação de Suito, é compreensível o motivo pelo qual o coeficiente de partição calculado por esse modelo resultou em valores tão altos.

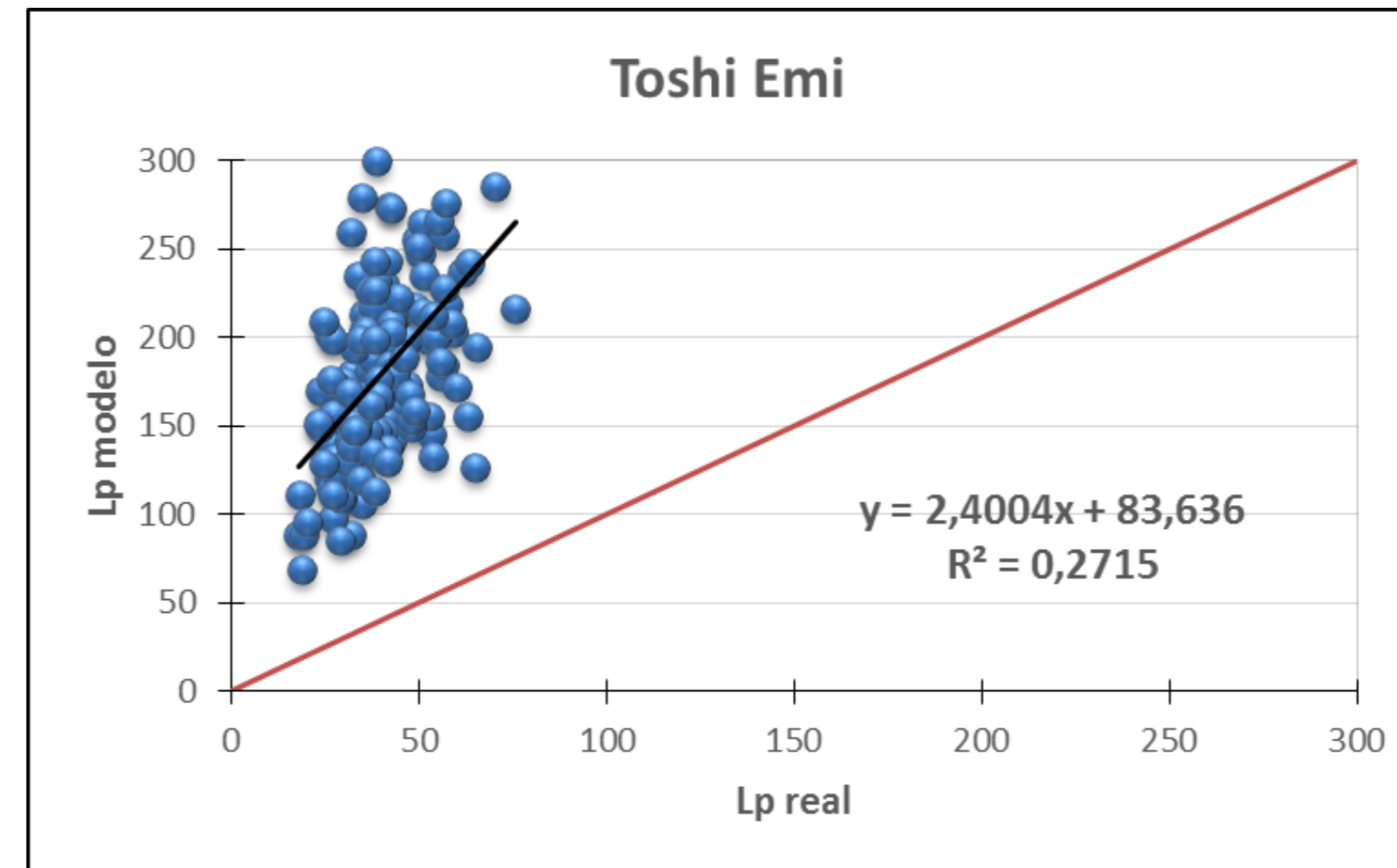


Figura 3: Relação entre Lp Toshi Emi e Lp real.

Ide (figura 4) usou como base a equação de Suito para criar um modelo matemático que se adequasse melhor a escórias de um conversor. O coeficiente angular obtido foi considerado satisfatório, sendo de 1,94. O termo independente mostra que os pontos estão deslocados, em média 14,21 unidades do coeficiente de partição de fósforo real. Dentre os modelos estudados, o de Ide é um dos que mais se aproxima desse coeficiente.

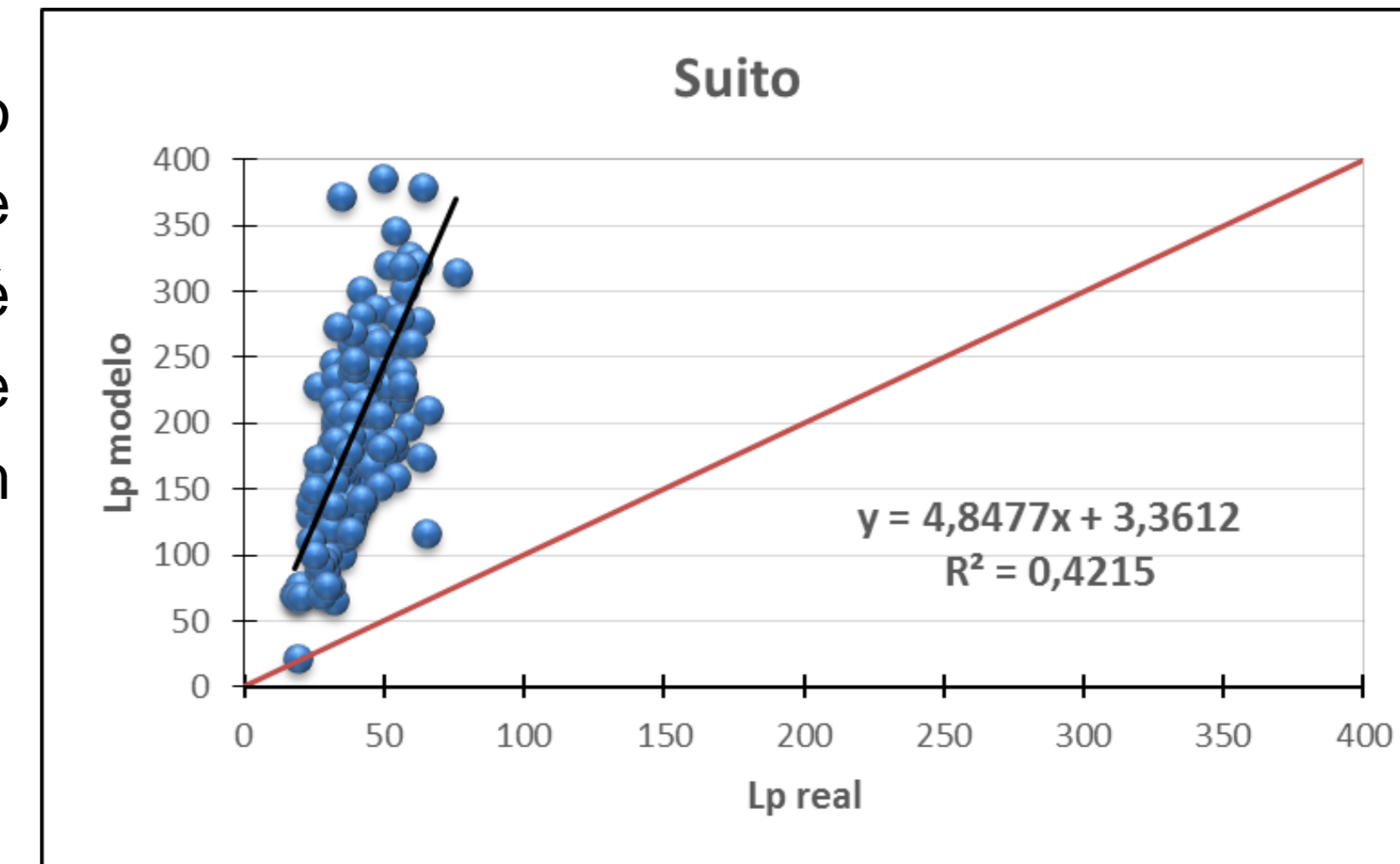


Figura 2: Relação entre Lp Suito e Lp real.

O modelo de Toshi Emi (figura 3) não deve ser aplicado para escórias com porcentagem de FeO abaixo de 20%. Esse modelo obteve coeficiente angular melhor que os outros modelos (2,4), mas coeficiente linear considerado alto, deixando os pontos distantes do Lp real.

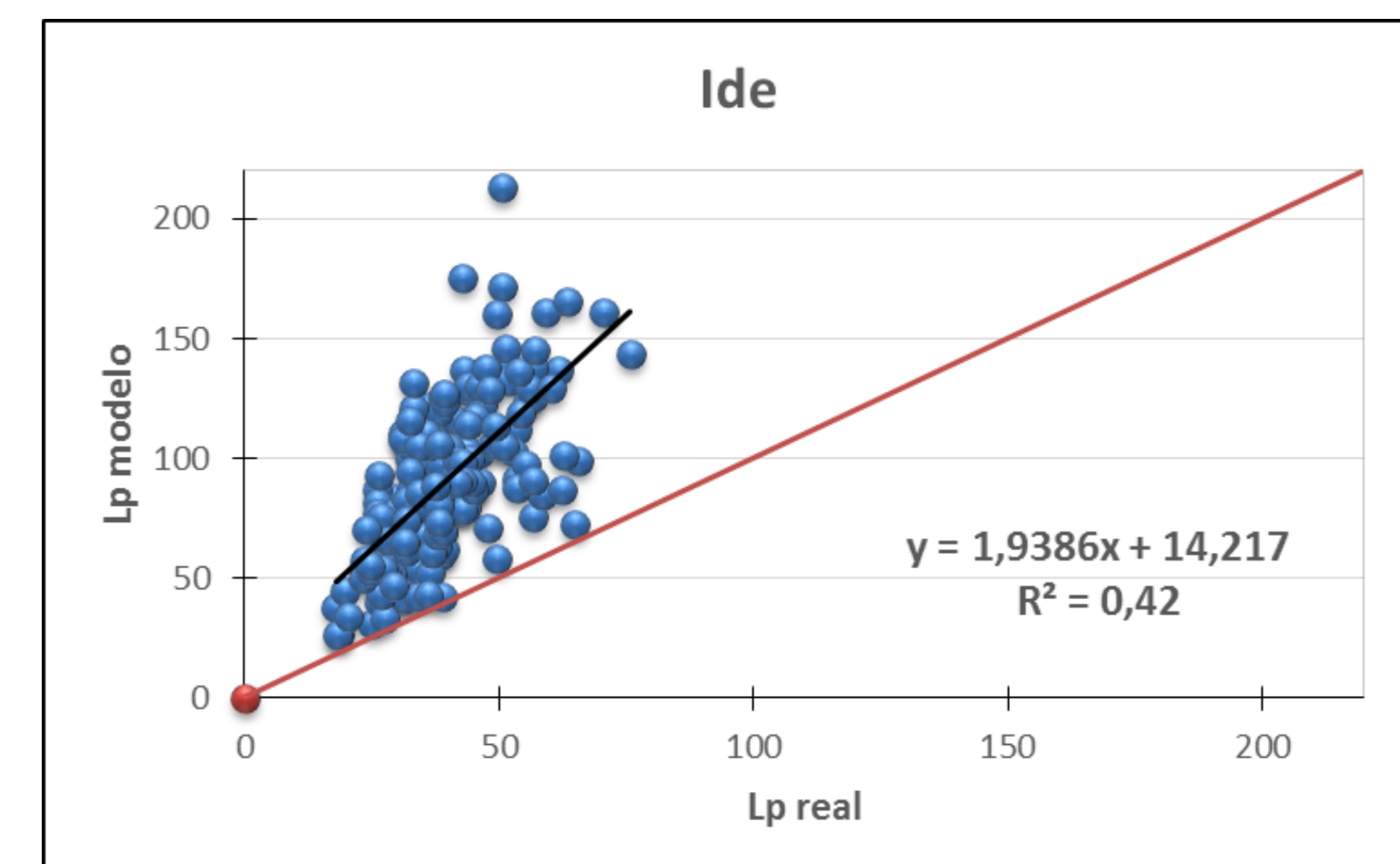


Figura 4: Relação entre Lp Ide e Lp real.

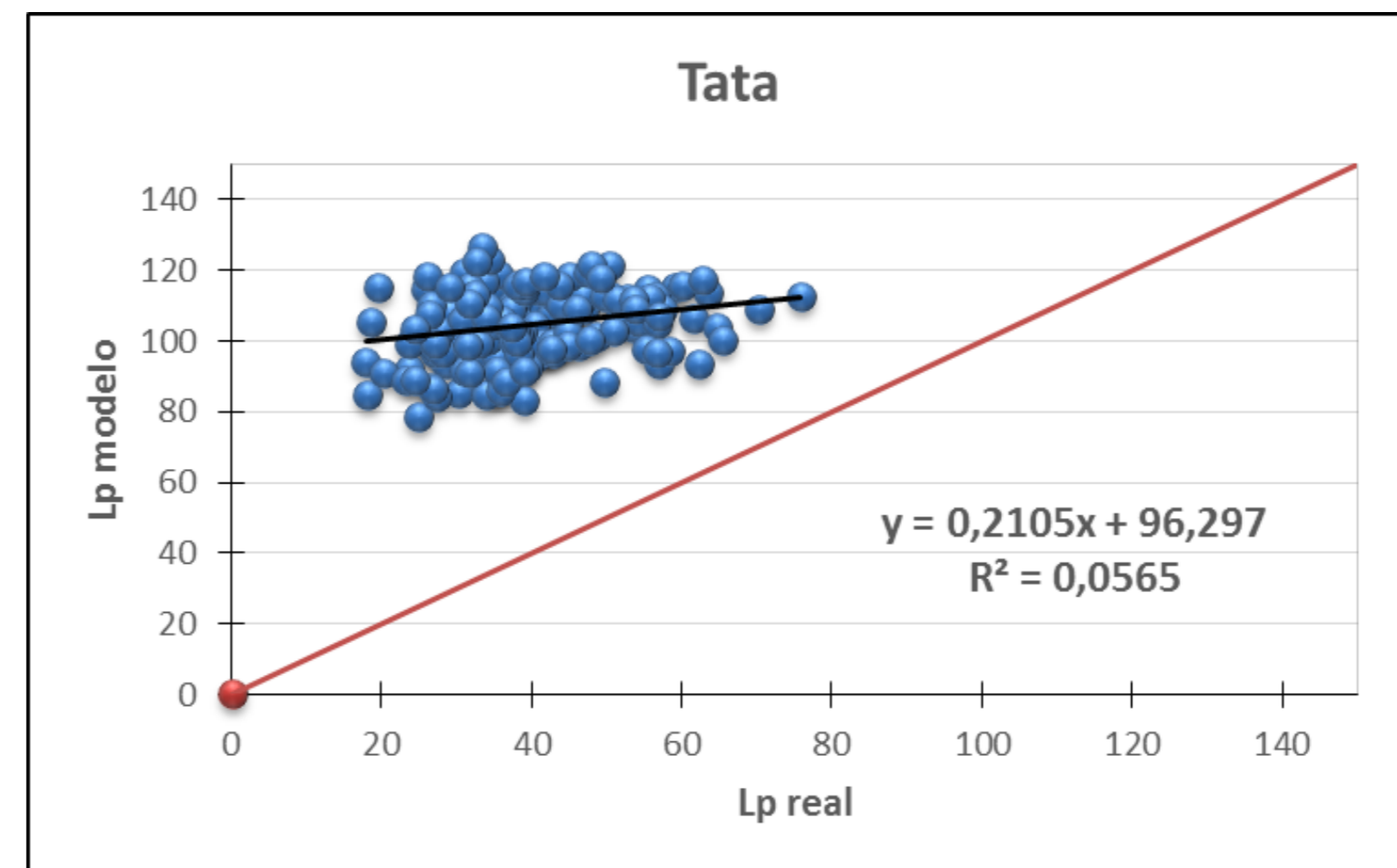


Figura 5: Relação entre Lp Tata e Lp real.

Tata (figura 5) obteve um modelo matemático onde somente a temperatura e os teores de FeO e MgO são parâmetros significativos. O coeficiente angular resultante foi mais próximo a 1 (0,21), mas o termo independente obtido foi bastante alto (96,3), motivo pelo qual os pontos ficaram tão distantes da realidade. Com um simples ajuste na equação do modelo, seria possível utilizá-lo para calcular o Lp das escórias dessa planta siderúrgica com uma aproximação razoável.

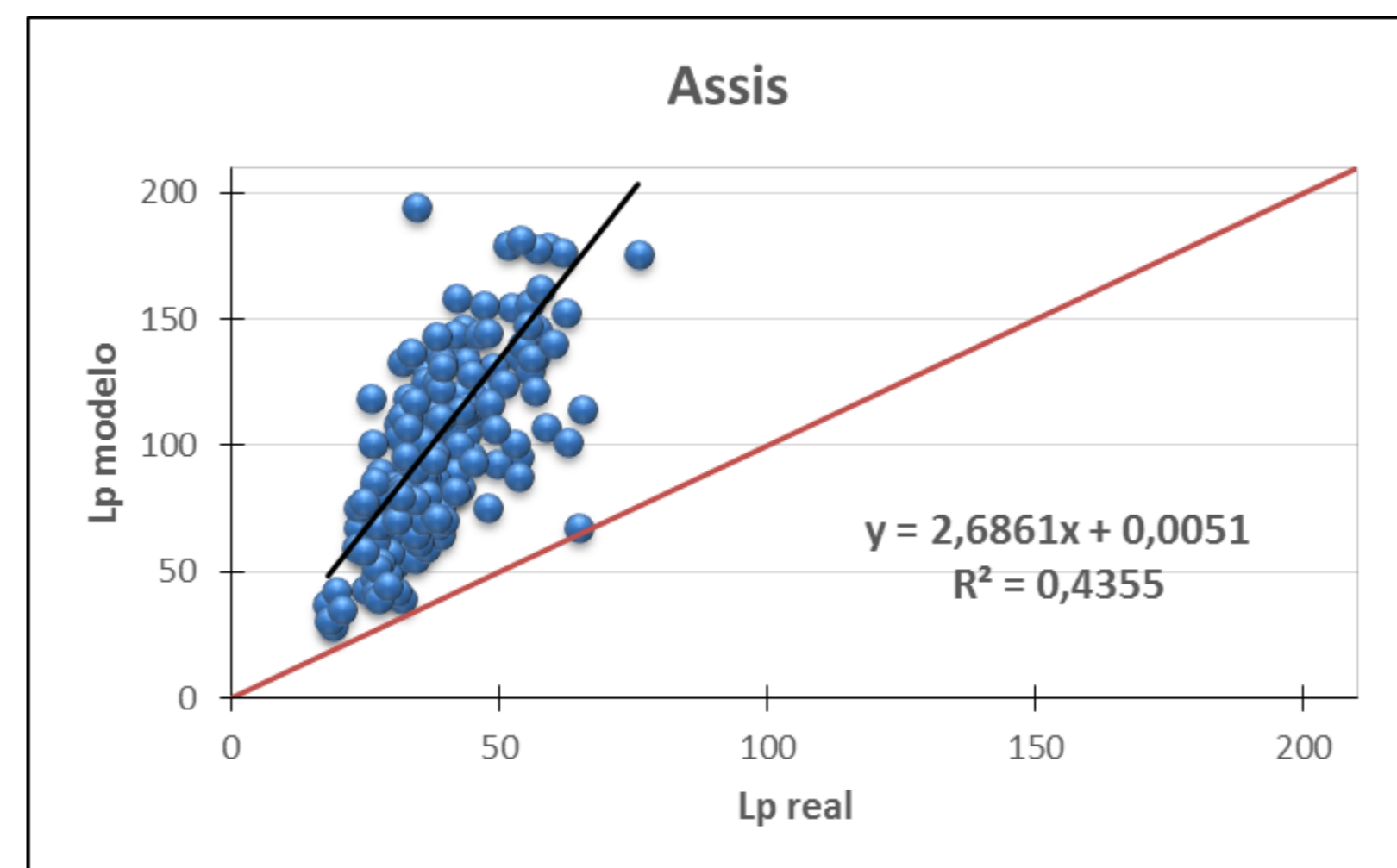


Figura 6: Relação entre Lp Assis e Lp real.

Assis (figura 6) também se baseou no modelo de Suito. O resultado foi a obtenção de um coeficiente angular menor (2,69), mas ainda alto para que possa ser utilizado para prever o Lp de forma eficiente. Esse resultado é devido ao coeficiente do CaO na equação, que foi diminuído (com relação à equação de Suito) em 0,004.

Como consideração final, salienta-se que há vários fatores que justificam o afastamento dos pontos com relação à reta que corresponde à igualdade entre o Lp real e o calculado, como:

- O coeficiente de partição de fósforo deduzido pelos autores assume que a escória estaria em uma condição de equilíbrio químico descrita pela equação 2, mas dificilmente as escórias retiradas estariam nessa condição;
- Os modelos foram obtidos a partir de escórias laboratoriais, onde se tem um maior controle sobre os parâmetros;
- A temperatura utilizada em todos os cálculos nesse trabalho foi de 1600°C, mas não se sabe a que temperatura as amostras foram realmente coletadas;
- A porcentagem de CaO presente nas escórias estudadas pelos autores é menor que a porcentagem dos dados utilizados, justificando a grande discrepância dos valores.

4. CONCLUSÕES

A partir dos estudos realizados, concluiu-se que os melhores modelos encontrados são dos autores Ide e Tata, por terem coeficientes angulares obtidos mais próximos a 1. Porém, ambos ainda precisariam de ajustes para que fossem utilizados para o cálculo do coeficiente de partição do fósforo, principalmente devido ao coeficiente linear obtido através dos pontos.