

# EVOLUÇÃO OPERACIONAL DOS PROCESSOS METALÚRGICOS PRIMÁRIOS NA ACERÍAS PAZ DEL RIO - COLÔMBIA<sup>1</sup>

*Carlos Olmedo Pastás Hernandez<sup>2</sup>  
Carlos Fernando Florez Orozco<sup>3</sup>  
Fernando Tadeu Pereira de Medeiros<sup>4</sup>  
Javier Milciades Ramirez Fonseca<sup>5</sup>  
Mauro Henrique da Silva Araújo<sup>6</sup>  
Octavio Salvador Izasa Tobías<sup>7</sup>*

## **Resumo**

Acerías Paz del Rio S.A é uma empresa siderúrgica baseada na Colômbia. Seu objetivo é a obtenção e comercialização de produtos e subprodutos siderúrgicos. A localização da usina, cercada de minas de minério de ferro, carvão e calcário, no topo da Cordilheira Central dos Andes Colombianos, impõe o uso exclusivo de minerais locais, independente de suas características químicas e metalúrgicas. Nest contribuição técnica são apresentadas as dificuldades que defrontam Acerías Paz del Rio e como essas vem sendo resolvidas a caminho do sucesso operacional.

**Palavras-chave:** Siderurgia; Minério de ferro; Coqueificação; Sinterização.

## **OPERATIONAL EVOLUTION IN PRIMARY METALURCAL PROCESSES AT ACERIAS PAZ DEL RIO - COLOMBIA**

## **Abstract**

Acerías Paz del Rio S.A is a Colombia-based company active in the iron and steel industry. Its objective is obtaining and commercially distribute steel products and by products. The site, surrounded by coal, iron ore and limestone, on top of Central Colombian Andes, demands the sole use of local materials, no matter their chemical and metallurgical characteristics. The present paper shows the difficulties faced by Acerías Paz del Rio how it is coping with them in its road to operational success.

**Key words:** Ironmaking; Iron ore; Cokemaking; Sintering.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 39º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 10º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 22 a 26 de novembro de 2009, Ouro Preto, MG.*

<sup>2</sup> *Director de Alto-Horno, Acerías Paz del Rio*

<sup>3</sup> *Ingeniero de Sinterización, Acerías Paz del Rio*

<sup>4</sup> *Professor Associado, Universidade Federal Fluminense*

<sup>5</sup> *Director de Coqueria, Acerias Paz del Rio*

<sup>6</sup> *Especialista Cooperativo em Coqueificação, Votorantim Siderurgia*

<sup>7</sup> *Director de Sinterización, Acerias Paz del Rio*

## 1 INTRODUÇÃO

Acerías Paz del Rio S.A (APDR) é uma empresa siderúrgica baseada na Colômbia. O objetivo da empresa é a obtenção e comercialização de produtos e subprodutos siderúrgicos. Sua usina é localizada em Belencito, Departamento de Boyacá, 220 km ao norte de Bogotá, no topo da Cordilheira Central, 2600 m acima do nível do mar.

Duas baterias de coque, uma vertical e outra horizontal, produzem coque a partir de carvões locais. Uma máquina de sinter de 68 m<sup>2</sup> de área útil e um alto-forno de 680 m<sup>3</sup> de volume de interno, operam com minério de ferro e calcário próprios. Esse conjunto de equipamentos está em operação desde 1954 produzindo gusa consistentemente a partir de minerais particularmente difíceis. O teor de ferro no minério flutua em torno de 45% enquanto o carvão disponível é majoritariamente altovolátil. A localização da usina, cercada de minas de minério de ferro, carvão e calcário, no topo da Cordilheira Central dos Andes Colombianos, impõe o uso exclusivo de minerais locais, independente de suas características químicas e metalúrgicas. Apesar de extremas das diversidades impostas pela mineralogia do minério e a carência de diversidade de carvões, os padrões operacionais vem evoluindo continuamente. Desde a incorporação da empresa pelo Grupo Votorantim, em março de 2007, novas e desafiadoras metas tem feito os especialistas da empresa e de sua controladora assumirem novos desafios e buscar soluções em um ambiente adverso mas cheio de oportunidades para o desenvolvimento tecnológico.

O objetivo dessa contribuição técnica é o de apresentar as dificuldades que defrontam Acerías Paz del Rio e como vem sendo resolvidas a caminho do sucesso operacional.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Van Houten<sup>(1)</sup> descreve a formação de minério de ferro oolítico na Concentração Terciária inferior da Colômbia como um episódio único de sedimentação química que parece anômala na sucessão de sedimentos essencialmente não-marinhos. A camada de minério em arenito basal tem de 2 a 20 m de espessura e 20 km de extensão. A goetita vermelha contém em torno de 45% de Fe e a siderita-chamonita, 35 a 40 % de Fe. O minério de ferro usado até início de 2007 na Colômbia tem essa origem e sua composição média se apresentava como visto na Tabela 1. A umidade típica é de 4,5% e o índice de perdas por calcinação 11%.

**Tabela 1.** Composição média do minério de ferro de Paz de Rio (%)

Fe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	FeO	P	S	Mn	Zn	álcalis
46,2	11,0	5,6	2,9	0,5	21,6	1,1	0,09	0,14	0,07	0,20

Fonte: relatórios internos 2006

O minério tem um *split* granulométrico natural de 60% grosso e 40% fino, gerando um sinter cuja composição química na época citada pode ser verificada na Tabela 2.

**Tabela 2.** Composição média do sinter produzido pela APDR (%).

Fe	SiO <sub>2</sub>	CaO	FeO	P	S	Zn	álcalis
40,7	11,4	23,5	18,7	1,1	0,12	0,08	0,26

Fonte: relatórios internos 2006

A resistência do sínter é acompanhada pela estabilidade ASTM e vinha apresentando valores em torno de 73.

A coqueria, em operação desde 1954, consiste de quatro seções: manuseio de carvões Bateria nº 2 (convencional), usina de carboquímicos e bateria de fornos soleira. A Bateria nº 1 está desativada e a nº 2, com 57 fornos, construída em 1973, usa também máquinas da anterior. A bateria horizontal tem 32 fornos.

Do volume de carvões recebido, aproximadamente 60% são lavados (em Paz de Ríó, próximo à usina) e 40% limpos de origem. Os carvões que procedem de Paz de Ríó são recebidos por via férrea. Os limpos, das minas de Samacá y Cundinamarca chegam em caminhões diretamente nos pátios da Coqueria.

Os principais produtos carboquímicos, além do gás de coqueria, são: alcatrão, sulfato de amônio, naftaleno e piche. A coqueria consome 40% do gás que produz.

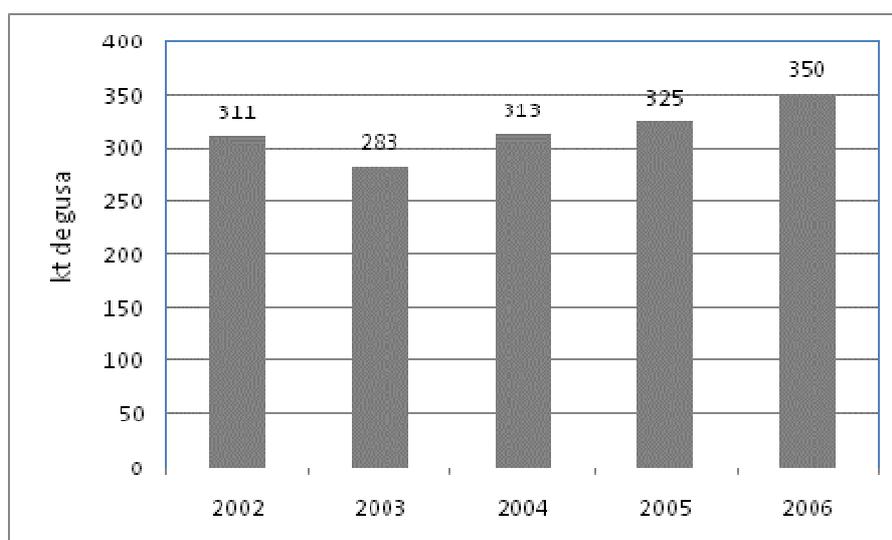
**Tabela 3.** Características do coque originalmente produzido pela APDR (%)

Cinzas	MV	S	P	umidade	estabilidade	dureza	shatter
9,9	0,7	0,73	0,06	1,5	62,1	73,3	78,4

Fonte: relatórios internos 2006

O único alto-forno na usina tem 5,94 m de diâmetro de cadinho, 7,4 de m de diâmetro de ventre 7,4 m e 5,1 m de diâmetro de goela. O volume de trabalho é de 689 m<sup>3</sup>. São 12 ventaneiras que operam com sopro de 87 dam<sup>3</sup>/hora. A temperatura de projeto do sopro, aquecido em três regeneradores é de 850°C, porém o valor operacional tem sido bem mais baixo devido ao desgaste da câmara de empilhamento. Dois ffuros de escória são necessários para escoar em torno de 1.000 kg/t de gusa. Com um furo de gusa, o numero de corridas diário era de 6. Tem sido praticada a injeção de gás natural a taxas de 50 m<sup>3</sup>/t de gusa e um enriquecimento do sopro com oxigênio em torno de 3%. Há ainda 2 sopradores secundários, com capacidades de 72 dam<sup>3</sup>/hora e 45 dam<sup>3</sup>/hora. A pressão de sopro de trabalho é da ordem de 1,5 bar.

O carregamento é feito por 2 *skips* de 4,1 m<sup>3</sup>, alimentados por carro-balança. O topo, operando com pressão de 0,3 bar, é de duplo cone, sem sistema de distribuição de carga. Apenas o coque é peneirado imediatamente antes do carregamento.



Fonte: Relatórios internos

**Figura 1.** Evolução da produção de gusa na APDR.

No ano de 2006 a composição média do gusa foi a apresentada na Tabela 4.

**Tabela 4.** Composição média do gusa produzido pela APDR em 2006 (%)

C	Si	P	Mn
3,60	0,79	2,41	0,23

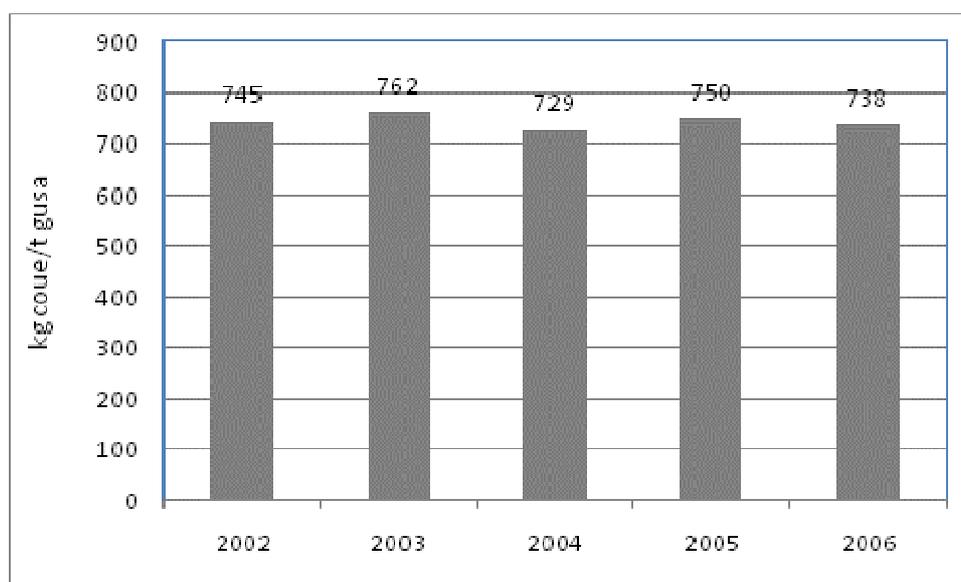
Fonte: relatórios internos

A escória, em 2006 teve a composição média com vista na Tabela 5

**Tabela 2.** Composição média do sinter produzido pela APDR (%)

CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	S	Fe	álcalis
43,5	35,6	16,9	1,4	0,93	0,35	5,3

Fonte: relatórios internos 2006



Fonte: Relatórios internos

**Figura 2.** Evolução do consumo específico de coque no alto-forno da APDR.

A partir do primeiro trimestre de 2007, após a compra da empresa pelo Grupo Votorantim, foram elaborados planos operacionais para unidades de sinterização de minérios de ferro e altos-fornos siderúrgicos visando obter índices de produtividade de processo e de qualidade do produto compatíveis com os melhores padrões mundiais na mesma classe de dimensões e tecnologia.

As unidades principais da área de metalurgia primária da APDR estavam em boas condições se considerado o longo tempo de vida. Entretanto, alguns aspectos limitam significativamente a operação e os planos futuros de aumento de produção. Dentre esses, o mais crítico para a operação é o conjunto de regeneradores. Durante o um reparo parcial programado e realizado em março e abril de 2008, o Regenerador 1 teve 33 fiadas de seu empilhamento substituídas. O domo do Regenerador 2 foi também refeito. No reparo também foi recomposto o revestimento interno e parte do cadinho do alto-forno. Após os reparos, foi possível obter um aumento temperatura de 650°C contra os 550°C anteriores. De qualquer maneira bem aquém do valor de projeto que era de 850°C.

O conjunto de máquinas da casa de corridas claramente não será capaz de atender à produtividade que se pretende alcançar no futuro próximo. Um acidente de cadinho ocorrido em agosto de 2008 atesta a necessidade de aprimorar as práticas perfuração e fechamento do furo de gusa para proteção da região da capela.

A máquina de sinter não apresentou problemas relevantes, porém vinha operado com camada de proteção de grelha de minério o que trazia dificuldades de controle químico. O sistema de adição de camada de proteção de sinter existia e foi colocado novamente em operação.

Em alguns períodos a moinha de coque utilizada era recuperada de pilhas bastante contaminadas. Os moinhos de calcário e de moinha de coque apresentam claras deficiências. É notável a presença de partículas grossas de cal no sinter. A reforma desses sistemas foi considerada para investimento a médio prazo.

Evidentemente a oportunidade para aumento de produção estava na troca do minério por outros de maior teor de ferro e conseqüente menor demanda específica de coque e de sopro ao volume específico de escoria. Tudo isso acompanhado dos ajustes necessários nos equipamentos e métodos para acompanhar o novo ritmo. Para verificar de imediato os gargalos no sistema foi importado um lote de 250 kt de sinter-feed da Vale, enquanto se estudava a concentração do minério de Paz de Rio ou a abertura de novas minas de minério de maior teor de ferro.

Como ferramenta básica para o desenvolvimento dos planos operacionais foi desenvolvido um modelo do sistema sinterização+alto-forno capaz de gerar o balanço de massa, o balanço térmico e os parâmetros básicos do regime de escoamento gasoso no alto-forno. O balanço térmico passou por um processo de validação à medida que dados estatísticos foram gerados, coletados e analisados.

O modelo do sistema possibilitou introduzir como prática operacional a simulação da operação antes de cada alteração de composição de carga e padrão de sopro. Essa atividade foi fundamental frente aos frequentes ajustes de condições que ocorriam a cada etapa do processo de troca da mistura de minérios, tanto de no alto-forno quanto na sinterização. Com a simulação os ajustes foram feitos a priori e não como resposta ao comportamento do forno. O aumento de produtividade, com esperado, teve forte impacto na casa de corridas levando à necessidade de um melhor controle de programação de corridas e controle do comprimento do furo de gusa.

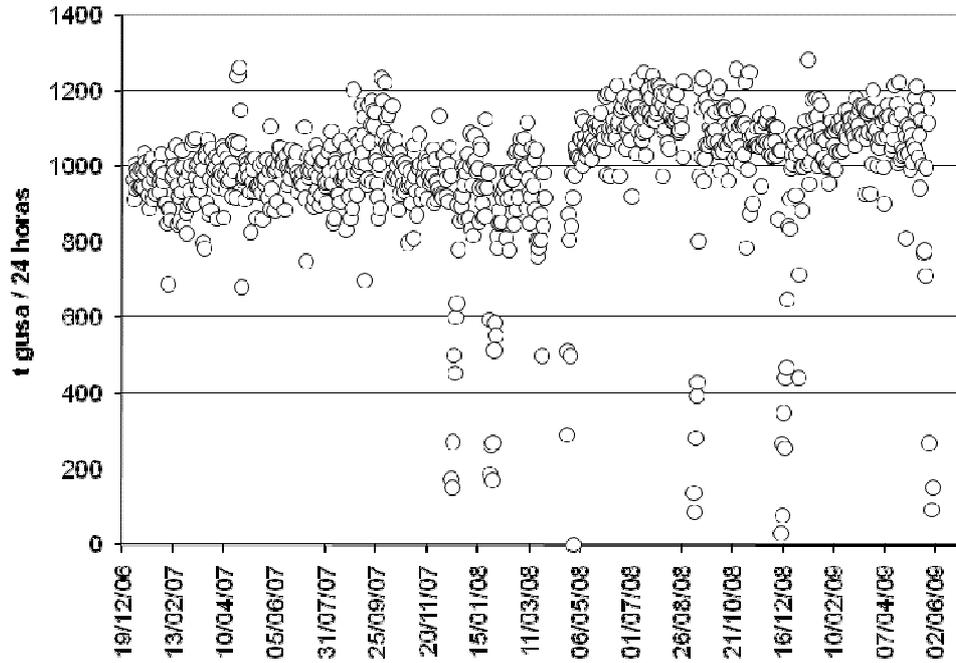
Na sinterização a camada protetora de grelha de minério foi substituída por sinter bitolado. Ao mesmo tempo foram introduzidas técnicas de controle químico na formação das pilhas

Na coqueria, a mistura de carvões foi alterada para maximizar carvões próprios, reduzindo custos e as variações de qualidade do coque.

### **3 RESULTADOS**

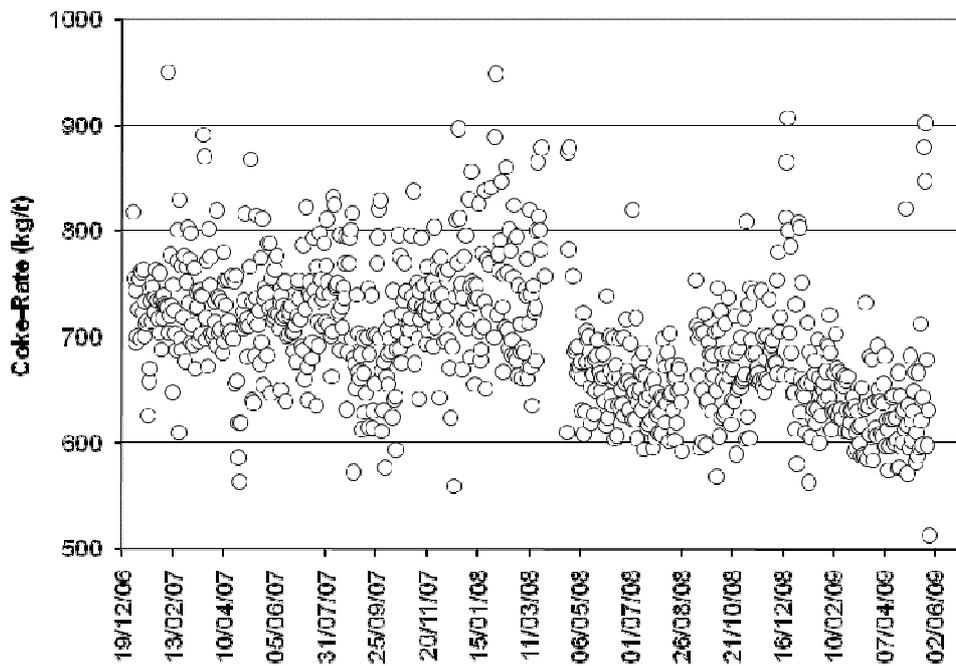
As Figuras de 3 a 5 apresentam a evolução dos resultados da operação do alto-forno da APDR à medida que a carga e a operação foram sendo melhoradas com vistas ao aumento de produção de gusa. As figuras seguintes apresentam relações observadas entre os parâmetros operacionais.

É interessante observar como a dispersão do *coke-rate* decresceu junto com o valor médio como resultado da prática de ajuste prévio das condições operacionais como mencionado no capítulo anterior.



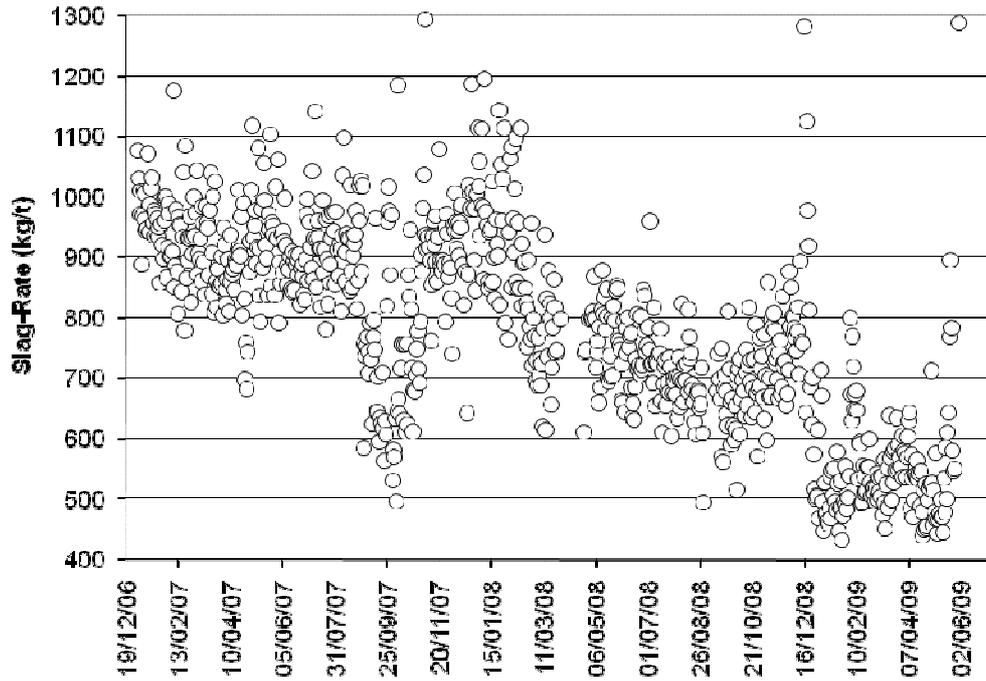
Fonte: Relatórios internos

**Figura 3.** Evolução da taxa de produção do alto-forno da APDR.



Fonte: Relatórios internos

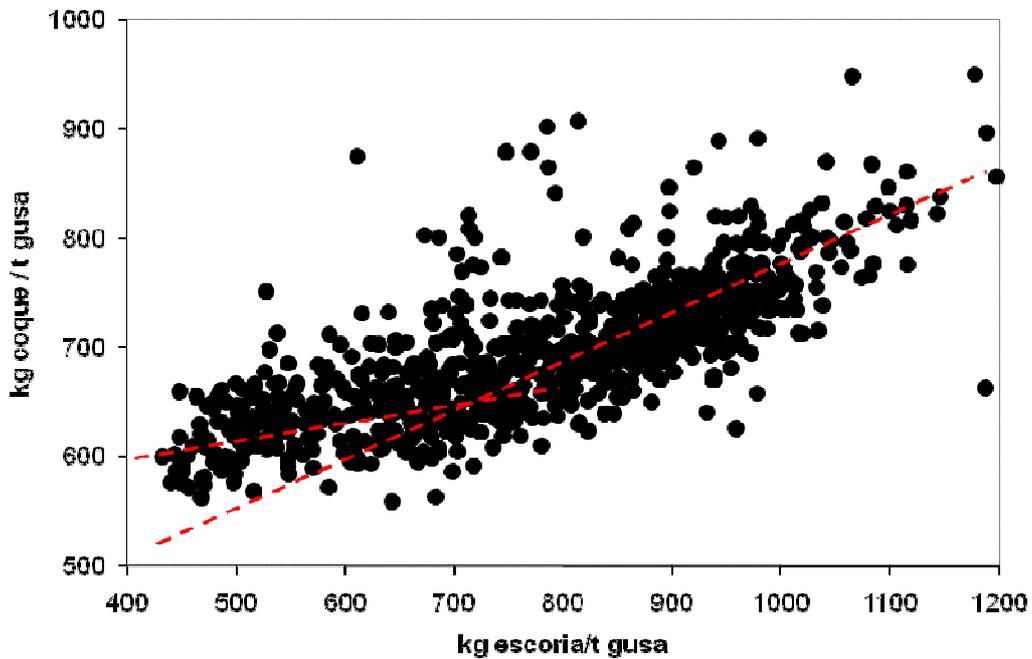
**Figura 4.** Evolução do consumo específico de coque no alto-forno da APDR.



Fonte: Relatórios internos

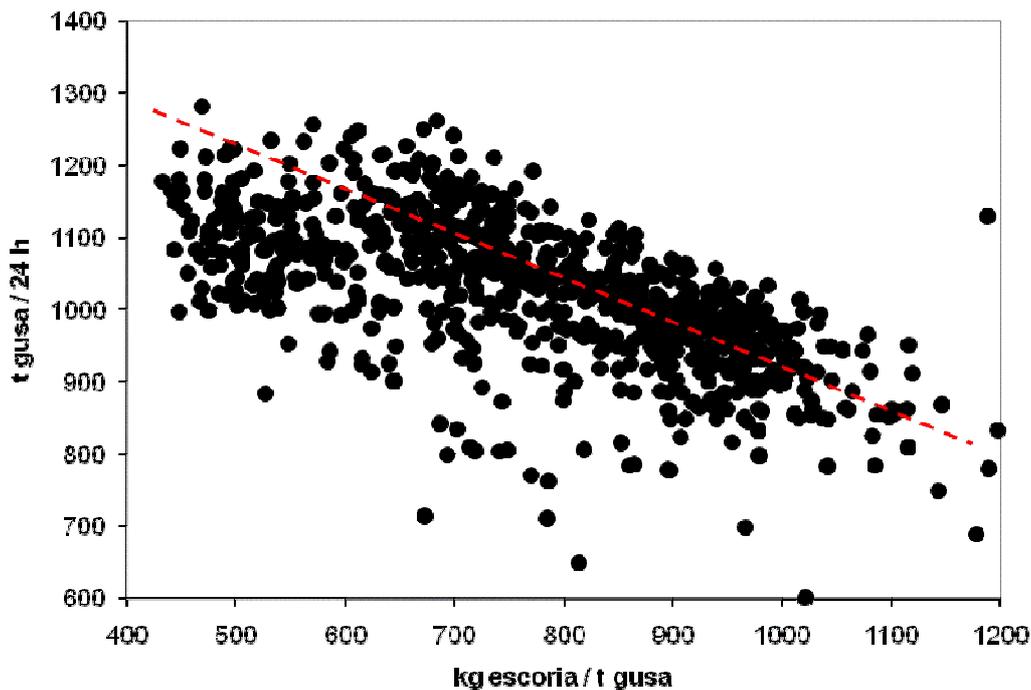
**Figura 5.** Evolução da geração específica de escória no alto-forno da APDR

Ao mesmo tempo que subia o teor de ferro na carga caía o de fósforo, cujo teor no gusa reduziu-se de 2,4 para 1,0%



Fonte: Relatórios internos

**Figura 6.** Relação entre geração de escória e consumo de coque no alto-forno da APDR.



Fonte: Relatórios internos

**Figura 7.** Relação entre produtividade e geração específica de escória no alto-forno da APDR.

## 4 DISCUSSÃO

Os resultados mostram com clareza que uma primeira etapa de melhoria dos processos foi concluída com sucesso. Porém essa etapa se esgota quando os níveis de geração específica de escória, *slag-rate*, atingem valores da ordem de 700 kg/t vindos de níveis de 1.000 kg/ta. A Figura 7 e a Figura 8 mostram que, a partir daí, outros fatores limitam maiores incrementos de produtividade e decréscimos de consumo de redutor. No consumo de coque ainda se observa uma relação com a geração de escória, porém bem mais franca. Para a produtividade essa relação não é percebida.

Na Figura 3 observa-se a perda de continuidade operacional nos níveis de produtividade mais elevados, indicando a pressão imposta ao sistema, principalmente os periféricos, como o trânsito de painéis de gusa, o fornecimento de oxigênio. Falhas de equipamentos foram também mais freqüentes, com a queima de resfriadores dos furos de escória e o sistema de carregamento. Por deficiência de painéis de gusa não foi possível elevar o número de corridas diário de 6 para o valor desejável de 8, forçando o cadinho a trabalhar com nível elevado de gusa. O controle do comprimento do furo de gusa e programa de desenvolvimento de massa de tamponamento foram introduzido com sucesso.

A redução da dispersão do *coke-rate* decresceu junto com o valor absoluto como resultado da prática de ajuste prévio das condições operacionais com base no modelo de simulação.

## 5 CONCLUSÃO

A evolução operacional no sistema produtivo primário da Acerias Paz del Río, na Colômbia apresentou-se de forma clara e continua até o limite do domínio dos fatores ligados à carga e à operação.

A taxa de produção elevou-se de 950 para 1200 t/dia enquanto o consumo específico de coque foi reduzido de 750 a 600 kg/t de gusa. A aciaria beneficiou-se em rendimento metálico e consumo de cal em virtude da queda do teor de fósforo no gusa de 2,5% para 1,0%.

Uma continuação da evolução do desempenho do alto-forno da APDR dependerá, em uma segunda etapa, dos trabalhos da recuperação dos equipamentos acompanhado dos ajustes operacionais necessários. Essa recuperação envolve os sistema de carregamento, o de aquecimento de sopro e de vazamento.

Maior esforço no sentido de baixar o volume de escória será recompensado com menor consumo de coque, mas o aumento da produtividade deverá apenas ser observado na próxima etapa de ajuste operacional, dessa vez ligado aos aspetos de equipamentos.

Os dados levantados foram muito enriquecedores para o conhecimento do processo e oferecem segurança para os próximos passos a serem trilhados.

### **Agradecimentos**

Os autores gostariam de expressar seus agradecimentos à direção da Votorantim Siderurgia e Acerías Paz del Rio pela oportunidade de apresentar esse trabalho e de discutir seus resultados e conclusões com colegas da comunidade siderúrgica mundial.

### **REFERÊNCIAS**

- 1 VAN HOUTEN, F. B. Cenozoic oolitic iron ore, Paz de Rio, Boyaca, Colombia Economic Geology; November 1967; v. 62; no. 7; p. 992-997; DOI: 10.2113/gsecongeo.62.7.992