



## RECICLAGEM DE CAL DE PAINELA NO FORNO ELÉTRICO A ARCO DA ARCELORMITTAL PIRACICABA<sup>1</sup>

Marco Túlio Soares Ferreira Coelho<sup>2</sup>  
José Márcio Garcia de Campos<sup>3</sup>  
Eduardo Aquino do Amaral<sup>4</sup>  
Felipe Terra Elias<sup>5</sup>  
Elvis Granado<sup>6</sup>  
Leandro José Coelho Pereira<sup>7</sup>  
José Alencastro Araújo<sup>8</sup>

### Resumo

Na busca da melhoria contínua em prol de um processo ambientalmente correto, é fundamental o tratamento adequado dos resíduos gerados em processos produtivos. A ArcelorMittal Piracicaba está sempre desenvolvendo alternativas para transformar os resíduos em produtos utilizáveis ou recicláveis – Coprodutos – de forma a preservar o meio ambiente. A Escória de Painela é um resíduo gerado no processo produtivo, que apresenta em sua composição óxidos como o CaO, MgO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, entre outros. Baseado no estudo dos óxidos iniciou-se o trabalho com o objetivo de viabilizar a utilização da escória de painela no Forno Elétrico a Arco (FEA). Após tratamento e beneficiamento da escória de painela, esta é transformada em Coproduto e recebe o nome de Cal de Painela. Foi elaborado um Programa de Experiência para utilizar a Cal de Painela no FEA, à partir dos resultados do experimento, foi realizada a análise do processo com foco na aplicabilidade deste Coproduto no processo produtivo e os efeitos de sua utilização. Foi realizado um comparativo entre adições padrões no FEA (Cal Calcítica + Dolomítica) versus a utilização de Cal Calcítica + Dolomítica + Cal de Painela. Os resultados alcançados proporcionaram economia de Cal Calcítica e redução de custo. A prática de reciclagem da Cal de painela no FEA é hoje uma realidade na ArcelorMittal Piracicaba, atingindo bons resultados com esta alteração de Processo.

**Palavras-chave:** Escória de painela; Escória do FEA; Reciclagem; Coprodutos.

## RECYCLE OF LADLE SLAG INTO THE ELECTRIC ARC FURNACE IN ARCELORMITTAL PIRACICABA

### Abstract

In search of continuous improvement towards an environmentally correct process, it is essential to the proper handling of waste generated in productive processes. ArcelorMittal Piracicaba always seeks to develop alternatives for the application of its by-products in order to preserve the environment. The Ladle Slag is a residue generated in the process, that has in the chemical composition the oxides CaO, MgO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, between others. Based on the study of the oxides, started a work to develop the use of Ladle Slag in the Electric Arc Furnace. After benefit the Ladle Slag is transformed into by-product and receives the name Cal de Painela. Were done an Experiment Program to use the Cal de Painela into the Electric Arc Furnace, from the experiment results, we were able to realize the Process Analyses, focus on the applicability of this by-product in the Productive Processes and its effects. Were realized a compare between the use of standard additions in Electric Arc Furnace (Lime and Dololime) versus the Lime + Dololime + Cal de Painela. The practice of recycling of Cal de Painela in the Electric Arc Furnace is today a reality in ArcelorMittal Piracicaba, achieving reduction of lime consumption and reduce costs. Were prepared studies of applicability of this by-product in the productive process, influence in the Slag of Electric Arc Furnace and the performance of the steel mill. We can demonstrate the good results obtained with this change process.

**Key words:** Ladle slag; EAF Slag; Recycling; By-products.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 42º Seminário de Aciaria – Internacional, 15 a 18 de maio de 2011, Salvador, BA, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheiro Metalurgista. Engenheiro de Processos de Aciaria. ArcelorMittal Piracicaba

<sup>3</sup> Técnico Metalurgico. Analista de Processos e Qualidade da Aciaria. ArcelorMittal Piracicaba

<sup>4</sup> Engenheiro Metalurgista. Gerente de Área de Produção de Aciaria. ArcelorMittal Piracicaba

<sup>5</sup> Engenheiro Metalurgista. Engenheiro de Processos de Aciaria. ArcelorMittal Piracicaba

<sup>6</sup> Administrador. Analista de Aciaria. ArcelorMittal Piracicaba.

<sup>7</sup> Técnico Químico. Supervisor de Pátio de Metálicos. ArcelorMittal Piracicaba

<sup>8</sup> Engenheiro Mecânico. Especialista de Meio Ambiente. ArcelorMittal Piracicaba



## 1 INTRODUÇÃO

A ArcelorMittal Piracicaba, pertencente ao maior grupo siderúrgico do Mundo, tem o objetivo de ser reconhecida como uma empresa que cuida do meio ambiente sendo ambientalmente correta.

A Aciaria Elétrica da ArcelorMittal Piracicaba possui capacidade produtiva de 1.000.000,00 toneladas de tarugos, destinados à produção de barras para a construção civil. Com a produção de aço, também há a geração de resíduos, que após processamento se transformam em Coprodutos.

Desde o star up da Aciaria da ArcelorMittal Piracicaba em junho de 2004, utiliza-se Cal Calcítica e Cal Dolomítica como adições (escorificantes) no FEA. Após estudos realizados, identificou-se um potencial de utilizar um outro fundente no FEA. A escória gerada nas painelas, após ser beneficiada, recebe o nome de Cal de Painela e esta apresenta características importantes que a elevam à categoria de fundente para adição no Forno Elétrico a Arco.

O objetivo do trabalho foi desenvolver a aplicação da Cal de Painela no FEA para atender as necessidades de se ter um processo ambientalmente correto, através do uso de um fundente disponível no próprio processo produtivo e atingir bons resultados na taxa de desfosforação e espumação da escória do FEA.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Escória de Painela

A escória de painela é gerada no processo de refino secundário do aço e tem a função de proteger o aço contra o ar ambiente, flotar as inclusões, promover as reações químicas na interface entre aço e escória e transferir calor dos eletrodos para o aço líquido.

O aço ao ser processado no Forno Painela vai para a máquina de Lingotamento Contínuo onde o aço é lingotado. Após o lingotamento, o que sobra no fundo da painela é escória e um pouco de aço, estes são então basculados em um pote de escória. A escória é então basculada e estocada no galpão de escória de painela, para posteriormente ser encaminhada para beneficiamento.



Figura 1 – Escória de Painela após sair do pote.



Figura 2 – Escória de Panela sendo resfriada ao natural pelo ambiente.

## 2.2 Cal de Panela

A escória de panela é então enviada para a planta de beneficiamento, onde é realizado a separação da escória de panela do aço residual.

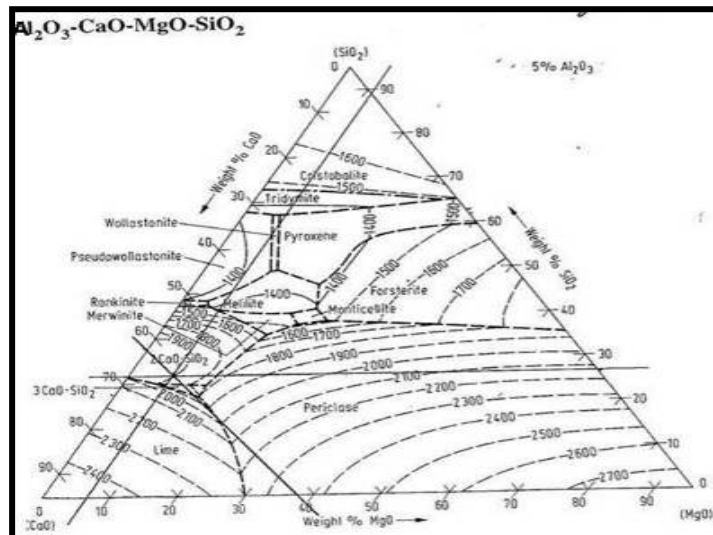


Figura 3 – Planta de beneficiamento que separa o aço da escória de panela.

Após passar pelo processo de beneficiamento, o resíduo gerado no processo produtivo da Aciaria que era a Escória de Panela, se transforma em Coproduto e recebe o nome de Cal de Panela, apresentando as seguintes características:

Tabela 1 – Composição química

<b>CaO</b>	<b>MgO</b>	<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>
56,97%	9,25%	25,96%	2,58%	0,31%	1,73%
<b>MnO</b>	<b>FeO</b>	<b>TiO<sub>2</sub></b>	<b>F<sub>2</sub></b>	<b>S</b>	<b>Basicidade</b>
0,10%	0,15%	0,28%	4,74%	1,33%	2,40%



**Figura 4** – Diagrama ternário CaO – SiO<sub>2</sub> – FeO com Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fixado em 5%. Ponto no diagrama CaO = 63%, MgO = 8,8%, SiO<sub>2</sub> = 28,2%.<sup>(5)</sup>

O campo de estabilidade do sólido formado à partir da composição da Cal de Panela é o 2CaO.SiO<sub>2</sub> em que o ponto de fusão está sobre a isoterma de 1.900°C. A Cal de Panela é uma escória que está formada, portanto foi elaborado um Programa de Experiência com o objetivo de avaliar o comportamento da Cal de Panela no FEA.

### 2.3 Cálculos e Cinética

#### a) Contribuição de MgO:

$(1.200 \text{ kg de cal de panela} \times 0,0925 \text{ (MgO cal de panela)}) / 0,33 \text{ (33\% MgO Cal Dolomítica)} = 336 \text{ kg Cal dolomítica que podem ser substituídos por 1200 kg escória de panela.}$

#### b) Contribuição de CaO:

$((1.200 \text{ kg de cal de panela} \times 0,5697 \text{ (CaO cal de panela)}) / 0,92 \text{ (92\% CaO Cal Calcítica)}) = 743 \text{ kg Cal Calcítica que podem ser substituídos por escória de panela.}$

#### c) Contribuição de enxofre:

$(1.200 \text{ kg de cal de panela} \times 0,012 \text{ (\%S cal de panela)}) \times 100 / 15.000 \text{ kg (kg de escória do forno elétrico)} = 0,096 \text{ \% de S na escória do forno elétrico.}$

#### d) Contribuição de SiO<sub>2</sub>:

$(1200 \text{ kg de cal de panela} \times 0,2596 \text{ (SiO}_2 \text{ cal de panela)}) \times 100 / 15.000 \text{ kg (kg de escória do forno elétrico)} = 2,08\% \text{ de sílica a mais na escória ou 311,5 kg de SiO}_2.$

#### e) No processo com o uso de Fundentes (Cal Calcítica e Dolomítica), temos:

Entrada: massa de CaO = 3040 kg = 1,228  
massa de SiO<sub>2</sub> 2475 kg

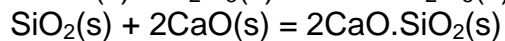
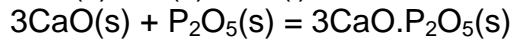
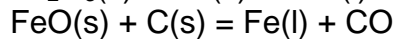
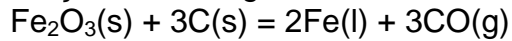
#### f) No processo com o uso de Fundentes e Cal de Panela, temos:

Entrada: massa de CaO = 3263,64kg = 1,178  
massa de SiO<sub>2</sub> 2771,52 kg

Portanto estaremos adicionando: + 223,64 kg de CaO e + 296,52 kg de SiO<sub>2</sub>, com redução na relação entre as massas de entrada de 0,05 (1,228 - 1,178)



g) Reações Metalúrgicas:



## 2.4 Experimento

No processo produtivo com uso somente de fundentes, eram adicionados 2200 kg de Cal Calcítica e 2500 kg de Cal Dolomítica.

A proposta foi utilizar 1500 kg de Cal Calcítica e 2400 kg de Cal Dolomítica

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os gráficos a seguir mostram os resultados obtidos com a utilização de 1,12 kg de Cal de Panela por tonelada de Aço produzido versus o processo somente com Cal Calcítica e Cal Dolomítica.

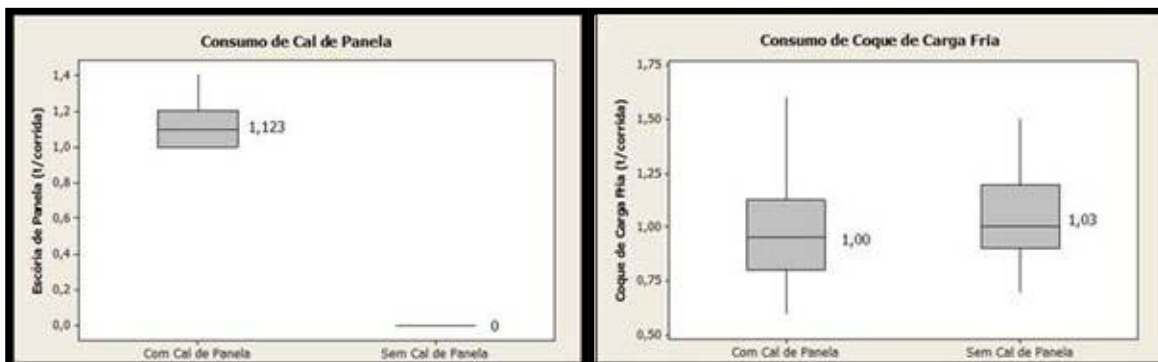


Figura 5 – Observa-se pelos gráficos abaixo o consumo da Cal de Panela, observa-se também que não houve variação no consumo de coque na carga fria.

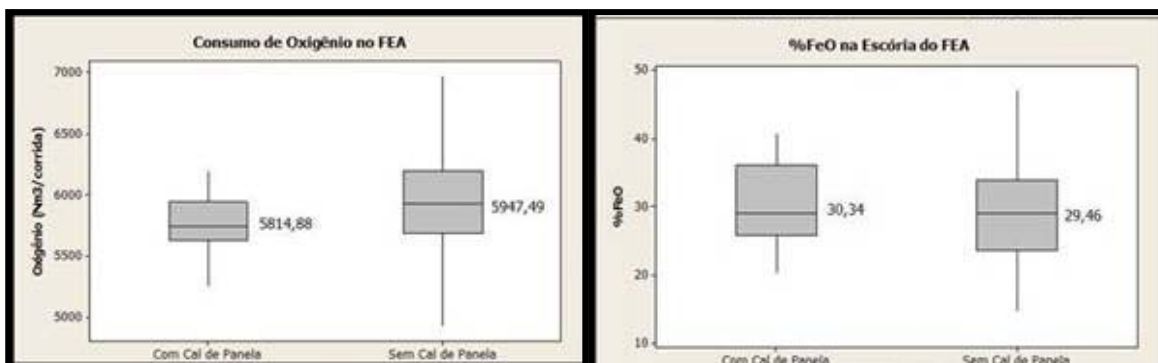


Figura 6 – Observa-se pelos gráficos abaixo que a Cal de panela não exerceu influência na oxidação da escória do FEA.

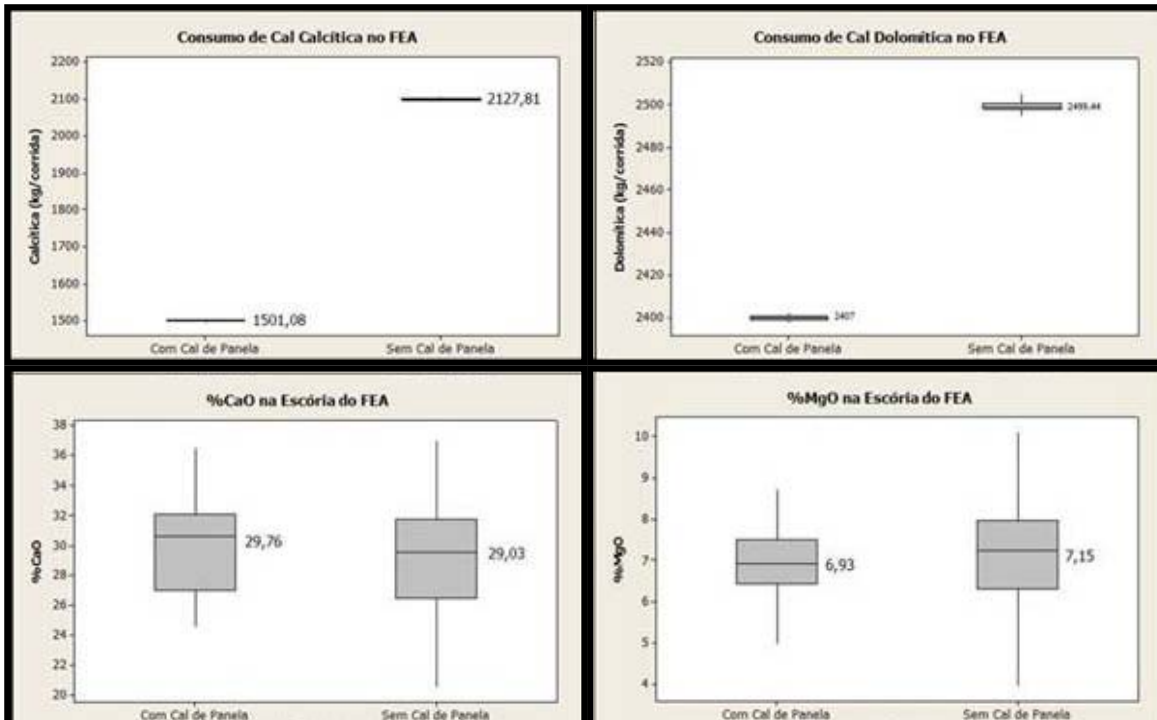


Figura 7 – Observa-se pelos gráficos abaixo que a substituição da Cal Calcítica e Cal Dolomítica pela Cal de Panela manteve os teores de CaO e MgO da escória do FEA.

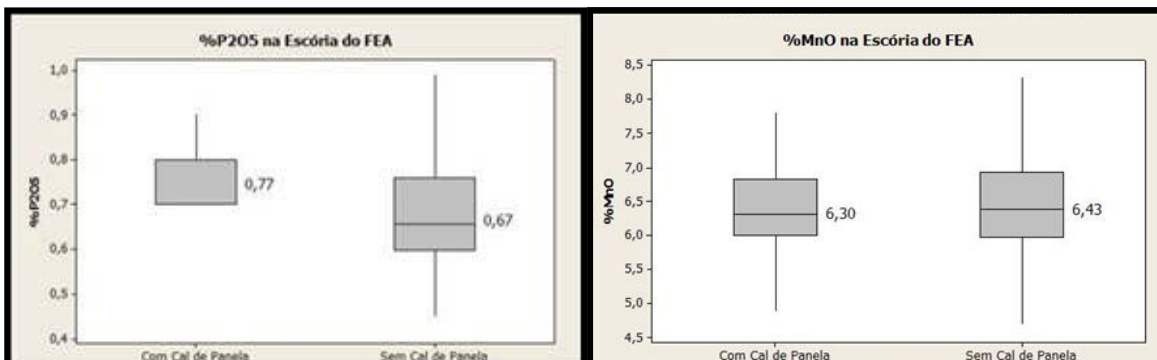


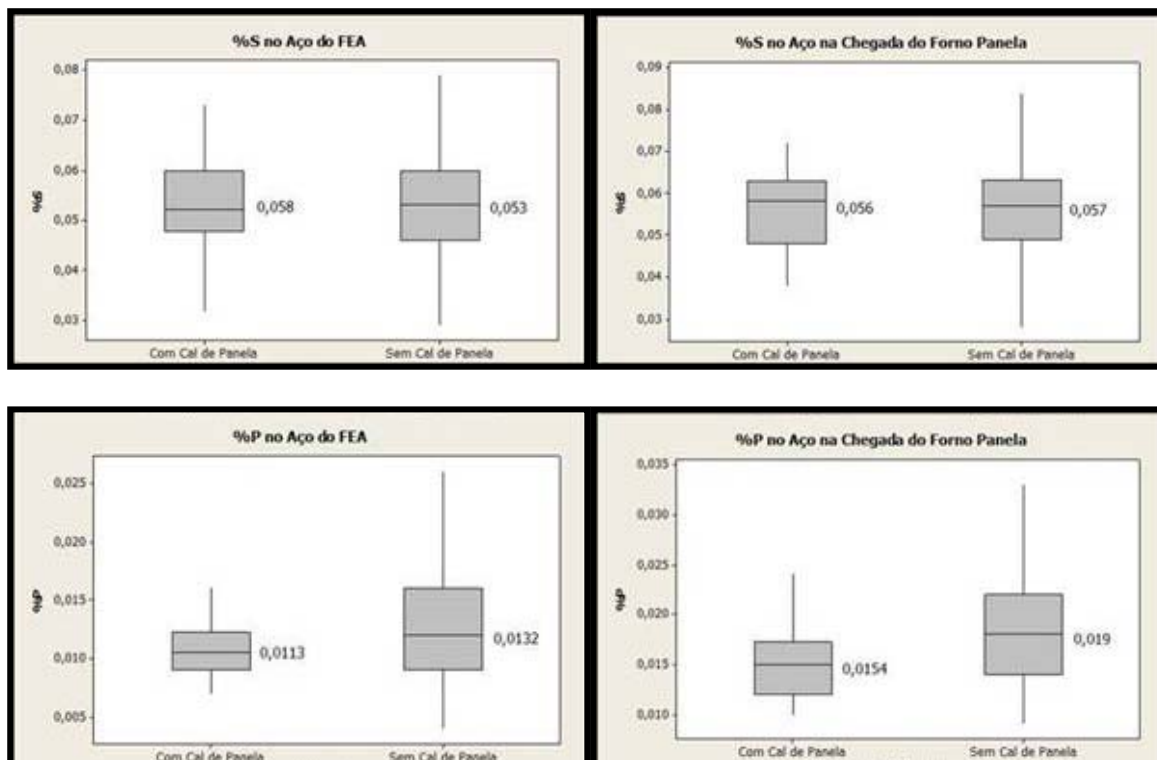
Figura 8 – Observa-se pelos gráficos abaixo que os teor de P2O5 com o uso de Cal de Panela se apresenta maior e com menor variabilidade no processo, já o teor de MnO na escória do FEA se manteve constante.



# 42º Seminário de Aciaria Internacional

42<sup>nd</sup> Steelmaking Seminar - International

15 a 18 de maio de 2011 / May 15<sup>th</sup> - 18<sup>th</sup>, 2011



**Figura 9** – Observa-se pelos gráficos abaixo que os teores de S e P no aço do FEA e no aço na chegada ao Forno Panela se mantiveram praticamente constantes.

**Tabela 2** – Discussão dos Resultados

Índices de Performance	Com Cal de Panela	Adição Normal	Meta	Resultado
Calcítica (%)	70,32	100	95	Aprovado
Dolomítica (%)	96,06	100	100	Aprovado
%CaO	29,76	29,03	28 a 36	Aprovado
%MgO	6,93	7,15	6 a 11	Aprovado
%SiO <sub>2</sub>	15,67	15,62	12 a 18	Aprovado
%FeO	30,34	29,46	22 a 33	Aprovado
Basicidade	1,84	1,75	1,7 a 2,2	Aprovado
%P no Aço FPAN	0,015	0,019	0,050	Aprovado
Oxigênio (Nm <sup>3</sup> /cor)	41,22	42,28	Min 40,00	Aprovado

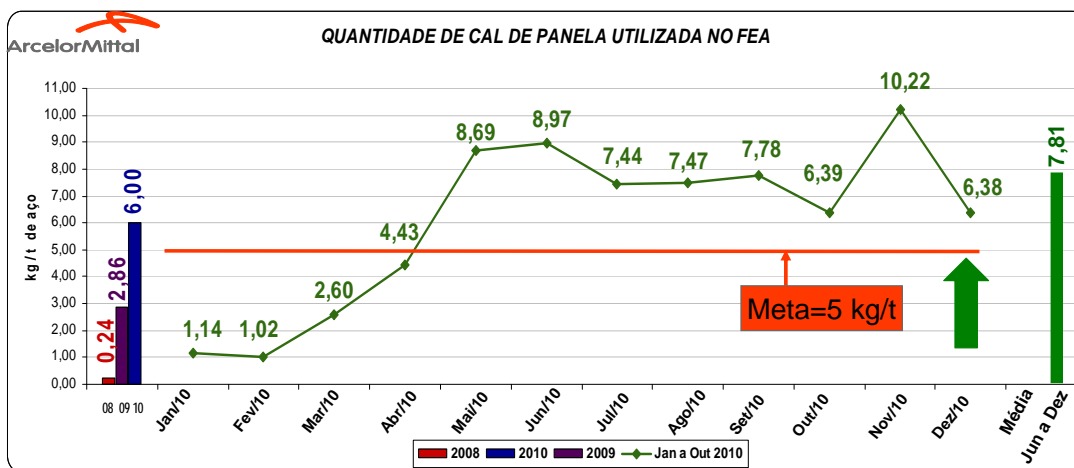


Figura 10 – Consumo de Adições no FEA.

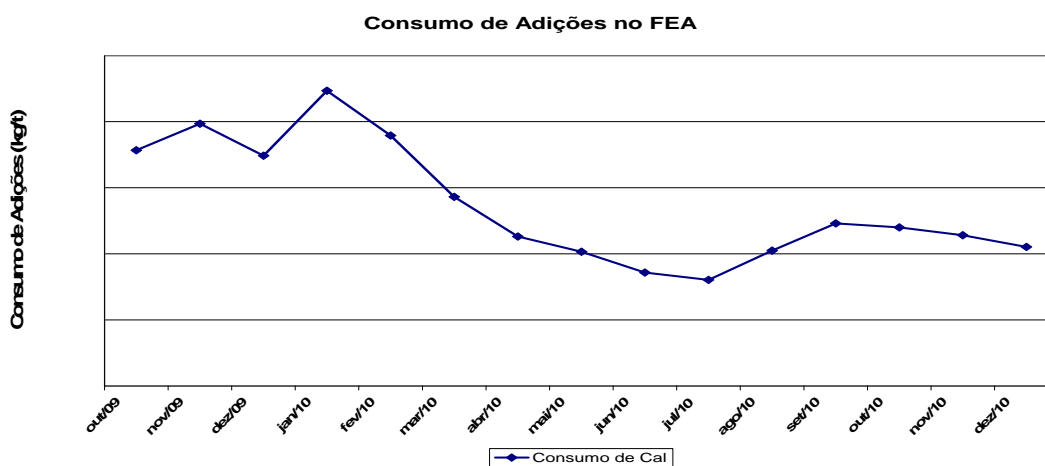


Figura 11 – Consumo de Cal de Panela no FEA.

Observa-se pelas Figuras 10 e 11 que à partir da utilização em maior escala da Cal de Panela, foi possível reduzir o consumo de Adições no Forno Elétrico a Arco.

## 4 CONCLUSÕES

O desenvolvimento da utilização da Cal de Panela no Forno Elétrico a Arco na Aciaria da ArcelorMittal Piracicaba está consolidado.

Os resultados obtidos foram positivos, com destaque para a recuperação de metálicos presentes na escória de panela, o aumento no teor de CaO da Escória do FEA. Destacamos também que este trabalho possibilitou a redução no consumo de Adições no FEA e garante a redução do envio de escória de panela para aterro garantindo a harmonia entre a atividade siderúrgica e o meio ambiente, transformando o amanhã de maneira sustentável.

## Agradecimentos

Os autores agradecem pelo empenho, dedicação e pelo desenvolvimento do trabalho a todos os funcionários da Aciaria que contribuíram para este importante passo transformando o amanhã com sustentabilidade.





## REFERÊNCIAS

- 1 CASTRO, Luiz F. A. et al. **Termodinâmica Metalúrgica**. Escola de Engenharia da UFMG. Departamento de Engenharia Metalúrgica.
- 2 RIZZO, Ernandes M. S. **Introdução aos Processos de Refino Primário dos Aços nos Fornos Elétricos a Arco**. Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, São Paulo, Brasil, 2006. Série Capacitação Técnica em Processos Siderúrgicos.
- 3 RIZZO, Ernandes M. S. **Introdução aos Processos de Refino Secundário dos Aços**. Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, São Paulo, Brasil, 2006. Série Capacitação Técnica em Processos Siderúrgicos.
- 4 RIBEIRO, Delmar B. et al. **Refino Secundário dos Aços**. Brasil, 2005.
- 5 STAHLISEN, Verlag M. B. H. **Slag atlas**. Düsseldorf . Germany, 1981
- 6 DANILOV, E. V. **Modern Technology for Recycling Steelmaking Slags**”, Metallurgist, Volume 47, Issue 5-6, May - June 2003, pp. 232 – 234
- 7 WORLD STEEL ASSOCIATION. Slag foamability. Disponível em:  
<<http://www.steeluniversity.org/content/html/eng/default.asp?catid=25&pageid=2081271941>>. Acesso em: 5 mar. 2010.