

OTIMIZAÇÃO DOS PARAMETROS ELETROQUÍMICOS DO FORNO ELÉTRICO A ARCO DA VSBM APÓS INSTALAÇÃO DO NOVO TRANSFORMADOR E NOVO SISTEMA DE INJEÇÃO DE GRAFITE¹

Ely da Silva Araújo Júnior²

Cássio Roberto Rocha³

Fernando Vital Silva⁴

Daniel Seixas Breda⁵

Marco Antônio de Almeida⁶

Alexandre Alves de Mendonça⁷

Resumo

Os desafios impostos pelos competidores globais exigem que a indústria brasileira seja altamente competitiva. Destacam-se alguns pontos importantes para que uma empresa tenha vantagem competitiva: cultura organizacional, história, instituições, estrutura econômica, infra-estrutura logística, regimes tributários, tecnologia, câmbio e principalmente práticas que levam a redução dos custos industriais, item qual este trabalho foi inserido. No final de novembro de 2011 a VS repotenciou um de seus fornos da planta de Barra Mansa trocando o transformador de 30/36 MVA por um de 40/48MVA e em meados de março instalou dois pontos de injeção de grafite pela carcaça, que até então era realizado pelo barrado. Com esses investimentos foram necessários realizar ajustes eletroquímicos no FEA de modo a aproveitar da melhor maneira possível todo aporte térmico inserido. Os principais resultados alcançados foram a redução do *Power On* de 25,6%, redução da energia elétrica; aumento da utilização; aumento de rendimento metálico, estabilização do consumo de refratário e principalmente aumento da produtividade, que evoluiu 35,4%.

Palavras-chave: Forno elétrico; Rendimento metálico; Produtividade.

OPTIMIZATION OF ELECTROCHEMICAL PARAMETERS OF ELECTRIC ARC FURNACE AT VSBM AFTER THE INSTALLATION OF NEW TRANSFORMER AND NEW INJECTION SYSTEM GRAPHITE

Abstract

The challenges delivered by global players require that the Brazilian industry be highly competitive. Some important points that are highlights of a company are: organizational culture, history, institutions, economic structure, logistics infrastructure, tax regimes, technology exchange and especially practices that lead to reduced manufacturing costs and is this last item that this work is inserted. In late November 2011, the Votorantim repowered one of his furnaces in Barra Mansa factory and change the transformer 30/36 MVA by one of 40/48MVA and installed in march 2012 two carbon injection points by the furnace wall, which until then was performed by slag door. With these investments were necessary make electrochemical adjustments on EAF in order to make the best possible heat input throughout inserted. The main results were the to reduce the Power On about 25,6%; increasing OEE, metallic yield, stabilization of refractory consumption and mainly productivity, which grew 35,4%.

Key words: Electrical arc furnace; Metallic yield; Productivity.

¹ *Contribuição técnica ao 44º Seminário de Aciaria – Internacional, 26 a 29 de maio de 2013, Araxá, MG, Brasil.*

² *Engenheiro Metalurgista, MSc, Coordenador de Produção, Votorantim Siderurgia, Resende, Brasil.*

³ *Administrador, Gerente de Aciaria, Votorantim Siderurgia, Resende, Brasil.*

⁴ *Técnico Especialista em Aciaria, Votorantim Siderurgia, Resende, Brasil.*

⁵ *Engenheiro Eletricista, Votorantim Siderurgia, Resende, Brasil.*

⁶ *Supervisor Mecânico, Votorantim Siderurgia, Resende, Brasil.*

⁷ *Engenheiro Metalurgista, MSc, Consultor Técnico, Votorantim Siderurgia, Resende, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

Os desafios impostos pelos competidores globais exigem que a indústria brasileira seja altamente competitiva. Destacam-se alguns pontos importantes para que uma empresa tenha vantagem competitiva: cultura organizacional, história, instituições, estrutura econômica, infra-estrutura logística, regimes tributários, tecnologia, câmbio e principalmente práticas que levam a redução dos custos industriais, item qual este trabalho foi inserido. Em uma aciaria o ritmo de produção é ditado pela produtividade do forno elétrico a arco e o transformador é o principal equipamento que garante a produtividade. No final de novembro de 2011 a Votorantim repotenciou um de seus fornos da planta de Barra Mansa trocando o transformador de 30/36 MVA por um de 40/48MVA possibilitando assim um aumento significativo de produção, entretanto se faz necessário uma série de ajustes de processo (elétrico e químico) para não comprometer o bom desempenho da aciaria e garantir que toda essa potencia adicionada seja transferida ao banho líquido sem agredir painéis refrigerados, refratários e abóbada. A Figura 1 ilustra os principais equipamentos do FEA.

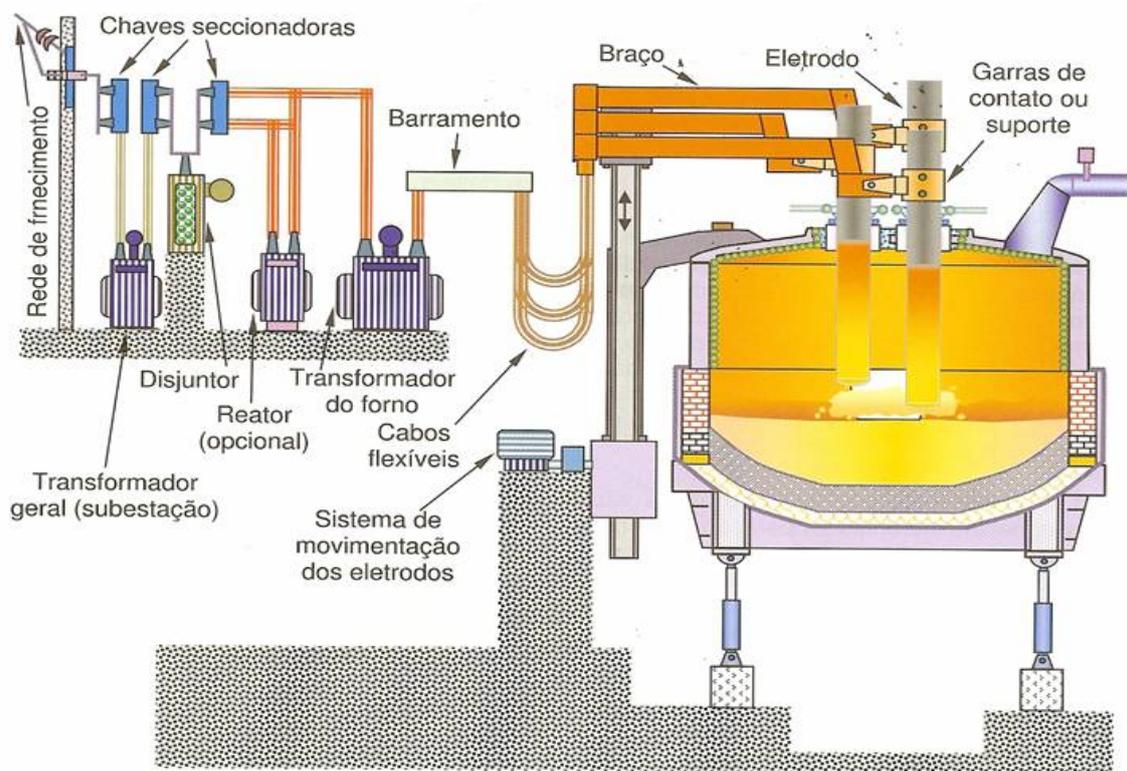


Figura 1. Principais equipamentos do FEA com destaque para a parte elétrica.

Dentre os ajustes citados acima, o principal seria ajustar a formação de escória espumante, item fundamental ao processo e que influencia diretamente na absorção de todo aporte elétrico inserido no FEA, para isso em meados de março instalou-se dois pontos de injeção de grafite pela carcaça, que até então era realizado pelo barrado. Esse nosso sistema permitiu uma melhor performance de injeção de grafite, possibilitando assim a formação de escória espumante e garantindo que o arco seja coberto durante o processo, protegendo o refratário, os painéis e a abóbada, melhorando também o consumo de eletrodo e o rendimento metálico.⁽¹⁾

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Ajuste do Programa Químico do Forno 1

O forno elétrico 1 da VSBM opera com a seguinte configuração de Químicos:

- 03 Pyrejets – são injetores combinados oxy-gás-carbono que exercem quatro funções: queimador, injetor supersônico e coerente de oxigênio e injetor de grafite para escória espumante. No modo queimador, os Pyrejets atingem até 4 MW de potência cada. No modo lança supersônica, atingem até 1.350 Nm³/h de vazão.
- 02 PyrOx – são somente queimadores oxi-gás e operam com potência de 2,6 MW.

O Forno 1 também opera com um manipulador de lança consumível de O₂ na porta a uma vazão de 800 Nm³/h. A Figura 02 mostra o *layout* dos Pyrejets e Pyrox no Forno 1.

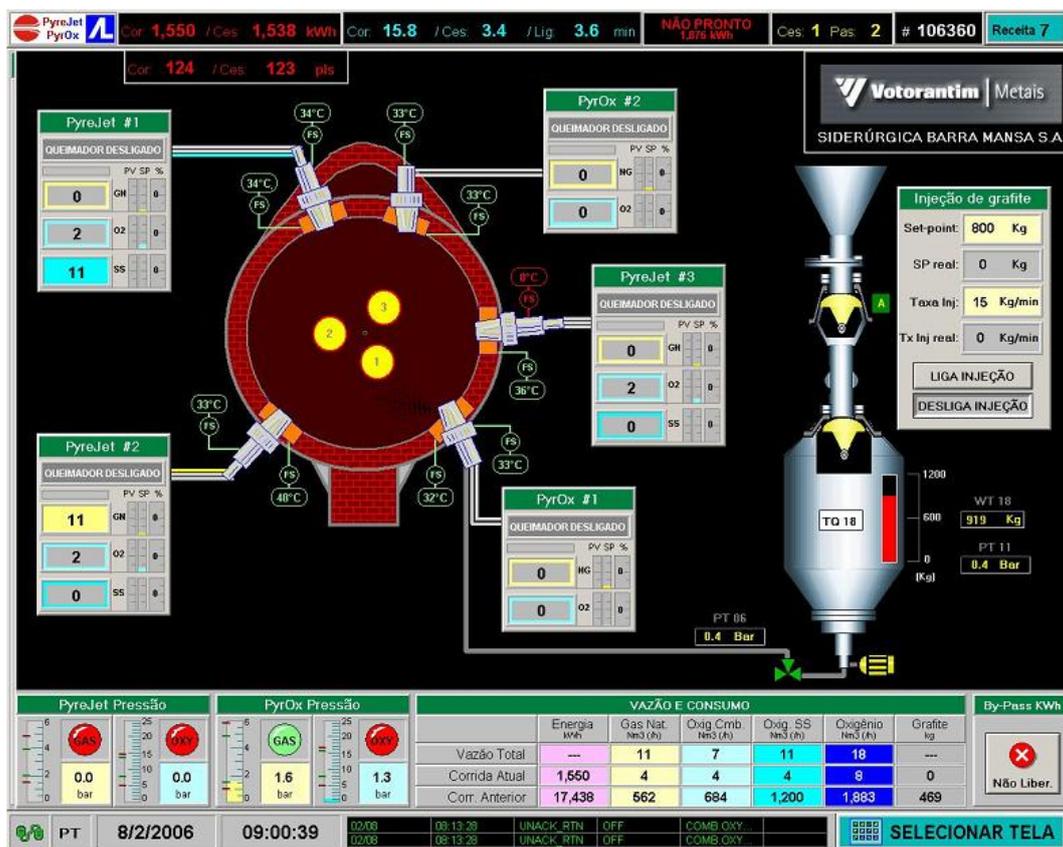


Figura 2. Layout dos PyreJets e PyrOx do Forno 1 VSBM.

O novo transformador do Forno 1 entrou em operação no final do ano de 2011. Nesse período não houve alteração do programa químico, uma vez que a potência pretendida seria aumentada apenas 10% em função da limitação na formação de escória espumante já que o novo sistema de injeção de grafite pela carcaça só estaria em operação a partir de março de 2012. Com a entrada deste novo sistema de injeção de grafite, possibilitou alterar o programa elétrico para a configuração de maior potência, objetivando-se 40 MW contra os 32 MW do transformador velho e 35/36 MW com o transformador novo sem Injeção de grafite. Como não houve nenhuma alteração na tecnologia de injeção de gases, não era possível aumentar a

vazão supersônica dos injetores ou potência dos queimadores. A única alteração possível seria a antecipação da entrada dos injetores supersônicos de oxigênio já que o sistema elétrico estaria com potência máxima ou maior velocidade de fusão da carga.

O novo sistema de injeção de grafite pela carcaça – composto de um silo de carbono que é abastecido por carretas pressurizadas, um injetor de grafite que controla a vazão em kg/min em dois pontos independentes de injeção. As vazões podem ser de 20 kg/min a 40 kg/min. Antes o sistema de injeção de carbono consistia de apenas um tubo manual consumível posicionado pela porta do FEA, que injetava menos de 100 kg/corrida. O novo sistema pode injetar até 500 kg/corrida, dependendo do tempo e da vazão instantânea.

A Figura 3 mostra a diferença entre os parâmetros de vazão evidenciando a antecipação do O₂ supersônico e maior tempo e vazão de grafite.

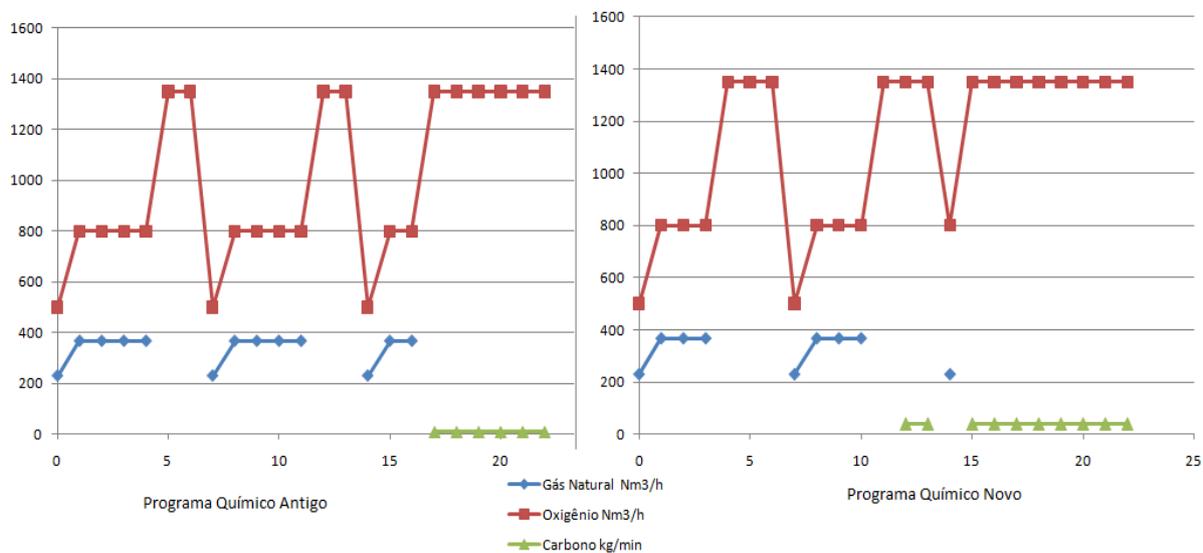


Figura 3. (a) Programa químico antigo – programa químico esquemático de 01 PyreJet – o modo queimador até 4 MWh de energia elétrica no primeiro e segundo carregamento, no terceiro permitia até 3 MWh. O modo supersônico, o O₂ atingia 1.350 Nm³/h. O Grafite injetado por uma lança manual na porta atingia uma média de 10 kg/min; e (b) programa químico atual – programa químico esquemático de 01 PyreJet – o modo queimador vai até 3 MWh de energia no primeiro e segundo carregamento. No terceiro atinge apenas 1 MWh. O modo Supersônico, o O₂ continua atingindo 1.350 Nm³/h. O grafite com duas lanças, opera com 40 kg/min.

Em resumo, havia a necessidade de aumentar o aporte químico no FEA, mas como não investimos na parte de injeção de gases, a única alternativa foi antecipar a entrada dos injetores supersônicos - antecipação essa maximizada no cesto 3 o qual haveria menor possibilidade de rebote. Com o investimento, no novo sistema de Injeção de Carbono para escória espumante possibilitou a injeção em dois pontos no FEA conferindo uma maior eficiência de espumação e, com isso, permitindo avançar no programa de potência testando Tap's de maior tensão e corrente (maior potência ativa).

2.2 Ajuste do Programa Elétrico

O Forno elétrico a arco 1 da VSBM operava com o transformador de 30/36 MVA e um antigo sistema de injeção de grafite que permitia a operação com potência máxima. Isto era possível, pois o forno conseguia operar ligeiramente abaixo do seu

limite de estabilidade, ou seja, ponto com valor mínimo de corrente sem que comece a ocorrer a extinção do arco elétrico. Este é o ponto em que a corrente de operação do forno determina um fator de potência máximo de operação, lembrando que fator de potência ou $\cos \varphi$ é a relação entre potência ativa e potência aparente.

Para uma operação com o arco estável é necessário que a corrente de operação seja maior que a corrente referente ao limite de estabilidade.⁽²⁾ No caso da operação com o transformador 30/36 MVA, o tap de fusão utilizado era o de nº 2, no qual o arco apresenta um comprimento de 318,51 mm, e a escória espumante formado pelo antigo sistema de injeção era suficiente para encobrir o arco, criando um meio favorável a propagação da corrente elétrica, evitando assim sua extinção, mesmo operando abaixo do limite estabelecido.

O forno elétrico opera com corrente mínima de 20 kA e o transformador não excede uma corrente máxima de 40 kA, o que determina uma região de operação. A Figura 4 traça a variação do fator de potência do forno ($\cos \varphi$) em função da corrente de operação,⁽³⁾ e em destaque nesta figura está na região de operação do forno. A Figura 5 amplia esta região sendo possível identificar a posição do ponto de operação em relação ao seu limite de estabilidade. É notório na Figura 5 o posicionamento do ponto de operação do FEA além de seu limite de estabilidade.

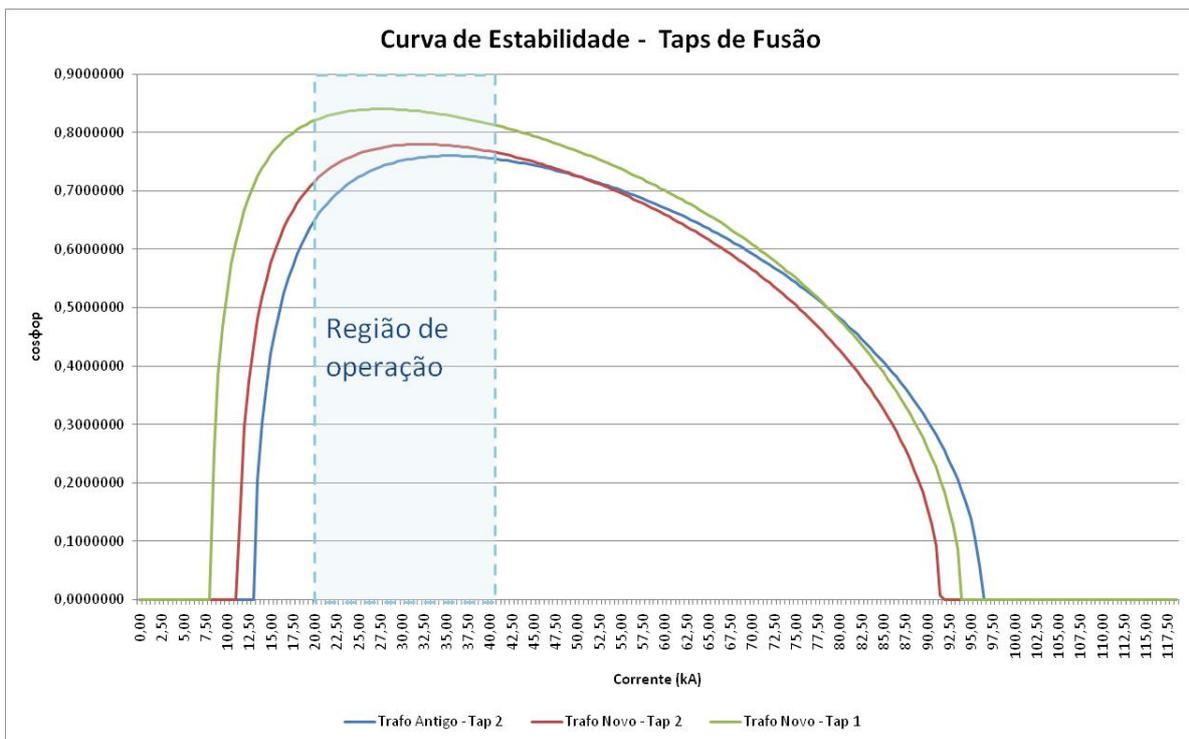


Figura 4. Curvas de estabilidade dos taps de fusão utilizados.

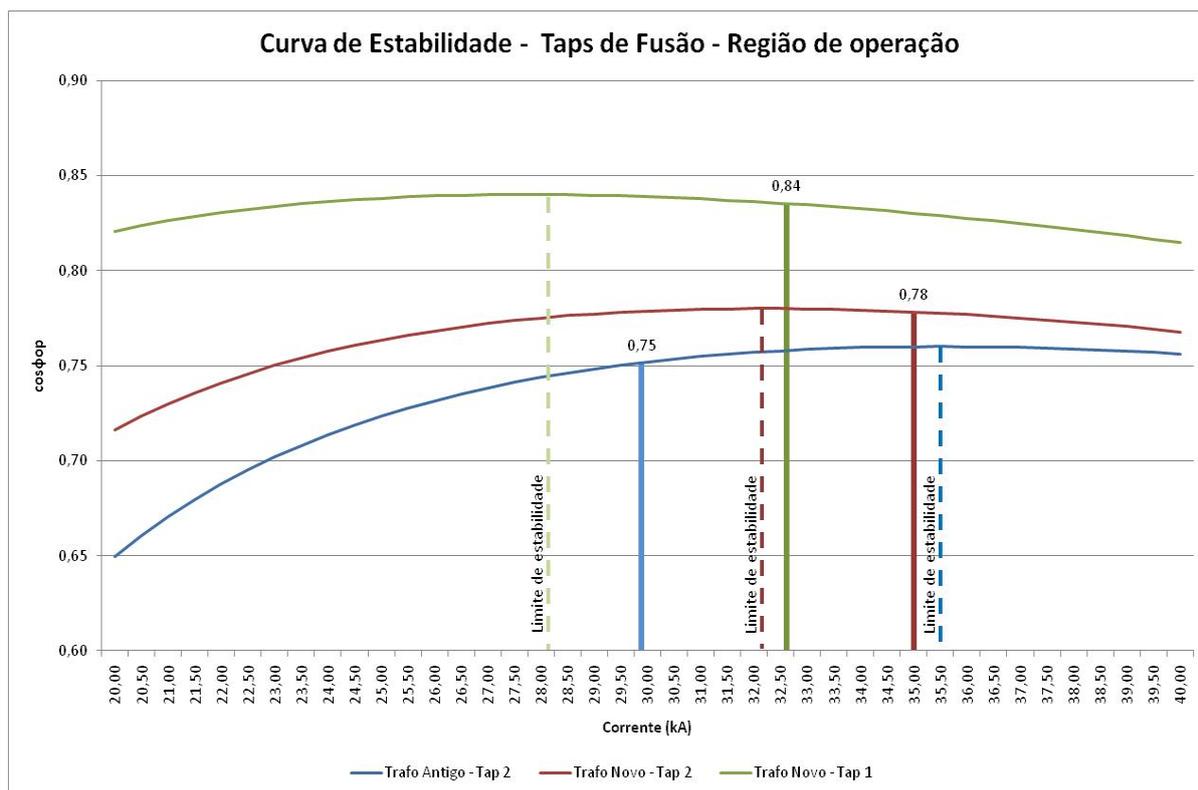


Figura 5. Curvas de estabilidade . Detalhe da região de operação e limites de estabilidade de arco.

Com a chegada do transformador repotenciado, o comprimento do arco necessário para a operação com máxima potência aumentou para 397,73 mm, uma vez que era necessário a utilização do tap de maior tensão para a realização da fusão, que no caso é o tap 1 de 840 V. No entanto neste tap, a escória espumante criada pelo antigo sistema de injeção de grafite já não era mais suficiente para proteger os painéis do forno e o refratário da agressão do arco elétrico. Em função disso, foi elaborado um programa de potência para operação com potência inferior a nominal, através da utilização de taps de menor tensão e correntes abaixo do valor nominal, até que fosse instalado o novo sistema de injeção de grafite. Comparado ao programa utilizado antes com o transformador antigo, o resultado do novo programa já apresentou evolução. O tempo de forno ligado reduziu 8,33% e a potência aumentou 19,35%.

Após a instalação do novo sistema de injeção, um programa que utilizasse a potência máxima do novo transformador já pode ser elaborado. O resultado foi imediato. Em relação ao transformador de 30/36 MVA o tempo *Power on* reduziu 25,6% e a potência aumentou 32,26%. As curvas de potência representadas nas Figuras 6 e 7 retratam o aumento do desempenho na potência dos taps de fusão de cada programa e os perfis de potência representados na Figura 8 retratam o desempenho em tempo de operação para o processamento de uma corrida de 3 carregamentos nos 3 cenários.

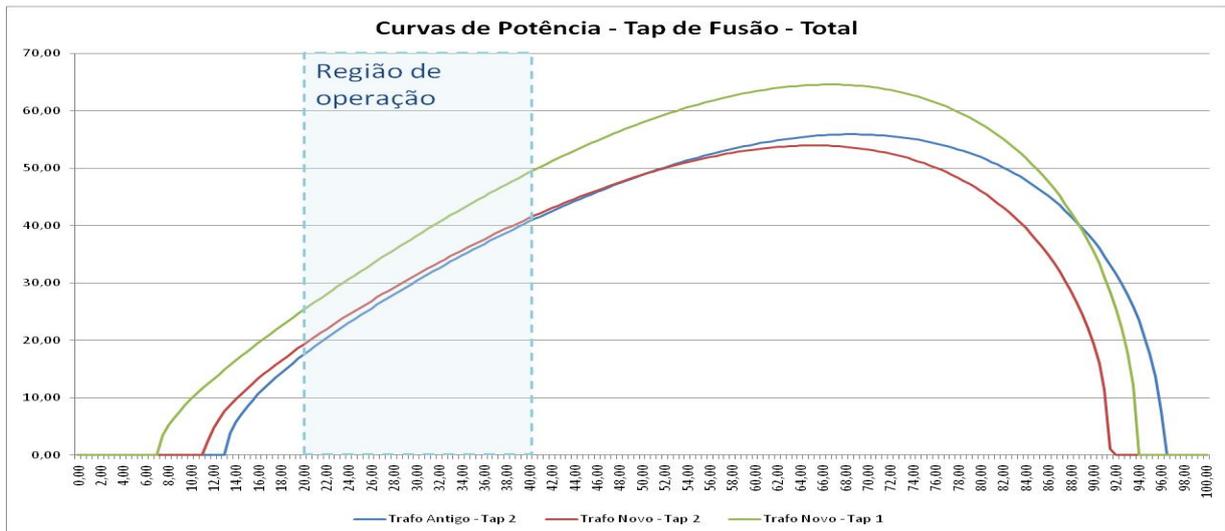


Figura 6. Curvas de Potência – Taps de fusão.

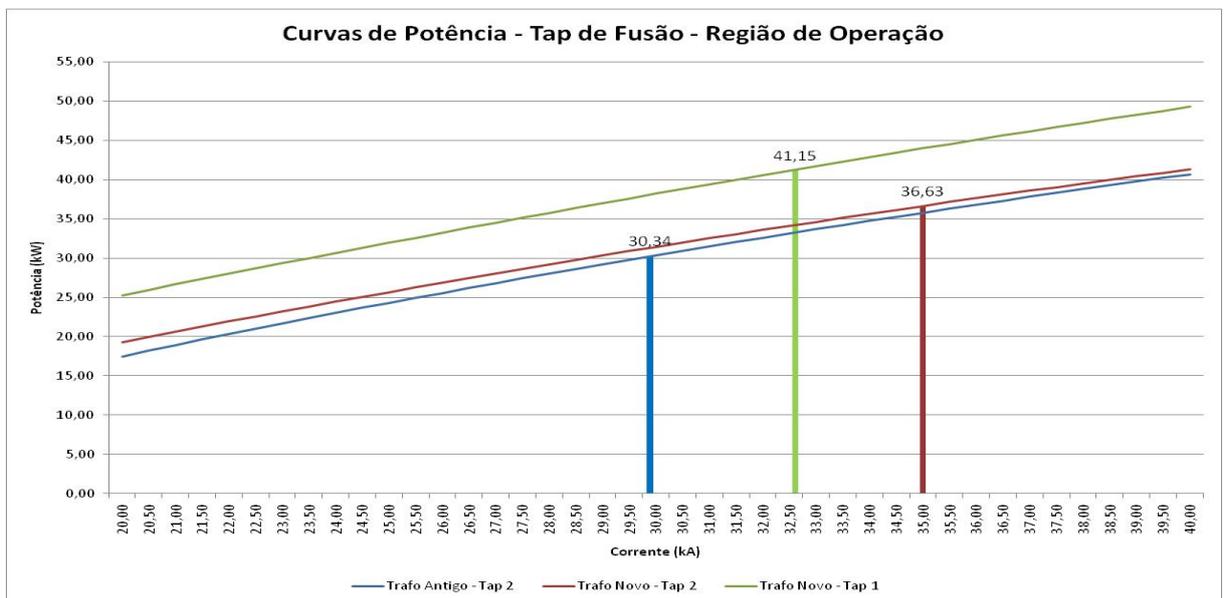


Figura 7. Curvas de Potência – Detalhe da região de operação.

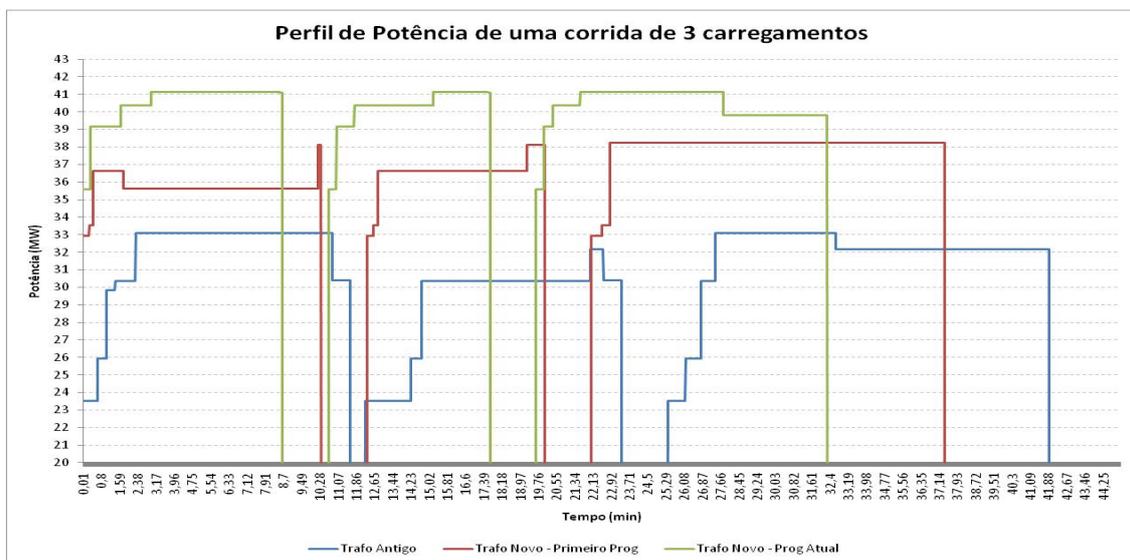


Figura 8. Perfis de potência de uma corrida de 3 carregamentos.

Em resumo, os ganhos obtidos nestes três cenários devido aos ajustes no programa elétrico foram muito significativos e serão apresentados no capítulo seguinte.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Indicadores de Desempenho do Forno 01

As tabelas abaixo representam o comportamento dos indicadores do processo nos quatro cenários de operação:

- Cenário 1 – Transformador de 30/36MVA.
Período: janeiro/2011 a julho/2011;
- Cenário 2 – Transformador de 40/48MVA
Período: agosto/2011 a março/2012;
- Cenário 3 – Transformador de 40/48MVA + Máquina de injeção de grafite
Período: abril/2012 a julho/2012; e
- Cenário 4 – Transformador de 40/48MVA + Máquina de injeção de grafite + Ajuste de carburantes.
Período: setembro/2012.

3.1.1 *Power on/ power off/ tap to tap/ produtividade*

A Tabela 1 mostra a evolução dos indicadores de disponibilidade do FEA nos quatro cenários acima citados. É notória a redução do Pon, tempo de forno ligado, quando comparamos o cenário 1 com o cenário 4, o que está ligado principalmente a potência (dado apresentado em 2.2). A redução foi no *Power On* foi de 25,6%. O *Poff* também reduziu significativamente, cerca de 25%, em decorrência da melhor estabilidade operacional do FEA, e, conseqüentemente, o *tap to tap* reduziu em 25%. A disponibilidade aumentou consideravelmente (cerca de 35% a mais). A produtividade, indicador alvo deste trabalho, aumentou em 35%, ou seja, um incremento significativo em relação ao cenário 1.

Tabela 1. Indicadores operacionais da aciaria

Indicadores	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
<i>Power On</i>	100%	84%	76%	75%
<i>Poff</i>	100%	109%	89%	74%
<i>Tap to Tap</i>	100%	94%	81%	75%
Produtividade	100%	104%	123%	135%

3.1.2 *Rendimento metálico*

O rendimento metálico, outro indicador de fundamental importância em uma aciaria, também foi afetado, tivemos um incremento de cerca de 2%, como pode ser visto na Tabela 2, este aumento é em função da melhor formação de escória espumante e também uma maior estabilidade do processo (redução das ocorrências de reações por carbono alto).

Tabela 2. Evolução do rendimento metálico

Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
100%	98%	101%	102%

3.1.3 Energia elétrica/ oxigênio / coque injetado / gás natural

Ao compararmos o cenário 1 em relação ao cenário 4, Tabela 3 notamos que os indicadores de energia elétrica, oxigênio e coque injetado não obtiveram grandes variações, entretanto, ao analisarmos a injeção de grafite, sabemos que são distintas. No cenário 1 a injeção era realizada pela porta (barrado) e a eficiência do grafite injetado era baixa, já que parte do grafite injetado era perdida para o sistema de despoeiramento. No cenário 4 o grafite passou a ser injetado pela carcaça em dois pontos e diretamente na interface metal/escória com maior eficiência, em relação ao cenário anterior e com isso a formação de escória espumante se tornou mais efetiva. Outro ponto importante para se analisar foi o consumo de gás natural que reduziu significativamente entre o cenário 1 e 4. Essa redução se deve ao menor tempo de injeção de GN no modo queimador (redução do *Power On*).

Tabela 3. Indicadores específicos

Indicadores	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Energia Elétrica	100%	105%	99%	99%
Oxigênio	100%	105%	105%	106%
Coque Injetado	100%	71%	57%	93%
Gás Natural	100%	88%	63%	59%
Energia Total	100%	104%	98%	98%

4 CONCLUSÕES

Mediante os resultados apresentados concluímos os seguintes pontos:

- o retorno do investimento foi realizado em curto prazo;
- os ganhos de produtividade e rendimento foram significativos em função principalmente do aumento de potência e da eficiente injeção de grafite;
- houve redução da energia total do FEA devido a dois fatores principais: redução de energia elétrica em função da eficiência da espumação da escória e redução de energia química devido a maior eficiência de utilização de GN; e
- o processo do FEA se tornou mais estável, as incidências de reações por carbono alto reduziram significativamente e isso só foi possível pelo equilíbrio químico do forno.

REFERÊNCIAS

- 1 ABM, Curso de Aciaria Elétrica, 2011.
- 2 JACCARD, L.R. Curso de Fornos Elétricos à Arco, Curso interno Votorantim Siderurgia, 2011.
- 3 Ries, W. Fornos a Arco, 2011.