

UTILIZAÇÃO DE GUSA LÍQUIDO EM FORNOS ELÉTRICOS A ARCO¹

Adriano de Oliveira Paula²

André Martins Araújo³

Emanuel Villanova⁴

Sérgio Renato Ribeiro⁵

Thiago Luiz Coelho Furtado⁶

Waldenir Luciano de Souza Lima⁷

Resumo

A substituição do gusa sólido por líquido garantiu algumas vantagens competitivas, como: incremento de produtividade de aproximadamente 20 t/h; redução do consumo de eletrodos acima de 25%; redução no consumo de energia de aproximadamente 20%. Além de proporcionar inúmeras oportunidades de crescimento profissional com os novos desafios propostos para o processo e o refratário.

Palavras-chave: Forno elétrico a arco; FEA; Gusa líquido.

USE OF HOT METAL IN ELECTRIC ARC FURNACE

Abstract

The substitution of pig iron for hot metal guaranteed some competitive advantages, as: increment of productivity of approximately 20 tons per hour; reduction of the electrodes consumption above of 25%; reduction in the electrical energy consumption approximately 20%. Besides providing many chances of professional growth with the new challenges proposed for the process and the refractory.

Key words: Electric arc furnace; EAF; Hot metal.

¹ *Contribuição técnica ao XXXIX Seminário de Aciaria – Internacional, 12 a 16 de maio de 2008, Curitiba, PR, Brasil*

² *Analista de Processos Industriais – Aciaria*

³ *Gerente de Área de Produção de Aços*

⁴ *Especialista Sênior – Aciaria*

⁵ *Analista de Processos Industriais – Aciaria*

⁶ *Engenheiro de Processo – Aciaria*

⁷ *Gerente de Aciaria*

APRESENTAÇÃO

O forno elétrico a arco - FEA, base da rota semi-integrada e das *mini-mills*, foi inventado na França em 1899. Apenas no século, precisamente nos anos 60, a tecnologia do forno elétrico teve uma difusão significativa (Figura1), fazendo emergir esta nova rota de produção de aço.

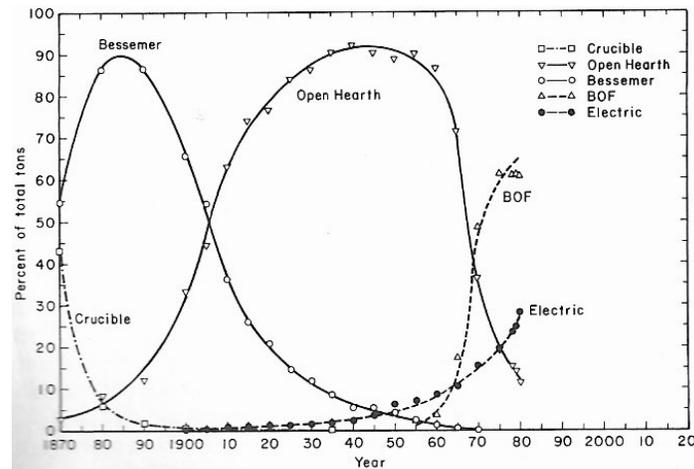


Figura 1: Evolução da Produção x Equipamento nos EUA⁽¹⁾

A combinação aciaria elétrica e lingotamento contínuo criou as condições físicas para a obtenção de vantagens competitivas a partir de um processo siderúrgico mais compacto.

O Forno Elétrico foi concebido originalmente para utilização de sucata como carga metálica. Logo, em seguida, surgiram as primeiras preocupações com a disponibilidade desta matéria-prima. Então o ferro esponja - DRI e o ferro gusa constituíram-se seus principais substitutos e têm sido usados para substituir parcialmente a sucata na composição da carga utilizada nos fornos elétricos. No mundo, o ferro esponja tem sido preferido. Já no Brasil, devido à oferta de ferro gusa de produtores independentes e ao alto preço do gás natural, os fornos elétricos normalmente trabalham com um mix de ferro gusa sólido e sucata.

A instabilidade da oferta de gusa sólido, o nosso alto grau de dependência de fornecedores externos e as possibilidades de ganho com a utilização do gusa líquido fizeram com que optássemos pela sua produção.

Objetivo

Pretende-se ao longo do trabalho abordar as vantagens e dificuldades da operação de um forno elétrico a arco com utilização de gusa líquido e realizar uma comparação com a utilização de sucata e gusa sólido.

REVISÃO DA LITERATURA

Energia contida no gusa líquido

A literatura técnica traz algumas referências a cerca da energia contida (calor sensível) no gusa líquido. Segundo Jones,⁽²⁾ a substituição da sucata pelo gusa líquido pode ser representada pela equação abaixo:

$$1 \text{ t gusa líq.} + 25 \text{ kg de cal virgem} = 0,92 \text{ t de sucata limpa} + 50 \text{ kg coque} + 330 \text{ kWh}$$

Segundo outra fonte o calor contido no gusa líquido é de 336 kWh a 1450°C.⁽³⁾ Para Xiaohong⁽⁴⁾ o gusa líquido com carbono entre 4,2 a 4,5% pode fornecer 3 kWh/Nm³ de O₂ no momento do refino do aço.

Como pode ser visto acima, várias, foram as abordagens para avaliar o aporte energético da utilização do gusa líquido. Em algumas situações, essa avaliação depende de outros parâmetros e algumas relações de equivalência foram determinadas empiricamente.

Diante disso, preferiu-se definir uma composição típica para o gusa líquido, tabela 1, produzido a partir de um alto-forno a carvão vegetal, conforme seria o nosso caso. Então foi calculado o calor contido de acordo com dados termodinâmicos disponíveis, tentou-se, dessa forma, fugir do empirismo das equivalências já vistas anteriormente.

Tabela 1: Composição química do gusa líquido utilizada para cálculo do calor contido

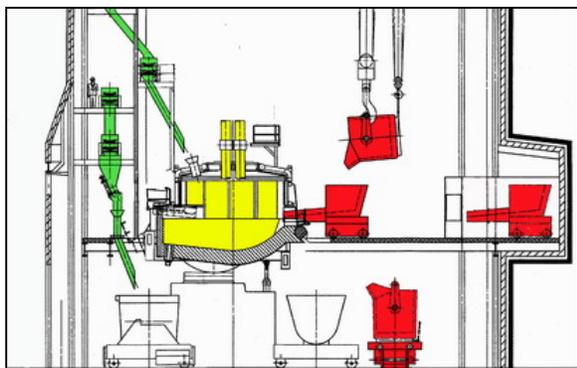
C(%)	Fe(%)	Mn(%)	P(%)	S(%)	Si(%)
4.23	94.89	0.25	0.13	0.01	0.49

Fonte: ArcelorMittal Juiz de Fora, 2007.

Para estes estudos foi adotada uma temperatura de utilização do gusa líquido de 1300°C, em concordância com previsão da prática operacional dos altos-fornos, sendo assim, o calor contido em uma tonelada deste material é de 238,21 kWh.

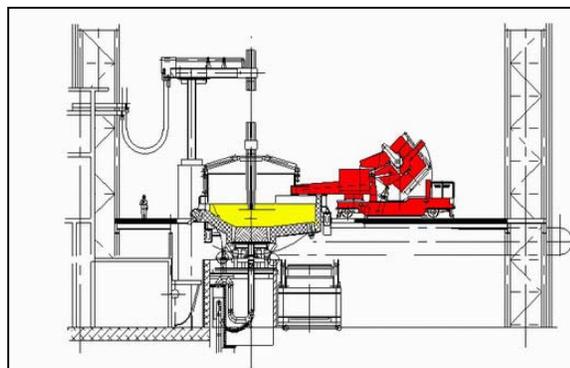
Formas de carregamento

A forma de carregamento mais simples é verter o gusa líquido pela abertura do forno elétrico. Essa forma de adição não exige qualquer outro investimento, mas não evita a perda de energia devido à abertura do forno. Existem outras formas de carregamento que não obrigam a abertura do forno, mas exigem investimento e disponibilidade de área e equipamentos. O gusa pode, por exemplo, ser basculado dentro do FEA através de calhas laterais com ou sem o auxílio de uma ponte rolante. Esta prática evita a perda de energia pela abertura do forno e possibilita a adição controlada do metal líquido. Além disso, o local de adição deste material pode ser definido em função das necessidades específicas da Aciaria. Nas Figuras 2 e 3, são apresentadas duas formas de adição do gusa líquido.



Fonte Concast.

Figura 2: Adição de Gusa Líquido pela Porta de Escória com a Utilização de Ponte Rolante.



Fonte Concast.

Figura 3: Adição de Gusa Líquido pelo EBT sem a Utilização de Ponte Rolante. Fonte Concast.

A adição do gusa líquido pelas calhas, do ponto de vista energético, será sempre a preferida. Além de evitar as perdas pela abertura do forno, evita também o aumento do *tap to tap*. O gusa líquido deverá ser basculado o mais rápido possível para evitar a perda de temperatura. Outra vantagem é estar sempre com o forno fechado evitando respingos e reduzindo o efeito de possíveis reações.

Entretanto a manutenção destas calhas deve ser feita de maneira rigorosa de modo a evitar outros inconvenientes como: acidentes, vazamentos e reações.

Descarburação

A adição de gusa líquido em quantidades superiores a 30% da carga deve levar em consideração a velocidade de descarburação do FEA, já que a partir deste ponto, o limitante poderá ser a vazão de oxigênio utilizada pelo forno. Segundo Haissig⁽³⁾, as velocidades de descarburação normalmente encontradas em fornos elétricos são de 0,05% C/min a 0,07% C/min; enquanto a necessidade quando da utilização de gusa líquido é de no mínimo 0,10%C/min.

Níveis de residuais

É natural que a utilização de gusa líquido cause uma redução nos níveis de residuais do aço quando este está substituindo a sucata, o que não ocorreu na nossa situação já que substituímos gusa sólido por líquido. Abaixo na tabela 2, tem-se uma comparação de uma usina que substituiu 50% da sua carga de sucata por gusa líquido.

Tabela 2: Residuais antes e depois da utilização do gusa líquido

Período	Cr (%)	Cu (%)	P (%)	S (%)	As (%)	Sn (%)	Sb (%)	Pb (%)
Apenas sucata	0,15	0,18	0,008	0,05	0,015	0,012	0,005	0,009
Gusa líquido 50%	0,06	0,08	0,005	0,043	0,008	0,007	0,003	0,004

Fonte: Xing Cheng Steel Works

Nitrogênio

O nível de nitrogênio no aço também cai quando ocorre a substituição da sucata pelo gusa líquido devido a intensa formação de *boiling* durante a descarburização da corrida que favorece o carreamento do nitrogênio para fora do aço. O nitrogênio presente no aço migra para as bolhas de CO_(g) e é expulso do banho. Outras medidas devem ser tomadas no propósito de manter o nível baixo de nitrogênio até a solidificação do tarugo.

NOSSA EXPERIÊNCIA

A utilização da energia química sempre teve fundamental importância na aciaria da ArcelorMittal Juiz de Fora porque nesta unidade trabalha-se com uma relação de MVA/t de 0,436; enquanto os valores mais comuns são bem próximos de 1,0 MVA/t.

De acordo com a produção estimada dos altos fornos, ter-se-ia uma disponibilidade de 37 t de gusa líquido por corrida. Com isso, tem-se uma previsão de consumo de energia total (elétrica, oxigênio e gás natural) no forno elétrico para fabricação de uma tonelada de aço de 466,44 kWh/t. Considerando um calor contido no gusa líquido de 238,21 kWh/t. Estimativa calculada conforme abaixo:

$$542,27 \text{ kWh/t} - 80,13 \text{ kWh/t} + 4,3 \text{ kWh/t} = 466,44 \text{ kWh/t}$$

1. 542,27 kWh/t – Energia total média de 2006.
2. 80,13 kWh/t – contribuição do gusa líquido
 - a. (37 t x 238,21 kWh/t)/ 110 t (peso médio da corrida)
3. 4,3 kWh/t – abertura do forno.⁽⁵⁾

O carregamento do gusa líquido implicou em um novo carregamento de sucata para completar a carga do forno já que a substituição do gusa sólido pelo líquido reduziu bastante a densidade média da carga metálica e não foi possível realizar o carregamento do forno com apenas um cestão de sucata.

Já que apenas substituiu-se gusa sólido por líquido, é razoável considerar que não haveria mudanças no consumo de oxigênio e gás natural, então todo esse aporte energético causaria redução no consumo de energia elétrica. Pelo mesmo motivo, não espera-se nenhuma alteração em níveis de residuais ou nitrogênio. Outros ganhos projetados foram a redução do consumo de eletrodos proporcional à redução do consumo de energia elétrica e o aumento de produtividade relativo à redução do *power on*.

Aspectos operacionais

Para iniciar a produção com gusa líquido foram feitas algumas alterações no processo do forno elétrico, visando o melhor aproveitamento dessa energia. Assim, o primeiro cesto de sucata permaneceu com a maior quantidade possível de material e os tempos de carregamentos foram reduzidos para acomodarem apenas o tempo necessário para movimentação da ponte rolante que faz o carregamento do forno. Então pretende-se carregar o gusa líquido o mais cedo possível, mas evitar também o carregamento sobre

o pé líquido para evitar qualquer tipo de reação devido à grande diferença de teor de carbono dos dois materiais. No Quadro 1, são mostrados os dados reais do processo utilizando o gusa sólido e a perspectiva vislumbrada com a adoção do gusa líquido.

Quadro 1: Comparação dos Processos utilizando gusa líquido e sólido

2006 – Gusa Sólido	2007 – Gusa Líquido
2 carregamentos	3 carregamentos
Produtividade (t/h): 119,02	Produtividade (t/h): 141
	Redução de 9 min de tempo de forno ligado.
	Eletrodos: redução 24% no consumo.

Fonte: ArcelorMittal Juiz de Fora, 2007.

Refratário

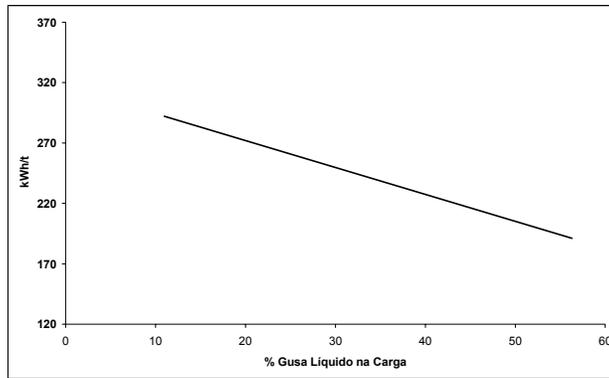
Outro aspecto importante a respeito da prática de utilização do gusa líquido sobretudo pelo fato do carregamento ser feito pela abóbada é o desgaste da soleira do forno. Logo após o início da operação com gusa líquido tivemos várias ocorrências de desgaste prematuro da soleira acarretando reparos não programados. A experiência mostrou que o tempo de carregamento, o silício do gusa líquido e a compactação da massa da sola influenciam bastante o aparecimento deste desgaste. A solução encontrada foi uma alteração na prática de tratamento da soleira com reparos preventivos mais freqüentes, evitando grandes intervenções corretivas.

RESULTADOS

A seguir são mostrados os resultados obtidos durante 9 meses de operação com gusa líquido carregado pela abóbada do FEA.

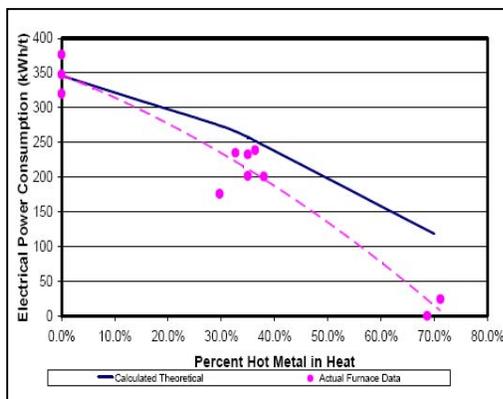
Energia Elétrica

Na Figura 5, tem-se a relação entre a quantidade de gusa líquido na carga e o consumo de energia elétrica do FEA para a situação vivida nesta usina. Em seguida, tem-se outras duas Figuras (6 e 7), que representam a mesma relação desenvolvidas em duas outras usinas.



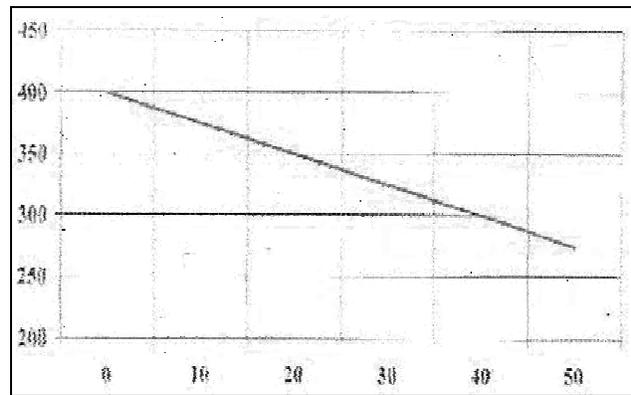
Fonte: ArcelorMittal JF.

Figura 5: Gusa líquido e consumo de energia



Fonte: Xing Cheng Steel Works

Figura 6: Gusa líquido e consumo de energia -



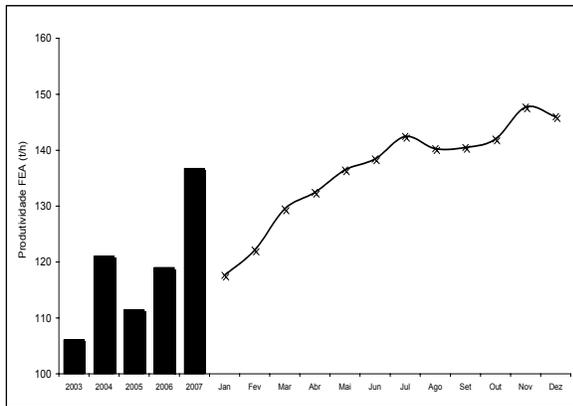
Fonte: ZSJ

Figura 7: Gusa líquido e consumo de energia

O carregamento de 30% de gusa líquido, ocasionou uma redução no consumo de energia elétrica entre de 20,20 a 22,43% em relação à média de 2006, considerando apenas as corridas com utilização de gusa líquido.

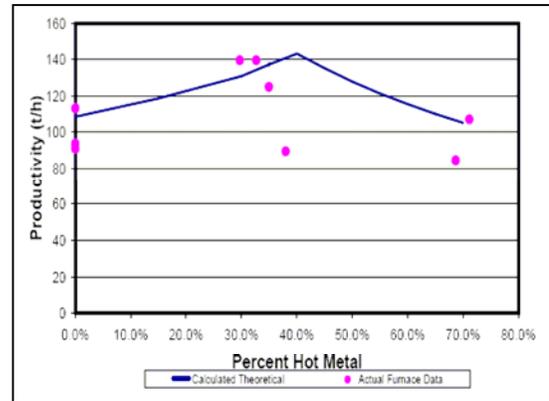
A comparação entre as figuras 5, 6 e 7 mostra que a redução do consumo de energia para cada % de gusa líquido na carga pode ser bastante variável, isto se deve, principalmente, à diferença de temperatura de utilização do gusa, forma de carregamento e, é claro, condições operacionais de cada local.

O aumento de produtividade ocorrido foi de aproximadamente 22 t/h. Se considerarmos apenas o período em tivemos gusa líquido para quase a totalidade das corridas, o que aconteceu a partir de abril/07. Isto confirmou a previsão feita, a produtividade média deste período é de 140.69 t/h.



Fonte: ArcelorMittal JF

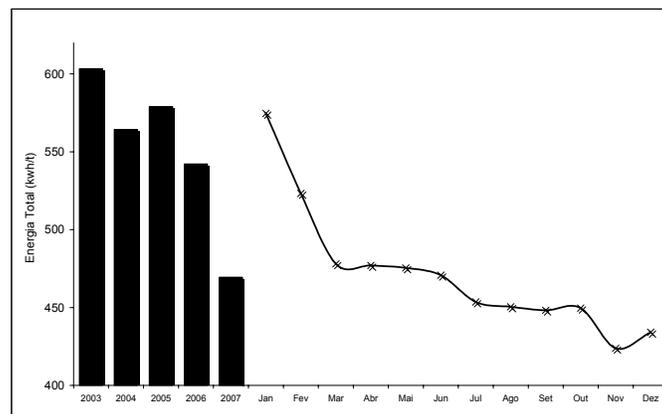
Figura 8: Evolução da produtividade



Fonte: Xing Cheng Steel Works

Figura 9: Relação entre produtividade e gusa líquido

O consumo de eletrodos sofreu uma queda maior que a esperada, 28,8% contra um esperado de 24%, devido à redução no consumo de gás natural e oxigênio ocasionada pelas mudanças feitas no modo de injeção para atender essa nova realidade. Isso provocou também uma queda da energia total gasta no FEA, 88,71 kWh/t, considerando o período de abril a dezembro de 2007 (Figura 10).

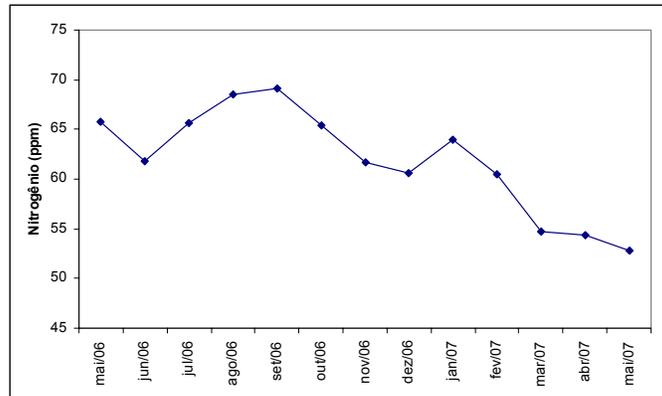


Fonte: ArcelorMittal JF

Figura 10: Evolução da Energia total

Para nossa surpresa ocorreu uma queda também nos níveis de nitrogênio, o que não era esperado já que não houve substituição de sucata por gusa líquido.

O comportamento do banho no momento de descarburização mudou significativamente, o que talvez possa explicar a redução nos níveis de nitrogênio. Quando trabalha-se com gusa líquido, a descarburização é mais rápida e intensa e, em seguida, a corrida está pronta para ser vazada. Ao trabalhar com gusa sólido, a descarburização acontece à medida que o gusa está sendo fundido o que leva mais tempo e aumenta as chances de ionização de nitrogênio atmosférico e a reincorporação do gás ao banho com o aumento do *tap to tap*.



Fonte: ArcelorMittal JF

Figura 11: Aços com Nitrogênio Controlado – Média Mensal

CONCLUSÃO

A utilização de gusa líquido provocou uma queda no consumo de energia elétrica, no FEA, de 20% e da energia total de 16,36%, em relação a operação com gusa sólido, juntamente com a redução no consumo de eletrodos, aumento de produtividade e sobretudo oportunidades de aprendizado que estabeleceram novas vantagens competitivas para esta aciaria.

REFERÊNCIAS

- 1 EDGAR, Robert F. History of Electric Arc Furnace. In: TAYLOR, Charles R. **Electric Furnace Steelmaking**. Chelsea, MI. Bookcrafters, 1985. cap. 1, p. 1-7.
- 2 Jones, J. A. T., Alternative Iron Feedstock for EAF Steelmaking, *Proceedings, Electric Furnace conference*, Iron and Steel Society, Warrendale, Pa., 1998.
- 3 HAISSIG, Manfred; GENTER, R.B.; VILLEMIN, B. Hot Metal in EAFs. AISE Steel Technology, March de 2002. pag. 41-48
- 4 XIAOHONG, X.;XIAOJIANG, R.; GUOWEI, Z.; XING, D.; GRANT, M.; TAO, C. High Efficiency Production Practice of a 100 t DC EBT EAF at Xing Cheng Steel Works. AISTech 2006 Proceedings – Volume II. P. 413 – 422.
- 5 Zanoni, C. Análise Exergética de Um Forno Elétrico a Arco. Porto Alegre: 2004.