



PRODUÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DO FORNO PANELA¹

Junio Augusto Rodrigues Pasqua¹

Josué George Lima Drury²

Thiago Leandro²

Paulo Santos Assis³

Resumo

Este trabalho trata da utilização dos gases emitidos no processo de refino do aço, a fim de obter energia térmica para o uso em outros setores da usina. Este método consiste no reaproveitamento dos gases gerados no refino de aço provenientes do forno panela, a fim de reduzir suas emissões de gases na atmosfera. Os gases absorvidos podem ser usados como uma fonte de energia para diversos setores de uma usina para melhorar a qualidade da carga metálica de alto-forno a fim de promover uma redução no consumo de energia na planta. A redução no consumo de energia fornecida por terceiros acontece porque parte da energia será gerada aproveitando o calor latente do gás procedente da aciaria. O redirecionamento do gás do forno panela seria feita seguindo as especificações de um mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL), de modo que você pode ganhar créditos de carbono que poderiam ser vendidos para pagar parte do custo do projeto. Existem determinadas empresas para desenvolver projetos relacionados com o uso de gases liberados do processo em outros setores como, por exemplo, EcoEnviroX em Ouro Preto. Espera-se, em resumo, algumas vantagens que reduzem as despesas relacionadas com o consumo de energia e também no processo de redução dos gases provenientes do processo siderúrgico. A ideia, em primeiro lugar usado nos altos fornos para utilizar a energia potencial e, tanto quanto se sabe, portanto, o valor calórico agora pode ser estendido para outros processos, tais como no convertedor LD.

Palavras-chave: Forno panela; Energia; Mecanismo de desenvolvimento limpo.

ENERGY GENERATION FROM THE LADLE FURNACE

Abstract

Utilization of gases released in the refining process of steel in order to obtain thermal energy for use in other sectors of steel plant. This method consists in the reuse of the gases generated in the refining of steel coming from LF in order to reduce their emission gases in the atmosphere. The gases absorbed may be used as an energy source for various sectors of the plant to heat the raw material for blast furnace so there would be a reduction in energy consumption in the plant. The reduction in energy consumption provided by third happens because some energy will be generated profiting the calorific power of the gas generated in the secondary steelmaking. The redirection of gas from the ladle furnace would be done following the specifications of a clean development mechanism (CDM) so you can earn carbon credits that could be sold to pay a part of the project cost. There are specific companies to develop projects related use of gases released from the process in other sectors such as, for example, EcoEnviroX in Ouro Preto. It is expected, in summary, some advantages that reduce expenses related to energy consumption and also in the process reduction of exhaust gases from the steel process. The idea firstly used in the blast furnace to use potential energy and as far as it is known, so the calorific value now can be extended to other processes, like process used in the secondary metallurgy.

Key words: Ladle furnace; Energy; CDM.

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

² *Membro da ABM. Gerente da EcoEnviroX. Graduando em Engenharia Metalúrgica da Escola de Minas-UFOP*

³ *Membro da ABM. Prof. Titular da Escola de Minas - UFOP, Prof. da REDEMAT, Prof. Honorário da HUST, China, Pesquisador do CNPq, Membro da Direção da EcoEnviroX. Diretor do Núcleo de Siderurgia, Meio-Ambiente e Energia do DEMET – UFOP.*



1 INTRODUÇÃO

Diante da crescente preocupação ambiental dos dias de hoje, é importante a busca por melhorias nos meios de produção existentes ou por novos meios de produção a fim de diminuir ao máximo os impactos industriais nos recursos naturais do nosso planeta. Essa busca também é impulsionada pela preocupação que fundamenta todo tipo de investimento: a redução de dispêndios tanto no investimento propriamente dito (Capex), quanto nos custos operacionais (OPEX). Nosso trabalho tem como principal objetivo minimizar esses dois problemas, reduzir custos com energia no processo e diminuir a emissões de gases que favorecem o aumento do efeito estufa, tão prejudiciais ao Planeta. A ideia é usar os gases gerados no forno panela durante o processo de refino do aço para aquecer matéria-prima de outros equipamentos aproveitando o alto calor latente desses gases no momento em que saem do processo ou ainda transportando estes gases para uma caldeira para geração de vapor que por sua vez irá gerar energia elétrica.

No caso somente do aproveitamento térmico, esses gases podem ser enviados, por exemplo, à área de beneficiamento de minério para aquecer este último antes de ser adicionado no forno a fim de economizar carvão que seria utilizado para tirar a umidade do minério de ferro antes de começar a reduzi-lo, agindo assim num dos maiores gargalos do processo de produção de ferro gusa: o custo do carvão. Deve ser também comentado que o aporte de calor fornecido ao minério implica em redução nas tensões térmicas existentes no mesmo, favorecendo a sua redução de forma menos prejudicial à permeabilidade do alto-forno. Também pode ser imaginado o uso do gás como agente de pré-aquecimento da sucata que é carregada no convertedor LD, ou mesmo em um forno elétrico a arco. No primeiro caso, com esta técnica, pode-se antever reduções no teor de silício do gusa, que redundaria em benefícios tanto para o alto-forno (menor consumo de carbono), quanto na qualidade do aço, pois podem ocorrer menores teores de fósforo no metal, devido ao último fato. No segundo caso, isto é, na aciaria elétrica, têm-se vantagens diretas na redução do consumo específico de energia, redundando por consequência em maior nível de produção de aço, com o mesmo TRAFÓ.

A terceira possibilidade de utilização desses gases poderia ser diretamente na redução no custo de produção do aço já que parte da energia necessária para manter o nível térmico desejado durante o procedimento de refino no forno panela seria garantida pela transformação da energia térmica dos gases do processo em energia elétrica com o auxílio de uma caldeira aquatubular. O uso dos gases contidos no fumo não exigirá combustão, pois a agitação do banho durante o refino do aço é feita pelo argônio que é um gás inerte, quando lançado na atmosfera não causa danos ao meio ambiente. Mas o potencial térmico deste gás (em termos de calor latente) pode ser visto como fator a ser estudado em uma usina siderúrgica integrada.

1.1 Revisão Bibliográfica

A preocupação com o aproveitamento de resíduos de processo é prática comum nos dias de hoje devido à situação preocupante que vivemos no âmbito ambiental. Projetos de mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) que são necessários para pleitear as reduções certificadas de emissões (RCE's), ou simplesmente créditos de carbono, vieram como uma ferramenta para minimizar os impactos ambientais sem provocar perdas bruscas de produção nas empresas que emitem grande parte dos gases poluentes para a atmosfera. A Figura 1 ilustra a distribuição mundial de consumo de energia por fontes. Observa-se que 82% de toda a energia gerada no



mundo procedem de fontes não renováveis, que normalmente é a principal geradora de emissões de gás estufa (CO₂ é um dos exemplos de GHG)

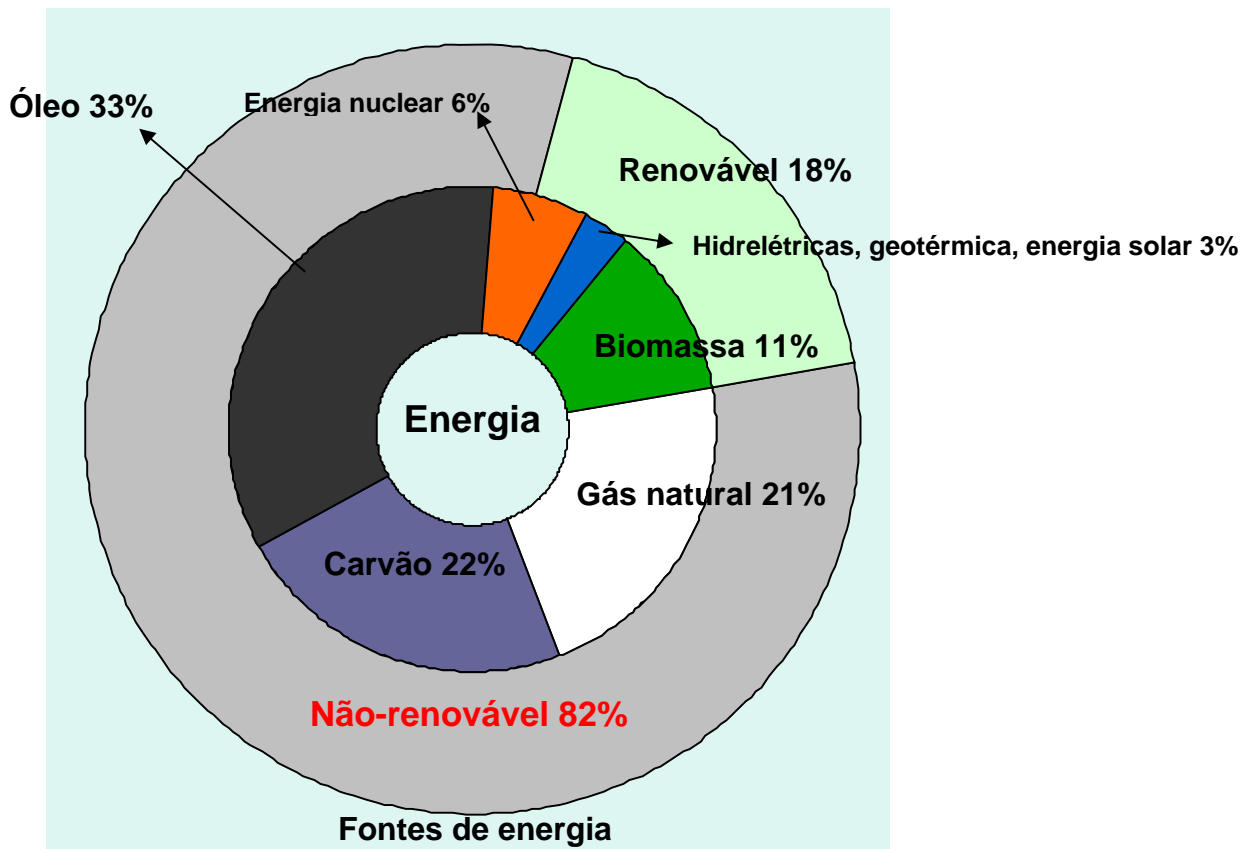


Figura 1 – Fontes de energia no mundo, 2008.⁽¹⁾

O MDL é o único mecanismo por meio do qual, países desenvolvidos, e com compromissos quantificados de redução e limitação de emissões de gases do efeito estufa (GEE) estabelecidos pelo Protocolo de Quioto (comumente denominados “metas”), podem abater parte de suas metas mediante aquisição de Reduções Certificadas de Emissão (RCE’s), ou simplesmente créditos de carbono, geradas por projetos de MDL em países em desenvolvimento que não possuem metas relacionadas aos GEE.

O objetivo do MDL, como definido no Artigo 12 do Protocolo de Quioto, é assistir: os países em desenvolvimento para que contribuam com o objetivo final do protocolo – ou seja, alcançar a estabilização das concentrações de GEE na atmosfera num nível que impeça uma interferência antrópica perigosa no sistema climático – e para que atinjam o desenvolvimento sustentável por meio de atividades de projeto; e aos países desenvolvidos para que cumpram suas obrigações quantificadas de limitação e reduções de emissões.⁽²⁾

Na Figura 2 pode-se verificar o quão importante e vantajoso economicamente é realizar o aproveitamento térmico dos gases em uma usina, pode-se ver que, nas grandes usinas, mais de 90% dos gases produzidos são reaproveitados em algum processo.

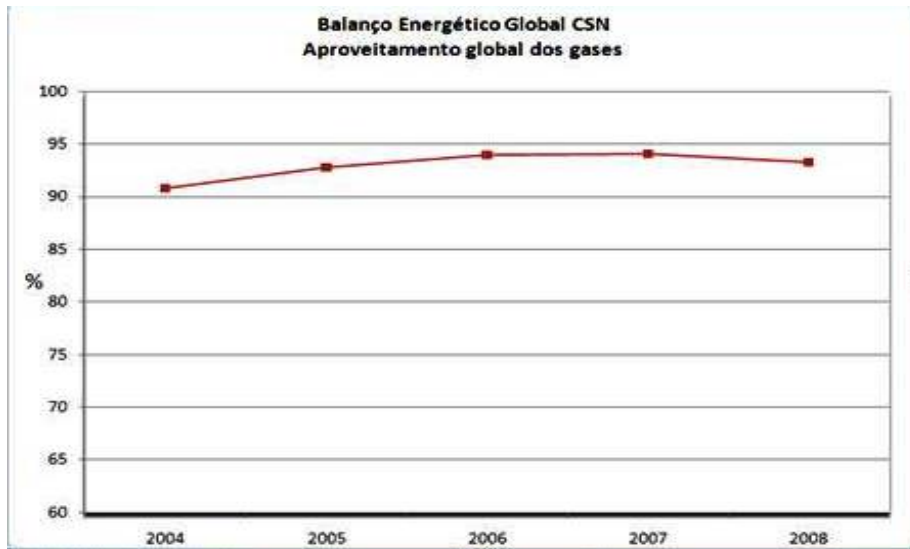


Figura 2 – Exemplo da situação do aproveitamento global dos gases gerados na usina da CSN.⁽³⁾

É importante salientar que este trabalho é inédito no mundo, não havendo nenhuma referência sobre o assunto.

1.2 Objetivos

Promover a aproveitamento de gases gerados do forno panela durante o refino do aço, que serão jogados na atmosfera sem ter nenhuma utilização. Esse aproveitamento será de duas formas: no aquecimento de matéria-prima do alto forno/pré-aquecimento de sucata e na geração de energia elétrica para a usina, ambos os destinos do gás resultam em diminuição de custos produtivos dos processos. Com isso também é possível criar um projeto de mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) para conseguir reduções certificadas de emissões (RCE's) de gases, também chamadas de créditos de carbono, que podem ser comercializadas no mercado financeiro para pagar os investimentos com os novos equipamentos instalados para redirecionamento dos gases produzidos pelo trabalho do forno panela.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O gás estudado neste trabalho é obtido a partir da injeção de argônio no forno panela para facilitar o ajuste químico do aço. O argônio injetado tem 98,5% de pureza e promove a agitação dos elementos para que estes possam ser incorporados ao banho e/ou promover a limpeza adequada do aço. O gás puro é injetado através de um plug poroso promovendo a agitação dos elementos. Subseqüentemente, o argônio em altas temperaturas (1.000°C a 1.500°C) é mandado para um tubo de 50 cm a 1 m de diâmetro.

Após a passagem, o gás é submetido a uma caldeira usando seu próprio calor para o aquecimento da água nos tubos da caldeira. Em seguida a água aquecida toma forma de vapor à alta pressão que é usado para geração de energia.

A temperatura real do gás no forno panela será determinada pelos eletrodos de grafite. A pressão dentro da caldeira irá ser calculada através de um manômetro. A pureza do argônio será verificada antes da introdução na panela.

O processo de injeção de argônio a alta temperatura é mostrado utilizando-se os equipamentos da Figura 3. Um detalhe do sistema é mostrado na Figura 4.

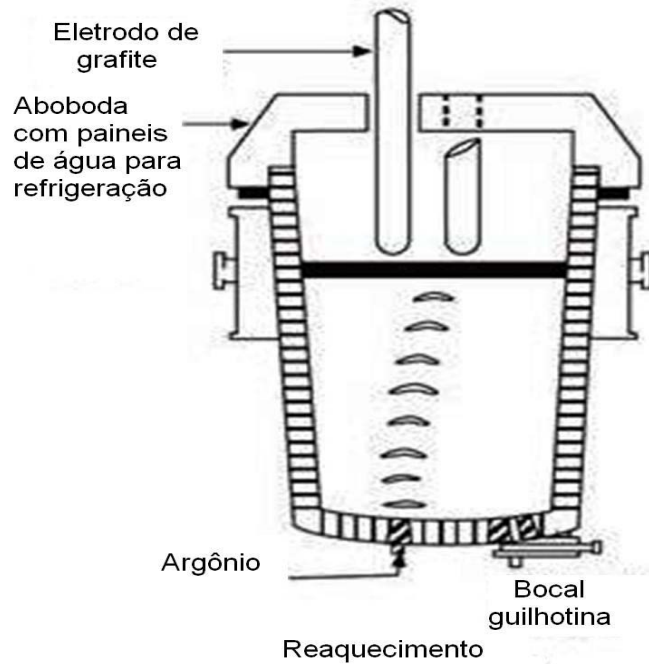


Figura 3 – Ponto de injeção de argônio na parte inferior do forno panela.⁽⁴⁾

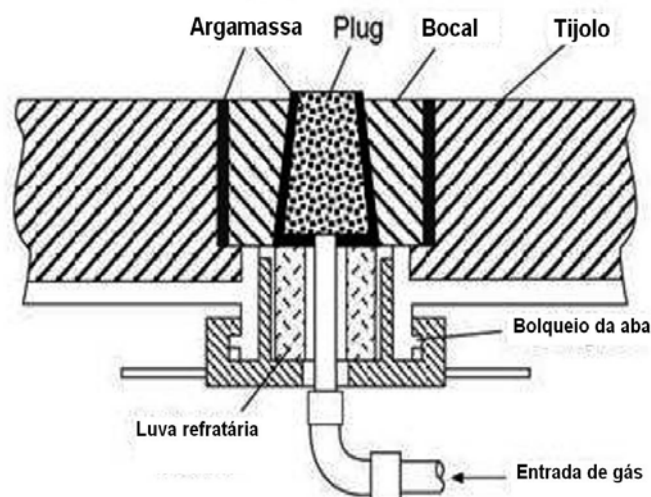


Figura 4 - Bico de injeção de argônio na parte inferior do forno panela.⁽⁴⁾

Após a passagem pelo banho de aço, o gás é submetido a uma caldeira usando seu próprio calor para o aquecimento da água nos tubos da caldeira. Em seguida a água aquecida toma forma de vapor à alta pressão que é usada para geração de energia.

O equipamento constitui de um forno panela onde é produzido o gás e introduzido o argônio necessário para o experimento; uma válvula para medir a vazão de saída de gás do forno para a caldeira; uma caldeira aquatubular de tubos curvos para produção de vapor d'água; um manômetro para medir a pressão dentro da caldeira durante o processo.

É obtida energia através da produção de vapor na caldeira com o aproveitamento de calor do argônio.

O processo consiste na introdução de argônio no forno panela para agitação do aço e incorporação dos elementos químicos. O argônio elevado a altas temperaturas é mandado para uma caldeira aquatubular de tubos curvos que interliga os tubos curvos a tubulões por meio de solda ou mandril. A caldeira apresentará quatro



tubulões. O argônio no interior da caldeira esquentará a água, por troca de calor, até que ela vire vapor à alta pressão, conduzindo esse vapor através de tubos até o elemento gerador de energia. Quando chega ao gerador, a energia cinética do vapor produzido na caldeira faz movimentar uma turbina promovendo assim a produção de energia elétrica. Porém, como todo processo de transformação de energia, existe uma quantidade de energia que é transformada em trabalho e outra que é perdida, o que faz com que o rendimento do procedimento caia, induzindo uma menor quantidade de energia elétrica, de acordo com os princípios da termodinâmica (equação 1).

$$\Delta U = Q - W \quad (1)$$

Essa perda gira em torno dos 40%, ou seja, da energia adicionada no sistema pelo vapor gerado na caldeira 60% não se transforma em energia elétrica.⁽⁵⁾ A Figura 5 ilustra o detalhe do sistema proposto neste projeto.

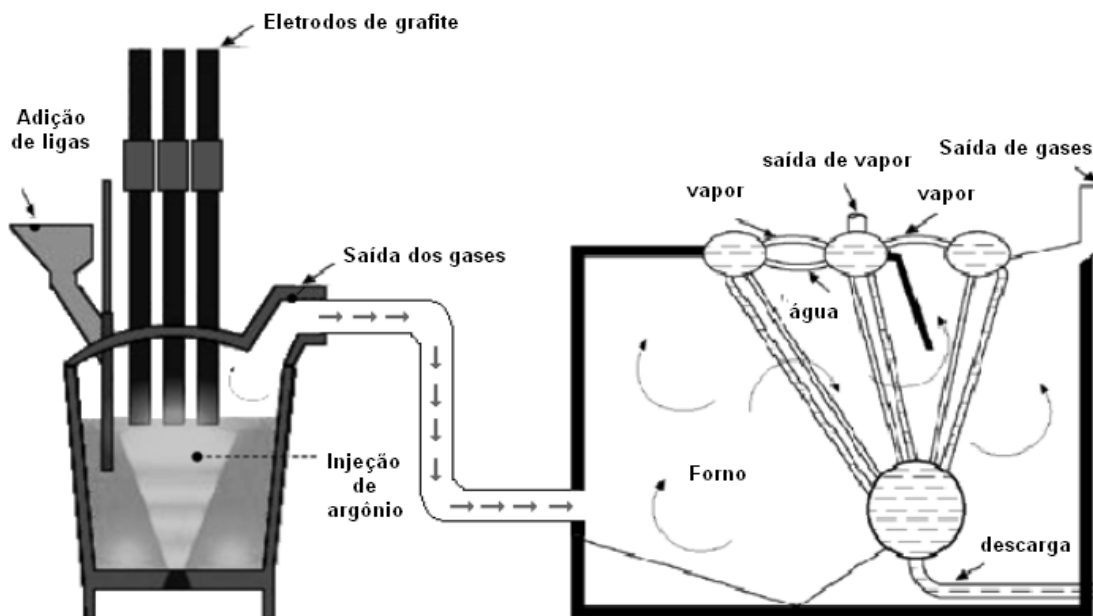


Figura 5 – Caldeira recebendo os fumos provenientes do refino do aço.

No caso em que vai ser aproveitado o potencial latente do gás, o mesmo deverá ser conduzido em tubulações apropriadas para proceder seu aproveitamento diretamente para pré-aquecimento de sucata, ou para o seu aproveitamento na “stock-house” em altos-fornos, para pré-aquecer o minério de ferro e garantir, além disso, uma decrepitação do mesmo, ou redução de tensões internas do minério de ferro compacto, evitando que o mesmo se degrade no interior do alto-forno, através do fenômeno de crepitação. Neste caso, além de vantagens diretas na operação mais suave de altos-fornos, tem-se redução no consumo específico de carbono, conforme atesta Vieira.*

3 RESULTADOS

Os principais ganhos obtidos tanto com a utilização pura dos fumos gerados durante o processo de refino do aço, quanto com a utilização de energia elétrica gerada pelo

* Vieira, C.B., Prof. Adjunto da Escola de Minas Contatos pessoais. Jan 2011.



vapor vindo da caldeira alimentada com gás do mesmo processo são com relação à redução de gastos com energia.

No caso do alto-forno a energia que será economizada é a energia térmica vinda do carvão injetado pelas ventaneiras ou acrescentado pelo topo do forno. Sem a aplicação desse procedimento seria necessária uma quantidade maior de carbono para, inicialmente, retirar a umidade do minério proveniente do contato com o ambiente, fato que se agrava nas épocas de chuva. Só após ter eliminado a umidade no minério, o carbono começaria as reações de redução do mesmo. O pré-aquecimento do minério se justifica por auxiliar o processo de redução deste material e conseqüentemente diminuir o consumo da principal fonte de gastos da produção de ferro gusa. Essa redução de custos com matérias-primas daria uma economia estimada de aproximadamente 2% no valor final do gusa.

O pré-aquecimento com argônio diminui a utilização do gás de alto-forno (GAF) para este fim. Com isso é possível utilizar a quantidade de GAF substituída por argônio para outros fins na usina ou talvez utilizá-lo para revenda. No caso de empresas que usam a fumaça dos glendons e ou cowpers, pode-se inclusive imaginar a mistura destes gases para aumentar ainda mais o potencial de aquecimento de minério decrepitado.

Outro possível benefício está no fato de que, por se tratar de um gás inerte o argônio pode ser usado para aquecer o minério em temperaturas relativamente altas que não haverá possibilidade de reação deste gás com o minério que está sendo aquecido. O cuidado a ser tomado é em relação à resistência térmica da correia que transporta esse material até o topo do forno, isto se considerar temperaturas superiores a 250°C.

O pré-aquecimento da carga possibilita, no caso da sucata de ferro, um maior controle do teor de silício no gusa, facilitando assim a desfosforação do mesmo. A idéia é manter a temperatura da sucata por volta dos 300°C, assim é mantida uma das funções principais da sucata que é a refrigeração do banho durante o processo de transformação do gusa em aço. Isto vai permitir se pensar na possível redução no teor de silício do gusa no alto-forno, melhorando ainda mais os desempenho térmico do processo.

Para calcular quanto de sucata e de minério pode ser aquecida com a quantidade de argônio liberada do forno panela, encontramos a quantidade de calor existente no volume de argônio produzido, através da equação (2) de quantidade de calor:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t \quad (2)$$

Os cálculos feitos para verificar o potencial calórico do argônio, retirado do forno panela a 1000°C, quando usado para pré-aquecimento da sucata mostram que ele tem capacidade razoável para este fim. A energia gerada pelo argônio ao sair do forno panela é suficiente para aquecer, a 300°C, uma quantidade de sucata de:

$$6666,2 \text{ t/ano ou } 710 \text{ kg/h}$$

Isso levando em consideração o consumo anual de argônio para forno panela com produção de 976655 t/ano. Considerou-se neste calculo a geração específica de argônio de 1,00Nm³/ton de aço.

Na segunda opção os fumos do forno panela são levados para uma caldeira onde servirão de combustível para formação de vapor d água que por sua vez será usado para geração de energia elétrica. A quantidade de energia elétrica produzida segue o princípio termodinâmico de ciclos onde se tem que a quantidade de energia



gerada no sistema é, no máximo, 40% da energia térmica adicionada no início do processo.

A quantidade de gases gerados no forno panela é calculada de acordo com a capacidade de produção de cada equipamento. Somente para exemplificar no caso de uma usina siderúrgica brasileira, foi calculado o consumo de argônio por tonelada de aço bruto. A Figura 6 ilustra a evolução do consumo de argônio por tonelada de aço bruto consumida em cinco anos consecutivos.

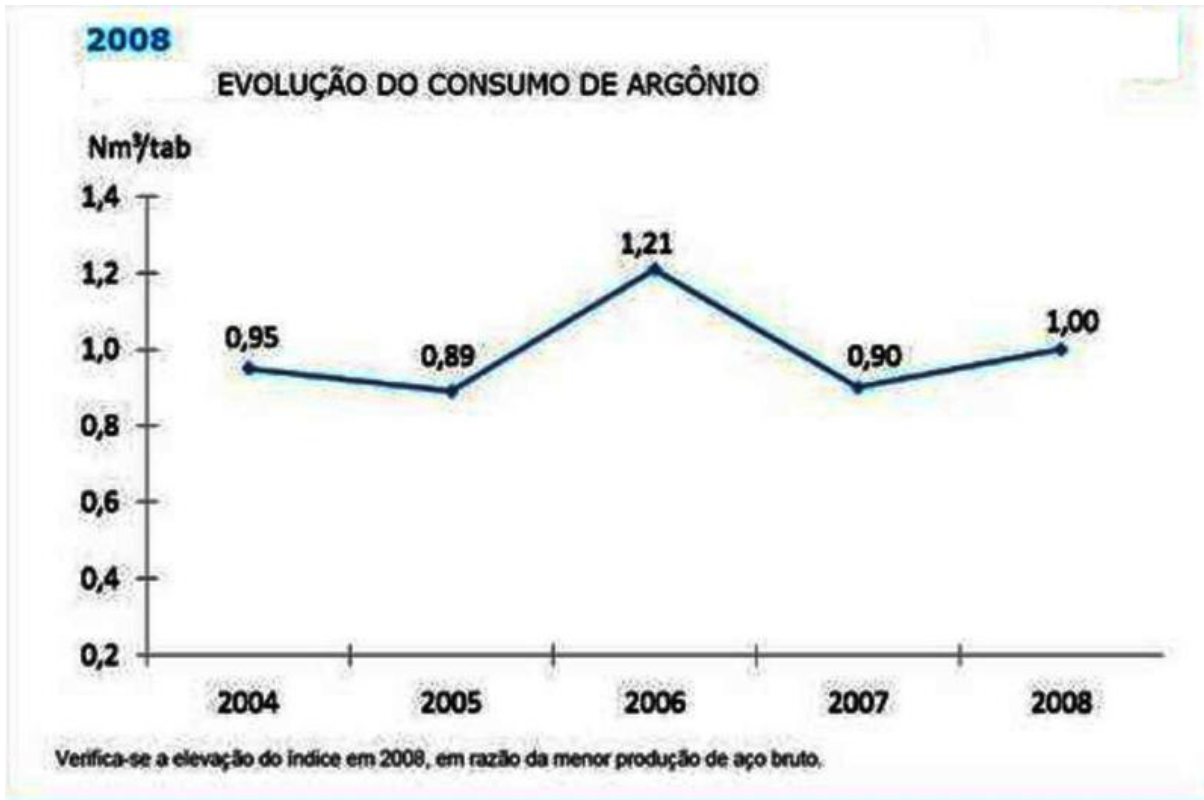


Figura 6 – Evolução do consumo de gases na usina da Usiminas de Cubatão.⁽³⁾

A energia gerada pode ser usada em qualquer local da usina, inclusive no próprio forno panela garantindo assim redução nos gastos com energia elétrica que é usada para controle do nível térmico do aço durante o refino e durante o transporte do aço até o lingotamento a fim de garantir que as propriedades químicas e físicas não se alterem durante o percurso até a lingoteira. Ou seja, esse procedimento não garante melhorias na propriedade do aço ou no beneficiamento dos fumos do processo e sim ganho econômico para a empresa.

A quantidade de energia elétrica gerada pode ser encontrada determinando a energia contida no vapor gerado pelo argônio proveniente do forno panela e transformando esta energia em potência elétrica por unidade de tempo.

Através dos cálculos feitos para determinação do potencial calórico do argônio quando retirado do forno panela a 1.000°C e levado para os devidos fins tem-se uma quantidade de calor calculado de 824.941.900.627,5 J/ano. Isto foi estimado considerando um consumo médio de argônio de uma empresa siderúrgica típica brasileira de 1,00 Nm³/ton de aço.

Essa energia térmica gerada pelo argônio é suficiente para aquecer uma quantidade de 13.199,0 ton/ano ou 2.027 kg/h de minério.

Esses resultados foram conseguidos levando em consideração o consumo de argônio de um forno panela com capacidade de produção de 976.655 ton/ano



4 DISCUSSÃO

O aproveitamento de gases liberados no forno panela se mostra uma ferramenta de grande importância para redução de gastos provenientes do refino secundário do aço, e também de outros setores onde a energia produzida pelos gases é utilizada. Essa economia pode ser repassada para o preço do produto quando lançado no mercado.

Os exemplos dados aqui foram com relação produção de energia elétrica para o forno panela e utilização direta dos gases para pré-aquecimento de minério, ou mesmo para pré-aquecer outros tipos de matérias-primas, como sucata adicionada no convertedor LD, ou ainda utilizar a energia gerada para qualquer outro equipamento que necessite dela.

No pré-aquecimento do minério de ferro tem-se uma queda no consumo de carbono que leva a uma redução de aproximadamente 2% no preço do gusa além da possibilidade de comercialização de créditos de carbono provenientes das reduções de emissões de gases poluentes do alto-forno, provocadas pela menor quantidade de CO₂ liberado durante a redução do minério do ferro.

Na transformação de energia térmica dos gases em energia elétrica que pode ser utilizada para controle térmico no forno panela, tem-se redução da quantidade de energia que a usina compra da concessionária, podendo assim ter uma queda aproximada no consumo energético anual da usina de 91.73.354 kwh/ano. Ora, isto corresponde a uma economia da ordem 917.335 USD por ano em energia (considerando que o preço do MWh seja de 100 USD/MWh. Afora este ganho deve ser adicionado o crédito de carbono que certamente poderá advir do desenvolvimento e implantação do projeto em tela.

Qualquer um dos fins que se queira dar ao argônio utilizado no refino do aço, ou no pré-aquecimento de matéria-prima ou na geração de energia elétrica, se mostra viável, podendo induzir a uma queda no preço do produto que recebe a energia elétrica ou térmica.

5 CONCLUSÃO

Com o trabalho realizado conclui-se que:

- Os gases gerados durante o refino do aço no forno panela podem ser usados para produção de energia elétrica com a ajuda de caldeiras que gerariam o vapor necessário para a transformação mencionada.
- Para uma usina com capacidade estimada de 1.000.000 toneladas anuais de aço bruto, estima-se uma redução do custo despendido para geração de energia elétrica de 917335 USD.
- Outra possibilidade é usar o gás para pré-aquecimento de matéria-prima de vários equipamentos, como minério de ferro no alto-forno e sucata no convertedor LD. Esse pré-aquecimento gera economia em redutores já que a umidade da matéria-prima é retirada antes do enformamento.
- Com esse aproveitamento de gás, no pré-aquecimento ou na geração de energia elétrica, é possível criar projetos de MDL que, por sua vez, quando aprovados pelos órgãos competentes, geram créditos de carbono que podem vir a ser comercializados no mercado financeiro.

Agradecimentos

Aos sócios da EcoEnviroX que auxiliaram na pesquisa, ao Prof. Luciano do IFMG pelo auxílio prestado, bem como a UFOP - Escola de Minas. A Incultec que é



a incubadora de empresas criada pela UFOP para desenvolver e implantar empresas de cunho tecnológico. A Fapemig pelo apoio na participação dos pesquisadores no evento.

REFERÊNCIAS

- 1 Antero, R.J.; Assis,P.S. New Process and Application for Biogas in Metallurgy. Slide 4. The Iron and Steel Technology Conference and Exposition, Pittsburgh,USA-Mai 2010
- 2 Frondizi, I. L. O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - Guia de Orientação, p.2. 2009.
- 3 SANT'ANA, P.J.P. Balanço energético Global 2008 CSN e Usiminas Cubatão. 30º Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades. ABM. Brasília, São Paulo, p.338, 400. 13 a 21 ago. 2009.
- 4 MEDINA, S.F., LÓPEZ, F.; MORCILLO, M. Chapter 11 Ladle Refining.an Vacuum Degassing. 11th Steelmaking and Refining Volume . The AISE Steel Foundation, Pittsburg, Cap 11, p. 9,47. 1998.
- 5 Universidade Federal de Santa Maria. "termodinamica.pdf". Disponível em: <http://coralx.ufsm.br/cenergia/arquivos_downloads/termodinamica.pdf>. Acesso em: 23 de fevereiro de 2011.