

“HOT METAL PhD TECHNOLOGY”: UMA NOVA ROTA TECNOLÓGICA PARA AUMENTAR A PRODUTIVIDADE E DIMINUIR OS CUSTOS DAS ACIARIAS ELÉTRICAS¹

Ítalo Bariola²
Sergio W. Garcia Scherer³
Enrico Maderna⁴

Resumo

Mundialmente conhecido é o fato da economia na produção do aço, quando uma boa % da carga consiste em Gusa líquido (HM). A “HM PhD Tech” adotou esta rota tecnológica visando soluções para as aciarias Italianas e Européias, onde falta espaço para altos fornos e equipamentos similares, mas principalmente para evitar as emissões nocivas, bem como substituir a matriz energética elétrica pela química, da reação entre o O₂ com gás, num forno rotativo, denominado “Oxigas”. É uma solução que exige um mínimo de investimento e um curto período de implantação. É obvio que esta solução serve para todas as aciarias elétricas, quando o custo da energia elétrica for superior ao custo da energia química da reação de oxigênio com um combustível e/ou quando uma maior produtividade é desejada. Nos fornos “Oxigas”, são fundidos gusa sólido e/ou sucata de ferro e aço. O gusa líquido assim produzido, tem um custo quase igual ao do gusa sólido adquirido. O gusa líquido quando carregado no EAF proporciona economia de energia elétrica, aumento de produtividade e diminuição de outros insumos.

Palavras chave: Hot metal; Gusa líquido; EAF; Economia de energia elétrica.

“HOT METAL PhD TECHNOLOGY”: A NEW TECHNOLOGICAL ROUTE TO INCREASE THE PRODUCTIVITY AND DECREASE THE ELECTRICAL STEEL MAKERS COST

Abstract

The hot metal advantages as charge in electric arc furnaces are worldwide known. The “HM PhD Tech” is a solution for Italian and Europeans electric steel plants where there is no space to erect blast furnaces or similar equipments, to produce “on site” hot metal. This solution also avoids nocives emissions, as well as replaces the electrical energy by the energy of the reaction oxygen and gas, in a rotative kiln, named Oxigas . This solution requires a low investment and short period of erection but this is a solution for any electrical steel plant where the cost of electrical energy is higher than the cost of the combustion oxygen + gas, as well as if higher productivity is required. In the Oxigas ovens are melted pig iron and scrap (steel and iron). The hot metal cost then produced is similar to the purchased pig iron. The hot metals charged into de electric arc furnace make possible a decrease in electrical energy consumption as well as other inputs and an increase in productivity.

Keys word: Hot metal; Pig iron; EAF; Energy demand economy.

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

² *Engenheiro Metalúrgico. Diretor da PhD Consultrade. info@phdconsultrade.com*

³ *Engenheiro Mecânico e Metalúrgico. Consultor da MINITEC. Scherer@minitecnologias.com.br*

⁴ *Diretor da Siderprogetti. enrico.maderna@siderprogetti.it*

1 INTRODUÇÃO

A economia mundial, especialmente no âmbito siderúrgico, voltou a prosperar conduzida pelos países emergentes cuja concorrência é notória, aumentando em cada empresa o sentimento imperioso de reestruturar-se procurando desenvolver novas tecnologias para enfrentar os crescentes custos. Defrontando tais fatos e mantendo-se sempre na vanguarda do mercado, a PhD juntamente com seus sócios, procurou uma solução imediata e prática para os aciaristas das semi-integradas em buscas destas novas metas. Modernizações freqüentes permitiram uma acentuada evolução na produção de aço nos EAFs em poucos anos (Figura 1), atingindo índices de custo cada vez menores. A tendência nos últimos anos é alcançar novas metas por alternativas inovadoras, como as seguintes:

- Aquecimento da sucata aproveitando os gases quentes do próprio forno,
- Recuperação dos finos provenientes dos filtros do próprio forno,
- Carregamento de gusa líquido primário ou sintético, ou Hot Metal.

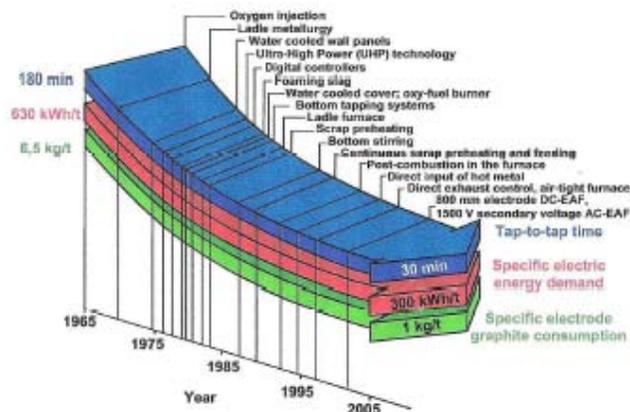


Figura 1 – Evolução tecnológica do EAF.⁽¹⁾

O desempenho das aciarias elétricas ou semi-integradas vem assumindo cada vez maior importância no setor siderúrgico sendo seu crescimento favorecido pela introdução de novas tecnologias (Figura 1). Sua consolidação se deve principalmente à economia da mão de obra, da energia e do capital. Habitualmente focados ao atendimento dos mercados regionais permitindo escoar com maior facilidade sua produção, passaram a inibir os pesados investimentos das Usinas Integradas, as quais operando com gusa líquido proveniente de Altos Fornos, partindo das matérias primas básicas, carvão e minério de ferro, posteriormente convertido em aço geralmente por processos pneumáticos, são os habituais fornecedores da sucata de aço, mesmo que indiretamente, como principal matéria prima. Poucas possuem a vantagem de ter um regular fornecimento de gusa líquido (HM) diretamente de Alto Forno próximo de sua usina. Sua grande maioria importa o gusa sólido, utilizado como carga fria, sem dúvida com inúmeras vantagens operacionais, mas também com algumas limitações. Utilizando a Entalpia ou *Heat Content*, o HM auxilia na fusão da carga sólida no EAF, pela “energia substitutiva” que é proveniente da fusão aplicada na carga no Oxigas. Ou seja, a % de HM adicionado no EAF, cujo calor contido é proveniente da energia

química é bem mais econômica daquela proveniente do arco(*). O HM obtido no Oxigas, comprova na prática a economia prevista pela teoria, onde um KWh produz 860 Kcal (ou 3,6 MJ) enquanto que 1 m³ de gás natural produz 9.000 Kcal (ou 37,7 MJ).⁽²⁾ Não considerando os rendimentos, a combustão oxi-gás produz 10 vezes mais energia que o trabalho do arco elétrico. Em base a dados estatísticos atuais o preço da energia elétrica é 4 vezes superior àquela do gás natural. Nossa asserção da “matriz energética substitutiva” torna-se mais válida ainda se considerarmos a energia elétrica produzida por Termoelétricas a Gás. O processo “HM PhD Tech” *bypassa* esta rota aumentando o rendimento “energético” do sistema.

2 PREMISSAS DO PROCESSO

O processo “HM PhD Tech” foi concebido graças ao raciocínio da “Energia Substitutiva” adaptado-o primordialmente às necessidades das aciarias Européias, valendo-se da tecnologia desenvolvida pela Siderprogetti nos seus fornos Oxigas, amplamente utilizados em fundições de FoFo Nodular substituindo os fornos Cubilot e os de Indução, como um “Retorno para o Futuro”. Muitos foram os OXIGAS instalados nas fundições Européias que estão operando com uma elevada eficiência no binômio qualidade-custo. O processo “HM PhD Tech”, pode ser classificado como: Duplex OXIGAS-EAF, cujos objetivos foram determinados para suplantarem boa parte das deficiências e/ou limitações de boa maioria das aciarias elétricas semi integradas, como a seguir:

- Falta de espaço físico,
- Elevados custos de energia elétrica,
- Elevados custos de mão de obra e manutenção,
- Maiores exigências ambientais,
- Aumento de produtividade,
- Diminuição das matrizes de custos industriais.

3 ESTUDO DO CASO

Podemos classificar como sendo três as básicas alternativas (**) para a obtenção do HM como carga dos EAFs.

3.1 Alto Forno e SAF

Independendo de sua capacidade o gusa líquido é obtido reduzindo o Minério de ferro pelo Coque metalúrgico ou carvão vegetal. Pequenas ou Mini, grandes ou Maxi, suas instalações são enormes, de elevado investimento, de longo payback, de grande potencia elétrica instalada (especialmente os SAFs), de grande impacto ambiental, de elevados custos de manutenção e mão de obra, mas principalmente de administração.

(*) Dependente dos custos regionais.

(**) Processos alternativos para a produção de gusa líquido e que estão sendo desenvolvidos atualmente, não foram citados, mas pertencem ao primeiro grupo como SR: Hismelt, Corex, Finex, Fastmet, Dios, Jupter, Cyclonic-CCF, Romelt, Aisismelt TRP e Tecnoled; ou pertencem ao segundo grupo como RF : Oxicip.

Vem a ser outra fabrica dentro de uma fabrica. Inserindo na matriz de custo o Capex e considerando o longo prazo do retorno do investimento, numa analise final do custo beneficio deste processo concluiremos não ser tão interessante este tipo de instalação se comparado com o Oxigas, especialmente se levarmos em conta a falta de espaço e as rígidas leis ambientais, as quais motivaram a desativação destes equipamentos em muitos países desenvolvidos.

3.2 Cubilot

O gusa líquido sintético é obtido pela refusão de gusa sólido, sucata de gusa e boa parte de sucata de aço, utilizando o Coque de Fundição e ar como agentes de aquecimento. Não são necessários elevados investimentos para os pequenos fornos a ar frio, mas também deixam muito a desejar quanto à eficiência. Para atender uma aciaria elétrica são necessários grandes fornos a ar quente envolvendo grandes investimentos e grandes áreas operativas, mesmo inferiores aos Altos Fornos ou SAFs. Seu custo operacional não é maior que o Oxigas. Utilizando na carga briquetes auto-redutores decresce em produtividade e cresce seu custo, torna-se superior a qualquer outro processo que produz HM. Ainda é um equipamento utilizado em fundições, embora esteja sendo objeto de substituição pela racionalidade do Oxigas.

3.3 Forno Oxigas

O gusa líquido sintético é obtido pela refusão de gusa sólido, sucata de gusa e sucata de aço. É um equipamento cujas instalações ocupam um mínimo de área, de baixa inversão de capital, de baixa potencia elétrica instalada, de desprezível impacto ambiental, utiliza um mínimo de mão de obra. Seu custo final é comparável ao preço de compra do gusa sólido. Usa como agente de calor o oxigênio com gás natural ou metano. É um equipamento muito versátil facilmente adaptável ao cumprimento de suas funções.

4 O FORNO OXIGAS

É um forno semelhante a um “dirigível”, com perfil cilíndrico no corpo. No lado anterior e posterior, onde residem o maçarico oxi-gás e saída de gases/porta de carga, é de perfil tronco cônico e rotativo a 360°, usa revestimento plástico ácido de baixo custo (quartzito), a carga é feita por uma esteira metálica. A operação em geral é totalmente automatizada e controlada por PLC. Inclui o equipamento anti-poluição aprovado por norma EU (Figuras 2 e 3). Foram construídos fornos de até 30 t, mas podem ser fabricados também com capacidade nominal de 100 t. Pela experiência prática um só homem controla dois ou mais fornos. Dois homens são suficientes para operar uma bateria. Outro para auxiliar no vazamento do metal, da escoria e carregamento. A manutenção refratária pode ser feita pela equipe da própria aciaria. O consumo de energia elétrica é relativo a pequenos motores. O queimador oxi-gás de elevado rendimento permite a fusão da carga num período reduzido de tempo com mínimo de consumo e sem desperdícios. É um forno silencioso, não polui o ambiente e pode atingir 1.550°C no HM. Pode ser fornecido com sistema de pre-aquecimento da carga.



Figura 2 – Vista em operação da Bateria 2, fornos Oxigas de 30 t, numa fundição Italiana de FoFo Nodular.⁽³⁾

5 VANTAGENS QUE OFERECE O OXIGAS

5.1 Garantia

Foram instalados e com sucesso, mais de 300 fornos, tanto na Itália como no Exterior podendo ser visitados em qualquer momento, comprovando a eficiência e o desempenho destes fornos, quando carregados com gusa sólida, sucata de gusa e sucata de aço, não ultrapassando esta última de 30%. A velocidade horária de fusão, dos fornos de 30 t, pode variar de 8 ton/h a 12 ton/h. Fornos de maior capacidade nominal têm uma capacidade horária de fusão superior. Os consumos médios reais para se atingir a temperatura do banho a 1.500°C são reportados na Figura 9.

5.2 Agilidade no Prazo de Instalação

O prazo médio para a instalação de uma bateria de fornos Oxigas pode variar de 6 a 18 meses. Podendo ser efetuada por etapas, ou seja, um forno por vez que vem a facilitar ao mesmo tempo sua adaptação e treinamento da mão de obra.

5.3 Mínima Área ocupada para a Implantação

O Oxigas ocupa um mínimo de área em planta (Figura 3). Aproximadamente 200 m² por forno, com um máximo na altura de 10 m a 15 m. Podendo ser instalado em qualquer “área morta” da aciaria ou mesmo num “segundo andar”, não

necessariamente próximo aos EAFs, pois a transferência pode ser feita por empilhadeira adaptada, caminhões, vagões ou outros meios. A fabricante é habilitada e pode colaborar no projeto “State of the Art” individualmente, incluindo a tecnologia operacional bem como logística de materiais. ⁽³⁾

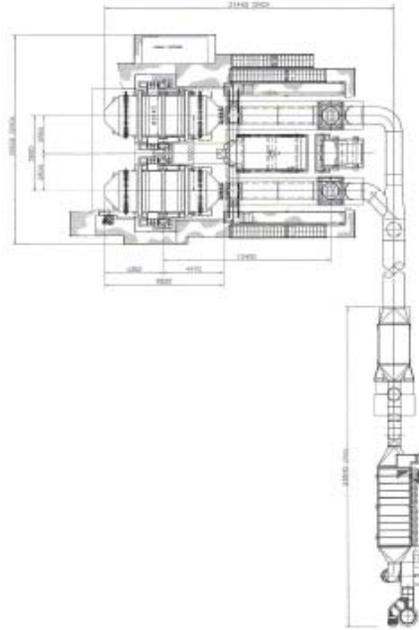


Figura 3 - Planta da Bateria 2, fornos OXIGAS com sistema de carregamento, controle e Filtros. ⁽²¹⁾

5.4 Baixa inversão de Capital e Payback

O Capex, no momento atual, de uma bateria de Oxigas para atender a 30% de gusa liquido de uma aciaria, pode variar de 20 a 25 Eur/ton ano. ⁽³⁾ Pela elevada margem de contribuição bem como a rapidez na implantação o retorno do investimento è de curto prazo.

5.5 Diminuição do Custo Variável

Quanto maior a percentual de HM carregada no EAF menor será o custo de produção e consequentemente maior a produtividade. A titulo de exemplo, durante a operação na aciaria chinesa JYXS, ⁽⁴⁾ fica comprovado na pratica esta realidade (Fig.5). HM com % C de 3,8 a 4,2% fornece a energia química complementar de 3 KWh/m³ de O₂. Kohle, ⁽⁵⁾ Adam ⁽⁶⁾ e posteriormente Pfeifer, ⁽⁶⁾ afirmam que a economia no consumo de energia elétrica pode ser calculada pela equação empírica seguinte:

$$319 \text{ a } 512 * G_{HM}/G_A$$

Eq. 1

onde G_{HM} = peso de gusa liquido na carga do EAF
e G_A = peso vazado do EAF.
319 e 512 = constantes de Pfeifer. ⁽⁶⁾

Calculando, pela Eq.1, a economia em energia elétrica seria de 106 a 170 KWh/ton aço com 30% de HM na carga. Como consequência terá também economia no consumo do eletrodo e refratário. Normalmente o HM é carregado no EAF entre 1.150°C a 1.350°C cujas entalpias variam de 255 a 301 Kwh/t_{HM} com uma eficiência de 60% a 80% (Fig. 6). Cargas de HM superiores a 60% em conjunto a um eficiente aquecimento da sucata, como utilizado pela Minitec em seu EOF (Fig. 4) o consumo de energia elétrica tenderá a Zero. ^(7,8)



Figura 4- Vista do EOF que opera sem eletrodo e sem energia elétrica. Somente HM e sucata aquecida com os gases do próprio forno. ^(7,8)

Fica assim comprovado que o HM como carga líquida no EAF, mesmo proveniente de um equipamento não tão convencional, altera positivamente os seguintes itens de custo:

- Diminui o consumo específico de energia elétrica, tendendo a zero.
- Diminui o consumo específico de eletrodo, tendendo a zero.
- Diminui o consumo específico de refratário.

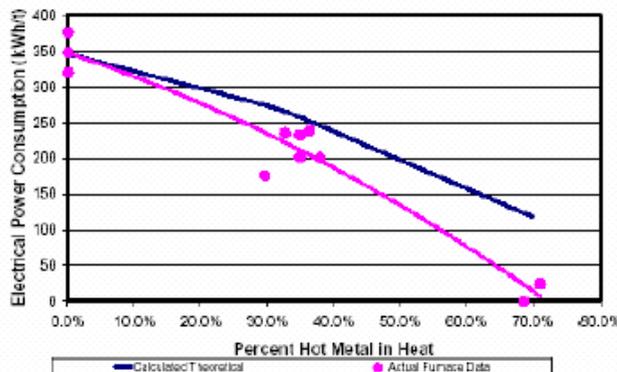


Figura 5 – Consumo real de energia elétrica em função da % de HM na carga (cor rosa), comparado com o calculado teoricamente (cor azul). ⁽⁴⁾

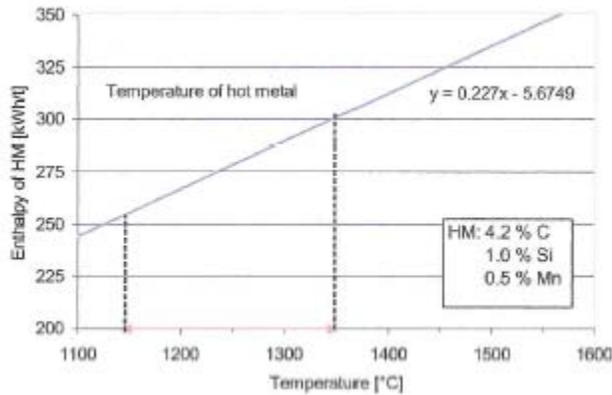


Figura 6 – Entalpia do Gusa em relação a sua temperatura de enforamento.⁽⁹⁾

5.6 Aumento da Produtividade

Uma das conseqüências principais operando com HM é o decréscimo do tempo de corrida, Power-On ou Tap-to-Tap, com melhor aproveitamento do mesmo Transformador, não sendo necessário investir em novos transformadores UHP, para aumentar a relação Potencia/Carga, tampouco em revamping do mesmo para aumento da Tensão Secundária. A melhoria da produtividade, na prática operacional com o “Hot Metal”, está demonstrado pela JXSW,⁽⁴⁾ num EAF de 100 t DC com EBT e trafo de 90 MVA, cuja previsão de produção para 680.000 t anuais, passou a produzir 1.100.000 t, ou seja 62% a mais. A produtividade do EAF com HM depende da capacidade e da eficiência na injeção de oxigênio e dos queimadores laterais. O resultado prático é demonstrado na Fig.7. A diminuição na produtividade observado no gráfico abaixo, acima dos 40% de HM é causado pela limitação na injeção de O₂ nos EAFs.

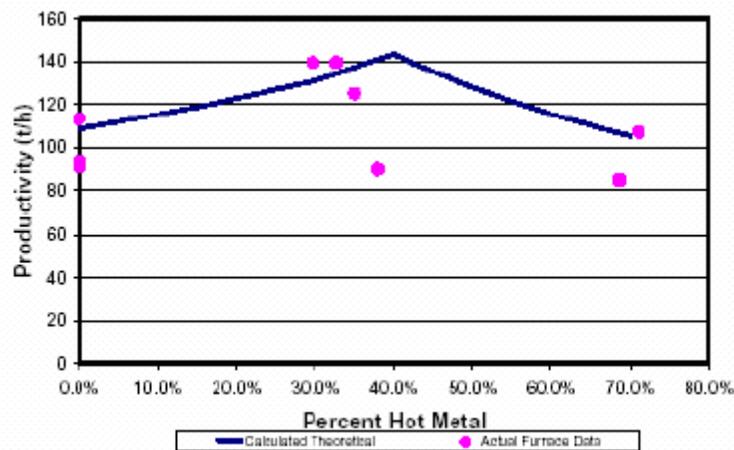


Figura 7 – Produtividade real em função da % de HM na carga (cor rosa), comparado com o calculado teoricamente (cor azul).⁽⁴⁾

5.7 Diminuição das Emissões Nocivas

O uso de HM no EAF, proveniente do Oxigas, diminui de 20 a 30% as emissões nocivas. Esta vantagem vai de encontro à adequação as normativas BAT para as emissões consideradas cancerígenas, como VOC, Dioxinas, Furanos e PPCD, que são originárias das impurezas contidas na sucata de aço como: plástico, tinta, óleo e outras.

5.8 Melhor qualidade final no aço

A operação com HM na carga, produzido pelos Oxigas, causa também a diluição das impurezas ou elementos nocivos normalmente encontrados quando se utiliza somente carga de sucata de aço, como: Cr, V, Ti, Al, Cu, As, Pb, Sn, Sb, S e P.

5.9 Versatilidade

Os fornos Oxigas são fornecidos em baterias moduláveis de 2, 4 e 6 fornos com 30 t de capacidade nominal cada, conforme a necessidade da aciaria. A produção de somente um forno Oxigas pode atender à necessidade de uma usina de 230/250.000 t/a carregando-se 30% de HM. Os projetos devem ser adequados às reais necessidades de cada usina.

5.10 Outras Vantagens Operacionais

Carregando o EAF com HM verificaremos durante a prática operacional outras vantagens, como:

- Vantagens elétricas, como: diminuição de flicker, harmônicas e aumento do fator de potência pela elevada ação na fase líquida da “foaming slag” (Fig.8),
- menores perdas térmicas devido à diminuição de aberturas da abóbada,
- aumento do rendimento metálico,
- maior proteção das laterais e da abóbada,
- diminuição do óxido de ferro na escoria,
- recuperação dos finos dos filtros por injeção auto-redutora

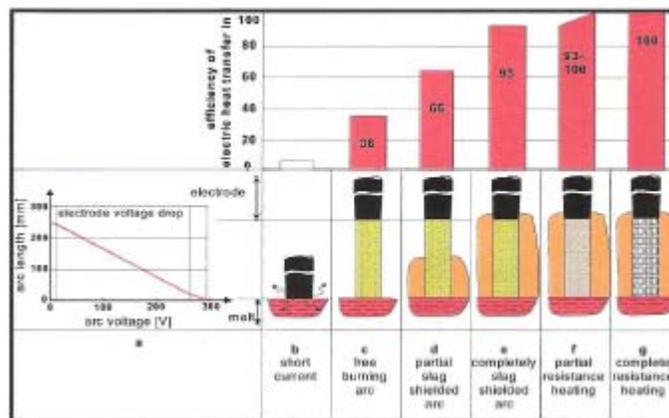


Figura 8 – Influência da “foaming slag” no fator de eficiência da energia transferida do arco ao banho.⁽¹⁰⁾

6 DIMENSIONAMENTO DA NECESSIDADE DE HOT METAL

Assumindo a produção anual numa aciaria de 700.000 t/a de aço vazado com 30% de aumento na produtividade, necessitaremos de 300.000 t/a de Hot Metal. Neste caso corresponderia à implantação de uma bateria com quatro fornos Oxigas , incluindo uma carcaça em *stand-by* para manutenção refrataria.

6.1 Economia de Escala

Sem considerar outras influências nem o elevado aumento da produtividade, somente a economia de energia elétrica e usando a experiência da JXSW⁽⁴⁾ no calculo do custo variável, podemos considerar com certeza a economia de 164 KWh/t com 30% de HM e aplicando os dados da Figura 9, a economia anual poderá ser calculada a grosso modo em base aos preços dos insumos de cada usina como no exemplo seguinte, supondo os seguintes Input: preço do gusa sólido = 250 Eur/t, custo do HM = 260 Eur/t, preço da energia = 40 Eur/Mwh, economia da energia com HM = 164 KWh/t, produção anual =700.000 t, Capex médio = 22 Eur/t/a. Não considerando o ganhos de produtividade, fica comprovando novamente o breve retorno do investimento:

1. Economia da Energia ∩ $0,164 * 40 = 6,56$ Eur/taço
2. Diferença custo entre gusa sólido e liquido ∩ $260-240 = 10$ Eur/t gusa
3. Custo com a fusão Oxigás ∩ $10 * 300.000 = 3.000.000$ Eur
4. Economia anual de energia ∩ $6,56 * 1.000.000 = 6.560.000$ Eur
5. Economia Anual do Processo ∩ $6.560.000 - 3.000.000 = 3.560.000$ Eur
6. Capex ∩ $22 * 300.000 = 6.600.000$ Eur

FICHA TECNICA HM no OXIGAS	Carga kg/t
Sucata de Aço ou Gusa	310
Gusa	700
Sub total Carga	1010
Gas (Nm3)	43
Oxigenio (Nm3)	112
Pet coke	18
Refratario de Silica	2

Figura 9 – Consumos médios de fornos Oxigas operando em fundições de FoFo Nodular. Temp. Vaz. 1500°C.⁽³⁾

7 CONCLUSÕES

Fica evidente que o processo “HM PhD Tech” na produção de HM utilizando os fornos rotativos Oxigás é um recurso pratico, eficiente e econômico; e garantido pelos motivos expostos neste trabalho. Em usinas onde o preço do gusa sólido ultrapassa de 40% o da sucata e onde o custo de energia é mais elevado que no exemplo do item 6.1 o processo torna-se muito mais interessante bem como necessário.

Agradecimentos

O autor agradece a Minitec pela colaboração e principalmente à diretoria da Siderprogetti pelas informações fornecidas.

REFERÊNCIAS

- 1 Szekely J., Trapaga G., Zukunftsperspektiven fur neue Technologien bein Betrieb Eines Fingerschachtofens, Stahl und Eisen, vol 121, nr.3, pp45-50, 2001.
- 2 Geraldo Francisco Burani et alii, Oportunidade de troca de eletricidade para gás natural, (EPUSP) e Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP (IEE-USP), 2003.
- 3 Enrico Maderna – Co-autor e diretor da Siderprogetti srl: Informações sobre experiências dos fornos Oxigás em diversas fundições Italianas, Itália, 2008.
- 4 Xu Xiao Hong, Ruan Xiaojiang, Michael Grant, Chen Tao et Alii: High Efficiency Production Practice of a 100 t DC EBT EAF at Jiangyin Xingcheng Steel Work Co (JXSW). AISITech Proceeding, vol. 2, pg 413-422, 2006.
- 5 Siegfried Kohle, Recent improvements in modelling energy consumption of electric arc furnaces, BFI, Düsseldorf, Germany, 2002.
- 6 H. Pfeifer, M. Kirschen, J.P. Simões, Institute for Industrial Furnaces and Heat Engineering in Metallurgy, Aachen University, EEC, Birmingham 9-11, 2005.
- 7 Weber,R & Pfeifer, HC - O Processo EOF: Desempenho e Perspectivas. Conferência Internacional de Tecnologia Siderúrgica dos Países em Desenvolvimento. São Paulo 1986.
- 8 Nicacio, P, Sen, D, Bechelaine,JD & Colombo Souza,LR - Aciaria EOF: Uma Nova e Comprovada Tecnologia de Produção de Aço a Oxigênio. XXXVII Seminário de Aciaria Internacional da ABM. Porto Alegre, Maio 2006.
- 9 Knacke, O; Kubaschewski, O.; Hesselmann, K.: Thermochemical properties of Inorganic Substances, Springer Verlag, 1991.
- 10 Ameling, D.n.a.: Untersuchungen zur Schaumschlackebildung im Elektrolichtbogenofen, Stahl und Eisen, vol 106, pp 625-630, 1986.

BIBLIOGRAFIAS

- 1 Italo Bariola et Alii: Exergy Ferrous Scrap Preheating System by EAF Waste Gas Recovered, PhD Consultrade – Confidential Project, pg 01-176, 2007.
- 2 Jacques Herskovic, Vicente Falconi, Alvaro P. G. do O’, Rubens C.da Silveira, Marcos J. Mundim: ABM – Coaço – Curso Elaboração do Aço – Fusão e Refino.
- 3 P. Argenta & M. Bianchi Ferri, The EAF technology evolution and the Consteel System, pg. 41-47 La Metallurgia Italiana, Memorie 1/2003.

- 4 Jens W. & Karl-Heinz Spitzer, A process model for EAF steelmaking, Clausthal University Institute of Technology - Germany, AIStech 2006.
- 5 Vicente Falconi C., et Alii, Dados Termodinamicos para Metalurgistas – Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, 1977.
- 6 S. Kohle, Process Control in the production of electro steel, Stahl und Eisen, vol. 115, nr.3, March 1995.
- 7 Michael G.K. Grant, Chen Tao et Alii- Air Liquide: Optimization of Oxygen Steelmaking in non-conventional EAF operations, AISItech Proceeding, vol.01, pg. 545-553, 2005.
- 8 Jeroen de Beer, Ernst & Blok, Ecofys, NL 3503, Utrecht, Netherlands– Future Technologies for Energy Efficient Iron and Steel Making. 1998.
- 9 Jeremy A. T. Jones, Nupro Corporation, www. Steel.org.
- 10 J.O Edstrom & J. von Schéele, The balanced Oxygen Blast Furnace process compared with other process alternatives for Hot Metal production, Scan J. Met. 22, 1993.
- 11 EAF Technology – State of the Art and Future Trends, IISI International Iron and Steel Institute, Brussels, pag.19-43, 2000.
- 12 K.Hofstadler et Alii: Sinter Plant and Electric Arc Furnaces – Waste Gas Purification, Voest Alpine GmbH, 2007.