

# O PROCESSO EOF - EFICIENTE E VERSÁTIL<sup>1</sup>

Sergio W. G. Scherer<sup>2</sup>  
Henrique Carlos Pfeifer<sup>3</sup>  
Luiz Rogério Colombo Souza<sup>4</sup>

## Resumo

O Processo EOF - *Energy Optimizing Furnace* - foi desenvolvido no Brasil, na década de 80. Hoje encontram-se unidades em operação no Brasil e na Índia. Em 2006 o Processo EOF respondeu por 1,8 % (580.000 t) da produção brasileira de aço. Trata-se de um processo de produção de aço a oxigênio, com algumas características específicas que lhe conferem eficiência, baixo custo operacional e produtividade extraordinária, ensejando médias anuais superiores a 36 corridas por dia calendário. Essas características permitem ao EOF a operação com até 40% de carga fria. O trabalho analisa as razões pelas quais hoje só se encontram 3 unidades em operação no mundo, apesar das propriedades notáveis da tecnologia, e mostra as perspectivas de crescimento, com mais um forno de 65/70 t entrando em operação na Índia e diversas unidades em negociação. Descrevem-se algumas das inovações recentes na engenharia do EOF. São destacados, ainda, os aspectos vantajosos do EOF em comparação aos processos convencionais de produção de aço, especialmente no tocante à produtividade e ao custo operacional.

**Palavras chave:** EOF; Sopros submerso; Pós-combustão; Pré-aquecimento.

## THE EOF PROCESS—EFFICIENT AND VERSATILE<sup>1</sup>

### Abstract

The *Energy Optimizing Process* - EOF was developed in Brazil, during the eighties. There are units in operation in Brazil and in India. In 2006 the EOF accounted for 1.8 % (580.200 t) of Brazil's overall steel production. It is an oxygen steel making process with some peculiar features, which impart efficiency, low operating cost and an outstanding productivity, allowing annual averages of 36 heats per calendar day. These characteristics allow the EOF to operate with up to 40 % cold charge. The paper analyses the reason why only three units are in operation worldwide so far, in spite of the remarkable properties of the technology, and presents the prospects for growth, with a new 65/70 t unit ready to start operations in India and a number of units under negotiation. Some of the recent engineering improvements of the EOF are described. Furthermore, the advantages of the EOF in relation to the conventional steel making processes are underlined, especially in regard to productivity and to operating cost.

**Key words:** EOF; Submerged blowing; Post-combustion; Scrap preheating.

<sup>1</sup> Trabalho a ser apresentado no XXXVIII Seminário de Aciaria - Internacional da ABM. Belo Horizonte/MG, de 20 a 23 de Maio de 2007.

<sup>2</sup> Engenheiro Mecânico e Metalúrgico. Sócio da MINITEC. [scherer@minitecologias.com.br](mailto:scherer@minitecologias.com.br)

<sup>3</sup> Engenheiro Mecânico e Metalúrgico. Sócio e Dir. MINITEC [pfeifer@minitecologias.com.br](mailto:pfeifer@minitecologias.com.br)

<sup>4</sup> Engenheiro Químico. Consultor da MINITEC. [colombosouza@hotmail.com](mailto:colombosouza@hotmail.com)

## 1 INTRODUÇÃO

A antiga Companhia Siderúrgica PAINS - hoje GERDAU Divinópolis - operava vários mini altos fornos, alimentando com gusa líquido três fornos Siemens Martin de 28 t .Ao assumir o controle operacional da usina, em 1976, o Grupo KORF deu início à sua modernização, deparando-se com um dilema: qual o processo de produção de aço deveria substituir os obsoletos fornos SM, causa da iminente insolvência da empresa e de seu consequente alijamento do mercado? Ante o dilema, e contando com uma capacitação técnica de alto gabarito, o Grupo resolveu partir para uma solução doméstica e não convencional: a adoção e posterior desenvolvimento da nova tecnologia de sopro submerso de oxigênio em fornos SM, através de ventaneiras de concepção especial. Esse passo salvou a empresa da insolvência e deu-lhe novo e vigoroso alento, permitindo que continuasse no caminho do desenvolvimento tecnológico. Isso trouxe como resultado final o processo EOF, cujas principais características são as seguintes:

- Sopro de oxigênio submerso;
- Pós combustão do monóxido de carbono que emerge do banho;
- Pré-aquecimento da carga fria, via o calor sensível dos gases;
- Retirada de escória e novas adições de fundentes **sem interrupção do sopro** de oxigênio, permitindo redução do P no aço a níveis < 0,01 %;
- Vazamento livre de escória;
- Intervalo de apenas 8 horas para troca de soleira;
- Produtividade extremamente elevada, em ritmo superior a 36 corridas por dia.

Atualmente as seguintes empresas têm toda a sua produção de aço elaborada no EOF:

- GERDAU Divinópolis, no Brasil, com um forno de 43,5 t, tendo produzido 580.200 t de aço ao carbono, em 2006;
- Hospet Steels, em Hospet/Índia, que com um forno de 40/45 t produz hoje ao ritmo de 420.000 t/ano de aços de qualidade;
- SISCOL, empresa do Grupo JINDAL, em Salem/Índia, que produz ao ritmo de 400.000 t/ano de aços ao carbono e ligados, em forno de 35/45 t.

A lenta expansão deve-se ao fato de que o EOF é adequado para usinas integradas de pequeno e médio porte, que disponham de gusa líquido mas tenham falta de sucata e de energia elétrica. Esse é o caso de países em desenvolvimento, tais como o Brasil e a Índia. Como na década de 90 e nos primeiros anos de 2000 nenhuma nova usina integrada de médio porte foi construída no Brasil, o EOF ainda não encontrou novo mercado. Já na Índia, a tecnologia foi adotada ao final dos anos 90 por duas novas usinas integradas de porte médio (Hospet e SISCOL), uma das quais (SISCOL) está em vias de colocar em operação um segundo EOF, de 65/70 t, passando a totalizar uma capacidade anual de 1,0 milhão de toneladas. Outras usinas indianas estão em negociação para instalação de EOFs, o mesmo sendo válido para o Brasil. Ultimamente, entretanto, esboça-se uma tendência, por parte dos produtores brasileiros de gusa, de agregar valor ao seu produto, eventualmente transformando-o em semi-elaborados de aço. A concretização dessa tendência abrirá grande mercado para o EOF.

Além disso, estão em estudo com vários clientes outras aplicações potenciais do EOF, tais como a desfosforação de gusa e o refino de certos ferro-ligas.

O EOF é processo de grande flexibilidade quanto às matérias primas, de alta produtividade e eficiência, constituindo-se na solução mais econômica para usinas siderúrgicas integradas de até 1,0 milhão de toneladas/ano, que disponham de 60% ou mais de gusa líquido em sua carga metálica.

## **2 O PROCESSO DE PRODUÇÃO DE AÇO NA ANTIGA PAINS**

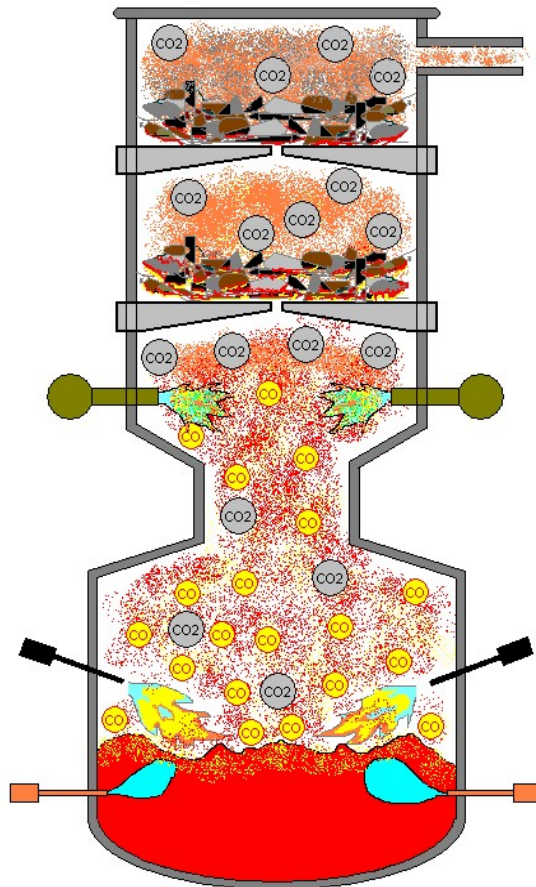
Em 1976 a antiga Companhia Siderúrgica PAINS - hoje GERDAU Divinópolis - operava vários mini altos fornos e três fornos Siemens Martin (SM) de 28 t .

Ao assumir o controle operacional da usina, o Grupo KORF deu início à sua modernização, deparando-se com um dilema: qual o processo de produção de aço deveria substituir os obsoletos fornos SM, causa dos iminentes prejuízos da empresa e de seu próximo alijamento do mercado? O forno elétrico ficava excluído por não disponibilidade de rede elétrica adequada nem de sucata, além do elevado investimento demandado; já o processo BOF não era compatível por uma questão de investimento (superava as disponibilidades do grupo), além do problema da pequena escala.

Ante o dilema, e contando com uma capacitação técnica de alto gabarito, o Grupo resolveu partir para uma solução doméstica, calcada em recente desenvolvimento noticiado nos meios técnicos internacionais. Tratava-se do sopro submerso de oxigênio em fornos SM, através de ventaneiras de concepção especial. O novo processo foi experimentalmente introduzido, pelo próprio autor da tecnologia, em 1978, e subseqüentemente amadurecido, com resultados marcantes: grande ganho de produtividade (tempo de corrida reduzido de 4 horas para menos de duas horas) e substancial redução de custos: o consumo de óleo combustível foi reduzido em 67 % (de 120 para 40 kg/t) e o de material refratário de 40 para 10 kg/t. Esse passo salvou a empresa da insolvência e deu-lhe novo e vigoroso alento, pois agora com apenas 2 fornos SM em operação a produção de aço cresceu 35 %.

## **3 O PROCESSO EOF**

O sopro submerso de oxigênio, mercê da agitação intensa que causa no banho líquido, dispensa a forma oblonga do cadinho dos fornos SM. Além disso, em virtude das fortes projeções de aço nas paredes e do intenso calor gerado, o sopro submerso passou a exigir elementos refrigerados na abóbada e nas paredes do forno. Essas e outras observações conduziram à criação do EOF em substituição aos antigos fornos SM da empresa: de soleira circular, semelhante à do FEA, revestido de elementos refrigerados, basculante, o novo forno foi concebido e desenhado. Em 1982 foi construído um protótipo, de 22 t, que vazou a primeira corrida em maio daquele ano. O sucesso obtido levou à imediata engenharia da primeira unidade industrial, de 29 t, já dotada de pré-aquecedor de sucata, desenhada e construída ainda em 1982, produzindo a primeira corrida em dezembro do mesmo ano.



Fonte: MINITEC

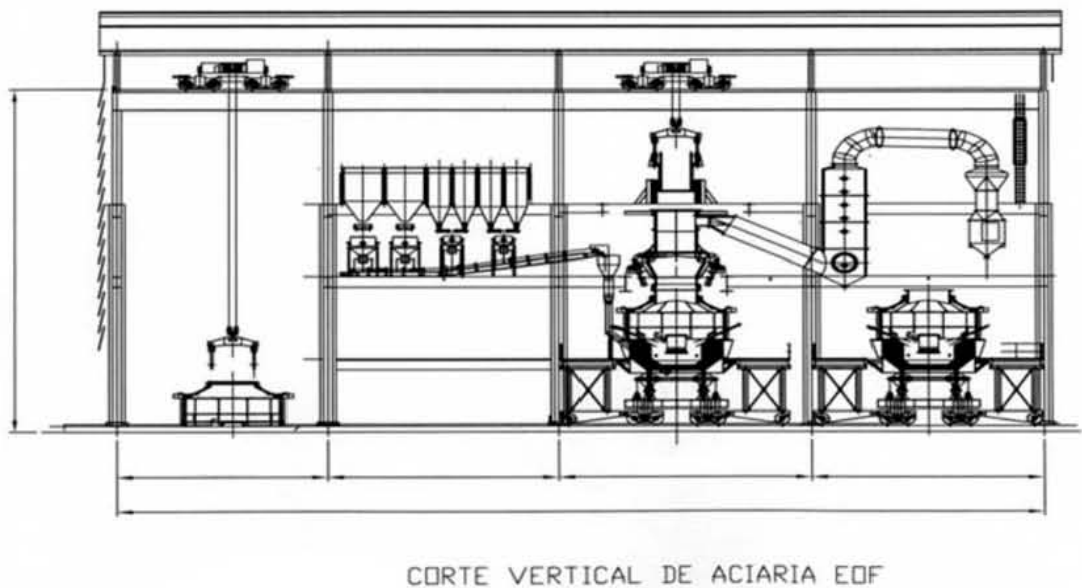
**Figura 1** - O princípio de funcionamento do processo EOF.

O nome EOF (“Energy Optimizing Furnace”) fundamenta-se nas características básicas do processo (Figura 1), que são a seguir descritas:

- Sopro de oxigênio por meio de ventaneiras submersas, resfriadas por processo especial, patenteado;
- Lanças supersônicas de oxigênio complementam a ação das ventaneiras submersas. Atingem altíssima eficiência na oxidação do banho, devido à agitação provocada pelo sopro submerso;
- Injetores atmosféricos garantem a pós combustão de boa parte do monóxido de carbono emergido do banho, permitindo que parte da energia retorne ao mesmo, graças à intensa ebulição e às projeções de metal líquido;
- Pré-aquecimento da carga fria, via o calor sensível dos gases quentes que, ao deixarem o forno, passam pelo pré-aquecedor de sucata, aquecendo-a para a corrida seguinte;
- Dispositivo de basculamento do forno, facilitando a retirada de escória e novas adições de fundentes **sem interrupção do sopro** de oxigênio. Isso facilita grandemente a desfosforação do aço, permitindo reduzir o nível de P a níveis < 0,01 % com relativa facilidade;
- O basculamento do forno também é essencial para o vazamento livre de escória;

- A disponibilidade de duas soleiras, montadas em carros-soleira dispostos em tandem, permite efetuar as trocas de soleira em intervalo de apenas 8 horas, o que define o intervalo entre duas campanhas sucessivas;
- Essas e outras características específicas conferem ao EOF produtividade extremamente elevada, ensejando médias anuais superiores a 36 corridas por dia calendário (42 por dia de operação plena).

A Figura 2 mostra um corte de uma unidade EOF.



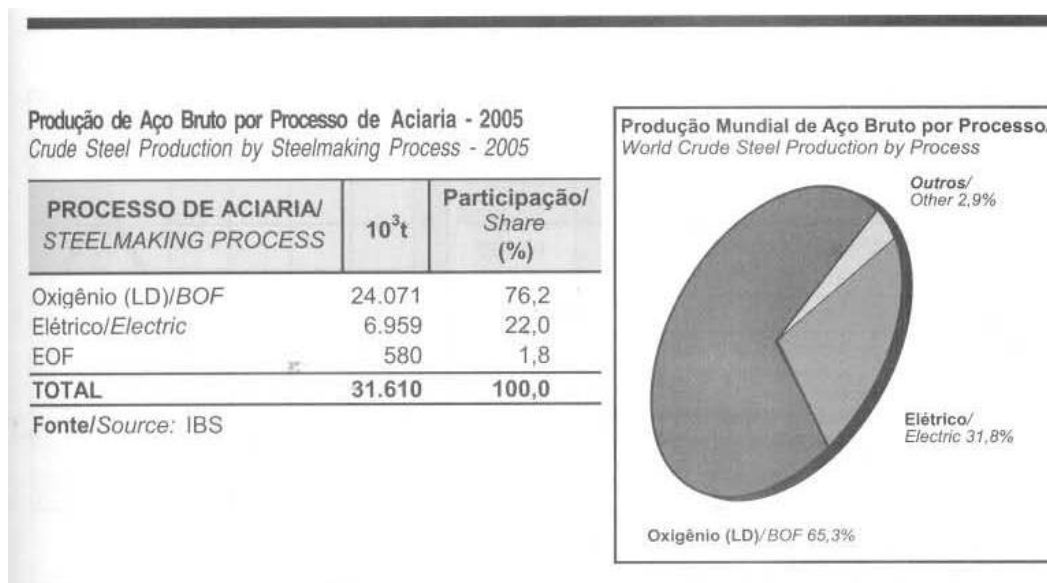
Fonte: MINITEC

**Figura 2** - Corte vertical de Aciaria EOF.

#### 4 USINAS INTEGRADAS QUE OPERAM COM O PROCESSO EOF

Os EOFs em operação e montagem foram todos projetados pela KTS, hoje MINITEC:

- GERDAU Divinópolis, no Brasil, que conta com: 3 Mini Altos Fornos a carvão vegetal; um EOF de 43,5 t; um forno panela; uma máquina de lingotamento contínuo de tarugos; laminador de barras e de fio máquina. Alcançou, em 2005, a produção de 580.200 t. O Processo EOF produz hoje 1,8% da produção brasileira de aço (Figura 3);



**Figura 3** - O EOF responde por 1,8 % da produção brasileira de aço.

- Hospet Steels, em Hospet/Índia, que conta com 2 Mini Altos Fornos de 250 m<sup>3</sup>, a coque (KTS/Minitec); um forno EOF de 40/45 t; 2 fornos panela; unidade de degaseificação a vácuo (VD); 2 máquinas de lingotamento contínuo (para billets, incl. redondos, e blocos); desbastador reversível e laminador de barras grossas. Produz hoje ao ritmo de 420.000 t/ano de aços de qualidade para tubos sem costura, para forjamento em matriz fechada, para rolamento etc. Projeto conceitual e layout foram desenvolvidos pela KTS (hoje MINITEC). Hospet Steels é uma joint venture dos grupos indianos Kalyani (hoje o maior produtor mundial de forjados em matriz) e Mukand, ambos conceituados produtores de aços especiais;
- SISCOL, empresa do Grupo JINDAL, em Salem/Índia, que conta com alto forno; forno EOF de 35/40t; forno panela; uma máquina de lingotamento contínuo de tarugos; laminador de longos. Produz 350.000 t/ano de aços ao carbono e ligados. A SISCOL está montando um EOF de 65/70 t que entrará em operação no 1º semestre do corrente ano, juntamente com um segundo alto forno, segundo forno panela, unidade de VD, nova máquina de lingotamento contínuo. Com os dois EOFs a sua produção atingirá 1,0 milhão de t/ano de aço.

Novos potenciais clientes estão estudando a implantação de unidades EOF, sobretudo na Índia, onde um número relativamente grande de empresários de porte médio está investindo em siderurgia, tanto em aços comuns quanto especiais. No Brasil, o mercado potencial está no grande número de produtores independentes de gusa, que estão começando a analisar a possibilidade de agregarem valor a seu produto, partindo para a produção de semi-elaborados para exportação. Outra interessante alternativa para a tecnologia consiste em empregá-la na desfosforação de gusa, operação em que ultrapassa longe a eficiência da operação em panela, com muito menor impacto ambiental e com menor custo operacional. Estudos nesse sentido estão bem avançados, permitindo partir sem demora para unidades industriais.

## 5 COMPARAÇÃO DO EOF COM OUTROS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DE AÇO

O Quadro 1 lista alguns dos parâmetros básicos e mostra as diferenças entre os três processos, para fornos de 50 t de capacidade:

ITEM	EOF	BOF	EAF
1. Matérias Primas Básicas	Gusa Líquido	Gusa Líquido	Sucata / Ferro Esponja / Gusa
2. Composição da carga	Gusa Líquido (mín. 60%), gusa sólido e sucata. DRI-HBI, limitado a ~15%	Gusa Líquido (mín. 85%), gusa sólido e sucata	Sucata de aço / gusa sólido / DRI-HBI
3. Fonte de Energia	Carbono do banho	Carbono do banho	Energia Elétrica (apr. 500 kWh/t)
4. Combustão do Carbono	Completa	Parcial	Parcial
5. Eficiência Energética	Máxima	Moderada	Moderada
6. Poluição Sonora	Nenhuma	Nenhuma	Elevada
7. Produção horária para fornos de igual capacidade	1,6	1,4	1,0 (caso base)
8. Consumo de cal	60 kg/t de aço	90 kg/t de aço	40 kg/t de aço
9. Consumo de oxigênio	65 Nm <sup>3</sup> /t de aço	55 Nm <sup>3</sup> /t de aço	20 Nm <sup>3</sup> /t de aço
10. Qualidade do aço	Bom controle de qualidade. Desfosforação superior à do BOF	Bom controle de qualidade	Boa. Mas um efetivo controle da qualidade da sucata é essencial
11. CAPEX	0,90	1,15	1,0 (caso base)
12. OPEX	0,80	0,85	1,0 (caso base)

Fonte: MINITEC

**Quadro 1:** Parâmetros básicos de EOF / BOF / FEA - Comparação.

## 6 INOVAÇÕES RECENTES

Ao longo de sua evolução o EOF foi recebendo sucessivos aperfeiçoamentos, que lhe conferiram a notável eficiência com que hoje opera, sempre que o gusa líquido lhe seja servido no ritmo necessário e que as unidades a jusante (forno panela, desgaseificação a vácuo e sobretudo o lingotamento contínuo) estejam adequadamente dimensionados e operados. O layout da aciaria, com toda a logística, obviamente deverá também atender o ritmo de trabalho exigido. Dentre as mais recentes inovações já em operação contam-se as seguintes:

- O basculamento rápido do forno (velocidade de 4 graus por segundo), que permite interromper o vazamento no momento oportuno, evitando a passagem da escória para a panela ("slag free tapping"). Essa é uma característica essencial para a produção de aços especiais;

- O sistema de carregamento de sucata, que opera o carregamento sem prender a ponte rolante, cuja atividade se resume a descer o cestão vazio e subir o cheio, a qualquer momento disponível, entre dois vazamentos sucessivos;
- A disponibilidade de duas soleiras, cada uma sobre o seu carro soleira, o que enseja a troca rápida (em 8 horas) da soleira entre duas campanhas, minimizando a perda de produção.

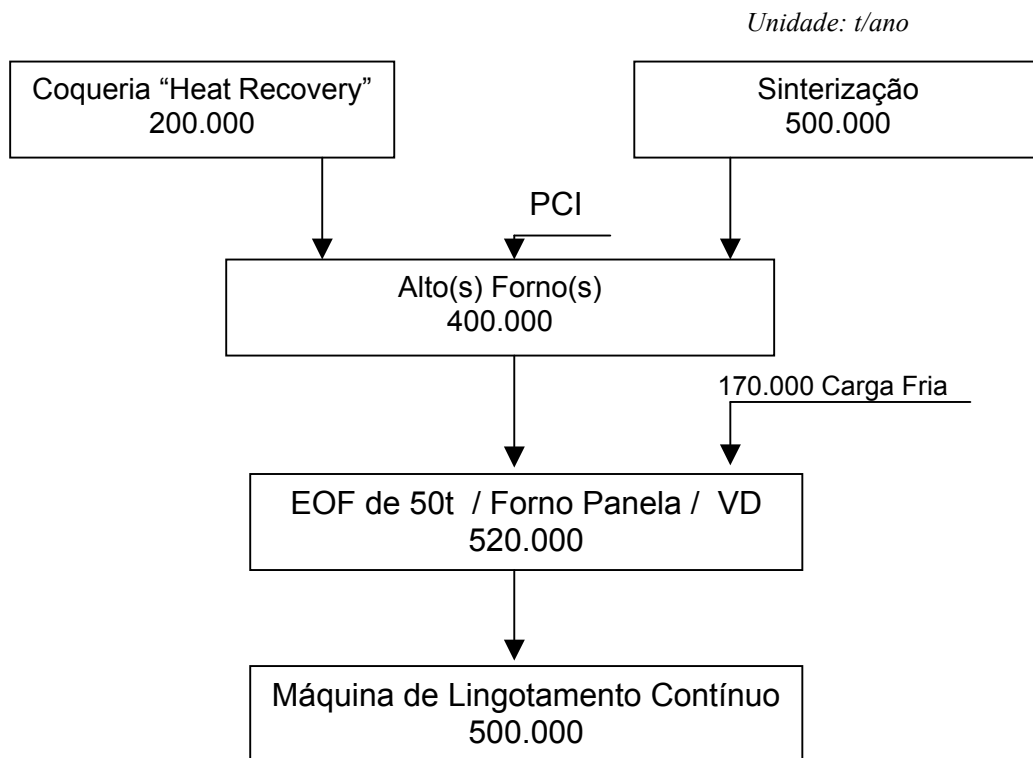
Novos aperfeiçoamentos estão em desenvolvimento, visando a reduzir mais ainda os tempos perdidos em manutenção e operação. Como exemplos podem ser citados:

- Mudança construtiva no pré-aquecedor de sucata;
- Reposicionamento da lança supersônica e dos injetores atmosféricos;
- Troca da soleira com auxílio de um carro especial, fazendo com que se disponha de apenas uma “sede” de soleira, com apenas um dispositivo de basculamento e conseqüente economia de capex;
- Aperfeiçoamento na bica de vazamento de gusa líquido, hoje objeto de pesado serviço de limpeza ao menos uma vez por turno.

Com esses exemplos deseja-se ilustrar que o EOF continua sendo objeto de aperfeiçoamentos, que visam a reduzir o investimento e, sobretudo os trabalhos de operação, limpeza e manutenção.

## 7 MODELO DE USINA SIDERÚRGICA INTEGRADA COM ACIARIA EOF

O fluxograma abaixo mostra um modelo de usina siderúrgica integrada para a produção de 0,5 milhão de t/ano, baseada em aciaria EOF.



Fonte: MINITEC



Esse é o modelo da usina GERDAU Divinópolis (embora com carvão vegetal e minério granulado), como também, em escala pouco menor, da HOSPET Steels e da SISCOL, todas elas usinas de elevada produtividade. A SISCOL, usina pertencente ao grupo Jindal, está em vias de colocar em marcha sua expansão para 1,0 milhão de t/ano, centrada em um segundo EOF, agora com 65/70 t de capacidade, dentro da mesma concepção. Releva notar que o grupo Jindal opera usinas de diversos portes e com diferentes tecnologias (COREX, BOF, DRI com FEA); sua opção pela tecnologia EOF demonstra as vantagens da mesma.

## 8 CONCLUSÕES

O Processo EOF foi desenvolvido no Brasil para promover a sobrevivência de uma usina que se tornara tecnicamente obsoleto. O sucesso nessa empreitada foi total, tanto que a referida usina - hoje GERDAU Divinópolis - é talvez a mais eficiente dentro do Grupo GERDAU, tendo toda sua produção baseada em uma única unidade EOF. Essa unidade opera desde 1986, tendo produzido mais de 10 milhões de toneladas no período.

Outras usinas "green field" optaram pelo EOF, a saber, as usinas de HOSPET e SISCOL, na Índia. Ambas as usinas foram instaladas em 1998/1999, e iniciaram a operação em 2000, tendo cada uma produzido um total em torno de 2 milhões de toneladas - HOSPET puramente aços de qualidade (forjamento em matriz, tubos sem costura etc), SISCOL metade vergalhão e metade aços de qualidade. SISCOL está em final de execução de um grande plano de expansão para 1 milhão de toneladas/ano, calcado em um segundo EOF, de 65/70 t, que está em vias de entrar em operação.

O Processo EOF é processo de grande flexibilidade quanto às matérias primas (gusa líquido, carga sólida), de alta produtividade e eficiência (13.338 corridas por ano calendário), e de baixo custo operacional (o menor, quando comparado ao BOF e ao FEA). Constitui-se, por isso, na melhor solução para usinas siderúrgicas integradas que disponham de 60% ou mais de gusa líquido em sua carga metálica.

## BIBLIOGRAFIA

- 1 Lakshmanan,VK & Pfeifer,HC - Model Mini Integrated Steel Mills Based on the Mini Blast Furnace – Development and Applications in India and Other Asian Countries. 3rd Annual Asia Steel Industry Congress 1997. Jakarta, Indonésia - 10/11th June, 1997.
- 2 Maia,R - Processo EOF: Desenvolvimentos Recentes. Curso SME de Siderurgia. Belo Horizonte - 02 de Setembro de 1999
- 3 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 - 22/24 de Maio de 2006.
- 4 Pfeifer,HC, Morsoletto,L, Scherer,SWG, Rollinger,B, Lakshmanan,VK, Weber,R (in memoriam) - The EOF Process: 16 Years of Successful Operation - Outlook. 2<sup>nd</sup> ILAFA CATEC Seminar on Technological Development on Melting Shop and Continuous Casting. Santiago del Chile. - May 18/19<sup>th</sup> 1998
- 5 Sampath Kumar,R, Gupta,MO, Sessa Prasad,R & Chari,KCS - Special Alloy Steels Through MBF-EOF Route. Hospet Steels Ltd & Mukand Ltd - 2005
- 6 Weber,R & Wells,W - Current State of the EOF Steelmaking Process. Metallurgical Plant and Technology/1984 - MPT43.
- 7 Weber,R, Nosé,D, Morsoletto,L & Pfeifer,HC - Latest Achievements with the EOF Process. AATS Association Technique de la Sidérurgie Francaise - December 1993