

# O PROCESSO EOF NA GERDAU DIVINÓPOLIS: 25 ANOS DE OPERAÇÃO E 10 MILHÕES DE T DE AÇO PRODUZIDAS<sup>1</sup>

Henrique Carlos Pfeifer<sup>2</sup>  
Sérgio W. Garcia Scherer<sup>3</sup>  
José Dimas Bechelaine<sup>4</sup>  
Claudio Leite<sup>5</sup>

## Resumo

Este trabalho relata o desenvolvimento do Processo EOF, cujo primeiro forno, com 22 t de aço por corrida, iniciou as operações em abril de 1982. O Grupo Gerdau opera usinas com diferentes tecnologias, desde usinas semi-integradas à base de fornos elétricos a arco, até usinas integradas à base de mini altos-fornos/aciarria a oxigênio, uma operando com BOF e a outra, de Divinópolis, com o EOF. O Processo EOF foi desenvolvido com as seguintes características: sopro submerso de oxigênio; pós-combustão do monóxido de carbono que emerge do banho; pré-aquecimento da carga fria; retirada de escória e novas adições de fundentes sem interrupção do sopro; rápida troca de soleira entre campanhas. Um trabalho constante de desenvolvimento possibilitou à Gerdau Divinópolis, em 2005, a produção de 580.200 t de aço em seu EOF de 43,5 t, correspondendo a 13.338 corridas no ano calendário - desempenho destacado quando se compara com o de outras aciarias, sejam elas brasileiras ou internacionais.

**Palavras chave:** EOF; Sopro submerso; Pré-aquecimento de sucata.

## THE EOF PROCESS AT GERDAU DIVINÓPOLIS: 25 YEARS OPERATION AND 10 MILLION T OF STEEL PRODUCED<sup>1</sup>

## Abstract

The paper presents the development of the EOF process, starting with the first furnace of 22 t steel per tap, in April 1982. The Brazilian Gerdau Group, with units in the Americas and in Europe, operates plants with different steel melting technologies, from non-integrated, arc furnace based melt shops through integrated plants, operating mini blast furnaces and oxygen melt shops - one operating a BOF unit and the other, at Divinópolis, outfitted with the EOF. The EOF process was developed featuring the following peculiarities: submerged oxygen blow; post-combustion of the carbon monoxide leaving the bath; scrap pre-heating; deslagging and addition of fluxes without interrupting the blow; quick bottom exchange between campaigns. A steady strive for development and the exploration of all the potentialities offered by the technology led Gerdau to a production of 580.200 t of steel in their 43,5 t EOF in 2005, corresponding to 13.338 heats over the calendar year - an outstanding performance when compared to other steel works, be it in Brazil, be it worldwide.

**Key words:** EOF; Submerged oxygen blow; Scrap preheating.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao XXXVIII Seminário de Aciaria – Internacional, 20 a 23 de maio de 2007, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

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

<sup>3</sup> *Engenheiro Mecânico e Metalúrgico. Consultor da MINITEC. [Scherer@minitecologias.com.br](mailto:Scherer@minitecologias.com.br)*

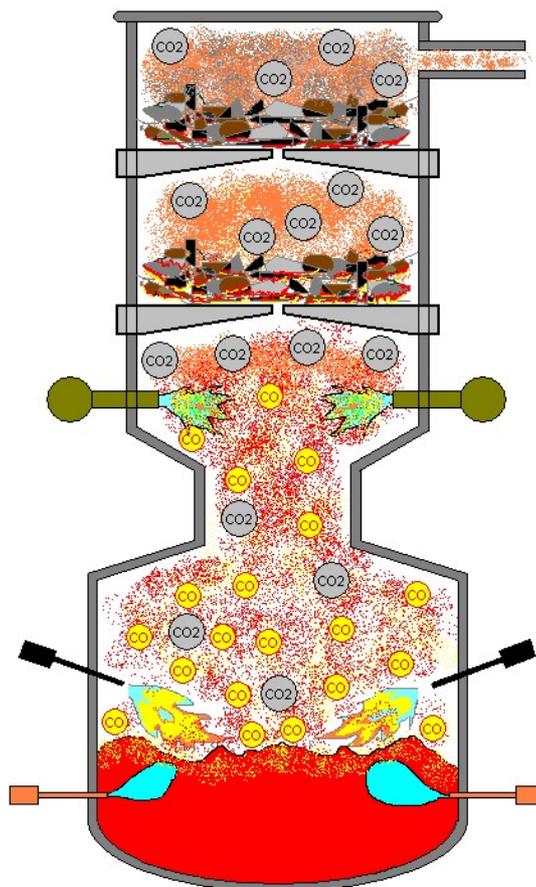
<sup>4</sup> *Engenheiro Mecânico. Gerente da Aciaria da U. Divinópolis. [jose.bechelaine@gerdau.com.br](mailto:jose.bechelaine@gerdau.com.br)*

<sup>5</sup> *Engenheiro Metalúrgico. Gerente de Qual. da U. Divinópolis. [claudio.leite@gerdau.com.br](mailto:claudio.leite@gerdau.com.br)*

## 1 INTRODUÇÃO

A unidade Gerdau Divinópolis do Grupo Gerdau é uma mini usina integrada pela rota tecnológica mini altos-fornos a carvão vegetal; aciaria EOF; forno panela; lingotamento contínuo; laminação de longos, produzindo entre 550.000 e 600.000 t/ano de aços ao carbono. O Grupo Gerdau possui usinas siderúrgicas integradas e semi-integradas nas Américas e na Europa, operando com diversos processos tecnológicos.

Para o saneamento e expansão da então Companhia Siderúrgica Pains, em 1976, o novo grupo controlador considerou duas alternativas: uma com aciaria BOF e outra com aciaria elétrica. Ambas acabaram descartadas, pelo alto investimento e pela deficiência em energia elétrica e sucata na região. A solução encontrada foi o desenvolvimento, com engenharia própria, de um novo processo a oxigênio, baseado na recente e bem sucedida experiência de sopro submerso de oxigênio nos fornos Siemens Martin. O novo processo recebeu o nome de EOF (*Energy Optimizing Furnace*), e iniciou sua operação em 1982, com uma unidade piloto. Muitas inovações e melhoramentos foram efetuados desde então, até chegar-se ao atual forno de 43,5, com sua notável produtividade.



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 submerso;
- Pós combustão do monóxido de carbono que emerge do banho;
- Pré-aquecimento da carga fria, via o calor sensível dos gases;
- Basculamento do forno, tanto durante o sopro quanto no vazamento;
- Retirada de escória e 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.

A sua produtividade é extremamente elevada, em ritmo superior a 36 corridas por dia calendário (42 por dia de trabalho efetivo)

O atual forno EOF de 43,5 iniciou suas operações em 1988, tendo em 2005 produzido 580.200t, correspondendo a 13.338 corridas no ano, a mais alta produtividade entre todos os fornos e processos em operação no Brasil.

A equipe da Gerdau Divinópolis planeja torná-lo ainda mais produtivo e competitivo, pois o EOF está integralmente consolidado em função de seu desempenho operacional, custos de produção, qualidade e produtividade.

## 2 O GRUPO GERDAU

O Grupo Gerdau, que é o maior grupo siderúrgico do Brasil e o 13º produtor de aço do mundo, possuindo unidades siderúrgicas nas Américas e na Europa, opera usinas com várias tecnologias, tais como usinas semi-integradas à base de fornos elétricos a arco; grande usina siderúrgica integrada à base de coqueria e alto-forno; mini usina siderúrgica à base de redução direta a redutor gasoso; e duas mini usinas integradas à base de altos-fornos a carvão vegetal e aciaria a oxigênio, uma das quais operando com BOF e a outra, de Divinópolis, com o EOF.

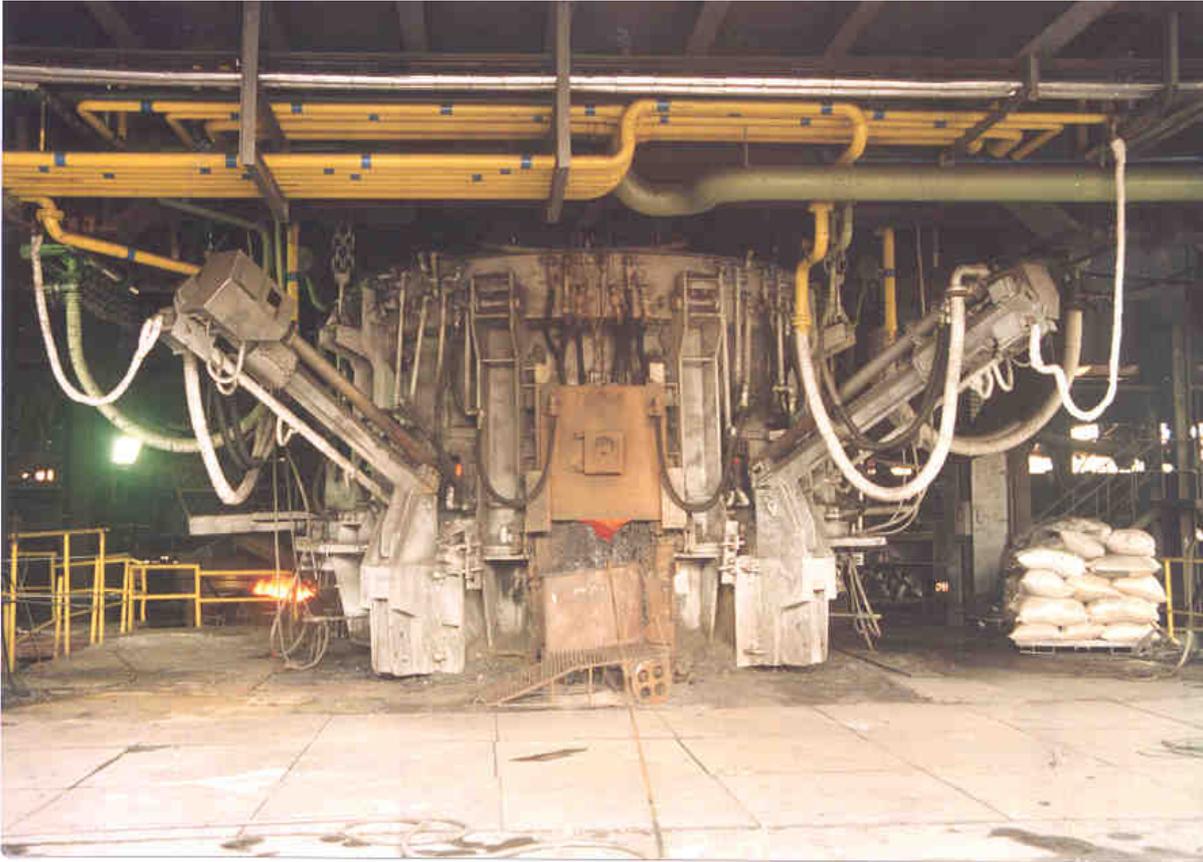
A unidade Divinópolis opera segundo a seguinte rota tecnológica: 3 mini altos-fornos a carvão vegetal; aciaria com forno EOF de 43,5 t; forno panela; lingotamento contínuo de tarugos; laminação de longos.

## 3 O PROCESSO EOF NA GERDAU DIVINÓPOLIS

O primeiro forno EOF experimental teve seu início de construção em 1981 e seu primeiro vazamento ocorreu em Maio de 1982. Esse protótipo não basculava nem era dotado de pré-aquecedor de sucata. Nele foram desenvolvidos o processo básico e os parâmetros do equipamento.

Já em Dezembro de 1982 entrou em operação o EOF 1, para 28 t e projetado para 20 corridas/dia. Operou até 1988, quando passou a ser reserva do novo EOF 2 recém construído; finalmente foi desmantelado. As características desse EOF 1 eram as seguintes:

- As paredes, e posteriormente também a abóbada, eram revestidas com painéis refrigerados, proporcionando maior produtividade e segurança operacional; mas o forno não basculava.



Fonte: GERDAU

**Figura 2** – Forno EOF da Unidade Divinópolis do Grupo Gerdau – Plataforma de trabalho.

- Recebeu um pré-aquecedor de sucata dimensionado inicialmente para sucata própria, mas em 1986 foi dotado com garfos basculantes, o que passou a possibilitar o carregamento de ferro gusa e de sucata em peças de até 400 kg de peso individual;
- Foi instalada lança supersônica, elevando a produtividade;
- O número de ventaneiras submersas foi reduzido para 4. Os blocos das ventaneiras submersas passaram a ser construídos com tijolos moldados, facilitando a manutenção e reduzindo o desgaste, com aumento da produtividade.

O EOF 2 começou a ser construído em 1987 e teve a sua primeira corrida em Março de 1988 (Figura 2), passando EOF 1 e EOF 2 a operar em conjunto.

Já em 1989 foi verificado que o EOF 2 atendia as necessidades da usina, sendo o EOF 1 desativado e posteriormente desmantelado.

O EOF 2 continua em operação até hoje, mas muitas melhorias e aperfeiçoamentos operacionais foram feitos e o levaram à alta produtividade atual:

- Melhoramentos no pré-aquecedor de sucata, possibilitando o emprego de sucata leve (incl. Shredder) e pesada, em peças de até 400 kg. O número de estágios de pré-aquecimento foi reduzido e painéis refrigerados foram instalados. Importante notar que esse modelo de pré-aquecedor é robusto e comprovado em 19 anos de operação contínua;
- Redução do número de ventaneiras submersas para duas;
- Desenvolvimento de “ventaneiras móveis”, com redução no consumo de refratários e elevação da produtividade;
- Desenvolvimento da soleira com refratário moldado;

- Disponibilização de duas soleiras, montadas em carros-soleira do tipo “shuttle”, permitindo efetuar a troca de soleira em 8 horas (antes 24 horas);
- Inserção de amostrador automatizado;
- A instalação de forno panela, em 1999, obrigou a lançar mão do vazamento “slag free”, possibilitado pelo basculamento do forno, e permitiu redução das temperaturas de vazamento, com redução do consumo de refratários, elevação da produtividade e otimização da qualidade do aço produzido;
- Sucessivos aperfeiçoamentos dos sistemas de desempoeiramento primário e secundário permitiram à aciaria EOF não só atender como superar os requisitos da legislação ambiental em vigor;
- Os diversos aperfeiçoamentos refletiram-se também no aspecto segurança, permitindo que nos últimos anos não houvesse acidente com perda de tempo, não obstante o forte ritmo de produção.

#### 4 ESTATÍSTICA DA PRODUÇÃO DO EOF

A Tabela 1 apresenta as produções anuais do Processo EOF. Releva notar que essas produções vêm sendo obtidas em um único forno, sem “stand by”. A capacidade do forno, sim, tem sido elevada de 36,9 t, em 2001, para 43,5 t em 2005. A padronização dos procedimentos operacionais foi o fator primordial para o atingimento desse desempenho.

**Tabela 1.** Produção de Aço pelo Processo EOF na Gerdau Divinópolis.

Ano	1000 t de tarugos /ano	Corridas/ano
1982/1998	5.346,4	-
1999	407,8	11.172
2000	442,5	12.277
2001	482,9	13.094
2002	525,6	13.236
2003	571,9	13.322
2004	570,7	12.693
2005	580,2	13.338
2006	538,4	12.304
Σ (1982 a 2006)	9.466,4	
2007 (estimado)	580,0	
Σ (1982 a 2007)	10.046,4	

Fontes: Gerdau Divinópolis e IBS

#### 5 A FLEXIBILIDADE DO PROCESSO EOF

A carga metálica básica do EOF da Unidade Gerdau de Divinópolis consiste em 65 a 71 % de gusa líquido e 15 a 22 % de sucata de aço, sendo o saldo composto por gusa sólido e sucata de gusa, de acordo com a disponibilidade e preços do mercado. São produzidos vergalhões para o atendimento do mercado interno e de exportação, bem como barras mecânicas de qualidade comercial, em perfis redondos, chatos, quadrados e sextavados.

São produzidos aços com carbono de 0,05 % a 0,95%.

Em outras épocas, porém, já se trabalhou com apenas 59,5 % de gusa líquido e 11,5 % de sucata de aço, sendo o saldo composto por sucata de gusa. Também já

se trabalhou correntemente com até 75 % de gusa líquido. Nada impede, além disso, de trabalhar-se com 90 % de gusa líquido, se tal for mais econômico - é esse o caso dos EOF indianos. Esses exemplos demonstram a grande flexibilidade do EOF quanto à composição da carga.

O forno EOF, associado ao forno panela, permite índices de acerto químico superiores a 99%. Níveis de fósforo máximo de 0,030% são facilmente obtidos sem que nenhuma alteração no processo seja necessária. Para níveis de fósforo < 0,020%, alguns cuidados adicionais relativos à basicidade da escória, nível de oxidação etc podem ser necessários, em função da percentagem de fósforo no gusa. Com cuidados adicionais atingem-se níveis de P da ordem de 0,01 %. Quanto ao enxofre, como nos demais processos pneumáticos, níveis de dessulfuração da ordem de 50% são usuais, sem que cuidados adicionais no refino secundário sejam tomados. Níveis superiores de dessulfuração requerem necessariamente cuidados adicionais, não só no refino primário, como também no secundário.

## **6 O FORNO EOF DA GG DIVINÓPOLIS EM COMPARAÇÃO COM OUTROS FORNOS**

A Tabela 2 a seguir apresenta uma estatística da produtividade dos fornos de aciaria no Brasil, incluindo tanto as aciarias a oxigênio quanto as elétricas. Relacionam-se nessa tabela a produção total anual de aço (coluna 1) com o número e natureza dos fornos da aciaria e a respectiva capacidade (coluna 3). O quociente da divisão da produção anual pela capacidade do respectivo forno tem por resultado o número de corridas do forno naquele ano (2005), índice representativo da produtividade.

Em 2005 o EOF da Gerdau Divinópolis produziu 580.200t de aço em 13.338 vazamentos, o que significaria um vazamento a cada 39'25", considerando os 365 dias calendários do ano. Tomando-se o valor realista de 350 dias/ano de operação efetiva, aquele índice corresponde a um vazamento a cada 38'06".

Tabela 2 – Produtividade de Fornos de Aciaria no Brasil – 2005.

## PRODUTIVIDADE DE FORNOS DE ACIARIA – 2005

ago/06

	Produção (1.000 t/ano)	Nº Fornos e Tipo	Capacidade (t/corrída)	Produtividade (1)
<b>GG Divinópolis</b>	<b>580</b>	<b>1 EOF</b>	<b>43,5</b>	<b>13.338</b>
<b>Belgo JM</b>	1.220	1 BOF	110	11.091
<b>GG Barão de Cocais</b>	326	1 BOF	30	10.883
<b>Acesita</b>	769	1 BOF	80	9.613
<b>GG REC</b>	224	1 FEA	24,5	9.135
<b>GG URS</b>	392	2 FEA	21,5	9.116
<b>COSIPA</b>	4.199	3 FEA	170	8.233
<b>CST</b>	4.905	2 BOF	300	8.175
<b>CSN</b>	5.243	3 BOF	220	7.944
<b>USIMINAS</b>	4.644	2 BOF	180	7.740
		3 BOF	80	
<b>GG Açominas</b>	2.936	2 BOF	200	7.340
<b>V&amp;M</b>	576	1 BOF	80	7.200
<b>GG CE</b>	141	1 FEA	20,5	6.893
<b>Belgo PART</b>	827	1 FEA	120	6.892
<b>GG CSG</b>	1.089	2 FEA	90	6.048
<b>Belgo ES</b>	448	1 FEA	75	5.973
<b>GG UAR</b>	413	1 FEA	80	5.156
<b>Belgo PIRA</b>	769	1 FEA	150	5.127
<b>Barra Mansa</b>	607	2 FEA	60	5.058
<b>GG USB</b>	498	1 FEA	110	4.525
<b>Villares – Anhaguera</b>	220	1 FEA	80	2.750
<b>Metals</b>	136	2 FEA	25	2.720
<b>Villares – Vibasa</b>	489	2 FEA	100	2.445

Fonte - Gerdau Divinópolis

## 7 CONCLUSÕES

Os 25 anos de operação do Processo EOF na Unidade Divinópolis do Grupo Gerdau comprovam que o processo está inteiramente consolidado em aspectos tais como desempenho operacional, custos de produção, qualidade e produtividade. Os índices operacionais são destacados. Em particular, a produtividade concorre com os melhores índices conhecidos.

Os custos de produção são também competitivos e adequados à realidade atual. A qualidade dos aços elaborados atende integralmente às necessidades do mercado. Os autores agradecem à Gerdau Divinópolis a autorização para a apresentação do presente trabalho.

## **BIBLIOGRAFIA**

- 1 Conferência Internacional de Tecnologia Siderúrgica dos Países em Desenvolvimento. São Paulo 1986.
- 2 Gudenau, H.W., Weber, R., Grandin, F.H. - Taxa de pós-combustão e recuperação de calor sob diversas condições operacionais no processo EOF/ Nachverbrennungsgrad und Waermerueckuebertragung unter verschiedenen Betriebsbedingungen beim EOF-Verfahren. Stahl und Eisen, V.111, N.6, Juni 1991, p.61-5.
- 3 Nicacio,P, Sen,D, Bechelaine,JD & Colombo Souza,LR - Aciaria EOF: Uma Nova e Comprovada Tecnologia de Produção de Aço a Oxigênio.
- 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 Tehcnological Development on Melting Shop and Continuous Casting. Santiago. May 1998.
- 5 Rollinger, B - The EOF: Cost Efficiency of a New Metallurgical Process. Steel Survival Strategies IV. New York City. June 27, 1989.
- 6 Weber,R & Pfeifer, HC - O Processo EOF: Desempenho e Perspectivas.
- 7 Weber,R., Nosé,D. - A produção de aço com emprego otimizado de energia e matérias-primas no Processo EOF. ILAFA 1992. 9p.
- 8 Weber,R., Nosé,D., Morsolletto,L. Latest achievements with the EOF process. ATS Association Technique de la Siderurgie française. December 1993.
- 9 XXXVII Seminário de Aciaria Internacional da ABM. Porto Alegre, Maio 2006.