



UTILIZAÇÃO DE MISTURA DE FUNDENTES BRIQUETADA EM SUBSTITUIÇÃO À ADIÇÃO DE CAL DOLOMITICA, FLUORITA E CaC_2 NA PRODUÇÃO DE AÇOS CARBONO E LIGADOS¹

Valdeci Paula Alvarenga²
Edilson Simões Cavaliéri³
Nildomar Soares Ferreira³
Henrique de Castro Rodrigues⁴
Weber Brito Martins⁵

Resumo

Foi desenvolvida uma mistura de fundentes briquetada para substituir a cal dolomítica, carbureto de cálcio (CaC_2) e parte da fluorita na metalurgia secundária dos aços Carbono e Ligados, produzidos na Aperam. A utilização desse briquete permitiu a obtenção de uma boa qualidade da escória formada no processo, propiciando uma melhoria na lingotabilidade dos aços e um menor desgaste do refratário das panelas. A qualidade interna dos aços produzidos usando este novo insumo permaneceu inalterada, atendendo a todas as exigências especificadas para os produtos.

Palavras-chave: Briquetes; Fundentes; Escória; Metalurgia secundária.

USAGED OF MIXED FLUX BRIQUETTES IN THE ADDITION OF REPLACEMENT DOLOMITIC LIME, FLUORITE AND CaC_2 IN THE PRODUCTION OF CARBON AND ALLOY STEEL

Abstract

It was developed a briquetted mixture of fluxes to replace dolomitic lime, calcium carbide, and part of fluorite in the secondary metallurgy of carbon steels produced in Aperam. The use of this briquette was able to produce a good quality of the slag formed in the process, providing an improvement in Continuous Casting, less wear of the refractory ladles and a consequent reduction of production costs. The internal quality of steel produced using this new input remained unchanged, meeting all requirements specified for the products.

Key words: Briquettes; Fluxes; Slag; Secondary metallurgy.

¹ Contribuição técnica ao 43º Seminário de Aciaria – Internacional, 20 a 23 de maio de 2012, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Engenheiro Mecânico - Engenheiro da Metalurgia de Aços Carbono da Laminação a Quente. Aperam South America.

³ Técnico Metalúrgico - Técnico de Controle de Processo do Convertedor MRP-L, Gerência Executiva da Aciaria, Aperam South America.

⁴ M.Sc - Coordenador da Metalurgia de Carbono, Gerência Executiva de Laminação de Tiras a Quente, Aperam South America.

⁵ Engenheiro Metalurgista – Solvi Insumos.



1 INTRODUÇÃO

O controle do processo de produção de aços constitui o item mais crítico para as usinas siderúrgicas, pois depende do acerto da composição química, teores residuais (P, S, N) e do tamanho e distribuição das inclusões não-metálicas que são vitais para a qualidade e competitividade dos produtos no mercado.

O fluxo de elaboração dos aços carbono e ligados (Figura 1) foi desenvolvido para atender os rigorosos requisitos de composição química. O fluxo de produção conta com o PTG (Pré-Tratamento de Gusa) - que é utilizado sempre que o teor de enxofre no gusa estiver acima de 70 ppm (o que acontece quando o gusa é produzido via coque, ou seja, em aproximadamente 70% das corridas produzidas) – procedendo a dessulfuração profunda do gusa, reduzindo o teor de enxofre para valores inferiores a 50 ppm (Figura 2), no período anterior a abril/2007.

No processo de refino primário no convertedor MRP-L (*Metal Refining Process with Lance*), é realizada a conversão de gusa líquido em aço com a adição de sucatas e fundentes, usando o sopro de oxigênio por uma lança de topo. Nesse processo, o teor de carbono é reduzido de 4% para valores entre 0,01% e 0,70%, dependendo do tipo de aço em produção.

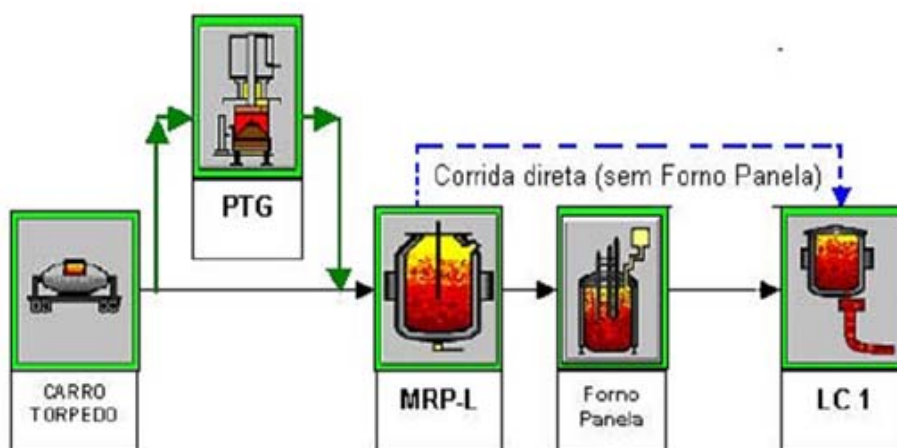


Figura 1. Fluxo de produção para os aços Carbono e ligados.⁽¹⁾

No refino secundário do aço – que vai desde o vazamento no MRP-L até o início de lingotamento contínuo - requer-se uma escória redutora na panela para permitir dessulfuração e desoxidação do banho. Porém, a escória de refino primário que passa para a panela, contém óxidos facilmente redutíveis que implicam num menor rendimento das ligas adicionadas.

Visando eliminar a etapa de dessulfuração do gusa no PTG, foi desenvolvido durante o vazamento do aço, o uso da carbureto de cálcio como agente desoxidante e dessulfurante, conforme Campos⁽¹⁾(Figura 2), no período posterior a abril/2007.

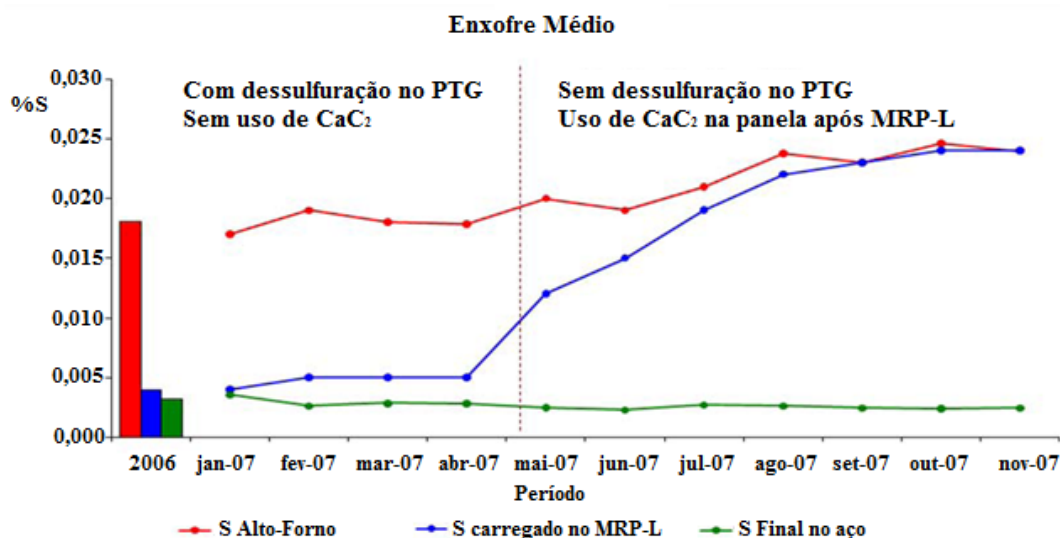


Figura 2. Enxofre médio do Alto Forno x enxofre médio após dessulfuração no PTG.⁽¹⁾

Devido às dificuldades operacionais de controle da adição de fundentes – insumos utilizados para compor a escória formada durante a fabricação do aço (tais como: cal dolomítica e cálcica, carbureto de cálcio e fluorita) - e à perda de reatividade da cal dolomítica em função do tempo de estoque nos silos (obrigando aumentar a quantidade adicionada sazonalmente), tornou-se necessária a busca de uma política alternativa para a produção de aços carbono com baixo teor de enxofre. Nesse contexto, foi desenvolvida uma escória sintética à base de alumina (Al_2O_3), alumínio metálico (Al), óxido de magnésio (MgO) e fluorita (CaF_2) e que pudesse ser briquetada e ensilada, para utilização em substituição ao carbureto de cálcio, cal dolomítica e fluorita que eram adicionados separadamente durante o vazamento do aço.

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento dessa nova tecnologia de adição de fundentes durante o refino secundário do aço.

2 METODOLOGIA

Foi desenvolvida uma escória briquetada para substituir a cal dolomítica, carbureto de cálcio, e parte da fluorita na metalurgia secundária. A faixa de composição química desse material é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Composição química da escória sintética briquetada

CaO (%)	MgO (%)	Al_2O_3 (%)	AlO (%)	CaF_2 (%)
<10	10 a 30	25 a 50	< 10	5 a 25

O baixo teor de CaO no briquete foi definido para permitir durabilidade ao material. Os demais constituintes do briquete têm, cada um, sua função específica, sendo a do MgO: a proteção do revestimento refratário; a do Alumínio Metálico: ajudar na desoxidação do banho e a da Fluorita: trabalhar com teores mais baixos de alumina sem comprometer a fluidez da escória.

Para avaliar a viabilidade técnico-econômica do material proposto foram realizadas 30 corridas experimentais no MRP-L, com destinos para Forno Panela (FP) e Lingotamento Contínuo (LC) (Tabela 2).

**Tabela 2.** Adições de cal e briquete nas corridas experimentais com e sem Forno Panela

Adições	MRP-L com destino FP (kg)	MRP-L com destino LC (kg)
Cal	500 a 1.000	100 a 500
Escoria Sintética	100 a 500	50 a 250

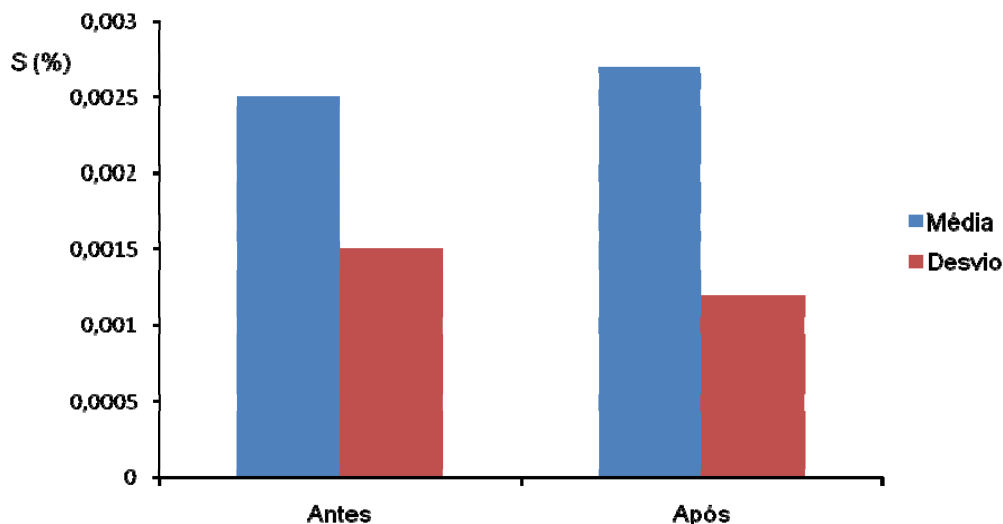
As adições demais adições (ferros-liga, coque etc.) foram realizadas de acordo com o padrão operacional existente.

Em todas as corridas experimentais foram realizadas: medições da altura de escória, retirada de amostras para análise química, análises metalográficas para verificação de inclusões não metálicas (impurezas presentes nos aços que alteram suas propriedades em maior ou menor grau, dependendo da quantidade, do tamanho, da morfologia e da composição química das mesmas)⁽²⁾ e avaliação do teor de enxofre obtido no final do tratamento.

As amostras foram submetidas à análise de inclusões utilizando-se técnica de microscopia óptica. As amostras foram cortadas, embutidas e polidas com lixas e pasta de diamante e limpas para observação ao microscópio óptico. Para a observação, utilizou-se um aumento de 100 X. As inclusões foram classificadas conforme a norma ASTM E45 prática A.⁽³⁾

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 apresenta os teores de enxofre médios, obtidos antes e após da adoção da nova prática operacional. Não se observa modificação no teor de enxofre final do aço, atendendo plenamente o valor máximo de 0,006%, o que indica um bom controle do processo.

**Figura 3.** Teores de enxofre na composição final do aço.

Para comparar a qualidade interna do aço - seu grau de pureza quanto á ocorrência de inclusões finas não-metálicas - foi feita caracterização da microestrutura com a utilização da Norma ASTM E45 prática A,⁽³⁾ cuja especificação e resultados são apresentados na Tabela 3.



Tabela 3. Nível de inclusões finas não-metálicas nos aços carbono e ligados, conforme Norma ASTM E45 prática A⁽³⁾

	Inclusão A (Sulfetos)	Inclusão B (Alumina)	Inclusão C (Silicatos)	Inclusão D (Globulares)
Especificação	≤ 3	≤ 3	≤ 3	≤ 3
% Atendimento Antes	99,8	99,8	99,8	100,0
% Atendimento Após	100,0	100,0	100,0	100,0

Observa-se, de um modo geral, que o nível de pureza não sofreu alterações após utilização da nova tecnologia.⁽⁴⁾

A Tabela 4 apresenta a composição média da escória após MRP-L, antes e após Forno Panela (FP). O teor de fluorita após MRP-L é estimado por balanço de massa. Da mesma forma, de acordo com Wang e Li.⁽⁵⁾ estima-se que toda a fluorita seja combinada com o silício proveniente da sílica. Daí, o cuidado de se adicionar a menor quantidade possível desse fundente.

Tabela 4. Composição média da Escória ao longo do processamento do aço

	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	MnO	S	CaF ₂	Fe _{total}
MRP-L	12,81	45,35	8,06	0,83	3,51	0,04	0	17,17
Panela	16,31	51,01	11,63	12,98	0,79	0,17	2,5	0,85
Forno Panela	18,52	52,27	13,21	10,52	0,16	0,26	-	0,74

As composições químicas da escória de fim de tratamento no Forno Panela foram plotadas no diagrama CaO-SiO₂-Al₂O₃ (Figura 4).

Observa-se que a composição da escória encontra-se dentro de uma faixa muito estreita e muito próxima à escória líquida. O pequeno percentual de fluorita (Tabela 4), contribui para a fluidificação da escória que já se apresenta no estado líquido, com temperatura média de fusão da ordem de 1.550°C. Além disso, possibilita trabalhar com teores de alumina da ordem de 10% a 15% o que contribui para melhorar a capacidade de absorção de inclusões de alumina (Figura 4).

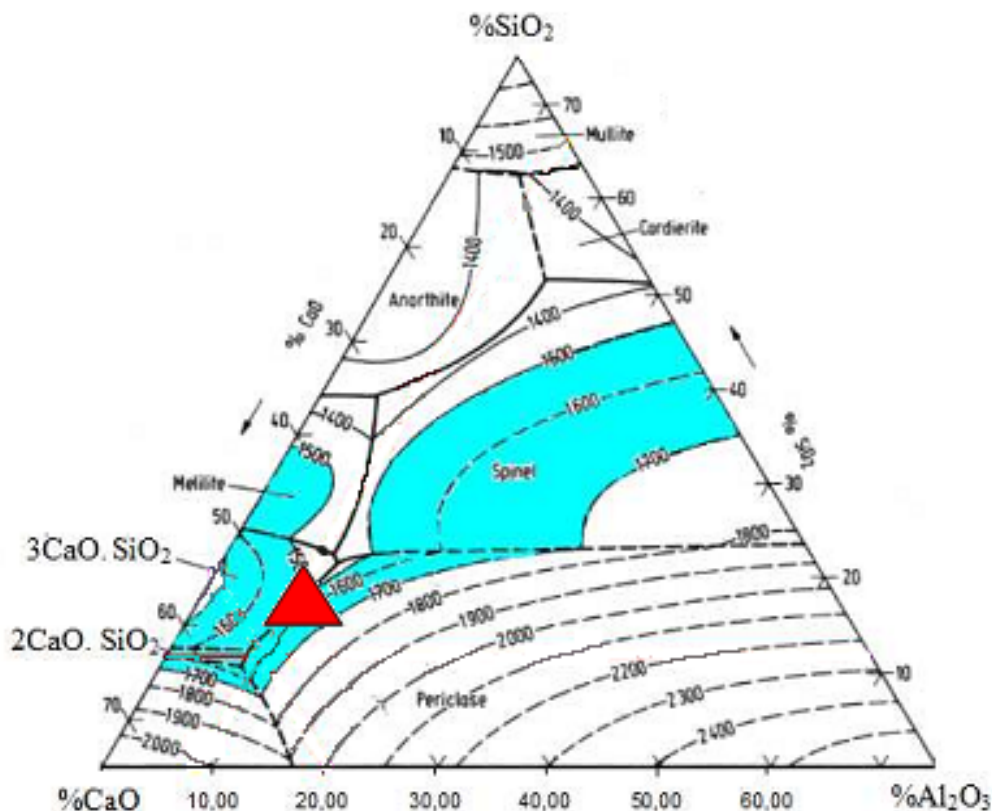


Figura 4. Diagrama CaO-SiO₂-Al₂O₃ com 10% de MgO para temperatura de 1.600°C.⁽³⁾

Com tais características de fluidez, inicia-se o tratamento no Forno Panela com a escória totalmente formada possibilitando excelentes condições operacionais. Assim, trabalha-se com uma espessura de escória mais baixa (Figura 5).

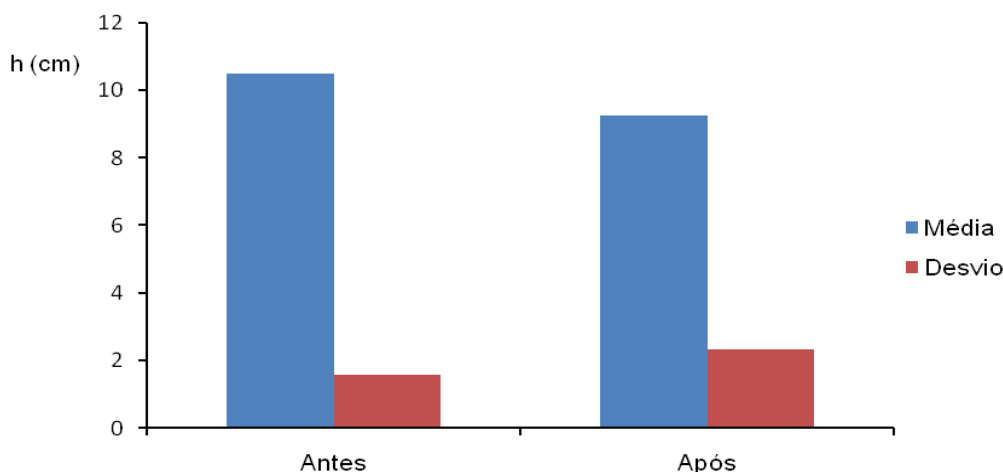


Figura 5. Altura da camada de escória (h) antes do tratamento no Forno Panela.

Além disso (Figura 6), ocorre uma redução muito significativa na variação do teor de MgO da escória durante o tratamento no Forno Panela. Após adoção da nova prática, a variação do teor de MgO da escória está compatível com o peso de MgO adicionado no briquete, reduzindo a transferência de MgO do revestimento refratário para a escória. Tal fato pode ser explicado também pela drástica redução da adição de fluorita no vazamento do aço. Toda a fluorita (2,5%) foi adicionada via escória briquetada.

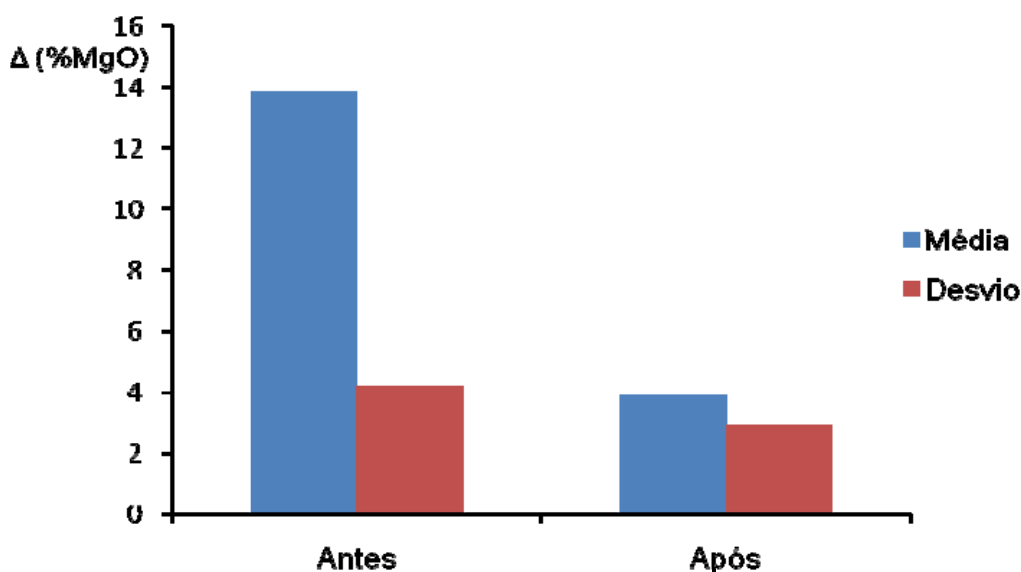


Figura 6. Variação dos teores de MgO entre tratamentos no Forno Panela e MRP-L.

Outro fator que merece destaque (Tabela 4), é que os teores de Fe_{total} e MnO da escória estão abaixo de 1% o que pode ser considerado valores ainda compatíveis com a produção de aços baixo enxofre.

Com base nesses resultados, a nova prática operacional foi padronizada, adotada e já está sendo utilizada rotineiramente na Aperam para a produção de aços baixo enxofre, com o desenvolvimento de uma nova tecnologia de adição de escória sintética, a base de MgO, Al_2O_3 e CaF_2 simplificando a etapa de elaboração do aço.

4 CONCLUSÕES

- Foi desenvolvida uma nova tecnologia de adição de escória sintética, a base de MgO, Al_2O_3 e CaF_2 que proporcionou simplificação no processo de elaboração do aço com exigência de teor de enxofre inferior a 0,006%. Tal prática foi padronizada e já está sendo utilizada por todas as equipes operacionais da Aperam;
- o trabalho permitiu avaliar o efeito da escória sintética na qualidade interna do aço que continua apresentando um elevado nível de pureza;
- o pequeno percentual de fluorita, contribui para a fluidificação da escória que já se apresenta no estado líquido, com temperatura média de fusão da ordem de 1.550°C. Além disso, possibilita trabalhar com teores de alumina da ordem de 10% a 15% o que contribui para melhorar a capacidade de absorção de inclusões de alumina; e
- ainda não foi contabilizado o aumento da vida do revestimento refratário, pois, na Aperam utilizamos painéis em fim de vida para a produção de aços carbono. Entretanto, a variação do teor de MgO da escória durante o tratamento no Forno Panela foi drasticamente reduzido para valores compatíveis com a adição. Além disso, o capeamento natural das painéis está sendo efetuado e não houve mais ocorrência de desgastes prematuros em painéis de aço.



REFERÊNCIAS

- 1 CAMPOS, A. A. **Desoxidação e dessulfuração dos aços carbono e ligados com a utilização de CaC_2** . In: XXXIX Seminário Internacional de Aciaria, 12 a 16 de maio de 2008, Curitiba. PR.
- 2 FACO, R. J.; OLIVEIRA, J. A. B.; DE LAZZARI, C. P.; CAPOCCHI, J. D. T. - **Inclusões não-metálicas em aços de aciaria LD, refinados e destinados ao lingotamento contínuo de placas**, 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 15 a 19 de Novembro de 2006, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.
- 3 ASTM E45-11, **Standard Test Methods for Determining the Inclusion Content of Steel**, June 2011, P. O. Box C-700 West Conshohocken Pensilvania 19428-2969, United States.
- 4 CHIAVERINY, V. **Aços e Ferros Fundidos**, São Paulo, ABM, 1970.
- 5 WANG, H.; LI, G. “**CAS-OB Refining Ladle Slag Modifying with CaO-CaF_2** ”, 17th IAS Steelmaking Conference, 2009, Buenos Aires, Argentina.
- 6 **SLAG ATLAS**, Verlag Sthaleisen GMBH, Slag Atlas, Dusseldorf, Setembro 1995, Segunda Edição.