

## Reciclagem da poeira e lama geradas na fabricação de aço inoxidável

Pedro José Nolasco Sobrinho

Doutorando em Engenharia Metalúrgica. E-mail: nolasco@usp.br

Jorge Alberto Soares Tenório

Professor associado. E-mail: jtenorio@usp.br

Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Escola Politécnica da USP.

### Resumo

Foi realizado, em escala de laboratório, um estudo da recuperação dos metais cromo e níquel, contidos em resíduos gerados no processo de fabricação de aço inoxidável, utilizando-se altas temperaturas (1570, 1600 e 1635°C). A maioria desses tipos de resíduos, principalmente a lama, ainda é disposta em aterros ou estocada. Nesse trabalho foram utilizados dois tipos de resíduo com alto teor de cromo, uma poeira (RESA) e o uma lama (RESB). A primeira etapa do estudo, fundamental para o estudo visando à reciclagem dos resíduos, foi a caracterização utilizando as seguintes técnicas: análise química, distribuição granulométrica (MALVERN), difração de raios X, microscopia eletrônica de varredura (MEV) e análise de micro-regiões (EDS). A segunda etapa envolveu a aglomeração dos resíduos caracterizados e outros reagentes, antes de serem introduzidos no aço líquido, utilizando-se uma briquetadora manual. Foram fabricados três briquetes com cada um dos resíduos. A terceira etapa da pesquisa foi a adição dos briquetes de resíduos no aço líquido e retirada periódica de amostras do banho para avaliação da incorporação do cromo contido nos resíduos no aço. O tipo de aço utilizado foi o aço carbono ASTM 1020. Os experimentos foram realizados em um equipamento em escala laboratorial, composto de um forno vertical que pode atingir até 1700°C e seu controlador. O forno possui uma região de temperatura uniforme de cerca de 13 cm e, nessa região, o cadinho de alumina contendo aço é colocado. Esse equipamento foi construído para o estudo das reações envolvidas quando se adicionam resíduos em aço líquido. A atmosfera interna do aparato pode ser controlada. Após a introdução do briquete no aço líquido e sua fusão foram retiradas, periodicamente, amostras do banho em intervalos de tempo de três em três minutos para análise dos teores de vários elementos, principalmente o cromo, o níquel e o silício, principalmente. Cada experimento durou até 30 minutos. Os resultados mostraram que é possível, recuperar os metais contidos nos resíduos através desse processo, produzindo uma liga à base de ferro, cromo e níquel. O novo resíduo gerado (escória) contém uma menor quantidade de metais, em relação ao resíduo inicial. Altos valores de recuperação de metais dos resíduos foram atingidos. Para o níquel, a recuperação foi total, tanto para a poeira, quanto para a lama e para o cromo, os teores atingidos foram próximos a 100%.

**Palavras-chave:** reciclagem, cromo, poeira, lama, aço inoxidável.

### Abstract

*Currently the Brazilian stainless steel production is around of 350,000 tons per year. At the same time, the stainless steel industries generate more than 7,000 tons of dusts with high content of chromium, nickel, iron and lead. The amount of sludge generated during stainless steel production is very inconstant. These wastes represent a problem to stainless steel industries due to their high content of chromium, nickel, iron and lead. The waste characterization is an essential step in a recycling process definition. One kind of dust and one kind of sludge, generated in the stainless steel production process, were studied in this work. The techniques used to characterize the waste were chemical analyses, size separation tests, density measurements, X-ray diffraction analyses, Scanning Electron Microscopy (SEM) and Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) microanalysis. The biggest portion of the dust and sludge particles had a spherical shape. This kind of particle was composed mainly of iron and chromium in the form of a spinel or oxides. Precipitation of a second phase was identified in some particles. Three briquettes were prepared with each waste, Fe-Si alloy and CaO. The studied wastes were RESA and RESB. The briquettes were introduced in a ASTM 1020 liquid steel at three different temperatures 1570°, 1600 and 1635°C. In this study, it was utilized a bench-scale equipment to melt the reactants. This study showed that besides the high recovery of chromium (98%) and nickel (100%) from the wastes, the new waste generated in the experiment (slag) is less aggressive to the environment than the initial wastes used for the production of the briquettes because it contains a smaller amount of heavy metals.*

**Keywords:** recycling, chromium, dust, sludge, stainless steel.

# 1. Introdução

A produção de aço está diretamente ligada à geração de resíduos siderúrgicos. A produção mundial de aço bruto, em 2002, superou o valor de 900 milhões de toneladas e a quantidade de 300 milhões de toneladas de resíduos gerados foi atingida<sup>(1)</sup>. A Figura 1 apresenta a evolução da produção mundial de aço bruto<sup>(1,2,3)</sup> no período de 1990 a 2001.

Pode-se observar, pela Figura 1, que, no início da década de 90, houve uma queda na produção mundial de aço bruto, mantendo a produção próxima a 730 milhões de toneladas. De 1994 a 1997, houve uma retomada na produção, que passou por uma pequena queda em 1998, mas que não foi capaz de impedir o crescente aumento da produção.

As maiores empresas produtoras de aço bruto do mundo situam-se na Ásia e Europa. As maiores empresas brasileiras produtoras de aço bruto, nesse mesmo ano, foram a CST (Cia. Siderúrgica de Tubarão) com uma produção de 4,8 milhões de toneladas, a Usiminas (Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais) com 4,4 milhões de toneladas, a CSN (Cia. Siderúrgica Nacional) com 4,0 milhões de toneladas e a Cosipa (Cia. Siderúrgica Paulista) com 2,5 milhões de toneladas. As posições ocupadas pelas empresas nacionais no rank mundial foram: 39º (CST), 42º (Usiminas), 49º (CSN) e 79º (Cosipa)<sup>(1)</sup>.

A evolução da produção de aço bruto no Brasil<sup>(2,3)</sup> de 1990 a 2001 é apresentada na Figura 2. A produção brasileira de aço bruto hoje está muito próxima de 30 milhões de toneladas anuais. Nota-se, pela Figura 2, que a produção nacional de aço bruto foi muito instável nesse período, apresentando momentos de elevação da produção (90-92, 94-96 e 99-2000) e momentos de diminuição da produção (92-94, 96-99 e 2000-2001).

Aços inoxidáveis são ligas (combinação de dois ou mais elementos químicos, obtida através de fusão de compostos), contendo: ferro, carbono em baixos teores, cromo (mínimo de 11%) e níquel (máximo 30%), podendo, ainda, conter outros elementos como o molibdênio, nióbio, titânio e nitrogênio dependendo da aplicação.

A Figura 3 apresenta a evolução da produção mundial de aço inoxidável dos últimos anos<sup>(4)</sup>. A Figura 4 mostra a evolução da produção brasileira de aço inoxidável, desde 1997<sup>(4)</sup>. As produções referentes a 2002 e 2003 das Figuras 3 e 4 são, respectivamente, estimativas e projeções. Observa-se que a produção brasileira de aço inoxidável vem crescendo muito nos últimos anos, saltando de 170 mil toneladas em 1997 para mais de 340 mil toneladas em 2002, indicando que a produção nacional de aço inoxidável dobrou nesse período. Ao mesmo tempo, cresceu muito a quantidade gerada de resíduos com alto teor de cromo, níquel e ferro.

A cada ano, milhares de toneladas de poeiras com alto teor de cromo são geradas pelas empresas brasileiras produtoras de aço inoxidável. Gera-se, também, uma desconhecida quantidade de lama nas diferentes etapas do processo. Similarmente às poeiras, a lama possui elevados teores de metais como ferro, cromo e níquel.

A produção nacional de aço inoxidável atualmente é de cerca de 350 mil toneladas. Nota-se um crescimento acentuado nesse setor, principalmente nos últimos anos, período em que a quantidade produzida em 1997 praticamente dobrou.

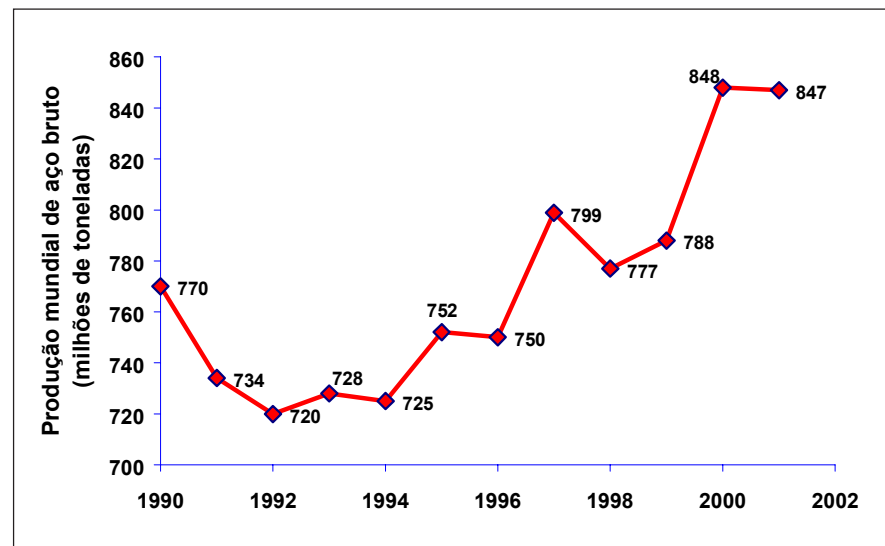


Figura 1 - Produção mundial de aço bruto de 1990-2001.

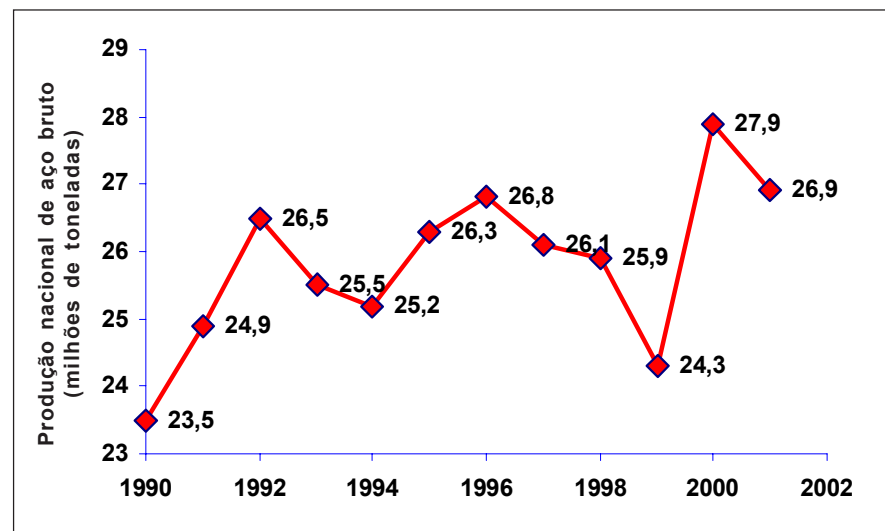


Figura 2 - Evolução da produção brasileira de aço bruto de 1990-2001.

Com o aumento da produção de aço também se aumenta a produção de resíduos, como poeiras e lamas. São geradas de 18 a 20 kg de poeiras para cada tonelada de aço produzida<sup>(5)</sup>. Verificou-se<sup>(6,7)</sup> que os resíduos gerados em aciarias produtoras de aço inoxidável brasileiras contêm cerca de 50% de ferro e teor de cromo de 7 a 16%, dependendo do resíduo. O teor de níquel é de 3% em média e o teor de chumbo variou de 0,01% a 0,6%. Cromo na forma hexavalente foi detectado em quase todos os resíduos estudados.

Resíduos com alto teor de cromo são gerados em diferentes etapas do processo de fabricação de aço inoxidável e em diferentes conversores, como o Forno Elétrico a Arco (FEA), o MRPL (*Metal Refining Process with Lance*), o AOD (*Argon Oxygen Decarburization*) e o VOD (*Vacuum Oxygen Decarburization*). Os conversores são utilizados nas etapas de fabricação do aço inoxidável para a fusão da carga e para o refino do aço, principalmente. A quantidade de lama gerada nestas etapas é muito variável, podendo situar-se entre 0,5 a 3% da quantidade de aço produzida. Valores iguais a 8% já foram registrados em algumas usinas siderúrgicas<sup>(6,8)</sup>.

A Tabela 1 mostra a quantidade gerada de resíduos no processo de fabricação de aço bruto e que foi destinada à reciclagem ou comercialização em 1998 no Brasil. Vê-se que as lamas são os resíduos com um menor percentual na reciclagem ou comercialização, função de algumas propriedades deste resíduo como a alta umidade. A lama é, na maioria das vezes, estocada nas usinas. Também, pela Tabela 1 pode-se concluir que mais de 50 mil toneladas de pós/poeiras deixaram de ser recicladas ou comercializadas, principalmente as poeiras com alto teor de cromo.

O objetivo desse trabalho é apresentar os resultados de 6 experimentos realizados de introdução de briquetes de dois diferentes tipos de resíduos, RES A e RES B, com alto teor de cromo em aço líquido, onde se procurou recuperar o cromo dos resíduos a elevada temperatura.

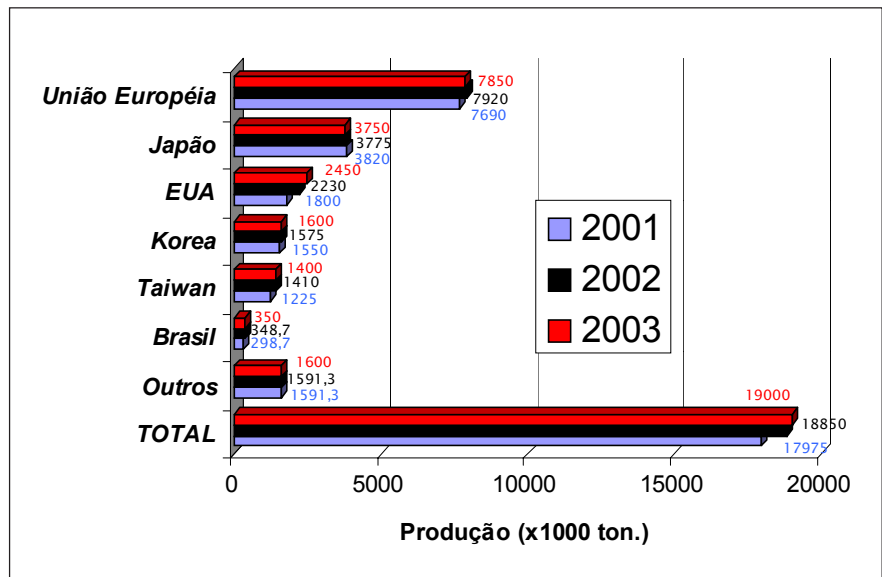


Figura 3 - Evolução da produção mundial de aço inoxidável.

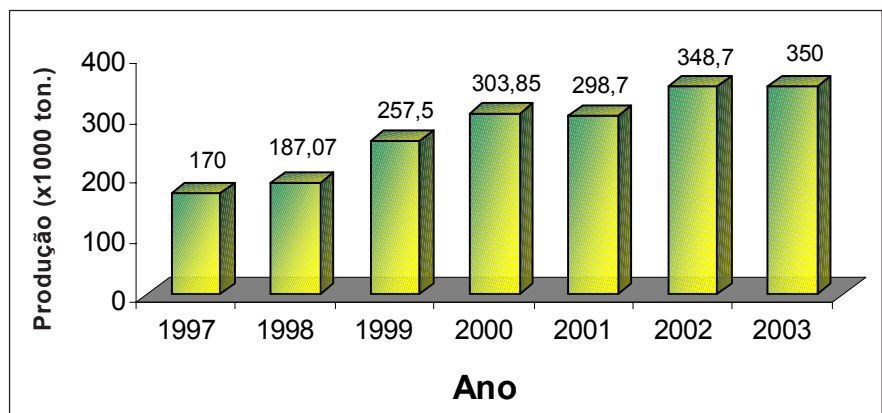


Figura 4 - Evolução da produção brasileira de aço inoxidável.

Tabela 1 - Resíduos gerados no processo de fabricação de ferro e aço no Brasil e a quantidade destinada à reciclagem e comercialização.

TIPO DE RESÍDUO	RECICLAGEM E COMERCIALIZAÇÃO	
	Valores em toneladas	Quantidade reciclada ou comercializada (%)
FINOS/PÓS	752.276	93,5
LAMAS	470.309	67,5
ESCÓRIAS	4.510.583	84,1
CAREPAS	293.442	92,6
Outros	493.509	77,0

Fonte: IBS - Instituto Brasileiro de Siderurgia, 1999.

## 2. Metodologia

As etapas da metodologia utilizada nesse estudo foram:

- 1ª) Caracterização dos resíduos gerados no processo de fabricação de aço inoxidável.
- 2ª) Aglomeração dos resíduos caracterizados na forma de briquetes, juntamente com um redutor (liga ferro-silício) e cal.
- 3ª) Experimentos de introdução de briquetes de resíduos em aço-carbono líquido, ASTM1020, e retirada periódica de amostras do banho em um aparato experimental em escala de laboratório.

### 2.1 Caracterização dos resíduos

Inicialmente, foram feitos quarteamentos das amostras dos resíduos enviadas pelas empresas brasileiras, para separação de alíquotas. Depois os resíduos foram colocados em estufa a 60°C, para retirada da umidade. As técnicas utilizadas para a caracterização dos resíduos foram: análise química, análise granulométrica, difração de raios X, microscopia eletrônica de varredura (MEV) e análise de microrregiões com o EDS acoplado ao MEV.

### 2.2 Fabricação dos briquetes

Foram fabricados seis briquetes, três utilizando o resíduo RESA e três com o resíduo RESB. Em função do resultado obtido na caracterização dos resíduos foram feitos alguns cálculos para a determinação da quantidade de redutor e cal, substâncias que fizeram parte da composição do briquete, além do resíduo. O redutor utilizado foi a liga Fe75Si.

Ao valor calculado referente à quantidade estequiométrica de redutor necessária para a redução completa dos óxidos dos resíduos passíveis de redução pelo redutor Fe75Si (ferro, cromo, níquel e fósforo), nas condições experimentais, foi adicionado 20% de excesso de redutor.

A análise química de todos os reagentes foi realizada para comprovação dos valores de composição fornecidos pelas empresas. A cal adicionada era de elevada pureza e foi adicionada para ajuste da basicidade binária ( $B_b$ ) da escória final 1. A basicidade binária é a relação molar entre a cal e a sílica, representada pela equação:

$$B_b = \frac{\%CaO}{\%SiO_2}$$

Após a determinação das quantidades de cada briquete, estas eram homogeneizadas e levadas até a briquetadora manual para a fabricação dos briquetes em um molde cilíndrico de aço de 2,3 cm de diâmetro. Foi aplicada uma carga de três toneladas durante três minutos em cada briquete. Depois desse tempo, retirava-se o briquete do molde para avaliação da massa final.

### 2.3 Experimentos de introdução de briquetes no aço líquido

O dispositivo utilizado na fusão do aço e dos briquetes para o estudo da incorporação do cromo do resíduo no aço foi montado no Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais

da Escola Politécnica da USP de julho de 1999 a janeiro de 2000. As dez resistências do forno vertical são de dissiliceto de molibdênio e os refratários, de óxido de zircônio e silício.

A Figura 5 mostra o aparato e um diagrama esquemático do mesmo. No aparato, em escala de laboratório, foram realizados seis experimentos com fusão de briquetes dos resíduos em aço líquido em cada uma das temperaturas de 1570, 1600 e 1635°C. Foram coletadas 10 amostras do banho para cada experimento. Termopares tipo B, conectados a controladores, monitoravam a temperatura do experimento. Gás inerte argônio era injetado pela parte inferior do aparato a uma vazão de 5 L por minuto para inertizar a sua câmara interna. Durante os experimentos, não se notou nenhuma alteração brusca da temperatura. A variação máxima de temperatura foi de 1°C.

As amostras eram coletadas do banho de três em três minutos e posteriormente foram enviadas à análise química para determinação dos elementos cromo, níquel, silício, sódio e potássio e fósforo.

Em cada experimento eram necessários os seguintes passos:

- 1º) Carregamento do cadinho contendo aço no equipamento de fusão.

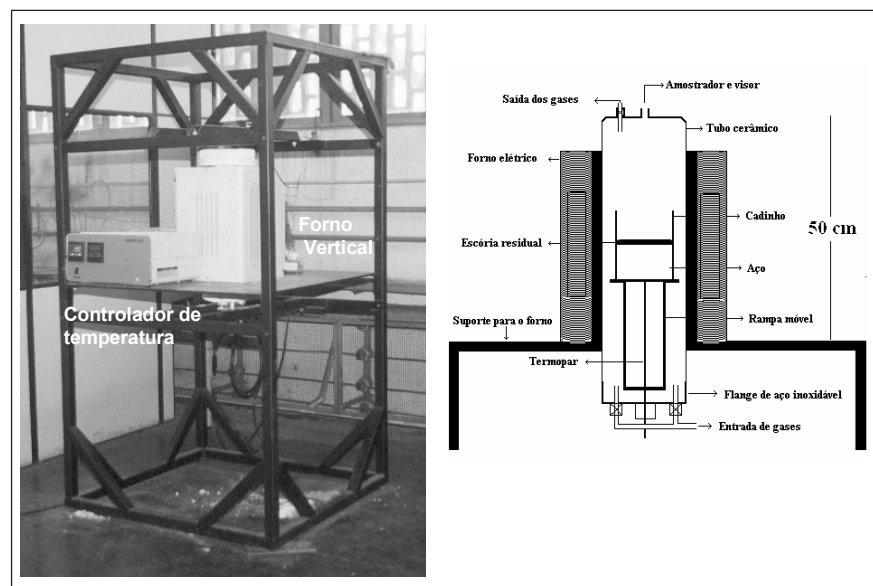


Figura 5 - Equipamento utilizado para o estudo da redução de óxidos contidos em resíduos gerados no processo de fabricação de aço inoxidável.



- 2º) Acionamento do forno e do controlador para a realização do experimento a uma taxa de aquecimento de 10°C por minuto até a temperatura da experiência e manutenção do equipamento nessa temperatura por 1,5 hora.
- 3º) Abertura do sistema de entrada de gases inertes no equipamento na temperatura de 500 °C, a uma vazão de 5 l/minuto, controlada por um rotâmetro.
- 4º) Retirada de uma amostra de aço líquido, na temperatura da experiência.
- 5º) Adição do briquete de resíduos no aço líquido.
- 6º) Retirada periódica de amostras do banho.
- 7º) Resfriamento do banho à mesma velocidade utilizada para o aquecimento.
- 8º) Fechamento do sistema de injeção de gases inertes, após a solidificação do aço e da escória formada durante o experimento.
- 9º) Retirada do cadinho do equipamento.
- 10º) Retirada de uma amostra da escória final já solidificada.

Desde o acionamento do aparato até o seu desligamento, eram despendidas 7,5 horas.

### 3. Resultados e discussão

#### 3.1 Caracterização dos resíduos

A análise química dos resíduos estudados nesse trabalho é apresentada na Tabela 2. Pode-se observar que os teores de cromo, chumbo, níquel e ferro dos resíduos são altos.

O resultado completo da caracterização dos resíduos gerados na fabricação de aço inoxidável, incluindo outros resíduos, pode ser visto em artigo recentemente publicado<sup>(7)</sup>.

A caracterização mostrou que a morfologia predominante das partículas que constituem os resíduos é a esférica. Algumas esferas eram ocas, outras, com-

pletamente lisas e algumas apresentavam a precipitação de uma segunda fase no seu interior. Nas imagens obtidas no MEV, para os resíduos RESA e RESB, foram identificadas fases contendo silicatos complexos, cromita, silicato de cálcio e óxido de cromo. A análise granulométrica dos resíduos, feita no equipamento *Malvern Instruments 2600LC*, mostrou que as partículas do resíduo RESA possuem 1,7µm de diâmetro médio e que as partículas do resíduo RESB possuem 4µm de tamanho médio.

Os resultados obtidos na difração de raios X dos resíduos estudados apresentaram a maioria dos picos coincidentes. A fase  $AB_2O_4$  (espinélio), onde **A** pode ser um dos elementos metálicos Fe ou Ni e **B** pode ser o Fe ou Cr, foi identificada como a mais provável e os outros compostos identificados foram:  $Fe_3O_4$ ,  $Fe.Cr_2O_4$  e  $NiFe_2O_4$ . A determinação da forma como o cromo se encontrava combinado a outros elementos nas poeiras foi fundamental para o cálculo da massa de redutor dos briquetes, etapa posterior à caracterização das poeiras.

#### 3.2 Fabricação dos briquetes de resíduos

Foram fabricados três briquetes com cada um dos resíduos RESA e RESB. A perda de massa verificada no procedimento de briquetagem foi de 1%, no máximo. A faixa de composição química de cada um dos briquetes fabricados era: 70-78% de resíduo, 20-25% de ferro-silício e 2-5% de CaO. Os briquetes eram cilíndricos e possuíam 2,3cm de diâmetro com altura variável em função do tipo de resíduo.

### 3.3 Experimentos de introdução de briquetes no aço líquido

Foram realizados três experimentos com o resíduo RESA e três experimentos com o resíduo RESB.

Calculou-se a quantidade máxima de cromo que poderia ser incorporada no aço a partir dos dados sobre a composição química dos resíduos e da massa de resíduo que o briquete possuía. Com o resultado da análise química das amostras retiradas do banho, pode-se chegar aos valores atingidos de recuperação de cromo e de níquel que foram incorporados no aço durante os experimentos. Foi também considerada a quantidade de cromo que o aço já possuía antes da introdução do briquete de resíduos com alto teor de cromo, que era em média de 0,020% em massa.

A Figura 6 apresenta o resultado de recuperação de cromo para o resíduo RESA obtido nos experimentos em função da temperatura e do tempo. Amostras de aço foram coletadas do banho a cada 3 minutos. A quantidade máxima de cromo incorporado na temperatura de 1570°C para o resíduo RESA foi próxima a 80%. Quando a temperatura do experimento foi aumentada, observou-se que a massa de cromo incorporada ao aço também aumentou. Para os experimentos realizados a 1600 e a 1635°C, os valores do cromo incorporado ao aço foram 96 e 100%, respectivamente. Verificou-se que o tempo necessário para que a reação entrasse em equilíbrio foi de 15 minutos para as temperaturas de 1570°C e de 1600°C e 9 minutos para a temperatura de 1635°C.

Tabela 2 - Composição química dos resíduos estudados.

Resíduo	% em massa								
	CaO	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>T</sub>	Cr	Cr <sup>+6</sup>	Ni	P	Pb	Álcalis*
RESA	1,7	3,6	53,5	7,0	0,5	2,6	0,82	0,03	6,4
RESB	0,6	2,0	55,5	13,5	0	2,9	0,023	0,15	6,0

\*Álcalis: K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O

A Figura 7 mostra o resultado de recuperação de cromo para o resíduo RESB dos experimentos realizados. Notou-se que os resultados foram muito semelhantes aos resultados obtidos para o resíduo RESA. Os percentuais máximos de cromo retirado do resíduo RESB foram 79%, 97% e 99% nas temperaturas de 1570, 1600 e 1635°C, respectivamente. Os tempos necessários para que as reações entrassem em equilíbrio foram de 12 minutos para as três temperaturas dos experimentos realizados com o resíduo RESB.

Experimentos relatados por outros autores<sup>(9, 10, 11, 12, 13, 14)</sup> mostraram um comportamento semelhante ao encontrado nesse estudo, onde a curva que representa a redução do óxido de cromo com o tempo apresenta um crescimento muito rápido nos primeiros minutos do experimento e atinge um certo valor máximo, estabilizando-se nesse valor, função do tipo de mecanismo de controle envolvido no processo. Uma diferença observada em relação aos experimentos relatados na literatura é que o tempo para se atingir o equilíbrio e, conseqüentemente, a máxima quantidade de cromo a ser recuperada do resíduo foi menor nos experimentos realizados e descritos nesse trabalho.

Para os demais elementos presentes nos resíduos estudados e que poderiam ser incorporados ao aço durante os experimentos, a análise mostrou que o níquel é totalmente recuperado. Não houve a incorporação dos elementos sódio e potássio no aço nos experimentos e os teores de fósforo e de silício do aço aumentaram para todos os experimentos realizados.

#### 4. Conclusões

- 1) Os resíduos de indústrias brasileiras do processo de fabricação de aço inoxidável possuem altos teores de ferro, cromo e níquel e chumbo.
- 2) A maior parte das partículas analisadas possui formato esférico, podendo haver a precipitação de uma segunda fase no interior das mesmas. A principal forma encontrada na constituição dos resíduos foi o  $Fe.Cr_2O_4$ .

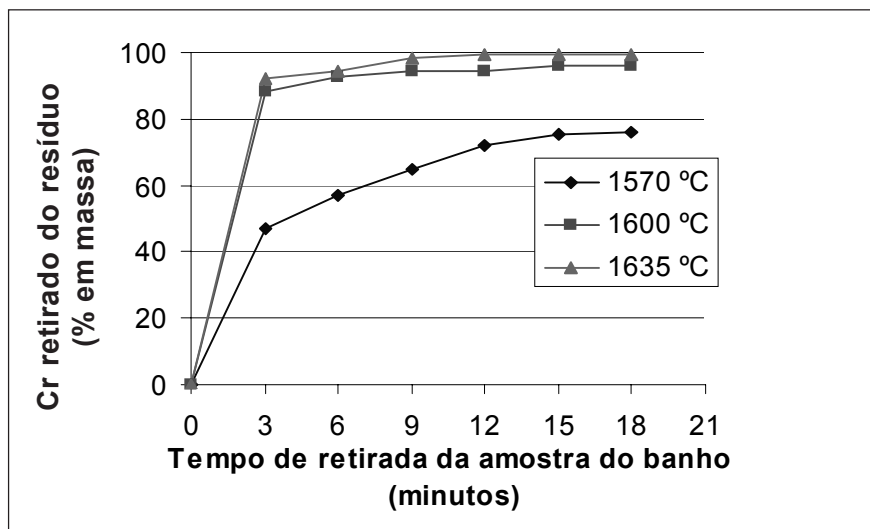


Figura 6 - Quantidade de cromo retirado do resíduo e incorporado ao aço durante os experimentos realizados com o resíduo RESA, em função do tempo e da temperatura.

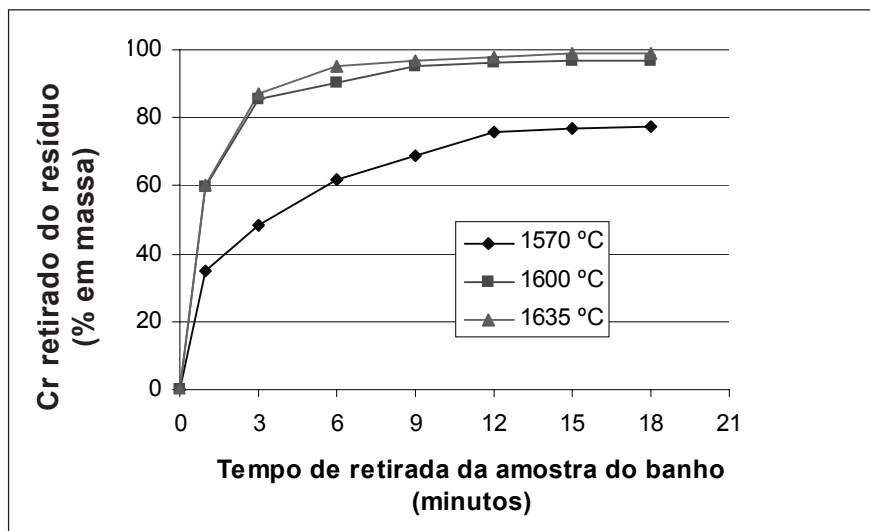


Figura 7 - Quantidade de cromo retirado do resíduo e incorporado ao aço durante os experimentos realizados com o resíduo RESB, em função do tempo e da temperatura.

- 3) A reciclagem dos metais cromo e níquel dos resíduos, utilizando a metodologia descrita nesse trabalho, possibilita uma alta recuperação desses elementos.
- 4) A reciclagem desses resíduos deve ser feita realizando inicialmente uma completa caracterização dos resíduos para depois introduzi-los no aço líquido a uma temperatura de pelo menos 1600°C para um maior rendimento do processo.
- 5) O novo resíduo gerado nos experimentos realizados (escória a base de cal e sílica) possui um teor muito menor dos metais cromo e ferro que o resíduo ori-

ginal (lama ou poeira); não possuindo cromo hexavalente ou chumbo.

- 6) A nova liga gerada, à base de ferro, cromo e níquel, poderá ser utilizada nos processos convencionais de fabricação de aço inoxidável como matéria-prima substituindo parte das ligas à base de cromo e níquel adicionados.

#### 5. Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa de São Paulo, à Escola Politécnica da USP pelo suporte e apoio para a realização da

pesquisa, ao Eng<sup>o</sup>. Marco Antônio Resende (Villares Metals S.A.) pelo envio de amostras de resíduos, aço inoxidável, aço carbono e informações para a análise dos teores de cromo e níquel do aço e ao Eng<sup>o</sup>. Odilon Machado Neto (Acesita S.A.) pelo envio de amostras de resíduos.

## 6. Referências bibliográficas

- (1) [www.worldsteel.com](http://www.worldsteel.com). Acesso em Agosto de 2003.
- (2) [www.abmbrasil.com.br](http://www.abmbrasil.com.br). Acesso em Julho de 2003.
- (3) [www.infomet.com.br](http://www.infomet.com.br). Acesso em Setembro de 2003.
- (4) GUIA BRASILEIRO DO AÇO INOX 2003. Núcleo de Desenvolvimento Técnico Mercadológico do Aço Inoxidável (Núcleo Inox).
- (5) SZEKELY, J. A research program for the minimization and effective utilization of steel plant wastes. *Iron and Steelmaker*, v. 22, n. 1, p. 25-29, 1995.
- (6) NOLASCO SOBRINHO, P.J., ESPINOSA, D.C.R. & TENÓRIO, J.A.S. Caracterização da poeira gerada na fabricação de aço inoxidável visando à sua reciclagem. *REM - Revista da Escola de Minas*, v.53, n. 4, p. 257-263, out.dez., 2000.
- (7) NOLASCO-SOBRINHO, P.J., ESPINOSA, D.C.R., TENÓRIO, J.A.S. Characterisation of dusts and sludges generated during stainless steel production in Brazilian industries. *Ironmaking and Steelmaking*, v.30, n.1, p.11-17, 2003.
- (8) WRONA, L. M. Pollution prevention in the steel industry – Toward a zero waste plant. *Iron and Steel Engineer*, v. 74, n. 6, p. 59-63, 1997.
- (9) DEMIR, O., ERIC, R.H. Reduction of chromite in liquid Fe-Cr-C-Si alloys. *Metallurgical Transaction B*, v.25, p. 549-559, 1994.
- (10) TSOMONDO, B.M.C, SIMBI,D.J., NAVARA, E. Isothermal reduction of chromite fines by carbon saturated chromium melt. *Ironmaking and Steelmaking*, v.24, n.5, p.386-391, 1997.
- (11) SIMBI, D.J., TSOMONDO, B.M.C. Aspects of smelting reduction of chromite ore fines in CaO-FeO-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> slag system by carbon dissolved in high carbon ferrochromium alloy bath. *Ironmaking and Steelmaking*. v. 29, n.4, p.271-275, 2002.
- (12) NAKASUGA, T. et al. Reduction rate of Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in a solid powder state and in CaO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaF<sub>2</sub> slags by Fe-C-Si melts. *Ironmaking and Steelmaking*. v. 41, n. 9, p. 937-944, 2001.
- (13) KAAS, W., KOHLER, E., BORGGREFE, H e UNGER, K. Production and preparation of reinforced filter dust briquettes from special steel making operations. *Metallurgical Plant and Technology*. n. 3, p.145-151, 1984.
- (14) AUTH, R. et al. Hot briquetting of filter dust from basic oxygen furnace steelmaking. *Metallurgical Plant and Technology*. v. 5, p. 30-33, 1987.

Artigo recebido em 03/10/2003 e  
aprovado em 15/07/2004.

# Descubra as muitas informações da: Geologia, Mineração, Metalurgia & Materiais e Engenharia Civil.



## Assine e publique na Rem

Fone/Fax: (31) 3551-4730 - E-mail: [editor@rem.com.br](mailto:editor@rem.com.br)