

Reciclagem de latas de alumínio usando fusão em forno elétrico à indução

Guilherme Ourique Verran

Dr. , Professor do Departamento de Eng. Mecânica, CCT/UDESC
Programa de Pós Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais
Joinville, SC, Brasil
gverran@joinville.udesc.br

Udo Kurzawa

Msc. , Pesquisador do LabFund/DEM-PCGEM/UDESC
Joinville, SC, Brasil
udok@terra.com.br

Guilherme Gava Gaboardi

Eng. Mec., Schulz S/A
Joinville, SC, Brasil
gggaboardi@ig.com.br

Resumo

Foram investigadas as influências dos procedimentos de fusão sobre o rendimento obtido na reciclagem de latas de alumínio usando fusão em forno elétrico à indução. As latas de alumínio foram acondicionadas na forma de pacotes de latas prensadas com alto grau de compactação. Inicialmente a quantidade de fluxo escorificante foi mantida constante (20% em peso), variando-se a temperatura do banho e o procedimento de escorificação. Posteriormente foram fixadas duas temperaturas do banho (750 e 850° C) e utilizado o procedimento de escorificação que envolve a mistura do fluxo escorificante ao banho, variando-se o percentual deste. O alumínio recuperado foi vazado em moldes permanentes. Os resultados foram expressos através do rendimento, relação entre a massa de alumínio obtido na forma de lingotes e a massa inicial do pacote de latas. A composição química foi monitorada via espectroscopia de emissão ótica. Os resultados indicam uma forte influência dos parâmetros testados sobre os valores de rendimento na reciclagem do alumínio.

Palavras-chave: reciclagem, alumínio, latas de alumínio, fundição.

Abstract

The influence of foundry procedures on efficiency obtained in the recycling of aluminum cans using electric induction furnace were investigated. The cans were compacted in "packages" using high pressures. Initially the flux quantity was maintained constant (20% in weight), changing itself the temperature of the melt and fluxing procedure. To follow melt temperatures (750 and 850° C) and fluxing procedure were maintained constant and flux contents were changed. The recycling aluminum was poured in permanent molds. The results were assessed computing the efficiency of the recycling process, defined as a relation between the recycled and original amount of aluminum. Chemical composition was evaluated by optical emission spectroscopy. The results indicated a stronger influence of the experimental parameters over efficiency in the aluminum cans recycling.

Key words: recycling, aluminum, aluminum cans, casting.

1. Introdução

O processo de reciclagem de alumínio a partir da refusão de latas de bebidas descartadas é uma atividade que vem apresentando um significativo crescimento em função do avanço no emprego desse tipo de embalagens e da redução no consumo de energia relacionado com esta reciclagem em comparação com a produção de alumínio primário. A economia de energia associada com a reciclagem de 1 Kg de alumínio representa uma redução no consumo de energia elétrica da ordem de 95% com relação à produção da mesma quantidade de alumínio primário segundo dados da ABAL (2007). Estes dados são semelhantes aos apresentados nos Estados Unidos de acordo com publicações recentes (Toto, 2006; Dunleavy, 2006; Henry, 2007).

O Brasil detém a liderança mundial na reciclagem de latas de alumínio, com índice de 87% em 2002 e alcançando os 96% em 2005, sobre todas as latas consumidas. Este índice corresponde a um volume de 121,1 mil toneladas de latas de alumínio, ou aproximadamente, nove bilhões de unidades, um crescimento de 2,6% ao ano em relação a 2001, conforme a Figura 1 (ABAL, 2007). Nos Estados Unidos, o programa de reciclagem foi iniciado em 1968 e no Brasil, a reciclagem teve seu início em 1991, e de lá para cá, o índice vem crescendo rapidamente, conforme a Figura 2, que representa a reciclagem de alumínio com a relação entre sucata recuperada e o consumo doméstico do metal.

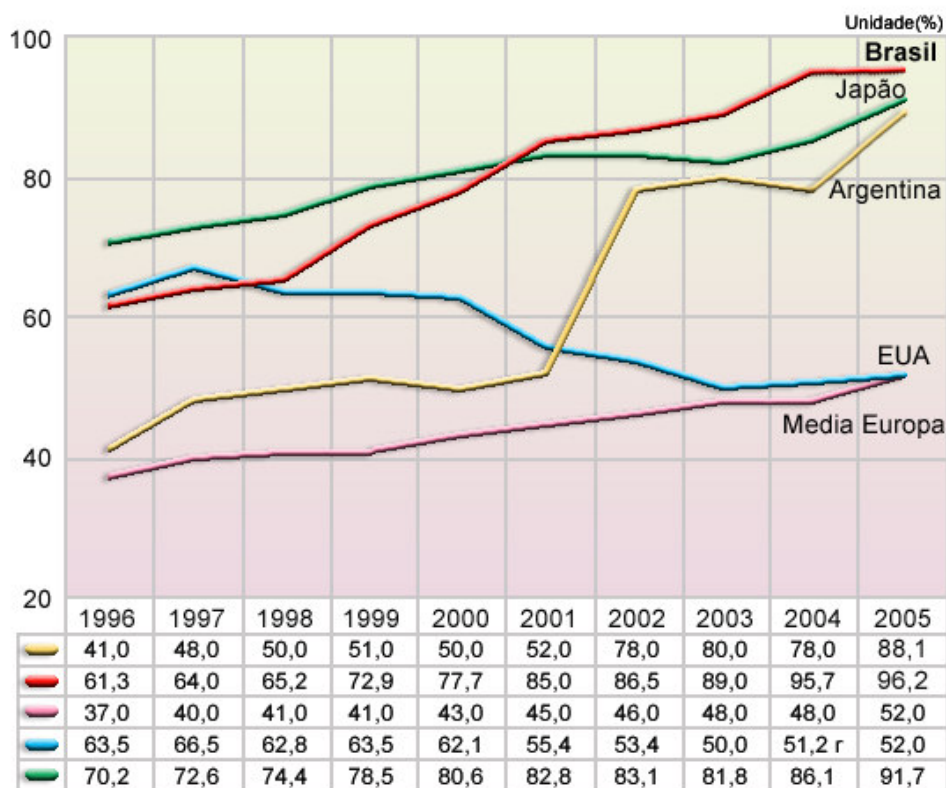


Figura 1 – Dados sobre a reciclagem de latas de Al no Brasil e no mundo (ABAL, 2007).

Em publicação recente, Toto (2007) descreve um programa desenvolvido pela Novelis-Atlanta (Divisão da Alcan e líder mundial em alumínio laminado e reciclagem de latas) para redução nas perdas durante a

reciclagem de latas de bebidas. O programa foi iniciado pela Alcan em 2004 em parceria com a US Conference of Mayors (ONG de cidades com populações maiores que 30.000 habitantes). O programa divide as cidades em quatro categorias de acordo com as suas populações: divisão 1 (250.000 ou mais habitantes), divisão 2 (100.000 a 249.999 habitantes), divisão 3 (50.000 a 99.999 habitantes) e divisão 4 (até 49.999 habitantes). O programa destina U\$ 5.000 para as cidades com maiores índices de coletas de latas em cada divisão. Também são destinados U\$ 5.000 para os segundo colocados em cada divisão para idéias inovadoras sobre reciclagem de latas, promovendo assim a reciclagem das latas de alumínio.

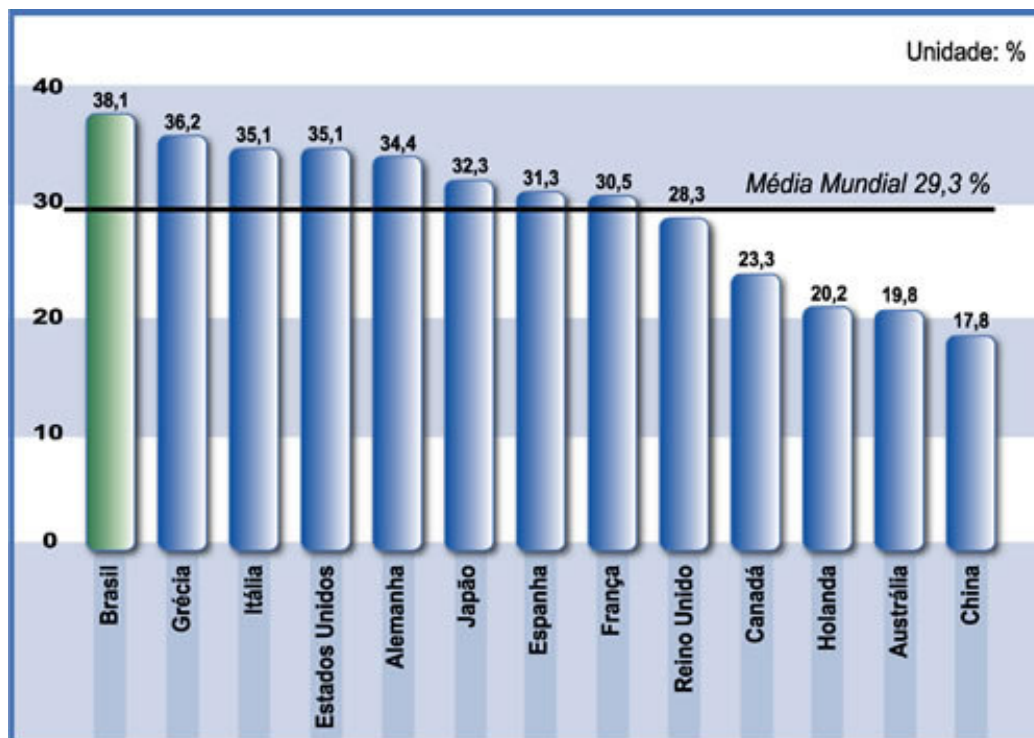


Figura 2 – Relação entre sucata recuperada e o consumo doméstico do metal (ABAL, 2007).

Um dos processos utilizados por grandes empresas da área de reciclagem tem início com a coleta das latas de alumínio já consumidas por mão-de-obra não qualificada, que depois de limpar suas impurezas, vendem o material compactado para as indústrias recicladoras.

O material vai então para a área fria da reciclagem, onde começa a operação de alimentação dos fardos de latas usadas em um desenfardador, que quebra os blocos em pedaços. Através de uma correia transportadora, o material é levado para um moinho de facas, onde os pedaços dos blocos são completamente desmanchados.

O material passa então por um separador eletromagnético que remove metais ferrosos que não podem entrar na composição do alumínio. Em seguida, o material desmanchado alimenta o moinho de martelos, onde é picotado, resultando o assim denominado cavaco de latas. Outra separação magnética é realizada para garantir a pureza do material que será reutilizado.

Na seqüência, o cavaco passa por uma peneira vibratória que retira terra, areia e outros resíduos. Um separador pneumático complementa este processo por meio de jatos de ar que separam papéis, plásticos e os demais contaminantes leves e pesados.

Os cavacos seguem para um silo de armazenamento e dali passam para a remoção das tintas e polímeros que recobrem o material num sistema de fluxo simultâneo ar/cavaco, no interior de um grande forno rotativo, conhecido como forno Kiln, havendo perdas de rendimento em função da formação de óxido de alumínio.

A seguir ocorre a fusão do cavaco. O metal líquido é vazado em cadinhos, de onde são retiradas amostras para análise da composição química. Novamente na forma de metal, o alumínio é encaminhado para a laminação de chapas que serão transformadas novamente em latas (Novelis, 2007).

Em empresas de pequeno porte, não é comum o uso de todas as etapas citadas anteriormente. Neste caso, o processo fica restrito à quebra dos blocos de latas de alumínio e posterior fusão dos cavacos, não havendo um controle sobre a qualidade do alumínio obtido.

O método de reciclagem é complexo quando se prima pela qualidade do produto final, no entanto, o ciclo da reciclagem é relativamente rápido e leva aproximadamente a média de 33 dias para que as latas consumidas e coletadas voltem para a sua origem, o consumidor.

Apesar da importância do tema, existem poucos trabalhos experimentais envolvendo o estudo da influência dos parâmetros de fusão sobre o rendimento na reciclagem de alumínio a partir de latas de bebidas (Tenório *et al.*, 1995; Verran *et al.*, 2004, 2005).

Alguns estudos recentes focaram aspectos relacionados com o uso de fluxos escorificantes e alguns parâmetros de processamento visando à otimização no rendimento obtida na reciclagem do alumínio.

Majidi *et al.* (2007) estudou o efeito da temperatura do banho durante a aplicação de fluxos escorificante visando o refino de ligas de alumínio fundidas. Para caracterização da qualidade do alumínio obtido foram utilizados ensaios mecânicos e análises químicas e microestruturais. Os resultados indicaram que a melhor temperatura para tratamento do metal líquido fica em torno de 740°C, e que o uso de temperaturas até 700° não se mostrou efetivo.

Rabah (2003) apresentou um estudo no qual foi proposto um novo método de remoção das tintas e vernizes utilizados como revestimento das latas de alumínio para bebidas. O método sugerido combina tratamentos hidro e pirometalúrgicos propiciando uma forma de remoção destas tintas usando técnicas de remoção por solventes. Os resultados obtidos indicaram rendimentos de até 96,6% na reciclagem para utilização de temperaturas de 800°C, além de menores perdas de magnésio durante a refusão.

Friedrich (2005) estudou o tratamento do alumínio líquido visando à obtenção de alumínio com elevadas pureza e qualidade. Foram realizados tratamentos de refino e filtração do alumínio líquido com o objetivo de remover hidrogênio e inclusões sólidas. Também foram discutidos os tipos e origens das principais impurezas.

Neste artigo são apresentados os resultados obtidos na segunda etapa de um projeto de pesquisa sobre a reciclagem de latas de alumínio usando um forno elétrico a indução. Em estudo anterior, Verran *et al.* (2004) avaliaram a influência do percentual de fluxo escorificante sobre o rendimento na reciclagem de alumínio a partir de latas, bem como a qualidade do alumínio obtido. Os resultados obtidos foram promissores, mostrando um rendimento muito superior aos obtidos pelas empresas que trabalham com esta atividade (Kurzawa, 2006). Nesta segunda etapa do trabalho, foram investigadas as influências da temperatura do metal líquido, do procedimento de escorificação e do percentual de fluxo escorificante sobre o rendimento na reciclagem de latas de alumínio.

2. Materiais e Métodos

As latas foram compactadas em pacotes contendo 50 latas usando uma prensa hidráulica e uma matriz especialmente projetada e construída para este fim, conforme mostra a Figura 3.

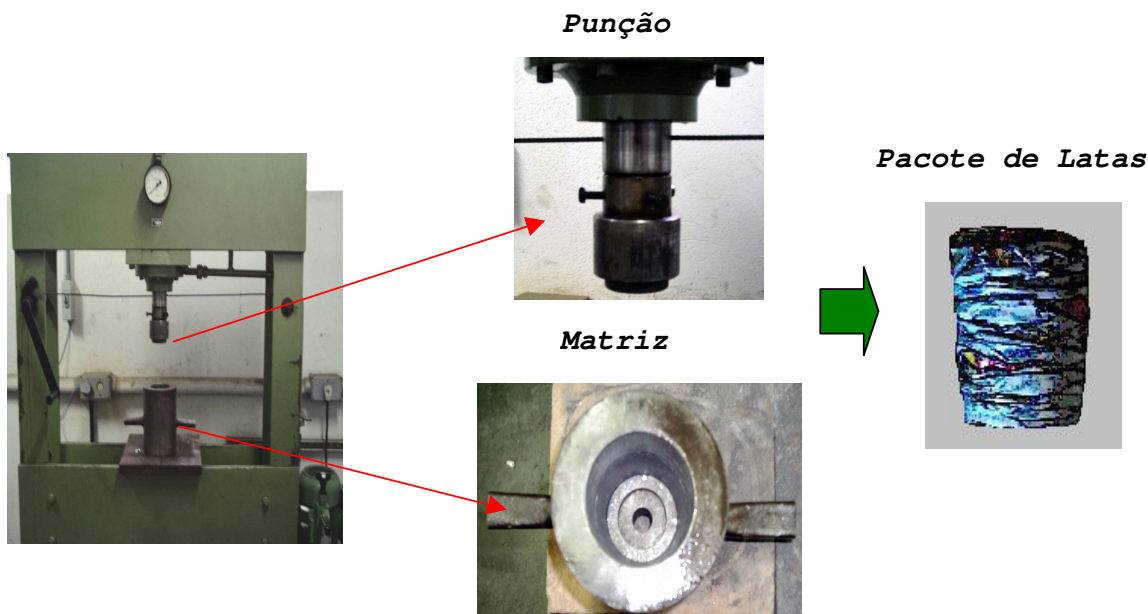


Figura 3 – Ilustração do procedimento para obtenção dos pacotes de latas.

As corridas experimentais foram realizadas em um Forno de Indução com potência de 40 Kw usando um cadinho de grafite com capacidade para fundir até 1,3 Kg de alumínio por corrida. Foram utilizadas potências da ordem de 2 a 4 Kw, dependendo da temperatura desejada em cada série experimental, resultando em tempos totais por corrida de aproximadamente 20 a 25 minutos.

Na primeira série de experiências, após a fusão total do material carregado e obtenção da temperatura desejada foi realizado o procedimento de escorificação, que consistiu na colocação do fluxo escorificante (produto comercial a base de cloretos de sódio e potássio) sobre a superfície do metal líquido ou mistura vigorosa deste fluxo com a massa fundida (metal + escória), manutenção por um período de cinco minutos e retirada da escória. A quantidade de fluxo utilizada foi de 20% com relação ao peso da carga (pacote com 50 latas) em cada corrida realizada. A seguir, o alumínio obtido foi vazado em moldes adequados para obtenção dos corpos de prova tipo "moeda", com diâmetro de 50mm e espessura de 5mm, para análise química.

Além da variação no procedimento de escorificação, foi investigada a influência da temperatura do banho sobre o rendimento e sobre a composição química do alumínio obtido, utilizando-se as temperaturas descritas na Tabela 1.

Tabela 1 – Primeira série de corridas experimentais.

Condição Experimental	Procedimento de Escorificação	Temperatura do Banho (°C)
01	Sem mistura do fluxo	700
02	Sem mistura do fluxo	750
03	Sem mistura do fluxo	800
04	Sem mistura do fluxo	850
05	Com mistura do fluxo	700
06	Com mistura do fluxo	750
07	Com mistura do fluxo	800
08	Com mistura do fluxo	850

Para cada condição experimental descrita na Tabela 1, foram realizadas no mínimo cinco corridas, sendo retiradas amostras para análise química em todos os experimentos. Os corpos de prova para análise química foram usinados em uma superfície e submetidos a análises químicas via Espectroscopia de Emissão Óptica usando um Espectrômetro Shimadzu OES 5500 II, tendo sido feitas três medições para cada condição experimental testada.

A partir de uma avaliação prévia dos resultados de rendimento obtidos nesta série de experimentos, partiu-se para a realização de uma segunda série de experimentos.

Na segunda série, foram fixadas as temperaturas de 750⁰ e 850⁰ C e utilizado o procedimento de escorificação com mistura do fluxo escorificante no banho, sendo variado apenas o percentual em peso de fluxo escorificante adicionado a cada corrida. A Tabela 2 mostra os dados dos experimentos realizados.

O rendimento do processo foi calculado através da relação entre o peso em lingotes de alumínio obtido a cada corrida experimental e o peso total da carga (pacote de latas) adicionada ao forno para fusão, considerando-se aqui como peso total da carga a lata recoberta com tinta e verniz.

Tabela 2 – Segunda série de corridas experimentais.

Condição Experimental	Temperatura da Massa Líquida (°C)	Quantidade de Fluxo (% em peso)
01	750	20
02	850	20
03	750	10
04	850	10
05	750	5
06	850	5
07	750	2
08	850	2
09	750	1
10	850	1
11	750	0

12	850	0
----	-----	---

3. Resultados e Discussão

Os resultados do rendimento obtido na primeira série experimental são apresentados na figura 4, para as condições sem e com mistura do fluxo escorificante ao banho.

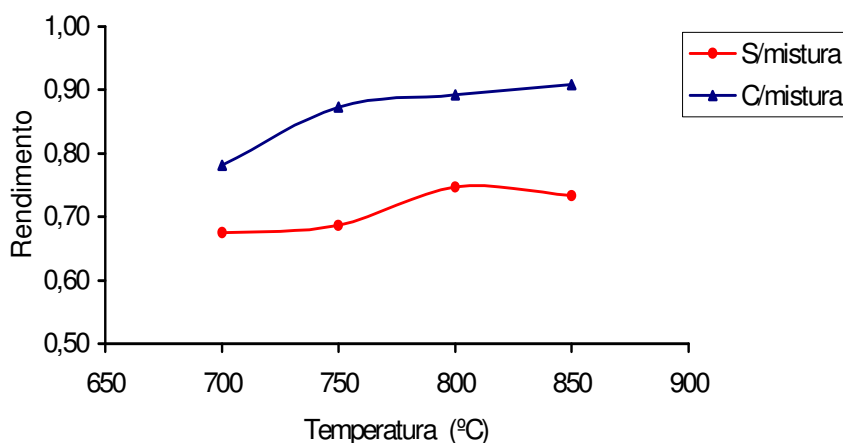


Figura 4 – Comparação entre os rendimentos em função da temperatura de manutenção do banho para os dois diferentes procedimentos de adição do fluxo escorificante.

Os resultados apresentados na Figura 4, para a série de experimentos sem a mistura do fluxo ao banho, indicam uma pequena influência do acréscimo na temperatura de manutenção do banho fundido sobre o incremento no rendimento obtido na reciclagem de alumínio a partir da fusão de latas na forma de pacotes. Foram observados acréscimos pouco significativos para a utilização de temperaturas mais elevadas (800 e 850° C).

Analisando o gráfico relativo às experiências com mistura do fluxo ao banho, observa-se que os valores de rendimento são mais elevados para todas as temperaturas testadas. Essas observações confirmam que os procedimentos de escorificação utilizados neste trabalho apresentam uma influência muito significativa sobre o rendimento obtido na reciclagem, sendo que o uso de uma mistura vigorosa do fluxo escorificante ao banho fundido mostrou-se mais efetivo.

A possível razão para esta melhoria pode ser explicada levando em consideração o fato de que a fusão de latas apresenta um comportamento totalmente distinto das condições normais de fusão de ligas de alumínio. No presente caso, o material de partida (latas prensadas recobertas com camadas de tintas e vernizes), à medida que funde, passa a apresentar um aspecto muito viscoso em virtude da presença de óxidos gerados durante a fusão do alumínio e de resíduos da queima dos materiais usados no recobrimento das latas de alumínio. Desta forma, a mistura íntima do fluxo escorificante à massa fundida otimiza o processo de separação metal-escória propiciando a obtenção destes melhores rendimentos.

Quanto à temperatura, observa-se um incremento no rendimento com o aumento da temperatura, o que, apesar de contrariar a previsão teórica de que o aumento da temperatura tende a acelerar o processo de oxidação do alumínio reduzindo assim o rendimento, pode ser explicado com base no fato de que maiores

temperaturas tendem a tornar o alumínio mais fluido facilitando assim o processo de separação metal-escória, sendo este efeito mais efetivo do que o efeito de oxidação do metal para as condições utilizadas

neste trabalho. A obtenção de elevados rendimentos a partir da temperatura de 750° C está de acordo com os resultados descritos por Majidi *et al.* (2007).

A Figura 5 apresenta os valores de rendimento em função do percentual de fluxo escorificante utilizado, nota-se que, a partir de 10% em peso de fluxo, o rendimento tende a apresentar uma estabilização, apresentando pequenos incrementos para o uso de maiores quantidades de fluxo (20% em peso). Quanto à temperatura, para maiores quantidades de fluxo observa-se rendimento levemente superior quando se usou temperatura igual a 850° C. Já para o uso de menores teores de fluxo escorificante a variação na temperatura de massa líquida não ocasionou variações significativas no rendimento.

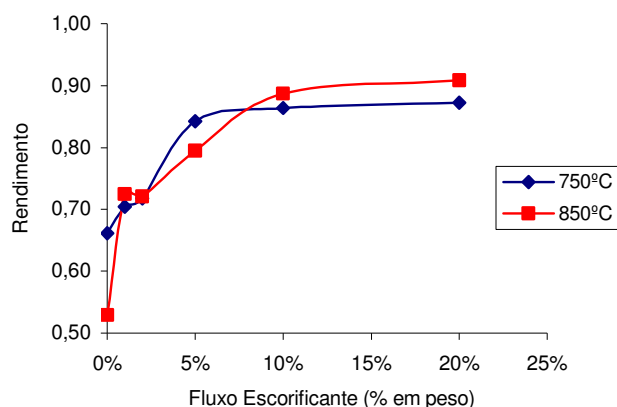


Figura 5 – Rendimento na reciclagem em função do percentual de fluxo escorificante.

A influência da utilização e da quantidade de fluxo escorificante, além dos valores medidos de rendimento, também pode ser evidenciada pelo aspecto do rejeito do processo (escórias), como visto na Figura 6. Na condição sem adição do fluxo escorificante pode-se observar a presença de aglomerados ricos em alumínio na escória (Figura 6a), indicando uma ineficiência no procedimento de escorificação. Já para o uso de 20% em peso de fluxo escorificante (Figura 6b) não se observa uma quantidade significativa de alumínio na escória gerada.



(a)



(b)

Figura 6 – Aspecto da escória obtida em corridas sem a utilização de fluxo (a) e com 20% em peso de fluxo(b).

Os resultados obtidos indicam a ocorrência de um elevado rendimento na reciclagem de alumínio usando a fusão em forno elétrico a indução. Estes rendimentos foram superiores aos valores médios obtidos pelas indústrias que trabalham com reciclagem de latas de alumínio usando processos de fusão em fornos com queima de combustíveis. De acordo com informações obtidas junto a instituições e empresas que trabalham com reciclagem de latas de alumínio, o rendimento máximo obtido, usando fornos a combustão ar/carvão são da ordem de 55% e em fornos a combustão ar/óleo ou gás são da ordem de 60% (Kurzawa, 2006; Tomra/Lactasa, 2007).

Outro aspecto a ser ressaltado é o fato de ser possível trabalhar com menores teores de fluxo escorificante sem prejuízo considerável nos valores de rendimento, o que vem a se constituir em fato de grande importância sob o ponto de vista do impacto ambiental deste processo de reciclagem.

Os resultados das análises químicas realizadas são apresentados na Tabela 3 e indicam que o alumínio reciclado apresenta uma composição química muito próxima daquela prevista como composição inicial da carga. Os percentuais do elemento Mn apresentaram pequenas variações entre as diferentes corridas experimentais realizadas e em média uma redução muito pequena com relação à composição inicial. Para o elemento Mg ocorreram maiores variações com relação à composição inicial, o que pode ser explicado pelo fato de que o magnésio é um elemento químico extremamente reativo com o oxigênio e sua perda durante operações de fusão e refusão de ligas metálicas é bastante comum e de difícil controle.

Quanto aos outros elementos que aparecem na forma de impurezas, pode-se afirmar que os valores encontrados estão dentro dos limites permitidos em todas as normas que definem especificação de composição química para ligas de alumínio trabalháveis.

Tabela 3 – Composições químicas obtidas nas diferentes corridas experimentais realizadas.

Elemento	Mn	Mg	Cu	Si	Fe	Zn	Cr	Ti	Ni	Pb	Al
Mínimo*	0,73	0,48	0,10	0,09	0,29	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	97,65
Máximo*	0,78	0,88	0,14	0,16	0,40	0,05	0,06	0,02	0,04	0,02	98,09
Média*	0,74	0,63	0,11	0,10	0,34	0,04	0,02	0,01	0,01	0,01	97,99

* Percentuais em peso medidos usando Espectroscopia de Emissão Óptica.

4. Conclusões

- O uso da fusão em forno elétrico a indução permitiu a obtenção de melhores rendimentos na reciclagem de latas de alumínio em comparação com o método usado convencionalmente pelas empresas que trabalham com este tipo de atividade.
- O procedimento de escorificação apresentou uma grande influência sobre o rendimento na reciclagem de latas de alumínio, tendo sido observados elevados valores de rendimento quando o fluxo foi vigorosamente misturado ao banho.
- O uso de temperaturas de manutenção do banho mais elevadas aumentou o rendimento no processo, havendo um acréscimo significativo quando esta temperatura foi aumentada de 700° C

para 750° C e menores incrementos nos valores de rendimento para o uso de temperaturas mais elevadas.

- d) Utilizando-se temperaturas adequadas e mistura vigorosa do fluxo à massa líquida, pode-se trabalhar com teores mais reduzidos de fluxo escorificante sem ocorrência de quedas significativas nos valores de rendimento.
- e) O alumínio obtido apresenta composições químicas muito próximas à composição inicial da carga, indicando pequenas variações nos teores dos principais elementos de liga e ausência de contaminação por impurezas.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem à Udesc – Universidade do Estado de Santa Catarina, através dos Programas de Apoio à Pesquisa (PAP) e de Bolsas de Iniciação Científica (PROBIC), pelo apoio financeiro e pela bolsa de pesquisa que permitiram a realização deste trabalho.

6. Referências

- ABAL – Associação Brasileira do Alumínio. 2007. *Índice de reciclagem de latas de alumínio*. Disponível em: http://www.abal.org.br/industria/estatisticas_recicla_latas.asp. Acesso em: 02 de abril 2007.
- DUNLEAVY, M. 2006. Silver is the new green. *Recycling Today*, **44**(6):106-110.
- FRIEDRICH, B. 2005. Melt treatment of aluminium–Ways to a high performance metal. *Metall*, **59**:30-36.
- HENRY, A. 2007. Aluminium engine. *Recycling Today*, **44**(12):S8-S12.
- KURZAWA, U. 2006. *Estudo da Reciclagem de Latas de Alumínio por Fusão em Forno Elétrico à Indução*. Joinville, SC. Dissertação de Mestrado. Universidade do Estado de Santa Catarina, 57 p.
- NOVELIS. 2007. *Processo da reciclagem*. Disponível em: <http://www.novelis.com.br/NovelisBrasil/Reciclagem/ProcessosReciclagem/>. Acesso em: 02 de abril 2007.
- MAJIDI, O.; SHABESTARI, S.G. e ABOUTALEBI, M.R. 2007. Study of fluxing temperature in molten aluminium refining process. *Journal of Materials Processing Technology*, **182**:450-455.
- RABAH, M.A. 2003. Preparation of aluminium-magnesium alloys and some valuable salts form used beverage cans. *Waste Management*, **23**:173-182.
- TENÓRIO, J.A.S.; DELGADO, F. e BARROS, A.M. 1995. Efeito das variáveis metalúrgicas no processo de reciclagem de latas de alumínio. In: V Seminário de Tecnologia da Indústria do Alumínio. São Paulo, ABAL, 1995. *Anais...* São Paulo, ABAL, p. 53-68.
- TOMRA/LACTASA. 2007. *Informações sobre reciclagem de latas de alumínio*. Disponível em: <http://www.tomra.com.br>. Acesso em: 02 de abril 2007.

TOTO, D. 2006. A can-do attitude. *Recycling Today*, **44**(1):S46-S49.

TOTO, D. 2007. Cashing in. *Recycling Today*, **45**(1):S30-S34.

VERRAN, G.O.; KURZAWA, U. e PESCADOR, W.A. 2004. Reciclagem de Latas de Alumínio Visando a Obtenção de Matérias Primas com Qualidade para Aplicação em Processos Metalúrgicos de Fabricação. *In: ICTR 2004-Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável*, Florianópolis, CD-Rom.

VERRAN, G.O.; KURZAWA, U. e PESCADOR, W.A. 2005. Reciclagem de latas de alumínio visando melhor rendimento e qualidade metalúrgica no alumínio obtido. *Revista Matéria*, **10**(1):334-343.

Submissao: 28/03/2007

Aceite: 02/04/2007