

TRANSFORMAÇÃO DE SUCATAS DE ALUMÍNIO UTILIZANDO TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO NO ESTADO SÓLIDO

Paulo Jesus Costa ESTEVES (1); Livia Pereira PONDER (2); Rodrigo Estevam COELHO (3)

(1) CEFET-BA, e-mail: grau@cefetba.br

(2) CEFET-BA, e-mail: liviaponde@yahoo.com.br

(3) CEFET-BA, Rua Emídio dos Santos Barbalho, s/n, (71) 2102 9481, (71) 21029481,
e-mail: roesco@cefetba.br

RESUMO

O trabalho consiste de uma pesquisa experimental onde se utiliza técnicas de metalurgia do pó para reciclagem de sucatas de alumínio. O material utilizado para as experiências foi latas à base de alumínio. As técnicas utilizadas foram moagem de alta energia e extrusão a quente, em matriz fechada. Para obtenção de uma nova liga, foi realizado o processamento utilizando-se as etapas de picotamento manual das latas de alumínio com uma tesoura, deixando em pequenos pedaços. Na sequência essas lâminas picotadas foram pulverizadas em um moinho de bolas de alta energia e na sequência o pó obtido foi submetido à conformação por extrusão a quente. Os resultados apresentados confirmam se tratar de um material com propriedades mecânicas superior aos materiais à base de alumínio obtidos por meio de técnicas tradicionais. Apresentam vantagem em relação ao processo de fusão/solidificação, devido ao total aproveitamento do material da lata, inclusive sem necessidade de limpeza, pois os resíduos presentes são incorporados ao alumínio (no caso elemento matriz).

Palavras-chave: reciclagem, sucata de alumínio, moagem de alta energia

1. INTRODUÇÃO

No mundo moderno, repleto de países industrializados e em desenvolvimento cresce significativamente a quantidade de lixo. O que fazer com eles? Somente jogar em aterros sanitários não é a solução ideal (visto que alguns materiais demoram a se decompor) a melhor solução é reciclar, transformar o que seria lixo em matéria prima.

Hoje governos e ONGS esperam responsabilidade ambiental na implementação dos processos nas industriais, então palavras como reaproveitamento e economia (de recursos naturais) ganharam grande importância através de incentivos e isenções.

Nesse sentido, a utilização do alumínio na fabricação de embalagens é crescente, o que torna a sua reciclagem de uma grandíssima relevância. A reciclagem de alumínio, hoje, é fundamental porque se tornou uma atividade econômica abrangente em todos os setores da sociedade. O alumínio por sua vez, tem características importantes que fortalecem a utilização da sua reciclagem (ABAL, 2007; ALUMINUM NOW, 2007; HOME OF THE INTERNATIONAL ALUMINIUM INSTITUTE, 2007).

De acordo com o portal ambiental “A reciclabilidade é um dos atributos mais importantes do alumínio. Qualquer produto produzido infinitas vezes, sem perder suas qualidades no processo de reaproveitamento, ao contrário de outros materiais. O exemplo mais comum é o da lata de alumínio para bebidas, cuja sucata transforma-se novamente em lata após a coleta e refusão, sem que haja limites para seu retorno ao ciclo de produção. Esta característica possibilita uma combinação única de vantagens para o alumínio, destacando-se, além da proteção ambiental e economia de energia, o papel multiplicador na cadeia econômica”. Entre outros fatores que serão citados na revisão posteriormente (NOVELIS, 2007; PORTAL AMBIENTAL, 2007; THE ALUMINUM ASSOCIATION, 2007a,b).

A partir de 1990 diversos materiais foram processados por moagem de alta energia (MAE), dentre eles, aços ferramenta, ligas à base de alumínio, carbonetos, hidretos e nitretos, cerâmicos, compósitos, compostos intermetálicos, materiais nanocristalinos, materiais magnéticos e soluções sólidas supersaturadas (COELHO, AMBROZIO, 2001; COELHO, et al., 2004; MURTY; RANGANATHAN, 1998).

Por meio desse processo é possível estender o limite de solubilidade de alguns elementos de liga dentro da matriz. Quando se trata de materiais cujos elementos possuem altos e baixos pontos de fusão o MAE tem sido empregado com grande eficiência. Estabelece em uma mistura de pós elementares, um mecanismo simultâneo de “soldagem” e de “fratura” pela ação das colisões das esferas com as partículas de pó dentro de um recipiente de moagem. As reações envolvidas nesse processo ocorrem no estado sólido, dessa forma, revela-se como uma excelente alternativa para a obtenção de ligas cujos elementos são imiscíveis na fusão convencional (BENJAMIN, 1988, MATTEAZZI, et al., 1997; PORTNOV, et al., 1998).

Nesse processo, a matéria prima será transformada em pó, através da ação da haste e das esferas ao colidir com o material. Após essa etapa, haverá a conformação do material através da extrusão. A extrusão é um processo que possibilita a fabricação de peças e componentes com geometria retilínea em forma de tubos, arames, barras e vários tipos de vigas com perfis em ângulo. O processo de extrusão consiste em forçar um material a passar através de um orifício de menor dimensão, requerendo para isto o emprego de uma determinada pressão. Esse processo é tradicional na conformação de metal e tem sido usado há mais de 100 anos. A extrusão de pós, mais recente que a extrusão de lingotes fundidos, tem um vasto campo de aplicação e vem crescendo muito nos últimos anos (DIETER, 1976; NACHTRAB, ROBERTS, 1992; SHEPPARD, 1987).

Neste sentido, foram traçados os objetivos deste trabalho que consistem em transformar latas de alumínio em uma nova liga. Foram utilizados os processos de moagem de alta energia seguidas de conformação por extrusão a quente, caracterização de sua microestrutura e estudos das propriedades mecânicas.

2. METODOLOGIA

As embalagens recicláveis, inicialmente foram picotadas com dimensões variando entre 5 e 10 mm e posteriormente processadas por um equipamento de moagem, seguido de extrusão a quente, para obtenção de barras. As etapas do processo foram descritas no decorrer do trabalho, a idéia central da forma que o processo experimental acontece, está apresentada na Figura 1.

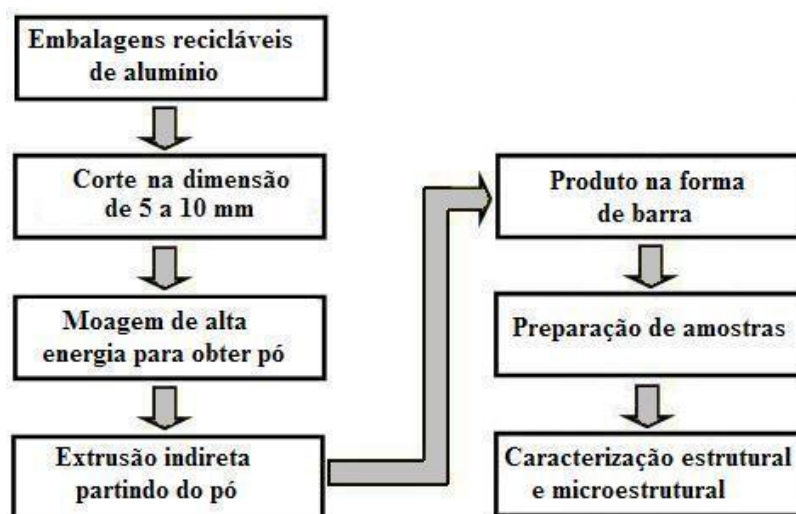


Figura 1. Seqüência adotada durante a realização dos procedimentos experimentais.

Utilizou-se como matéria prima latas de alumínio recortadas em pedaços como mostra a Figura 2. Para cada moagem foram cortadas quatro latas de alumínio, de forma que todo material da lata foi processado, inclusive a tampa e o lacre.

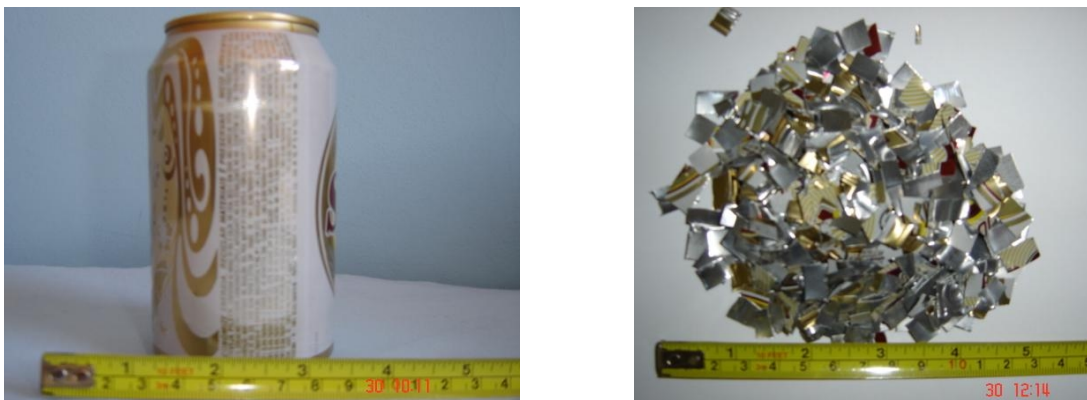


Figura 2. Matéria prima utilizada: tiras de latas de alumínio.

2.1. Processamento no Moinho de Alta Energia

As amostras foram submetidas à moagem, em tempo de 0,5h, 1h e 2h. O equipamento de moagem utilizado no processo é um moinho de alta energia do tipo atritor horizontal, construído para ser usado como protótipo. O material deste moinho é de aço inoxidável e tem um volume de 3 litros com o diâmetro de 155 mm. A velocidade de rotação utilizada no processo foi de 950 rpm, considerando que a rotação máxima do moinho seja 1750rpm. A potência do motor utilizado no processo equivale a 1/2 CV. As esferas utilizadas na moagem são de aço cromo com um diâmetro de 10 mm, no total foram 500g de esferas para moagem de 50g de latas de alumínio picotada. O resfriamento do recipiente de moagem é a água, existe um circuito fechado com uma bomba d'água com um reservatório de 200 litros. Os principais parâmetros do processo de moagem estão apresentados na Tabela 1. Na Figura 3 pode-se visualizar o moinho e seus componentes na sua iminente partida.

Tabela 1. Parâmetros do processo de moagem

Parâmetros	Valores
Massa de esfera (g)	500
Massa do pó (g)	50
Massa de esfera / Massa de pó	10
Diâmetro das esferas (mm)	10
Velocidade da haste (rpm)	950
Atmosfera passante	Aberto
Refrigeração	Água
Tempo de processo (h)	0, 5, 1 e 2



(a)



(b)

Figura 3. Moinho atritor horizontal (a) vista geral, (b) recipiente interno com as esferas e recortes de latas de alumínio.

2.2. Processo de Extrusão

O tipo de extrusão utilizado no processo foi à extrusão inversa, partindo dos pós obtidos das latas pelo processo de moagem. A força aplicada na extrusora atingiu valor máximo de 250 kN, sendo que a capacidade máxima da prensa é de 450 kN. Na Figura 4 é mostrada uma fotografia do conjunto, constituído por uma prensa e acessórios de extrusão. Foi utilizada uma matriz de extrusão com semi-ângulo de 45°. O diâmetro de entrada foi de 30 mm e o diâmetro da barra de saída de 12 mm, o que dá uma razão de extrusão da ordem de 5:1. As peças que compõem o equipamento (resistência elétrica, matriz, recipiente de extrusão e pistão) foram confeccionadas em aço H13. Parte do conjunto de peças que foram utilizadas para realizar o processo de extrusão pode ser visualizado na Figura 5.



(a)



(b)

Figura 4. (a) Prensa manual, (b) matriz e acessórios de extrusão.

A extrusão foi realizada diretamente dos pós obtidos da moagem, sem necessidade de compactação. O recipiente de extrusão e a matriz foram lubrificados com nitreto de boro. O pó das latas de alumínio foi colocado dentro do recipiente de extrusão, e após o aquecimento na temperatura 450°C foi extrudado em forma de barra. A configuração do processo está representada conforme o croqui visto na Figura 5. Desse processo, obteve-se barras com o comprimento de aproximadamente 190 mm, suficientes para amostras com ensaios e caracterização microestrutural.

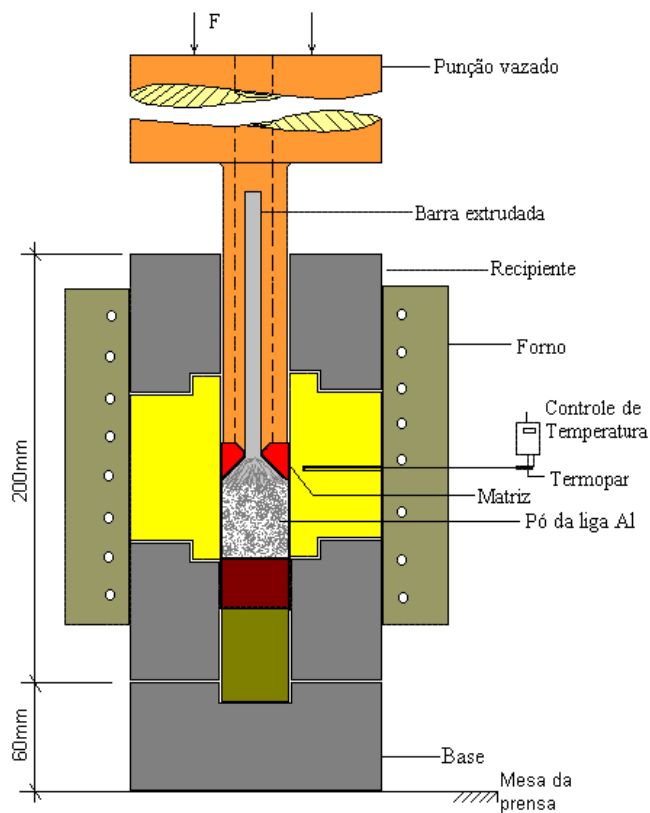


Figura 5. Representação esquemática do recipiente cilíndrico, matriz e acessórios do processo de extrusão.

2.3. Microscopia Óptica

Para efeito de observar a distribuição da microestrutura obtida, as amostras foram preparadas utilizando os materiais da barra extrudada dos pós de 1 e 2h de moagem. As amostras foram embutidas em resina e após a secagem, as peças foram lixadas com lixas de granulometria de 80, 220, 320, 400, 600, 800 e 1200. Depois de lixadas, as amostras foram inseridas no equipamento de lavagem ultra-sônica durante 60 segundos. Foi realizado o polimento mecânico, com pasta de diamante em uma politriz motorizada. A pasta de diamante utilizada apresentava granulometria de $3\mu\text{m}$ e $1\mu\text{m}$. As microestruturas das amostras foram fotografadas com uma máquina digital em um microscópio ótico em diversas ampliações, sem ataque químico.

2.4. Ensaios Mecânicos

Realizou-se um ensaio de dureza e tração das barras extrudadas partindo dos pós com tempos de moagem de 1h, 2h e do alumínio AA1100 para comparações de resultados. Os ensaios foram realizados à temperatura ambiente. A dureza das amostras foi determinada pelo método Brinell, utilizando-se uma esfera de 2,5mm de diâmetro e uma carga de 187,5 kgf. No ensaio de tração foi feito com base na norma ASTM-E8, utilizado uma máquina Instron, com uma carga de 5kN e com uma velocidade de 0,1mm/min.

Os valores da resistência mecânica e seus respectivos desvios padrão foram calculados utilizando-se 3 determinações obtidas em amostras de 3 diferentes extrusões.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No corte das latas não houve a preocupação de manter as dimensões uniformes, entre 5 a 10 mm, visto que durante a moagem as condições de energia mecânica impostas ao processo, resultaram em partículas de pós bastante finas.

Na Figura 6 são apresentados os materiais após o corte e após moagem em diferentes tempos de processos, de 0,5h, 1h e 2h. Como pode ser observado, as partículas de pós obtidas com meia hora de moagem, tem uma granulação de aspecto grosseiro, sendo assim, descartou-se fazer uma barra provinda deste material. Diferentemente do exemplo anterior, as partículas com 1h e 2h de moagem são de uma granulação mais refinada, por isso foram utilizadas para obtenção das barras. Na amostra do pó com uma hora de moagem, notam-se partículas bem finas, entretanto, algumas partículas ainda são grosseiras, quando comparadas com a amostra de 2 horas de moagem. Nesta última, observa-se que o tamanho da partícula de pó, apresenta uma espessura bastante refinada como pode ser visto na Figura 6.

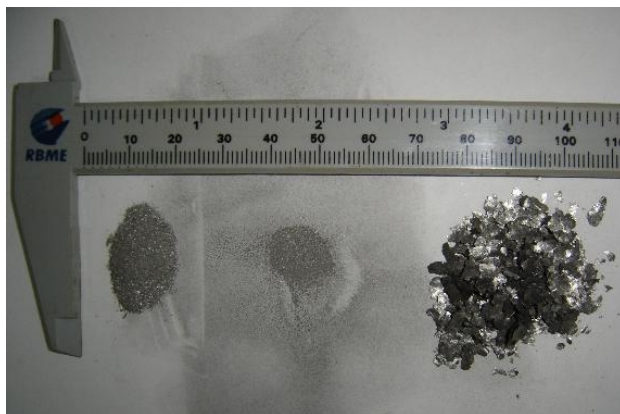


Figura 6. Características dos pós obtidos – Da esquerda para direita: tempo de moagem de 1h, tempo de moagem de 2h e tempo de moagem 0,5h.

Apesar de não ter sido feito nenhuma medição por peneiramento ou qualquer outro método, observa-se visualmente que ambas as amostras (1 e 2 horas de moagem) as partículas ficaram muito finas. No entanto, as partículas de 2 horas de moagem visualmente são mais finas que as partículas de 1 hora de moagem.

Visualmente observa-se também que as características das partículas de pó obtidas apresentam forma irregular.

Após o processo de moagem, foi realizada a extrusão indireta para obtenção das barras. Na Figura 7 apresenta-se a fotografia de uma das barras obtida do processo de extrusão.



Figura 7. Fotografia de uma das barras extrudadas.

A barra em forma cilíndrica foi uma opção para facilitar a operação de conformação mecânica. Além disso, facilitar a confecção do recipiente e da matriz. A usinagem de torneamento da barras apresentou um cavaco de certa forma intermitente ou contínuo a depender da ferramenta de corte utilizada. O cavaco da usinagem apresentou aspecto dúctil, sendo que a ductilidade da amostra obtida do pó de 1h maior que o da amostra do pó de 2h. O corte com a serra manual, com relação à ductilidade apresentou aspecto semelhante ao da usinagem entre uma amostra e outra. Na amostra de 1h percebeu-se uma maior facilidade em executar o corte. A barra obtida do pó de 2h de moagem, na serra manual, por ter uma dureza maior demorou mais para finalização da tarefa.

Para comprovação de que a dureza da amostra de duas horas de moagem foi maior que da amostra de uma hora, foi realizado um ensaio de dureza Brinell. Para comparação dos testes de dureza das amostras das barras obtidas das moagens das latas, foi elaborada, também por extrusão, uma barra utilizando-se os pós de alumínio AA1100. Na Figura 8 estão apresentadas amostras utilizadas no ensaio de dureza e na Figura 9 estão apresentados corpos de prova utilizados no ensaio de tração.

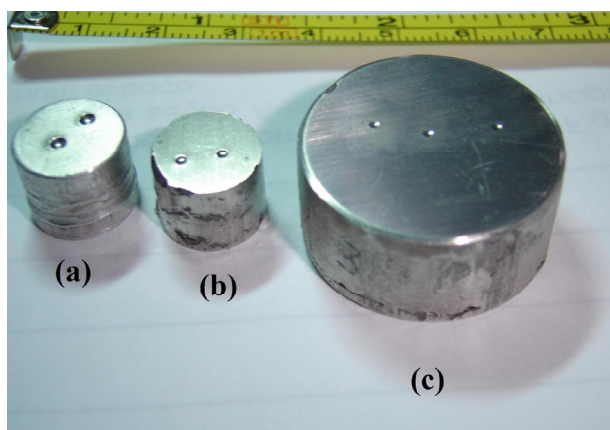


Figura 8. Amostras utilizadas no ensaio de dureza: (a) amostra AA1100, (b) amostra MA 1 hora e (c) amostra MA 2 horas.



Figure 9. Corpos de provas submetidos a ensaios de tração.

Os resultados médios dos ensaios de dureza e tração estão apresentados, na Tabela II. Esses resultados confirmam que a ductilidade do material analisada pelas operações de usinagem por torneamento e corte manual estão corretos.

Tabela 2. Propriedades das amostras extrudadas.

Propriedades	Amostras		
	AA1100	MA - 1 hora	MA- 2 horas
Limite de resistência máxima (MPa)	195	252	318
Limite de escoamento (MPa)	143	202	273
Alongamento (%)	4,0	3,1	2,3
Dureza (HB)	55 ± 2	148 ± 2	187± 2

Deve-se ressaltar que a tinta e o verniz de revestimento para proteção da lata foram mantidos no processo de moagem e na extrusão, isso também contribuiu para a elevada dureza e a resistência do produto obtido.

Na Figura 10 observa-se a microestrutura das amostras extrudadas, partindo-se dos pós de 1 e 2 horas de moagem. Ambas as micrografias apresentam uma estrutura dispersa em fases finas e com ausência de porosidade. As fases mais afinadas são observadas na amostra extrudada, partindo do pó de 2 horas de moagem.

Essas fases apresentadas na amostra da barra obtida a partir do pó de uma hora de moagem, provavelmente, são as fases contendo Al-Mn ou Al-Mn-Mg. Estas fases permaneceram após a extrusão, mesmo à temperatura de 450° C, a qual não foi suficiente para transformá-las. Pelos resultados apresentados, pode-se afirmar que as partículas dos pós mais finos, são melhores para consolidação que as partículas de pós mais grosseiras e de faixa de variação dimensional maior. O tempo de moagem, não só influenciou nas propriedades mecânicas, como também influenciou nesse afinamento e distribuição das fases.

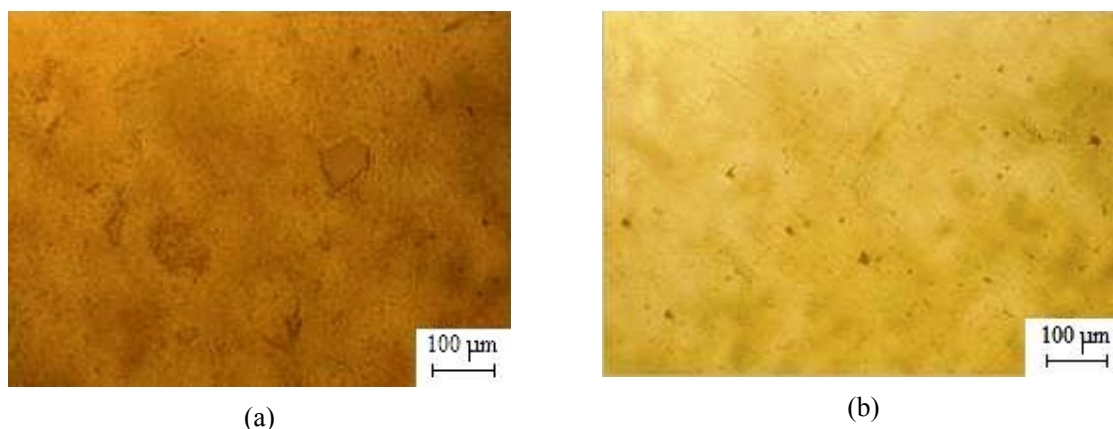


Figura 10. Fotografias das amostras extrudadas observadas no microscópio óptico, (a) amostra de 1 hora (b) amostra de 2 horas.

4. CONCLUSÃO

Por meio desse estudo, utilizando-se sucata de latas de alumínio, foi possível elaborar uma nova liga. As latas recicladas podem ser cortadas em pequenos pedaços, submetidas a processos de moagem de alta energia e em seguida, conformadas por extrusão a quente em forma de barras. A moagem de alta energia produziu finas partículas de pós das sucatas e influenciou diretamente tanto nas propriedades mecânicas, como na microestrutura do material obtido. O limite de resistência e a dureza da barra extrudada usando o pó de 2 horas de moagem, foi maior que no caso da barra obtida do pó de 1 hora de moagem. Para concluir, pode-se dizer que a moagem de alta energia, seguida de extrusão a quente é uma excelente alternativa para reciclagem de produtos de alumínio, bastando desenvolver projetos pilotos e que apresentem viabilidade técnica e econômica.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMINIO, ABAL. Disponível em: <<http://www.abal.org.br>> Acesso em: 25 abr 2007.

ALUMINUM NOW. **Aluminum Recycled Product**. Disponível em: <<http://www.aluminum.org/ANTemplate.cfm>> Acesso em: 01 ago 2007.

BENJAMIN, J. S. Mechanical Alloying - A perspective. In: ARZT, E., SCHULTZ, L. (Eds.). **New materials by mechanical alloying techniques**. Calw- Hirsan (FRG). p.3-18, 1988.

COELHO, R. E.; AMBROZIO FILHO, F. **Production of AlFeNbSi alloys by mechanical alloying and hot extrusion**. Key Engineering Materials. , v.189-91, p.555-560, 2001.

COELHO, R. E.; LEAL NETO, R. M.; CAMARGO, P. A.; AMBROZIO FILHO, F. **Al-Fe-X-Si (X=V or Nb) alloys powders prepared by high energy milling in an attritor mill**. Journal of Metastable and Nanocrystalline Materials. , v.20-21, 207-212, 2004.

DIETER, G. E. Extrusão. **Metalurgia Mecânica** 2.ed. RJ. Guanabara Dois, 1976. Cap.18, p.544-60.

HOME OF THE INTERNATIONAL ALUMINIUM INSTITUTE. **World-Aluminium**. Disponível em: <<http://www.world-aluminium.org/environment/recycling/index.html>> Acesso em: 30 jul 2007.

MATTEAZZI, P.; LE CAËR, G.; MOCELIN, A. Synthesis of nanostructured materials by mechanical alloying. **Ceram. Int.** v.23, p. 39-44, 1997.

MURTY, B. S., RANGANATHAN, S. **Novel materials synthesis by mechanical alloying/milling.** Int. Mater. Rev. v.43, n.3, p.101-41, 1998.

NACHTRAB, William T. & ROBERTS, Peter. R. **A Review of Powder Metal Extrusion Technology.** Advanced Powder Metallurgy Particulate Materials. v.4. p.321-35, 1992.

NOVELIS. **Aluminum Sheet.** Disponível em: <<http://www.novelis.com.br>> Acesso em: 12 ago 2007.

PORTNOV, V. K.; LENOV, A. V.; FADEEVA, V. I.; MATYJA, H. The Formation of B2 Structure by Mechanical Alloying of $Al_{50}Fe_{50-x}Ni_x$ Powder Mixtures. **Mater. Sci. Forum.** v. 269-72, p.69-74, 1998.

PORTAL AMBIENTAL. Disponível em: <<http://www.ambientebrasil.com.br>> Acesso em: 3 maio. 2007.

SHEPPARD, T. Extrusion Processing of Aluminum Alloy. **Imperial College of Science and Technology,** London, p. 301-11, 1987.

THE ALUMINUM ASSOCIATION. **Aluminum Can Recycling.** Disponível em: <<http://earth911.org/recycling/aluminum-can-recycling/>> Acesso em: 31 jul 2007a.

THE ALUMINUM ASSOCIATION. Inc. **U.S. Aluminum Can Recycling Steady in 2006.** Disponível em: <<http://www.aluminum.org/>> Acesso em: 01 ago 2007b.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e a FAPESB pelo apoio financeiro e ao CEPED-BA pelos testes realizados nas amostras.