

Remoção de ferro do banho de alumínio de sucata por filtragem

Humberto Lopes de Moraes

Eng. Metalurgista, M.Sc. Chefe de Divisão de Produção da Ferro Ligas MARINGÁ

Jorge Alberto Soares Tenório

Prof. Dr. do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da EPUSP

Resumo

O alumínio é um dos metais mais versáteis dos comumente usados na indústria de fundição. Uma das mais prejudiciais impurezas das ligas de alumínio é o ferro, o qual junto com o alumínio e outros elementos de liga comuns formam fases intermediárias que podem ser prejudiciais ao processo e às propriedades do produto final. Nas indústrias secundárias de alumínio, é grande a possibilidade de contaminação do banho por ferro devido a uma volumosa sucata de aço existente no mercado, que, na coleta, vem junto com a sucata de alumínio, além da já existente sucata de alumínio com altos teores de ferro. O objetivo desse trabalho foi o de estudar a remoção de ferro de alumínio líquido através da técnica de filtragem das fases intermediárias ricas em ferro.

Foram estudadas composições com base nas ligas 308 e 356. As variáveis desse estudo foram: composição química, temperatura de filtragem e tipo de filtro. Os resultados alcançados, nas condições desse trabalho, permitiram inferir que o processo de filtragem de alumínio para diminuir o teor de ferro só é possível desde que se façam adições de Mn e o abaixamento de temperatura até o campo de cristalização de fases primárias contendo ferro.

Palavras-chave: remoção, ligas de alumínio, ferro.

Abstract

Aluminum is one of the most versatile material among the ones used in foundry practice. However, iron is one of the most important impurities in aluminum cast materials. During the solidification of aluminum alloys, iron promotes the formation of intermediate phases, which may damage the properties of the final product. In the secondary aluminum industries there always happens the possibility of iron contamination because of the high amount of iron scrap.

The aim of this work was to study the iron removal from molten aluminum through ceramic filters. The materials studied were based on the 308 and 356 aluminum alloys with iron additions. The variables of this work were chemical composition, temperature and kind of filter. The results obtained showed that the removal of iron is possible through the use of manganese and silicon followed by the decreasing of the temperature in the field of the intermediate phase crystallization.

Keywords: removal, aluminum alloys, iron.

1. Introdução

Na produção de fundidos com boas propriedades mecânicas pelos processos de gravidade em molde permanente e de areia, uma das impurezas mais prejudiciais é o ferro que junto com o alumínio e outros elementos de liga comuns ou impurezas, tais como Mn, Cu, Mg e Si, formam fases intermediárias que são prejudiciais às propriedades do produto final.

Durante a solidificação de ligas de alumínio, usadas em fundição por gravidade, normalmente a fase primária formada é o alumínio, ficando os demais constituintes da liga dispersos na região remanescente entre os grãos da fase primária. A contaminação com ferro pode provocar a mudança na sequência de solidificação, surgindo fases primárias contendo ferro antes da cristalização dos grãos de alumínio. Essas fases contendo ferro, por se formarem antes do alumínio, têm possibilidade de crescer livremente gerando cristais grosseiros na fase líquida.

A técnica de remoção de ferro, através da precipitação de fases intermediárias seguida de filtragem, possibilitaria a utilização de sucata de alumínio de qualquer origem, qualquer que seja seu teor de ferro inicial, nas aplicações que exigem baixos teores de ferro, como os fundidos em moldes permanentes ou moldes em areia.

As ligas fundidas, normalmente, baseiam-se no fato de o silício diminuir a viscosidade do líquido (ou, em outras palavras, aumentar a fluidez), portanto, de uma forma geral, pertencem ao sistema Al-Si. No caso da contaminação com o Fe, o sistema que serviria como base de estudo seria o Al-Fe-Si.

Entretanto, para as ligas do sistema Al-Fe-Si, a solubilidade do ferro no líquido ainda seria relativamente alta, mesmo após a remoção dos cristais primários contendo ferro. Assim, é necessário diminuir-se ainda mais o campo de cristalização primária do alumínio e também a solubilidade do ferro no líquido. Esse efeito pode ser conseguido com a adição de Mn, passando-se o sistema

do ternário Al-Fe-Si para o quaternário Al-Fe-Mn-Si.

Portanto o refino do ferro seria feito essencialmente através da adição de um elemento de liga, no caso Mn, que altera o processo de solidificação das ligas, favorecendo a precipitação de fases intermediárias contendo Fe e também atuando na diminuição da concentração residual de ferro no líquido para os níveis aceitáveis em fundição por gravidade. O banho é, então, colocado em uma temperatura intermediária entre a da formação da fase intermediária e a do aparecimento do alumínio. Nessa condição é feita a separação da fase sólida da fase líquida por filtração. Dentro desse contexto, o objetivo desse trabalho foi o de estudar a remoção de ferro de alumínio líquido através da técnica de filtragem das fases intermediárias ricas em ferro. Foram estudadas composições semelhantes às ligas da série 308 e 356. As variáveis desse estudo foram: composição química, temperatura de filtragem e tipo de filtro.

2. Materiais e métodos

Foram realizadas 2 séries de ensaios, a primeira série corresponde a uma liga de base comercial 356 e a segunda série, de liga base comercial 308, respectivamente do sistema Al-Si e Al-Cu-Si.

Os métodos usados para esse estudo foram os seguintes:

- Ensaios de fusão e filtragem.
- Preparação de amostras para análises químicas.
- Metalografia.
- Ensaio de EDS.

2.1 Fusão e filtragem

Para o estudo da remoção de ferro, o aparato experimental usado foi um forno tipo Mufla, onde o alumínio e os elementos de liga adicionados foram fundidos à temperatura de 850°C mantendo-se um intervalo de duas horas após a estabilização da temperatura. Foram usados para a fusão cadinhos de grafite

de dimensões de 150 mm de diâmetro e 200 mm de altura e capacidade de 3,0 kg.

Paralelamente, em outro forno, foi aquecida a caixa de filtro à temperatura de 750 °C. Essa caixa de filtro foi montada em um cadinho de grafite como as mesmas dimensões do anterior, no qual adaptou-se o filtro em a altura fixa para todos os experimentos.

Os filtros usados foram do tipo espuma cerâmica, fornecidos pela CESBRA (Companhia Estanífera do Brasil) denominados FILCAST AL. Esse filtro é composto de alumina e comercializado pelos números de poros por polegada (*pores per square inch - ppi*), ou seja, números de poros por polegada quadrada. Foram utilizados os filtros de 20 e 30 ppi.

O banho foi, então, resfriado para a temperatura de filtragem a uma velocidade de resfriamento médio de 4,4 °C/min. Na temperatura de filtragem, o banho foi mantido por um período, chamado tempo de espera, de 30 minutos. Subseqüentemente o banho foi vazado na caixa de filtro pré-aquecida com filtro cerâmico de alumina pura.

As temperaturas do banho e do ato de filtragem foram acompanhadas, para todos os experimentos, através de pirômetro de imersão com termopar tipo K protegido com um tubo de aço inoxidável.

As condições de realizações desses experimentos são mostradas na Tabela 1 e para cada liga variou-se a temperatura de filtragem.

2.2 Preparação de amostra para análise química

Para todos os experimentos de filtragem, foram analisados os teores de Fe, Mn e Cu antes e depois da filtragem, usando a técnica de Absorção Atômica.

O procedimento de amostragem para análise dos teores, antes da filtragem, consistiu na retirada do metal líquido com uma colher de aço inoxidável. O metal foi vertido em uma coquilha e cada amostra pesava de 20 a 25 g. Após a

solidificação do metal na coquilha, cada amostra era retirada e usinada, sendo que os cavacos foram recolhidos para análise química.

O procedimento de amostragem, para análise dos teores do material filtrado e sedimentado no fundo do cadinho, consistiu na retirada dos cavacos diretamente do material solidificado que foi recolhido para se fazerem as análises químicas.

2.3 Análise metalográfica

Após a fundição e filtragem foram tiradas amostras dos seguintes materiais para análise metalográfica em microscópio óptico.

- Material filtrado.
- Filtro com material retido.
- Material sedimentado no fundo do cadinho.

2.4 Microscopia eletrônica de varredura

Foram retiradas amostras do material sedimentado no fundo do cadinho e do material filtrado para uma análise de microrregiões por EDS (*energy dispersive spectroscopy*). Para esses ensaios, os materiais foram cortados e polidos segundo a técnica metalográfica descrita.

O objetivo dessa etapa foi identificar as fases intermediárias que ficaram sedimentadas no fundo do cadinho, bem como as fases existentes no metal filtrado.

3. Resultados e discussão

Nesses capítulos serão mostrados e discutidos os resultados decorrentes do processo de filtragem de ligas de alumínio. A determinação do efeito dos parâmetros estudados foi feita por análises químicas e microscopia óptica e eletrônica.

3.2 Ensaios com a Série 308 e 356

A Tabela 2 mostra os resultados das análises químicas dos materiais obtidos por filtração nos experimentos com as ligas baseadas nas composições comerciais 308 e 356.

3.2.1 Ligas 356

Os resultados dos experimentos com base na liga 356 (Al-7%Si) mostram a eficiência do Mn na remoção do ferro por filtração. A adição de 0,6%Mn, man-

tendo-se a temperatura de filtragem praticamente constante, causou uma redução do teor de ferro de 1,12% para 0,37%.

No caso da liga 3561F6M, a fase primária deixa de ser o alumínio e passa a ser o $Al_{15}(Fe,Mn)_3Si_2$, portanto, nessas condições, existe a possibilidade de remoção do Fe, desde que haja a redução da temperatura até o ponto mais próximo possível da calha eutética. Nessas condições, ocorre a precipitação de uma fase contendo Mn e Fe na mesma proporção estequiométrica e, portanto, espera-se que a redução do Fe seja acompanhada por uma igual redução do Mn. E, conforme será visto posteriormente, ocorre efetivamente uma redução dos teores de Mn dentro da mesma estequiometria da redução dos teores do Fe.

Foram feitas análises de manganês, conforme mostra a Tabela 3, antes e após a filtragem. Foi constatada uma efetiva redução do teor de Mn. Essa redução deveu-se ao fato de que a fase $Al_{15}(FeMn)_3Si_2$ contém manganês na mesma proporção de ferro.

Tabela 1 - Condições experimentais de filtragem das ligas 308 e 356.

Ensaio	Liga	Filtro	Temperatura (°C)
1	3561F	20	645
2	3561F6M	20	640
3	3082F	20	635
4	3081F	20	625
5	3081F7M	20	618

Tabela 2 - Resultados dos experimentos com as ligas bases 308 e 356.

Liga	Filtro (ppi)	Temp. (°C)	Fe inicial (%)	Fe final (%)	Eficiência (%)
3561F	20	645	1,00	0,91	9
3561F6M	20	640	1,12	0,37	67
3082F	20	635	2,18	1,09	50
3081F	20	625	0,83	0,45	46
3081F7M	20	618	1,00	0,21	79

3.2.2 Liga 308

Os resultados dos experimentos com as ligas 3081F, 3082F e 3081F7M deixam claro os efeitos da temperatura e da adição de Mn na remoção do ferro por filtragem.

Como os experimentos foram realizados a temperaturas de 635 a 618°C, espera-se a precipitação de fases primárias contendo Fe e Mn de maneira análoga ao que ocorreu com a liga 3561F6M e supõe-se que a precipitação de fases intermediárias contendo ferro e manganês seja favorecida pela presença do cobre.

Foram feitas análises químicas para verificar o efeito da participação do Cu nas fases filtradas. Esses resultados, indicados na Tabela 4, confirmam que não existe partição considerável entre o cobre na fase líquida e nas fases intermediárias precipitadas na temperatura de tratamento.

Analogamente às ligas com base na liga 356, o teor de Mn residual diminuiu com relação ao teor inicial, como mostra a Tabela 5, o que indica que o Mn está presente nas fases intermediárias filtradas.

3.3 Análise microestrutural

Com o objetivo de identificar as fases intermediárias responsáveis pela redução na concentração de ferro, foram preparadas amostras para observação metalográfica.

Em todos os ensaios em que houve a redução da concentração do Fe, pelo processo de filtragem, houve também a formação de uma drosse (lodo ou lama) no fundo do cadinho. A quantidade dessa drosse formada é diretamente proporcional ao rendimento do processo de filtração. Assim, parte do material precipitado a partir do líquido, na temperatura de filtragem, segrega-se para as regiões inferiores do cadinho. Portanto o processo de filtragem gerou três amostras: a primeira do metal filtrado, a segunda do material retido no filtro e, por fim, o material sedimentado no fundo do cadinho.

3.3.1 Material sedimentado no fundo do cadinho

A Figura 1 mostra o aspecto da microestrutura do material sedimentado e retido no fundo do cadinho. Observa-se a presença de fases hexagonais, facetadas de dimensões relativamente grandes.

O tamanho das fases intermediárias sedimentadas ricas em ferro está na ordem de 0,5 mm, ou seja, é da ordem de grandeza dos poros dos filtros usados.

Esse tipo de microestrutura foi observado em todas amostras. Portanto, após a adição do manganês à liga, ocor-

Tabela 3 - Teores de Mn inicial e final no ensaio com a liga 3561F6M.

Ensaio	Temp. (°C)	Mn inic. (%)	Mn fin. (%)	Eficiência (%)
3561F6M	640	0,61	0,16	73

Tabela 4 - Análise química do teor de Cu no banho antes e depois da filtragem.

Liga	Temperatura (°C)	Cu Inicial (%)	Cu Final (%)
3082F	635	3,70	3,90
3081F	625	3,35	3,78
3081F7	618	3,10	3,82

Tabela 5 - Teores de Mn inicial e final no ensaio com a liga série 308.

Liga	Temperatura (°C)	Mn inicial (%)	Mn Final (%)
3082F	635	0,30	0,10
3081F	625	0,14	0,08
3081F7M	618	0,70	0,20

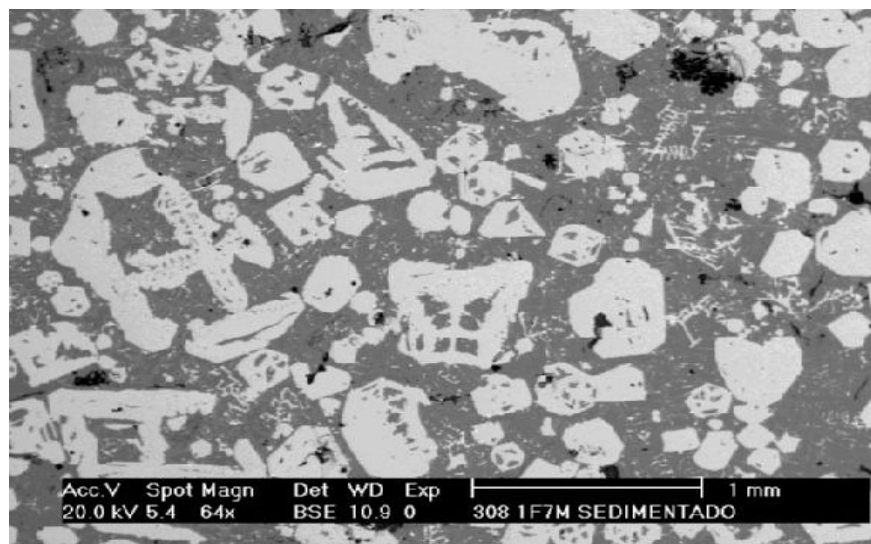


Figura 1 - Microestrutura da amostra do material sedimentado no processo de filtragem da liga 3081F7M. Presença de cristais grosseiros facetados. MEV.

re a cristalização de uma fase intermediária facetada primária no líquido durante o resfriamento. Essa fase primária apresenta-se na forma de partículas hexagonais de cerca de 0,5 mm ou, ainda, de dendritas mantendo o forte caráter facetado.

A Figura 2 mostra o espectro de EDS qualitativo da fase sedimentada. Nota-se a presença dos picos característicos do Al, Si, Fe, Mn e Cu, o que sugere que a fase sedimentada é a fase $Al_{15}(Fe,Mn)_3Si_2$, contendo, ainda, uma pequena quantidade de cobre em solução.

Foram realizados ensaios de EDS semiquantitativo nessas fases intermediárias sedimentadas, sendo que a média dos resultados é mostrada na Tabela 6.

Os resultados de EDS semiquantitativo se aproximam da estequiometria da fase $Al_{15}(Fe,Mn)_3Si_2$ o que indica fortemente a precipitação dessa fase.

O mesmo aspecto de precipitado foi observado para o material sedimentado no ensaio da liga 3561F6M. Da mesma forma, o espectro de análise micro-regiões por EDS mostrou a presença da fase $Al_{15}(Fe,Mn)_3Si_2$.

3.3.2 Material filtrado

Na Figura 3, observa-se a microestrutura da liga 3081F7M do material filtrado. Notam-se a presença de dendritas de alumínio primário e o constituinte eutético interdendrítico.

No caso da liga 3081F7M, a região interdendrítica apresenta basicamente 3 constituintes eutéticos, como mostra com maior detalhe a Figura 4.

Destaca-se que não são observadas lamelas da fase intermediária contendo Fe, β (Al_5FeSi) de tamanhos grosseiros típicas de ligas fundidas contaminadas com Fe.

A Figura 5 mostra o detalhe da microestrutura de espinha de peixe do eutético $Al + Al_{15}(Fe,Mn)_3Si_2$.

O espectro de EDS de uma das partículas do eutético mostrado na Figura 5 é mostrado na Figura 6. Observa-se a

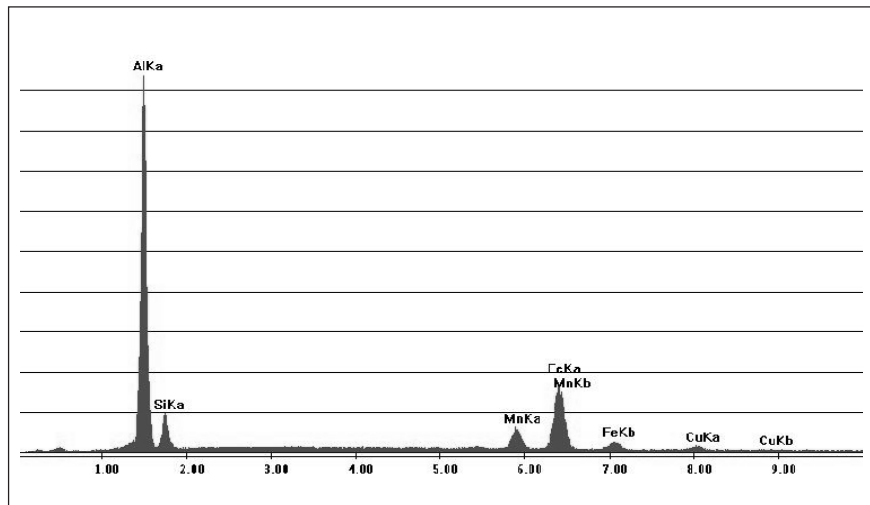


Figura 2 - Espectro de EDS típico da fase sedimentada.

Tabela 6 - Resultado do EDS semiquantitativo da fase sedimentada.

Elemento	% atômica	% em peso
Al	70,35	57,77
Si	9,34	7,98
Mn	11,95	19,98
Fe	7,64	12,99
Cu	0,41	0,79
Total	100	100

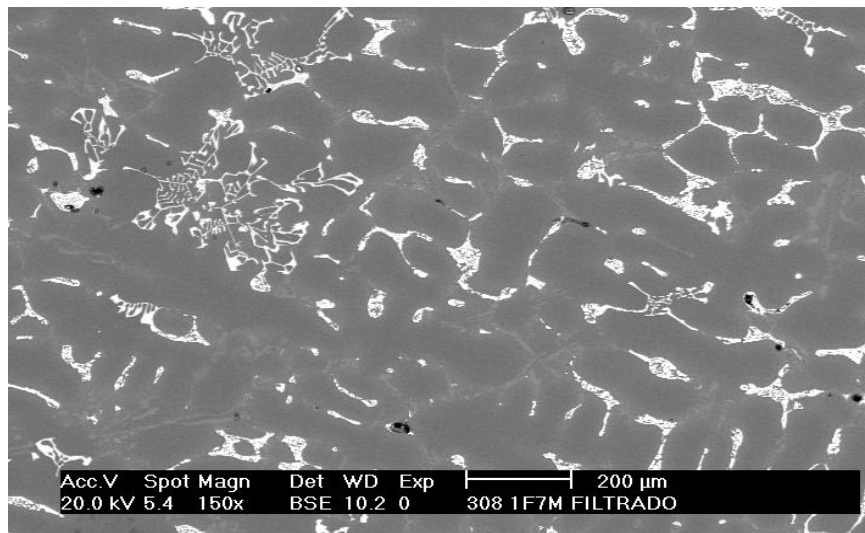


Figura 3 - Microestrutura da amostra do material filtrado do ensaio 3081F7M. Dendritas de alumínio primário e eutético interdendrítico.

presença de picos característicos de Al, Si, Fe, Mn e Cu, os quais indicam que a fase formada é a $\text{Al}_{15}(\text{Fe,Mn})_3\text{Si}_2$.

Ainda com referência ao campo mostrado na Figura 4, pode-se notar a presença de uma região eutética com 3 fases como mostra a Figura 7. O espectro de EDS apresentado na Figura 8 mostra que a fase mais clara formada apresenta os picos de Al e Cu e indicando que a fase é Al_2Cu .

Entretanto, através de uma observação mais crítica da Figura 7, nota-se uma fase cinza-clara junto às partículas da fase clara. Isso indica a presença de um eutético ternário. O espectro de EDS dessa fase está apresentado na Figura 9 e evidencia os picos de Mg e Si. Portanto tal fato sugere que o eutético observado é $\text{Al} + \text{Cu}_2\text{Al} + \text{Mg}_2\text{Si}$. Os picos de Al e Cu identificados são devido ao pequeno tamanho das partículas analisadas.

3.3.3 Material retido dentro do filtro

A Figura 10 mostra o aspecto geral do filtro com uma calota de alumínio solidificado na parte superior do filtro. O que efetivamente ocorre é que as partículas de fase intermediária fecham os poros do filtro e o alumínio fica impedido de passar. Nas regiões onde não houve a obstrução pelas partículas de fase intermediária, o filtro mostra-se bastante limpo, o que indica que praticamente não houve filtragem por profundidade.

O aspecto da obstrução dos poros fica mais evidente na Figura 11, onde se observa o mesmo filtro, porém cortado na sua seção transversal. Assim o alumínio contendo as partículas sólidas penetra no filtro até uma determinada profundidade e, na parte inferior do filtro, praticamente não existem poros tampados.

No material que fica retido no filtro, pode-se distinguir duas regiões delimitadas por uma região-limite. Esse contorno é visível a olho nu, após o polimento metalográfico. Acima dessa linha,

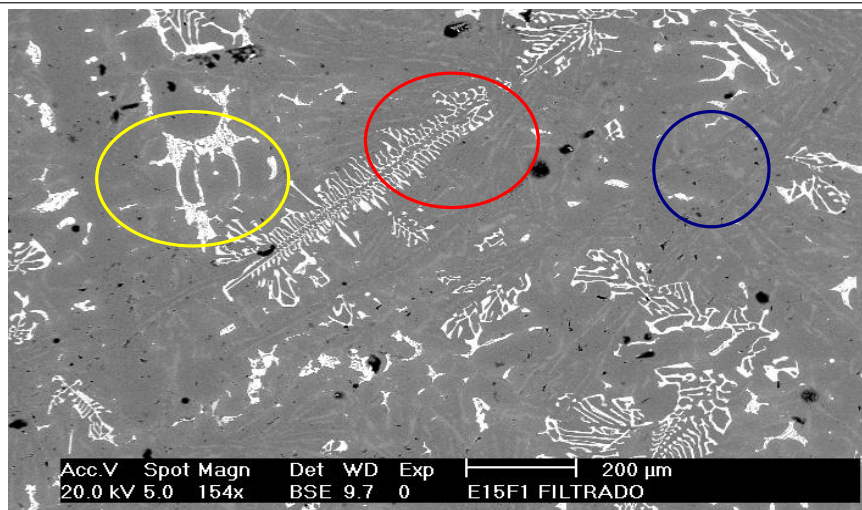


Figura 4 - Aspecto da região interdendrítica mostrando 3 eutéticos.

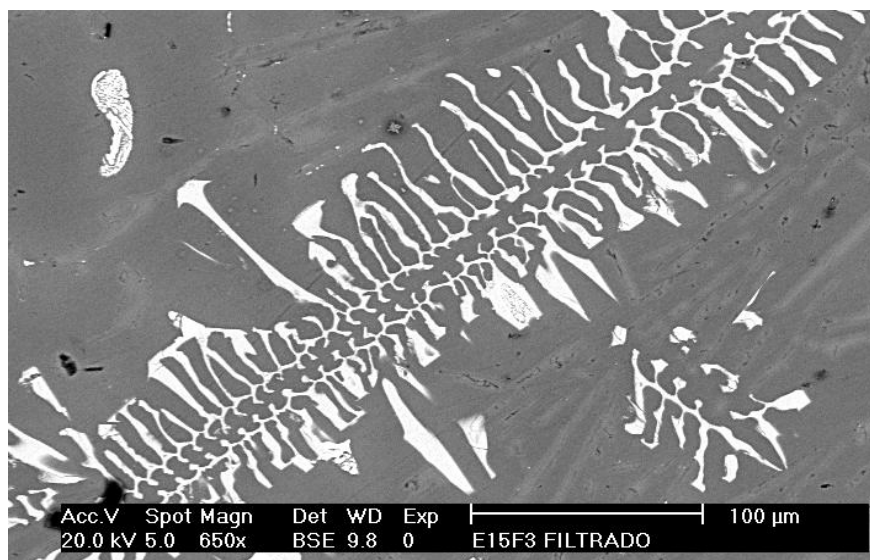


Figura 5 - Detalhe do aspecto de espinha de peixe do eutético $\text{Al} + \text{Al}_{15}(\text{Fe,Mn})_3\text{Si}_2$.

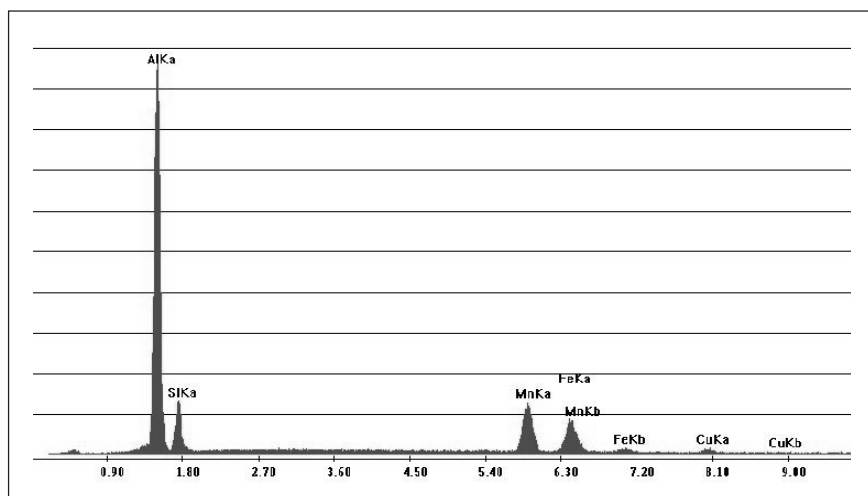


Figura 6 - Espectro de EDS da fase mais clara do eutético com aspecto de espinha de peixe no plano de corte.

o material tem microestrutura híbrida entre o material sedimentado e o material filtrado, enquanto que abaixo dessa linha o material tem estrutura idêntica ao material filtrado.

Assim o que efetivamente ocorre é o aprisionamento de fases intermediárias de dimensões semelhantes aos tamanhos dos poros do filtro. Esse material vai se acumulando e bloqueia a passagem do alumínio nos poros. Abaixo desta linha, onde as partículas grosseiras se concentram, fica uma camada de alumínio filtrado e solidificado.

A Figura 12 mostra a microestrutura típica do material retido no filtro acima da região-limite descrita.

Efetua-se a análise por EDS quantitativo em uma das fases intermediárias com dimensões semelhantes às observadas no material sedimentado. O resultado, apresentado na Tabela 7, mostra uma composição bastante semelhante ao resultado observado no material sedimentado. Portanto a fase identificada é a $Al_{15}(Fe,Mn)_3Si_2$.

Abaixo da região onde há a concentração de partículas de $Al_{15}(Fe,Mn)_3Si_2$ com dimensões de cerca de $50\ \mu m$, o material apresenta morfologias idênticas ao material filtrado, ou seja, o material fica basicamente livre das partículas grosseiras de $Al_{15}(Fe,Mn)_3Si_2$, como ilustra a Figura 13.

Assim a morfologia é constituída basicamente de dendritas de alumínio contendo entre as dendritas regiões com presença de eutéticos distintos.

O eutético contendo Si apareceu em todas as ligas, entretanto, devido ao contraste de elétrons retroespalhados usado, essa fase tem pouco destaque com relação ao alumínio, pois ambos têm peso atômico semelhante. Entretanto essa fase apresenta-se em muitas das micrografias anteriores. Na Figura 14 nota-se a presença de uma fase mais escura, que corresponde ao Si, conforme foi confirmado pelo espectro de EDS mostrado na Figura 15. O eutético tem a estrutura divorciada típica de ligas fundidas de alumínio. Destaca-se a presença de lamelas

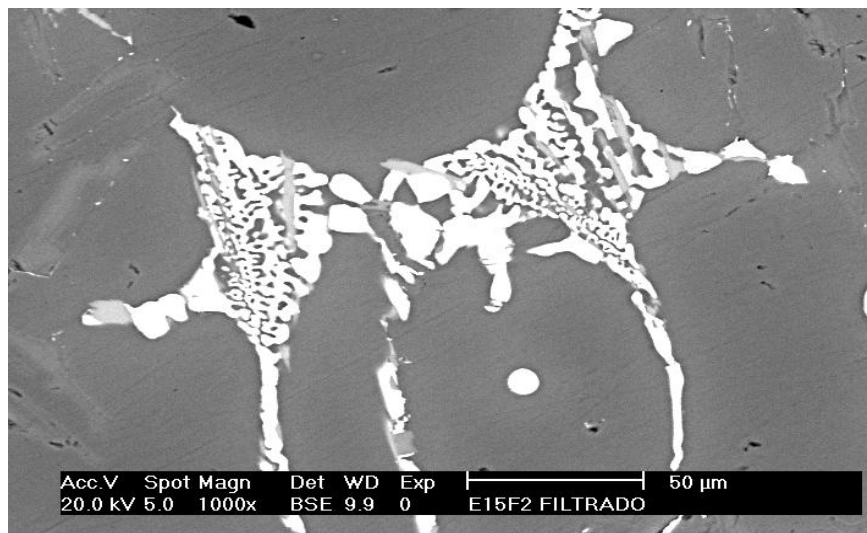


Figura 7 - Detalhe mostrando uma região contendo as fases $Al + Cu_2Al + Mg_2Si$.

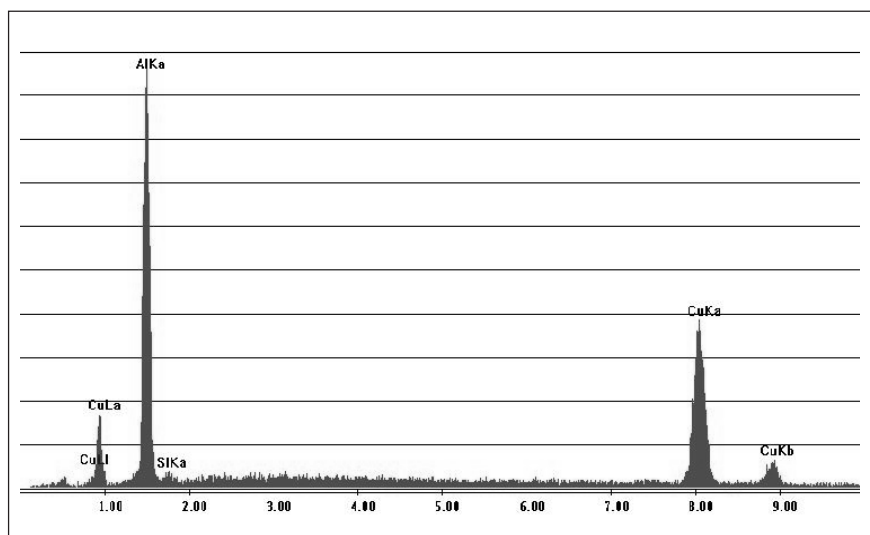


Figura 8 - Espectro de EDS evidenciando picos de Al e Cu.

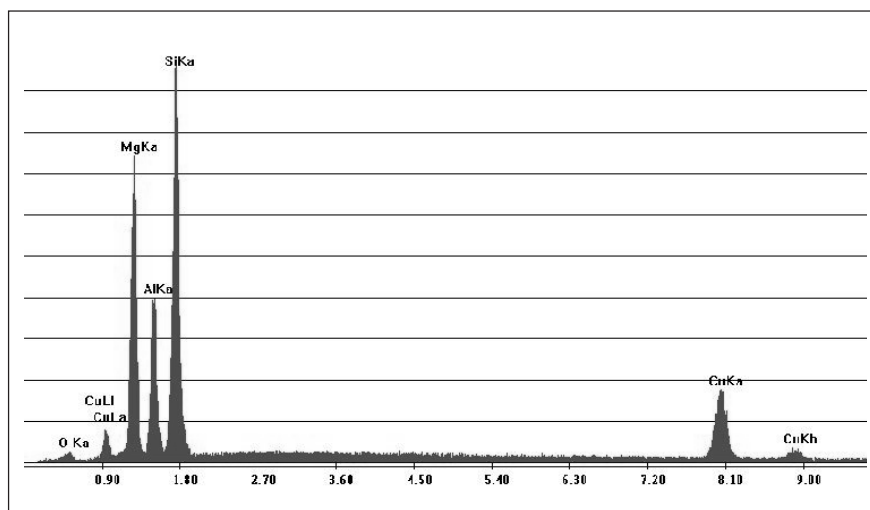


Figura 9 - Espectro de EDS evidenciando os picos de Mg e Si da fase Mg_2Si .

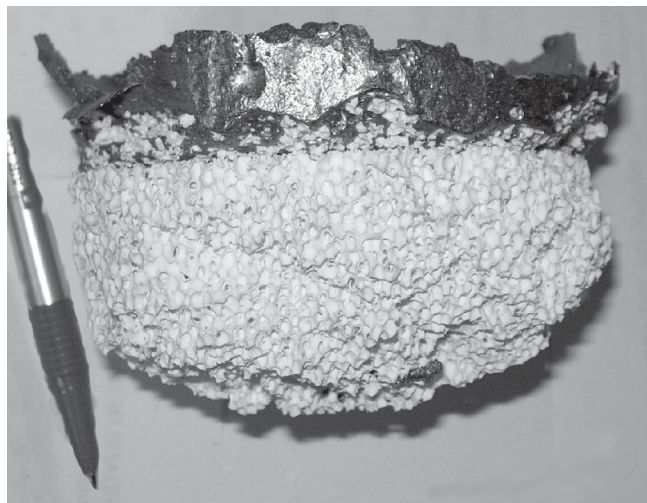


Figura 10 - Aspecto geral do filtro após a fundição do alumínio.

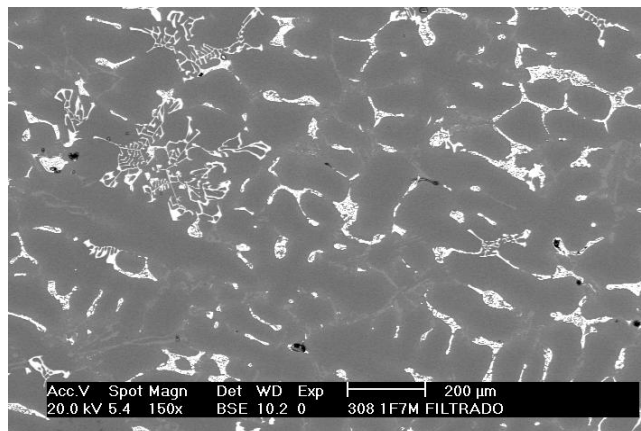


Figura 13 - Microestrutura típica do material filtrado e retido no filtro abaixo da região de concentração de partículas grosseiras de $Al_{15}(Fe,Mn)_3Si_2$. Liga 3081F7M.



Figura 11 - Seção transversal do filtro evidenciando a obstrução de alguns poros pelo material.

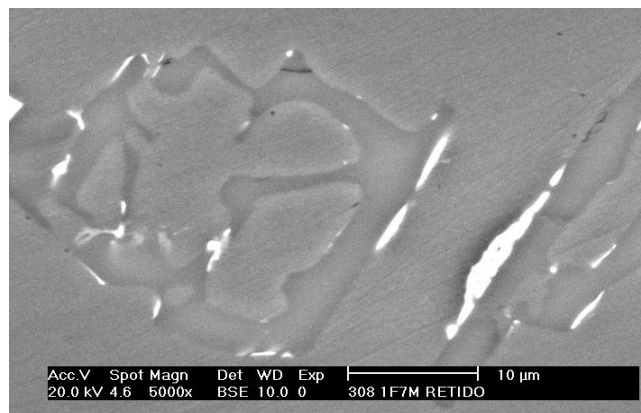


Figura 14 - Aspecto típico da região eutética contendo Al (matriz) Si (fase escura com aspecto de relevo) e agulhas de $Al_{15}(Fe,Mn)_3Si_2$.

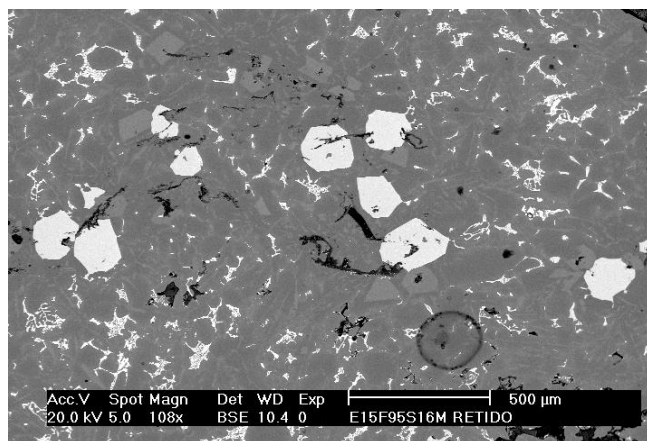


Figura 12 - Microestrutura típica do material retido no filtro na parte superior, onde as partículas de fase intermediárias de grandes dimensões ficam retidas.

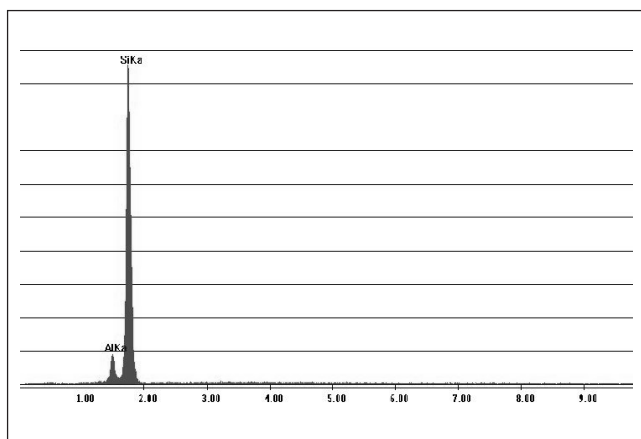


Figura 15 - Espectro de EDS de uma partícula da fase escura apresentada na Figura mostrando que a mesma é composta por Si.

Tabela 7 - Resultado do EDS semiquantitativo da fase branca interdendrítica.

Elemento	% atômica	% em peso
Al	69,24	56,71
Si	10,87	9,26
Mn	5,99	9,99
Fe	11,84	20,07
Cu	2,06	3,97
Total	100	100

de $Al_{15}(Fe,Mn)_3Si_2$ nessa região eutética, o que sugere um eutético ternário $Al + Al_{15}(Fe,Mn)_3Si_2 + Si$.

4. Conclusões

Para as condições experimentais desse estudo, podem-se fazer as seguintes conclusões:

1. O processo de filtragem de alumínio para diminuir o teor de ferro é possível, desde que seja com ligas de Al-Si, com adições de Mn, seguido do abaixamento da temperatura até o campo de cristalização das fases primárias contendo ferro.
2. Quanto maior a concentração de silício inicial maior a eficiência de remoção de ferro.
3. Constatou-se que existe um teor de adição de Mn ideal para uma maior eficiência de remoção de ferro para cada

liga e esse teor está relacionado com o teor de ferro da liga.

4. No caso das ligas 308 e 356, a remoção de ferro se deu por meio da precipitação da fase intermediária $Al_{15}(Fe,Mn)_3Si_2$.
5. A remoção de Fe se dá em duas fases: inicialmente ocorre a de sedimentação e, em seguida, a de filtragem. Na filtragem, o principal mecanismo observado foi o de aglutinação, uma vez que a fase $Al_{15}(Fe,Mn)_3Si_2$ precipitada no líquido apresenta dimensões de cerca de 0,5mm.

5. Referências bibliográficas

- 1- EKLUND J. E., VUORINEN, J. J. *On the effects of impurities on the solidification and mechanical behavior of recycled secondary aluminum and aluminum alloys*. In: WORLD FOUNDRY CONGRESS, 56. São Paulo: ABIFA, 1992.
- 2- LIU P., THORVALDSSON, DUNLOP G. L. Formation of intermetallic compounds of during solidification of dilute Al-Fe-Si alloys. *Materials Science and Technology*, v. 2, p. 1009 - 1018, Oct. 1986.
- 3- MONDOLFO, L. F. *Metallography of aluminium alloys*, London: Casa pub., 1943.
- 4- BACKERUD L., CHAI G., TAMMINEN J. *Solidification Characteristics of Aluminum Alloys*, ASF / SKANALUMINIUM, v. 1 e 2.
- 5- MURALY S., RAMAN K. S., MURTHY K. S. S. Morphological studies on β -Al₁₅FeSi phase in Al-7Si-0.3Mg alloy with trace additions of Be, Mn, Cr and Co, *Materials characterization*, p. 99-112, 1994.
- 6- FLORES A. et al., Kinetic mechanisms of iron segregation from Al-Si-Cu-Fe-Mn melts, *Light Metals*, p. 845-850, 1992.
- 7- VAN DER DONK, H. M., NIJHOF, G. H. and CASTELIJNS, C.A.M. *The removal of iron from molten aluminium*. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM, RECYCLING OF METALS AND ENGINEERED MATERIALS, 3, Pantclear, 1995. Warrendale, minerals, metals e materials society, 1995. p. 651-661.
- 8- GRIGORENKO V. M., POPOV V. A., OFENGENDEN, A. A. Refining of aluminium alloys of the Al-Si-Cu system from iron. *Sovjet Non-Ferrous Metals Research*. p. 281-282, 1977.
- 9- H. K. JEONG, E. P. YOON. Elimination of Fe element in A380 aluminum alloy scrap by electromagnetic force, *Journal of Materials Science Letters*, v.19, p. 253-255, 2000.
- 10- ECKERT C. E., MILLER, R. E. Molten aluminum filtration: fundamentals and models. *Light Metals*. p.1281-1304, 1984.

Artigo recebido em 04/06/2003 e
aprovado em 17/12/2003.

A Rem sabe o quanto VOCÊ é importante.

Por isso, ela além de manter em dia sua periodicidade, aceitar artigos em cores, reduzir o tempo de publicações dos artigos..., resolveu manter o valor da assinatura para 2004 igual aos valores de 2003

Assinatura da REM

