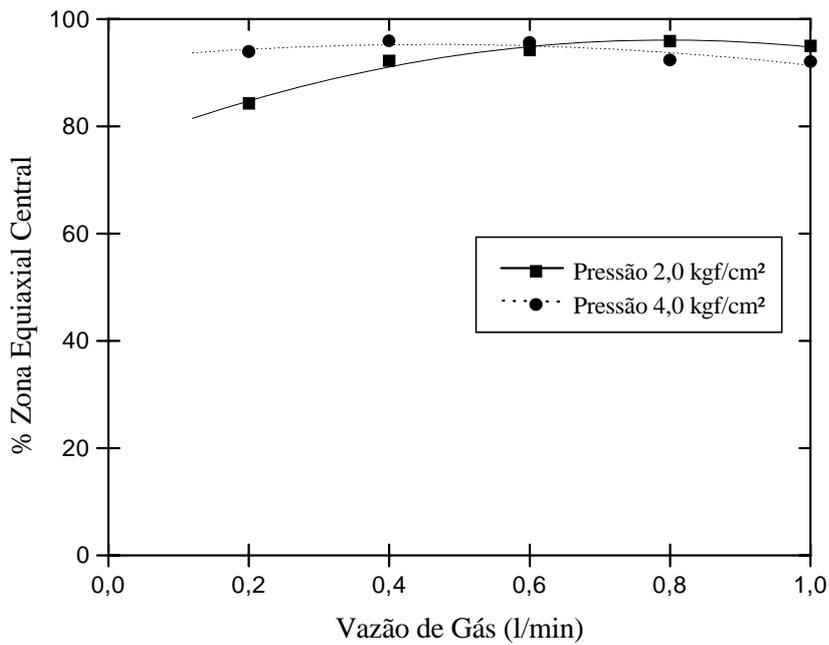


4. CONCLUSÕES

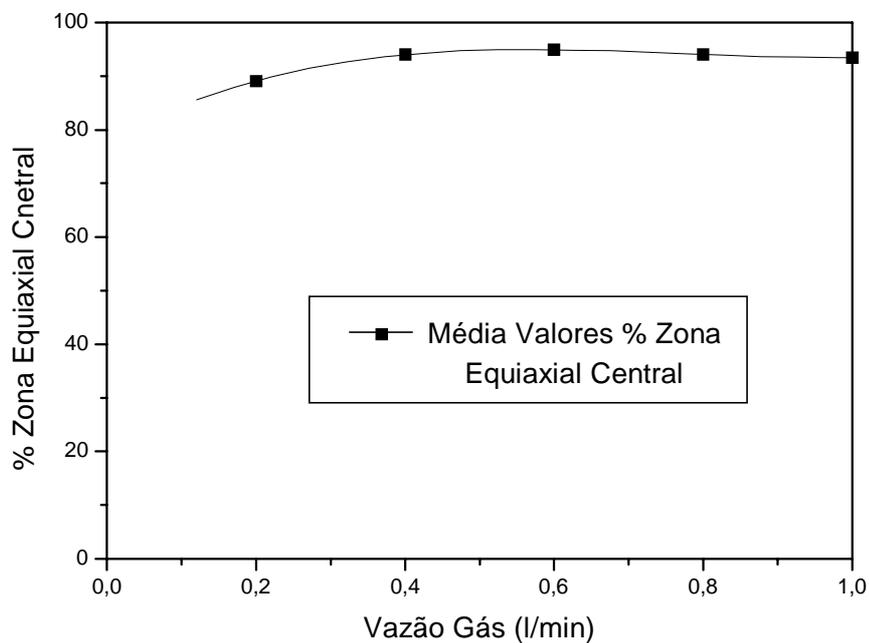
Os resultados encontrados neste trabalho, segundo as condições de solidificação assumidas e o tipo de lingoteira adotado, permitem concluir que o aumento progressivo da vazão de hélio não implica, necessariamente, na diminuição do diâmetro do grão do alumínio fato que parece contrariar algumas teorias tradicionais existentes na literatura que consideram os efeitos proporcionados pela convecção forçada como um mecanismo fundamental para a obtenção de estruturas equiaxiais refinadas. A porcentagem de formação da zona equiaxial central aumenta à medida que se elevam os valores da vazão de gás. Aumentos progressivos nos valores da pressão do gás de injeção, considerando-se os mesmos valores para a vazão do referido gás, tendem a contribuir para o aumento da quantidade de zona equiaxial central.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chiaverini, V., 1994, “O Papel da Engenharia na Era dos Materiais”, Anais do III Congresso de Engenharia Mecânica Norte – Nordeste, Vol. I, Belém - PA, Brasil, pp.65-68.
- Gandim, A., Rappaz, M., West, D. and Adams, B.L., 1995, “Grain Texture Evolution During The Columnar Growth Of Dendritic Alloys”, Metallurgical Transactions, Vol. 26 A, pp. 1543-1548.
- Mohanty, P.S. and Gruzleski, J.E., 1995, “Mechanism of Grain Refinement in Aluminium”, Acta Metall. Mater., Vol. 43, nº. 5, pp. 2001-2012.
- Morando et al., 1970, “The Development of Macrostructure in Ingots of Increasing Size”, Metallurgical Transactions, Vol. 1, pp. 1407-1412.
- Ohno, A., 1976, “The Solidification of Metals”, Ed. Chijin Shokan Co. Ltda., Tokyo, Japan, 144p.
- Oliveira, C.S. and Gonzalez, C.H., 1998, “Determinação do Tamanho de Grão de uma Liga de Alumínio Al-Mg-Si, Via Análise Automática de Imagem”, Anais do V Congresso de Engenharia Mecânica Norte – Nordeste, Fortaleza-CE, Brasil, pp. 103-109.
- Wang, C.Y. and Beckermann, C., 1996 “Equiaxed Dendritic Solidification With Fluid Flow”, Metallurgical Transactions, Vol. 27 A, pp.229-234.
- Siqueira Filho, C.A., 1998, “Análise da Influência da Vazão e Pressão de um Gás Inerte na Formação da Macroestrutura de Solidificação do Alumínio em Lingoteiras de Dimensões Variáveis”, Tese de Mestrado, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, Brasil, 168p.

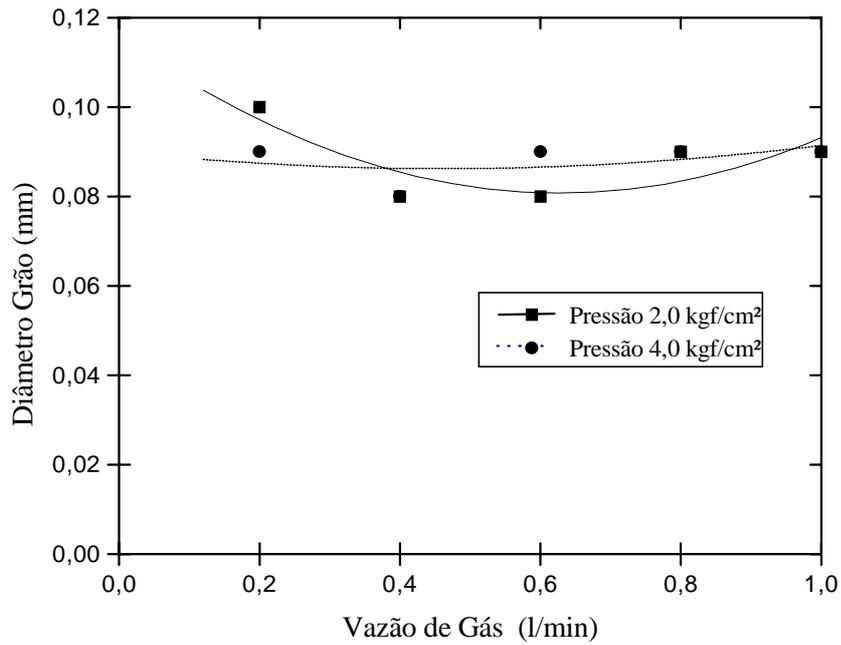


(a)

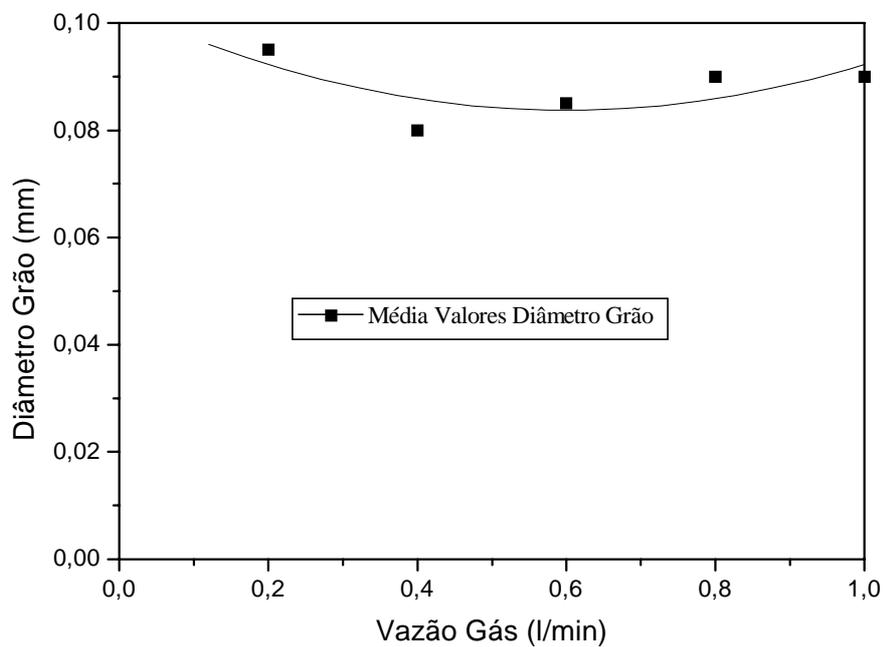


(b)

Figura 5. (a) Variação da porcentagem de formação da zona equiaxial central em função da vazão de hélio para o alumínio solidificado às pressões de 2,0 e 4,0 kgf/cm².
 (b) Variação média da porcentagem de formação da zona equiaxial central em função da vazão de hélio para o alumínio solidificado às pressões de 2,0 e 4,0 kgf/cm².



(a)



(b)

Figura 4. (a) Variação do diâmetro do grão em função da vazão de hélio para o alumínio solidificado às pressões de 2,0 e 4,0 kgf/cm².

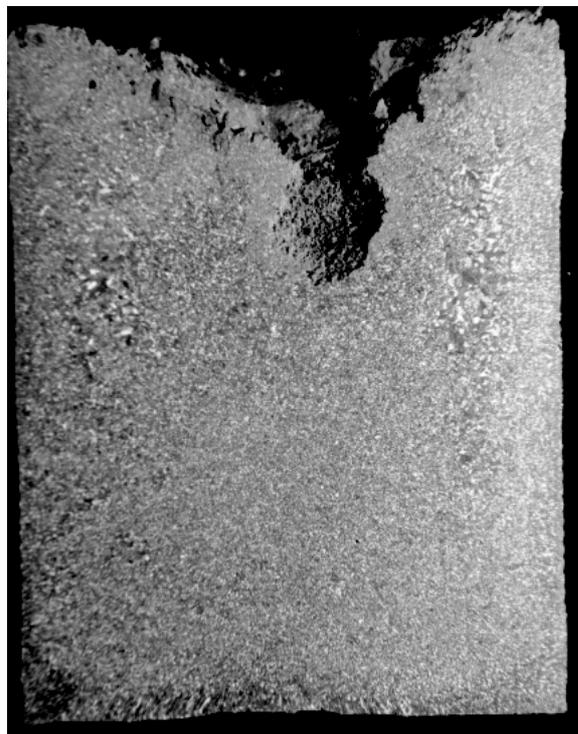
(b) Variação média do diâmetro do grão em função da vazão de hélio para o alumínio solidificado às pressões de 2,0 e 4,0 kgf/cm².



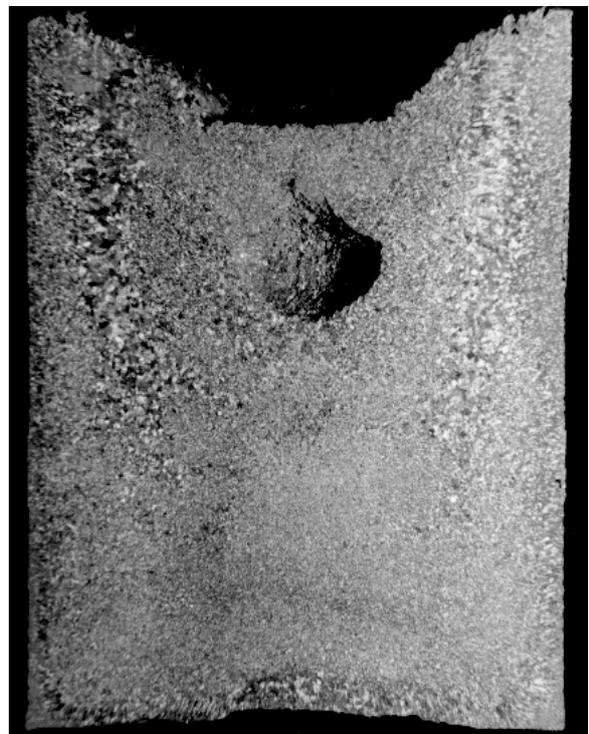
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 3. Macroestruturas de solidificação do alumínio obtidas na pressão de $4,0 \text{ kgf/cm}^2$ e vazões de hélio iguais a: (a) zero, (b) $0,2 \text{ l/min}$, (c) $0,6 \text{ l/min}$ e (d) $1,0 \text{ l/min}$ (dimensões reduzidas de $2\times$).



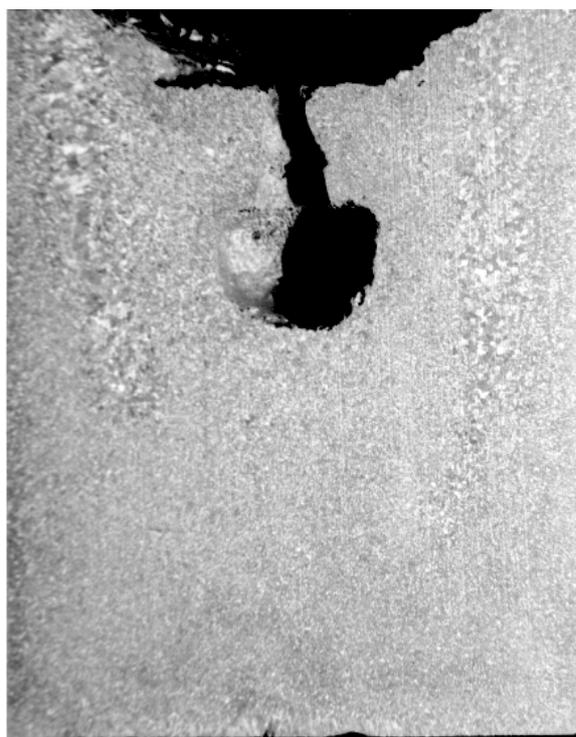
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 2. Macroestruturas de solidificação do alumínio obtidas na pressão de $2,0 \text{ kgf/cm}^2$ e vazões de hélio iguais a: (a) zero, (b) $0,2 \text{ l/min}$, (c) $0,6 \text{ l/min}$ e (d) $1,0 \text{ l/min}$ (dimensões reduzidas de 2x).

Após o processo de obtenção dos lingotes, estes foram cortados no sentido longitudinal e faceados em torno tipo universal a fim de possibilitar um melhor acabamento superficial dos mesmos. Em seguida, os lingotes foram polidos em lixadeira manual utilizando-se lixas d'água de carbeto de silício (SiC) de granulometrias variáveis (200, 320, 400 e 600 mesh). Posteriormente, foi realizada a limpeza das superfícies dos lingotes objetivando a eliminação de resíduos e manchas existentes nas mesmas. A seguir, estas superfícies foram atacadas com reagente químico cuja composição foi 320 ml de HCl, 160 ml de HNO₃ e 20 ml de HF. O ataque foi realizado com base no procedimento de atritar pequenas quantidades de algodão umedecidas no reagente contra a superfície dos lingotes até que as macroestruturas de solidificação desejadas fossem perfeitamente reveladas. Finalmente, as amostras foram fotografadas sem aumento e com iluminação adequada.

Para a verificação do tamanho do grão, foram retiradas da região central de cada lingote pequenas amostras para análise micrográfica, as quais foram polidas e atacadas com reagente apropriado e em seguida microfotografadas através de microscópio de luz refletida com aumento de 115 vezes para posterior contagem de grãos, através do Método do Intercepto (Norma NB – 1323 da ABNT). Finalmente os resultados obtidos foram plotados segundo o método de ajuste de curvas dos quadrados mínimos, através de uma função quadrática aproximando-se ao máximo da curva real que identifica o fenômeno físico.

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

As figuras 2 e 3 apresentam as macroestruturas obtidas para o alumínio solidificado segundo as condições descritas anteriormente. É conveniente ressaltar, que os lingotes indicados encontram-se com suas dimensões reduzidas em 2 vezes em relação ao seu tamanho original. A figura 4 (a) ilustra os resultados obtidos para a variação do diâmetro do grão em função da vazão do gás para o alumínio solidificado, nas pressões de 2,0 kgf/cm² e 4,0 kgf/cm². Podemos observar que, na pressão correspondente a 2,0 kgf/cm², o tamanho do grão equiaxial inicialmente diminui, atinge um valor mínimo e volta a crescer. Por outro lado, para a pressão equivalente a 4,0 kgf/cm² verificamos que a dimensão do grão independe dos valores de vazão de gás adotados. Em ambos os casos, os resultados apresentados contrariam determinados princípios de ativação de mecanismos de formação da zona equiaxial central, existentes na literatura (Ohno,1976). A figura 4 (b) mostra a média dos valores do diâmetro do grão equiaxial em função da vazão do gás em ambas as pressões. Os resultados obtidos apresentam um comportamento semelhante àquele observado para o caso da pressão de 2,0 kgf/cm², ou seja, o tamanho do grão equiaxial inicialmente diminui, atinge um valor mínimo e volta a crescer. Na figura 5(a) são apresentados os valores da porcentagem de formação da zona equiaxial central em função da vazão de hélio nas pressões de 2,0 kgf/cm² e 4,0 kgf/cm². De acordo com os resultados observados podemos verificar que, no caso da pressão de 2,0 kgf/cm², somente são obtidos significativos níveis de formação da zona equiaxial central para valores iguais ou superiores a 0,6 l/min. Para a pressão de 4,0 kgf/cm², no entanto, esses níveis já são alcançados a partir de pequenos valores atribuídos à vazão do gás, permanecendo praticamente constantes para os valores de vazão mais elevados. A figura 5 (b) mostra a média da porcentagem de formação da zona equiaxial central em função da vazão do gás em ambas as pressões. Segundo os resultados encontrados podemos afirmar que, no caso específico desta lingoteira e considerando as condições de solidificação estabelecidas, aumentos nos níveis de pressão de gás contribuem discretamente na formação da zona equiaxial central

distribuição de heterogeneidades existentes na estrutura do mesmo as quais são responsáveis pelas características mecânicas inferiores apresentadas pelas estruturas mais grosseiras.

Pelo exposto, fica evidenciada a dependência das propriedades de um material com relação à sua estrutura bem como a importância de se controlar o processo de solidificação com o objetivo de se obter determinadas características desejadas. Assim, este trabalho apresenta como principal objetivo analisar a influência da variação tanto da vazão como da pressão do gás hélio na transição colunar/equiaxial do alumínio em lingoteira cilíndrica de paredes finas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Na realização dos trabalhos experimentais foi utilizada uma lingoteira cilíndrica, fabricada de aço baixo carbono SAE 1020 conforme indicado na tabela abaixo

Tabela 1. Dimensões da lingoteira utilizada na obtenção dos lingotes.

Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Espessura (mm)
142,5	120,0	15,0

Durante os experimentos, foram realizados vazamentos à temperatura de 660 °C utilizando-se quatro valores diferentes para vazões do gás hélio, para produção de convecção forçada no metal líquido, equivalentes a zero, 0,2 , 0,6 e 1,0 l/min nas pressões de 2,0 e 4,0 kgf/cm². A interrupção do processo de injeção de gás ocorreu somente quando do término da solidificação do material. A profundidade do tubo injetor no interior do molde, foi determinada em função da altura do pé do rechupe observada no material estudado na referida lingoteira, sem a injeção do gás que, neste caso, correspondeu a 4,7 cm. O sistema de injeção de gás, constituído por um cilindro de alta pressão, rotâmetro, manômetro e tubo injetor de aço inox, é mostrado na figura 1.

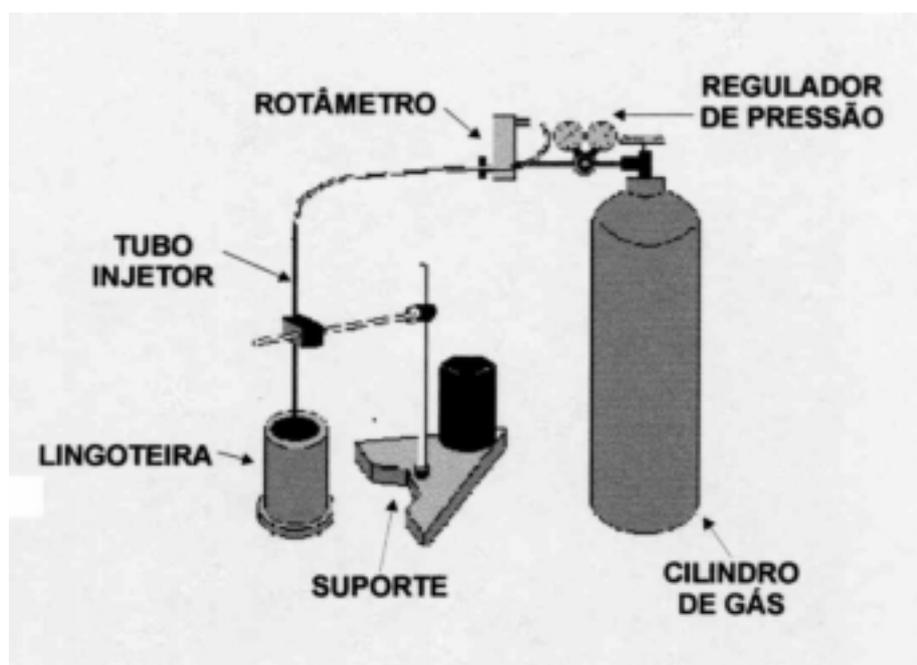


Figura 1. Sistema de injeção e controle do gás hélio utilizado nos trabalhos experimentais.

ANÁLISE DA IMPORTÂNCIA DA VARIAÇÃO DA VAZÃO E DA PRESSÃO DE HÉLIO NA TRANSIÇÃO COLUNAR/EQUIAXIAL DO ALUMÍNIO

Cláudio Alves de Siqueira Filho

Antonio Luciano Seabra Moreira

Universidade Federal do Pará – Departamento de Engenharia Mecânica – Centro Tecnológico, Belém, PA, Brasil. E-mail: luciano@amazon.com.br

Resumo

A maioria dos materiais metálicos, com exceção daqueles processados pela metalurgia do pó, ao longo de seu processo de fabricação passa por transformações sólido/líquido. Logo, as características estruturais resultantes dos processos de fusão e solidificação exercem elevada influência sobre o desempenho dos mesmos. Assim, o material metálico pode apresentar, após o processo de solidificação, três zonas em sua macroestrutura, isto é, zona coquilhada, zona colunar e zona equiaxial central caracterizadas pela presença de grãos com diferentes dimensões, geometrias, orientação e distribuição sendo que o estudo das mesmas apresenta um elevado interesse metalúrgico, pois influenciam significativamente as propriedades mecânicas do produto final. Desta forma, o principal objetivo deste trabalho é realizar um estudo teórico-experimental sobre a influência da variação da pressão e da vazão do hélio na transição colunar/equiaxial do alumínio.

Palavras-chaves: Solidificação, Alumínio, Grão, Macroestrutura.

1. INTRODUÇÃO

Estudos desenvolvidos na área de metalurgia física demonstram que as propriedades mecânicas de um material metálico dependem, fundamentalmente de sua composição química, características físicas (rechupes, trincas, porosidades, etc.), número de fases presentes, presença de precipitados, espaçamentos interdendríticos, características estruturais (geometria, distribuição, dimensão e orientação dos grãos cristalinos), etc (Mohanty & Gruzleski, 1995), (Chiaverini, 1994) e (Morando et al., 1970). No que se refere a esta última particularidade, podemos afirmar que de modo geral um produto fundido apresenta três zonas estruturais que podem ser identificadas macroscopicamente como zona coquilhada, zona colunar e zona equiaxial central, cujas formações podem ser explicadas através de diversas teorias propostas e comprovadas anteriormente (Siqueira, 1998), (Oliveira & Gonzalez, 1998), (Ohno, 1976) e (Gandim et al., 1995). É conveniente salientar que a presença dessas diferentes zonas estruturais promovem um elevado grau de anisotropia no material, o que não é desejável. Logo, são então investigadas estruturas totalmente homogêneas, capazes de atender as necessidades exigidas pela engenharia através do desenvolvimento de técnicas baseadas, principalmente, em processos mecânicos e químicos cujo objetivo é estimular as propriedades de interesse de um material bem como inibir aquelas consideradas prejudiciais ao mesmo em um determinado tipo de aplicação (Wang & Beckermann, 1996). Assim, em quase todas as aplicações práticas, com exceção de algumas de caráter bastante específico, é necessária a utilização de estruturas com grãos pequenos e equiaxiais. Tais estruturas são isotrópicas e suas propriedades são, comprovadamente, superiores. Para o desenvolvimento das mesmas, entretanto, torna-se necessário suprimir o crescimento colunar por meio do estímulo de condições favoráveis à formação de núcleos equiaxiais. Os efeitos do tamanho de grão nas propriedades de um material parecem resultar, em princípio, de modificações na