

INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DA VAZÃO DO ARGÔNIO NA FORMAÇÃO DA ZONA EQUIAXIAL DO ZINCO E DA LIGA EUTÉTICA Zn-5Al CONSIDERANDO DIFERENTES NÍVEIS DE SUPERAQUECIMENTO

João Lobo Peralta

Antonio Luciano Seabra Moreira

Centro Federal de Educação Tecnológica do Pará, Coordenação de Metalurgia e Materiais, Av. Almirante Barroso, 1155, 66000-000, Belém, PA, Brasil. E-mail: aslp@interconnect.com.br / jlperalta@fem.unicamp.br

Resumo

Durante o processo de fundição de metais, de maneira geral, procuram-se conseguir estruturas isotrópicas com grãos de pequenas dimensões e sem orientação preferencial cuja obtenção, em condições normais, torna-se bastante difícil. Logo, tem sido necessário o desenvolvimento de estudos que possibilitem condições favoráveis capazes de controlar tais características proporcionando, assim, propriedades superiores aos produtos obtidos. Um dos processos mecânicos mais conhecidos e utilizados na uniformização estrutural é aquele baseado no borbulhamento gasoso do metal líquido que, de acordo com as teorias propostas, se mostra bastante eficiente. Neste trabalho, é estudado o comportamento do zinco e da liga eutética Zn-5Al quando submetidos à injeção do gás argônio durante o processo de solidificação, em diferentes níveis de superaquecimento durante o vazamento. Alguns resultados experimentais apresentam um comportamento diferente daquele previsto por teorias tradicionalmente aceitas sobre o assunto.

Palavras-chave: Grão, Fundição, Ligas, Refino, Solidificação.

1. INTRODUÇÃO

Um dos maiores objetivos da metalurgia física nas últimas décadas, conforme é observado por Ohno (1976), tem sido o desenvolvimento de técnicas capazes de controlar a dimensão, forma, distribuição e orientação de grãos cristalinos de produtos fundidos visando a obtenção de estruturas de solidificação compatíveis com as propriedades mecânicas exigidas (Vives, 1996; Gandin *et al.*, 1997; Abramov *et al.*, 1997).

A utilização de estruturas com grãos de pequenas dimensões é importante uma vez que os mesmos elevam o índice de isotropia, proporcionando assim, propriedades superiores. Para o desenvolvimento das mesmas, entretanto, tornar-se necessário suprimir nos materiais o crescimento de grãos colunares por meio do estímulo de condições favoráveis à formação de núcleos equiaxiais. Identificar técnicas que controlam o tamanho, a forma a distribuição e orientação do grão e, a partir das mesmas, produzir um material fundido com estrutura homogeneamente composta por grãos finos e equiaxiais tem sido, também, objetivo dos metalurgistas.

Diversos trabalhos desenvolvidos demonstram que os efeitos promovidos pela convecção forçada, no líquido que solidifica, contribuem para a ativação de mecanismos formadores de

grãos finos e equiaxiais (Yeh *et al.*, 1996; Wang & Beckermann, 1996; Appolaire *et al.*, 1997).

A formação da zona equiaxial em um dado sistema metálico depende de condições particulares entretanto, de acordo com Morales e colaboradores (1978), trabalhos de pesquisa e a prática convencional de fundição apontam o mecanismo de nucleação extensiva heterogênea, por inoculação de substratos, e o mecanismo da multiplicação cristalina, no desenvolvimento do conjunto de processos de refino de grão de materiais metálicos, como sendo os de maior importância. Esses métodos de refino de grão (Ohno & Motegi, 1975; Peralta, 1998) podem ser térmicos (consistem essencialmente em controlar o fluxo de calor que atua no sistema metal/molde), mecânicos (baseiam-se no controle das correntes convectivas no material líquido com o fim de provocar erosão no sólido formado ou a quebra das dendritas em formação) e químicos (interferem físico-quimicamente na massa líquida do metal que solidifica controlando o surgimento de substratos de nucleação).

Com base no acima exposto estabeleceu-se como principal objetivo deste trabalho, analisar a influência de cinco diferentes vazões do gás argônio na formação da zona equiaxial central do zinco e da liga eutética Zn-5Al vazados a partir de três diferentes níveis de superaquecimento.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

No caso do zinco foram realizados vazamentos às temperaturas de 420, 462 e 504 ° C enquanto que para o eutético Zn-5Al as temperaturas de vazamento foram 382, 420 e 458 ° C sendo que, em ambos os materiais, esses valores corresponderam pela ordem a superaquecimentos de 0%, 10% e 20% acima das respectivas temperaturas de fusão.

Os vazamentos foram realizados em lingoteira de aço ABNT 1045 de formato cilíndrico com 92 mm de altura, 62 mm de diâmetro médio interno e 5 mm de espessura não sendo aplicado revestimento de proteção à mesma. Para cada material, os três primeiros vazamentos com as temperaturas de superaquecimento citadas acima, foram realizados sem injeção de gás inerte, com objetivo de se observar o comportamento estrutural e também medir a profundidade do rechupe formado.

Determinada então a profundidade média do rechupe, procederam-se aos vazamentos do material puro e da liga submetidos à injeção do gás argônio através de um tubo de aço inoxidável com 6,5 mm de diâmetro, introduzido no centro da lingoteira a uma profundidade de 40 mm a partir da superfície garantindo, assim, a permanência do mesmo em contato com o metal líquido até sua completa solidificação.

As vazões do gás argônio injetado, em ambos os materiais, foram de 0,2 , 0,4 , 0,6 , 0,8 e 1,0 l/min cujo tempo correspondeu ao período entre o momento do contato do tubo com o metal líquido até sua completa solidificação.

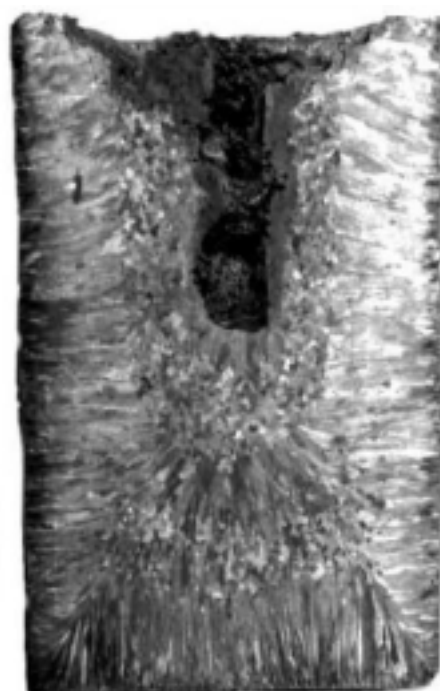
Após a obtenção dos lingotes, realizaram-se análises macro e micrográficas dos mesmos a fim de avaliar-se os efeitos promovidos pela convecção forçada no líquido. Nas figuras 1 e 2 são mostradas algumas macroestruturas obtidas para os materiais estudados segundo as condições de solidificação assumidas. O tamanho médio do grão foi medido através do método do Intercepto baseado no Processo Heyn, conforme norma ABNT – NB 1323 (Peralta, 1998).

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A figura 3(a) apresenta o efeito da variação da vazão do argônio sobre o diâmetro médio do grão equiaxial formado no zinco nos diversos níveis de superaquecimento considerados. De acordo com a mesma, verifica-se que para o caso do superaquecimento nulo, o aumento



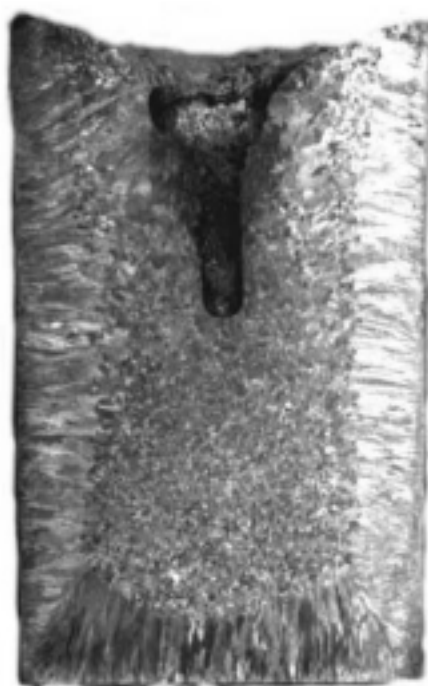
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 1. Macroestruturas de solidificação obtidas para o zinco:
(a) Superaquecimento nulo e vazão de gás de 0,8 l/min;
(b) Superaquecimento de 10% e vazão de gás de 0,6 l/min;
(c) Superaquecimento de 20% e vazão de gás nula;
(d) Superaquecimento de 20% e vazão de gás de 0,2 l/min.

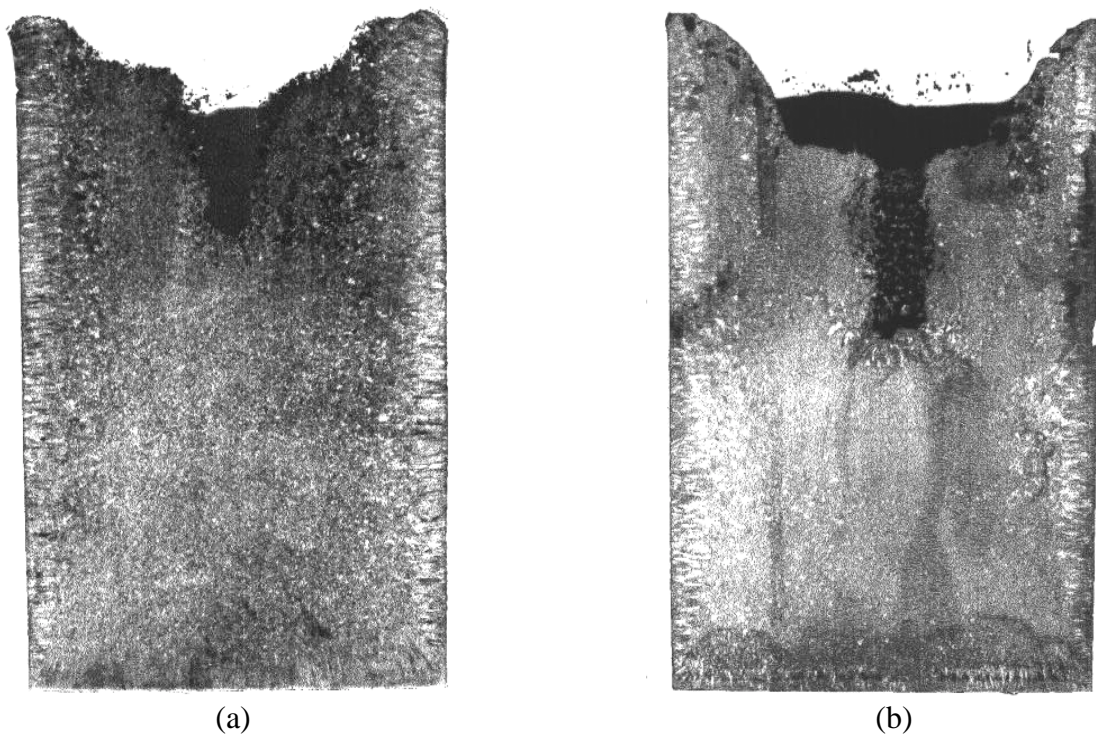


Figura 2. Macroestruturas de solidificação obtidas para o eutético Zn-5Al:
 (a) Superaquecimento nulo e vazão de gás de 0,6 l/min;
 (b) Superaquecimento de 20% e vazão de gás de 1,0 l/min.

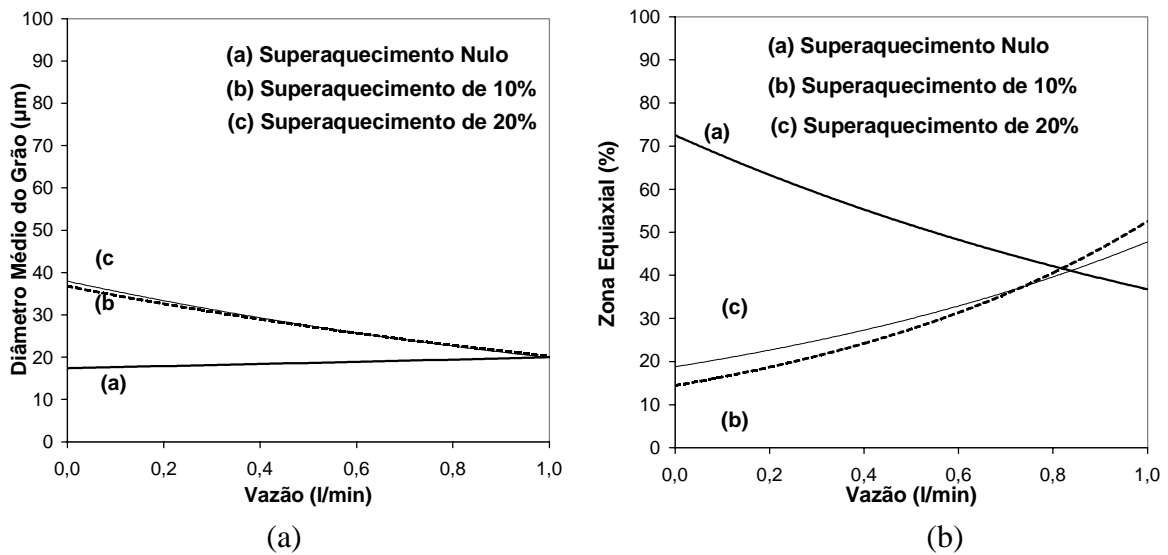


Figura 3. (a) Diâmetro médio do grão equiaxial em função da variação da vazão do gás para o zinco;
 (b) Porcentagem da zona equiaxial central em função da variação da vazão do gás para o zinco.

progressivo da vazão de gás praticamente não influencia a variação do tamanho médio do grão constituído, o que contraria fortemente teorias propostas por alguns autores sobre a eficiência da convecção forçada no metal líquido (Ohno & Motegi, 1975 e Ohno & Motegi

1977), na formação de grãos equiaxiais finos. Tal fato pode ser justificado pela intensa presença de grãos colunares no lingote à vazão de 1,0 l/min a qual, provavelmente, promoveu uma elevada taxa de extração de calor possibilitando a constituição de uma casca sólida na interface metal/molde favorecendo, desta forma, a inibição da zona equiaxial central, efeito não previsto nas teorias até hoje propostas para a formação desta zona. Por outro lado, para os superaquecimentos correspondentes a 10% e 20% acima da temperatura de fusão, observa-se praticamente a mesma tendência no sentido de tornar mais reduzidas as dimensões dos grãos equiaxiais em função da convecção proporcionada pelo borbulhamento do gás.

Na figura 3(b) são mostrados os efeitos da variação da vazão do gás sobre a porcentagem de zona equiaxial formada no zinco considerando os diversos superaquecimentos adotados. Confirmando os resultados da figura anterior nota-se que, ao levarmos em conta o superaquecimento nulo, a quantidade de zona equiaxial formada diminui progressivamente à medida que a vazão do gás injetado aumenta contrariando as teorias existentes na literatura, fato que pode ser explicado pelos mesmos motivos citados durante a análise da figura anterior. Ao considerarmos superaquecimentos de 10% e 20% acima da temperatura de fusão observamos significativo aumento na quantidade da referida zona, o que significa dizer que os efeitos impostos pela convecção forçada predominam diante daqueles proporcionados pelos superaquecimentos assumidos.

Na figura 4(a) é apresentada a relação entre o diâmetro médio do grão equiaxial e a variação da vazão do gás para o eutético Zn-5Al. Verifica-se que, para os diversos níveis de superaquecimentos considerados, ocorre uma tendência de não se obter o refino do grão, ou seja, a diminuição de sua dimensão à medida que aumenta a vazão do gás.

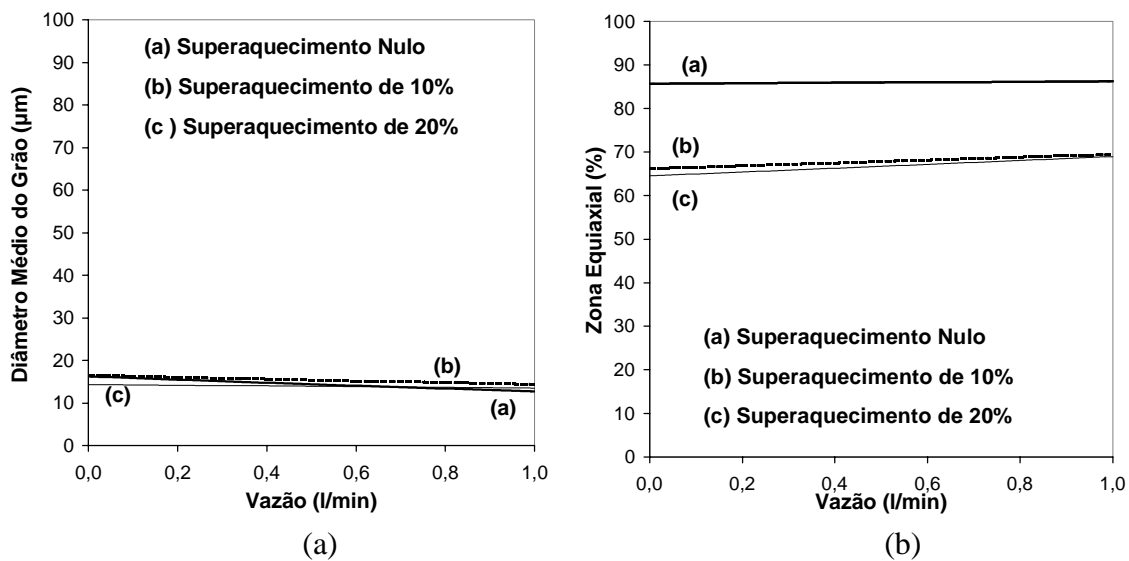


Figura 4. (a) Diâmetro médio do grão equiaxial em função da variação da vazão do gás para a liga eutética Zn-5Al;

(b) Porcentagem da zona equiaxial central em função da variação da vazão do gás para a liga eutética Zn-5Al.

Na figura 4(b) são mostrados os efeitos da variação do gás sobre a porcentagem de zona equiaxial formada no eutético Zn-5Al levando em conta os diversos superaquecimentos adotados. Neste caso, observa-se que para o superaquecimento nulo praticamente não ocorre aumento desta zona. Para os casos em que se promoveu a presença de superaquecimento há um discreto aumento da zona equiaxial.

Na figura 5(a) é apresentada uma análise comparativa do comportamento do diâmetro médio do grão, em função da vazão do gás, para o zinco comercialmente puro e para o eutético Zn-5Al, segundo mesmas condições de solidificação. De acordo com a mesma, nota-se que o efeito da convecção forçada para a liga é menos significativo do que para o zinco. Isto, possivelmente, se deve à presença do alumínio no eutético Zn-5Al, que atua como um refinador de grão da liga.

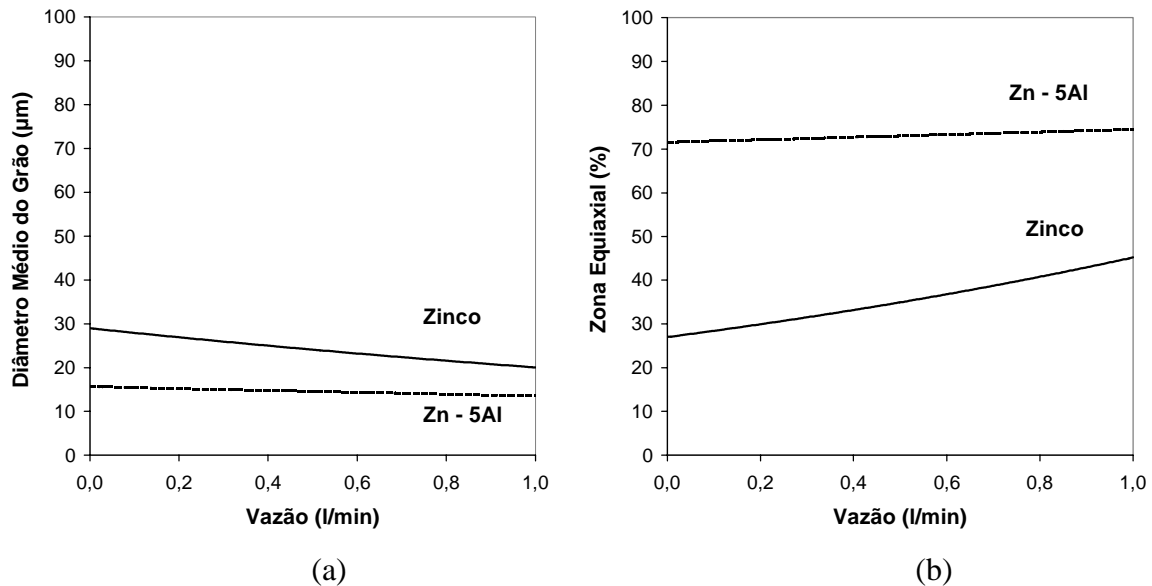


Figura 5. (a) Análise comparativa do tamanho médio do grão equiaxial do eutético Zn-5Al e o zinco em função da vazão de argônio;
 (b) Análise comparativa da quantidade de zona equiaxial formada no eutético Zn-5Al e no zinco em função da vazão de argônio.

Na figura 5(b) é mostrada uma análise comparativa da quantidade de zona equiaxial formada, em função da vazão do gás, para o zinco comercialmente puro e para a liga Zn-5Al segundo as condições de solidificação impostas inicialmente. Verifica-se que o efeito da convecção forçada na formação da zona equiaxial central é muito mais significativo para o zinco do que para a liga, contudo, a percentagem desta zona é maior para o eutético Zn - 5Al.

4. CONCLUSÃO

No que se refere ao zinco comercialmente puro, os grãos equiaxiais formados praticamente não sofrem modificações em suas dimensões quando submetidos, na presença de superaquecimento nulo, à variação da vazão de um gás inerte. Contudo, são observadas significativas reduções no tamanho do grão equiaxial, quando são considerados superaquecimentos correspondentes a 10% e 20% acima da temperatura de fusão, nas referidas condições de solidificação. Os efeitos proporcionados pela convecção forçada devido ao borbulhamento do gás inerte no líquido, na ausência de superaquecimento, tendem a diminuir a formação da zona equiaxial. A presença de superaquecimento, no entanto, provoca uma importante modificação na macroestrutura, promovendo um aumento na quantidade desta zona. Quanto ao eutético Zn-5Al, considerando-se as vazões e os superaquecimentos adotados, observa-se em todos os casos analisados uma tendência de não se obter a diminuição do tamanho do grão. Com relação à zona equiaxial na liga estudada, somente são observados discretos aumentos na quantidade de formação da mesma na

presença de superaquecimentos de 10% e 20% acima da temperatura de fusão. Considerando-se as mesmas condições de vazão do gás inerte e nível de superaquecimento, para o zinco e o eutético Zn-5Al, verifica-se que o efeito de diminuição do tamanho do grão assim como do aumento da quantidade da zona equiaxial é bem mais significativo no zinco. Assim, levando em conta os resultados obtidos neste trabalho, é possível afirmar que algumas teorias convencionais apresentadas e tradicionalmente aceitas que tentam descrever, com base em determinados mecanismos, a formação da zona equiaxial central em materiais metálicos, podem ser restritas somente a certos tipos de materiais quando submetidos a condições particulares de solidificação.

5. REFERÊNCIAS

- Abramov, V. O., Abramov, O. V. and Sommer, F., 1997, "Ultrasonic Treatment of Liquid and Solidifying Metals", Proceedings of the 4th Decennial International Conference on Solidification Processing, Sheffield, pp. 58-61.
- Appolaire, B., Combeau, H. and Lesoult, G., 1997, "Modelling of Equiaxed Growth with Convection", Proceedings of the 4th Decennial International Conference on Solidification Processing, Sheffield, pp. 295-298.
- Gandin, Ch., -A., *et al.*, 1997, "3D Modelling of Dendritic Grain Structures in a Turbine Blade Investment Cast Part", Proceedings of the 4th Decennial International Conference on Solidification Processing, Sheffield, pp. 289-294.
- Morales, A., Glicksman, M. E. and Biloni, H., 1978, "The Influence of Mold Wall Microgeometry on Casting Structure", Sheffield International Conference on Solidification and Casting, Sheffield, pp. 641-672.
- Ohno, A. and Motegi, T., 1975, "Principles of Grain Refining of Cast Structures", AFS Cast Metals Research Journal, pp. 45-51.
- Ohno, A. and Motegi, T., 1977, "Formation Mechanism Equiaxed Zones in Cast Metals", AFS International Cast Metals Journal, pp. 28-36.
- Peralta, J. L., 1998, "Influência do Superaquecimento e da Vazão de um Gás Inerte no Refino de Grão do Zinco e do Eutético Zn - 5Al", Universidade Federal do Pará, Belém, PA, Brasil, 121p.
- Vives, C., 1996, "Effects of Forced Electromagnetic Vibrations During the Solidification of Aluminum Alloys: Part I and II", Metallurgical and Materials Transactions, Vol. 27 B, pp. 445-464.
- Wang, Y. and Beckermann, C., 1996, "Equiaxed Dendritic Solidification with Convection: Part I, II and III", Metallurgical and Materials Transactions, Vol. 27 A, pp. 2754-2795.
- Yeh, J., Jong, S. and Liu, W., 1996, "The Improved Microstructures and Properties of 7075 Alloys Produced by a Water-Cooling Centrifugal Casting Method", Metallurgical and Materials Transactions, Vol. 27 A, pp. 1933-1943.