

# **SIMULAÇÃO DE PEÇA DE ALUMÍNIO FUNDIDA EM MOLDE DE AREIA**

**Jason Alves Martins**

Universidade Federal de Santa Maria – CT- DEM  
Campus Universitário Camobi, 97105-900 – Sta Maria, RS  
[jalvesmartins@yahoo.com.br](mailto:jalvesmartins@yahoo.com.br)

**Aleir Antonio Fontana De Paris**

Universidade Federal de Santa Maria – CT- DEM  
Campus Universitário Camobi, 97105-900 – Sta Maria, RS  
[aparis@ct.ufsm.br](mailto:aparis@ct.ufsm.br)

**Carlos Henrique de Andrade Molenda**

Universidade Federal de Santa Maria – CT- DEM  
Campus Universitário Camobi, 97105-900 – Sta Maria, RS  
[molenda@ct.ufsm.br](mailto:molenda@ct.ufsm.br)

**Resumo.** As técnicas e fórmulas empregadas na fundição para moldagem de peças, localização e dimensionamento de massalotes, são ainda hoje bastante empíricas, sendo comumente utilizado o uso de sucessivas experimentações com diferentes configurações de moldes e massalotes até se encontrar a melhor solução, método este que agrupa muitos custos ao projeto. O uso de simulação numérica em transferência de calor representa economia e redução de tempo de projeto de peças fundidas, fornecendo uma previsão bastante precisa na solidificação de ligas. Para determinar o sistema de massalotes de uma peça de alumínio fundida em molde de areia verde, foi empregada simulação numérica e comparado com a regra dos módulos. A partir de diferentes tamanhos de massalotes foi obtido um volume mínimo para alimentar a peça sem defeitos. Os resultados obtidos na análise da influência da espessura do molde e tempo de solidificação da peça mostraram que para a peça estudada o tempo de solidificação não é modificado para espessuras do molde acima de 5 mm e aumenta rapidamente para diminuições da espessura abaixo do valor citado.

**Palavras-chave:** Fundição, Simulação Numérica, Alumínio, Molde, Massalote.

## **1. INTRODUÇÃO**

A fundição é muito utilizada pela sua versatilidade e para produção de peças com propriedades específicas importantes em engenharia, as quais podem ser metalúrgicas, físicas ou econômicas. As peças fundidas são muitas vezes mais baratas do que peças forjadas ou conjuntos obtidos por solda, dependendo da quantidade, do tipo do material, e do custo dos modelos, quando comparados com o custo de matrizes para forjamento e com o custo de dispositivos e guarnições para solda.

A fundição comprehende basicamente duas etapas que são: fusão e moldagem. A etapa de fusão comprehende a obtenção da liga adequada em fornos próprios para esta finalidade. A moldagem abrange a construção do modelo e do molde onde será vazado o metal fundido. Esta etapa tem grande influência na qualidade final da peça. Devendo o molde ser projetado de forma a prever as mudanças que ocorrem durante o processo de solidificação como a contração do metal e evolução da transferência de calor. Na solidificação dos metais têm especial importância os processos de

mudança de fase, que são acompanhados por absorção ou liberação de energia térmica. Existe uma fronteira móvel que separa as duas fases de diferentes propriedades termo-físicas, na qual energia térmica é absorvida ou liberada. Se for considerada a solidificação de uma peça fundida, o superaquecimento na fusão e o calor latente liberado na interface sólido-líquido são transferidos através do metal solidificado, interface metal-molde, encontrando em cada um destes estágios uma certa barreira térmica.

Os processos de transferência de calor que ocorrem são complexos. As várias taxas de resfriamento possíveis produzem diferentes microestruturas e consequentemente uma variedade de propriedades termomecânicas. Durante a solidificação de ligas binárias ou com múltiplos componentes, o fenômeno físico se torna complicado devido a transformação de fase ocorrer em uma faixa de temperaturas. O material entre a fase sólida e a líquida se assemelha a um meio poroso sendo chamado de “zona pastosa”. Um entendimento completo do fenômeno de mudança de fase envolve a análise de vários processos que o acompanham. O mais importante destes processos, do ponto de vista macroscópico, é o processo de transferência de calor. Isto se complica pela liberação ou absorção do calor latente de fusão na interface sólido-líquido. Vários métodos numéricos de análise do processo de solidificação tem sido usados levando em conta a liberação do calor latente. Estes métodos são geralmente divididos em métodos de malha fixa ou móvel. Os métodos de malha fixa envolvem a solução de um sistema contínuo com uma representação implícita da mudança de fase, enquanto nos métodos de “frente móvel” ou “malha móvel”, a região sólida e a líquida são tratadas separadamente e a interface de mudança de fase é explicitamente determinada como uma fronteira móvel.

Atualmente, uma parte considerável de todas as peças fundidas é rejeitada devido a defeitos de rechupe e porosidades. Tais ineficiências somam gastos elevadíssimos por ano em custos de refusão assim como quantidades significativas de energia.

Devido ao fato de os fenômenos de solidificação das ligas de fundição serem muito complexos, com um grande número de variáveis envolvidas e mudança de fase após o vazamento, não há como se calcular com exatidão, pelos métodos analíticos, as dimensões ideais dos massalotes, assim como sua localização nas peças, principalmente as de geometria complexa.

As técnicas e fórmulas empregadas na fundição para moldagem de peças, localização e dimensionamento de massalotes são ainda hoje bastante empíricas, sendo comumente empregadas sucessivas experimentações com diferentes configurações de moldes e massalotes até se encontrar a melhor solução, método este que agrupa muitos custos ao projeto além de despender muito tempo.

Hoje, graças ao desenvolvimento de computadores de alta velocidade e de grande capacidade de armazenamento a um custo relativamente baixo, o uso de técnicas numéricas para a solução dos mais diversos problemas de engenharia e da física se tornou uma realidade. Estas técnicas tem tido grande aceitação devido a sua versatilidade e facilidade de aplicação.

Em especial a simulação numérica em transferência de calor representa economia e redução de tempo de projeto de peças fundidas, fornecendo uma previsão bastante precisa da solidificação da liga, eliminando ou reduzindo o número de protótipos para fundir uma peça sem defeitos.

Apesar das ótimas propriedades mecânicas obtidas com moldes metálicos, a fundição em molde de areia ainda permanece como um dos processos mais importantes pelas suas vantagens inerentes, Heine et al (1967).

Somente a especificação química de certas ligas não dá garantias de propriedades mecânicas. O processo de fundição, o projeto da peça fundida, o controle de fusão, são fatores que devem ser considerados.

O sistema de canais e massalotes das peças fundidas de alumínio são fatores muito importantes para a produção de boas peças, Guleyupoglu (1997). A alimentação da peça fundida durante a solidificação busca a solução de dois problemas: prevenção de rechupe, grandes cavidades de contração visualmente detectáveis, e prevenção de microporosidades, microcontrações que normalmente só podem ser observadas através do microscópio, raios X ou inspeção radiográfica e que normalmente estão bastante dispersas.

Um trabalho realizado por Kuo et al (1989), comprovou a influência da alimentação dos massalotes sobre as propriedades mecânicas de uma peça fundida em alumínio.

A presença ou ausência de defeitos devido a contração de solidificação depende da zona de ação dos massalotes nas peças fundidas, Moosbrugger and Berry (1986).

O desenvolvimento de moldes através de estudos experimentais é um processo difícil e caro. Alternativamente a modelagem do processo de solidificação, levando em conta vários fatores que o aproximam da realidade, ajudará na realização de um bom projeto de molde, Shehata (1997). Um projeto de molde obtido através de simulação pode ser submetido a verificação experimental com custo e tempo reduzido.

Basicamente, o processo de solidificação do metal é um problema de transferência de calor com mudança de fase. Alguns trabalhos envolvendo simulação de transferência de calor com mudança de fase estão disponíveis, Crespo (1996), Nedjar (2002). Os problemas de mudança de fase tem sido analisados usando apenas transferência de calor por condução, já que isto é suficiente para muitos casos, Manual de Teoria do Ansys 6.0 (2002). Contudo, algumas análises têm aparecido levando em conta os efeitos da convecção natural. A convecção não pode ser desprezada em alguns poucos casos de interesse prático, Viscanta (1985).

A modelagem do processo de solidificação tem permanecido um tópico de interesse ativo por várias décadas. Os primeiros estudos estavam restritos principalmente a problemas unidimensionais com severas limitações. Desenvolvimentos em métodos analíticos e os atuais recursos computacionais têm possibilitado um aperfeiçoamento em modelagem numérica, levando em conta vários parâmetros que influenciam a qualidade das peças fundidas, Maliska (1985).

O método de elementos finitos (MEF) envolve uma aproximação física onde a região dada é dividida em pequenos domínios (elementos). A variável dentro do elemento é aproximada em termos de valores nodais. Elementos de matrizes são obtidos usando princípios variacionais e são montados do mesmo modo como os elementos que constituem a região dada. Este procedimento resulta em um conjunto de equações simultâneas. A solução do conjunto dá o valor da variável nos nós. Vários textos estão disponíveis sobre MEF, Zienkiewicz and Taylor (1988), Bathe (1996). Há poucos textos disponíveis sobre transferência de calor incluindo solidificação usando MEF, Lewis et al (1996), Robinson and Palaninathan (2001).

Na solução por MEF, além das formulações dos elementos de matrizes, dois aspectos relacionados a solidificação devem ser considerados: liberação de calor latente, Karl-Hermann (1985), Hasan (1987), Droux (1991), e transferência de calor na interface metal-molde, Sully (1976), Hou and Phelke (1988).

Neste projeto foi feita a análise por simulação numérica, usando elementos finitos (software Ansys), do processo de solidificação de uma peça de alumínio. Foram analisados os seguintes parâmetros que influenciam a qualidade e o custo no processo de fabricação de peças fundidas: influência da espessura do molde de areia no tempo de solidificação da peça fundida, e dimensão do massalote.

## 2. METODOLOGIA EMPREGADA

A peça empregada como modelo tem uma seção retangular com as seguintes dimensões: 20 x 20 x 200mm, constituída de alumínio puro, classificação AA 1.XXX. O massalote escolhido para alimentação foi posicionado na região central da peça, com formato cilíndrico. Como material de moldagem foi escolhido areia verde por ser um processo bastante empregado em fundição. A temperatura de vazamento, 1000°K, foi considerada constante em todo o molde, a temperatura de fusão/solidificação 933.3°K e a temperatura ambiente 298°K. A transferência de calor no líquido e no sólido é governada pela equação clássica de condução de calor, que é expressa como:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[ k \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ k \frac{\partial T}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ k \frac{\partial T}{\partial z} \right] = \rho C \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

Onde  $k$  é a condutividade térmica,  $\rho$  a densidade,  $C$  o calor específico e  $T$  a temperatura. Nos problemas de transferência de calor com mudança de fase o programa Ansys considera a condução de calor e para o calor latente da mudança de fase utiliza o método da entalpia. A entalpia, que tem unidade de calor/volume, é a integral da densidade vezes o calor específico em função da temperatura:

$$H = \int \tilde{\rho} C(T) dT \quad (2)$$

A equação que modela a transferência de calor por convecção para os elementos dos contornos é dada por:

$$Q = A \cdot h \cdot (T - T_\alpha) \quad (3)$$

Onde  $T$  e  $T_\alpha$  são as temperaturas na superfície do molde e do ar ambiente respectivamente,  $h$  é o coeficiente de transferência de calor por convecção e  $A$  é a área superficial de troca de calor. Em problemas de solidificação, a variável temperatura varia com o tempo em todos os pontos nodais. Além disso, propriedades térmicas como condutividade, densidade e calor específico também variam com a temperatura e consequentemente com o tempo, sendo necessário o uso de técnicas de solução transiente não-linear para resolver este problema.

Como o problema de transferência de calor transiente com mudança de fase envolve um grande número de interações, exigindo passos de tempo muito pequenos, optou-se por uma peça de geometria simples. Os modelos tridimensionais foram criados no Ansys tirando proveito da simetria da peça sendo utilizado apenas  $\frac{1}{4}$  da peça, conforme a Fig. (1) e Fig. (2), possibilitando com isso um melhor uso da capacidade de processamento e memória do computador.

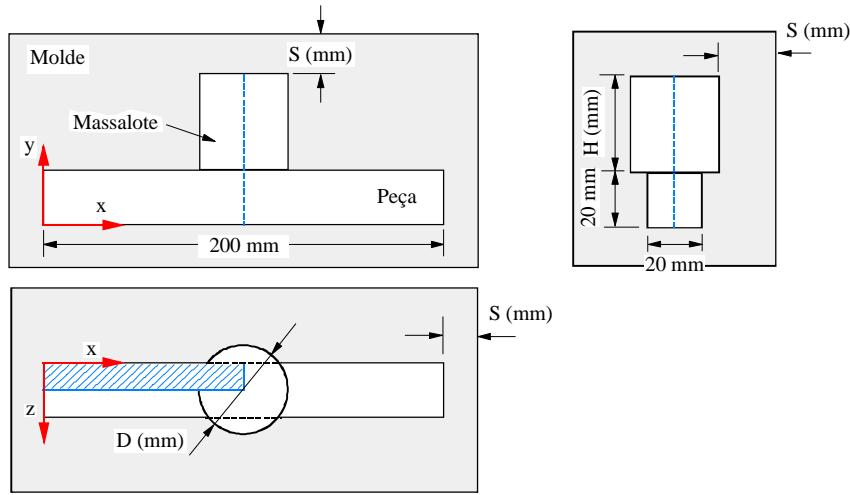


Figura 1. Posicionamento da peça e massalote com relação ao molde.

A entalpia do alumínio foi calculada considerando como referência o valor zero para a temperatura de 273°K. As propriedades físicas da areia usada na simulação foram condutividade térmica, densidade e calor específico, consideradas constantes com a temperatura. Para a análise das dimensões do massalote, após o dimensionamento pela regra de Chvorinov (1940), foram realizadas simulações com um molde possuindo espessura  $S = 20$  mm. Na sequência foram realizadas simulações variando o tamanho do molde para analisar a influência do tempo de solidificação da peça. Partiu-se de um caso limite de espessura  $S = 20$  mm, para o caso de não haver molde, ou perda de calor por convecção peça/ar.

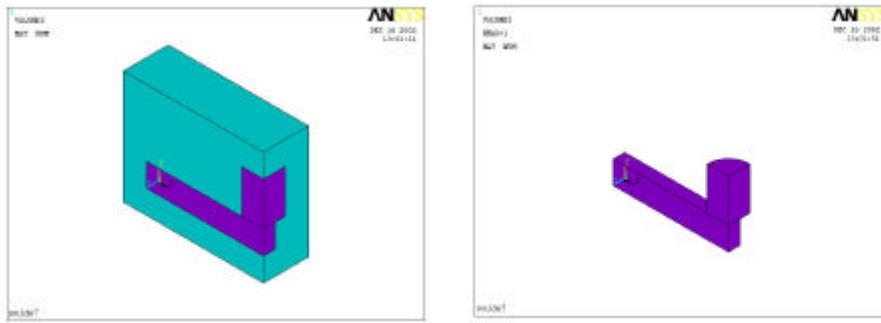


Figura 2. Esquema de  $\frac{1}{4}$  da peça e do massalote (a) e seu posicionamento no molde (b).

## 2.1. Método de Chvorinov

A regra de Chvorinov (1940), é um método simples, aproximado, de assegurar que o tempo de solidificação do massalote será no mínimo igual ao tempo de solidificação da peça ou segmento da peça alimentado.

$$C_M \left( \frac{V_M}{A_M} \right)^2 > C_p \left( \frac{V_p}{A_p} \right)^2 \quad (4)$$

Onde  $V_M$  e  $V_p$  são os volumes do massalote e da peça respectivamente. A quantidade de calor que precisa ser removido para solidificar totalmente o massalote e a peça é proporcional ao volume de metal no massalote e na peça.

As áreas da interface metal/molde para o massalote e peça são respectivamente,  $A_M$  e  $A_p$ . A suposição básica da regra é que, para uma dada combinação de material do molde e metal fundido, a taxa de calor removido através de cada unidade de área de interface metal/molde é a mesma.

As constantes  $C_M$  e  $C_p$ , para o massalote e a peça estão relacionadas às propriedades térmicas do metal e do material do molde e são as mesmas, então:

$$C_M = C_p \quad (5)$$

A aplicação da regra de Chvorinov, para uma peça com as dimensões genéricas  $x, y$ , e  $z$ , com um massalote de topo de diâmetro  $D$  e altura  $H$  é:

$$V_M = \frac{\delta \cdot D^2 \cdot H}{4} \quad \text{e} \quad V_p = x \cdot y \cdot z \quad (6)$$

$$A_M = \delta \cdot D \cdot H + \frac{\delta \cdot D^2}{4} \quad \text{e} \quad A_p = 2 \cdot (x \cdot z + y \cdot z + x \cdot y) - \frac{\delta \cdot D^2}{4} \quad (7)$$

Considerando o massalote com altura igual ao seu diâmetro, obtém-se uma relação iterativa onde substituindo os valores das dimensões da peça e massalote, pode-se encontrar o diâmetro mínimo do massalote:

$$D > \sqrt{\frac{x \cdot y \cdot z}{\left( x \cdot z + y \cdot z + x \cdot y - \frac{\delta \cdot D^2}{8} \right)}} \quad (8)$$

O valor do diâmetro e altura do massalote, obtidos com as dimensões da peça substituídas na equação (8), é 25 mm. O volume do massalote seria 15% o volume da peça.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente foram realizadas algumas simulações usando os mesmos dados, porém com malhas diferentes para avaliar a influência do refinamento da malha nos resultados. Com o aumento do número de nós houve uma diminuição considerável no tempo de solidificação e também na localização do último ponto a solidificar que ficou mais próximo do centro do massalote. Baseados nos resultados obtidos e levando em conta as limitações do computador utilizado, optou-se para simulações com um número de nós em torno de 2400, devido a maior variação térmica e mudança de fase na mesma.

Foi usado na simulação o elemento Solid70 do Ansys, devido a capacidade de condução térmica tri-dimensional. O elemento tem oito nós com um único grau de liberdade, temperatura, em cada nó, sendo aplicável a análises térmicas em regime permanente e transiente.

As coordenadas do último ponto a solidificar são dadas em relação ao sistema de referências da peça, Fig. (1).

Para uma espessura de areia em torno da peça de  $S = 20$  mm, o molde ficou com as dimensões:  $x = 240$  mm,  $y = 97$  mm e  $z = 77$  mm. O diâmetro do massalote igual a altura: 37 mm. A Fig. (3a) mostra o tempo de solidificação e a Fig. (3b) o gradiente térmico, e as coordenadas do último ponto a solidificar MX:  $x = 100$  mm,  $y = 25$  mm e  $z = 10$  mm. Nas coordenadas o valor de  $x$  e  $z$  não se alteram, desta forma não serão mais mencionados. Nesta situação o rechape se formaria logo acima da linha de ligação do massalote com a peça.

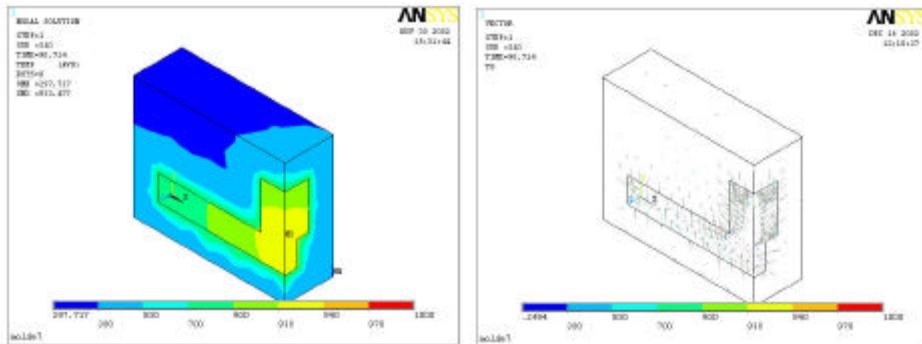


Figura 3. Campo de temperaturas de solidificação(a) tempo 90,71s e (b) gradiente térmico.

Reduzindo as dimensões do molde para  $x = 240$  mm,  $y = 90$  mm e  $z = 70$  mm, e o diâmetro/altura do massalote para 30 mm, a coordenada do último ponto de solidificação MX,  $y = 16$  mm. A Fig. (4a) ilustra o campo de temperatura de solidificação e a Fig. (4b) os gradientes térmicos.

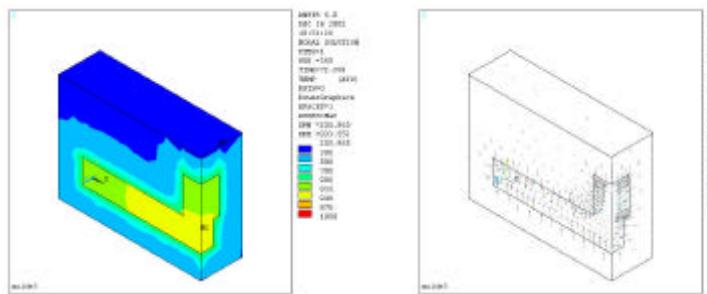


Figura 4. Campos de temperatura de solidificação, tempo de 75,28s (a) e gradiente térmico (b).

Molde com dimensões  $x = 240\text{mm}$ ,  $y = 102\text{mm}$  e  $z = 80\text{ mm}$ , e massalote com diâmetro/altura 40 mm, o último ponto solidifica no massalote em  $y = 30,5\text{ mm}$ , Fig. (5a) e Fig. (5b).

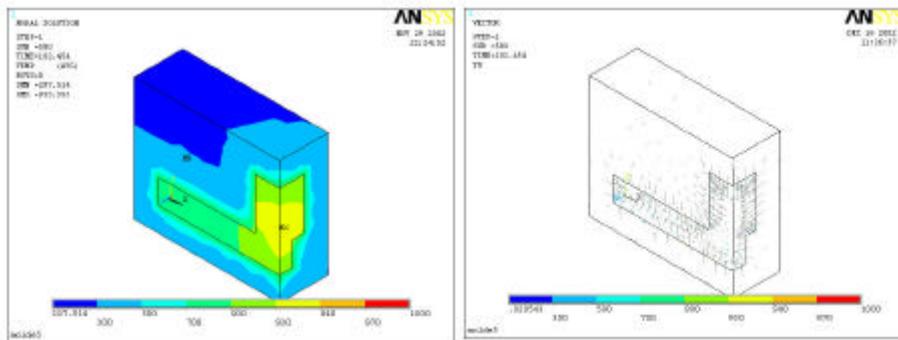


Figura 5. Campos de temperatura de solidificação, tempo de 102,45s (a) e gradiente térmico (b).

Molde com dimensões  $x = 240\text{mm}$ ,  $y = 98\text{mm}$  e  $z = 78\text{ mm}$ , e massalote com diâmetro/altura 38 mm, o último ponto solidifica no massalote em  $y = 22\text{ mm}$ , Fig. (6a) e Fig. (6b).

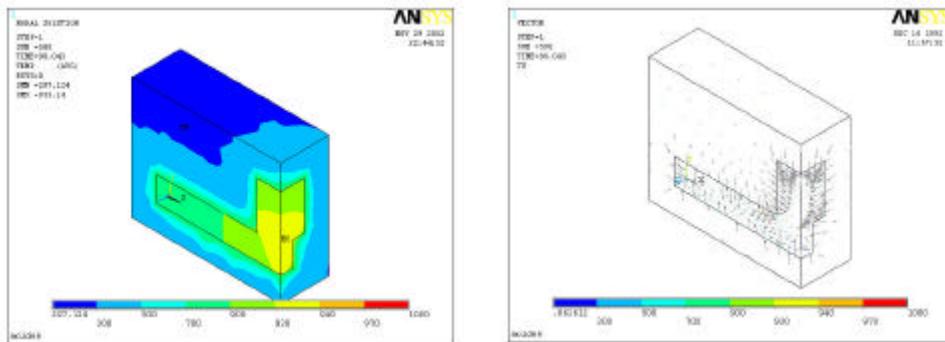


Figura 6. Campos de temperatura de solidificação, tempo de 98,04s (a) e gradiente térmico (b).

Procurando avaliar a influência da espessura da areia ao redor da peça, na transferência de calor, foi empregado um valor  $S = 5\text{mm}$ , o que leva a um molde com as seguintes dimensões:  $x = 210\text{ mm}$ ,  $y = 67\text{ mm}$ ,  $z = 47\text{ mm}$ , com um valor diâmetro do massalote/altura, 37 mm. O último ponto de solidificação é no massalote, em  $y = 25\text{ mm}$ , Fig. (7a) e gradiente térmico Fig. (7a).

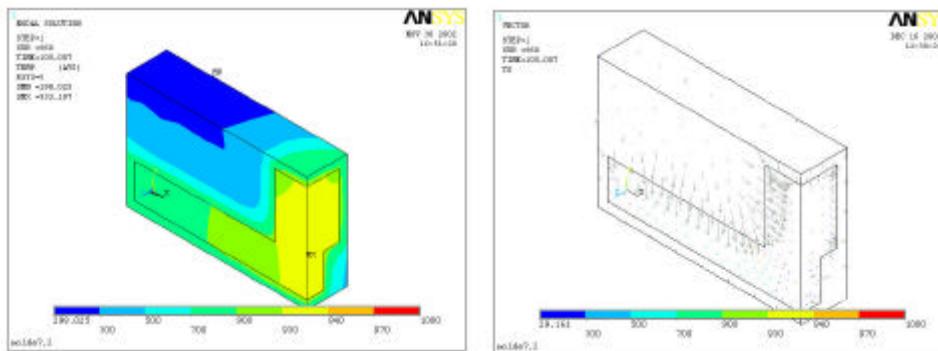


Figura 7. Campos de temperatura de solidificação, tempo de 105,0s (a) e gradiente térmico (b).

Molde com espessura de  $S = 10\text{ mm}$ ,  $x = 220\text{ mm}$ ,  $y = 77\text{ mm}$ ,  $z = 57\text{ mm}$ , e massalote com diâmetro/altura 37 mm, o último ponto solidifica no massalote em  $y = 25\text{ mm}$ . As Fig. (8a) e (8b) mostram o ponto de solidificação e gradiente térmico.

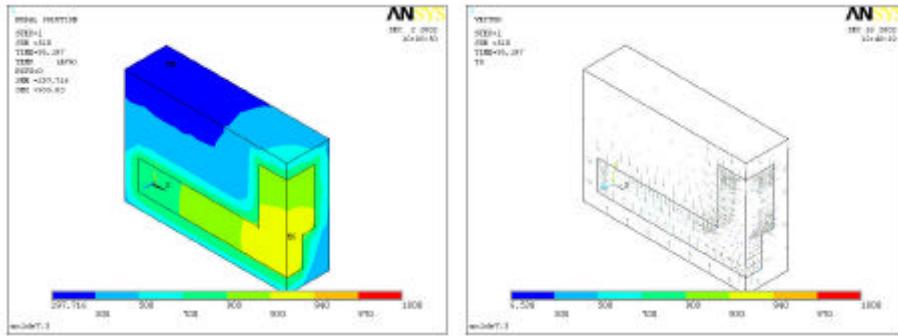


Figura 8. Campos de temperatura de solidificação, tempo de 95,194s (a) e gradiente térmico (b).

Em um caso extremo, não realizável na prática, foi considerada uma peça fundida sem molde, somente com resfriamento de convecção, para um massalote de diâmetro/altura 37 mm. As Fig. (9a) e (9b), exemplificam os resultados.

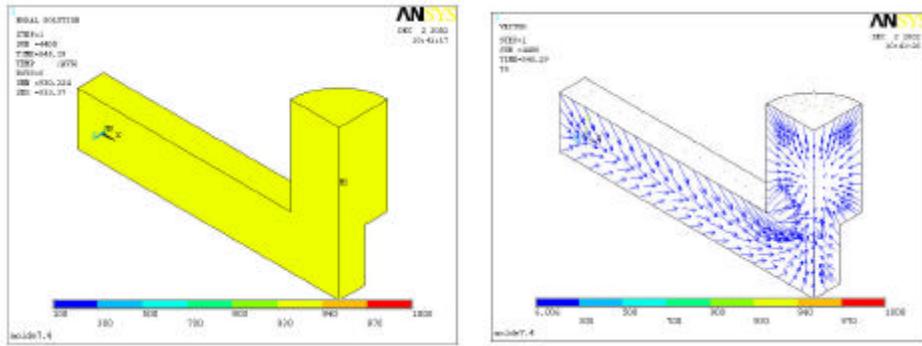


Figura 9. Campos de temperatura de solidificação, tempo de 845,29s (a) e gradiente térmico (b).

A Fig. (10) mostra a relação da espessura do molde no tempo de solidificação da peça, conforme os valores empregados na simulação.

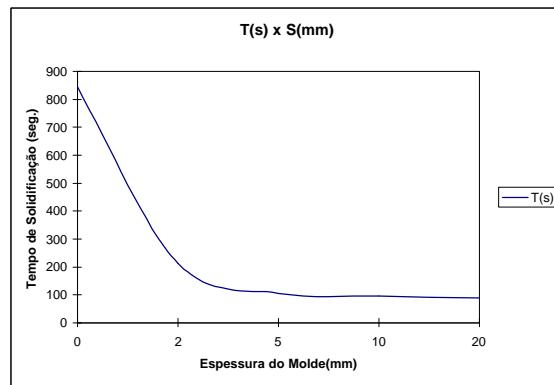


Figura 10. Tempo de solidificação em função da espessura de areia do molde.

#### 4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos nas simulações empregando massalotes de volumes diferentes, chegou-se a resultados que mostram que o diâmetro e altura do massalote mínimos devem ser de 37 mm. É necessário observar que o ponto de formação de rechuve ficaria apenas 5 mm da interface

massalote peça, o que na prática provavelmente provocaria defeitos na peça. Os resultados obtidos mostram uma diferença muito grande para a regra de Chvorinov em que o diâmetro do massalote e sua altura seriam de 25 mm, com o rechuve no interior da peça. Esta diferença deveria ser compensada com um coeficiente de segurança que considera a parte do metal que solidifica no massalote e que não é levado para a peça.

Os resultados obtidos na análise da influência da espessura do molde no tempo de solidificação da peça mostraram que para espessuras acima de 5 mm, o valor torna-se constante. No caso de diminuições desta espessura até um caso extremo sem molde, o tempo de solidificação foi maior devido a transferência de calor por convecção para o ar ser menor que a transferência de calor por condução pela areia.

## 5. REFERÊNCIAS

- Heine, R.W., Loper Jr, C.R. and Rosenthal, E.C.P., 1967, "Principles of Metal Casting", Ed. McGraw-Hill, 2<sup>a</sup> ed., p.
- Guleyupoglu, S., 1997, "Casting Process Design Guidelines", Transaction of AFS, Vol 105, No. 83, pp. 869-876.
- Kuo, Y-S., Chang, E. And Lin, Y-L. 1989, "The Feeding Effects of Risers on the Mechanical Properties of A201 Al Alloy Plate Casting", Transaction of AFS, Vol. 97, No. 159, pp. 777-782.
- Moosbrugger, J.C. and and Berry, J.T., 1986, "Calculation of Feeding Range Data for Hypoeutectic A-357 Alloy Using FEM: Solidification Model Results", Transaction of AFS, Vol. 94, No. 64, pp.373-380.
- Shehata, F.A., 1997, "Computer-Aided Foundry Cupola and Mold Analysis", J. Mat. Proc. Tech., Vol. 63, pp. 655-660.
- Crespo, R.S., 1996, "Solução Numérica de Problemas de Mudança de Fase Usando Formulação em um Domínio com Acompanhamento de Frente", Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Nedjar, B., 2002, "An Enthalpy-Based Finite Element Method for Nonlinear Heat Problems Involving Phase Change", Comp and Structures, Vol. 80, pp. 9-21.
- Manual de Teoria do Ansys 6.0, 2000, "Transient Thermal Analysis", Chapter 3, p.
- Viscanta, R., 1985, "Natural Convection in Melting and Solidification: Fundamental and Application", Eds. S. Kakac et al, Hemisphere, Washington, pp. 845-877.
- Maliska, C.R., 1995, "Transferência de Calor e Mecânica dos Fluidos Computacional", Ed. LTC, Rio de Janeiro, p.
- Bathe, K.J., 1996, "Finite Element Procedures", Ed. Prentice-Hall, India Private Ltd., p.
- Zienkiewicz, O.C. and Taylor, R.L., 1988, "The Finite Element Method: Basic Formulations and Linear Problems", Vol. 1, 4<sup>a</sup> ed., Ed. McGraw-Hill, New York, .
- Lewis, R.W., Morgan, K., Thomas, H.R. and Seetharamu, K.N., 1996, "The Finite Element Method in Heat Transfer Analysis", Ed. Wiley, New York, p.
- Robinson, D. and Palaninathan, R., 2001, "Thermal Analysis of Piston Casting Using 3-D Finite Element Method", Fin. Elem. In Anal. And Design, Vol 37, pp. 85-95.
- Hasan, G.A., 1987, "The Front Tracking Scheme for the One-Dimensional Freezing Problem", Int. J. Methods Eng., Vol. 24, pp. 859-869.
- Karl-Hermann, T., 1985, "Discretization of the Explicit Enthalpy Method for Planar Phase Change", Int. J. Numer. Methods Eng., Vol 21, pp. 543-554.
- Droux, J.-J., 1991, "Three-Dimensional Numerical Simulation of Solidification by an Improved Explicit Scheme", Comp. Methods Appl. Mech. Eng., Vol. 85, pp. 57-74.
- Sully, L.J.D., 1976, "The Thermal Interface Between Casting and Chill Moulds", Transaction of AFS, Vol. 84, No. , pp.
- Hou, T.X. and Phelke, R.D., 1988, "Determination of Mold-Metal Interfacial Heat Transfer and Simulation of Solidification of an Aluminum-13% Silicon Casting". Transaction of AFS, Vol. 96, No. , pp.129-136.

Chvorinov, N., 1940, "Theory of the Solidification of Castings", Giesseri, Vol. 27, No. 10, pp. 177-225. British Iron and Steel Institute Translation, No. 117.

## SIMULATION OF ALUMINUM PIECE CAST IN SAND MOLD

### **Jason Alves Martins**

Federal University of Santa Maria – CT- DEM  
Campus Universitário Camobi, 97105-900 – Sta Maria, RS  
[jalvesmartins@yahoo.com.br](mailto:jalvesmartins@yahoo.com.br)

### **Aleir Antonio Fontana De Paris**

Federal University of Santa Maria – CT- DEM  
Campus Universitário Camobi, 97105-900 – Sta Maria, RS  
[aparis@ct.ufsm.br](mailto:aparis@ct.ufsm.br)

### **Carlos Henrique de Andrade Molenda**

Federal University of Santa Maria – CT- DEM  
Campus Universitário Camobi, 97105-900 – Sta Maria, RS  
[molenda@ct.ufsm.br](mailto:molenda@ct.ufsm.br)

**Abstract.** *The techniques and formulas employed in the foundry for molding of pieces, location and risers dimensions, are still today quite empiric, being used the use of successive experimentation commonly with different configurations of molds and risers to meet the best solution, this method aggregate many costs to the project. The use of numeric simulation in heat transfer represents economy and reduction of cast pieces project time, supplying a quite precise forecast in the alloys solidification. To determine the system of piece risers of aluminum cast in mold of green sand, numeric simulation was used and compared with the rule of the modules. Starting from different riser sizes it was obtained a minimum volume to feed the piece without defects. The results obtained in the analysis of the influence of the thickness of the mold and piece solidification time showed that for the studied piece the time of solidification is not modified for thickness of the mold above 5 mm and it increases quickly for decreases of the thickness below the mentioned value.*

**Keywords.** Foundry, Numerical Simulation, Aluminum, Mold, Riser.