

República Federativa do Brasil  
Ministério do Desenvolvimento, Indústria  
e do Comércio Exterior  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

(21) **PI 0710449-9 A2**



(22) Data de Depósito: 06/04/2007  
(43) Data da Publicação: 27/03/2012  
(RPI 2151)

(51) *Int.Cl.:*  
B22D 37/00

**(54) Título:** MÉTODO PARA CONTROLAR O DESPEJAMENTO AUTOMÁTICO DE METAL FUNDIDO POR INTERMÉDIO DE UM CADINHO E MEIOS PARA GRAVAR PROGRAMAS PARA CONTROLAR A INCLINAÇÃO DE UM CADINHO

**(30) Prioridade Unionista:** 14/04/2006 JP 2006-111883

**(73) Titular(es):** National University Corporation Toyohashi University Of Technology, Sintokogio, Ltd.

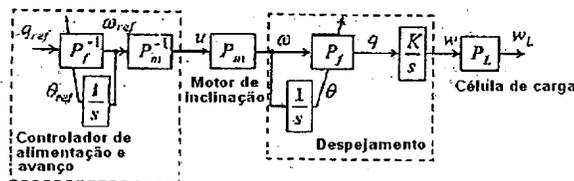
**(72) Inventor(es):** Kazuhiko Terashima, Kazuhiro Ota, Makio Suzuki, Yoshiyuki Noda

**(74) Procurador(es):** Orlando de Souza / OAB: 0474

**(86) Pedido Internacional:** PCT JP2007057757 de 06/04/2007

**(87) Publicação Internacional:** WO 2007/119697 de 25/10/2007

**(57) Resumo:** MÉTODO PARA CONTROLAR O DESPEJAMENTO AUTOMÁTICO DE METAL FUNDIDO POR INTERMÉDIO DE UM CADINHO E MEIOS PARA GRAVAR PROGRAMAS PARA CONTROLAR A INCLINAÇÃO DE UM CADINHO. A presente invenção provê um método para controlar o despejamento automático de metal fundido por um cadinho que é inclinado, em que o despejamento pode ser realizado de uma forma que seja tão próxima quanto possível daquela de um operador experiente mediante uso de um computador que tem programas previamente instalados para tal finalidade. O método controla um motor auxiliar, correspondendo ao padrão de fluxo desejado do metal fundido, de modo que o metal fundido pode ser despejado em um molde, em que o motor auxiliar, o qual inclina o cadinho para despejar o metal fundido no molde, é controlado por um computador que tem programas previamente instalados para controlar o despejamento. O método é caracterizado pelo fato de compreender a produção de um modelo matemático cobrindo uma voltagem elétrica que é fornecida ao motor auxiliar através do fluxo do metal fundido despejado pelo cadinho, obtendo O se então a voltagem elétrica a ser fornecida ao motor auxiliar mediante resolução do problema inverso do modelo matemático desse modo produzido, e controlando o motor auxiliar com base na voltagem elétrica assim obtida e a ser fornecida ao motor auxiliar.



MÉTODO PARA CONTROLAR O DESPEJAMENTO AUTOMÁTICO DE METAL  
FUNDIDO POR INTERMÉDIO DE UM CADINHO E MEIOS PARA GRAVAR  
PROGRAMAS PARA CONTROLAR A INCLINAÇÃO DE UM CADINHO

Campo Técnico

5 A presente invenção se refere a um método para  
controlar o despejamento automático do metal fundido por  
intermédio de um cadinho e aos meios para gravar programas  
para controlar a inclinação do cadinho. Mais  
especificamente, ela se refere a um método de controlar um  
10 motor auxiliar (servomotor) e aos meios que gravam os  
programas para controlar a inclinação do cadinho, de modo a  
resultar em um metal fundido sendo despejado dentro de um  
molde com o padrão de fluxo desejado, em que o cadinho é  
inclinado por intermédio do motor auxiliar, o qual é  
15 controlado por um computador que é programado  
antecipadamente para despejar o metal fundido.

Recentemente mecanizações e automatizações foram  
introduzidas no processo de despejamento em oficinas de  
fundição para liberar os operadores do trabalho  
20 extremamente perigoso e duro encontrado naquele processo.  
Convencionalmente é adotado um sistema que compreende um  
cadinho, um meio para acionar o cadinho, um meio para  
detectar o peso do cadinho, e um dispositivo de gravação e  
processamento que grava antecipadamente a proporção da  
25 mudança de peso no cadinho quando o cadinho é inclinado,  
ajusta a velocidade da inclinação do cadinho correspondendo  
ao sinal recebido a partir do meio para detectar o peso, e  
após o ajuste envia para o meio para acionar o cadinho um  
sinal sobre a velocidade de inclinação do cadinho (vide  
30 documento 1 de Patente).

(Documento 1 de Patente: Publicação de Pedido de Patente aberta à inspeção pública N° H6-7919)

### **Descrição Detalhada da Invenção**

#### **Problemas a serem resolvidos**

5           Contudo, o sistema convencional de despejamento automático desse modo constituído tem um problema, por exemplo, em que os dados introduzidos no dispositivo de gravação e processamento, da invenção, por exemplo, no dispositivo para acionar o cadinho, são realizados  
10 praticamente por um método de ensinar e reproduzir. Portanto o sistema não pode lidar com uma velocidade inapropriada de inclinação do cadinho ou mudanças nas condições do despejamento. Como resultado, por exemplo, as peças fundidas se tornam de qualidade inferior, porque uma  
15 quantidade suficiente de metal fundido não é despejada no molde, ou impurezas como poeira, escória, etc. são dispostas no molde.

A presente invenção tem como objetivo resolver os problemas mencionados acima. A presente invenção provê um  
20 método para controlar o despejamento automático por intermédio de um cadinho, o qual é inclinado para despejar o metal fundido; e meios que gravam os programas para controlar a inclinação do cadinho, em que o despejamento pode ser realizado de uma maneira que é tão próxima quanto  
25 possível daquela de um operador experiente mediante uso de um computador que tem programas previamente instalados para tal propósito.

#### **Meio para resolver os problemas**

Para alcançar o objetivo mencionado acima, o método  
30 para controlar o despejamento automático por intermédio de

um cadinho da presente invenção é aquele que controla um motor auxiliar, correspondendo ao padrão de fluxo desejado do metal fundido, de modo que o metal fundido pode ser despejado em um molde, em que o motor auxiliar, o qual  
5 inclina o cadinho para despejar o metal fundido em um molde, é controlado por um computador que tem programas previamente instalados que controlam o processo de despejamento. O método é caracterizado em que ele compreende a produção de um modelo matemático cobrindo uma  
10 voltagem elétrica que é fornecida ao motor auxiliar através do fluxo do metal fundido despejado pelo cadinho, obtendo-se então a voltagem elétrica a ser fornecida ao motor auxiliar mediante resolução do problema inverso do modelo matemático assim produzido, e controlar o motor auxiliar  
15 com base na voltagem elétrica assim obtida e a ser fornecida ao motor auxiliar.

O método do modelo matemático que é usado para o propósito da presente invenção é aquele que inclui obter, mediante resolução das expressões relacionadas ao  
20 equilíbrio térmico de um processo, o equilíbrio das substâncias, reações químicas, condições limitadoras, etc., funções, tais como lucros, custos, etc., que são os objetos a serem controlados pelo computador, e obter os valores, máximo e mínimo, das funções e então controlar o processo  
25 para obter os mesmos.

Na presente invenção, um cadinho de um formato cilíndrico que tem uma posição de vazão de formato retangular, ou um cadinho com um formato de um leque em sua  
30 seção transversal longitudinal, cujo cadinho tem uma posição de vazão de formato retangular é usado. O cadinho é

sustentado em uma posição próxima ao seu centro de gravidade.

#### **Os efeitos da invenção**

Como é evidente a partir das explanações anteriores, o método da presente invenção se refere ao controle do motor auxiliar de modo que o metal fundido possa ser despejado no molde a partir do cadinho com o padrão de fluxo desejado do metal fundido, quando o metal fundido é despejado dentro do molde a partir do cadinho que é incluindo por intermédio de um motor auxiliar que é controlado por um computador. O computador é previamente instalado com os programas que devem controlar o processo de despejamento. O método compreende produzir um modelo matemático cobrindo uma voltagem elétrica que é fornecida ao motor auxiliar através do fluxo do metal fundido despejado pelo cadinho, obter uma voltagem elétrica a ser fornecida ao motor auxiliar mediante resolução do problema inverso do modelo matemático desse modo produzido, e controlar o motor auxiliar com base na voltagem elétrica a ser fornecida ao motor auxiliar. Desse modo, o método da presente invenção tem um efeito vantajoso tal como aquele do despejamento automático por intermédio do cadinho que pode ser realizado pelos programas que são previamente instalados em um computador. Portanto, o despejamento pode ser realizado de uma maneira que é tão aproximada quanto possível daquela de um operador experiente.

#### **Melhor modo de realização da invenção**

Abaixo, com base nas Figuras 1-14, uma modalidade do equipamento de despejamento automático, a qual a presente invenção é aplicada, é explicada em detalhe por intermédio

dos Exemplos.

Conforme mostrado na Figura 1, o equipamento de despejamento automático da presente invenção compreende um cadinho 1 com um formato cilíndrico tendo uma posição de vazão de formato retangular, um motor auxiliar 2 que inclina esse cadinho 1, um meio de transferência 5 que transfere o cadinho 1 e motor auxiliar 2 verticalmente e horizontalmente por intermédio de dois conjuntos de mecanismos de parafuso esférico 3, 4 que convertem um movimento rotacional de um eixo geométrico da saída do motor auxiliar em um movimento linear, uma célula de carga (não mostrada) que detecta o peso do metal fundido no cadinho 1, e um sistema de controle 6 que calcula os movimentos do motor auxiliar 2 e de dois conjuntos de mecanismos de parafuso esférico 3, 4 e que também controla os mesmos mediante uso de um computador.

O eixo geométrico de saída do motor auxiliar 2 é conectado ao centro de gravidade do cadinho 1. O cadinho é sustentado em seu centro de gravidade e pode ser inclinado para frente e para trás em torno do mesmo na direção voltada para, e no sentido contrário do jito do molde. Como o cadinho pode se inclinar em torno de seu centro de gravidade, o peso da carga sobre o motor auxiliar 2 pode ser reduzido.

Para ter o metal fundido despejado precisamente no jito do molde, o mecanismo de transferência 5 opera de uma maneira na qual ele desloca o cadinho para trás e para frente e para cima e para baixo em coordenação com a inclinação do cadinho, de tal modo que a extremidade da posição da vazão pode atuar como um ponto central fixo para

um eixo virtual para giro.

O equipamento de despejamento automático desse modo constituído controla a inclinação do cadinho 1 por intermédio de um sistema de controle 6, correspondendo à 5 voltagem elétrica fornecida ao motor auxiliar 2. A voltagem elétrica é obtida mediante resolução do problema inverso de um modelo matemático que é produzido. O modelo mostra a relação entre a inclinação do cadinho a qual é causada pela voltagem elétrica fornecida ao motor auxiliar 2 e o fluxo 10 do metal fundido a ser despejado a partir do cadinho 1 por intermédio da inclinação do cadinho.

Isto é, na Figura 2, a qual mostra uma vista em seção vertical do cadinho 1 quando ele está despejando, dado que  $\theta$  (grau) é o ângulo da inclinação do cadinho 1,  $V_s(\theta)$  ( $m^3$ ) é 15 o volume do metal fundido (uma região escuramente sombreada) abaixo da linha que se estende horizontalmente através da posição de vazão, a qual é o centro da inclinação do cadinho 1,  $A(\theta)$  ( $m^2$ ) é a área horizontal na posição de vazão (a área limitando da área horizontal entre 20 a região escuramente sombreada e a região claramente sombreada),  $V_r(m^3)$  é o volume do metal fundido acima da posição de vazão (a região claramente sombreada),  $h(m)$  é a altura do metal fundido acima da posição de vazão, e  $q(m^3/s)$  é o volume do metal fundido que flui a partir do 25 cadinho 1, então a expressão que mostra o equilíbrio do metal fundido no cadinho 1, a partir do tempo  $t(s)$  até o  $\Delta t$  após  $t(s)$  ser fornecido pela seguinte expressão (1):

$$V_r(t) + V_s(\theta(t)) \\ = V_r(t + \Delta t) + V_s(\theta(t + \Delta t)) + q(t)\Delta t \quad (1)$$

30 Se os termos têm  $V_r(m^3)$  na expressão (1) forem

colocados juntos e  $\Delta t$  for induzido a ser  $\rightarrow 0$ , a expressão a seguir (2) é obtida:

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{V_r(t + \Delta t) - V_r(t)}{\Delta t} = \frac{dV_r(t)}{dt}$$

$$= -q(t) - \frac{\alpha V_s(\theta(t))}{dt} = -q(t) - \frac{\partial V_s(\theta(t))}{\partial \theta(t)} \frac{d\theta(t)}{dt} \quad (2)$$

Além disso, a velocidade angular da inclinação do cadinho 1,  $\omega$ (graus/s), é definida pela seguinte expressão (3):

$$\omega = d\theta(t)/dt \quad (3)$$

Se a expressão (3) for substituída do valor na expressão (2), então a expressão (4) é obtida.

$$\frac{dV_r(t)}{dt} = -q(t) - \frac{\partial V_s(\theta(t))}{\partial \theta(t)} \omega(t) \quad (4)$$

O volume do metal fundido acima da posição de vazão  $V_r$ (m<sup>3</sup>) é dada pela seguinte expressão (5):

$$V_r(t) = \int_0^{h(t)} A_s(\theta(t), h_s) dh_s \quad (5)$$

A área  $A_s$ (m<sup>2</sup>) mostra a área horizontal do metal fundido na altura  $h_s$ (m) acima da área horizontal da posição de vazão.

Se a área  $A_s$ (m<sup>2</sup>) for decomposta na área horizontal da posição de vazão  $A$ (m<sup>2</sup>) e a quantidade da mudança de área ( $\Delta A_s$ (m<sup>2</sup>)) em relação à área  $A$ (m<sup>2</sup>), então o volume  $V_r$ (m<sup>3</sup>) é dado pela seguinte expressão (6):

$$V_r(t) = \int_0^{h(t)} (A(\theta(t)) + \Delta A_s(\theta(t), h_s)) dh_s$$

$$= A(\theta(t))h(t) + \int_0^{h(t)} \Delta A_s(\theta(t), h_s) dh_s \quad (6)$$

Com os cadinhos em geral, incluindo o cadinho 1, porque a quantidade da mudança da área ( $\Delta A_s$ (m<sup>2</sup>)) é muito pequena em comparação com a área horizontal na posição de vazão  $A$ (m<sup>2</sup>), a seguinte expressão (7) é obtida:

$$A(\theta(t))h(t) \gg \int_0^{h(t)} \Delta A_s(\theta(t), h_s) dh_s \quad (7)$$

Desse modo a expressão (6) pode ser mostrada como a seguinte expressão (8):

$$5 \quad V_r(t) \square A(\theta(t))h(t) \quad (8)$$

Então a expressão seguinte (9) é obtida a partir da expressão (8):

$$h(t) \square V_r(t) / A(\theta(t)) \quad (9)$$

O fluxo do metal fundido  $q(\text{m}^3/\text{s})$  que flui a partir do  
 10 cadinho 1 na altura  $h(\text{m})$  acima da posição de vazão é obtido a partir do teorema de Bernouilli. O mesmo é dado pela seguinte expressão (10):

$$q(t) = c \int_0^{h(t)} (L_f(h_b) \sqrt{2gh_b}) dh_b, \quad (0 < c < 1) \quad (10)$$

15 em que  $h_b(\text{m})$  é, conforme mostrado na Figura 4, a profundidade do metal derretida a partir de sua superfície no cadinho 1,  $L_f(\text{m})$  é a largura da posição de vazão na profundidade  $h_b(\text{m})$  do metal fundido,  $c$  é um coeficiente do fluxo do metal fundido que flui para fora, e  $g$  é a  
 20 aceleração gravitacional.

Além disso, as expressões (11) e (12) a seguir, as quais mostram o modelo básico da expressão para o fluxo do metal fundido, são obtidas a partir das expressões (4), (9)

$$25 \quad q(t) = \frac{dV_r(t)}{dt} = -c \int_0^{\frac{V_r(t)}{A(\theta(t))}} (L_f(h_b) \sqrt{2gh_b}) dh_b - \frac{\partial V_s(\theta(t))}{\partial \theta} \omega(t) \quad (11)$$

Além disso, a largura da posição de vazão de formato retangular do cadinho a,  $L_f(\text{m})$ , é constante em relação à  
 30  $h_b(\text{m})$ , a qual é a profundidade a partir da superfície do

metal fundido no cadinho 1. Então o fluxo do metal fundido,  $q(\text{m}^3/\text{s})$ , que flui a partir do cadinho 1 é obtido a partir da expressão (10) e dado pela seguinte expressão (13):

$$q(t) = \frac{2}{3} c L_f \sqrt{2gh(t)}^{3/2}, \quad (0 < c < 1) \quad (13)$$

5

Isso leva ao seguinte: substituir a expressão (13) para os valores de cada uma das expressões (11) e (12), que mostram as expressões de modelo básico para o fluxo do metal fundido, e então as seguintes expressões modelo para o fluxo do metal fundido (14) e (15) são obtidas:

10

$$\frac{dV_r(t)}{dt} = -\frac{2cL_f\sqrt{2g}}{3A(\theta(t))^{3/2}} V_r(t)^{3/2} - \frac{\partial V_s(\theta(t))}{\partial \theta} \omega(t) \quad (14)$$

15

$$q(t) = \frac{2cL_f\sqrt{2g}}{3A(\theta(t))^{3/2}} V_r(t)^{3/2}, \quad (0 < c < 1) \quad (15)$$

20

A área horizontal da posição de vazão,  $A(\theta)$  ( $\text{m}^2$ ), muda dependendo do ângulo de inclinação do cadinho 1,  $(\theta)$  (graus). Desse modo as expressões modelo (14) e (15) para o fluxo do metal fundido serão modelos não-lineares. Seus parâmetros são variáveis dependendo de como a matriz de sistema, matriz de entrada, e matriz de saída variam com base no ângulo da inclinação do cadinho 1.

25

Um experimento foi realizado utilizando o equipamento de despejamento automático da presente invenção, de modo a identificar o coeficiente do fluxo do metal fundido, e para examinar a eficácia dos modelos aqui propostos, em que água é usada para o metal fundido.

30

A Figura 5 é um diagrama de blocos que mostra o processo do despejamento por intermédio do equipamento de despejamento automático da presente invenção. Na Figura 5

$P_m$  denota um motor. Um modelo para os giros do motor é mostrado pela seguinte expressão (21) do retardo de primeira ordem:

$$d\omega(t)/dt = -\omega(t)/T_m + K_m u(t)/T_m \quad (21),$$

5 em que  $T_m(s)$  denota uma constante de tempo e  $K_m$  (graus/s V) denota uma constante de ganho. No presente equipamento de despejamento automático,  $T_m = 0.006(s)$ , e  $K_m = 24.58$  (graus/s V).

Além disso, na Figura 5,  $P_f$  mostra uma expressão  
10 modelo para o fluxo do líquido que flui a partir do cadinho que tem uma posição de vazão no formato retangular, tal como o modelo para o equipamento de despejamento automático da presente invenção, dado pelas expressões (14) e (15). O volume do líquido que flui para fora é calculado mediante  
15 integração do volume do líquido obtido a partir do modelo para o volume do líquido que flui para fora. O peso do líquido que flui para fora é obtido mediante multiplicação de  $K$  vezes o volume do líquido que flui para fora. No presente experimento, a água é usada como um líquido.  
20 Assim,  $K$  é  $1.0 \times 10^3$  (Kg/m<sup>3</sup>).

Se as características dinâmicas da célula de carga forem consideradas, então PL da célula de carga é mostrado pelo seguinte expressão (22):

$$dw_L/dt = -w_L(t)/T_L + w(t)/T_L \quad (22),$$

25 em que  $w(Kg)$  é o peso do líquido que fluiu a partir do cadinho 1,  $w_L$  (Kg) é o peso a ser medido pela célula de carga, e  $T_L(s)$  é uma constante de tempo que mostra o retardo da resposta da célula de carga. No presente equipamento de despejamento automático, onde a constante de  
30 tempo foi medida por um método de resposta em etapas,  $T_L$

foi identificado como  $T_L=0.10(s)$ .

Com relação às expressões modelo (14) e (15) para o fluxo do metal fundido, a Figura 6 mostra a área horizontal na posição de vazão,  $A(\theta) (m^2)$ , no ângulo da inclinação do cadinho 1,  $\theta(\text{graus})$ , e o volume do metal fundido (líquido),  $V_s(\theta) (m^3)$ , abaixo da linha que se estende horizontalmente através da posição de vazão. Na Figura 6, (a) mostra a área horizontal da posição de vazão,  $A(\theta) (m^2)$ , quando o ângulo da inclinação do cadinho 1 é  $\theta(\text{graus})$ , (b) mostra o volume do metal fundido (líquido),  $V_s(\theta) (m^3)$ , abaixo da linha que se estende horizontalmente através da posição de vazão, quando o ângulo da inclinação do cadinho é de  $\theta(\text{grau})$ .

Para identificar o coeficiente  $c$  do fluxo do metal fundido, o despejamento é realizado enquanto a velocidade angular da inclinação do cadinho 1,  $\omega(\text{grau/s})$ , é mantida constante. O peso do líquido que flui a partir do cadinho 1 e que é medido pela célula de carga no experimento e o resultado obtido a partir da simulação utilizando as expressões (14) e (15) são comparados. Então um coeficiente apropriado é produzido de modo a ter o peso e o resultado obtido a partir da simulação sendo consistentes. Como resultado, o coeficiente que é obtido é  $c=0.70$ .

Os resultados do experimento para identificação são mostrados na Figura 7. Além disso, para examinar a eficácia dos modelos, os experimentos do despejamento foram realizados com os ângulos iniciais da inclinação do cadinho muito variados. Os resultados são mostrados na Figura 8.

O ângulo de inclinação inicial foi de  $39,0$  (graus) no início do despejamento no experimento para identificação. Os resultados do experimento são mostrados na Figura 7. O

ângulo de inclinação inicial foi de 44,0 (graus) no experimento para identificação para examinar a eficácia dos modelos. Os resultados do experimento são mostrados na Figura 8. Nas Figuras 7 e 8, (a) mostra a velocidade angular da inclinação do cadinho 1,  $\omega$ (graus/s), na simulação, (b) mostra o ângulo da inclinação do cadinho,  $\theta$ (graus), na simulação, (c) mostra o volume do líquido que flui a partir do cadinho 1,  $q$ (m<sup>3</sup>/s), na simulação, e (d) mostra o peso do líquido que flui a partir do cadinho 1,  $w_L$ (Kg), na simulação e experimentos.

Além disso, nas Figuras 7(d) e 8(d), a linha sólida mostra o peso do líquido que flui a partir do cadinho 1 no experimento de despejamento. A linha pontilhada mostra o peso do líquido que flui a partir do cadinho 1 na simulação. Tanto no experimento como na simulação as velocidades angulares da inclinação do cadinho são  $\omega=0.17$  (grau/s).

A partir do experimento e da simulação, é visto que a expressão modelo para o padrão de fluxo do metal fundido da presente invenção reflete muito exatamente o fluxo do metal fundido.

A seguir, por intermédio do uso da expressão modelo para o fluxo do metal fundido desse modo obtido, um controle de alimentação avante para o fluxo do metal fundido é construído, com base em seu modelo inverso.

O controle de alimentação avante é um método de controle em que a saída é controlada de modo que ela se torna um valor alvo, mediante ajuste para os valores predeterminados daqueles valores que serão adicionados aos objetos a serem controlados. Por intermédio desse método,

um controle favorável pode ser obtido se as relações da entrada para a saída nos objetos a serem controlados ou os efeitos de uma desordem exterior forem óbvias.

A Figura 9 é um diagrama de blocos para um sistema de controle em um sistema em que, de modo a se obter o padrão de fluxo desejado do metal fundido,  $q_{ref}(m^3/s)$ , a voltagem de entrada para controle de  $u(V)$  que é fornecida ao motor auxiliar 2 é obtida. O modelo inverso  $Pm^{-1}$  do motor auxiliar 2 é mostrado pela seguinte expressão (23):

$$u(t) = \frac{T_m}{K_m} \frac{d\omega_{ref}(t)}{dt} + \frac{1}{K_m} \omega_{ref}(t) \quad (23)$$

Um modelo inverso da expressão modelo, básica, para o fluxo do metal fundido conforme mostrado nas expressões (11) e (12) será obtido. O fluxo do metal fundido,  $q(m^3/s)$ , o qual é o volume do metal fundido que flui em uma altura  $h(m)$  acima da posição vazão, pode ser obtido a partir da expressão (10), a qual é o teorema de Bernouilli. A altura máxima,  $h_{max}(m)$ , é igualmente dividida por  $n$ . Cada altura dividida é denotada por  $\Delta h(m)$ , em que  $h_{max}(m)$  é a altura acima da posição de vazão quando a partir do formato do cadinho 1 o volume acima da posição de vazão é considerado como sendo o maior. Cada altura do metal fundido  $h_i$  é mostrada como  $h_i = i\Delta h (i=0, \dots, n)$ . Desse modo, o fluxo do metal fundido que flui,  $q = (q_0, q^1 \dots q_n)^T$ , para a altura,  $h = (h_0, h_1 \dots h_n)^T$ , é mostrado pela seguinte expressão (24):

$$q = f(h) \quad (24)$$

em que a função  $f(h)$  é o teorema de Bernouilli conforme mostrado pela expressão (10). Desse modo a função inversa da expressão (24) é dada pela seguinte expressão

(25):

$$h=f^{-1}(q) \quad (25)$$

Essa expressão (25) pode ser obtida mediante inversão da relação dos fatores de entrada e de saída na expressão (24). (h) na expressão (25) é obtido a partir da "Tabela de  
5 Consulta". Agora, se  $q_i \rightarrow q_{i+1}$ , e  $h_i \rightarrow h_{i+1}$ , então a relação pode ser expressa por uma interpolação linear. Se for mais estreita a largura que é obtida após a altura,  $h_{\max}(m)$ , ser dividida, mais precisamente pode ser expressa a relação do  
10 fluxo do metal fundido,  $q(m^3/s)$ , para a altura  $h(m)$  acima da posição de vazão. Desse modo, é desejável fazer a largura da divisão a mais estreita possível.

A altura do metal fundido acima da posição de vazão,  $h_{ref}(m)$ , que é para obter o padrão de fluxo desejado do metal fundido,  $q_{ref}(m^3/s)$ , é obtida a partir da expressão  
15 (25) e é mostrada pela seguinte expressão (26).

$$h_{ref}(t) = f^{-1}(q_{ref}(t)) \quad (26)$$

Além disso, como a altura do metal fundido acima da posição de fluxo é  $h_{ref}(m)$ , o volume do metal fundido acima da posição de vazão,  $V_{ref}(m)$ , é mostrado pela expressão  
20 (26), a qual é obtida a partir da expressão (25).

$$V_{ref}(t) = A(\theta(t)) h_{ref}(t) \quad (27)$$

A seguir, se o volume do metal fundido acima da posição de vazão,  $V_{ref}(m)$ , como mostrado pela expressão (27) e o padrão de fluxo desejado do metal fundido,  $q_{ref}(m^3/s)$ ,  
25 foram substitutos dos valores na expressão de modelo básico (11) para o fluxo do metal fundido, então a seguinte expressão (28) é obtida. A mesma mostra a velocidade angular da inclinação do cadinho 1,  $\omega_{ref}$  (grau/s). Essa velocidade angular é para se obter o padrão de fluxo  
30 desejado do metal fundido.

$$\omega_{ref}(t) = - \frac{\frac{dV_{rref}(t)}{dt} + q_{ref}(t)}{\frac{\partial V_s(\theta(t))}{\partial \theta(t)}} \quad (28)$$

Mediante resolução das expressões (24) a (28) e substituindo-se a velocidade angular da inclinação do cadinho 1,  $w_{ref}$  (grau/s), o qual é obtido, para os valores na expressão (23), de modo a produzir o padrão de fluxo desejado do metal fundido,  $q_{ref}$  (m<sup>3</sup>/s), a voltagem de entrada para controle,  $u$ (V), que deve ser fornecido ao motor auxiliar 2, pode ser obtida.

Além disso, o volume do metal fundido acima da posição de vazão,  $V_{ref}$  (m), a qual é para se obter o padrão de fluxo desejado do metal fundido,  $q_{ref}$  (m<sup>3</sup>/s), é expresso pela seguinte expressão (29) mediante uso da expressão (15):

$$V_{rref}(t) = \frac{3A(\theta(t))}{(2cL_f\sqrt{2g})^{2/3}} q_{ref}(t)^{2/3} \quad (29)$$

Substituir não somente o volume do metal fundido acima da posição de vazão  $V_{ref}$  (m), o qual foi obtido a partir da expressão (29), como também o padrão de fluxo desejado do metal fundido,  $q_{ref}$  (m<sup>3</sup>/s), para os valores na expressão (28). Então a velocidade angular da inclinação do cadinho 1,  $w_{ref}$  (grau/s), que é para se obter o padrão de fluxo desejado do metal fundido, é obtida. A seguir, substituir a velocidade angular da inclinação do cadinho 1,  $w_{ref}$  (graus/s), que foi obtida, pelo valor do modelo inverso da expressão (23) para o motor auxiliar 2. Então a voltagem de entrada para controle,  $u$ (V), que deve ser fornecido ao motor auxiliar 2, pode ser obtida.

A Figura 10 mostra os resultados de uma simulação quando o sistema de controle da Figura 9 é aplicado ao equipamento de despejamento automático da presente

invenção. Na presente simulação o ângulo inicial da inclinação do cadinho é ajustado como  $\theta=39.0$  (graus). Na Figura 10, (a) mostra o padrão de fluxo desejado do metal fundido,  $q_{ref}(m^3/s)$ , (b) mostra a velocidade angular da inclinação do cadinho 1,  $\omega_{ref}$  (graus/s), o qual é obtido a partir das expressões (28) e (29), e o qual é para obter o padrão de fluxo desejado do metal fundido, e (c) mostra o ângulo da inclinação do cadinho 1, ângulo  $\theta$ . (d) mostra a voltagem de entrada para controle,  $u(V)$ , que é fornecida ao motor auxiliar 2 e que é obtida mediante substituição da velocidade angular da inclinação do cadinho 1,  $w_{ref}$  (graus/s) para o valor da expressão (23) que é o modelo inverso do motor auxiliar 2.

A expressão do padrão de fluxo desejado do metal fundido,  $q_{ref}(m^3/s)$ , como mostrado pela Figura 10 (a), é usada para se obter a expressão para a voltagem de entrada para controle,  $u(V)$ , através do modelo inverso da expressão para o fluxo do metal fundido, o qual inclui o modelo para o motor auxiliar. Assim, a expressão do padrão de fluxo desejado do metal fundido deve ser capaz de ser diferenciado duas vezes.

Para completar o despejamento dentro de um curto período de tempo, é necessário despejar prontamente o metal fundido de modo que ele atinja um nível superior do jito do molde. Para essa finalidade, inicialmente o metal fundido deve ser despejado em uma quantidade maior. Então, quando o nível do metal fundido subir no jito, o metal fundido deve ser despejado em uma menor quantidade de modo que ele não goteje a partir do jito. Mediante uso da expressão 31 a seguir o padrão de fluxo desejado do metal fundido é

obtido, de modo a satisfazer todas essas exigências.

$$q_{ref}(t) = \begin{cases} \frac{Q_r}{2} \left(1 - \cos\left(\frac{\pi t}{T_{rise}}\right)\right) & (0 \leq t < T_r) \\ Q_{st} + \frac{Q_r - Q_{st}}{2} \left(1 + \cos\left(\frac{\pi t}{T_{st} - T_r}\right)\right) & (T_r \leq t < T_{st}) \\ Q_{st} & (t \geq T_{st}) \end{cases} \quad (31)$$

5 em que  $T_r(s)$  mostra o tempo quando inicia o despejamento do metal fundido, e  $Q_r(m^3/s)$  mostra o fluxo do metal fundido (fluxo máximo) no tempo  $T_r(s)$ .  $T_{st}(s)$  mostra o tempo a partir do início do despejamento do metal fundido até que o fluxo se torne constante. O fluxo constante é  
10 dado por  $Q_{st}(m^3/s)$ .

Além disso, quando a voltagem de entrada para controle,  $u(V)$ , da Figura 10 (d) é carregada no motor auxiliar 2, o padrão de fluxo desejado do metal fundido,  $q_{ref}(m^3/s)$ , é obtido.

15 O experimento de despejamento é realizado utilizando-se o equipamento de despejamento automático da presente invenção, utilizando o sistema mencionado acima para controlar o fluxo do metal fundido. A avaliação do despejamento é feita mediante medição, pela célula de  
20 carga, do peso  $w_L(Kg)$  do metal fundido que flui a partir do cadinho 1. Assim, o peso do metal fundido que flui a partir do cadinho 1 deve ser convertido, com base nos resultados das medições obtidas pela célula de carga, de tal modo que  
25 fundido,  $q_{ref}(m^3/s)$ .

A Figura 11 mostra os resultados obtidos a partir do padrão de fluxo desejado do metal fundido mostrado na Figura 10(a) após o volume do metal fundido que vaza ser convertido para o peso e processado pelo modelo de célula  
30 de carga conforme mostrado na Figura 5. Como o padrão de

fluxo desejado do metal fundido é conforme mostrado na Figura 11, então, se o sistema para controlar o fluxo do metal fundido da presente invenção for aplicado ao equipamento de despejamento automático da presente invenção, os resultados dos experimentos são obtidos tal como mostrado nas Figuras 12 e 13.

Na Figura 12, o ângulo inicial da inclinação do cadinho 1 é de 39.0 (graus) no início do despejamento. Na Figura 13, o ângulo inicial da inclinação do cadinho 1 é de 44.0 (graus) no início do despejamento.

Nas Figuras 12 e 13, (a) mostra a voltagem de entrada para controle,  $u(V)$ , que é fornecida ao motor auxiliar 2, (b) mostra a velocidade angular da inclinação do cadinho 1,  $\omega(\text{graus/s})$ , (c) mostra o ângulo da inclinação do cadinho 1,  $\theta(\text{graus})$ , e (d) mostra o peso  $w(\text{Kg})$ , o qual é medido pela célula de carga, do metal fundido que flui a partir do cadinho 1. A linha sólida mostra os resultados obtidos quando o sistema para controlar o fluxo do metal fundido da presente invenção é aplicado.

Nas Figuras 12(d) e 13(d), a linha tracejada mostra o peso do metal fundido que fluiu a partir do cadinho 1, quando o padrão de fluxo desejado do metal fundido é convertido pela célula de carga.

Na modalidade acima o cadinho 1 de um formato cilíndrico tendo uma posição de vazão de formato retangular é usado. Mas, conforme mostrado na Figura 14, o cadinho com o formato de um leque em sua seção transversal longitudinal tendo uma posição de vazão de formato retangular também produz um efeito similar.

Isto é, como na Figura 14 a largura da posição de

vazão é  $L_f$ (m), a largura do corpo do cadinho é  $L_b$ (m), o comprimento da posição de vazão é  $R_f$ (m) e o comprimento total do cadinho é  $R_b$ (m), e como a área horizontal  $A$ (m<sup>2</sup>) na posição de vazão é constante independente do ângulo de inclinação do cadinho,  $\theta$ (grau), então a área  $A$ (m<sup>2</sup>) é expressa pela seguinte expressão (16):

$$A = R_b L_b - 2R_f L_f \quad (16)$$

Além disso, o volume do metal fundido abaixo da posição de vazão  $V_s$ (m<sup>3</sup>) varia em proporção ao ângulo de inclinação do cadinho,  $\theta$ (graus). O mesmo é expresso pela seguinte expressão (17):

$$V_s(\theta) = (L_b R_b^2 - (L_b - L_f) R_f^2) \theta \quad (17)$$

Desse modo, a derivada parcial a seguir,  $DV_s$ (18), é obtida a partir do volume do metal fundido abaixo da posição de vazão,  $V_s$ (m<sup>3</sup>), mediante diferenciação parcialmente com relação ao ângulo de inclinação do cadinho,  $\theta$ (graus):

$$\frac{\partial V_s(\theta)}{\partial \theta} = DV_s = L_b R_b^2 - (L_b - L_f) R_f^2 \quad (18)$$

A partir dessa expressão é visto que a derivada parcial,  $DV_s$ , é constante e que ela não depende do ângulo de inclinação do cadinho,  $\theta$ (graus).

Além disso, na expressão (12), a qual é a expressão modelo básica do fluxo do metal fundido, a largura da posição de vazão  $L_f$ (m) é constante em relação à profundidade,  $h_b$ (m), a partir da superfície do metal fundido no cadinho. Desse modo, a expressão (12) é reduzida à expressão (13). Substituir as expressões (16), (18) e (13) para cada um dos valores nas expressões de modelo básico (11) e (12) para o fluxo do metal fundido. Então as

expressões de modelo básico para o fluxo do metal fundido para o cadinho, com o formato de um leque são obtidas. Elas são expressas pelas seguintes expressões (19) e (20):

$$\frac{dV_r(t)}{dt} = -\frac{2cL_f\sqrt{2g}}{3A^{3/2}}V_r(t)^{3/2} - DV_s\omega(t) \quad (19)$$

5

$$q(t) = \frac{2cL_f\sqrt{2g}}{3A^{3/2}}V_r(t)^{3/2}, \quad (0 < c < 1) \quad (20)$$

Desse modo eles são modelos constantes não-lineares, com sua matriz de sistema, matriz de entrada, e matriz de saída, sendo constantes.

10 O Pedido de Patente Japonesa, básico, N° 2006-111883, depositado em 14 de abril de 2006 é aqui incorporado integralmente mediante referência no presente pedido.

A presente invenção será mais completamente entendida a partir da descrição detalhada desse relatório descritivo. 15 Contudo, a descrição detalhada e a modalidade específica ilustram modalidades desejadas da presente invenção e são descritas apenas com o propósito de explanação. Várias alterações e modificações serão evidentes para aqueles de conhecimento comum na técnica com base na descrição 20 detalhada.

O requerente não tem intenção de dedicar ao público quaisquer modalidades reveladas. Entre as alterações e modificações reveladas, aquelas que podem não estar literalmente compreendidas no escopo das presentes 25 reivindicações constituem, portanto, uma parte da presente invenção no sentido de uma doutrina de equivalentes.

O uso dos artigos "um", "uma", e "o", e referências similares no relatório descritivo e reivindicações, deve ser considerado como abrangendo o singular e o plural, a 30 menos que de outra forma aqui indicado ou claramente

contradito pelo contexto. O uso de qualquer um e de todos os exemplos, ou linguagem exemplar (por exemplo, "tal como") aqui provido, pretende apenas melhor ilustrar a invenção e não apresenta uma limitação para o escopo da invenção a menos que de outra forma reivindicado.

**Descrições resumidas dos desenhos:**

A Figura 1 mostra uma vista externa de um exemplo do equipamento de despejamento automático ao qual é aplicado o método da presente invenção.

10 A Figura 2 é uma vista vertical em seção transversal do cadinho do equipamento de despejamento automático da Figura 1.

A Figura 3 é uma vista ampliada da parte principal da Figura 2.

15 A Figura 4 é uma vista em perspectiva da extremidade da posição de vazão do cadinho.

A Figura 5 é um diagrama de blocos mostrando um processo de despejamento no despejamento automático.

20 A Figura 6 constitui gráficos da relação da área horizontal na posição de vazão,  $A(m^2)$ , para o ângulo da inclinação do cadinho  $1, \theta(\text{graus})$ , e o volume do metal fundido abaixo da posição de vazão,  $V_s(m^3)$ , para o ângulo da inclinação do cadinho  $1, \theta(\text{grau})$ .

25 A Figura 7 constitui gráficos que fornecem os resultados do experimento para identificações.

A Figura 8 constitui gráficos que fornecem os resultados dos experimentos para despejamento para examinar a eficácia do modelo da presente invenção, com a velocidade inicial do despejamento sendo variada.

30 A Figura 9 é um diagrama de blocos de um sistema de

alimentação avante para controlar o fluxo do metal fundido.

A Figura 10 constitui gráficos dos resultados das simulações da Figura 9 quando o sistema para controlar o fluxo do metal fundido é aplicado ao equipamento de despejamento automático ao qual a presente invenção é aplicada.

A Figura 11 é um gráfico dos resultados obtidos a partir do padrão de fluxo desejado do metal fundido após o volume do metal fundido ser convertido para o peso e processado pelo modelo de célula de carga conforme mostrado na Figura 5.

A Figura 12 mostra os resultados dos experimentos quando o sistema para controlar o fluxo do metal fundido é aplicado ao equipamento de despejamento automático da presente invenção, desde que o padrão de despejamento desejado do metal fundido seja conforme mostrado na Figura 11.

A Figura 13 mostra os resultados dos experimentos quando o sistema para controlar o fluxo do metal fundido é aplicado ao equipamento de despejamento automático da presente invenção, desde que o padrão de despejamento desejado do metal fundido seja conforme mostrado na Figura 11.

A Figura 14 é uma vista em perspectiva do cadinho, em outro exemplo da modalidade do equipamento de despejamento automático da Figura 1.

### REIVINDICAÇÕES

1. Método para controlar o despejamento automático de metal fundido por intermédio de um cadinho compreendendo controlar um motor auxiliar, correspondendo ao padrão de  
5 fluxo desejado do metal fundido de modo que o metal fundido possa ser despejado dentro de um molde, em que o motor auxiliar, o qual inclina o cadinho para despejar o metal fundido em um molde é controlado por um computador que tem programas previamente instalados que controlam o processo  
10 de despejamento, caracterizado pelo fato de que compreende as etapas de produzir um modelo matemático cobrindo a partir de uma voltagem elétrica que é fornecida ao motor auxiliar através do fluxo do metal fundido despejado pelo cadinho, então obter a voltagem elétrica a ser fornecida ao  
15 motor auxiliar mediante resolução do problema inverso do modelo automático desse modo produzido, e controlar o motor auxiliar com base na voltagem elétrica assim obtida e a ser fornecida ao motor auxiliar.

2. Método para controlar o despejamento automático de  
20 metal fundido por um cadinho, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por compreender:

- converter o volume do metal fundido que flui a partir do cadinho calculado pelo modelo matemático para o peso do metal fundido que flui a partir do cadinho,
- 25 - comparar os dados que são obtidos após compensação ser feita para as características dinâmicas de uma célula de carga com os dados obtidos a partir das medições pela célula de carga do peso do metal fundido que flui a partir do cadinho e ajustar ambos os conjuntos de dados de modo  
30 que os dados que são obtidos após a compensação são feitos

para que as características dinâmicas de uma célula de carga se tornem consistentes com os dados obtidos da medição pela célula de carga, e

- então, obter um coeficiente de um fluxo do metal fundido para o modelo matemático.

3. Método de controlar o despejamento automático de metal fundido por intermédio de um cadinho, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que o cadinho tem um formato cilíndrico que tem uma posição de vazão de formato retangular, ou tem um formato de um leque em sua seção transversal longitudinal que tem uma posição de vazão de formato retangular.

4. Meios que gravam programas para controlar a inclinação de um cadinho compreendendo: controlar um motor auxiliar, correspondendo a um padrão de fluxo desejado do metal fundido, de modo que o metal fundido possa ser despejado em um molde em que o motor auxiliar que inclina o cadinho para despejar o metal fundido em um molde é controlado por um computador que tem programas previamente instalados que controlam o processo de despejamento, caracterizado pelo fato de que os meios que gravam os programas para controlar a inclinação de um cadinho compreendem produzir um modelo matemático cobrindo a partir de uma voltagem elétrica que é fornecida ao motor auxiliar através do fluxo do metal fundido despejado pelo cadinho, então obter a voltagem elétrica a ser fornecida ao motor auxiliar mediante resolução do problema inverso do modelo matemático desse modo produzido, e controlar o motor auxiliar com base na voltagem elétrica assim obtida e a ser fornecida ao motor auxiliar.

Fig. 1

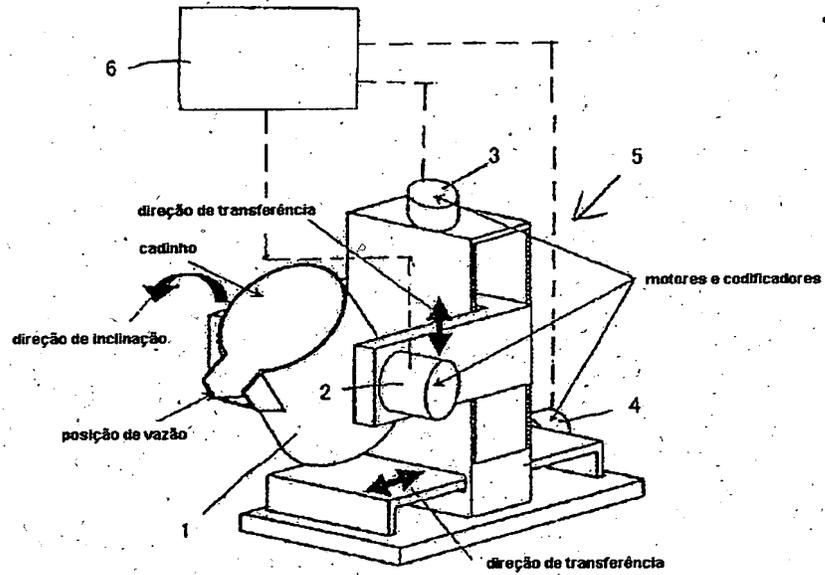


Fig. 2

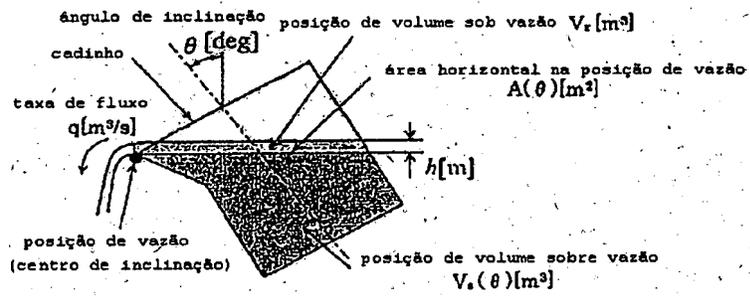


Fig. 3

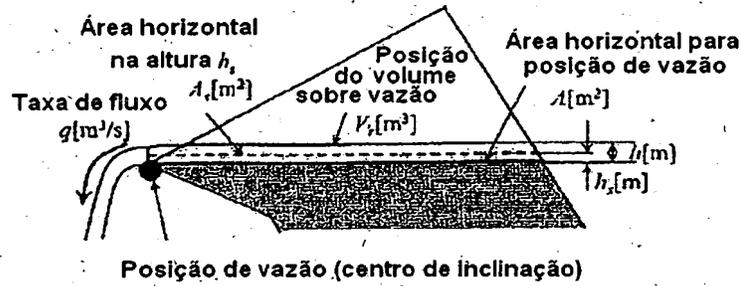


Fig. 4

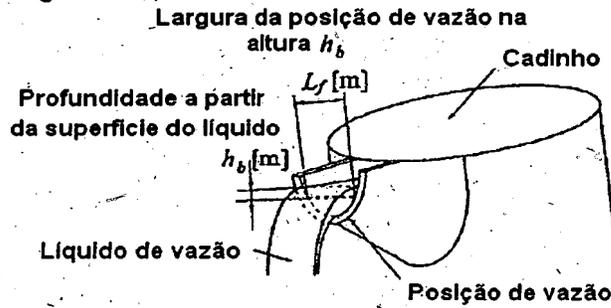


Fig. 5

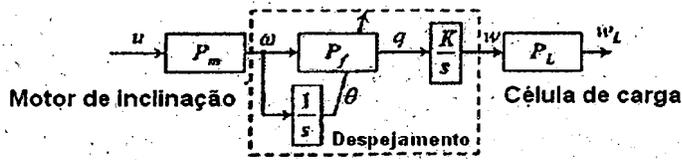


Fig. 6

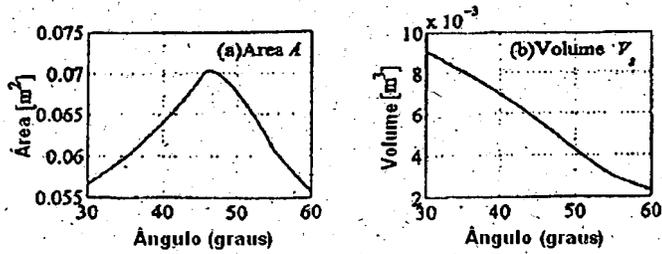


Fig. 7

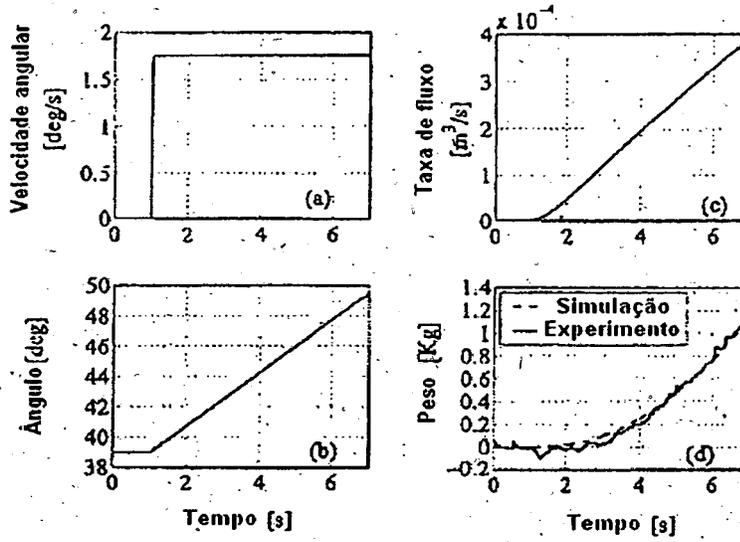


Fig. 8

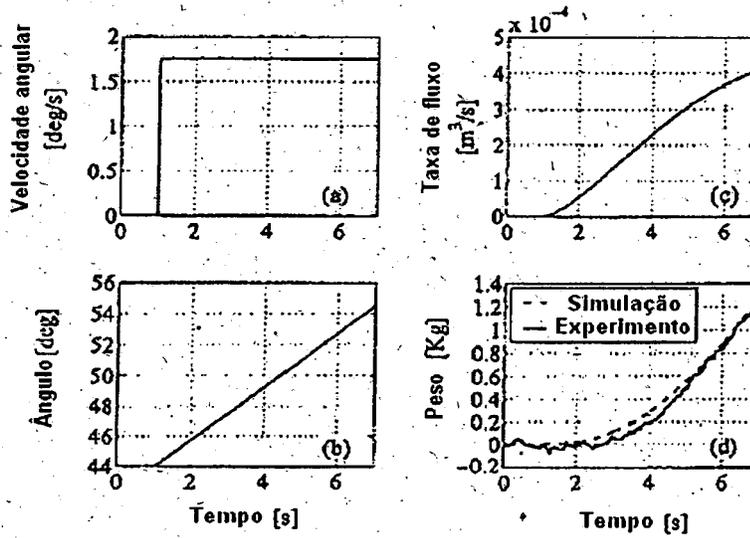


Fig. 9

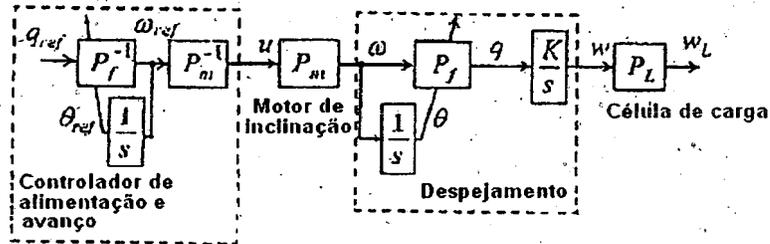


Fig. 10

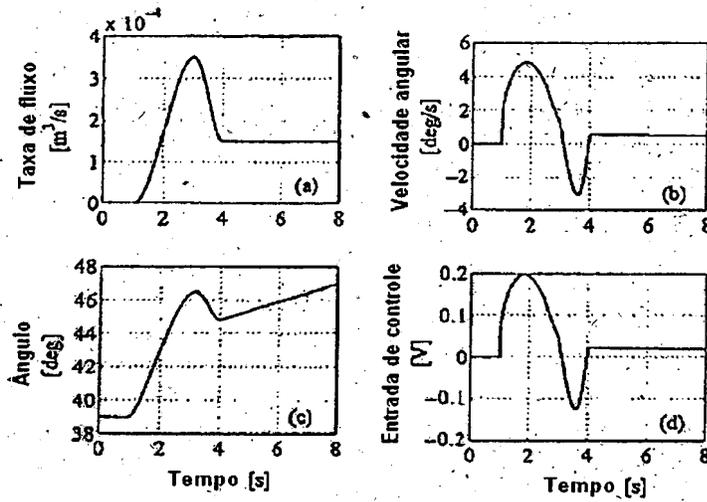


Fig. 11

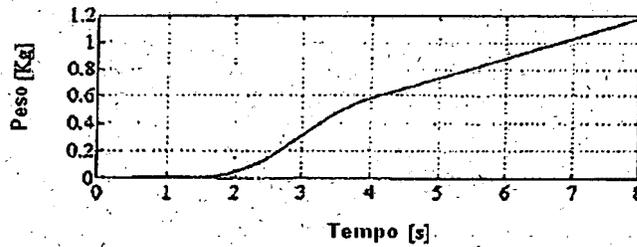


Fig. 12

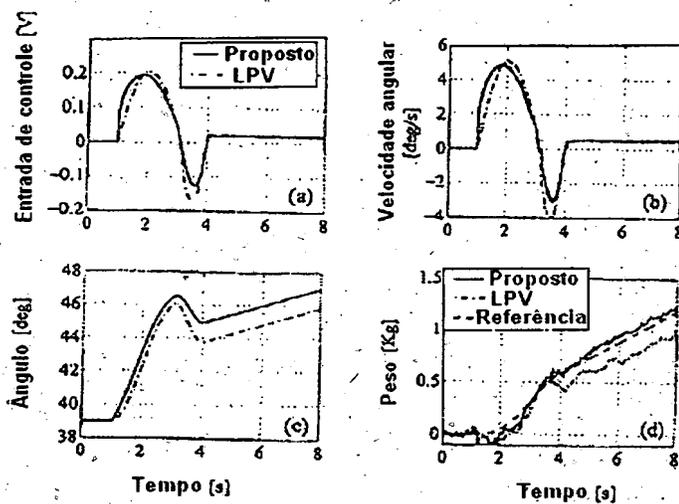


Fig. 13

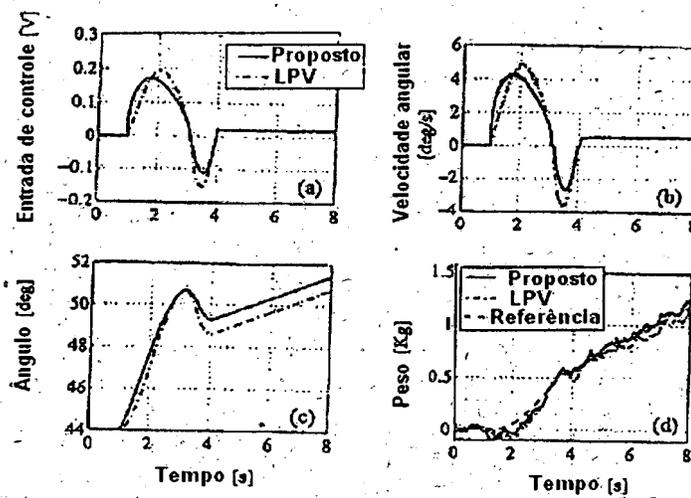
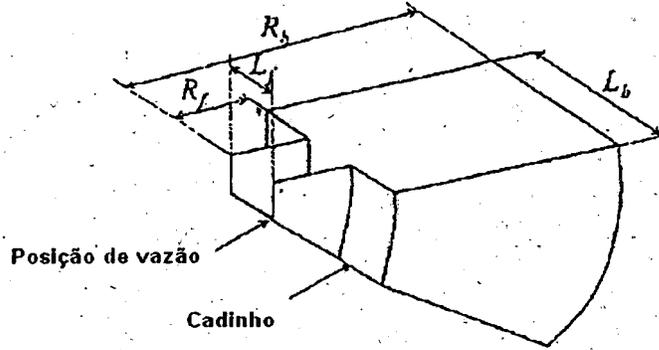


Fig. 14



MÉTODO PARA CONTROLAR O DESPEJAMENTO AUTOMÁTICO DE METAL FUNDIDO POR INTERMÉDIO DE UM CADINHO E MEIOS PARA GRAVAR PROGRAMAS PARA CONTROLAR A INCLINAÇÃO DE UM CADINHO

A presente invenção provê um método para controlar o despejamento automático de metal fundido por um cadinho que é inclinado, em que o despejamento pode ser realizado de uma forma que seja tão próxima quanto possível daquela de um operador experiente mediante uso de um computador que tem programas previamente instalados para tal finalidade.

10. O método controla um motor auxiliar, correspondendo ao padrão de fluxo desejado do metal fundido, de modo que o metal fundido pode ser despejado em um molde, em que o motor auxiliar, o qual inclina o cadinho para despejar o metal fundido no molde, é controlado por um computador que tem programas previamente instalados para controlar o despejamento. O método é caracterizado pelo fato de compreender a produção de um modelo matemático cobrindo uma voltagem elétrica que é fornecida ao motor auxiliar através do fluxo do metal fundido despejado pelo cadinho, obtendo-se então a voltagem elétrica a ser fornecida ao motor auxiliar mediante resolução do problema inverso do modelo matemático desse modo produzido, e controlando o motor auxiliar com base na voltagem elétrica assim obtida e a ser fornecida ao motor auxiliar.