

## **PROCEDIMENTOS PARA ESTIMATIVA DE CUSTOS DE MOLDES**

Moldes de injeção são fabricados com alta precisão e devem satisfazer a uma grande variedade de requisitos. São geralmente compostos de uma parte ou poucas partes.

Os moldes são produzidos com elevados tempos e custos de fabricação que são um fator decisivo no cálculo dos custos de um produto moldado. Os custos do molde para pequenas séries afetam a introdução de um novo produto no mercado. Apesar disso em muitas empresas o cálculo de custos não ocupa o lugar que deveria.

Os respectivos custos dos moldes são frequentemente calculados com base na experiência ou em comparação com moldes já existentes. Isto é também uma consequência do fato de que o número de pedidos é apenas 5% do número de orçamentos. As incertezas resultantes em tais situações são compensadas com mudanças para segurança, que é determinada por critérios subjetivos. Isto gera diferenças nos orçamentos que resulta em incertezas para os clientes.

Portanto, um procedimento para estimativa de custos de um molde deve:

- aumentar a certeza e precisão do cálculo de custos,
- reduzir o tempo de consumo para o cálculo,
- fazer o possível para calcular os custos dos moldes para os quais não hajam dados disponíveis,
- assegurar cálculos de custos coerentes mesmo sem muita experiência.

Precauções devem ser tomadas se moldes forem cotados consideravelmente com custos inferiores aos obtidos nos cálculos, pois eventualmente importantes etapas foram omitidas resultando em perdas irreparáveis.

### **Procedimentos para estimativa de custos de moldes**

Os custos de moldes podem ser calculados de duas maneiras diferentes: baseados em dados já existentes de planilhas de produção ou baseado no procedimento de previsão.

O primeiro procedimento fornece os custos para cada etapa de trabalho e o material utilizado. Este procedimento apresenta desvantagens e dificuldades. É um método que consome tempo e necessita de conhecimentos detalhados de horas de trabalho e custos na fabricação de moldes. Por outro lado, este método pode ser aplicado depois que o projeto do molde foi finalizado.

Uma base para a estimativa de custos de moldes de injeção foi desenvolvido por Fachverband Technische Teile im Gesamtverband Kunststoffverarbeitende Industrie (GKV) (Associação Profissional de Peças Técnicas – Associação de Indústrias de Processamento de Plástico). Isto facilitaria a estimativa de custos de moldes. É baseado na experiência prática, por exemplo, tempo de trabalho para canais de alimentação. (Fig. 35). O custo de um molde de injeção são obtidos pela combinação dos custos de moldes baseados em padrões obtidos de catálogos de fabricantes e os custos de fabricação e projeto. A tabela proposta pela GKV pode ser vista na (Fig. 36).

Os custos de fabricação de moldes são, geralmente, determinados com a ajuda de procedimentos estimativos. Da literatura, tem-se dois métodos básicos para prever custos de moldes: função de custos e custos por similaridade. (Fig. 37) O primeiro método, a função de custo inicia com a suposição de que há dependência entre os custos de um molde e suas características. Esta dependência é expressa por uma função matemática. Estas características são variáveis independentes ou quantidades dependentes que determinam os custos.

O segundo método é de custos similares. O custo de um molde pode ser estimado a partir de outro existente com características similares. Os custos para o molde existente são, geralmente, conhecidos e podem ser utilizados para o molde a ser fabricado.

Ambos os métodos possuem vantagens e desvantagens. A função de custos prevê resultados precisos apenas se as grandezas envolvidas são muito parecidas. Atualmente não é o que ocorre devido a grande variedade de moldes de injeção.

Com o método de similaridade apenas podemos estimar custos de moldes projetados da mesma forma e, portanto, tem custos efetivos similares. Para usar os benefícios de ambos os métodos são necessários combina-los como mostra a (Fig. 38). Isto pode ser conseguido por agrupamento de moldes de injeção similares ou componentes estruturais de mesmo tipo e determinar a função de custo dentro de cada grupo.

Há uma proposta, portanto, de dividir o cálculo total de quatro grupos de custos relacionados pelas correspondentes funções de custos. (Fig. 39).

Os custos são determinados para cada grupo de custo e adicionado aos custos totais. O trabalho sistemático em grupos individuais e a estrutura adicional reduz os riscos de erros de cálculo e seus efeitos nos custos totais.

A seguir temos o detalhamento da estimativa de custos para os grupos individuais.

## CUSTO GRUPO I: CAVIDADE

O grupo de custos I considera os custos para fabricar as cavidades. Eles são essencialmente dependentes do contorno da peça, da precisão requerida e do acabamento superficial desejado. Os custos são determinados pelo tempo de consumido para fabricar a cavidade e as respectivas salários por hora.

Os resultados gerais são:

$$C_C = (t_C + t_E).C_{MW} + C_M$$

$C_C$ (\$)	custos para cavidade
$t_C$ (h)	tempo gasto na cavidade
$t_E$ (h)	tempo gasto com EDM (electric-discharge Machining)
$C_{MW} \left( \frac{\$}{h} \right)$	custos médios da máquina e mão-de-obra
$C_M$ (\$)	custos de material adicional (insertos, eletrodos, etc.) podem ser desprezados em face dos custos totais

### Cálculo de horas trabalhadas na cavidade

O tempo  $t_C$  necessário para produzir a cavidade pode ser calculado estatisticamente ou por análise de parâmetros.

$$t_C = \{C_M \cdot (C_D + C_A) C_p \cdot C_S + C_C\} \cdot C_T \cdot C_{DD} \cdot C_N \quad [h]$$

$C_M$	procedimento de usinagem
$C_D$	Profundidade da cavidade
$C_A$	Área superficial da cavidade
$C_p$	Forma da linha de partição
$C_S$	Qualidade da superfície
$C_C$	Número de machos
$C_T$	Tolerâncias
$C_{DD}$	Grau de dificuldade
$C_N$	Número de cavidades
$C_D, C_A, C_C$	são horas reais de trabalho

As seguintes correlações são usadas para determinar os tempos individuais ou fatores de tempo.

### Fator de tempo para procedimento de máquina

Os tipos de máquinas individuais para fabricação de partes macho e fêmea da cavidade são identificadas como uma porcentagem e multiplicada pelo fator de usinagem  $f_M$ . Este fator foi obtido na prática e seu valor para as diferenças de velocidade de várias técnicas de usinagem do contorno das cavidades são obtidos da tabela 17.

$$C_M = \sum_{i=1}^{n_M} f_{Mi} \cdot a_i$$

Mas  $\sum_{i=1}^{n_M} a_i = 1$

- $C_M$  Fator de tempo de usinagem
- $f_{Mi}$  Fator de usinagem (tabela)
- $a_i$  Porcentagem da respectiva usinagem
- $n_M$  Número de usinagem

Tabela 17 – Fator de usinagem  $f_M$

Fresament <i>o</i>	Eletroerosão	Fresamento duplo	Torneament <i>o</i>	Retificaçã <i>o</i>	Trabalho manual
0.85	1.35	1.0 a 1.35	0.4	0.8 a 1.2	0.8

### Tempo de usinagem para a profundidade da cavidade

Há usinagem acima e abaixo da linha de partição, portanto há distinção entre elevações (E) e depressões (D).

O tempo consumido resultante da profundidade da cavidade é determinado pela média de elevações e depressões acima (1) e abaixo (2) da linha de partição. Estabelecendo as elevações como suas áreas projetadas no plano da linha de partição. Se o macho não é usinado diretamente na placa, mas feito como um postição, o resultado para metade da cavidade é

$$C_{D(1)} = \frac{\sum_{i=1}^{n_E} (m_{EI} + m_{vi}) \cdot f_{EPi}}{m_R \cdot n_E}$$

} elevação com depressão; macho usinado na placa

$$+ \frac{\sum_{i=1}^{n_E} m_{EI} \cdot f_{EPI}}{m_R \cdot n_E}$$

} (elevação)

$$+ \frac{\sum_{i=1}^{n_D} m_{Di} \cdot f_{DPi}}{m_R \cdot 2n_D}$$

} (depressão)

} elevação com depressão; macho como postição

- $C_{D(1)}$  tempo consumido por uma metade da cavidade [h]
  - $m_E$  altura de elevação [mm]
  - $m_D$  profundidade de depressão [mm]
  - $n_E$  número de elevações [-]
  - $n_D$  número de depressões [-]
  - $m_R$  média de removido = [1 mm h<sup>-1</sup>]
  - $f_{EP}$  razão entre área de elevação
  - $f_{DP}$  razão entre área de depressão
  - $C_{D(2)}$  é calculado por  $C_D = C_{D(1)} + C_{D(2)}$
- } do moldado
- } e área projetada

$C_D$  tempo de consumo para a profundidade da cavidade [h]

### Tempo consumido para a superfície da cavidade

A superfície da cavidade ou do moldado é a segunda variável básica que afeta o tempo de usinagem da cavidade.

$$c_s = f_s \cdot A_M^{0.77} \quad [h]$$

com fator de torneamento  $f_s$

$$f_s = (1 - 0.5a_T) \cdot 0.79 \quad [h]$$

$c_s$  tempo de consumo para a superfície da cavidade [h]

$A_M$  área superficial do moldado [ $\text{mm}^2 \cdot \text{E}-02$ ]

$a_T$  torneamento como parte da usinagem [-]

### Fator de tempo para linha de partição

Passes na linha de partição são considerados pelo fator tempo  $c_p$ .

Fator de tempo para linha de partição  $c_p$

Tabela 18 – Fator de tempo para linha de partição  $C_p$

Número de passos	$C_p$ para faces planas	$C_p$ para faces curvas
0	1.00	1.10
1	1.05	1.15
2	1.10	1.20
3	1.15	1.25

### Fator tempo para a qualidade da superfície

Na qualidade da superfície é tão importante a aparência do moldado como a ausência de defeitos. O fator de superfície da qualidade  $c_s$  é afetada pela altura de rugosidade, que pode ser obtida com procedimentos de usinagem corretas. Pode ser obtido da tabela abaixo.

Tabela 19 - Fator para a qualidade da superfície  $c_s$

Qualidade da superfície	Rugosidade $\mu\text{m}$	Fator de qualidade $c_s$	Observação
grosseira	$R_a \geq 100$	0.8 – 1.0	Faces transversais na direção de desmoldagem
padrão	$10 \leq R_a < 100$	1.0 – 1.2	Rugosidade EDM
Fina	$1 \leq R_a < 10$	1.2 – 1.4	Tecnicamente polida
Alto grau	$R_a < 1$	1.1 – 1.6	Superfina

### Tempo de usinagem para machos fixos

A usinagem e ajustamento de machos em ambas metades dos moldes é considerado pelo fator de tempo  $c_c$ . Este trabalho torna-se mais difícil se o macho não é de forma circular. O fator de contorno é multiplicado pelo número de machos com igual área de ajuste.

$$c_c = \sum_{i=1}^j t_B \cdot f_{CF} \cdot n_i \quad [\text{h}]$$

- $c_c$  tempo de usinagem para machos fixos [h]  
 $t_B$  tempo base = 1 [h]  
 $f_{CF}$  fator de contorno [-]  
 $n$  número de machos com igual área de ajustamento [-]  
 $j$  número de diferentes áreas de ajustamento [-]

Tabela 20 - Fator de contorno para machos  $f_{CF}$

Fator de contorno $f_{CF}$	Área de ajustamento	Seção transversal
1	Circular	Círculo
2	Angular	Quadrado
4	Circular, grande	Círculo grande
8	Angular, grande	Quadrado grande
10	Contorno curvo	Variadas

### Fator de tempo para tolerâncias

Tolerâncias apertadas aumentam os custos. Para produzir moldagens economicamente viáveis não deveriam ser consideradas tolerâncias mais apertadas do que as necessárias para a função técnica.

Um padrão para fabricar moldes de precisão implica que, as tolerâncias dos moldes não deveriam exceder 10% das tolerâncias finais de moldagem. O fator de tolerâncias dimensionais  $c_T$  inclui o custo esperado para a precisão e pós tratamento. Tolerâncias apertadas tanto quanto tolerâncias críticas para superfícies (centricidade, precisão angular, paralelismo, planicidade, folgas) consideravelmente aumentam o tempo necessário para a produção da cavidade. Ver Fig. 40.

### Fator de tempo para grau de dificuldade e grande variedade

Um grau de dificuldade médio ( $c_{DD} = 1$ ) é considerado uma razão comprimento/diâmetro para machos, onde um grande número de machos com pequena área e superfície complexas. Para grandes partes planas sem aberturas o fator de tempo é reduzido ( $c_{DD} < 1$ ). A tabela abaixo mostra a relevância do critério com seu correspondente fator.

Tabela 21 - Fator de tempo para grau de dificuldade e grande variedade

$C_{DD}$	Dificuldade	Critério	
0.7	Muito simples	Moldagem padrão	Grande, áreas planas, peças circulares
0.8	simples		Peças retangulares, áreas com algumas aberturas, relação profundidade/diâmetro: $L/D \leq 1$
1.0	médio	Moldagem técnica	Aberturas circulares e angulares, $L/D = 1$
1.2			Troca possível, $L/D \approx 1-5$ peças pequenas
1.4	difícil	Moldagem de precisão	Alta densidade de machos $L/D \approx 5$ , superfície complexa
1.6	Extremamente difícil		Muito alta densidade de machos $5 \leq L/D \leq 15$ , faces esféricas complexas

### Fator de tempo para número de cavidades

Para um elevado número de insertos de cavidades iguais ou várias cavidades iguais uma compensação por cavidade tem de ser considerada baseada na fabricação em série. A correlação entre um fator de tempo  $c_N$  e o número de cavidades  $n_C$  é apresentada na Fig. 41.

### Cálculo das horas de trabalho para eletrodos EDM

Devido a geometria da superfície do eletrodo corresponde ao contorno da peça, o tempo de trabalho pode ser calculado da mesma maneira feita para as cavidades.

$$t_C = \{ (c_M \cdot (c_D + c_A \cdot a_E)) \cdot c_S + c_C \} \cdot c_T \cdot c_{DD} \cdot c_N \quad [h]$$

- $c_M$  torneamento para eletrodo
- $c_D$  como no fator de tempo procedimento de usinagem
- $c_A$  como no fator de tempo para profundidade da cavidade
- $a_E$  parte da EDM para produzir a cavidade
- $c_S = 1.3$
- $c_C, c_T, c_{DD}, c_N$  como nas considerações anteriores.

## GRUPO DE CUSTOS II – BASE DO MOLDE

A base do molde contém as cavidades, os componentes funcionais básicos (canais, sistema de refrigeração e sistema de extração) e os elementos funcionais especiais (moldes de três placas, gavetas, unidade de núcleo rotativo). Um base de molde de classe I é para um pequeno número de moldagens com baixa precisão, por exemplo testes em série. Não é endurecido.

Uma base de molde classe II tem placas cementadas, alinhamento adicional, isolamento de calor na metade estacionária e, se o molde é circular, é equipado com três pinos guias. Usado para produzir peças técnicas e quantidades médias.

Um molde de classe III apresenta elevada dureza, para grandes quantidades, alta precisão e confiabilidade.

Os moldes de injeção são largamente construídos com moldes padrão. Desse modo o custo total de uma base do molde é primeiramente o custo de padrões e gastos com operações de usinagem específica não incluída. Isso sugere, ainda que, deve-se consultar os catálogos de fabricantes para atualizar preços e verificar a disponibilidade das bases do molde de um projeto diferente, tal como, placa flutuante etc. Ver Fig. 42.

Bases de molde padrão são de alta qualidade e diferem apenas na classe do aço que está sendo empregado, que afeta a vida útil do molde, sua capacidade de ser polido e sua resistência a corrosão. Os custos apresentados na Fig. 43 são baseados no uso do aço AISI 4130.

## GRUPO DE CUSTOS III - COMPONENTES FUNCIONAIS BÁSICOS

Canais de alimentação, sistema de refrigeração e sistema de extração são componentes funcionais básicos de todo o molde de injeção. Se os elementos individuais são associados para esses componentes básicos, seus custos, incluindo gastos adicionais, podem ser determinados de uma forma mais geral. Dessa forma, listando esses componentes é o suficiente para o cálculo desde que as dimensões tenham apenas um efeito modesto. Um uso extensivo de padrões é assumido como no grupo II. A Fig. 44 apresenta os fatores de influência para o custo do grupo III.

### Bucha e Sistema de alimentação

O tipo de canal de alimentação é determinado por requisitos econômicos, geometria da peça e qualidade requerida.

O custo para bucha de injeção, entrada em disco, entrada em túnel e entradas em leque e flash podem ser calculadas com

$$c_G = t_G \cdot C_{MW} \quad [\$]$$

$t_G$  horas de máquina para usinagem de entradas (tabela abaixo)

$C_{MW}$  custos médios da máquina e custos de mão-de-obra [\$/h]

Tabela 22 – Tempo de trabalho para usinagem de entradas

<i>Tipo de entrada</i>	<i>Tempo</i>					
Bucha de injeção	Contida na base do molde					
Bucha com n entradas capilares	N	1	2	3	4	
	T (min)	35	50	65	70	
Entrada em disco	30 min					
Entrada em túnel	15 min					
Entrada em leque	T=(0.35 x b + 50) x i B largura da entrada (mm) T (min)					
	n	1	2	3	4	5
	i	1	1.4	1.8	2.2	2.5
	N número de entradas					

Considera-se que todos os passos usando as mesmas operações de usinagem são feitos em um único passo. Tempo de preparação já foi considerado pelo custo do grupo II.

### Sistema de alimentação

Custos dos canais de alimentação são determinados pelo seu comprimento necessário:

$$C_R = g_R \cdot I_R \cdot C_{MW} \quad [\$]$$

$C_R$  Custos dos canais [\$/h]

$C_{MW}$  custos médios de máquina e mão-de-obra [\$/h]

$I_R$  Comprimento do canal [mm]

$g_R$  Fator de correção do diâmetro do canal

0.14 min./mm para  $d_R = 5mm$

0.16 min./mm para  $d_R = 8mm$

0.18 min./mm para  $d_R = 12mm$

$d_R$  diâmetro do canal [mm]

Se os canais são usinados em ambas as placas do molde, os custos podem ser duplicados. Os tempos de preparação podem ser desprezados.

### Sistema de canais quentes

Os custos totais de um sistema de canais quentes podem ser determinados com a equação:

$$C_{HR} = \{(C_{BHR} + g_A \cdot A) + n_N \cdot (C_N + 200\$ + C_{NS})\} \cdot g_G \quad [\$]$$

- $C_{HR}$  custos totais dos canais quentes e montagem [\\$],
- $C_{BHR}$  custos básicos para canal quente [\\$]
- $g_A$  coeficiente de área [8.E-03 \$/mm<sup>2</sup>]
- $A$  área de fechamento
- $n_N$  número de bicos [-]
- $C_N$  custo de um bico [\\$]
- $C_{NS}$  custo de um shut-off bico [\\$]
- $g_G$  1.1 a 1.2 para moldagem de plástico reforçado com fibra de vidro, 1.0 para moldagem de plásticos sem reforço.

Os sistemas de canais quentes são padronizados. Portanto, custos de um sistema de canais quentes e custos para bicos podem ser obtidos de catálogos de fabricantes de câmaras padronizadas. Adicionado ao custo básico para placa flutuante, o sistema de canais, o material para a montagem, vedações e usinagem. Devido a grande variedade de sistemas de canais quentes não é possível considerar em detalhes o custo dos mesmos.

### Sistema de Resfriamento

Para um dado número de linhas de resfriamento os custos dos sistemas  $C_H$  podem ser calculados com

$$C_H = k_D \cdot n \cdot C_{MW} \quad [\$]$$

- $k_D$  fator para o grau de dificuldade permitida pelo tamanho do molde, forma dos canais
- $n$  número de linhas de resfriamento (sem conexão)

Tabela 23 – Coeficiente de para a usinagem dos canais de resfriamento  $k_D$

Coeficiente $k_D$	Área de fechamento A (10 <sup>2</sup> cm <sup>2</sup> )				
	4.00	6.25	9.00	12.25	16.00
Furo reto	0.41	0.45	0.50	0.56	0.60
Furo oblíquo	0.68	0.75	0.83	0.93	1.00
Inserto helicoidal no núcleo ou tubo de calor	0.81	0.90	0.99	1.11	1.20

### Sistema de extração

Os custos do sistema de extração das peças (pinos de extração, luvas, lâminas, pinos de retorno, etc.) são facilmente obtidos dos catálogos dos fabricantes.

Os custos para furos, para fabricação dos elementos extratores e da placa porta-extratores são obtidos da geometria de moldagem são determinados com a equação abaixo:

$$C_{EM} = C_{ML} \sum_{i=1}^5 \frac{d_i \cdot l_{Gi}}{1850 \frac{mm^2}{h}} + 0.8h \cdot n_i \cdot r_H \quad [\$]$$

- d diâmetro do elemento extrator

$I_G$	comprimento guiado do elementos extrator,
$n$	número
$r_H$	dificuldades com a usinagem das buchas guias
$r_H = 1$	para pinos ejetores e pinos com saliências
$r_H = 2$	para luva e lâmina extratora
$r_H = 0.2$	para pinos de retorno

#### GRUPO DE CUSTOS IV – FUNÇÕES ESPECIAIS

Rebarbas produzidas pelo sistema de alimentação ou a peça obstruída na desmoldagem podem usualmente ter um projeto especial.

Os custos para funções especiais tais como moldes de três placas, gavetas, núcleo rotativo devem ser determinados e adicionados ao custos básicos calculados. A figura 45 mostra os fatores que afetam o custo do grupo IV. As funções especiais podem ser feitas com elementos padronizados, é possível compilar diagramas de custos como os do grupo de custo II, que também consideram a usinagem e montagem.