

5.6.c. HIGIENE DO TRABALHO

Medidas de proteção dos operários são impositivas para prevenir a inalação de voláteis, cuja toxicidade, especialmente quando sistemática, provocar graves problemas de saúde (anemia profunda, leucemia). A inalação de pós de materiais fibrosos, por sua vez, causa afecções pulmonares, como a silicose (provocada pelo pó de fibra de vidro).

Além de problemas de inalação, os produtos utilizados na moldagem também atuam sobre a pele. Resinas produzem queimaduras da pele, das mucosas e da córnea. A fibra de vidro provoca irritações.

Para evitar tais problemas é impositivo o uso de equipamentos de proteção adequados, como sejam: óculos de proteção com proteção lateral contra respingos, máscaras de proteção contra gases (de preferência com injeção de ar fresco), luvas de borracha (que se estendam até os cotovelos), macacões integrais, gorros para proteção dos cabelos e botas de borracha. As luvas e botas de borracha devem ser enceradas, para minimizar o efeito do ataque de solventes de borracha.

CAPÍTULO 6 - MOLDAGEM POR INJEÇÃO

6.1. INTRODUÇÃO

Na moldagem de termoplásticos é necessário aquecer o material a um estado de fluidez, conformá-lo na cavidade de um molde, para então resfriá-lo enquanto ainda estiver contido no molde. O processo de moldagem por compressão poderia ser usado para esse fim, mas não se recomenda por causa do desperdício de calor e de tempo que acarreta.

Para acelerar o processo adota-se a moldagem por injeção, que é uma adaptação do processo de fundição sob pressão, utilizado para metais leves. Consiste em forçar uma carga de material plástico aquecido, por meio de um êmbolo, em uma prensa-cilindro aquecida, através de um bocal, até um molde frio ou pouco aquecido, no qual o material preenche as cavidades ali alojadas. O material frio, granulado ou em pó, é alimentado ao cilindro, onde é aquecido até amolecer, ou "plastificar" para então ser forçado sob pressão, ou "injetado", no molde frio, de onde é posteriormente extraído.

As prensas utilizadas para esse processo são de tamanhos variáveis, indo desde pequenos modelos manuais, que injetam poucos newton de resina de cada vez, até modelos de grande capacidade, podendo injetar até centenas de newton por vez.

O processo de moldagem por injeção é responsável pelo processamento de cerca de um sexto de todo o plástico usado no mundo de hoje. }?

Existem quatro tipos principais de prensas para mol

dagem por injeção:

- a) Manuais, em que o êmbolo é empurrado através de cilindro, por força manual exercida através de uma alavanca;
- b) Hidráulicas, em que o êmbolo é acionado por uma alavanca hidráulica de dupla ação;
- c) Pneumáticas, em que o acionamento do êmbolo é feito por um pistão pneumático;
- d) De potência, em que o êmbolo é acionado por uma manivela ou excêntrico, incorporando uma pesada mola para o caso do êmbolo prender-se no cilindro.

As prensas de injeção podem ser de operação horizontal ou vertical, de que as primeiras são de emprego muito mais generalizado. A variedade de modelos construtivos é enorme. Serão analisadas, adiante, as características construtivas mais comuns.

A Figura 6.1 mostra esquematicamente as partes essenciais de uma prensa de injeção. Observam-se:

- a) Tremonha, incluindo mecanismo para dosagem da carga a ser alimentada à máquina;
- b) Cilindro de aquecimento, que recebe o material da tremonha, e no qual se dá a plastificação ou amolecimento;
- c) Êmbolo (eventualmente parafuso) que opera no cilindro, aplicando pressão ao material, transferindo-o ao molde;
- d) Molde, que consiste de duas ou mais partes, que podem ser separadas para extrair o moldado;
- e) Sistemas de pressão, que servem para impelir o êmbolo e manter o molde fechado durante a injeção;
- f) Sistema de controle para comandar os mecanismos de injeção e fechamento do molde na sequência cor

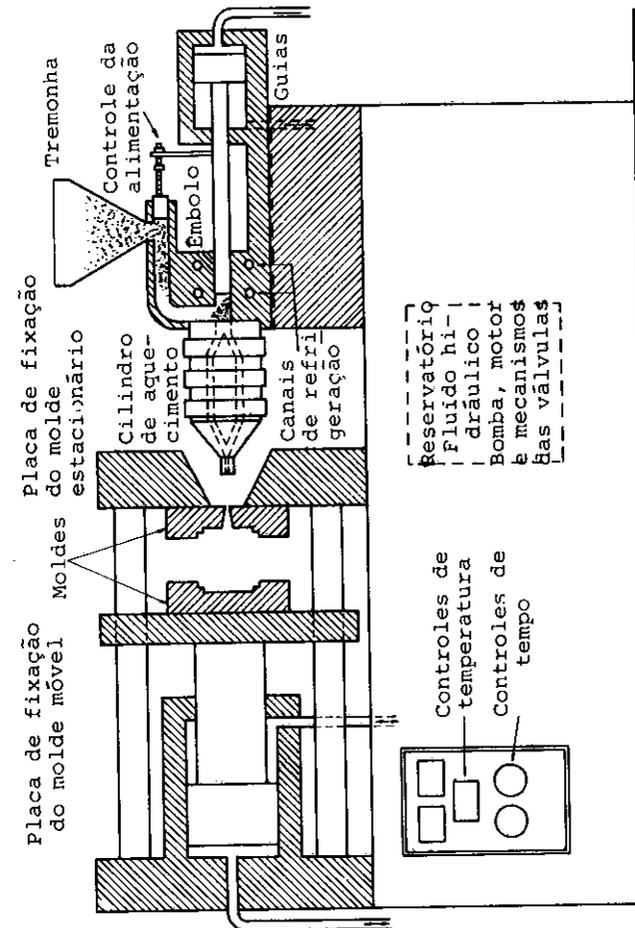


Figura 6.1 - Máquina de moldagem por injeção de êmbolo simples.

reta, e para regular as temperaturas das várias partes da máquina.

6.2. CICLO DE MOLDAGEM

O ciclo de operações durante a moldagem por inje-

ção em máquinas de êmbolo, compreende as seguintes etapas:

- a) Fechamento do molde;
- b) O êmbolo avança, injetando material no molde;
- c) O êmbolo permanece na posição avançada durante um tempo pré-determinado pela natureza do material, e pelo tamanho e forma do moldado;
- d) O êmbolo é retraído, e a carga seguinte do material é alimentada ao cilindro; enquanto isso, o molde permanece fechado até que o moldado tenha resfriado o suficiente para que possa ser removido sem distorsão;
- e) O molde abre, o moldado é extraído e o ciclo de operações pode, então, ser repetido.

A sequência desse ciclo está representada na Figura 6.2, que indica, aproximadamente, a duração relativa de cada etapa. Já a Figura 6.3 ilustra essa sequência.

As prensas de êmbolo tem os inconvenientes de apresentarem perda de pressão e falta de homogeneidade da resina e de requererem dosagem correta do material por ciclo de moldagem. Esses inconvenientes são superados em máquinas de para

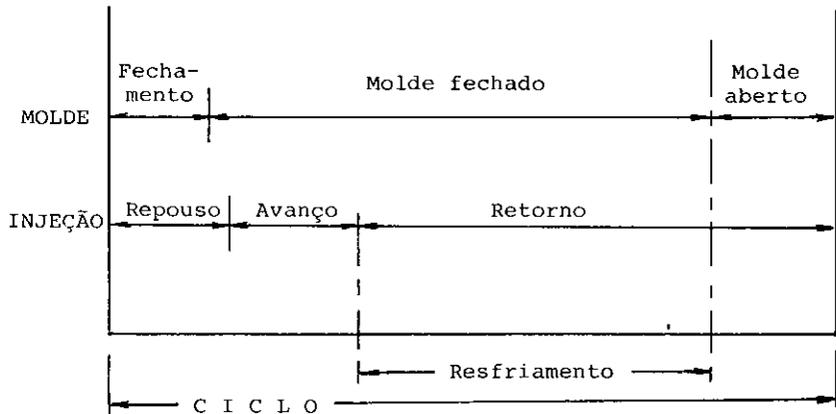


Figura 6.2 - Sequência de operações num ciclo típico de moldagem por injeção.

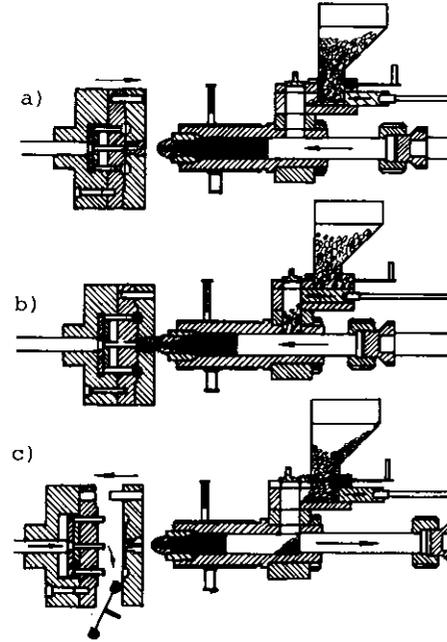


Figura 6.3 - Seqüência de operações no processo de moldagem por injeção, em máquina de êmbolo. a) Fechamento do molde e aproximação da tubeira, com compressão simultânea do material plastificado; b) Injeção e, simultaneamente, dosagem do granulado para a próxima carga; c) Retorno do êmbolo com deslizamento do material granulado antes do dosado, desprendimento do massalote da tubeira e abertura do molde, e expulsão da peça.

fuso (Figura 6.4). O parafuso, ao girar, transporta o material em direção ao bocal. Quando o material amolecido é acumulado, ele força o parafuso, que é livre para retroceder, de encontro a um apoio. Quando se acumulou material suficiente para preencher o moldado, o parafuso pára de girar. Para encher o molde, pressão é aplicada ao parafuso por meio de um êmbolo posterior, fazendo-o deslocar-se no cilindro, injetando o material no molde, através do bocal. O curso do parafuso (e o volume de material injetado) é regulado por chaves limitadoras. Para evitar que o material plastificado retroceda ao longo do parafuso, existe uma válvula de retenção na extremidade do cilindro.

A Figura 6.5 ilustra a sequência do processo em injetoras de parafuso.

6.3. MÁQUINAS DE MOLDAGEM POR INJEÇÃO

6.3.A. GENERALIDADES

Os esforços desenvolvidos no processo de moldagem por injeção podem ser consideráveis, exigindo máquinas de construção robusta. O cilindro, o sistema de alimentação e o molde, com seu sistema de fechamento, são alojados sobre uma base de aço. Os mecanismos hidráulicos ou pneumáticos, motores, válvulas e reservatórios para o fluido hidráulico são normalmente alojados na base da máquina, e ocultos por painéis desmontáveis. Os moldes são montados sobre placas, uma das quais é fixa e a outra desliza sobre barras (Figuras 6.1 e 6.4). Os controladores de tempo e temperatura podem ser alojados na máquina, embora a tendência atual seja a de alojá-los em painéis separados, para evitar que sejam afetados pelas sacudidas do ciclo de operações.

6.3.B. TIPOS DE MÁQUINAS

Como já se viu, existem dois tipos principais de máquinas de moldagem por injeção: de êmbolo e de parafuso. Existem, atualmente, combinações desses tipos básicos.

Um requisito essencial de qualquer máquina de moldagem por injeção é que não tenha "pontos mortos" no cilindro. Qualquer obstrução que interfira com o fluxo do material pode fazer com que o mesmo seja retido, provocando superaquecimentos locais e, possivelmente, contaminação. Ao mudar a cor do material, também, é possível que o material retido nos "pontos mortos" apareça nos moldados após longo tempo.

6.3.B.1. MÁQUINAS DE ÊMBOLO

O tipo mais comum de máquina de êmbolo já foi descrito (Figura 6.1). A Figura 6.6 ilustra uma máquina em que a injeção se faz na superfície de separação dos moldes. É vantajoso, às vezes, injetar dessa maneira. Nesse caso, o mecanismo de separação está girado de 90°.

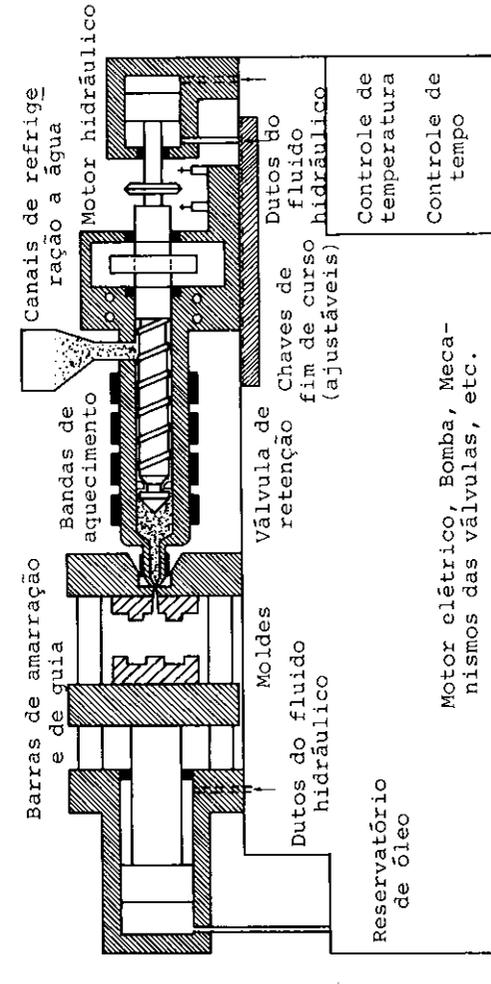


Figura 6.4 - Máquina simples de moldagem por injeção de parafuso.

Máquinas de êmbolo apresentam considerável queda de pressão entre o êmbolo, o material ainda no estado granular e o material fluído, produzida pelas altas características de atrito do material intermediário incompletamente plastificado. Para reduzir essa queda de pressão utilizam-se sistemas de pré plastificação (figura 6.7).

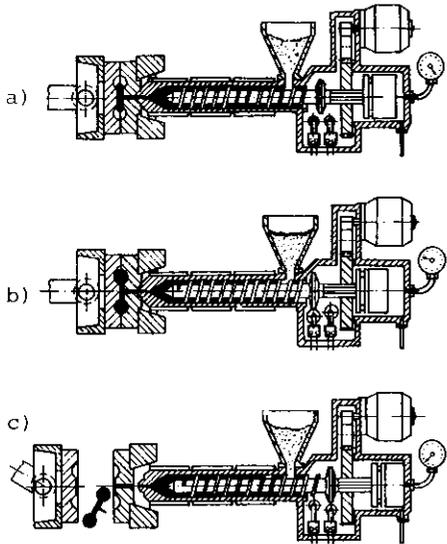


Figura 6.5 - Seqüência do processo de moldagem por injeção em máquina de parafuso. a) O parafuso é impelido por um pistão hidráulico e comprime, como um êmbolo, a massa plástica contida no molde; b) O molde está carregado e a massa se solidifica dentro do molde; c) O parafuso introduz o material plastificado no espaço à frente de sua cabeça, ao mesmo tempo em que se desmolda o objeto recém injetado.

Figura 6.6 - Máquina de êmbolo injetando no plano da superfície de separação dos moldes.

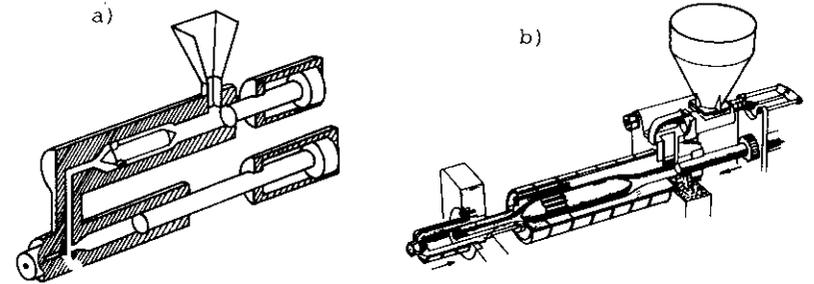
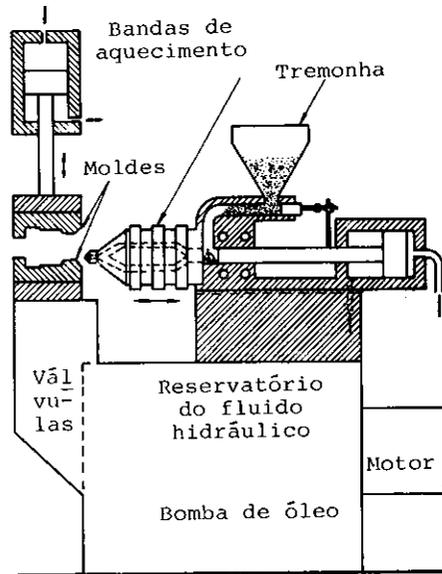


Figura 6.7 - Sistemas de pré-plastificação. a) Em paralelo; b) Em linha.

Nesse sistema o material oriundo da tremonha passa por um cilindro convencional de aquecimento, onde é aquecido e amolecido. Um êmbolo força o material através de um canal e mecanismo de válvula para um segundo cilindro, em que o material é mantido no estado plastificado até que possa ser injetado no molde. Os dois cilindros podem ser paralelos (a) ou em série (b). A vantagem desse tipo de máquina está em que a quantidade exata de material plastificado pode ser dosada por meio de chaves limitadoras no êmbolo do segundo cilindro.

6.3.B.2. MÁQUINAS DE PARAFUSO

Também já foram descritas anteriormente (Figura 6.4).

Em um tipo mais recente (Figura 6.8), um parafuso curto e robusto gira em um cilindro à cuja frente existe uma câmara de aquecimento semelhante a um bocal ampliado. O parafuso é furado, sendo atravessado por um êmbolo, cuja fase anterior se desloca na câmara de aquecimento.

Quando o parafuso gira o material é impelido e, passando pela câmara de aquecimento, através de canais usinados no êmbolo, chega à entrada do bocal, fazendo com que o êmbolo retroceda. Para injetar material no molde, o êmbolo é feito avançar por meio de pressão hidráulica. O retrocesso do material é impedido por válvulas unidirecionais existentes nos canais de comunicação do êmbolo.

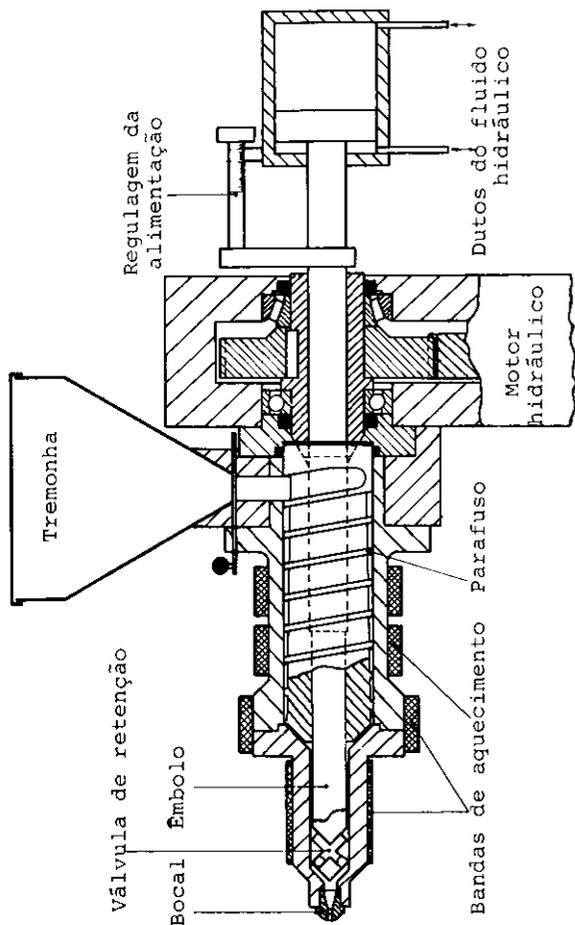


Figura 6.8 - Injetora coaxial de parafuso e êmbolo.

6.3.B.3. VARIANTES CONSTRUTIVAS

A Figura 6.9 ilustra uma máquina de moldagem de êmbolo, com pré-plastificação, em que o fechamento do molde é realizado por meio de um sistema de alavancas articuladas.

A Figura 6.10 mostra, em maior detalhe, a unidade de injeção de uma prensa desse tipo, enquanto que a Figura 6.11 mostra o acionamento hidráulico do sistema de alavan-

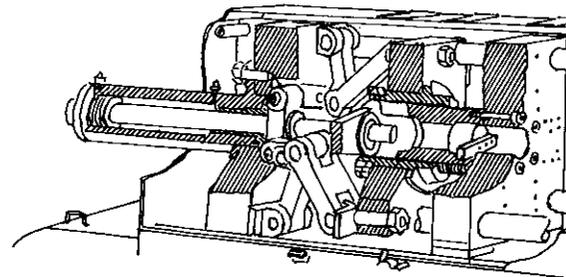


Figura 6.9 - Versão simples de máquina de moldagem por injeção com fechamento do molde por um sistema de alavancas articuladas.

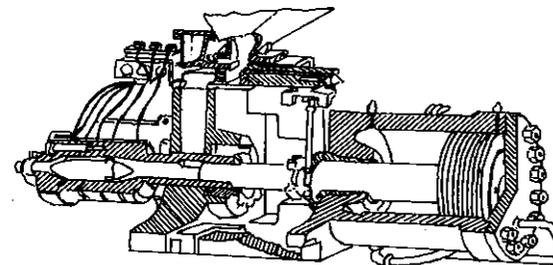


Figura 6.10 - Unidade típica de injeção.

cas articuladas.

O fechamento do molde por meio de um sistema de alavancas articuladas tem duas vantagens principais:

a) Assegura mecanicamente uma pressão efetiva de fechamento durante a etapa de injeção, sem sobrecarregar o cilindro hidráulico, que não precisa, assim, ser tão robusto;

b) Permite a ajustagem do posicionamento da placa móvel (Figura 6.12), adaptando o espaço entre as placas para diferentes alturas dos moldados. Em prensas de fechamento hidráulico direto, como se vê na mesma figura, essa ajustagem não é possível, e variações na altura dos moldados têm de ser assimiladas por meio de espaçadores;

Em máquinas de menor porte usam-se sistemas arti-

culados simples, como o da Figura 6.13. Já em máquinas de maior porte é freqüentemente usado o sistema de alavancas articuladas duplas (Figura 6.14), que, em que pese sua maior complexidade, tem a vantagem de proporcionar uma distribuição mais equilibrada da força exercida pelo êmbolo e a virtual eliminação das componentes transversais.

A Figura 6.15, finalmente, mostra novamente um sistema de fechamento hidráulico direto com cilindros laterais menores para efetuar o retrocesso da placa móvel, além de assegurar melhor controle do processo e maiores velocidades de operação. O cilindro principal, sendo apenas destinado ao deslocamento, dispensa o êmbolo, simplificando a usinagem, o que é particularmente importante no caso de prensas de grandes di

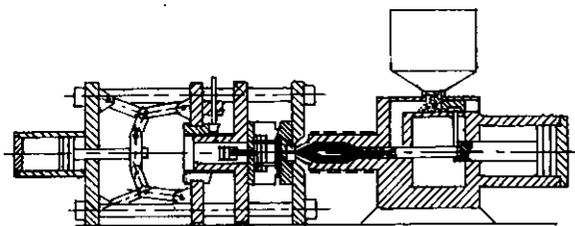


Figura 6.11 - Sistema típico de fechamento do molde por cilindro hidráulico e alavancas articuladas.

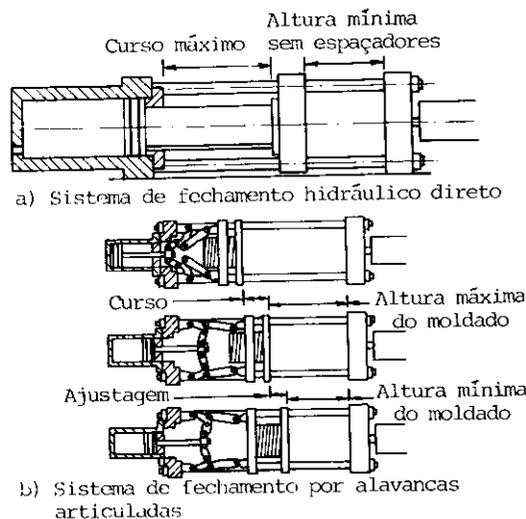


Figura 6.12 - Diferenças principais que afetam a máxima altura obtível em máquinas de fechamento hidráulico simples ou mediante alavancas articuladas.

Figura 6.13 - Sistema de fechamento de alavancas articuladas simples.

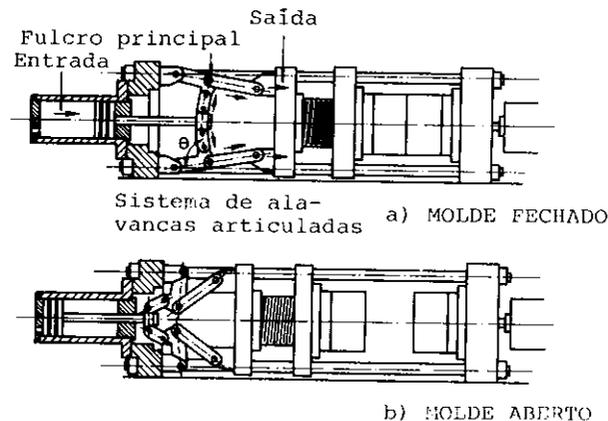
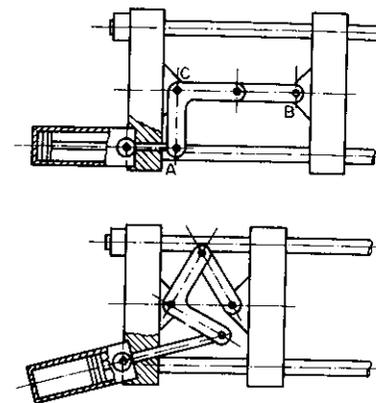


Figura 6.14 - Sistema simples de fechamento de dupla alavanca articulada.

mensões.

6.3.C. ELEMENTOS DA UNIDADE DE INJEÇÃO

Cilindro - O cilindro de uma injetora suporta, em serviço, pressões consideráveis. Por exemplo, uma injetora capaz de produzir moldados de 1 N de cada vez deve ter um cilindro de cerca de 65 mm de diâmetro e 25 mm de espessura de parede, suportando pressões da ordem de 140 MPa. Em sua extremidade posterior o cilindro é fixado a uma coluna metálica que

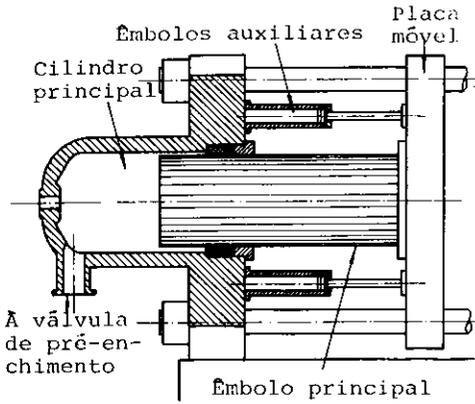


Figura 6.15 - Sistema hidráulico de fechamento direto, com êmbolos auxiliares.

suporta a tremonha, e que pode ser deslocada horizontalmente a fim de permitir a ajustagem do bocal ao moldado, na outra extremidade do cilindro. O aquecimento do cilindro é normalmente feito por resistências elétricas, cuja potência é determinada pelo tamanho e espessura do cilindro. A coluna que suporta o cilindro é resfriada a água, de forma moderada, a fim de evitar que o êmbolo engripe.

Torpedo - Usado somente em máquinas de êmbolo, na parte anterior do cilindro, está o torpedo ou difusor. Tem a função de preencher o espaço central do orifício do cilindro, forçando o material a escoar em canais estreitos adjacentes à parede do cilindro, a fim de garantir o rápido e adequado aquecimento do plástico. Deve ter um contorno que permita uma distribuição mais adequada das linhas de fluxo, a fim de evitar a possibilidade da ocorrência de "pontos mortos".

Bocal ou tubeira - Está situado à frente do cilindro, e constitui um orifício limitado pelo qual o material amolecido tem de passar antes de adentrar o molde, com a finalidade de:

a) fornecer uma separação fácil entre o moldado e o material quente contido no cilindro;

b) fornecer uma maneira de aquecer e amolecer rapidamente o material, imediatamente antes de o mesmo penetrar no

molde, tanto pelo aquecimento do bocal (por resistências) como pelo efeito do atrito do material ao passar pelo orifício estreito;

c) permitir, na moldagem de plásticos com temperaturas bem definidas de amolecimento e baixas viscosidades, que o fluxo seja cortado quando da abertura do molde, quer seja por um controle cuidadoso de temperatura, quer pela incorporação de válvulas. Um mecanismo típico de válvulas é mostrado na figura 7.16a. A mola mantém o bocal normalmente fechado pela barra-torpedo; a pressão de injeção, contudo, é suficiente para forçar o material, superando a resistência da mola, mas quando a pressão cai o bocal é efetivamente fechado.

Na moldagem de materiais de baixa viscosidade são usados filtros, que são tampões de aço com um número elevado de furos de pequeno diâmetro, inseridos à entrada do bocal. Eles reduzem o fluxo de material para fora do cilindro quando da abertura do molde, sem necessidade de resfriar o material.

A Figura 6.17 mostra os modelos mais comuns de bocais. O diâmetro do orifício depende da quantidade de material a moldar, de cada vez e, para os materiais usuais, pode ser aproximado pela tabela a seguir:

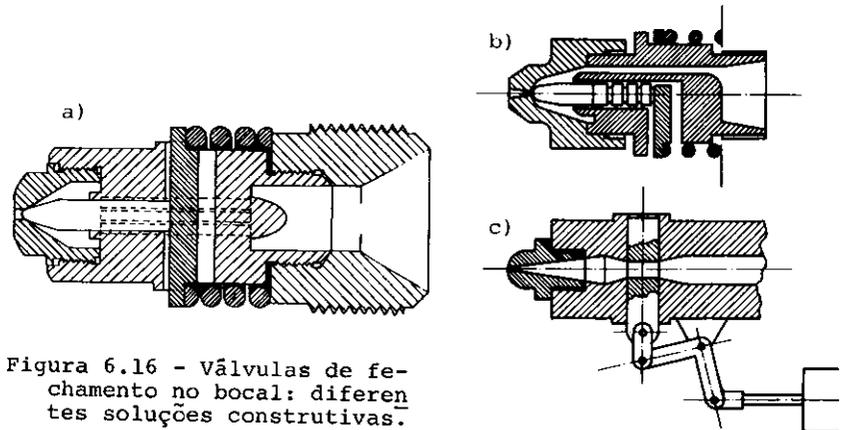


Figura 6.16 - Válvulas de fechamento no bocal: diferentes soluções construtivas.

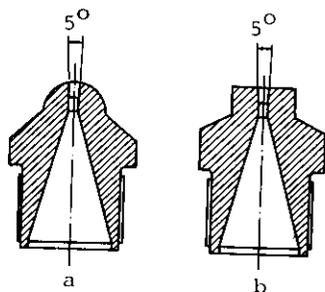
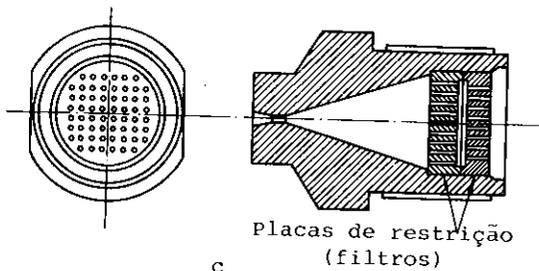


Figura 6.17 - Exemplos genéricos de projeto de bocais. a) Encaixe arredondado; b) Encaixe plano; c) Encaixe plano, incluindo placa de filtragem.



Peso do moldado (N)	d (mm)
0,25	3
0,80	5
2,0	7
3,5	8

Mecanismo de alimentação - Em máquinas de êmbolo, sem pré-plastificação, é essencial que a dosagem do material alimentado ao cilindro seja correta. Essa dosagem é normalmente feita por volume, o que requer que o material tenha uma densidade constante, como ocorre quando se usa matéria prima granular. O aproveitamento de material de peças sucataadas regranuladas, porém, fornece partículas de tamanho e forma variáveis, de forma que a densidade volumétrica se torna variável, exigindo dispositivos de alimentação compensados.

Um tal dispositivo está mostrado na Figura 6.18. Um êmbolo, que atua num canal na base da tremonha desloca mate-

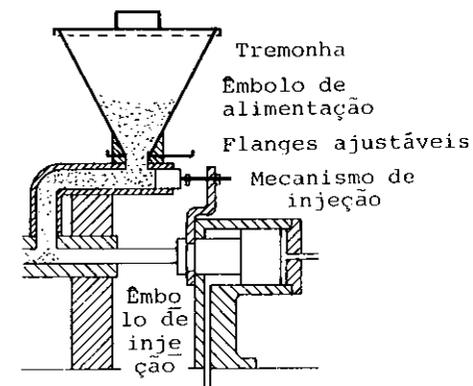
rial até um tubo vertical que leva ao cilindro. O curso desse êmbolo pode ser regulado, assim variando a carga. Uma barra fixa ao cilindro da máquina atua sobre dois flanges ajustáveis no prolongamento do êmbolo de alimentação, comandando a alimentação e o retorno desse êmbolo. Assim, para um curso maior do êmbolo de injeção tem-se a alimentação de uma carga maior, que pode ser variada pela regulação do posicionamento dos flanges.

Sistema de pressão - As injetoras modernas são, em geral, operadas por fluido hidráulico a pressões da ordem de 7 a 14 MPa. O valor adequado da pressão depende da viscosidade do material amolecido. Assim, o polietileno e o náilon, que tem baixas viscosidades, exigem pressões no cilindro da ordem de 28 a 70 MPa, enquanto que os acrílicos requerem pressões duas vezes maiores. Como o cilindro hidráulico tem área cerca de dez vezes superior à do cilindro de injeção, tem-se que uma pressão da linha de 7 a 14 MPa fornece as pressões requeridas no cilindro de injeção.

Também é importante a velocidade com que essa pressão pode ser aplicada. Geralmente se tem válvulas de controle de pressão para regular a velocidade do êmbolo de injeção.

Sistema de fechamento do molde - Antigamente as máquinas de injeção eram descritas em função do volume de mate-

Figura 6.18 - Mecanismo de alimentação de alimentação com compensação.



rial que podiam moldar de uma vez. Atualmente tende-se a usar a força de fechamento do molde como medida da capacidade das injetoras.

Para assegurar que o molde permaneça fechado à máxi ma pressão de injeção é necessário que a força gerada nas cavidades do molde seja menor do que a força de fechamento. Ou seja

$$P > p_m A = pa$$

onde

- P - força de fechamento do molde;
- p_m - pressão nas cavidades do molde;
- p - pressão na extremidade do cilindro;
- A - área das cavidades, na superfície de separação;
- a - área da seção transversal do cilindro.

Em verdade os materiais termoplásticos amolecidos não são fluidos newtonianos, ou seja, não obedecem ao princípio de Pascal. Se assim fosse, ter-se-ia $p_m = p$ e não seria possível moldar áreas projetadas maiores do que a área da seção transversal do cilindro de alimentação da injetora.

6.4. MOLDES

6.4.A. INTRODUÇÃO

O projeto de um molde de injeção deve ser feito tendo em conta as características da máquina, do material a moldar e da(s) peça(s) pretendida(s). Devem ser levados em consideração, entre outros, os seguintes aspectos:

- a) Peso do material por injeção
- b) Ciclo de moldagem
- c) Força de fechamento
- d) Abertura do molde
(Possibilidade de extração dos moldados)
- e) Alimentação

- f) Aquecimento do material
- g) Resfriamento do molde
- h) Quantidade e disposição das cavidades
- i) Contração do material
- j) Máquina a ser empregada
(Arranjo para fixação do molde, espaçamento entre colunas, curso de abertura)
- k) Aspectos estéticos
(Aceitabilidade de marcas ou linhas resultantes de blocos do molde, núcleos, extratores, etc., na superfície dos moldados produzidos)
- l) Escoamento do material durante a injeção
(Aceitabilidade de linhas de fluxo ou de soldagem)
- m) Resistência
(A ferramenta deverá suportar os esforços envolvidos no processo de moldagem durante a vida que lhe foi prevista)
- n) Flexibilidade de manutenção
(Facilidade de desmontagem e remontagem em caso da necessidade de substituição de componentes gastos ou avariados ou, mesmo, de modificação da ferramenta)

O peso do material deslocado em cada injeção é obtido a partir do conhecimento de seu volume e peso específico. O primeiro está definido em função do produto a obter, e das dimensões dos canais de alimentação no molde. O segundo é função do plástico empregado.

A duração do ciclo de moldagem é afetada por fatores como

- características geométricas do produto (peso, espessura, área de contato com o molde)
- características térmicas do material moldado
- características térmicas do molde (peso, existência de um sistema de arrefecimento).

Em princípio define-se o ciclo de moldagem pela relação

$$n = \frac{C_p}{G} \text{ ciclos/hora}$$

onde

C_p é a capacidade de plastificação, ou seja, a quantidade de material que a injetora tem capacidade de levar à temperatura de moldagem em uma hora, sendo expressa em N/h; trata-se, por isso, de uma característica associada ao sistema de aquecimento da injetora; e

G é o peso de material deslocado em cada injeção (N).

A capacidade de plastificação é usualmente referida a um material padrão (polistireno). Para outros materiais considera-se

$$C_p = C_{pP} \frac{q_p}{q}$$

onde

C_{pP} é a capacidade de plastificação do material padrão (polistireno);

q_p é a quantidade de calor específica do polistireno (quantidade de calor requerida para levar uma unidade de peso, 1 N, à temperatura de injeção); e

q é a quantidade de calor específica do material em consideração.

Essas quantidades de calor específicas podem ser obtidas da Tabela 8, que lista as propriedades físicas dos materiais termoplásticos mais comuns.

É usual operar-se abaixo da capacidade de plastificação da injetora, adotando-se reduções da ordem de 20% em máquinas de parafuso, e de 40% ou mais nas de êmbolo.

Define-se, ainda, a capacidade de injeção, C_i , de uma máquina, como sendo o máximo peso de material que pode ser injetado de uma vez. Trata-se, portanto, de uma grandeza que está associada à capacidade de transporte do sistema mecânico-hidráulico da injetora. É também, comumente, referida ao material padrão (polistireno) pela relação

$$C_i = C_{iP} \frac{\gamma}{\gamma_p} \frac{V_p}{V}$$

onde

C_i é a capacidade de injeção para um material qualquer

C_{iP} é a capacidade de injeção para o material padrão

γ e γ_p são os pesos específicos do material a moldar e do material padrão; e

V e V_p são os respectivos fatores volumétricos, os quais expressam as características do granulado de cada um dos materiais.

A Tabela 8 fornece, para os termoplásticos mais comuns, as características físicas necessárias à definição de suas capacidades de injeção.

A força de fechamento do molde já foi referida na seção anterior (6.3.C).

Quantidade e disposição das cavidades - Para pequenas produções ou para peças grandes são comumente empregados moldes de cavidade única. Para grandes produções, no caso de peças de menor porte, contudo, são empregados moldes de cavidades múltiplas, que permitem a moldagem de mais de uma peça em cada injeção. Por vezes usam-se moldes de cavidades distintas, que permitem moldar peças diferentes em uma mesma injeção. Nesses casos é necessário estudar a disposição mais adequada das cavidades, desde o ponto de vista da minimização do custo da ferramenta, da racionalização do fluxo do material nos canais de acesso às cavidades, e do fechamento eficiente e balanceado da ferramenta.

Um fechamento desbalanceado gera momentos que tendem a abrir localmente os moldes, levando à formação de rebarbas. Para evitá-los é necessário que as cavidades iguais sejam dispostas, tanto quanto possível, simetricamente. Adicionalmente, a disposição das cavidades deve ser de forma a reduzir o tamanho do molde (e o custo do ferramental) e a garantir que todas sejam preenchidas concomitantemente, a fim de assegurar características uniformes às peças produzidas.

A Figura 6.19 mostra diferentes distribuições visando a implementar essas recomendações. No terceiro caso observa-se que os canais de alimentação foram providos de amplos raios de curvatura a fim de evitar bruscas mudanças de direção

TABELA 8 - PROPRIEDADES FÍSICAS DOS MATERIAIS TERMOPLÁSTICOS
RELEVANTES À MOLDAGEM POR INJEÇÃO

Material	Fator volumétrico	Peso específico (kN/m ³)	Calor específico (kJ/N/°C)	Conteúdo de calor (kJ/N)	Difusividade térmica (mm ² /s)	Temp. de injeção (°C)	Temp. de distorção (°C)
ABS	1,8-2,0	9,81-10,40	0,149-0,170	59,7-72,5	0,128	190-250	98
CA	2,4	12,16-13,15	0,128-0,179	52,9	0,132	190	70
CAB	2,2	11,28-12,00	0,128-0,170	47,3	0,145	180-230	70
PA	2,0-2,1	10,69-11,18	0,170	128-149	0,125	230-275	160
PC	1,75	11,77	0,128	---	0,079	290-300	
PE - Baixa densid.	1,84-2,3	8,93-9,22	0,235	106,6-128	0,138	180-260	60
Alta densid.	1,725-1,9	9,22-9,47	0,235	106,6-128	0,086	190-305	90
PMMA	1,8-2,0	11,48-11,77	0,149	52,5	0,121	180-240	85
POM	1,8-2,0	13,73	0,149	76,8	0,112	190-240	
PP	1,92-1,96	8,83-8,93	0,196	106,6-128	0,079	200-305	90
PS	1,9-2,15	10,20-11,77	0,136	51,2-64,0	0,057-0,089	90-200	90
PVC* - Rígido	2,3	13,24-14,22	0,085-0,119	38,4	0,077	180-200	
Flexível	2,3	11,38-13,24	0,128-0,213	38,4	0,087-0,109	165-190	
SAN	1,9-2,15	10,77	0,141	51,2-64,0	0,082	200-250	90

*) Propriedades extremamente dependentes da formulação

que provocariam perturbações no fluxo do material, em sua trajetória rumo às cavidades. Já a Figura 6.20 mostra que no caso da moldagem de componentes diferentes se deve procurar uma distribuição que produza, tanto quanto possível, a simetria dos esforços que se desenvolvem durante a moldagem. A fim de simplificar o problema, as cavidades (menos uma) são distribuídas com uma simetria de esforços verificada apenas a sentimento. A última cavidade é, então, alojada por via gráfica ou analítica, de forma a equilibrar os momentos de todas as forças que atuam no molde, através das equações

$$\sum A_i x_i = 0 \quad \text{e} \quad \sum A_i y_i = 0$$

em que

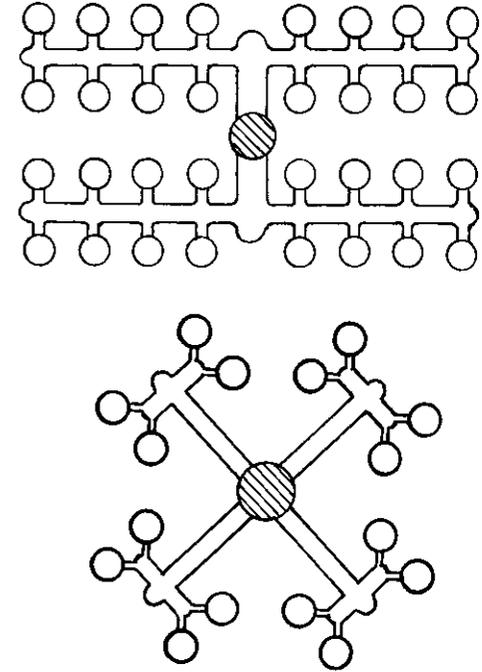
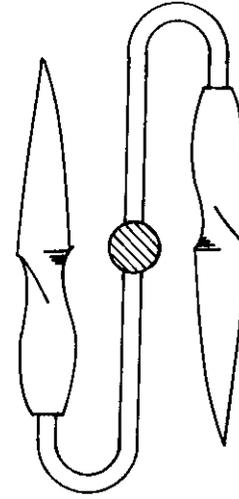


Figura 6.19 - Distribuição das cavidades e arranjo físico dos canais de alimentação na moldagem por injeção.

A_i são as áreas projetadas das diversas cavidades; e x_i, y_i são as coordenadas dos respectivos baricentros.

Abertura do molde - Deve ser planejada de forma a garantir a fácil retirada dos moldados, sem que os mesmos sejam danificados e sem que a solução eventualmente adotada crie problemas difíceis de usinagem para o molde. Adicionalmente é desejável que as linhas de separação dos moldes não deixem marcas ou rebarbas nas superfícies nobres do moldado.

O projeto deve prever, preferivelmente, que o moldado tenha a tendência a ficar preso à parte móvel do molde, já que é nesta que se localizam os extratores. É o que se observa a Figura 6.21: com a contração do moldado, devida ao resfriamento, o mesmo tenderá a ficar preso na parte móvel do molde, podendo, porém, ser facilmente removido pelos extratores.

O projeto deve garantir, ainda, que a abertura do molde permita uma folga entre seus componentes, equivalente a pelo menos o dobro da altura do moldado, a fim de que este possa ser retirado sem esforços que poderiam provocar distorções. É evidente que essa folga só poderá ser obtida adequando as dimensões da ferramenta ao curso total disponível na injetora. Em certas circunstâncias, o projeto poderá não ser realizável na máquina pretendida.

A linha de abertura correspondente à divisão da ferramenta, tenderá a ficar aparente no moldado. É necessário decidir de antemão se isso é visualmente aceitável, ou se existe a possibilidade de dissimular essa linha de abertura, fazendo com que ela coincida com uma aresta do moldado.

Alimentação - A trajetória do material injetado, a partir do bocal, passa pela bucha de injeção, daí se distribuindo pelos canais de alimentação, passando pelos pontos de injeção, e adentrando, finalmente, as cavidades (Figura 6.22). Os pontos de injeção, ou seja, os pontos pelos quais o material penetra na cavidade, devem ser criteriosamente localizados, a fim de assegurar o fluxo mais adequado do material nas cavi-

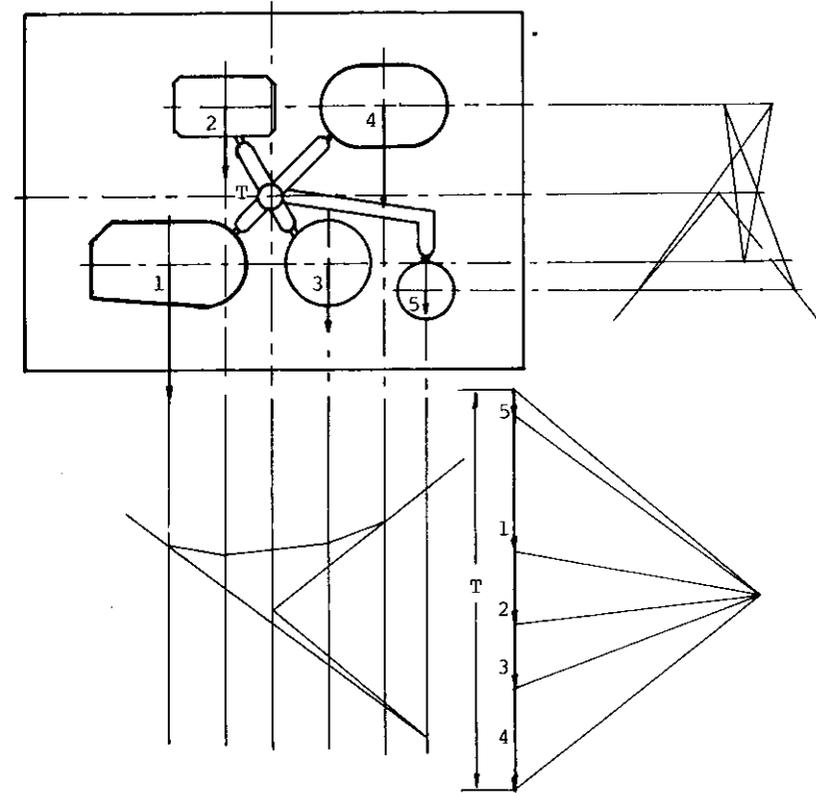


Figura 6.20 - Distribuição das cavidades e determinação do centroide dos esforços, para fins de localização do canal de alimentação.

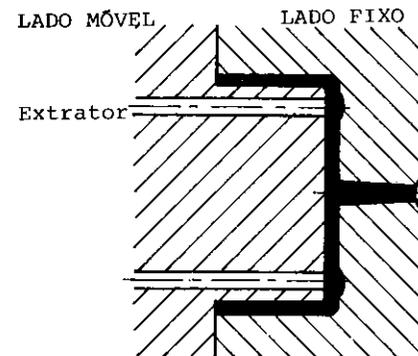


Figura 6.21 - Moldado disposto de forma a ficar retido no lado móvel do molde.

dades, e de não deixar marcas em regiões indesejáveis das peças. Do ponto de vista do fluxo é desejável que esses pontos de injeção sejam localizados no centro geométrico das cavidades; mas é necessário considerar os custos envolvidos na dissimulação desses pontos, e o fato de que neles se verificam concentrações de tensões que tendem a produzir, por vezes, rachaduras indesejáveis nas peças produzidas. Dependendo da natureza da peça moldada, outro tipo de solução pode se tornar impositivo, envolvendo aspectos de estética, resistência mecânica, fluxo de material e reflexos sobre a usinagem.

Em geral a alimentação se faz pela parte mais espessa da peça e, a fim de minimizar defeitos superficiais, de forma a incidir sobre uma parede da cavidade. As paredes mais delgadas, por seu turno, deverão ser preenchidas por último, já que aí o material resfriará mais rapidamente, restringindo o fluxo do material.

O posicionamento da garganta deve ser de forma a permitir que o ar contido no molde possa escapar pelas superfícies de fechamento, ao redor dos extratores ou de outra forma especificamente prevista para tal fim.

Tanto quanto possível, deve-se minimizar o reencontro de fluxos durante a moldagem, de vez que as soldas resultantes são visíveis e esteticamente indesejáveis, além de constituírem seções fracas do moldado. Isso condiciona, muitas vezes, o posicionamento da garganta. Em geral, implica na necessidade de prover mais de um ponto de injeção. Outras vezes se prevê uma cavidade auxiliar para a qual é deslocada a linha de solda. A Figura 6.23 ilustra diversas alternativas.

Múltiplos pontos de injeção se fazem também necessários na moldagem de peças longas de paredes delgadas, porquanto a alimentação através de um único ponto exigiria pressões consideráveis.

O dimensionamento das cavidades deve levar em conta a contração do material com o resfriamento, que é mais acentuada no sentido do fluxo do material. Em moldados de polie-

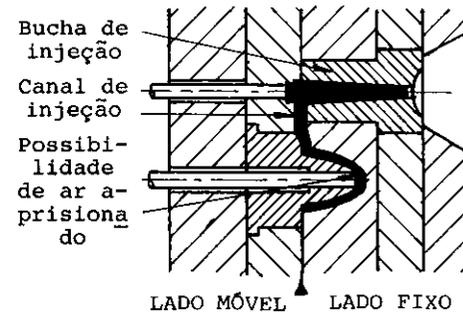


Figura 6.22 - Fluxo do material, rumo às cavidades.

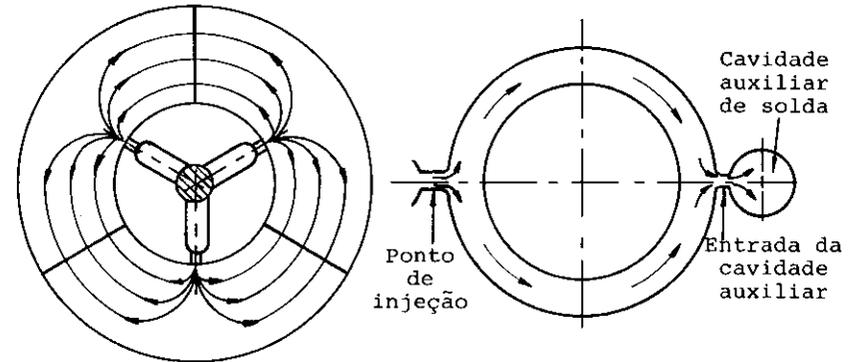


Figura 6.23 - Fluxo do material nas cavidades e reencontro de fluxos; no segundo exemplo a solda resultante do reencontro de fluxos foi deslocada para uma cavidade auxiliar, externa à peça pretendida.

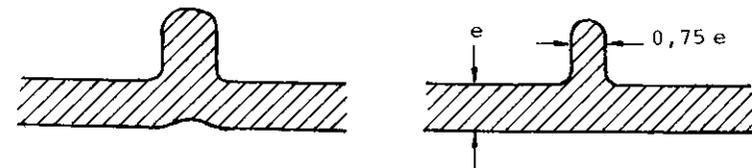


Figura 6.24 - Contração excessiva, ou chupagem, no lado oposto a nervuras espessas, e solução do problema pela limitação da espessura das nervuras.

tileno de alta densidade, por exemplo, em paredes com espessura da ordem de 3 mm, tem-se contrações de cerca de 2,5% no sentido do fluxo, e de 2% transversalmente.

Na moldagem de grandes superfícies planas é necessário prever nervuras de rigidez que podem servir, também, como canais de alimentação. Essas nervuras, contudo, devem ter espessuras de no máximo 75% da espessura da parede que reforçam, do contrário darão origem a chupagens que desfiguram esteticamente o moldado (Figura 6.24).

Resfriamento do molde - Deve ser provido para acelerar a solidificação e extração dos moldados. É necessário, porém, levar em conta que um resfriamento inadequado pode gerar tensões internas e distorções dos moldados. Esse resfriamento é, via de regra, obtido pela circulação de água fria (às vezes ar comprimido) por passagens existentes nas ferramentas, formadas por furos ou rasgos executados nas mesmas, ou por serpentinas de cobre adaptadas convenientemente (Figura 6.25).

É preciso, contudo, observar:

- a) O duto de resfriamento não deverá estar demasiado próximo (o que geraria pontos frios e falhas de moldagem) nem afastado (ação insuficiente) da superfície de moldagem, recomendando-se afastamentos da ordem de 25 a 40 mm;
- b) O fluxo do fluido refrigerante deve ser suficiente para garantir a eficiência do sistema de refrigeração sob a condição de máxima produção;
- c) A fim de não obstruir a liberdade de acesso do operador à máquina, as conexões de entrada e saída do fluido refrigerante devem ser dispostas de um mesmo lado do molde;
- d) A temperatura de diferentes regiões do molde deve ser, tanto quanto possível, homogênea;
- e) Materiais como os polietilenos, que são mais suscetíveis às distorções, devem ter um fluxo de resfriamento que coincida com o fluxo do material;
- f) A refrigeração deve assegurar que a solidifica-

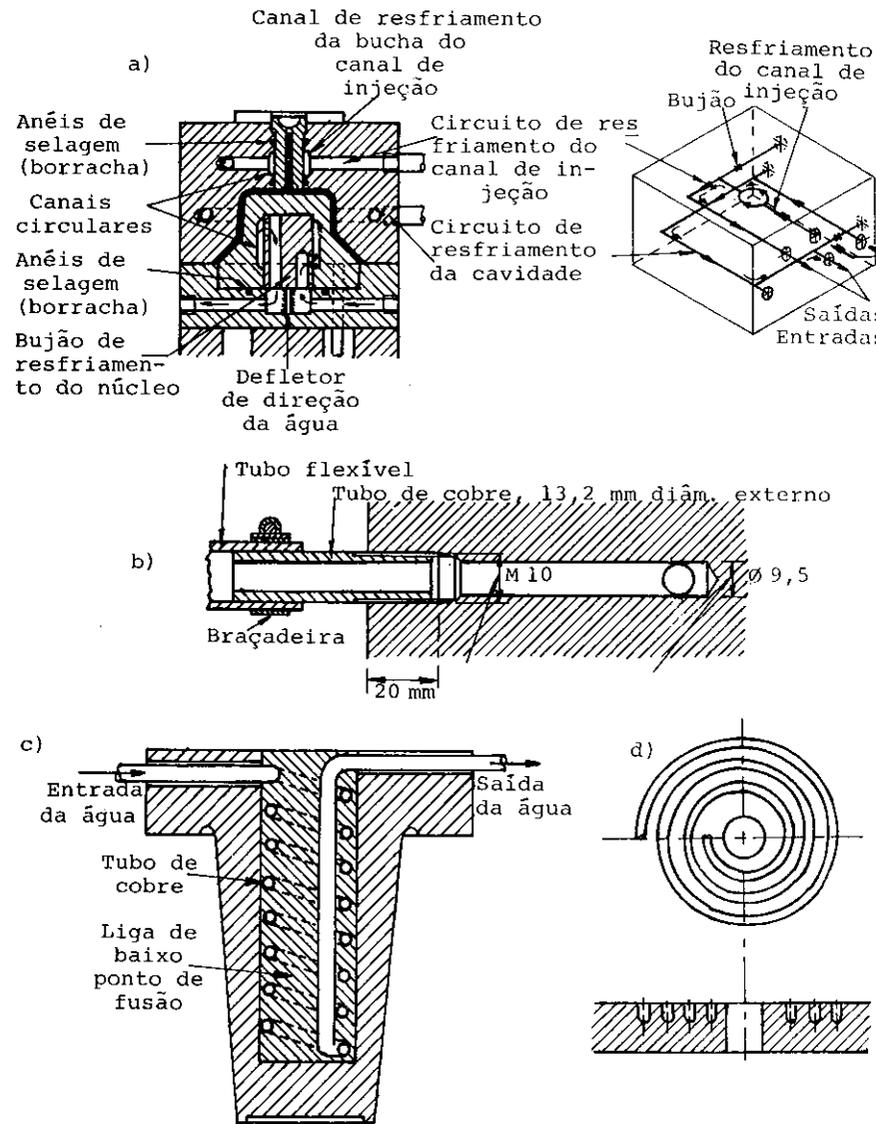


Figura 6.25 - Diferentes soluções construtivas para o sistema de refrigeração do molde. a) Circuito de água para a ferramenta (em corte e perspectiva); b) Conexões para a água de resfriamento; c) Tubulação de cobre em serpentina alojada em perfuração executada no molde, e mantida em posição por enchimento em liga de baixo ponto de fusão; d) Serpentina de cobre alojada em rebaixo usinado na superfície do molde.

ção tenha início nas partes mais afastadas, e termine no canal de alimentação, do contrário ocorrerão bolhas e chupagens.

A quantidade de calor a ser extraída da ferramenta pode ser expressa por

$$Q = 3,6 G_h [c_p (t_i - t_m) + L] \quad [kW]$$

onde

G_h é a quantidade de material plástico injetada por hora (N/h);

c_p é o calor específico do material plástico (J/N/°C);

t_i é a temperatura de injeção (°C);

t_m é a temperatura do molde (°C); e

L é o calor latente do material plastificado (J/N).

Como os termos que compõem no colchete são característicos do material que se está moldando, e como a temperatura do molde é usualmente mantida no nível operacional compatível com a temperatura de distorção do mesmo, é comum expressar-se essa equação na forma condensada

$$Q = G_h q \quad [kW]$$

onde q , em J/N, é a quantidade total de calor que deverá ser extraída por unidade de peso do moldado (ou quantidade de calor específica, ou conteúdo térmico específico).

Deve, então, ser previsto um fluxo de água dado por

$$G_a = \frac{Q}{1536 \eta (t_s - t_e)} \quad [N/h]$$

onde t_e e t_s são, respectivamente, as temperaturas de entrada e saída da água, e η expressa a eficiência do sistema de refrigeração, valendo

0,64 - circulação na cavidade ou no núcleo do macho;

0,50 - circulação em placas de encosto;

0,10 - circulação em tubos de cobre adaptados.

A fim de que os moldados possam ser retirados do

molde sem risco de deformação ou de dano à qualidade das superfícies, é necessário que sua extração se dê quando os mesmos estejam a uma temperatura inferior à temperatura de distorção, característica de cada material plástico. O tempo mínimo requerido para que um sistema de refrigeração adequadamente projetado consiga esse efeito pode ser calculado pela expressão

$$\theta = - \frac{t^2}{2\pi\alpha} \ln \left[\frac{\pi}{4} \left(\frac{t_d - t_m}{t_i - t_m} \right) \right] \quad [s]$$

onde

θ é o tempo requerido para o resfriamento (s);

α é a difusividade térmica do material (mm²/s);

t é a espessura do moldado (mm);

t_d é a temperatura de distorção do plástico (°C);

e t_i e t_m são os mesmos vistos anteriormente.

Note-se que a moldagem de peças com grandes espessuras de parede pode requerer tempos consideráveis de resfriamento.

Aquecimento do molde - Pode ser eventualmente requerido na moldagem de materiais críticos, como os acrílicos, que não moldam satisfatoriamente em moldes frios, e, necessariamente na eventual moldagem de termoestáveis. É feito por resistência elétrica ou por circulação de água ou óleo aquecidos.

6.4.B. COMPONENTES DO MOLDE DE INJEÇÃO

A Figura 6.26 mostra, numa vista explodida, os vários elementos que compõem um típico molde de injeção. Aparecem, de cima para baixo:

- anel localizador, que serve para centrar a

- bucha de injeção, pela qual penetrará o material plastificado, relativamente à

- placa de base frontal, que serve para fixar a parte estacionária do molde à placa fixa da injetora; em seguida vem a

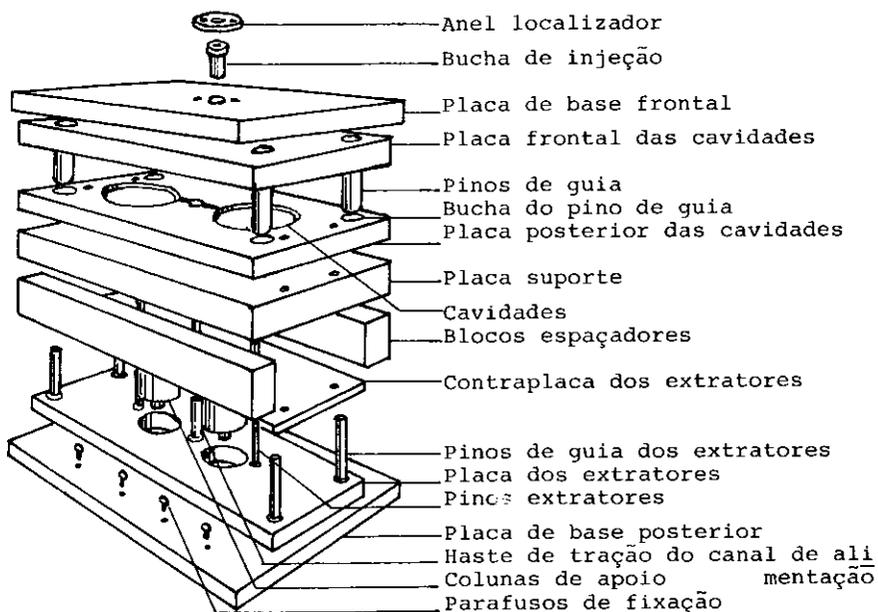


Figura 6.26 - Vista explodida de um molde de injeção típico, de duas placas.

- placa frontal das cavidades, que aloja parte das cavidades, serve de base para os insertos das cavidades e para os
- pinos de guia, que alinham o referido prato frontal com a
- placa posterior das cavidades, onde se aloja o restante das cavidades; segue-se a
- placa suporte, à qual é fixada a anterior; os
- blocos espaçadores, que visam a proporcionar espaço para o movimento da
- placa dos extratores, sobre a qual estão montados os
- pinos extratores, que são mantidos em posição por

meio da

- contraplaca dos extratores.

Finalmente tem-se a

- placa de base posterior, que serve para fixar a parte móvel do molde à placa móvel da máquina injetora, através dos

- parafusos de fixação.

Adicionalmente tem-se, ainda,

- pinos de guia dos extratores;
- colunas de apoio, que servem para transmitir a força de fechamento; e a
- haste de tração do canal de alimentação.

Estes elementos devem, sempre que possível, ser normalizados.

Esta ferramenta constitui a concepção mais simples de um molde de injeção, e é conhecida como molde de duas placas. As placas das cavidades, eventualmente, podem alojar o sistema de refrigeração anteriormente descrito.

A Figura 6.27 mostra uma vista em corte de uma ferramenta de duas placas montada, apresentando algumas variantes construtivas em relação à da figura anterior. Os elementos com pontos são novamente identificados. Na legenda da figura são indicados, também, os materiais mais comumente empregados na confecção desses elementos.

Já a Figura 6.28 mostra um molde de três placas, que tem, adicionalmente, uma placa central flutuante que aloja parte do sistema de distribuição. Por ocasião da abertura essa placa é separada das outras duas, permitindo a extração do moldado de um lado, e do canal de alimentação e dos canais de distribuição pelo outro. Ferramentas desse tipo são usadas na moldagem com cavidades múltiplas; na alimentação central de peças com entradas restritas em ferramentas de cavidade simples; ou na alimentação de áreas de peças com múltiplos pontos de alimentação restritos. Em virtude do grande peso que tende a apresentar a placa flutuante, esse tipo de ferramenta raramente é utilizado na produção de moldados de grandes dimensões.

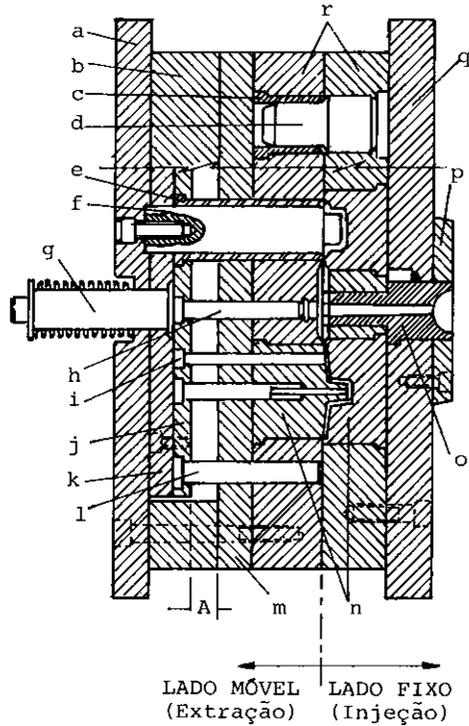


Figura 6.27 - Construção típica de um molde de duas placas.
 a) Placa de base posterior (Aço doce); b) Espaçador (Aço doce); c) Bucha do pino de guia (Aço Cr-Ni temperado); d) Pino de guia (Aço Cr-Ni temperado); e) Extrator tipo camisa ou bucha extratora (Aço Cr-Ni temperado); f) Pino-núcleo macho (Aço Cr-Ni); g) Mecanismo de operação e mola de retorno dos extratores (Aço doce); h) Haste de tração do canal de alimentação (Aço Cr-Ni temperado); i) Pino extrator (Aço Cr-Ni temperado); j) Contraplaca dos extratores (Aço doce); k) Placa de apoio dos extratores (Aço doce); l) Pinos de guia dos extratores (Aço Cr-Ni temperado); m) Placa de apoio dos inserts (Aço Cr-Ni ou doce); n) Inserto (Aço Cr-Ni com tratamento térmico que depende do número e tipo de peças móveis); o) Bucha de injeção (Aço Cr-Ni temperado); p) Anel localizador ou de centragem da bucha de injeção (Aço Cr-Ni ou doce); q) Placa de base frontal, e de apoio dos inserts (Aço Cr-Ni ou doce); r) Placas de montagem dos inserts (Aço Cr-Ni).

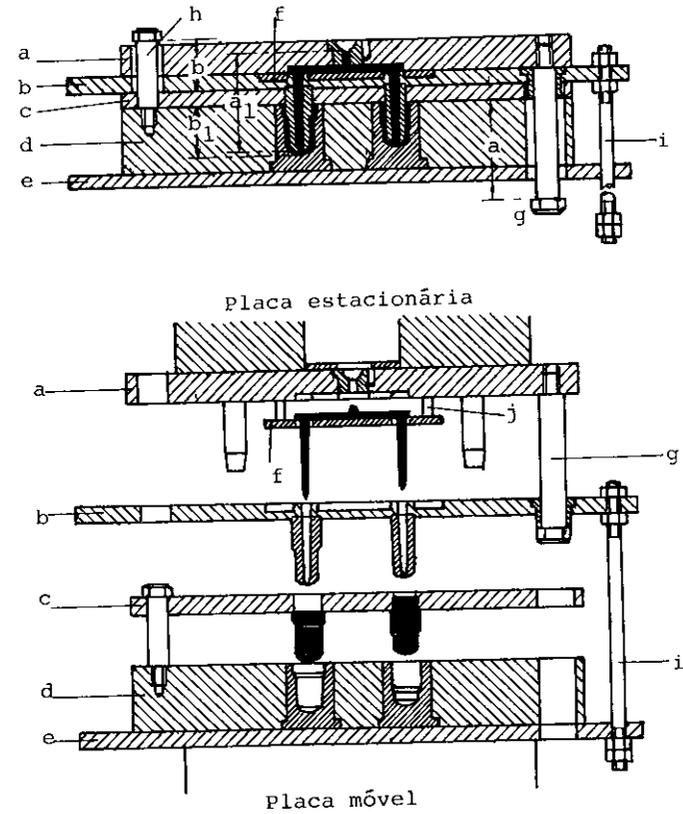


Figura 6.28 - Ferramenta de duas cavidades, de três placas, com entrada capilar (por garganta). a) Placa de base frontal (Lado estacionário); b) Placa central (flutuante) ou terceira placa; c) Placa de extração; d) Placa de montagem dos inserts; e) Placa de base posterior (Lado móvel); f) Placa de extração do canal de injeção; g) Pinos de extração; h) Batente da placa flutuante; i) Hastes limitadoras; j) Hastes limitadoras da placa de extração do canal de injeção.

A vista superior da Figura 6.28 mostra a ferramenta na posição fechada, enquanto que a vista inferior a mostra na posição aberta.

Ao se iniciar o movimento da placa móvel, o molde fica dividido entre as placas de extração (c) e de montagem dos insertos (d); a ação é ajudada pelos moldados, que ficam nos núcleos machos. Quando esses núcleos deixam as cavidades, os batentes (h) tocam no lado de injeção da placa de extração (c). Conseqüentemente, é necessário que a dimensão b seja maior que a dimensão b_1 . A placa extratora, então, extrai os moldados dos núcleos machos; durante essa operação as hastes limitadoras (i) contactam a face posterior da placa de base posterior (e) e movimentam a placa flutuante (b) para a frente, estabelecendo uma nova linha de separação entre esta e a placa de base frontal (a).

O movimento inicial da placa flutuante destaca o canal da bucha de injeção em virtude dos rebaiços no canal de alimentação dos machos. A placa de extração do canal de injeção (f) é mantida entre a placa flutuante e o sistema de distribuição superior em virtude dos mesmos rebaiços.

A placa extratora (f) tem um movimento limitado, determinado pelas hastes limitadoras (j). Quando as cabeças dessas hastes tocam no lado de extração da placa (f), esta pára. Os canais de alimentação são extraídos ao ser vencida a resistência dos rebaiços. O movimento total da placa flutuante é restrito ao comprimento a entre a parte inferior das cabeças das hastes (g) e a face da bucha de injeção. Para livrar o sistema de distribuição, a dimensão a deve exceder a_1 . O sistema de distribuição pode cair livremente da placa (f) por que a face (k) tem a forma de um rasgo de extremidade aberta, sendo o extremo aberto projetado para ficar sempre virado para baixo.

6.4.C. MOLDES COM PARTES MÓVEIS

Moldados de forma geométrica mais complexa não podem por vezes ser moldados com ferramentas como as descritas. É o

caso de peças com rebaiços, que não poderiam ser extraídas.

Nesse caso são utilizadas ferramentas com partes móveis, que podem ser de quatro tipos:

- partes móveis no lado estacionário
- partes móveis no lado móvel
- partes móveis operadas pelo extrator
- partes móveis operadas manualmente

As Figuras 6.29 a 6.32 mostram ferramentas de cada um desses tipos. As primeiras duas são claramente autoexplicativas.

Às vezes, porém, as peças possuem rebaiços unilaterais, e seria conveniente a colocação de toda a ferramenta em partes móveis, especialmente no caso de ferramentas de grande porte. Nesses casos o rebaixo pode ser obtido por um macho móvel, operado por meios hidráulicos ou pneumáticos ou, alternativamente, a partir do mecanismo de extração. É o caso ilustrado na Figura 6.31. O moldado (a) possui um rebaixo local (b), formado pelo macho (c). O movimento lateral desse macho é controlado pela barra (d), que desliza para dentro e para fora do bloco (e). Uma extremidade da barra é presa ao bloco do macho, e a outra termina no rolamento (f), que desliza numa placa temperada (g), solidária ao mecanismo extrator da ferramenta.

Já a Figura 6.32 mostra uma ferramenta de duas cavidades que produz bobinas quadradas. A carcaça (c) esta montada na placa móvel, e seu rasgo com lados inclinados é fechado de um lado pela placa (e). As partes móveis (b) deslizam no rasgo, sendo retidas na carcaça pelas placas (a). Essas partes móveis são posicionadas uma em relação à outra pelos pinos (g). Quando em operação, as duas partes são colocadas na carcaça através do topo; à medida que a prensa fecha, a pequena projeção das partes móveis que se sobressai da carcaça recebe a pressão de fechamento, acomodando a ferramenta e forçando as partes móveis, uma de encontro à outra, por meio da força exercida pelas faces inclinadas do rasgo. Ao ser aberta a ferramenta, as partes móveis são removidas manualmente da prensa por intermédio da alça (d). Essa ferramenta se justifica, evidentemente, quando o volume de produção requerido

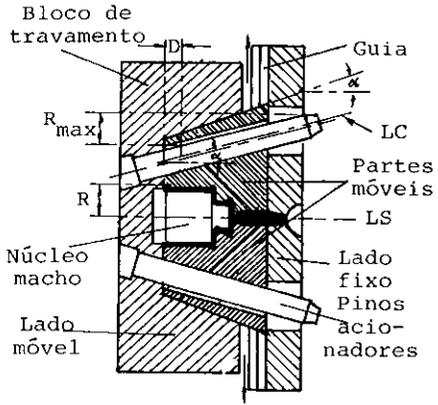


Figura 6.29 - Molde com partes móveis no lado estacionário. LC: linha de centro do furo de folga das partes móveis; LS: linha de separação; R: abertura máxima; R_{max} : curso máximo.

Figura 6.30 - Molde com partes móveis no lado móvel. LS: linha de separação; R: abertura máxima; R_{max} : curso máximo.

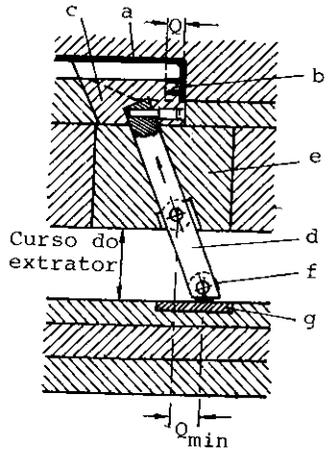
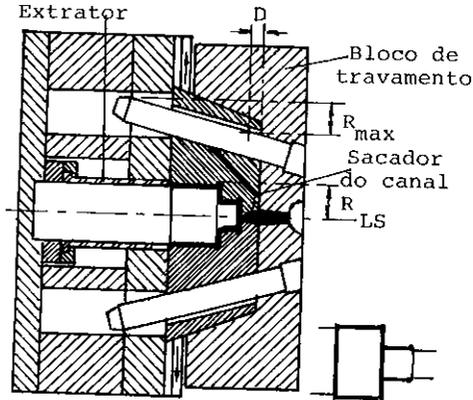


Figura 6.31 - Rebaixo local formado pelo macho e operado pelo mecanismo extrator.

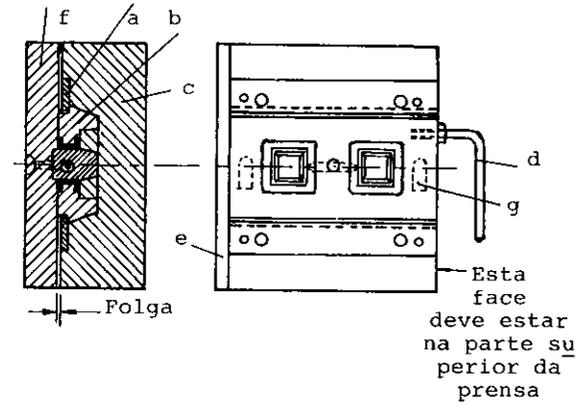


Figura 6.32 - Ferramenta portátil.

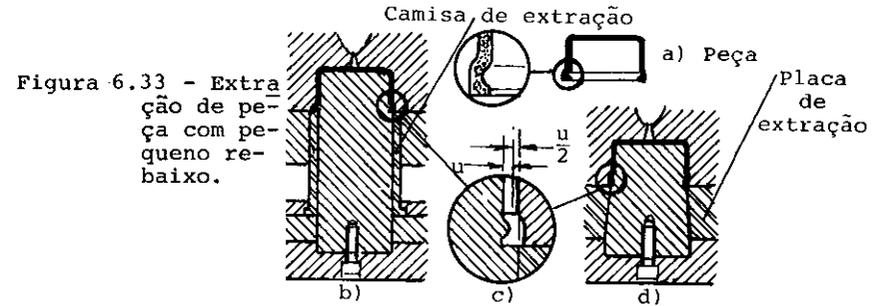


Figura 6.33 - Extração de peça com pequeno rebaixo.

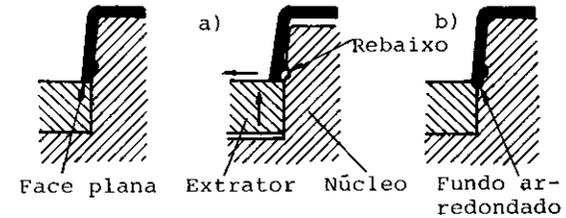


Figura 6.34 - Extração de peça com pequeno ressalto.

é pequeno.

No caso de rebaixos de pouca profundidade em peças moldadas em termoplásticos pouco rígidos, a extração pode ser conseguida sem a necessidade de uma ferramenta dotada de partes móveis. É o caso, por exemplo, da Figura 6.33, em que a extração é conseguida simplesmente sob a ação de uma camisa extratora, mediante a deformação limitada da peça. A mesma solução se aplica, também, a ressaltos, como se observa na Figura 6.34. Note-se, contudo, que essa solução impõe condições ao projeto local da peça. Se ela for dotada de uma face plana, sobre a qual possa atuar o extrator, como se observa em (a), a ação pode ser obtida com facilidade. Se, porém, a peça for localmente arredondada, como é o caso em (b), o mais provável é que o ressalto produzido venha a ser cisalhado durante a extração, inutilizando assim a peça.

Esse risco de cisalhamento está presente também no caso de fundos planos, se o diâmetro interno da camisa extratora (ou do anel de extração) avançar por sob a projeção do rebaixo. Recomenda-se, por isso, manter entre o diâmetro interno do extrator e o diâmetro do fundo do rebaixo uma diferença correspondente, aproximadamente, à espessura do moldado. É o que se destaca em (c), na Figura 6.33.

A Figura 6.33 torna evidentes, ainda, as vantagens construtivas da decomposição dos elementos do projeto da ferramenta em peças de mais simples usinagem (Observe-se que a camisa extratora e o macho de (a) podem ser obtidos por torneamento.

6.4.D. MOLDES DE CANAL QUENTE

Os moldes do tipo convencional até aqui descritos apresentam o inconveniente de requererem a remoção de toda ou parte do sistema de alimentação que, após o resfriamento, é moído ou picado para fins de reaproveitamento. A energia térmica perdida pode ser considerável. A fim de reduzi-la ou eliminá-la é utilizado o sistema de moldagem com canal quente, também conhecida como moldagem sem canal de injeção ou sem ca-

nais de distribuição.

Nesse sistema, em verdade, todo o sistema de alimentação, ou parte dele, é mantido à temperatura elevada, de forma que o material ali contido permaneça preparado para o próximo ciclo de injeção. Como vantagens desse sistema tem-se: ciclos mais rápidos, eliminação de operações de acabamento na remoção do ponto de injeção e redução dos refugos. Entretanto, como essa solução implica em ferramentas mais caras, sua aplicação é restrita a situações de grande produção.

A realização prática desse sistema pode ser feita de maneiras alternativas (Figura 6.35):

- pela extensão do bico aquecido de injeção até o interior da ferramenta, de forma que fique em contato direto com a cavidade do molde (como em A, na figura); eventualmente, no caso de moldes múltiplos, vários bicos aquecidos podem ser derivados de um distribuidor, como se mostra em B;

- alternativamente adota-se uma solução análoga, terminando em um canal convencional, mas extremamente curto, como se mostra em C;

- acoplando um distribuidor associado a bicos aquecidos ao bico do sistema de injeção da máquina.

A temperatura nesses bicos deve, entre uma injeção e a seguinte, ser mantida suficientemente alta para evitar a solidificação, mas não tanto que provoque o escorrimento do material enquanto a ferramenta estiver aberta. Igualmente o resfriamento deve ser de forma a permitir a solidificação do material na zona de entrada da peça, sem provocar a solidificação do material contido no bico. A fim de assegurar a regularidade do ciclo de moldagem e a eficiência do processo, é requerida a colocação de um par termoeletrico de controle da temperatura tão próximo quanto possível da extremidade do bico e a adoção de um sistema de refrigeração independente na região adjacente do molde.

A Figura 6.36 mostra um bico de injeção direta, co-

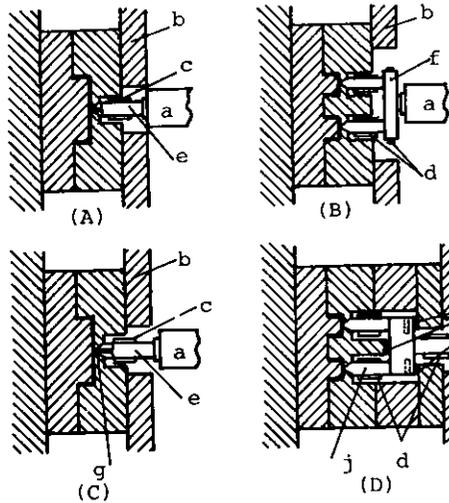
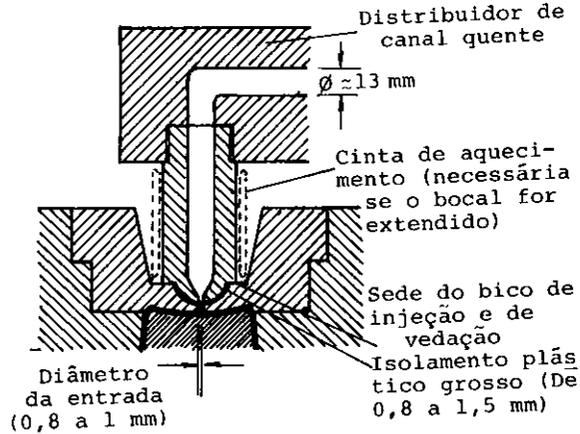


Figura 6.35 - Moldagem com canal quente. (A) Moldagem sem canal, com bico de extensão direto; (B) Moldagem sem canal, em ferramenta de cavidades múltiplas, com bicos de extensão múltiplos; (C) Bico de extensão com toco de canal; (D) Moldagem sem canal, com molde de canal quente. a) Cilindro de aquecimento; b) Placa estacionária; c) aquecedor do bico de extensão; d) Aquecedores; e) Bico de extensão; f) Bicos múltiplos de extensão e distribuidor; g) toco de canal; h) espaçadores isolantes; j) distribuidor de canal quente e bicos.

canal; h) espaçadores isolantes; j) distribuidor de canal quente e bicos.

Figura 6.36 - Bico de injeção direta.



mo se emprega nesse sistema de moldagem.

Como variante do sistema empregam-se, também, ferramentas de canal isolado (Figura 6.37), em que se aproveitam as propriedades isolantes do polietileno. usando uma ferramenta de três placas; adotam-se, então, canais de distribuição mais avantajados, permitindo-se intencionalmente a solidificação parcial do material a injetar nas regiões de contato com as paredes da ferramenta.

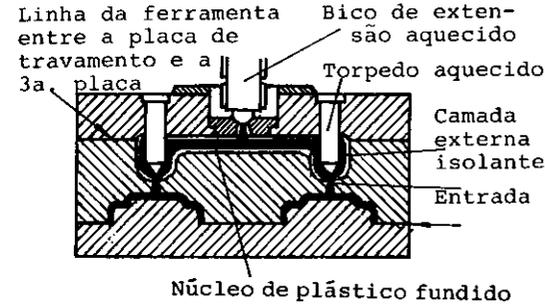


Figura 6.37 - Princípio da ferramenta de canal isolado.

6.4.E. MOLDES COM PONTO DE INJEÇÃO VALVULADO

A Figura 6.38 mostra esse sistema de injeção. Apenas uma parte da ferramenta está ilustrada. Os canais de alimentação vão diretamente para a cavidade do molde, terminando em uma sede cônica que se comunica com a cavidade. Uma haste de válvula pode ser adiantada para vedar a entrada, ou recuada para permitir a passagem do material, do canal para a cavidade. O acionamento das hastes de válvula é feito por meio de cilindros externos, pneumáticos ou hidráulicos.

Durante a abertura do molde as válvulas são fechadas. O material é injetado, indo de encontro às válvulas fechadas. Quando o molde é fechado, as válvulas são abertas, aliviando a pressão de injeção para a cavidade. Consegue-se, assim, a descompressão instantânea do material, que enche a cavidade em alta velocidade.

O enchimento do molde é assegurado por um deslocamento adicional do pistão de injeção, após o que as válvulas são novamente fechadas.

O sistema requer canais que permitam um fluxo suave e não pode ter cantos vivos.

Como vantagens desse sistema obtêm-se ciclos mais reduzidos, pressão de injeção mais baixa e a possibilidade

de caminhos de fluxo mais longos.

6.5. ASPECTOS CONSTRUTIVOS

6.5.A. INTRODUÇÃO

O primeiro requisito do projeto de uma ferramenta de injeção é que a mesma se ajuste à injetora na qual deve ser usada. Isso impõe limitações quanto às dimensões máximas, à abertura necessária e às condições de fixação da ferramenta às placas da máquina.

Deve ser previsto um curso de abertura que permita a extração dos moldados e isso equivale, em termos práticos, a cerca de o dobro da altura destes moldados. Esse curso pode às vezes ser reduzido no caso de ferramentas portáteis ou quando se usa extração lateral. Aqui, mais uma vez, é imprescindível o conhecimento prévio da faixa de regulação da distância entre as placas da injetora a utilizar. Por outro lado, o projeto pode ser influenciado pela adequada definição da altura dos blocos espaçadores.

A fim de permitir a instalação das ferramentas na injetora é de todo conveniente que as metades da ferramenta possam ser montadas separadamente.

É essencial que todos os problemas da instalação e operação da ferramenta sejam previstos antes de se iniciar sua fabricação.

6.5.B. CAVIDADES

A ferramenta fêmea pode ser construída pela usinagem de um bloco massiço de aço, eventualmente com a utilização de insertos, ou pela composição de blocos usinados separadamente.

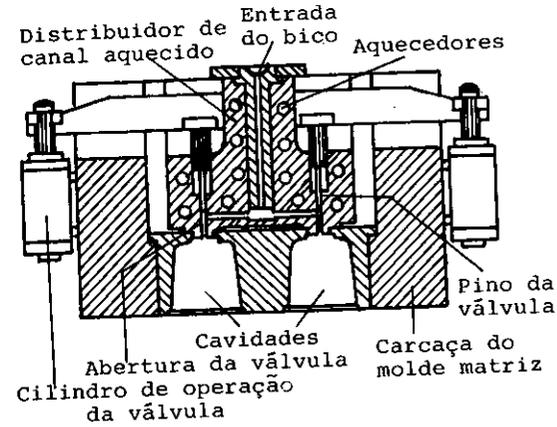


Figura 6.38 - Molde do ponto de injeção com válvula.

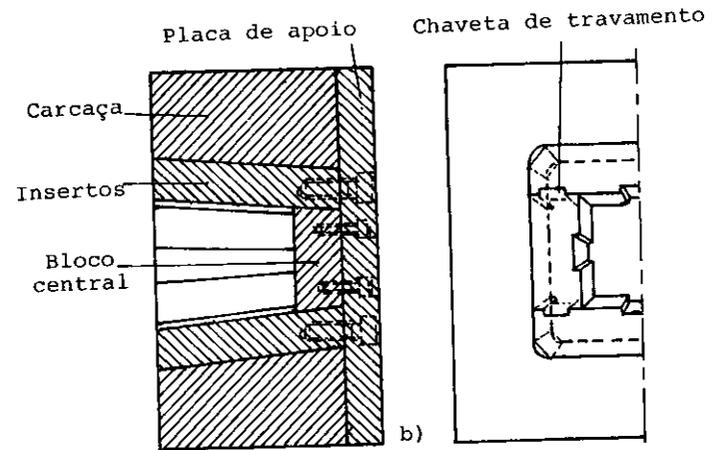
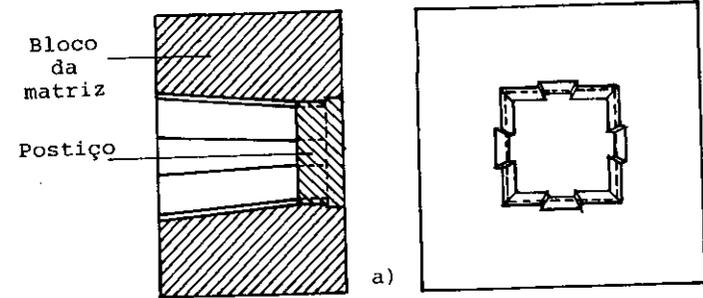


Figura 6.39 - Cavity com paredes laterais de cantos vivos. a) Usinagem integral do bloco; b) Composição com insertos.

Sempre que possível, toda a altura do molde deve ser produzida no molde fêmea, a fim de evitar a formação de linhas de rebarba e para dar maior resistência à ferramenta. Às vezes a usinagem nestas condições não é possível, e a subdivisão da altura da peça entre as duas partes da ferramenta se torna inevitável.

A fim de assegurar a correção da usinagem é usual produzir-se antes um modelo da peça a produzir, em um material de fácil usinagem (alumínio, latão), que é progressivamente comparado com modelos em gesso duro, sem contração, extraídos da ferramenta que se está usinando.

No caso de perfis complicados, a usinagem pode ser grandemente facilitada fazendo-se a composição de insertos. A Figura 6.39 mostra as duas alternativas, de usinagem integral e de composição com insertos. As vantagens da segunda alternativa são: usinagem facilitada dos blocos individuais, polimento facilitado das faces, possibilidade de substituição de insertos em caso de dano ou de modificações do projeto. Como desvantagens, porém, tem-se a necessidade de uma carcaça para servir de base para os insertos e um tamanho normalmente maior da ferramenta em face da espessura combinada dos insertos e da carcaça.

Cavidades de forma complexa e profundidade variável são confeccionadas a partir de blocos individuais de usinagem mais fácil (Figura 6.40).

No caso da moldagem com cavidades múltiplas são os moldes construídos fazendo-se cada cavidade como um inserto separado.

6.5.c. RESISTÊNCIA DAS CAVIDADES

É praticamente impossível o cálculo exato da real resistência das cavidades do molde, mesmo no caso de geometrias simples, sendo, então, empregados alternativamente cál

culos baseados em formas geométricas simplificadas, mas envolvendo boa margem de segurança.

O objetivo desses cálculos é a determinação da espessura de parede capaz de resistir aos esforços decorrentes da pressão de injeção, sob níveis toleráveis de deformação. São ignorados nesses cálculos os efeitos da pressão de fechamento e da retenção da placa de suporte.

Para os aços cromo-níquel utilizados na construção de moldes adotam-se pressões admissíveis da ordem de 65 MPa. A deflexão máxima admissível é de 0,1 mm ou, excepcionalmente, 0,2 mm. Entretanto deve-se levar em conta que em ferramentas com insertos não devem ocorrer folgas que permitam a penetração de material entre os insertos. As folgas entre os blocos devem ser inferiores a 0,1 mm, e, no caso da moldagem da náilon, devido a sua extrema fluidez, devem ser inferiores a 0,02 mm.

Os cálculos apresentados a seguir são baseados em ferramentas integrais. Com moldes de blocos montados ou insertos, é preciso considerar que qualquer perda local de rigidez ou de resistência, tenderá a produzir deflexões reais bem superiores às calculadas. Por outro lado, deflexões maiores irão provocar o maior consumo de plástico. Quando o material resfriar e contrair, a pressão na cavidade cairá, o molde retornará à posição correta e isso poderá provocar o aperto do moldado entre as faces das cavidades, dificultando a abertura do molde.

Considerando cada parede da cavidade como uma viga biengastada, com carga uniformemente distribuída, a deflexão é dada por

$$y = \frac{w L^4}{384 EI}$$

onde

w é a carga distribuída no interior da cavidade, em N/mm, igual à pressão na cavidade multiplicada pela profundi-

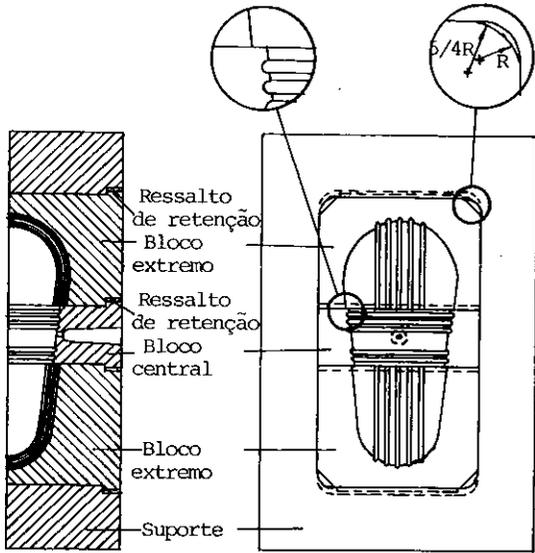


Figura 6.40 - Construção de cavidades por intermédio de blocos de usinagem mais simples.

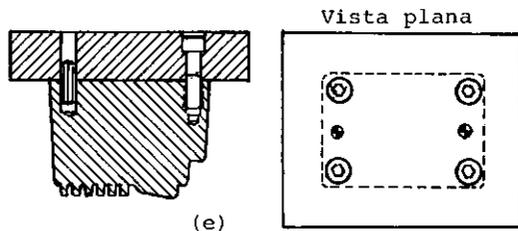
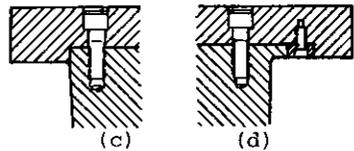
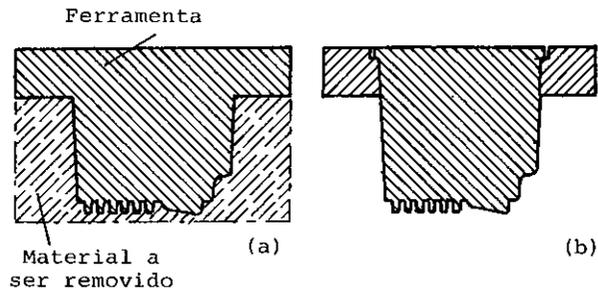


Figura 6.41 - Machos.
a) Usinado em bloco massiço; b) Introduzido em placa de montagem; c) Introduzido em rebaixo numa placa de apoio; d) Idem, com lâmina de posicionamento; e) Montado em placa de apoio, com parafuso e pino de localização.

dade da cavidade;

L é o comprimento interno da parede da cavidade (mm);

E é o módulo de elasticidade do aço (MPa) e

$I = dt^3/12$ é o momento de inércia da parede da cavidade, sendo

d a profundidade total da parede da cavidade (mm)

e

t a espessura da parede da cavidade (mm).

Dessa expressão tira-se a menor espessura de parede requerida da ferramenta, em função da máxima deflexão admissível, que é

$$t_{\min} = \left[\frac{w L^4}{32 E d y_{\max}} \right]^{1/3}$$

No caso do uso de insertos, a analogia é com uma viga simplesmente apoiada, e as expressões obtidas são

$$y = \frac{5 w L^4}{384 E I}$$

e

$$t_{\min} = \left[\frac{5 w L^4}{32 E d y_{\max}} \right]^{1/3}$$

Cavidades cilíndricas são tratadas pela fórmula de Lamé. A expansão radial sob a pressão interna é dada por

$$y = \left(\frac{r p}{E} \right) \left[\left(\frac{r^2 + R^2}{R^2 - r^2} \right) + m \right]$$

onde

p é a pressão de moldagem (MPa);

r é o raio interno original (mm);

R é o raio externo original (mm); e

m é o coeficiente de Poisson do material da ferramenta.

6.5.D. MACHOS

A confecção dos machos da ferramenta é bem mais fácil de ser executada. Contudo, deve-se atentar para a necessidade de minimizar os custos de usinagem. Assim, a Figura 6.41 mostra cinco alternativas em que a primeira (a) não é conveniente pelo grande volume de material a ser removido por usinagem; a segunda alternativa (b), com um flange postiço, permite reduzir esse volume de material perdido; as demais alternativas, finalmente, são ainda mais econômicas sob esse aspecto. A solução (d), como a anterior, usa um macho rebaixado em uma placa de apoio, mas é provida, adicionalmente, de lâminas de posicionamento. Na solução (e) a fixação do macho à placa de apoio é feita por meio de parafusos, sendo previstos pinos para garantir o adequado posicionamento das duas partes.

6.5.E. EXTRAÇÃO

O curso previsto para os extratores deve tirar completamente o moldado da cavidade. Detalhes locais, como saliências, devem ser completamente extraídos, a fim de evitar a distorção do moldado se fosse tentada a extração manual. Entretanto, o curso de extração pode se tornar exagerado no caso de peças profundas; então usam-se cursos que garantam que a peça seja solta do molde, fazendo-se a retirada manual.

Peças que tendem a ficar presas em machos devem ter um curso de extração que, calculado a partir da conicidade do macho, permita superar a contração do componente devida ao resfriamento.

Como, via de regra, o lado de injeção abriga a ferramenta fêmea, o moldado tende a ficar retido no lado do fechamento do molde (móvel) e é aí que deverão ser alojados os extratores. Entretanto, existem exceções a essa regra: moldados grandes, ou muito grandes, são feitos de forma que a retenção se dê na parte fêmea da ferramenta, pois a grande área de contato com o macho poderia exigir uma força de extração exagerada, com o sério risco de danificar a peça. Recipientes

moldados pelo lado interno, por outro lado, tem a parte fêmea da ferramenta alojada no lado móvel, e nesse caso a extração deverá ser feita pelo lado fixo.

Os extratores devem ser feitos atuar na face inferior, não vista, da moldagem, evitando, assim, marcas indesejáveis sobre as faces nobres.

A disposição dos extratores deve ser ajustada às características da peça e do material de moldagem. Materiais frágeis devem ser adequadamente suportados durante a extração; materiais flexíveis e semiflexíveis (como o polietileno de baixa densidade) devem ser retirados como um todo, e não forçados localmente. Eventualmente é necessário prover extração para os canais de alimentação.

Extração por placa - é empregada quando a zona de aplicação do extrator é uma aresta fina, como a parede de uma caixa (Figura 6.42). Nesta situação, um extrator de lâmina ou de pino teria apoio insuficiente e certamente danificaria o moldado. Além disso, a extração por placa não deixa vestígios sobre a superfície da peça. A previsão de uma folga mínima de 0,25 mm visa a evitar que a parede vertical do macho seja arranhada. O ângulo lateral (10° na figura) não deve ser inferior a 5°.

Extração por camisa - Já foi vista na Figura 6.33. É restrita a moldagens circulares, tendo a mesma aplicação da extração por placa. Valem as mesmas considerações quanto à folga mínima. É desejável que o núcleo interno tenha um rebaixo, a fim de reduzir a área de atrito com a camisa.

Extração por pinos - É o método mais comum de extração, por ser o mais barato. São usados, conforme a Figura 6.43, pinos planos ou paralelos (a), pinos escalonados (b), pinos em D (c), pinos em lâmina (e), pinos cabeça de válvula (f) ou pinos em barra (g). Eventualmente, para eliminar riscos de flambagem, são usados pinos encamisados (d). Os pinos planos são, por sua simplicidade, os de utilização usual. Os demais tipos se usam em função das características geométri-

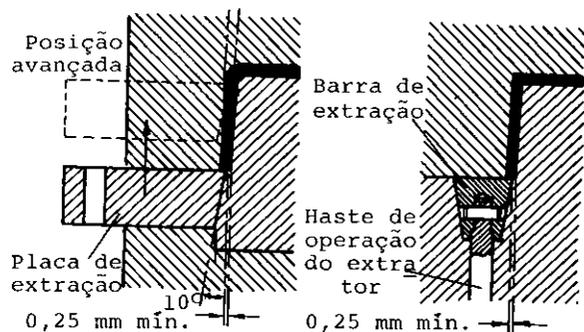


Figura 6.42 - Extração por placa.

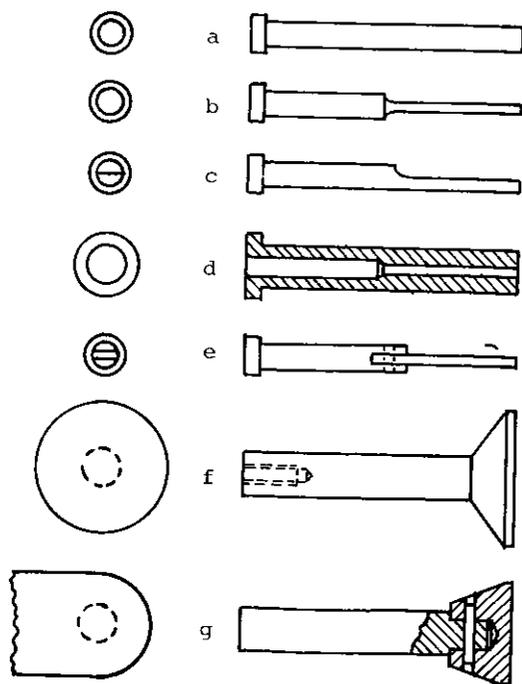


Figura 6.43 - Diferentes tipos de extratores. a) Planos (para lelos); b) Escalonados; c) Em D; d) Encamisados; e) Tipo lâmina; f) Tipo válvula; g) Tipo barra.

cas da peça, estabelecendo um compromisso entre a dimensão local do moldado e os esforços desenvolvidos.

Extração a ar comprimido - Representa uma alternativa eficiente e econômica para o problema da extração. O extrator é mantido retraído sob ação de uma mola, sendo acionado por ar comprimido. O abastecimento de ar deve ocorrer longe da linha de contato, para que a extração possa ser efetivamente obtida antes que o ar possa escapar. A Figura 6.44 mostra um extrator desse tipo, sendo, também, explicado o sistema de controle.

Mecanismos de operação - Os extratores são acionados pela abertura da prensa, através da barra ou pino de extração da mesma (montados atrás da placa móvel). Quando os extratores são alojados na parte estacionária da ferramenta, sua atuação se dá por meio de correntes ou articulações.

As prensas em geral dispõem de um pino central que, ao contactar o centro da barra ou placa extratora, através de um furo em sua placa móvel, comanda os extratores (Figura 6.45); outras vezes existem dois pinos laterais com esse objetivo. No primeiro caso é necessário assegurar que o sistema de extração seja balanceado, do contrário poderão ocorrer desalinhamentos e engripamento dos extratores.

Em casos especiais usam-se extratores operados hidráulicamente. É o caso, por exemplo, quando os extratores estão alojados na parte estacionária da ferramenta e o uso de correntes não é conveniente.

A Figura 6.46 mostra como se faz a transmissão do movimento aos extratores e seu retorno. A solução é de construção e montagem simples e, se todos os extratores tiverem o comprimento correto, assegura a atuação simultânea de todos os extratores.

A placa dos extratores é normalmente guiada pelos próprios extratores. Quando estes, porém, são delgados, é recomendável prever pinos de guia para essa placa.

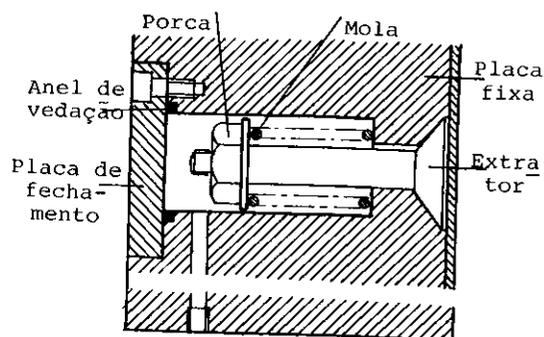


Figura 6.44 - Exatção por ar comprimido. a) Vista em corte do sistema; b) Controle manual; c) Controle automático.

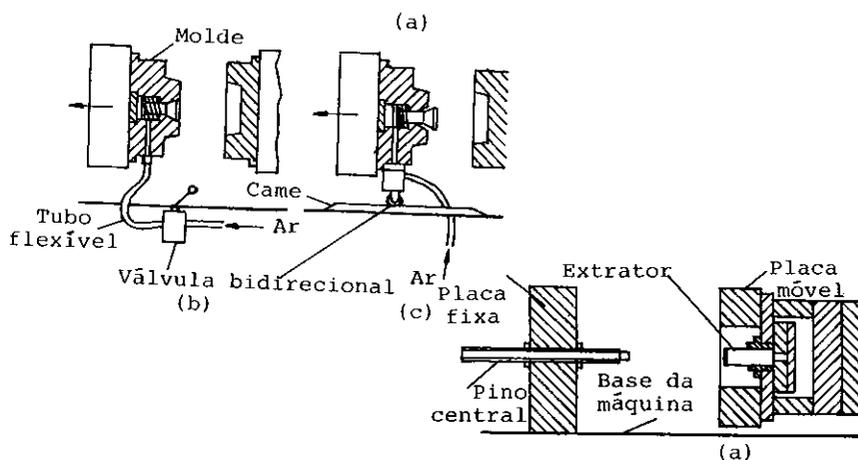
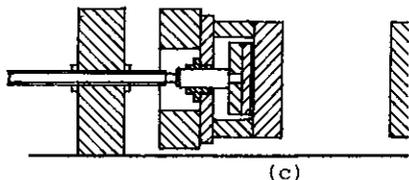
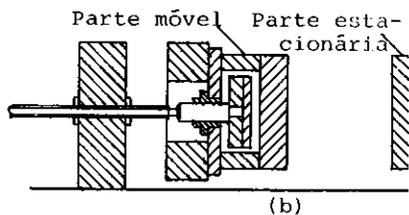


Figura 6.45 - Acionamento da extração por pino central da injetora.



No exemplo da Figura 6.46 o retorno dos extratores é assegurado por pinos, por ocasião do fechamento da ferramenta. Já no caso da Figura 6.27 o retorno é provido por um dispositivo de mola. Em alguns casos, o retorno pode ser promovido por meio de cames.

Suporte da ferramenta (Figura 6.26)

Placa de base - As placas de base servem de suporte a cada uma das metades do molde. Sendo fixadas às placas da prensa, elas devem ter resistência suficiente para não se deformarem excessivamente. Devem ter, por isso, uma espessura mínima de 15 mm, podendo essa espessura chegar a valores de até 75 mm em alguns casos. São feitas de aço doce usinado, mas dispensando retificação. Devem ter uma furação que se ajuste com os furos da placa da prensa.

Espaçadores - São posicionados entre a placa das cavidades e a placa de base, visando a prover espaço para alojar o sistema de extração. São também, normalmente, feitos de aço doce. Sua ligação às placas adjacentes se faz por meio de parafusos.

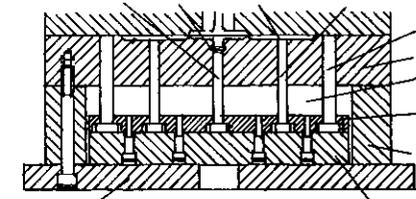
Pinos de guia - Servem para localizar relativamente as placas das cavidades. Devem ser pelo menos dois, mas preferivelmente quatro. Seu tamanho depende do tamanho da ferramenta, e seu diâmetro varia entre 20 e 75 mm. O comprimento dos pinos deve ser o suficiente para garantir que eles encaixem adequadamente em suas buchas antes do encaixe dos moldes. A conicidade (Figura 6.47) na extremidade do pino permite o alinhamento das duas metades da ferramenta, caso tenha havido algum deslizamento ou caso as colunas da prensa estejam desgastadas.

Em certos casos, a fim de garantir a precisão da localização relativa das duas metades e para manter esse posicionamento durante a moldagem, em presença da pressão de moldagem (especialmente em moldados de parede delgada, quando a pressão pode atingir valores consideráveis) são utilizados as

Pino extrator do canal
 Gancho do canal
 Cavidade
 Pinos extra tores da moldagem

Mecanismo normal de retorno

Placa da matriz
 Espaço de operação da barra extratora
 Placa de retenção dos extratores
 Bloco espaçador externo



Placa de apoio da ferramenta
 Barra ou placa de extração

Figura 6.46 - Disposição geral de um mecanismo de extração.

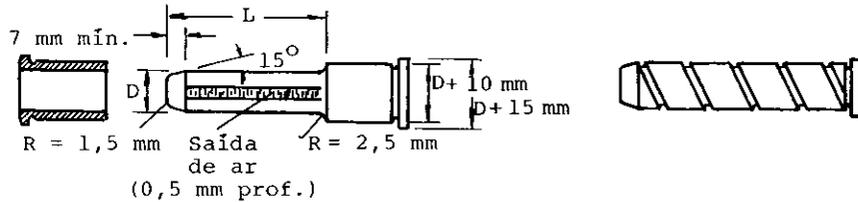


Figura 6.47 - Pino de guia e bucha; pino de guia com ranhura helicoidal.

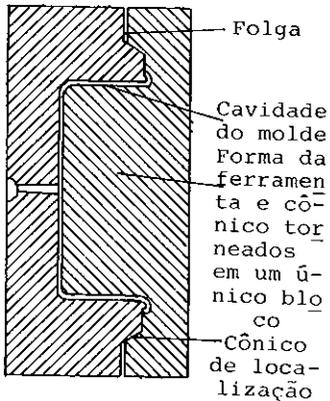


Figura 6.48 - Ferramenta com localização por meio de assento cônico.

mentos cônicos (Figura 6.48). Essa solução é mais eficiente do que o uso de pinos de guia, porquanto não existe aqui a folga que é inevitável entre o pino e sua bucha. Os ângulos utilizados ficam na faixa dos 10 aos 30° e a altura mínima é de 15 mm. A superfície do assento deve suportar os esforços envolvidos sem sofrer recalçamento nem provocar a flexão das partes do molde.

6.6. O SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO

6.6.A. INTRODUÇÃO

O sistema de alimentação fornece uma trajetória para o material plastificado, desde o sistema de injeção até as cavidades. Compreende o canal de alimentação, canais de distribuição e pontos de injeção (Figura 6.49). Os canais de distribuição podem possuir ramificações. É desejável que a distância que o material tem de percorrer seja mantida tão pequena quanto possível, a fim de se minimizar as perdas de calor e a pressão requerida. Por essa razão é necessário dar extrema atenção à distribuição das cavidades.

O poço frio, situado no prolongamento do canal de alimentação, tem presumivelmente por finalidade receber o material que se resfriou à frente do bico de injeção durante a etapa de resfriamento e extração do moldado anterior. Ele serve também para assegurar que o canal de alimentação seja extraído de sua bucha.

Canal de distribuição - É usinado na placa do molde, para unir o canal de alimentação à entrada da cavidade. Em moldes de duas placas fica situado na superfície de separação. Em moldes de três placas fica, normalmente, sobre uma placa própria. As paredes do canal de distribuição devem ser lisas e desprovidas de marcas de usinagem, que tenderiam a prender o material na placa do molde. Para garantir que o material plastificado possa fluir livremente por esse canal é necessá-

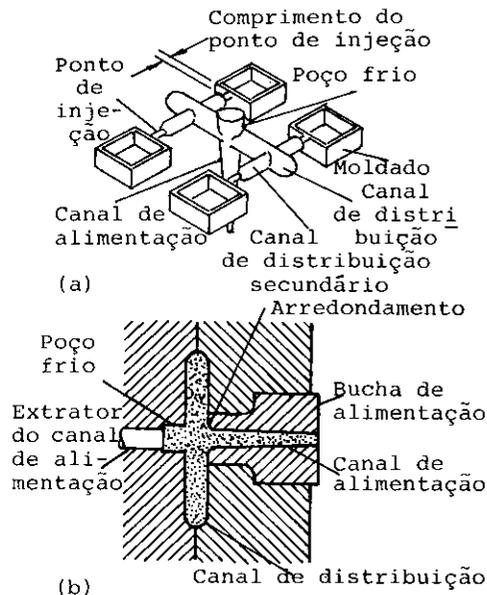


Figura 6.49 - Sistema de alimentação. a) Caso típico, com canal de alimentação, canal de distribuição e pontos de injeção; b) Corte através da zona de alimentação do moldado.

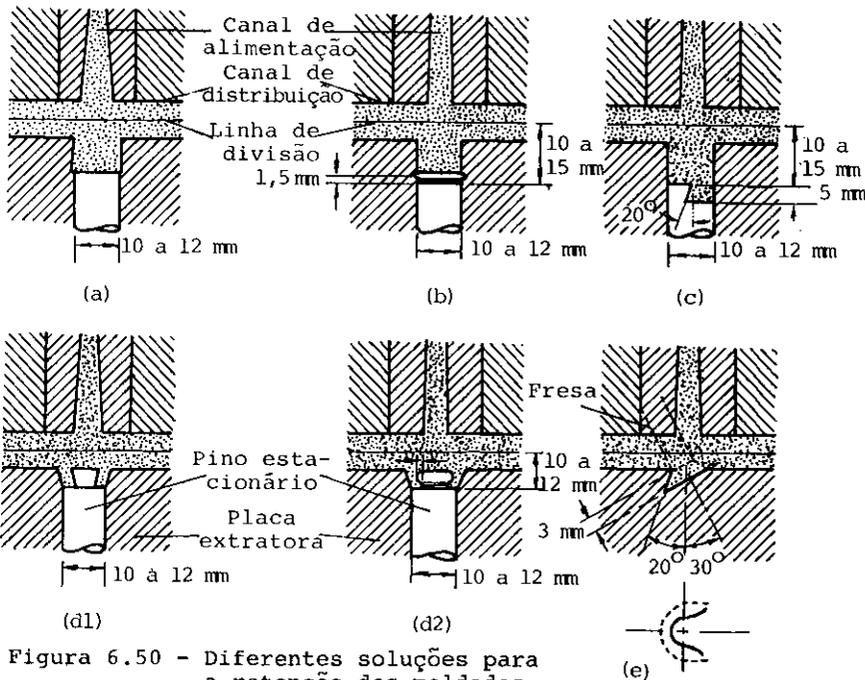


Figura 6.50 - Diferentes soluções para a retenção dos moldados.

rio, portanto, que suas superfícies sejam polidas, que a forma de sua seção transversal e seu comprimento sejam adequados, e que sua disposição geométrica seja racional.

A fim de conseguir que a alimentação e distribuição fiquem retidas na parte móvel do molde são empregadas as seguintes soluções (Figura 6.50):

a) Confecção cônica do poço frio, sendo a extração do poço conseguida pela ação de um pino extrator, com amassamento ou cisalhamento do cone;

b) Colarinho, que é cisalhado na extração, permanecendo na ferramenta e soldando com o material da injeção subsequente; essa solução não funciona bem com o náilon e os polietilenos de alta densidade;

c) Gancho em Z ou italiano, que funciona bem com esses materiais críticos, apresentando, porém, por vezes, o inconveniente de só permitir com dificuldade a extração do moldado, que tende a ficar retido neste gancho;

d) Gancho cônico (d1) ou de forma (d2) e placa extratora, de forma que o movimento desta placa, relativamente ao pino estacionário que contém o gancho, cisalhe ou arranque o material contido no poço frio;

e) Farpa, usada quando se faz a remoção manual do moldado.

Similarmente, quando se usa alimentação capilar, é interesse que o moldado seja rompido do sistema de distribuição, e que este fique retido na placa superior (Figura 6.51). Esse resultado é conseguido por meio de um gancho oblíquo (a) em relação ao canal de distribuição. A remoção do restolho exige apenas um pequeno esforço manual. Alternativamente usa-se a solução de gancho e placa de extração (b).

A seção transversal dos canais de alimentação deve ser tal que produza a mínima perda de carga. Para que isso seja conseguido, a relação entre o perímetro e a área da seção transversal deve ser a menor possível. Idealmente, essa con-

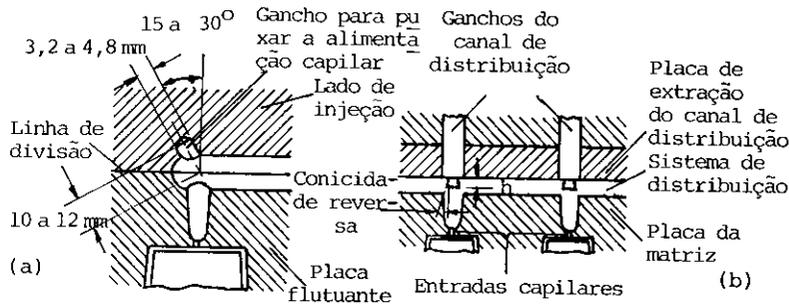


Figura 6.51 - Retenção do canal de distribuição. À esquerda: gancho para puxar a alimentação capilar para fora do centro; à direita: extração do sistema de distribuição por placa extratora, em ferramenta de três placas, por meio de ganchos cônicos (Altura dos ganchos: 2,4 a 3,2 mm).

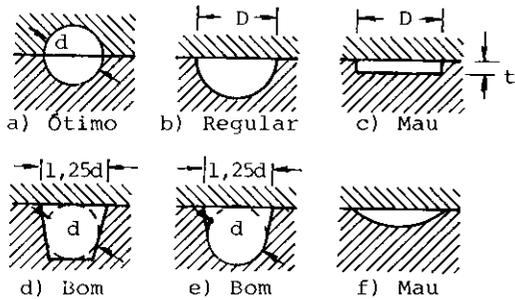


Figura 6.52 - Perfis típicos de canais de distribuição.

Figura 6.53 - Retenção de material frio de moldagem, em poço frio situa do na bifurcação do canal de distribuição.

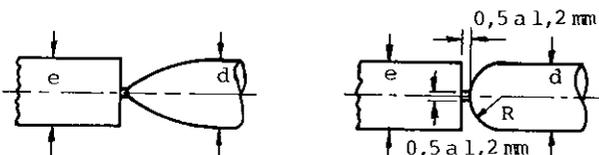
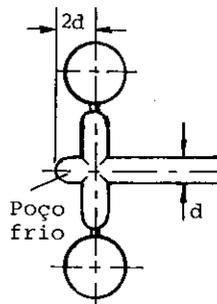


Figura 6.54 - Transição do canal de distribuição em direção ao ponto de injeção.

dição é conseguida com uma seção transversal circular; essa solução, contudo, exige a usinagem das duas placas do molde, com o requisito adicional do correto posicionamento das ranhuras. Por essa razão são preferidas seções transversais alternativas, que possam ser usinadas em apenas uma das placas, e que se aproximem tanto quanto possível da circular. A Figura 6.52 ilustra as soluções mais usuais, e fornece os elementos para o cálculo das dimensões para que tenham desempenho tanto quanto possível comparável à seção circular de diâmetro d . Assim, denotando por r a relação entre perímetro e área, tem-se

a) Seção circular: diâmetro d e $r = 4/d$;

b) Seção semi circular: $r = 6,54/D$. Se a seção transversal tiver a mesma área da seção circular plena, é preciso que $D = d\sqrt{2}$ e $r = 4,62/d$;

c) Seção retangular:
 $D = d\sqrt{2}$; $t = D/8$; $r = 5,01/d$;

d) Seção trapezoidal, com as dimensões da figura:
 $r = 4,06/d$;

e) Seção trapezoido-circular, com as dimensões da figura:
 $r = 5,06/d$.

Mudanças de direção dos canais de alimentação devem ser providas de poços frios secundários (Figura 6.53) para alojar a frente da onda de material parcialmente resfriado.

A dimensão básica dos canais de alimentação deve guardar relação com a espessura das cavidades que alimentam. De acordo com a Figura 6.54, o diâmetro local deve exceder a espessura local do moldado, de sorte que

$$d = e + (0,2 \text{ a } 0,8) \text{ mm}$$

sendo, por outro lado, de acordo com a vazão requerida e com o material utilizado,

$$d = (3 \text{ a } 10) \text{ mm}.$$

Pela mesma figura se observa, ainda, que é recomendável uma transição mais brusca do canal de alimentação à gar

ganta.

Entradas ou pontos de injeção (gargantas) - Devem estar localizadas próximas ao centro da cavidade, para garantir um enchimento regular e uniforme do molde. Devem, ainda, ser dispostas de forma a evitar que o material penetre esguichando, pois o turbilhonamento resultante aprisiona ar, provoca tensões internas e confere mau acabamento ao produto. Outrossim, a alimentação deve ser feita pela parte mais espessa do molde, de forma que o material possa fluir progressivamente para as seções mais finas. Deve-se, também, estudar o fluxo do material na cavidade, a fim de prevenir linhas de soldagem (Figura 6.55). A Figura 6.56 mostra o exemplo do enchimento da cavidade para a tampa de uma caneta. Na primeira alternativa, com a alimentação superior, o fluxo do material na cavidade força o macho, deforma-o, e provoca variações na espessura da peça. Com a alimentação inferior, vista na segunda alternativa, a distribuição de tensões sobre o macho é homogênea e o produto resulta com espessura uniforme.

A Figura 6.57 mostra que a alimentação central, da primeira alternativa, provoca esguichamento e turbulência. A alimentação lateral, da segunda alternativa, garante o contato do material com as paredes das cavidades, e o enchimento suave da cavidade.

A definição do local de injeção nas cavidades depende, além disso, das características do material plástico, das condições de extração, da contração e da dissimulação das cicatrizes dos pontos de injeção no produto acabado.

Eventualmente evita-se o esguichamento, quando a solução for aplicável, mediante um anteparo postiço (Figura 6.58). Por outro lado, quando o turbilhonamento é inevitável, em virtude de uma brusca mudança de direção, como no exemplo da Figura 6.59, torna-se necessário produzir um aumento local de espessura que compense a perda de resistência e a tendência ao fissuramento.

Tipos de entrada - As soluções construtivas para as

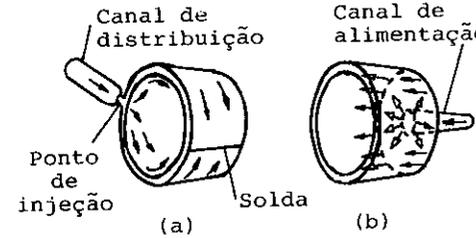


Figura 6.55 - Posição da entrada. a) Pela aresta superior, apresentando problemas de soldagem; b) Pelo fundo, centrado, sem problemas de soldagem.

Figura 6.56 - Alimentação na moldagem por injeção da tampa de uma caneta. a) Alimentação pela aresta superior (Mau, o fluxo do material na cavidade tende a fazer fletir o macho); b) Alimentação pelo vértice (As forças se equilibram).

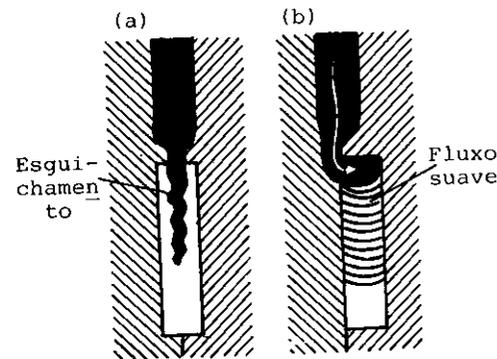
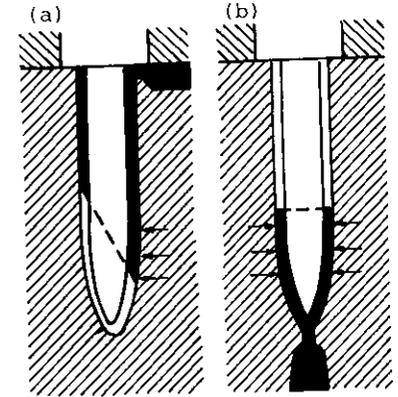
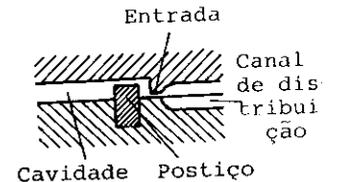


Figura 6.57 - Posição e forma da entrada para a moldagem de peça espessa. a) Com a alimentação lateral ocorrerá esguichamento; b) Com alimentação superior o problema não ocorre.

Figura 6.58 - Anteparo postiço para evitar a ocorrência do problema do esguichamento.



entradas são diversas:

a) Entradas totais (Figuras 6.55b e 6.60) são empregadas nos casos em que é possível a alimentação diretamente do canal de injeção; quando se moldam materiais viscosos (acrílicos, ABS); na moldagem de peças grandes e espessas. A área da seção transversal, no ponto de injeção, varia com o tamanho e forma do moldado e com o material utilizado, não devendo, porém, ter um diâmetro inferior a 3mm.

b) Entradas restritas - Tem seção bem mais reduzida que o canal de alimentação, tendo em vista reduzir a duração do ciclo (já que a entrada se solidifica logo que o material pára de fluir), diminuir a necessidade de compactação (devida ao resfriamento mais rápido da entrada) e permitir a separação, com cicatrizes mínimas, de peças que devem ter bom acabamento com mínimas operações posteriores. Podem ter seção transversal retangular, redonda ou em forma de lentilha (Figura 6.61), valendo:

- para entradas circulares: $l \approx d \approx 0,2 D$
- para entradas retangulares:
 $l \approx 0,2D$; $t \approx 0,1D$; $L \approx 0,25D$
- para entradas em lentilha:
 $l \approx 0,2D$; $L \approx 0,4D$; $t \approx 0,2D$

c) Entradas laterais - Figura 7.62.

d) Entradas capilares - Tem diâmetro na faixa dos 0,5 a 0,75mm, sendo usadas para materiais de grande fluidez, como o náilon e o polistireno, para reduzir ao mínimo a cicatriz do ponto de injeção, no caso de peças que tem de ser alimentadas pela face nobre (Figura 6.63). Geram um fluxo turbulento que afeta profundamente a resistência da região adjacente ao ponto de injeção, que deve, então, ser reforçada como na Figura 6.59. Não devem ser usadas na moldagem de seções espessas, pelo esguichamento que inevitavelmente ocorreria.

e) Entradas auto-extraíveis (ou em túnel) - Usadas em moldes de alta velocidade, são submersas numa das placas e perfuradas obliquamente, terminando em arestas finas, que são

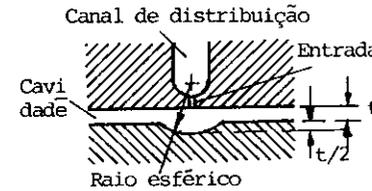


Figura 6.59 - Aumento local da espessura do moldado para compensar perdas de resistência devidas ao turbilhamento.

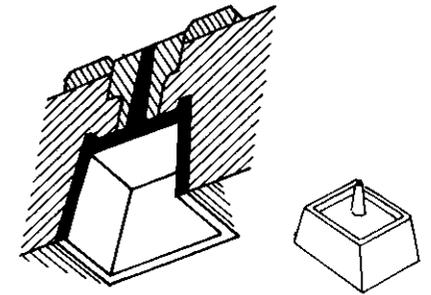


Figura 6.60 - Entrada total.

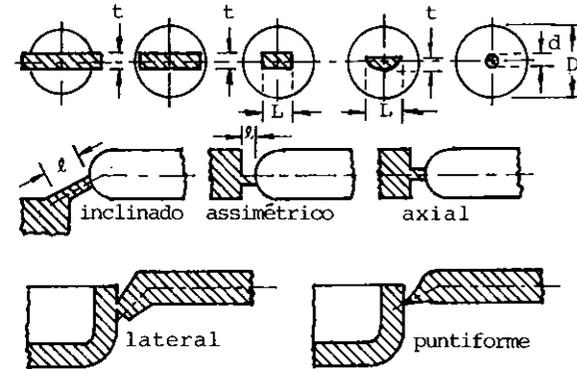


Figura 6.61 - Seções transversais típicas dos canais de entrada.

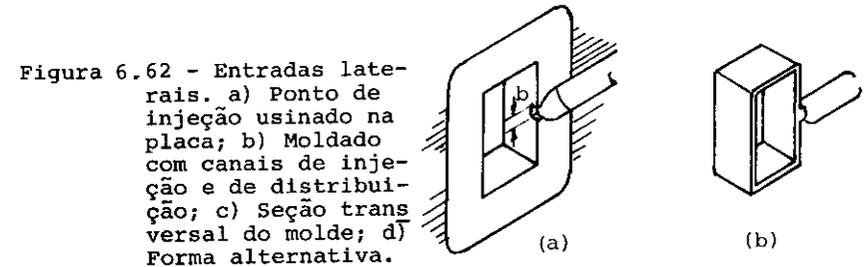
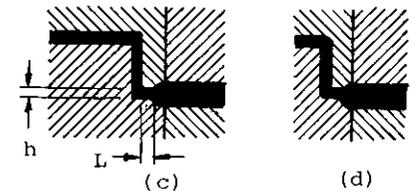


Figura 6.62 - Entradas laterais. a) Ponto de injeção usinado na placa; b) Moldado com canais de injeção e de distribuição; c) Seção transversal do molde; d) Forma alternativa.



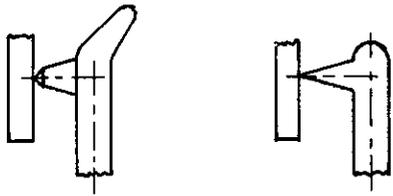


Figura 6.63 - Alimentação capilar (puntiforme).

Figura 6.64 - Entrada autoextraível (em túnel).

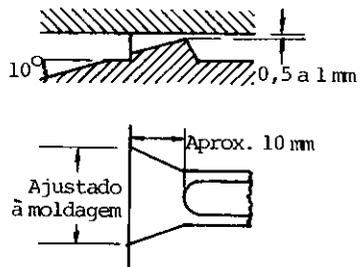
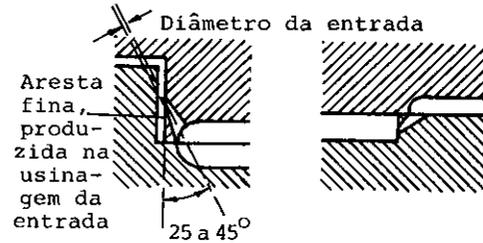
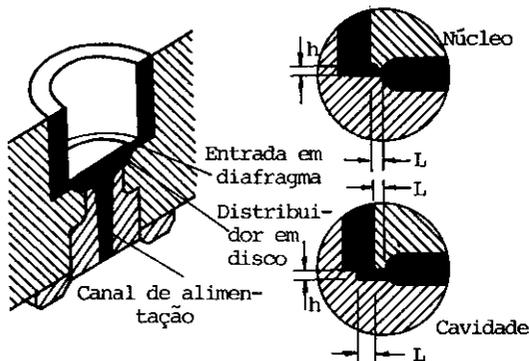


Figura 6.65 - Entrada em leque.

Figura 6.66 - Entrada em disco (ou em diafragma).



cisalhadas automaticamente durante a extração (Figura 6.64).

f) Entradas em leque (Figura 6.65) - São usadas na moldagem de superfícies planas e finas, promovendo amplo espalhamento de material para diminuir o efeito das marcas de fluxo. Deve-se atentar, porém, que a seção transversal da garganta, em nenhum ponto, deve ser maior do que a do canal de distribuição que a alimenta.

g) Entradas em disco ou diafragma (Figura 6.66) - Servem para moldagens de peças grandes com simetria cilíndrica, para evitar a formação de linhas de soldagem.

h) Entradas em anel (Figura 6.67) - São usadas em situações similares às entradas em diafragma.

O número de entradas, em moldagens grandes ou sujeitas a distorções (como ocorre com o polietileno de alta densidade) ou, ainda, em grelhas (que podem resfriar prematuramente) ou em regiões espessas (com risco de contração ou chupagem) pode e deve ser múltiplo, apesar do inconveniente das marcas de solda. Sua localização deve, por isso, ser judiciosamente estudada, a fim de se ter garantia de peças sadias.

Saídas de ar - O ar que preenche as cavidades antes da moldagem deve ser completamente evacuado no decorrer de seu enchimento com o material plástico. Isso impõe requisitos sobre o fluxo do material (contato com as paredes, ausência de turbulência) e exige a previsão de saídas para o escape do ar.

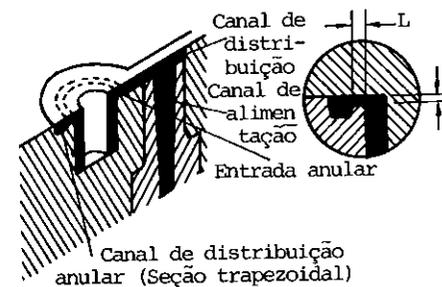


Figura 6.67 - Entrada em anel.

A queima, ou carbonização, do plástico, denunciada por manchas em sua superfície, e a presença de bolhas no seio da massa moldada justificam a necessidade dessa atenção.

A completa evacuação das cavidades pode ser conseguida nas folgas entre as superfícies de separação das placas e dos blocos que compoem o molde, pelas folgas dos pinos extratores e respectivas buchas ou por meio de pinos especiais para esse objetivo. As folgas necessárias são normalmente da ordem de 0,1 mm ou pouco menos, exceto para materiais como o náilon, que exigem folgas bem menores (da ordem de 0,02 mm).

Em moldes de injeção múltipla essas folgas deverão estar situadas nas regiões em que se der o encontro das frentes de onda durante o enchimento das cavidades.

Moldagem múltipla - Moldes múltiplos requerem, para garantia de qualidade dos produtos, que as cavidades sejam balanceadas, simetricamente dispostas, e que se encham simultaneamente. Adicionalmente é desejável que os caminhos de acesso a todas as cavidades ofereçam a mesma resistência, devendo, por isso, ter o mesmo comprimento.

A Figura 6.68 dá disposições que procuram atender a essas regras. O problema se torna mais complexo para a moldagem múltipla de peças distintas, e requer uma análise bem mais judiciosa.

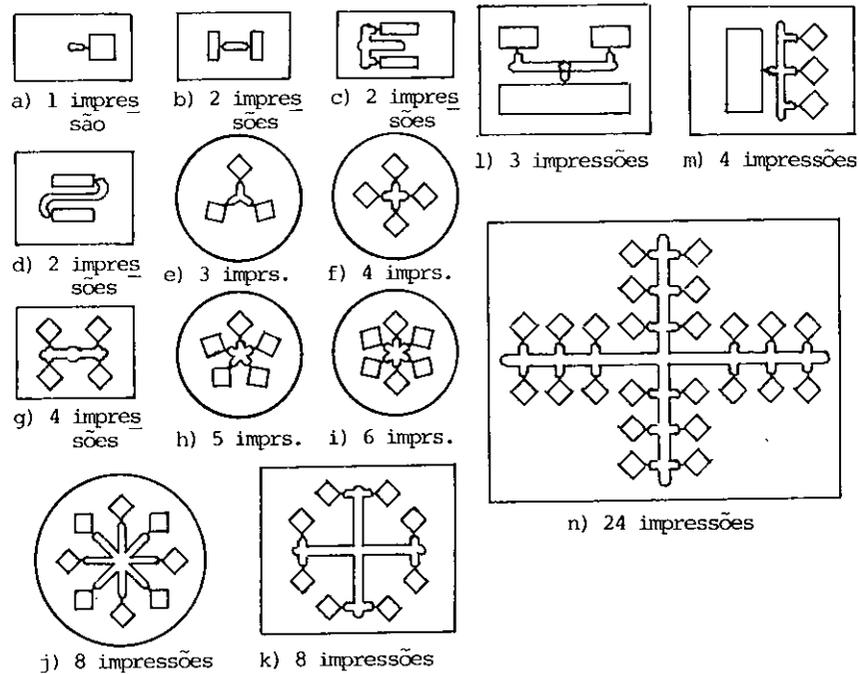


Figura 6.68 - Canais de distribuição. De a) a k): canais balanceados, de comprimento uniforme; l) a n): balanceamento relativo.