

MANUAL PARA CONSTRUÇÃO DE FERRAMENTAS PARA
FUNDIÇÃO SOB PRESSÃO

NILTON NUNES TOLEDO



DISSERTAÇÃO APRESENTADA À ESCOLA POLITÉCNICA
PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM EN-
GENHARIA.

PROFº ORIENTADOR

DR. VICENTE CHIAVERINI

Biblioteca da Escola Politécnica
São Paulo

F-5209

FD-843

AGRADECIMENTOS

AO ORIENTADOR PRÓFº DR. VICENTE CHIAVERINI,
PELA ATENÇÃO E ORIENTAÇÃO.

AO PROFº DR. ETTORE BRESCIANI FILHO,
PELA AMIZADE E ESTÍMULO.

AOS MEUS DEDICADOS COLEGAS DE TRABALHO, PRO
FISSIONAIS DE FUNDIÇÃO SOB PRESSÃO:

ARMENIO QUINTANA

ANTONIO MARTINUCCI

JOEL CAPELA

PELAS EXPERIÊNCIAS PARTILHADAS.

A

MARILIA

MAURO

MARIO

CARLOS

MARIA RITA

OFEREÇO COMO RETRIBUIÇÃO PELAS HORAS ROUBADAS DE VOCÊS,
PARA DEDICAR AO ESTUDO E TRABALHO.

MANUAL PARA CONSTRUÇÃO DE FERRAMENTAS PARA
FUNDIÇÃO SOB PRESSÃO

RESUMO



Este Manual contém na sua essência as informações necessárias para o projeto e construção de ferramentas de fundição sob pressão. Nele, o profissional do ramo poderá encontrar a forma para resolver os principais problemas de projeto e de construção. Assim sendo, o seu conteúdo não se preocupa em justificar teoricamente as técnicas recomendadas mas sim, em recomendar / soluções testadas na prática e baseadas em experiência de longos anos.

MANUAL PARA CONSTRUÇÃO DE FERRAMENTAS PARA
FUNDIÇÃO SOB PRESSÃO

ABSTRACT

This manual contains, in essence, the necessary information for design fabrication of die cast dies.

A professional in the field can find solutions for the main problems in design and fabrication. For this reason the contents cannot justify theoretically the recommended technique but indicate solutions which have been tested based on a long term experience.

S U M Á R I O



- 1 - INTRODUÇÃO
 - a) a importância do projeto
 - b) padronização
- 2 - A PEÇA E A MÁQUINA
 - a) a peça a ser fabricada
 - b) a máquina a ser usada
 - c) demanda estimada
 - d) considerações de ordem prática
- 3 - PROJETO DA FERRAMENTA
 - a) sistema estrutural
 - b) sistema de injeção
 - c) sistema de extração da peça
 - d) sistema de refrigeração
 - e) sistema de extração radial
 - f) bloco das gravações das cavidades
- 4 - CENTRO DE INJEÇÃO.

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

Neste trabalho, serão abordados os vários aspectos que influem numa boa operação do processo "fundição sob pressão", analisando a ferramenta ou molde. Será chamada: "ferramenta de fundir sob pressão" ou "molde" a parte do sistema que dá forma à peça ao receber o metal líquido proveniente da máquina de fundir sob pressão; o molde é dotado de vários sub-sistemas que são considerados partes integrantes do mesmo, tais como: extratores de peças, buchas de guia, cartas estruturais, buchas de injeção, extratores radiais, etc. Cada um desses sub-sistemas será descrito e dimensionado. Antes, porém, deve-se aqui analisar:

- a) A importância do projeto
- b) A padronização.



a) A importância do Projeto

Uma ferramenta pode ser idealizada, projetada e constituída de várias maneiras, sob o ponto de vista de técnica de fabricação. Será exposto aqui um exemplo habitualmente usado e será sugerido um método correto.

Não se pode mais admitir que, ainda em nossos dias, se utilize o método de entregar a peça que desejamos fabricar, já pronta ou em protótipo, a um bom ferramenteiro, recomendando-lhe que faça um molde para fabricá-la.

Caberá ao ferramenteiro planejar o molde, encomendar o material e iniciar a ferramenta. Supondo que ele seja um bom profissional, e não esqueça nenhum detalhe, fará sempre uma ferramenta que leva suas características pessoais. Por exemplo:

- ele pode ser um artista e caprichar tanto que gastará um tempo bem maior que o previsto, além de, levado por aspectos subjetivos, dar maior prioridade a elementos que não são os mais importantes sob o ponto de vista operacional industrial.
- ele pode também ser um racionalizador do seu trabalho. Nesse caso, procurará fazer uma ferramenta fácil de construir e barata, mas que pode ter seu desempenho prejudicado por essas duas preocupações do seu idealizador.

Poder-se-ia lembrar ainda de outras características encontradas em bons profissionais, mas esses dois exemplos já devem evidenciar as falhas desse método.

A maneira correta de agir, seria utilizar um bom desenhista-projetista, que projete o molde e, em seguida,

peça a opinião do "ferramenteiro-artista", do "ferramenteiro-racionalizador", do chefe da fundição e de quantos mais elementos entendidos no assunto, de que puder dispor.

O importante é que isso seja feito no papel, onde tudo pode ser refeito ou corrigido, a baixo custo.

Naturalmente, a nossa orientação será baseada nessa segunda técnica, que elimina as influências pessoais e é possível de correção. Além disso, quando o desenho vai ser transposto para o aço, com o graminho sobre o desempenho, sofre ainda uma inspeção natural daquele que, ao executar esse trabalho, o faz com espírito crítico construtivo.

b) Padronização

Quando se fala em padronização de ferramentas, toca-se num ponto muito delicado, porque se deve lembrar de que nos primórdios da indústria, ao começar a produção de um lote de ferramentas, já era considerado feliz aquele que conseguia obter o material adequado, sob o ponto de vista / da composição química (chegava-se a emendar dois blocos / para obter a dimensão desejada), não importando os demais detalhes.

Encontram-se depósitos de ferramentas em firmas importantes, que têm os mais variados tamanhos de moldes, / não sendo intercambiáveis nenhum de seus componentes. São de tamanho especial os extratores, pinos de guia, caixas, / etc.

Espera-se, hoje, que uma indústria tenha padronizado todos os elementos que compõem as ferramentas.

Os moldes devem ser separados em grupos e, dentro de cada grupo, as dimensões de seus elementos devem ser / constantes.

Só há dimensões especiais, no caso em que uma peça não se enquadrar em nenhum molde de um grupo.

Pode-se usar (e é mais conveniente fazê-lo) partes padronizadas e fabricadas por especialistas.

Pode-se padronizar caixas, pinos de guias, buchas de guia, extratores contra extratores, buchas de injeção, espigas de contração (espalhador), cavaletes, placas extratoras, calços, pinos de transporte, cursores (gavetas), suportes de cilindro hidráulico e blocos para gravação de cavidades etc.

Deve-se escolher, ainda, poucos tipos de moldes e adaptar sempre a gravação das peças para os moldes-padrão, com a vantagem extra de poder usar componentes de moldes / obsoletos para novas peças, ou reparo de outras que estejam avariadas, mas com a real vantagem de poder manter estoques dos elementos-padrão.

Sobre padronização, por exemplo, a fundição ideal é aquela que pode intercambiar os moldes de máquina para máquina, de forma a não interromper a produção, quando há uma quebra de máquina. No limite, o ideal é ter máquinas todas iguais, jogando com moldes de cavidades múltiplas.

O máximo em padronização de moldes é usar caixas-metre, onde a parte estrutural da ferramenta está pronta e recebe todos os blocos de cavidades, sem mesmo ser necessário tirar o molde da máquina. O sistema tem vantagens e desvantagens; a conveniência pode ser estudada em cada caso.

CAPÍTULO 2 - A PEÇA E A MÁQUINA

2. A PEÇA E A MÁQUINA



Obviamente, deve-se conhecer à fundo a peça a ser fabricada, como também saber qual a máquina mais adequada para produzir a peça e ainda, se ela está disponível.

Para projetar uma ferramenta é necessário analisar:

- a) a peça a ser fabricada
- b) a máquina a ser usada

a) A Peça a ser Fabricada

Se a peça a ser executada tiver sido projetada dentro das normas técnicas, inclusive mostrando dados para a construção da ferramenta, não haverá problemas para sua execução. (Vários países já adotaram normas técnicas para fundição sob pressão. Notadamente as normas italianas e americanas).

Pode, também, aparecer uma peça inexecutável sob o ponto de vista do processo de fabricação escolhido. Por exemplo: a peça pode ter sido projetada para ser fundida em areia e, então, não será possível fundi-la em máquinas de injeção, sem mudar seu projeto.

Nesse caso, será necessário que se faça uma crítica do projeto e, sugestões de modificações, capazes de adequar a peça ao processo.

O passo seguinte é definir o sentido de abertura do molde. O mais comum é tomar o plano de maior área frontal para linha de divisão do molde, mas essa não é uma exigência obrigatória do processo de fabricação (às vezes, pode até haver vantagens em não colocar a maior área frontal da peça na linha de abertura do molde).

A vantagem de se colocar a maior área frontal da peça na linha de abertura do molde é que essa é uma boa condição / para a fabricação da ferramenta, pois, entre outras facilidades, a sua cavidade poderá ser mais rasa e é fácil de ser trabalhada durante a construção.

Definida a linha de abertura, segue-se a análise dos ângulos de saída, verificando se as tolerâncias estão dentro / das normas técnicas de fundição sob pressão.

Finalmente, deve-se verificar se foram previstos locais para extratores e se a peça irá resistir à extração.

É preciso insistir em que, se qualquer desses itens estiver fora das normas, ele deverá ser novamente discutido com o projeto da peça.

Em resumo: o projeto da peça é de importância capital.

b) A Máquina a ser usada

Para a definição da máquina que vai fundir a peça, é necessário saber de que material é a peça, verificar algumas de suas características, averiguar quais as máquinas disponíveis no momento. Só então podemos fazer uma escolha da máquina que vai produzir a peça, pois, para cada máquina, há um tipo de molde adequado.

Seguem-se alguns itens bastante importantes para a escolha da máquina:

- Material de que vai ser feita a peça

O material define se a máquina vai ser (*) de "câmara quente" ou "câmara fria".

Como se sabe, os metais de ponto de fusão acima de 500°C e que se combinem com os ferrosos, não podem ser fundidos em máquinas de câmara quente. Como exemplo, temos o alumínio e o latão, que usam máquinas de câmara fria.

Existem centros pesquisando o uso de máquinas de câmara quente para fundir metais de pontos de fusão acima de 700°C. As pesquisas já tiveram sucesso com ligas de magnésio; em laboratório se conseguiu fundir ligas de ferro usando máquinas de câmara fria e moldes de "metal duro".

- Acabamento desejado

Para peças que serão cromadas, o acabamento superficial deverá ser melhor que em outras simplesmente de exigência estrutural.

(*) Consultar a bibliografia sobre os tipos de máquinas.

Assim, para as peças que serão cromadas, não se admite porosidade superficial. Em contrapartida, as peças estruturais poderão admitir porosidade superficial, mas não admitem / porosidade interna.

As máquinas de "câmara fria" produzem peças sem porosidades internas e com superfície com porosidade superficial. As máquinas de "câmara quente" produzem peças de superfície sem / porosidade e com núcleo poroso.

- (Precisão) Tolerância em Geral

Para que uma peça obedeça a certas faixas de tolerância, é preciso que: a máquina esteja em boas condições de funcionamento; o paralelismo das mesas seja exato; as condições de funcionamento dos joelhos de trava sejam tais que estes não se movimentem ao sofrer o impacto do tiro de injeção. As demais condições ficam por conta do molde, que deve ser construído com a precisão compatível.

- Peso da peça e a área frontal

A máquina deverá ter capacidade de injetar o peso da peça e mais o dos canais, bolsas de ar e deixar ainda sobrar uma massa conveniente de "toco" ou resto (5 cm, no mínimo). ("toco" - é assim chamado o resto do material que sobrou na bucha, após o enchimento da peça, e que toma a forma do pistão).

Nem sempre o peso é o que nos limita no uso da máquina; geralmente o limite mais crítico é a área frontal.

Essa área frontal, ou seja, a área da projeção da peça na direção do eixo de abertura do molde, mais a área dos canais de alimentação, mais bolsas de ar, mais área do pistão na câmara fria horizontal ou a área do bico nas outras máquinas, define a força de fechamento da máquina, expressa na fórmula abaixo: (figura 1).

$$P = \frac{f_{\text{máx}}}{s} = \frac{F}{S} \quad F = \frac{f_{\text{máx}} \cdot S}{s} \quad F = P \cdot S$$

onde:

S = área frontal da peça + área frontal dos canais + área frontal do bico de injeção ou área do pistão.

P = pressão de injeção.

s = área da bucha de injeção.

F = força de fechamento da máquina.

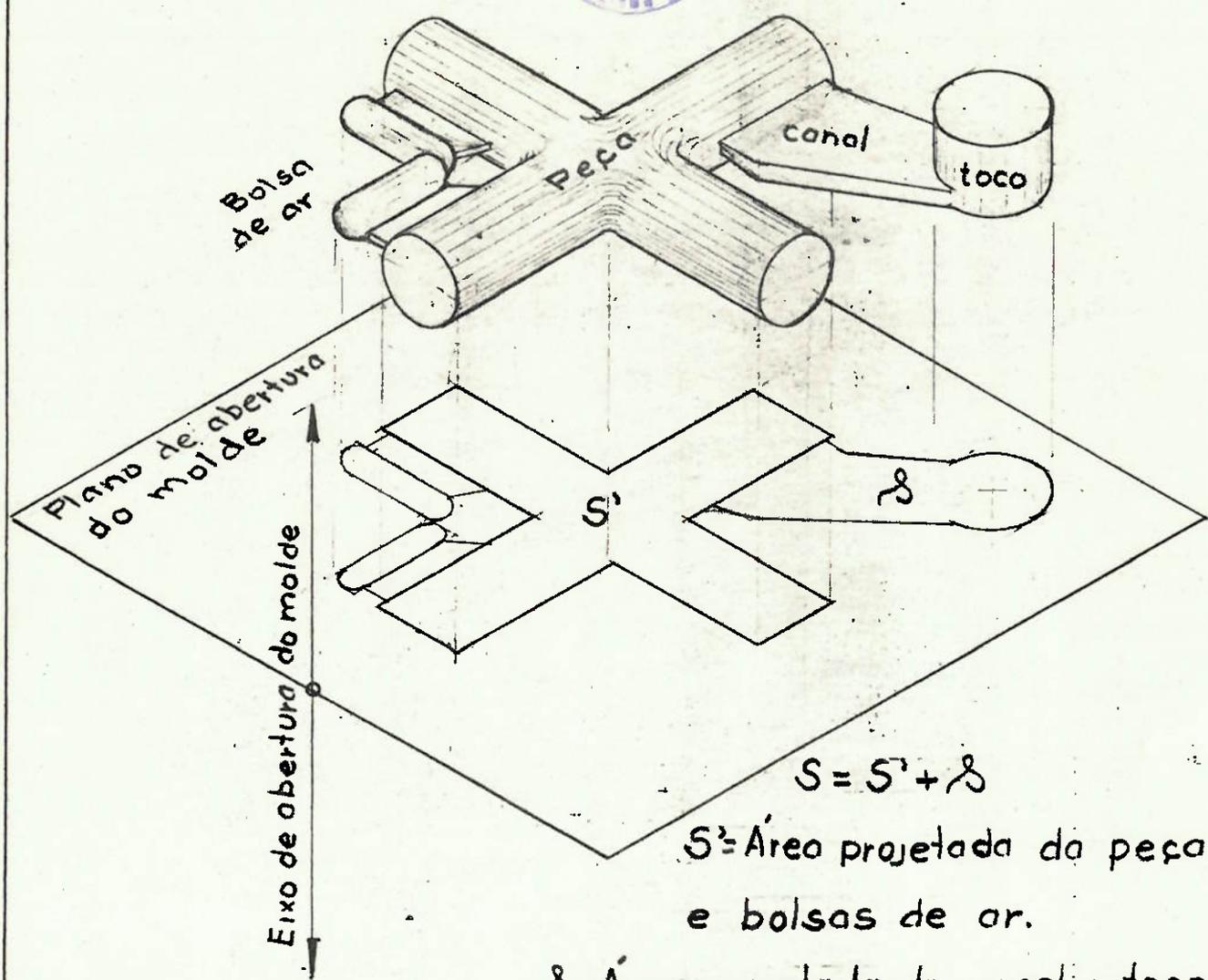
f = força do cilindro de injeção (pistão prensador).

(Vide figura 2).

A força F de fechamento da máquina é uma característica dessa máquina e não pode ser mudada.

A força $f_{\text{máx}}$ de injeção é também característica da máquina e pode ser diminuída mas não aumentada. Para segurança, a ferramenta de fundir deve ser dimensionada pela máxima força de injeção.

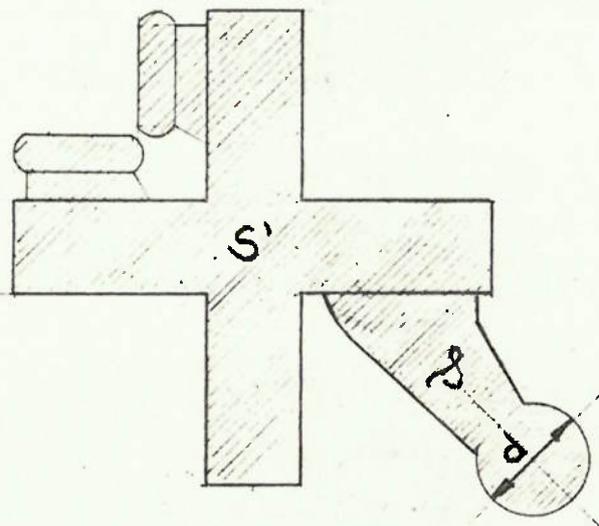
Fig.1 Mostrando a área projetada de uma peça. Fl.17



$$S = S' + \delta$$

S' = Área projetada da peça e bolsas de ar.

δ = Área projetada do canal e toco da bucha de injeção.



S = Área projetada.

A seção da bucha s pode ser mudada com a troca da bucha de injeção, tendo um limite, pois para uma bucha maior, a pressão de injeção diminui, o que pode prejudicar o processo, já que a pressão é fator importante para obtenção de qualidade. Existe uma faixa ótima de pressão:

- câmara quente: de 250 a 400 kg/cm²;
- câmara fria : de 800 a 2.000 kg/cm².

A máquina escolhida deve suportar a força provocada pelo esforço de injeção:

$$P.S = F$$

onde:

P = pressão de injeção

S = área frontal

É necessária uma verificação final do peso máximo que a bucha adotada permite injetar.

c) Demanda estimada

A demanda influi decisivamente sobre a escolha da máquina e do tipo de molde a ser construído, havendo várias políticas a seguir, dependendo do caso.

Se a demanda é pequena (isto é, abaixo de mil peças por mes), recomenda-se a fundição em coquilha ou qualquer outro processo, pois a fundição sob pressão não é econômica para pequenos lotes.

Para uma demanda grande e onde a peça em questão não admite cavidades múltiplas, deve-se escolher uma máquina dentro dos critérios mostrados anteriormente no parágrafo quarto, e que seja rápida.

Para usar a máquina rápida é preciso ter um molde compatível, isto é, que tenha um sistema de refrigeração capaz de solidificar a peça com a velocidade que a máquina exige.

Para uma demanda grande e onde a peça considerada admita cavidades múltiplas, deve-se construir um molde de cavidades múltiplas, levando em conta que o número de cavidades é limitado pelo custo e também pelo tamanho da máquina. Para definição do molde de cavidades múltiplas, deve-se considerar uma série de peças ligadas pelo canal de injeção, como se fosse uma única peça. A máquina que irá suportar essa nova peça, será escolhida pelos critérios vistos nos parágrafos primeiro e quarto do item anterior.

O número de cavidades escolhido poderá ser aumentado ou diminuído, no caso da máquina ideal para a demanda de peças estimadas, não estar disponível.

d) Considerações de Ordem Prática

Muitos artifícios podem ser usados para adequar o molde de uma peça à máquina disponível, tais como: número de cavidades, mudança da linha de abertura do molde de modo a colocar a maior área com abertura radial. Pode-se, também, superdimensionar a máquina para a peça em questão.

Quando se faz necessário mudar a linha de fechamento de um molde, para que a máquina suporte o esforço de injeção, passa-se, na maioria das vezes, a operar com a máquina em condições-limite: os resultados nem sempre satisfazem e o risco deve ser evitado.

Usar u'a máquina maior que a necessária, apesar de parecer anti-econômico, é bastante cômodo, pois tem-se uma operação favorável do ponto de vista "qualidade" e preparação da máquina e molde; superdimensionar a máquina para determinada peça é uma técnica muito usada.

Usar um molde de cavidades múltiplas, também apresenta desvantagens: o número de refugos é maior, pois não se pode dar condições de injeção idênticas a todas as peças; pequenas diferenças de cavidade para cavidade prejudicarão o processamento posterior da peça.

Para prosseguir o projeto do molde, será necessário que fique definida a máquina e o tipo de molde a fabricar.

Consideremos o seguinte exemplo:

Calcular a máquina adequada para:

Uma peça de 5 cm^2 de área frontal e um canal de 2 cm de largura por 8 cm de comprimento.

- área do canal : 16 cm^2 área

- área da peça : $S_1 = 5 \text{ cm}^2$

- um molde de uma cavidade terá a seguinte área frontal da cavidade do molde: $S = 5 + 16 + (\text{área da bucha} = s)$

- um molde com 6 cavidades, para a mesma peça, terá área frontal: $6.S' + s$ (área da projeção do canal).

Se o material adotado for alumínio, deve-se escolher a máquina de câmara fria.

Não havendo necessidade de se injetar a peça pelo centro(*), escolhe-se u'a máquina de pistão horizontal.

Para que o acabamento seja bom, fixa-se a pressão de injeção de 1.000 kg/cm^2 , mas, se for necessário, pode-se mudar a pressão de maneira a se adaptar às outras condições.

Tendo a área frontal e a pressão de injeção, podemos verificar a força de fechamento da suposta máquina ideal para fundir nossa peça.

$$\text{área do canal projetado} = 16 \text{ cm}^2$$

$$S' = \text{área da projeção da peça} = 5 \text{ cm}^2$$

$$s = \text{área da bucha}$$

$$S = 5 + 16 + \text{área da bucha}$$

(*) O conceito de injeção central será dado adiante (capítulo 4).

Sabe-se, pela experiência, que pistões variam de 40 até 100mm de diâmetro nas máquinas mais usadas.

Usa-se 5,0 cm de diâmetro para primeira aproximação

$$s = 2,5^2 \times 3,14 \approx 20 \text{ cm}^2 \text{ a favor da segurança;}$$

$$P = 1.000 \text{ kg/cm}^2;$$

$$S = 5 + 16 + 20 = 41 \text{ cm}^2$$

$$P = \frac{F}{S} \quad F = P.S = 1.000 \times 41 = 41.000 \text{ Kgf}$$

$$F = 41.000 \text{ Kgf}$$

A máquina em consideração deve ter 40 toneladas de força de fechamento.

Assim, deve-se regular a máquina com uma pressão de 900 Kg/cm, em vez de 1000, como definido a priori. Para recair numa máquina-padrão, a diferença de 100kg/cm² (10%), não irá influir na qualidade da peça.

Especificações para uso do futuro molde:

- máquina de 40 toneladas de força de fechamento;
- bucha de 5,0 cm de diâmetro;
- pressão de injeção: 900 kgf/cm².

Cálculo da força na haste do pistão de injeção———.

$$P = \frac{f}{s} \quad f = P_s = 900 \times 20 =$$

$$f = 18.000 \text{ kgf.}$$

$$f = 18 \text{ toneladas força no pistão de injeção.}$$

Várias alternativas são válidas, supondo que se tem disponível u'a máquina de 100 toneladas. Pode-se usar um molde / para essa peça, com 2 cavidades; assim, aproveita-se a máquina plenamente, podendo ainda aumentar a pressão e melhorar a peça.

Restariam ainda considerações sobre as quantidades a serem produzidas e a viabilidade econômica para construção de um molde simples ou de cavidades múltiplas.

No entanto, não cabem tais considerações no presente trabalho, devido à sua extensão e importância.



CAPÍTULO 3 - PROJETO DA FERRAMENTA

3. PROJETO DA FERRAMENTA

Após definir a máquina e pré-planejar o molde, segundo o número de cavidades, tamanho da bucha, etc., segue-se o detalhamento das suas partes principais.

Um molde se compõe de várias partes funcionais, que são:

- a) sistema estrutural
- b) sistema de injeção
- c) sistema de extração da peça
- d) sistema de refrigeração
- e) sistema de extração radial
- f) bloco das gravações das cavidades

a) O Sistema Estrutural

O sistema estrutural se compõe de:

- Caixa fixa e caixa móvel (Cover Die e Ejector Die)
- Cavaletes
- Pinos de buchas de guia
- Acessórios

- Caixa fixa e Caixa Móvel

A caixa do molde é a parte do molde que envolve o bloco de material onde está gravado o negativo da peça a ser fabricada.

O molde é dividido em duas partes: a fixa e a móvel (chamadas pelos americanos de Cover Die e Ejector Die).

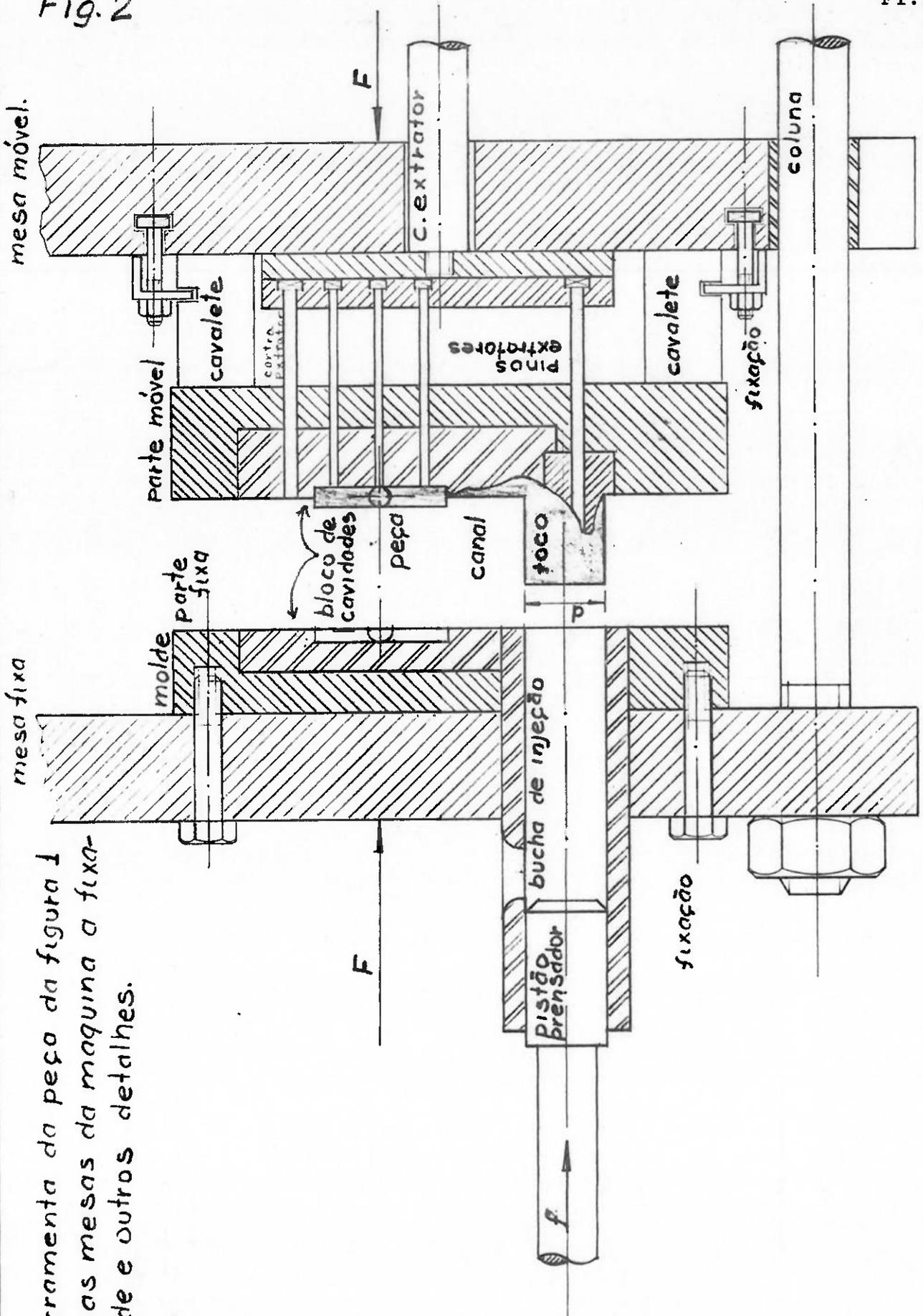
A parte fixa é assim chamada porque trabalha fixa à mesa da máquina que não se movimenta e, nessa mesa, está o sistema de injeção da máquina.

A parte móvel está fixa à mesa móvel da máquina, onde estão o sistema de extração da peça e o sistema de joelhos que abrem e fecham a máquina, travando-a fechada. As caixas móvel e fixa têm o papel importante de estruturar o molde, servindo de suporte para os pinos e buchas, guias, blocos das cavidades, cavaletes de sustentação, guia para o sistema de extração, trava e cunha da extração radial.

A estabilidade da ferramenta é garantida pelas caixas. Nela devem ser usados materiais de alta resistência, para garantir que o bloco de cavidades não se rompa pelo impacto da injeção (figura 3 e figura 2). Para resistir ao esforço a que é submetida, a caixa precisa ser inteiriça, isto é, partindo de um bloco onde é cavado o encaixe dos "machos". Outra solução adotada, para facilitar a construção, é construir caixas compostas de placas superpostas onde uma placa forma um anel que envolve os machos ou "blocos de cavidades" e a outra funciona como fundo; essas placas são parafusadas entre si, formando a caixa. Mas, apesar dessa solução parecer boa, a caixa não suporta os esforços, reduzindo a vida da ferramenta. Chegou-se à conclusão que deve ser adotada sempre a solução de cavar um bloco maciço, conforme o procedimento abaixo:

- 19) O material deve ser de aço carbono 1040 a 1050 ABNT.
- 29) Deve-se esquadrear os blocos, parte fixa e parte móvel, usinando todas as faces e tomando cuidados especiais nas superfícies que serão usadas como referência para traçar o bloco. Caso haja necessidade de economia, pode-se usinar somente as faces que serão trabalhadas ou servirão de referência.
- 39) Traça-se no bloco a cavidade que será aberta; usina-se a cavidade, deixando uma sobre-medida de 5mm.
- 49) Realiza-se uma normalização nos blocos (essa normalização deve eliminar as tensões que se formarem com a usinagem dos encaixes). Com a normalização, provavelmente haverá um empenamento das placas, com variações das medidas das cavidades abertas.
- 59) Atingem-se agora as condições para usinar as caixas com o acabamento final, iniciando pela furação dos quatro furos que alojarão as buchas e pinos de guia; isso deve ser

Fig. 2



Corte da ferramenta da peça da figura 1 onde vemos as mesas da máquina a fixação do molde e outros detalhes.

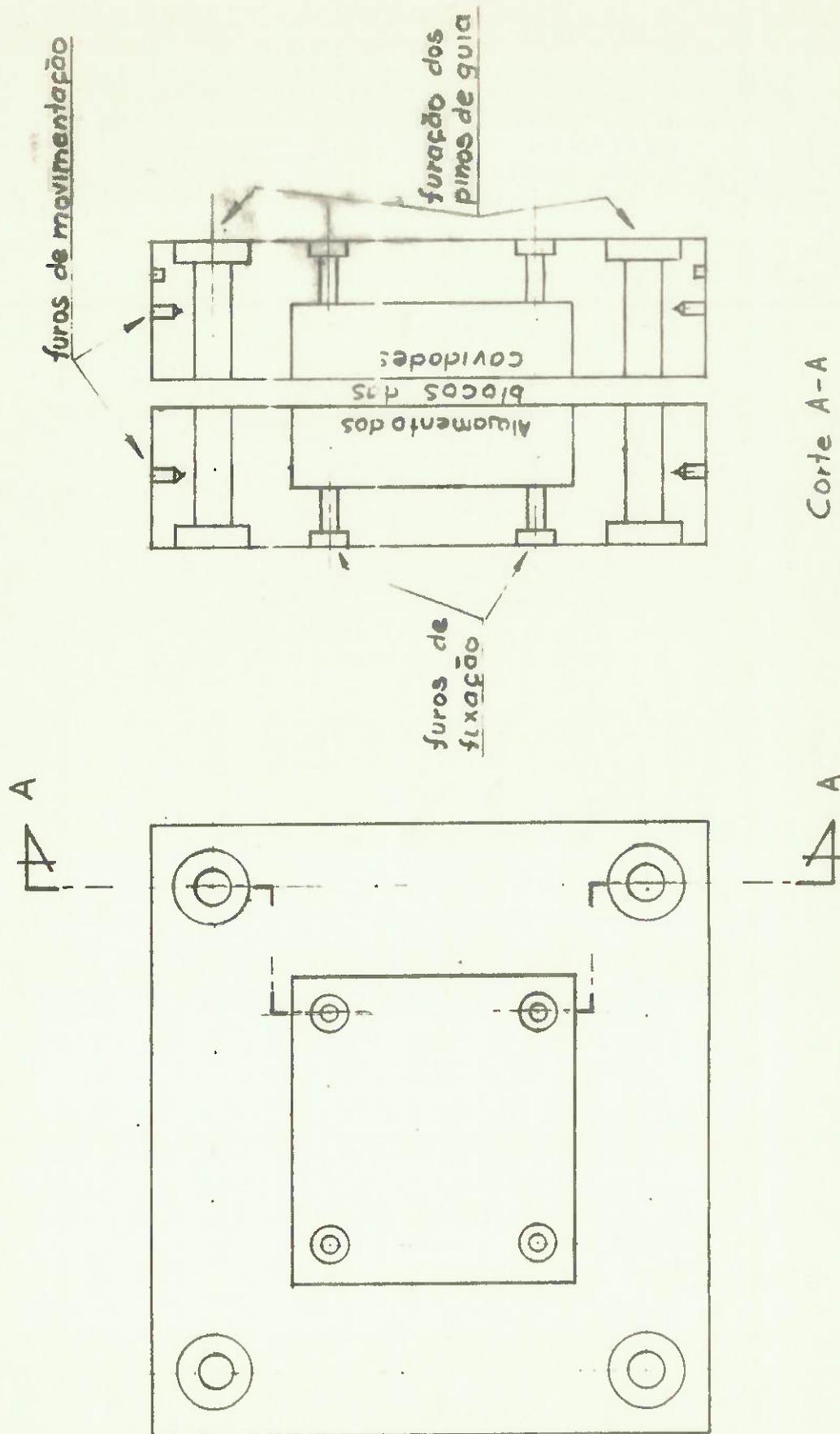


Fig.3. Vista da caixa do molde mostrando as cavidades dos machos, e a furação dos pinos e buchas de guia e extratores.

feito nos dois blocos ao mesmo tempo. Cada furo terminado deve receber um pino de locação e dessa forma garantir uma precisão maior na usinagem. Após a usinagem dos alojamentos dos pinos de guia, faz-se o acabamento do alojamento dos blocos das cavidades e, em seguida, a furação dos parafusos de fixação e movimentação.

Os blocos onde serão gravadas as cavidades devem ser agora ajustados nas caixas.

Uma série de operações faltam ainda para completar a fabricação das caixas. Essas operações deverão ser feitas à medida que o molde for sendo acabado.

- Cavalete

O cavalete separando a caixa móvel da mesa da máquina e, assim, deixando um espaço para o sistema de extração, deve ser provido de ranhuras, para fixação do molde na máquina. fig. 7a.

Ele deve ser dimensionado para suportar o esforço de fechamento da máquina, tendo área suficientemente grande para não se amassar ou penetrar na mesa da máquina.

Sendo:

A = área do cavalete em contato com a mesa da máquina;

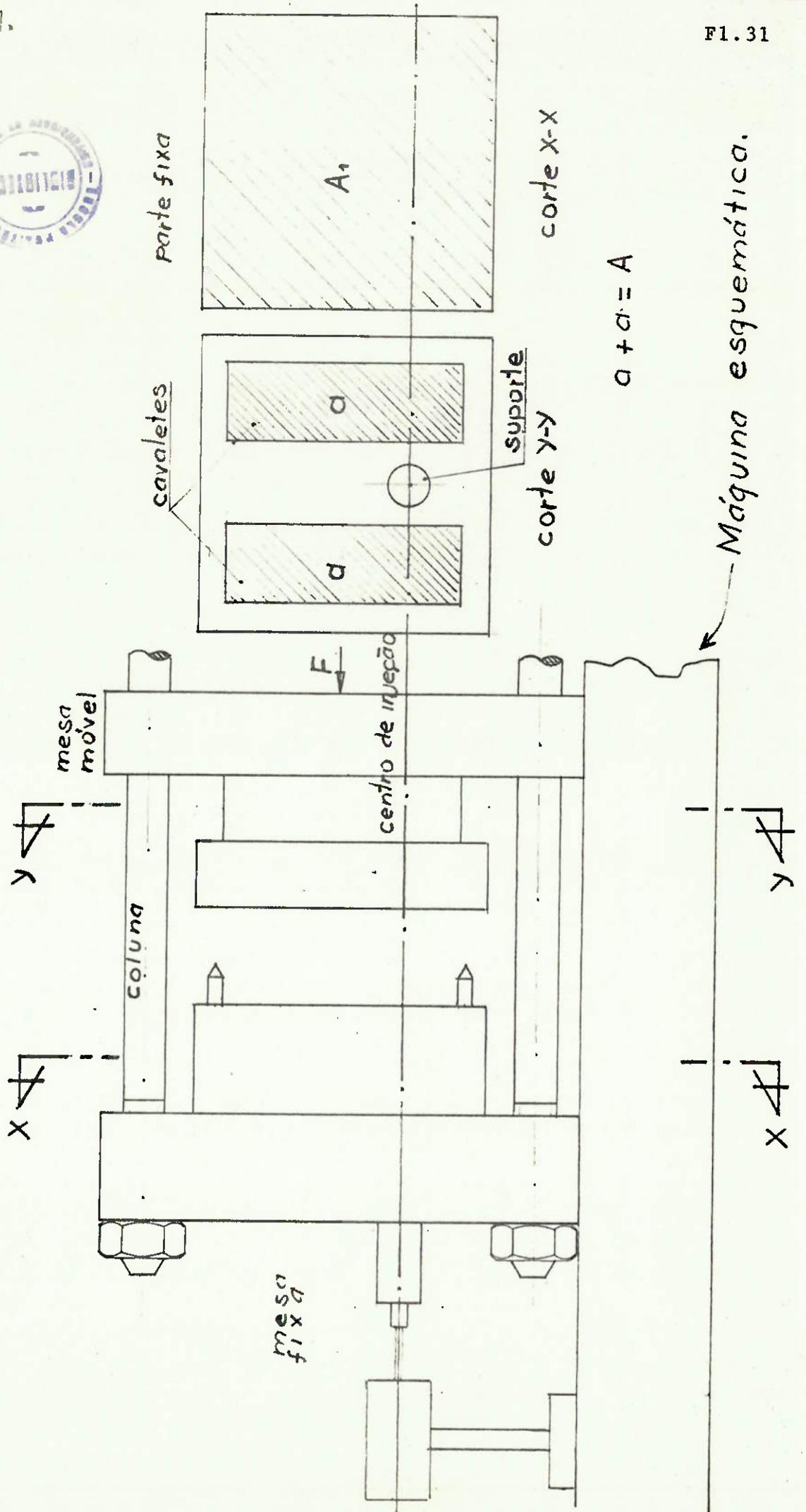
F = força de fechamento da máquina;

σ_f = resistência à compressão do material da ferramenta;

σ_m = resistência à compressão da mesa da máquina;

Fig. 4.

vista de um molde fixo a uma máquina.
Corte da caixa e cavaletes.



É necessário verificar, em todos os nossos moldes, se o valor:

$$\frac{F}{A} < \sigma_f \quad e \quad \frac{F}{A} < \sigma_m \quad \frac{F}{A_1} \cdot \sigma_f \quad e \quad \frac{F}{A_1} < \sigma_m$$

Esses dados permitem verificar a área mínima da ferramenta (figura 4).

Já têm sido encontradas mesas de máquinas deformadas devido ao uso de moldes de área abaixo da mínima.

- Bucha de guia e pinos de guia

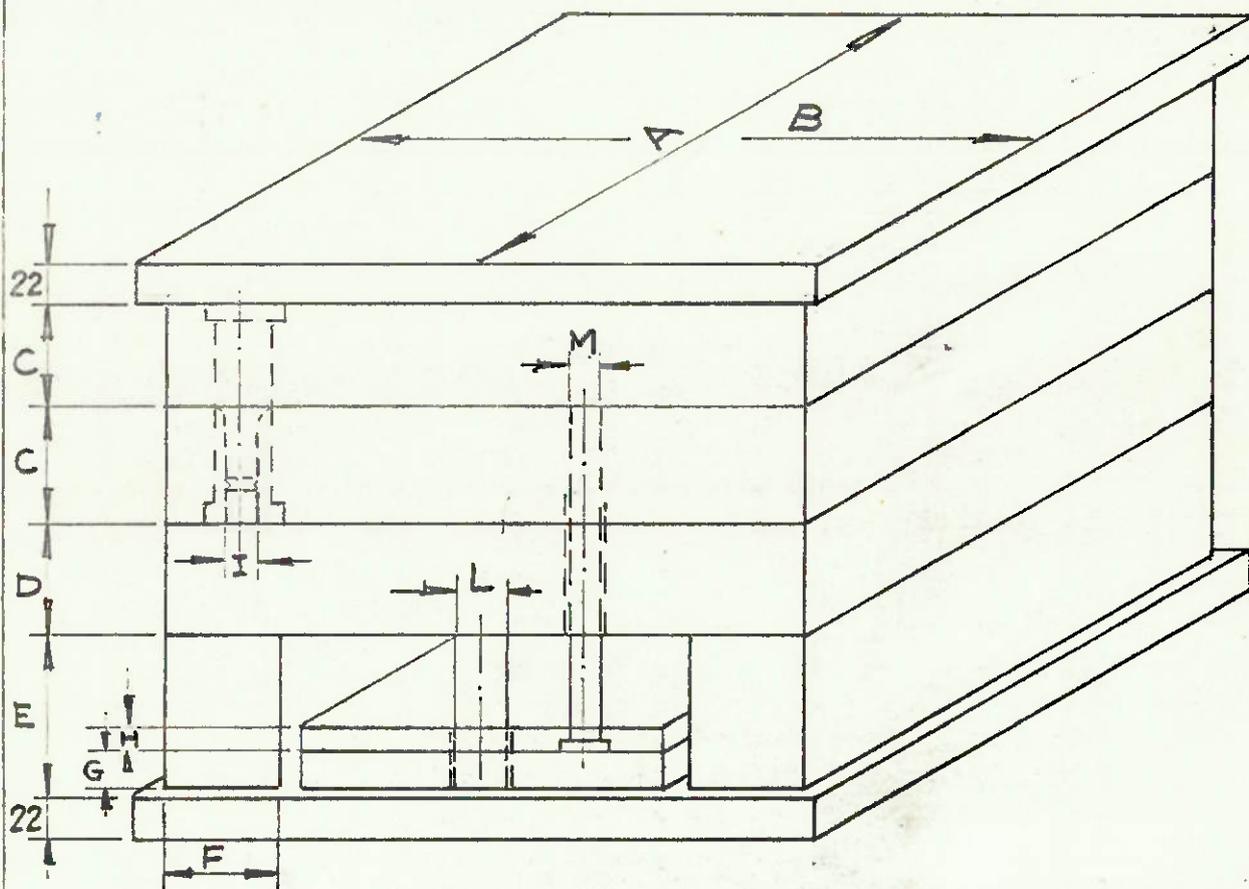
Essa é uma parte estrutural da maior importância : dela depende a precisão do molde. O ajuste entre pino de guia e sua bucha deve proporcionar perfeito fechamento da ferramenta, permitindo que a peça seja conformada sem nenhum desencontro das suas paredes. O pino de guia deve ser o mais robusto possível. As dimensões usuais são encontradas na figura 5 e estão relacionadas com o tamanho do molde.

O comprimento deve ser tal que garanta que as partes sejam guiadas enquanto elas estiverem se deslocando sobre a peça gerada. Simplificando:

O pino de guia deve ser maior, em comprimento, que o macho da ferramenta, no sentido da abertura, funcionando também como proteção do macho, contra acidentes durante transporte do molde e preparação da máquina.

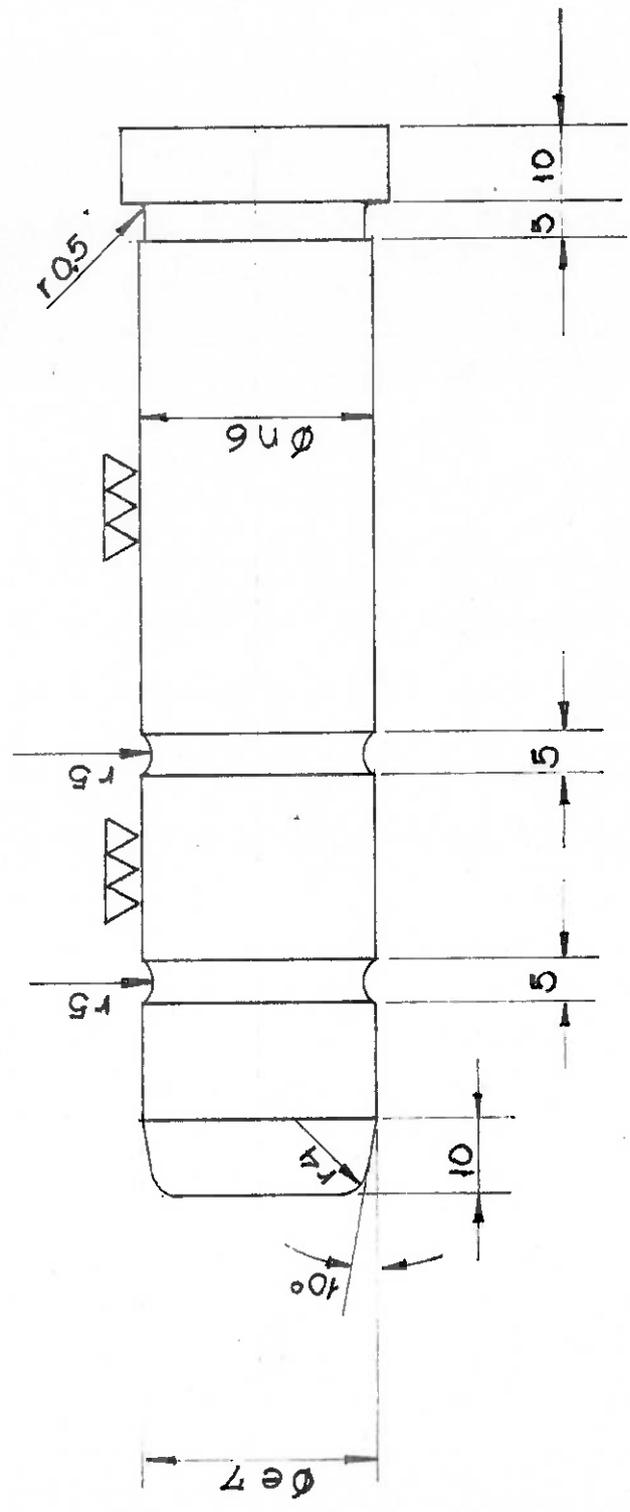
É uma peça de precisão e deve ser usinada com cuidados especiais:

Fig.5. Perspectiva aproximada de um molde e a tabela de dimensões correspondentes às dimensões aproximadas do molde.



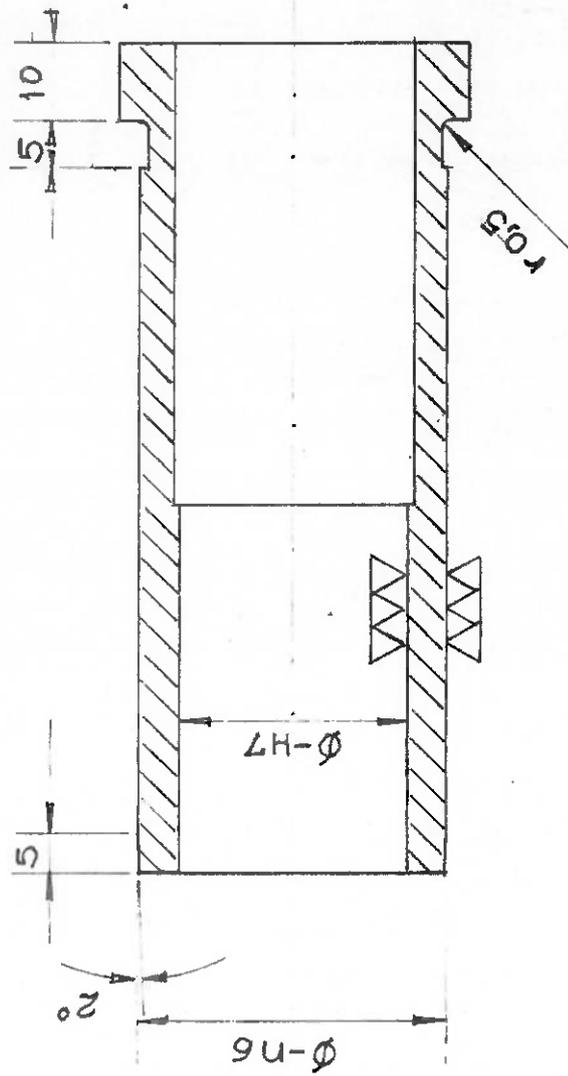
tamanho do molde dim: mm	altura das caixas	altura do fundo da caixa	altura dos cavaletes	largura dos cavaletes	placa extratora de encosto	placa extratora de guia	diâmetro do pino de guia	diâmetro do suporte guia da placa extratora	número de suportes	diâmetro do extrator ou contra extrator
A - B	C	D	E	F	G	H	I	L	Nº	M
A 200x230	22 37 47	36	65 75	37	22	13	20	27	4	16
DA 230x305 A 250x600	37 47 56	42	75 85	43	25	13	22	32	6 8	16
DA 300x300 A 340x600	56 76 86	46	85 100	47	28	16	25	42	8 10	20
DA 380x460 A 450x900	76 86 96	56	100 115	53	32	16	32	48	10 12	20

Fig.6a. Pino de guia com as cotas e tolerâncias aconselháveis.



Pino de guia

Fig.6b. Bucha de guia com as cotas e tolerâncias aconselháveis ^{F1.35}
aconselháveis.



Bucha do pino de guia

- os materiais indicados são os aços para cemen-
tação;
- deve-se usinar as buchas e os pinos, deixando
sobre-metal para retífica, e não esquecendo
das ranhuras para lubrificação com 5mm de raio;
- cementar as peças com profundidade de 0,5mm ,
dureza de 50RC;
- retificar as peças com ajustes deslizantes ,
combinando cada pino com sua bucha; a bucha
com as tolerâncias: na parte externa, h7; na
interna, H6; o pino, com tolerância n6. (fi-
gura 6).

Cada fábrica deve padronizar um grupo de pinos de
guia e até mantê-los em estoque, garantindo assim, lotes maio-
res de fabricação e pronta reposição, e as demais vantagens
da padronização.

- Acessórios

O molde deve ser provido de um gancho colocado no
seu centro de gravidade, quando fechado, para facilitar sua
suspensão, transporte e colocação na máquina. Caso o molde
seja muito grande, colocar um gancho em cada parte.

Para fixação, o molde deve conter ranhura com re-
baixo em ângulo, para poder ser grampeado na mesa da máquina,
sem escorregar (figura 7), ou conter furação na parte móvel e
fixa, para receber parafusos ou tirantes de fixação, quando
a máquina for provida de furação para esse fim.

Fig.7a. Detalhes de fixação dos moldes nas máquinas. F1.37

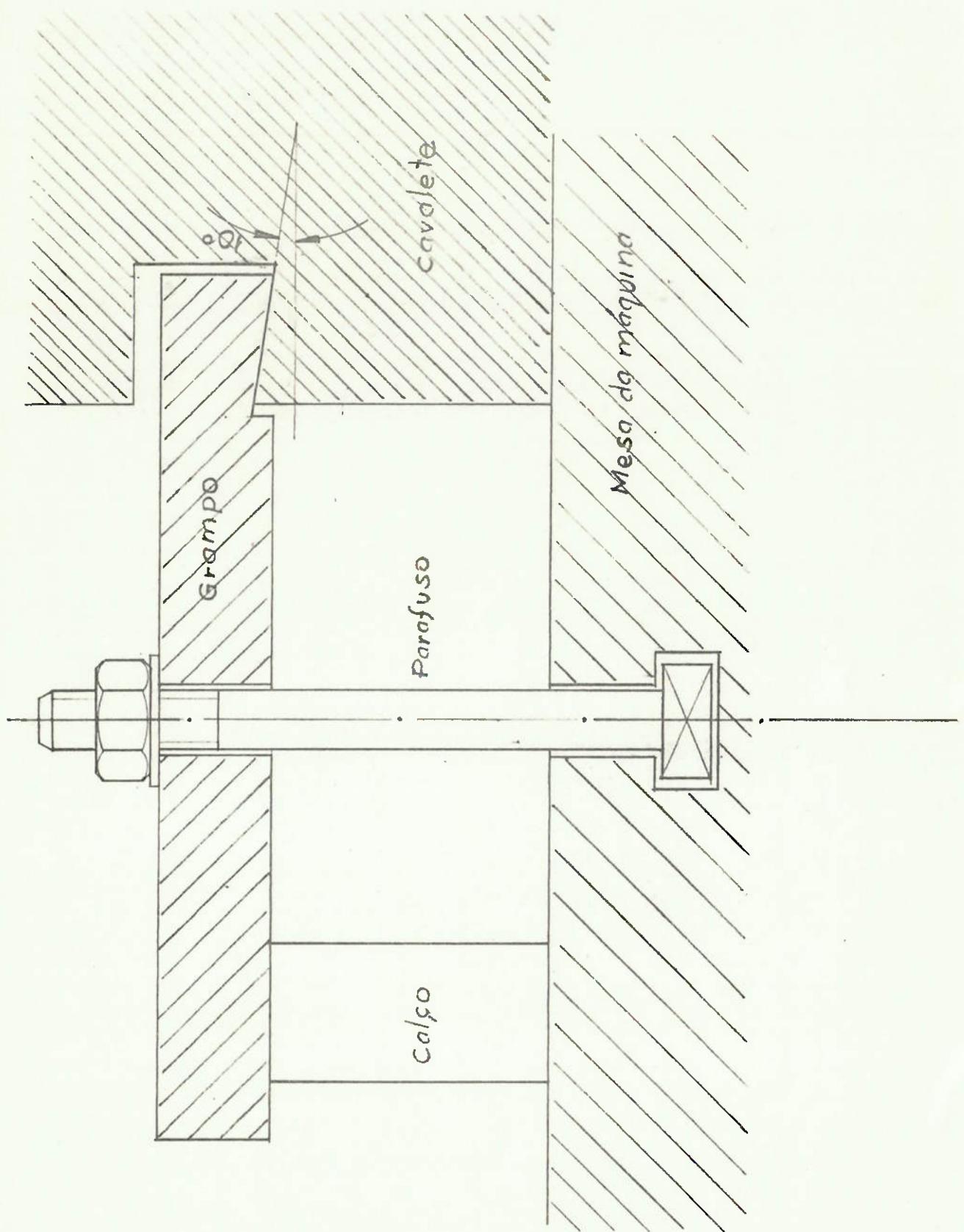
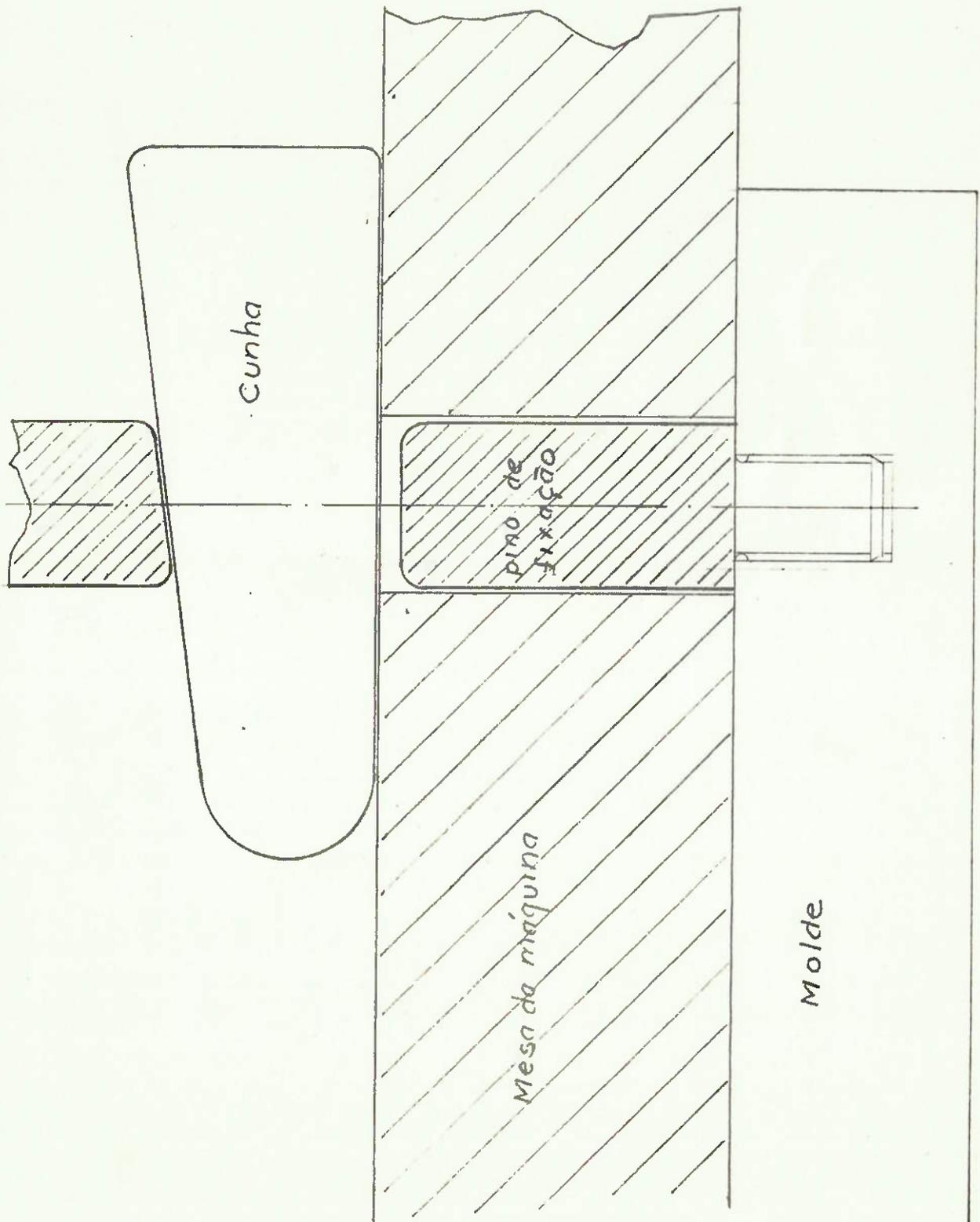


Fig. 7b. Fixação do molde na máquina, com tirante e cunha, proporcionando uma operação rápida.



Deve-se colocar um suporte apoiando a caixa móvel à mesa da máquina, na direção do centro de injeção, para que a máquina absorva o impacto da injeção no molde ou, então, calcular as placas e distâncias com o critério abaixo:

Cálculo da distância dos cavaletes para deflexão mínima (figura 8):

$$d = \frac{E \times I \times 48}{F \times M^3}$$

$$I = \frac{LH^3}{12}$$

d = deflexão

F = força de injeção

M = distância entre os cavaletes

E = módulo de elasticidade

I = momento de inércia

L = largura da placa

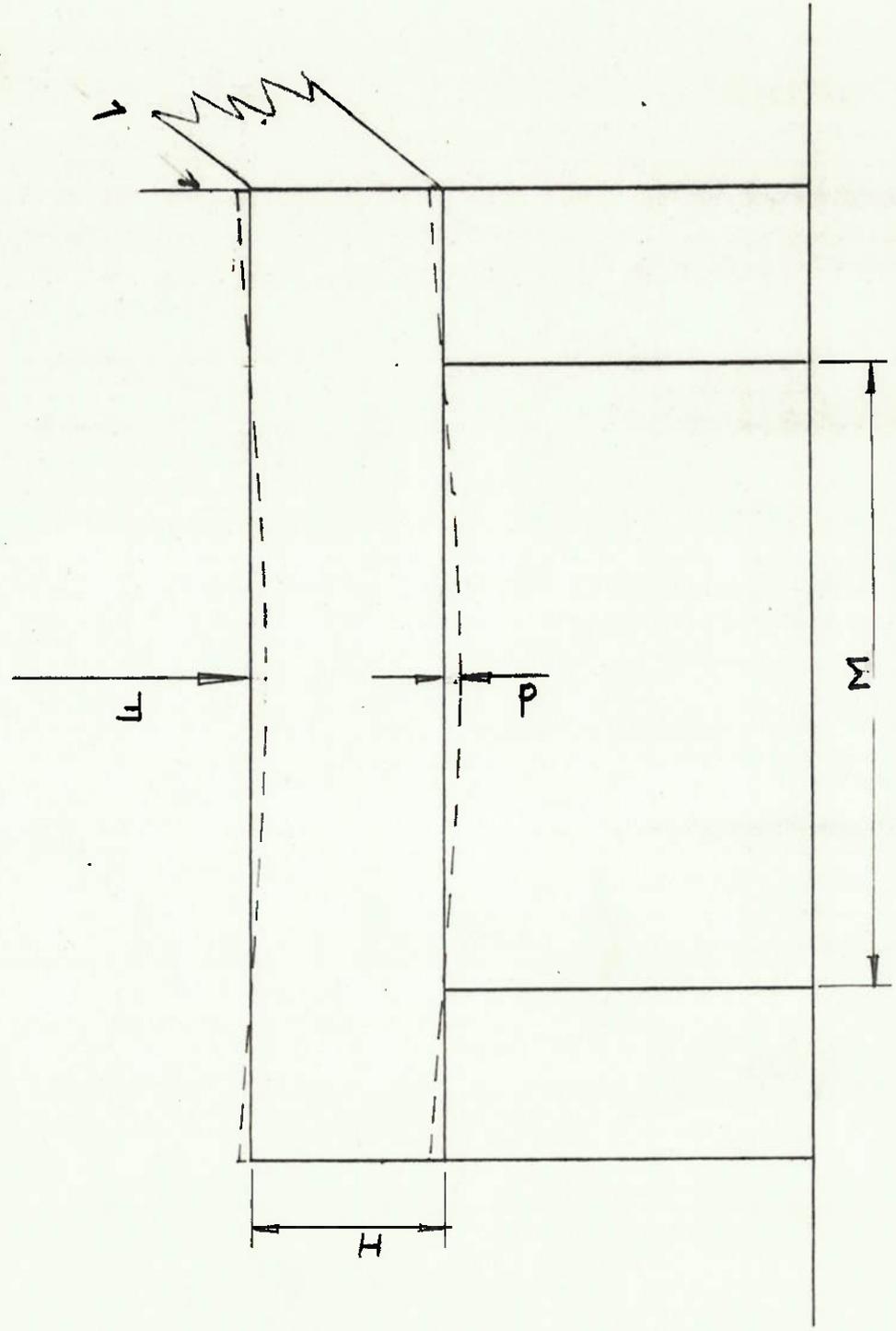
H = espessura da placa

Impondo uma deflexão máxima da placa, pode-se calcular F. (a deflexão máxima admissível seria 0,75mm) (do manual da DME).

Fig.8. Esquema mostrando a distância entre os cavaletes com as cotas que são usadas no dimensionamento da mesma.

$$d = \frac{F \cdot I \times 48}{F \cdot M^3}$$

$$I = \frac{L \cdot H^3}{12}$$



M = Distância dos cavaletes.
 I = Mom. de Inercia.

b) Sistema de Injeção

O sistema de injeção é composto de:

- bucha de injeção
 - espiga de contração ou suporte do impacto da injeção
 - canais de alimentação e entrada do material
 - saída de ar, bolsas de ar ou volantes térmicos
-
- Bucha de Injeção

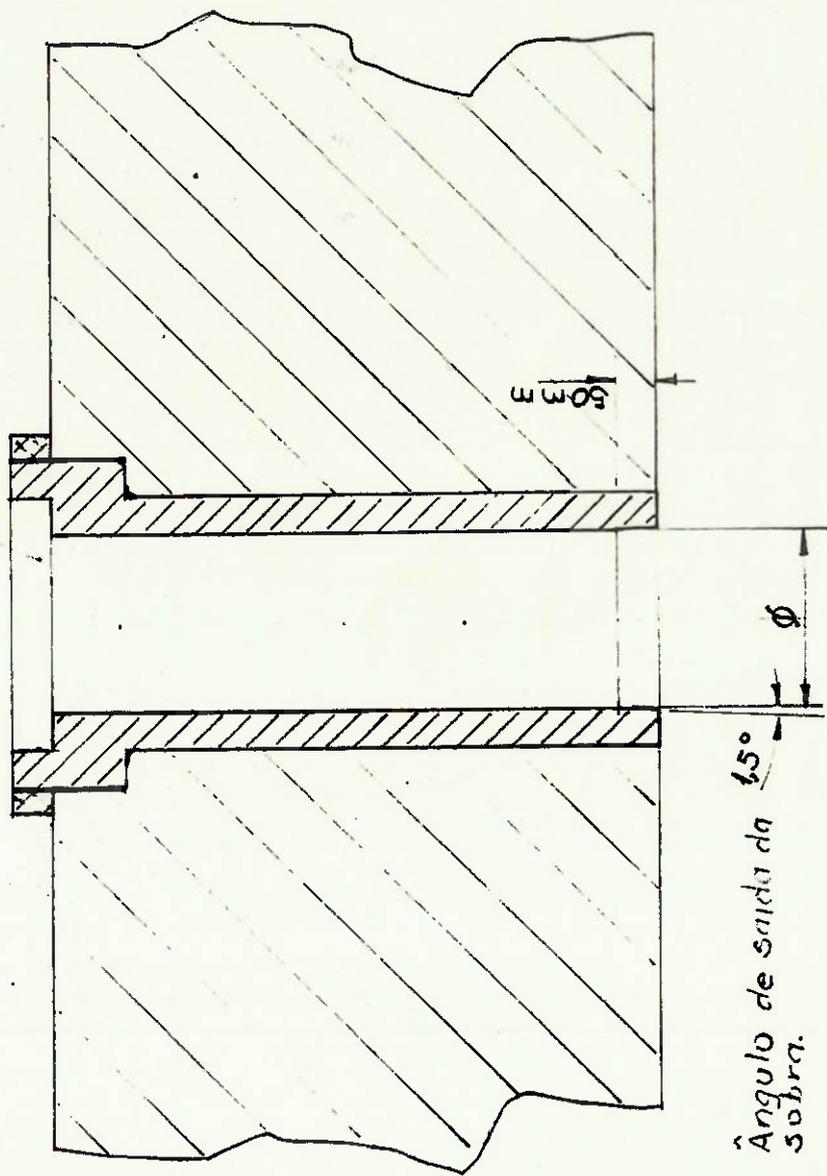
A bucha de injeção do molde, às vezes, pode ser substituída pela bucha de injeção da máquina. Quando são usadas as máquinas de injeção horizontal, o molde tem apenas o encaixe da bucha da máquina.

As buchas de injeção são de três tipos principais:

- 1º) para máquinas "horizontais câmara fria";
- 2º) para máquinas "verticais câmara fria";
- 3º) para máquinas de "câmara quente".

1º) Para máquinas horizontais, a peça é muito simples, sendo uma continuação da bucha de injeção da máquina, com um encaixe adequado de um lado e um pequeno ângulo de saída na parte interna do outro lado (figura 9 e figura 10).

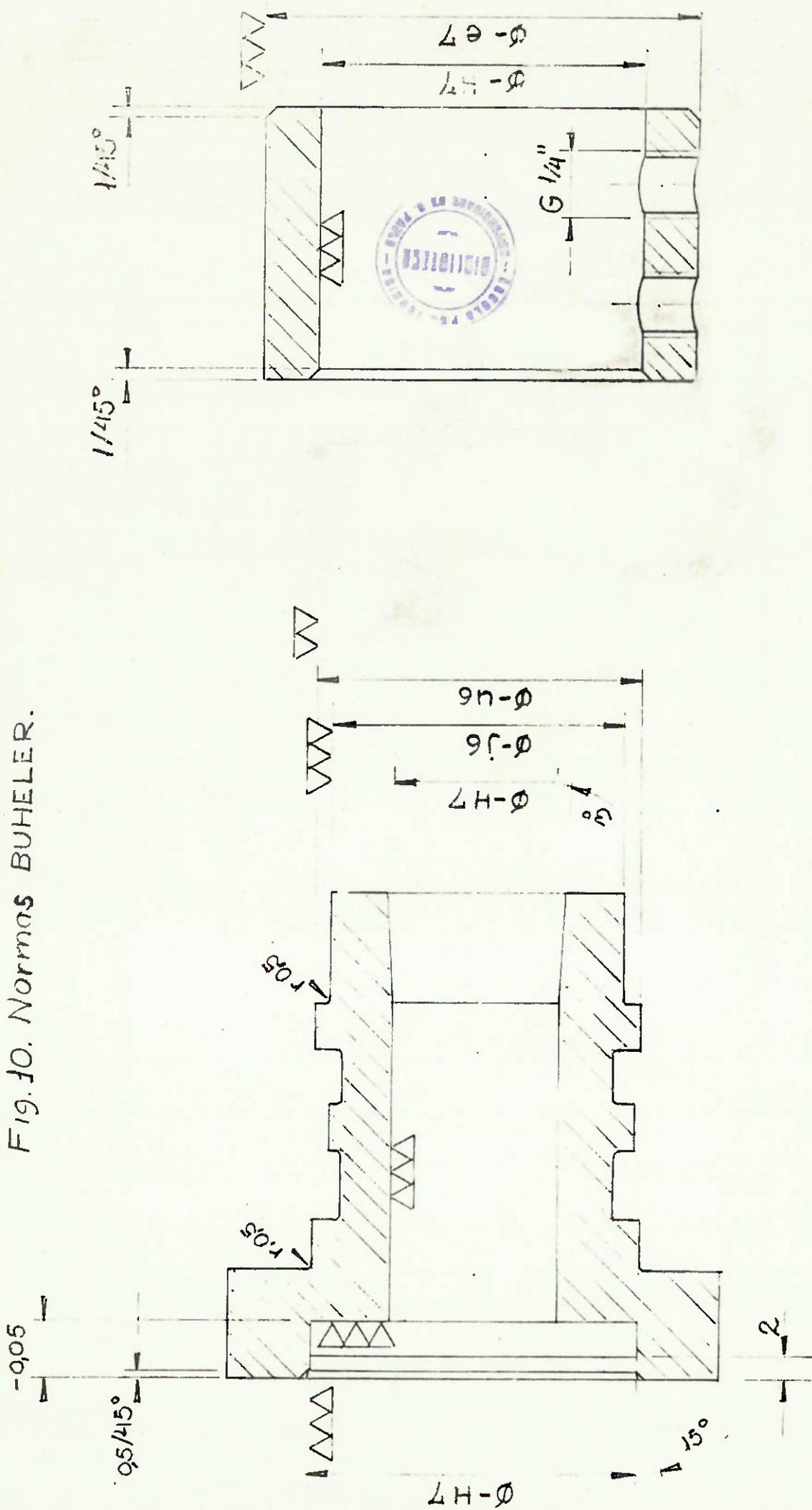
Encaixe da bucha da máquina.



Ângulo de saída da
sobra. 15°

Bucha de injeção "Camara fria horizontal"
sem canais de refrigeração.

Fig. 10. Normas BUHELER.



Bucha de injeção de molde de câmara fria horizontal, provida de canais de refrigeração. O desenho mostra as duas partes da bucha desmontadas

Os materiais indicados são os aços para trabalho a quente.

A bucha de injeção tem que sofrer acabamento muito bom, sendo retificada e endurecida térmicamente, com dureza de 46 a 48 RC, e nitretada, pois vai trabalhar em contato com o pistão. O ajuste deve ser consultado na tabela da máquina (figura 11)

29 e 39) Nas máquinas verticais e de câmara quente, as buchas são iguais na forma, variando somente a parte de contato com a máquina; um encaixe no bico injetor, quando de câmara fria vertical, e um ângulo ou raio de ajuste, com o bico injetor intermediário. As duas são providas de câmara de refrigeração/ e os ângulos devem ser de acordo com as tabelas das máquinas. Ver figuras 12, 13 e 14, que mostram buchas padronizadas.

- Espiga de contração

A espiga de contração ou suporte do impacto de injeção, tem a finalidade de: espalhar o fluxo de injeção, refrigerar o canal ou toco nas máquinas de câmara quente e câmara fria de pistão vertical, extrair o canal da bucha de injeção por meio da contração deste sobre a espiga (figura 14-a e 14-b).

A espiga de contração deverá ser temperada com 48 - 50RC, nitretada para resistir às condições de trabalho; é uma peça de vida curta e deverá ser substituída com frequência.

Deve-se usar um sistema de refrigeração a água, denominado "retorno", que será mostrado na figura 14-a , 14-b e 14-c.

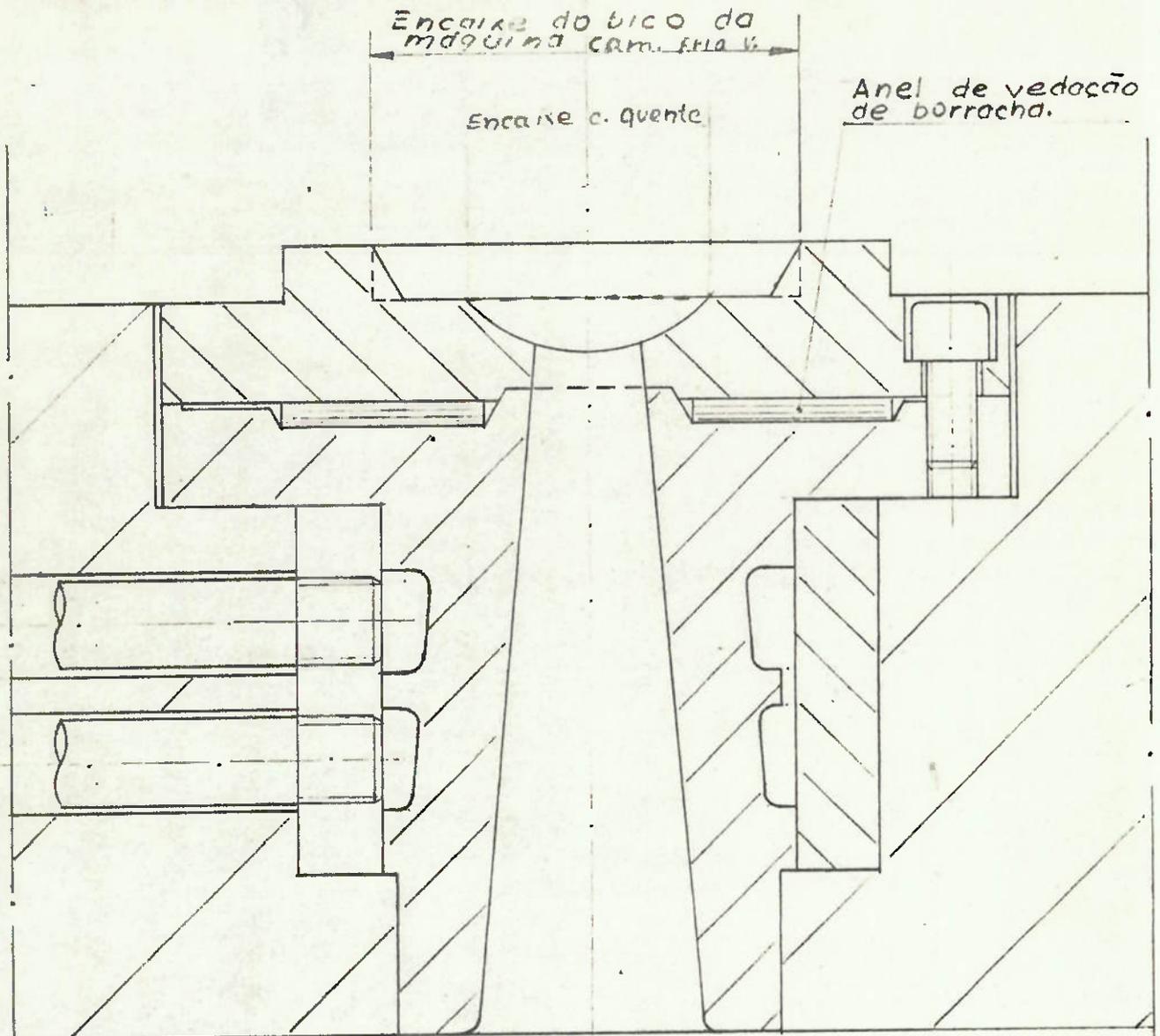


Fig.13.

Bucha de injeção para Câmara quente, bucha de injeção para câmara fria vertical, com o acabamento na base, conforme linha pontilhada.

Máquinas com as tonelagens indicadas

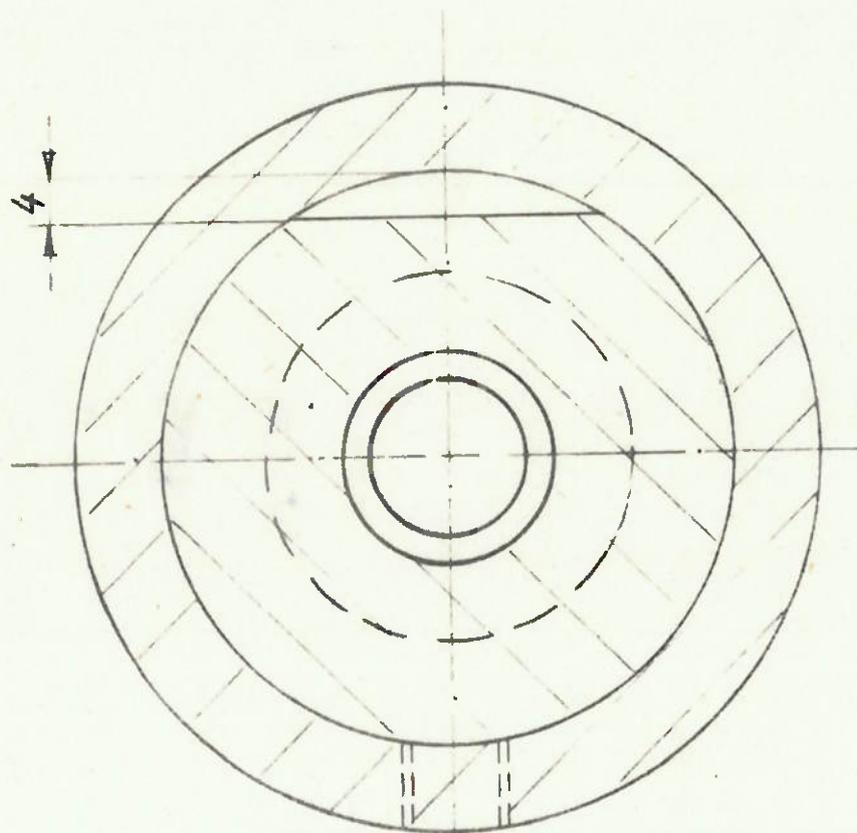
Ø	A-40-D	Z-50	GSZw-60	Z-160 Z-100	Z-200 Z-250 Z-250-D	Z-300 Z-400-D Z-400	GSRw-400	Z-500	GFFw-600	Z-650 Z-800 Z-1000
A	90	101	80	90	100	100 115	115	170	140	120
B	40	65	50	60	70	80	80	90	100	100
C	30	55	45	55	60	70	70	80	90	90
D	6	14	14	17	17	20	22	20	24	24
E	35	55	60	65	65	80	80	85	95	95
F	8	8	10	8	8	8	8	10	8	8
G	20	20	20	25	25	25	25	25	40	25
H	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2
I	0	1	1,5	2	1,5 2	2	2	1,5	3	2

Algumas características de encaixe das buchas de injeção nas máquinas
BUHLER de câmara quente.

H-50	A	25	30	35	40	45			G P F	A	50	60	70	80	90	100	110			
	B		60							B		130								
	C	50	55		70					C	80	90	100	110	130	140	150			
	D	55	60		75					D	90	100	110	120	140	150	160			
	E	75	80		95					E	120	130	140	150	170	180	190			
	F	90	90		100					F	160	160	160	160	179	200	200			
	G		10							G		15								
H-100	A	30	35	40	45	50	55	60	65	H-800	A	70	80	90	100	110	120	130		
	B		60				80				B	-	-	-	-	200	200	200		
	C	55		70		80		95			C	100	110	130	140	160	170	180		
	D	65		80		90		105			D	110	120	140	150	170	180	190		
	E	90		105		115		130			E	140	150	170	180	200	210	220		
	F	100		115		125		140			F	150	160	180	200	230	230	240		
	G		10								G	-	-	-	-	20				
H-200 H-160	A	40	50	60	70	80			H M-200	A	30	35	40	45	50	55	60	65		
	B		100							B		60				80				
	C	70	80	90	100	110				C	55		70		80		95			
	D	80	90	100	110	120				D	65		80		90		105			
	E	105	115	125	135	145				E	90		105		115		130			
	F	125	130	135	155	165				F	100		120		125		140			
	G		15							G		10								
G P A	A	30	35	40	45	50	55	60	65	H-660 D H-800 D H-1000 D	A	50	60	70	80	90	100	110	120	130
	B		60				80				B		150							
	C	55		70		80		95			C	85	95	105	115	125	135	145	155	165
	D	65		80		90		105			D	95	105	115	125	135	145	160	170	180
	E	90		105		115		130			E	125	135	145	155	165	175	190	200	210
	F	100		115		125		140			F		180				205		225	
	G										G									
H-250-D H-300	A	40	50	60	70	80	85		H-400 H-400 D	A	50	60	70	80	90	100	110			
	B		100							B		100			130					
	C	70	80	90	100	110	120			C	80	90	100	110	120	140	150			
	D	80	90	100	110	120	130			D	90	100	110	120	130	150	160			
	E	105	115	125	135	145	155			E	115	125	135	145	155	175	185			
	F	125	130	135	155	165	175			F	125	135	145	155	165	185	195			
	G		15							G		15								
G S P	A	40	50	60	70	80			H-500	A	50	60	70	80	90	100	110	120		
	B		100							B		130								
	C	70	80	90	100	110				C	80	90	100	110	130	140	150	160		
	D	80	90	100	110	120				D	90	100	110	120	140	150	160	170		
	E	105	115	125	135	145				E	120	130	140	150	170	180	190	200		
	F	125	130	135	145	155				F	160	160	160	160	179	200	200	210		
	G		10							G		15								

Fig. 13 b. Características ms máquinas BUHELER H. sto é horizontais

Fig. 141b. (continuação).



CORTE-AA

- 1-Corpo da bucha de injeção.
- 2-Anel da camara de refrigeração da bucha.
- 3-Corpo da espiga.
- 4-Dispositivo de refrigeração denominado retorno.
- 5-Junta de vedação.

Conjunto montado. Bucha de injeção, Espiga de contração.

5	Anel de vedação. Cobre, borracha.	Φ 22/31 x 2
4	Parafuso de fixação.	Φ 30 x L3 + 12
3	Espiga de contração.	Φ E + 10 x L2 + 12
2	Anel dos canais de resfriamento.	Φ B + 25 x L1 + 12
1	Bucha de injeção.	Φ A + 15 x L + 12

Fig. 13a - 13b

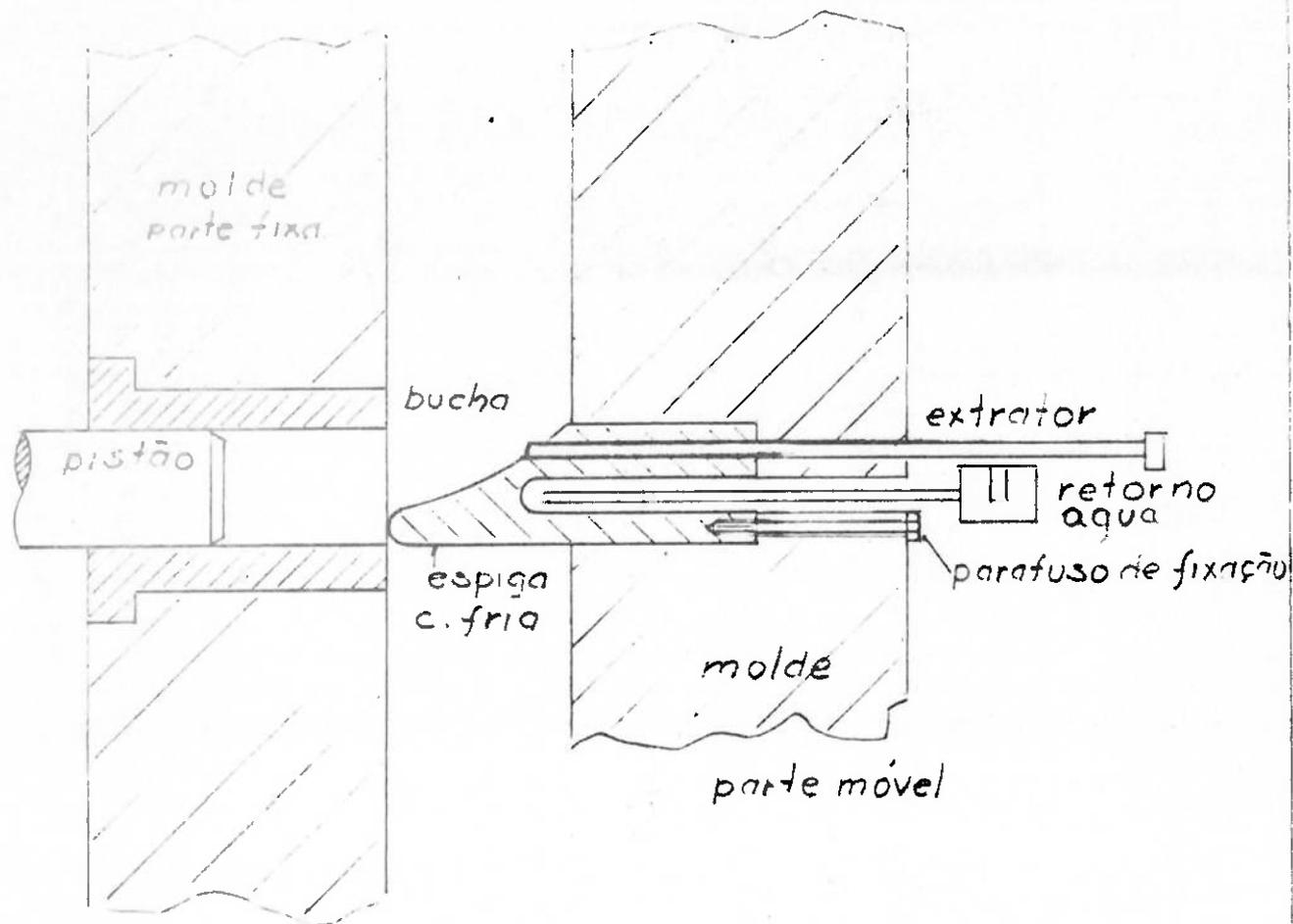


Fig. 14a. Suporte do impacto de injeção para câmara fria "espiga de contração"

- Canais de Alimentação

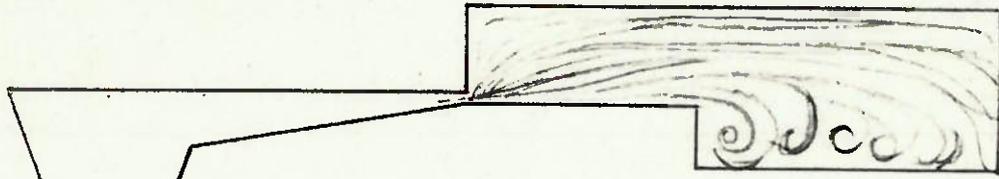
O canal de alimentação é a parte do sistema, mais difícil de ser projetada. A qualidade da peça dependerá, em grande parte, do canal de alimentação. Pode-se obter uma boa peça com um canal relativamente simples, mas para isso a máquina deverá estar superdimensionada em volume, pressão e força de fechamento. Quando as condições estão no limite ou a peça é de forma intrincada, o problema só poderá ser resolvido com um dimensionamento adequado do canal.

- Modernas técnicas para dimensionamento de canais:

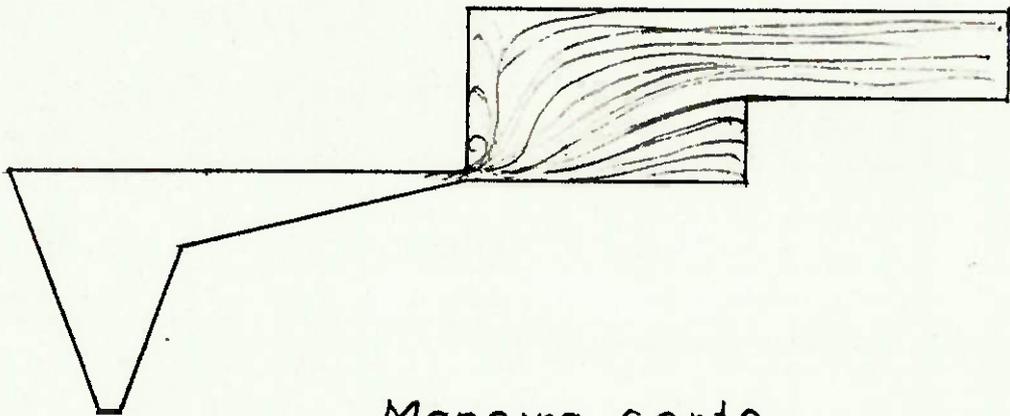
Para se obter um bom canal é necessário muita experiência, embora algumas regras possam ser estabelecidas, às luzes da mecânica dos fluídos:

- 1) Utilizar a mínima distância entre o centro de bucha de injeção e a extremidade oposta à da entrada (figura 15).
- 2) Manter uma distância adequada entre o centro da bucha de injeção e a entrada da peça, evitando que a solidificação da peça seja prejudicada pela proximidade do centro de injeção (figura 15).
- 3) Manter secção constante, reduzindo assim a perda de carga (figura 16).
- 4) A relação: largura x profundidade do canal deve ser tal que provoque a mínima perda de calor, isto é: a secção deve ser próxima ao quadrado, que tem perímetro mínimo para área máxima, quando for possível.

Fig. 17. Duas formas de injetar a mesma peça.



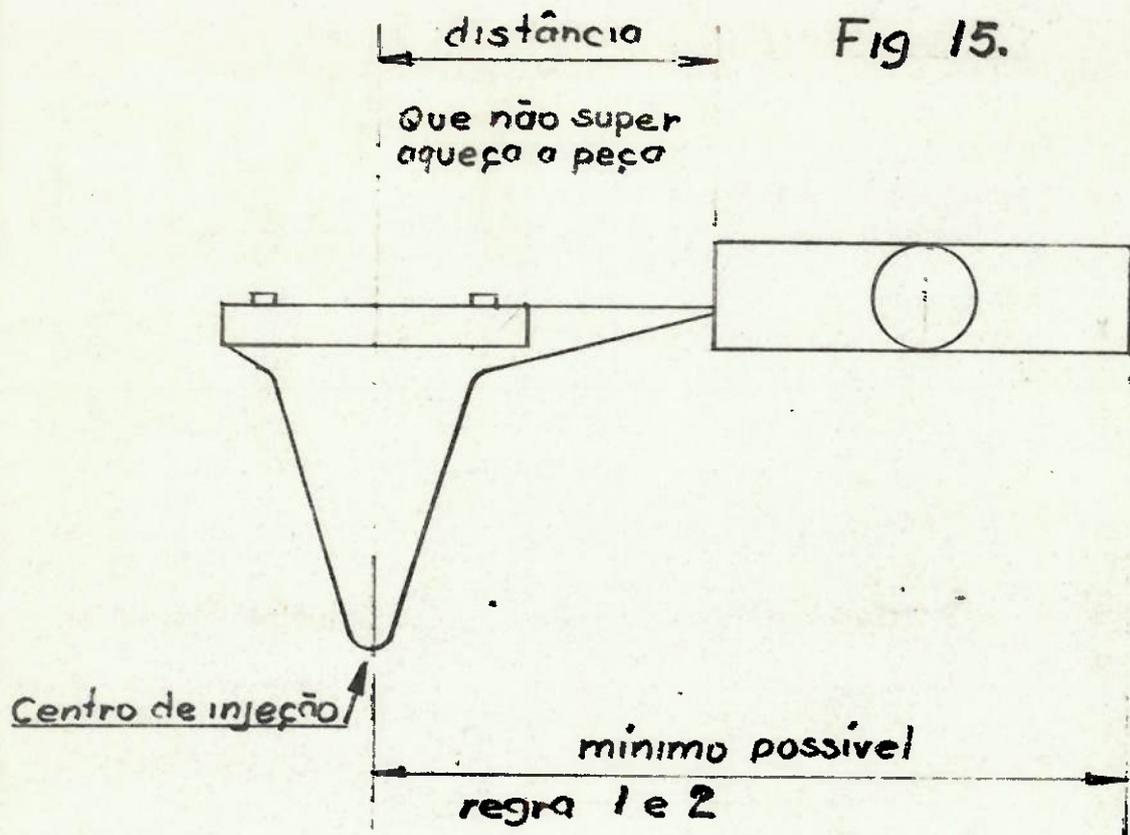
Maneira errada



Maneira certa

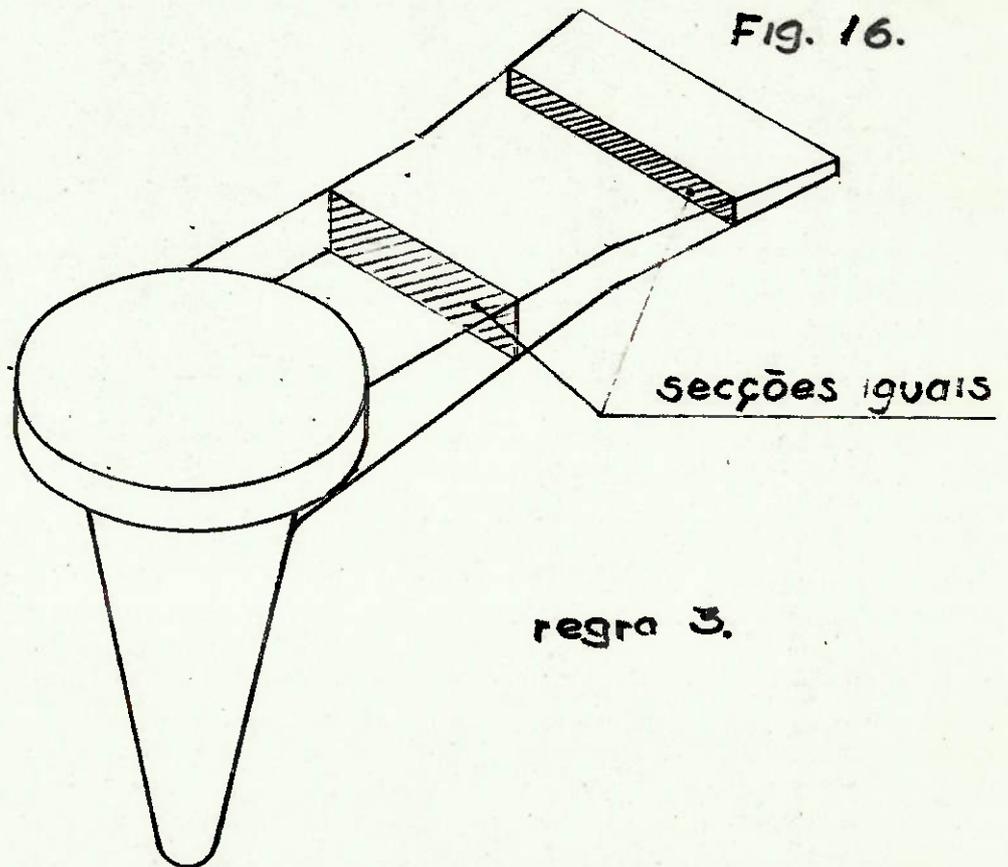
Regra 6

Fig 15.



Vista de um canal de injeção mostrando a distância do centro de injeção a peça.

Fig. 16.

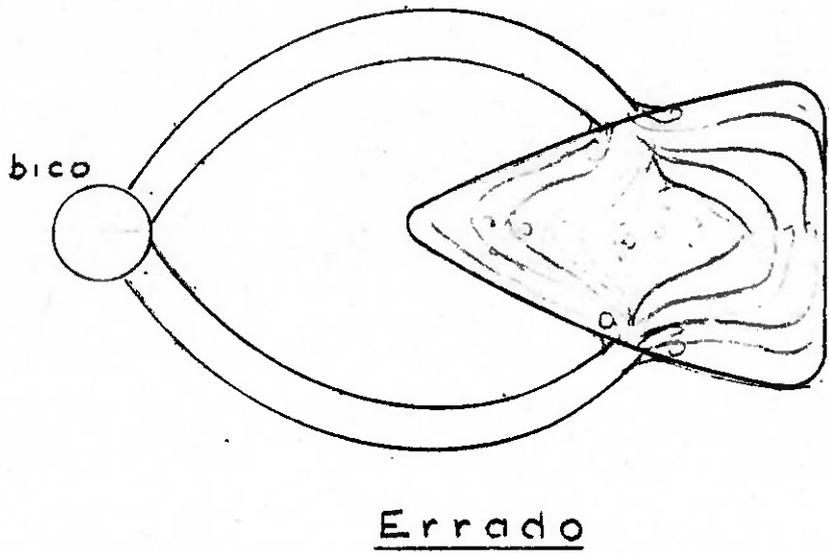
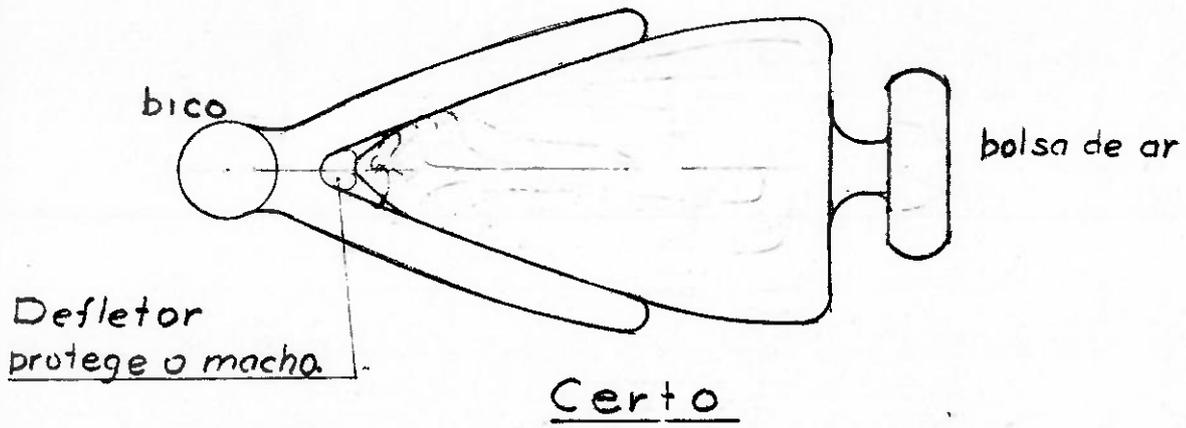


Perspectiva aproximada de um canal mostrando as secções de mesma área.

- 5) Localizar uma linha reta na peça, para a entrada do material (quando possível); isso facilita a ruptura do canal de injeção da peça pronta, caso contrário, fazer um canal interrompido.
- 6) Escolher as partes mais volumosas da peça para a entrada do canal; assim, evitam-se turbilhões e a perda de carga é menor (figura 17).
- 7) Permitir refrigeração sob o canal de entrada.
- 8) Polir o canal ao máximo.
- 9) Evitar choque do jato de metal sobre os pinos e machos da cavidade, colocando ilhas divisoras de fluxo.
- 10) Evitar alimentar uma peça com dois ramos de canais que possam provocar fluxos internos em sentidos contrários, pois o choque dos fluxos ocasionará porosidade. Pode-se ter mais de um ramo de canal, mas direcionados no mesmo sentido (figura 18).
- 11) Não se deve abrir o canal muito grande no início, e sim aos poucos, conforme forem sendo estudadas as amostras iniciais; excesso de canal e entradas estragam a peça.
- 12) A entrada do material na peça deve ser aberta de maneira a provocar um ponto crítico para romper o canal fora da peça.
Chama-se de "borda de segurança" a parte formada pelo ângulo entre a linha, divisão do molde e canal (figura - 19).

As regras acima ajudam bastante, mas não são suficientes: a experiência é mais importante. Um canal só funcionará bem, após uma série de amostras do novo molde, onde um homem treinado poderá conseguir resultados satisfatórios.

Fig. 18. Duas formas de injetar a mesma peça.



Regra 10.

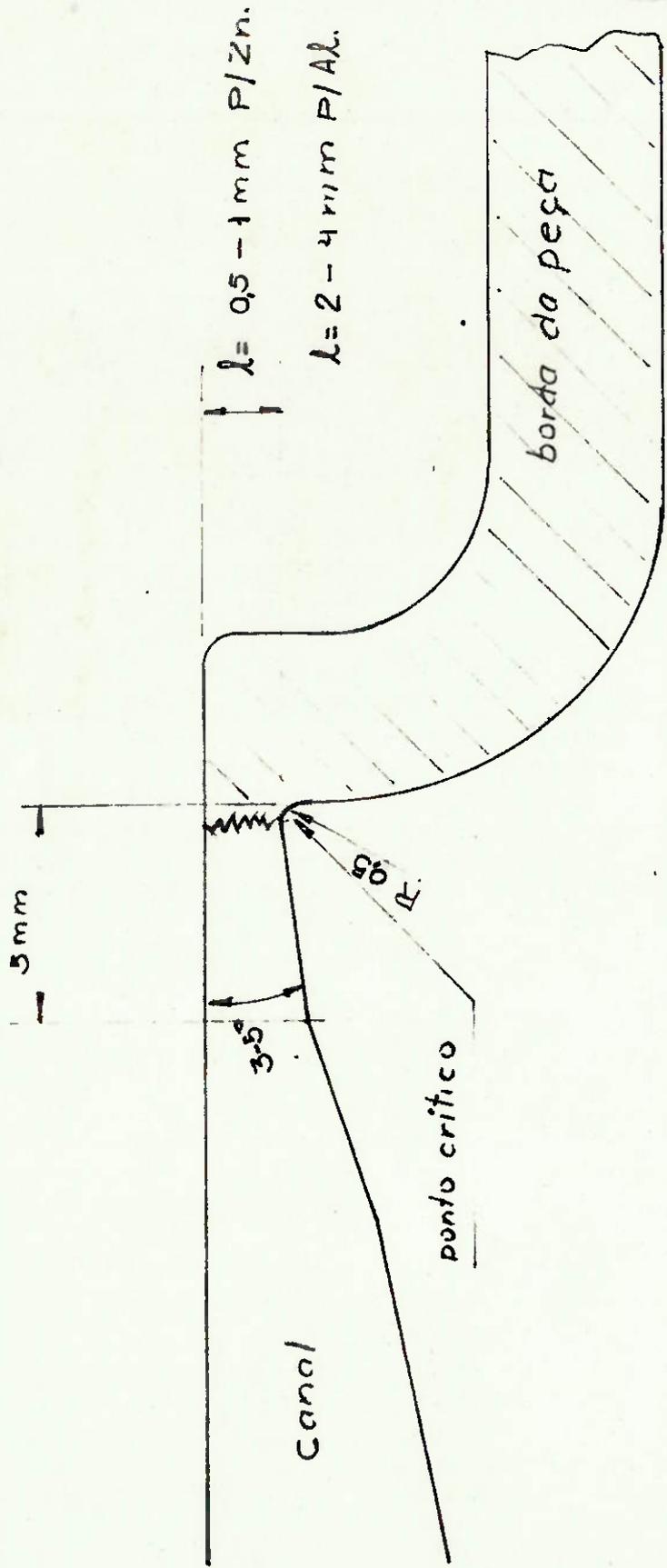


Fig. 19. Detalhe da entrada do canal de injeção da peça mostrando a borda de segurança.

O projeto de canais é considerado ainda hoje, por muitos, uma arte, que depende de larga experiência e grande parcela de sorte. Esse conceito está ficando ultrapassado, apesar de que primeiro se introduziram melhorias nas máquinas, usaram-se robôs para automatizar as fundições e só agora começam-se usar técnicas mais científicas no dimensionamento dos canais.

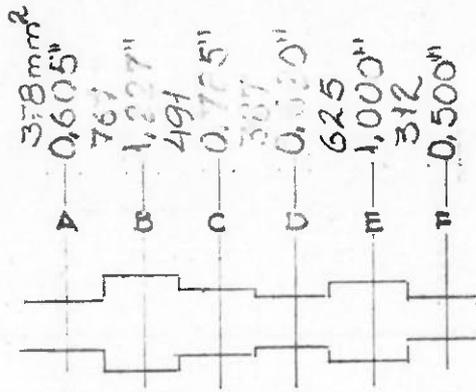
A procura de variáveis significativas foi feita, e muitos pesquisadores chegaram à conclusão de que o tempo de enchimento da cavidade deve estar dentro de uma faixa relativamente estreita, pois as características físicas do metal variam com o seu esfriamento, que é função do tempo. Também influem: a espessura das paredes da peça, a velocidade do pistão de injeção, o diâmetro do pistão de injeção, a temperatura, etc.. Por outro lado verificou-se que todas as variáveis estão sujeitas a um bom funcionamento da máquina.

O sistema pistão, bucha de injeção da máquina, peçoço de ganço, bocal, intermediário, bucha de injeção do molde, e finalmente o canal de injeção da peça, forma um todo que podemos considerar como uma "tubulação" sujeita a todos os problemas de perda de carga, e como tal, deve ser tratada.

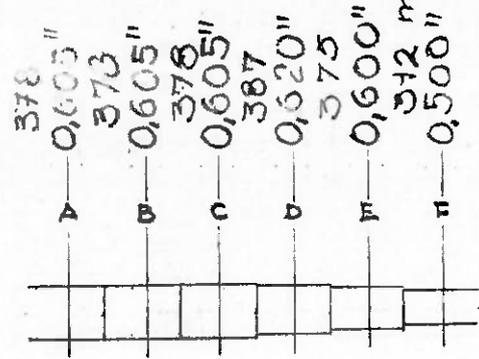
Analisando essa "tubulação" tradicional, vemos uma série de variações de secções: reduções e aumentos, além das curvas que não podem ser evitadas. Para garantir uma operação eficiente e o bom funcionamento do sistema de injeção, deve-se cuidar para que a "tubulação" tenha um mínimo de variações de secções e um mínimo de singularidade. Isto posto, pode-se agora tratar do canal da ferramenta propriamente dita - a figura mostra esquematicamente as variações de uma "tubulação" tradicional e uma "tubulação" desejável (figura 20).

Será necessário usar como dado para o cálculo dos canais, a velocidade do material a ser injetado. Os cuidados

Fig. 20.



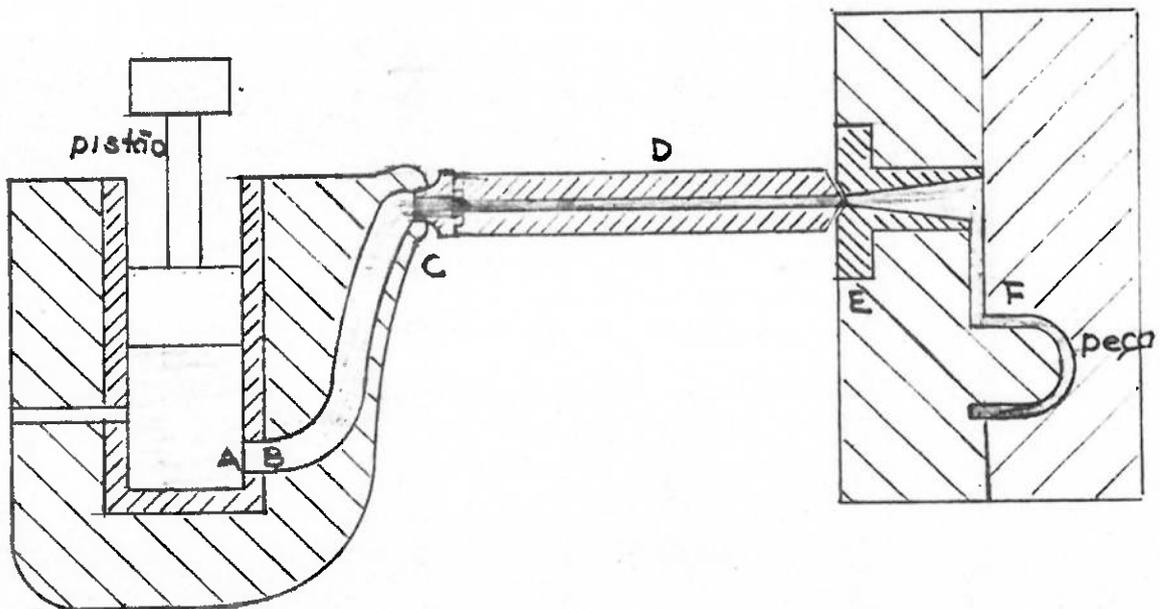
Tradicional



Desejável

Variacão encontrada nas tubulações do sistema de injeção de máquinas de câmara quente onde:

- A= Secção da saída da bucha do pescôço de ganso.
- B= " " passagen do pescôço de ganso.
- C= " " bico de saída do pescôço de ganso.
- D= " " bico intermediário.
- E= " " bucha de injeção do molde.
- F= " " do canal de injeção.



Sistema de injeção de uma máquina de câmara quente.

citados acima, vão garantir, com maior aproximação, que a velocidade calculada seja a realmente usada, além de garantir menor perda de pressão o que é muito importante para o processo.

Podê-se usar para o cálculo da secção do canal de injeção um âbaco projetado por F.C. Bennett: os resultados obtidos com o uso desse âbaco são muito bons. Pode-se verificar isso com a leitura do artigo de Reddy na revista Die Casting Engineer, jan-fev 1975, pág. 12, onde é narrado que se verificou, numa série de 15 peças, que o canal projetado funcionou sem as modificações costumeiras.

Além do cálculo da secção de trabalho, usa-se resultados obtidos no Battelle Memorial Institute, Columbus, Ohio, numa pesquisa contratada pelo International Lead Zinc Research Organization (ILZRO).

- Cálculo da secção dos canais (figura 21)

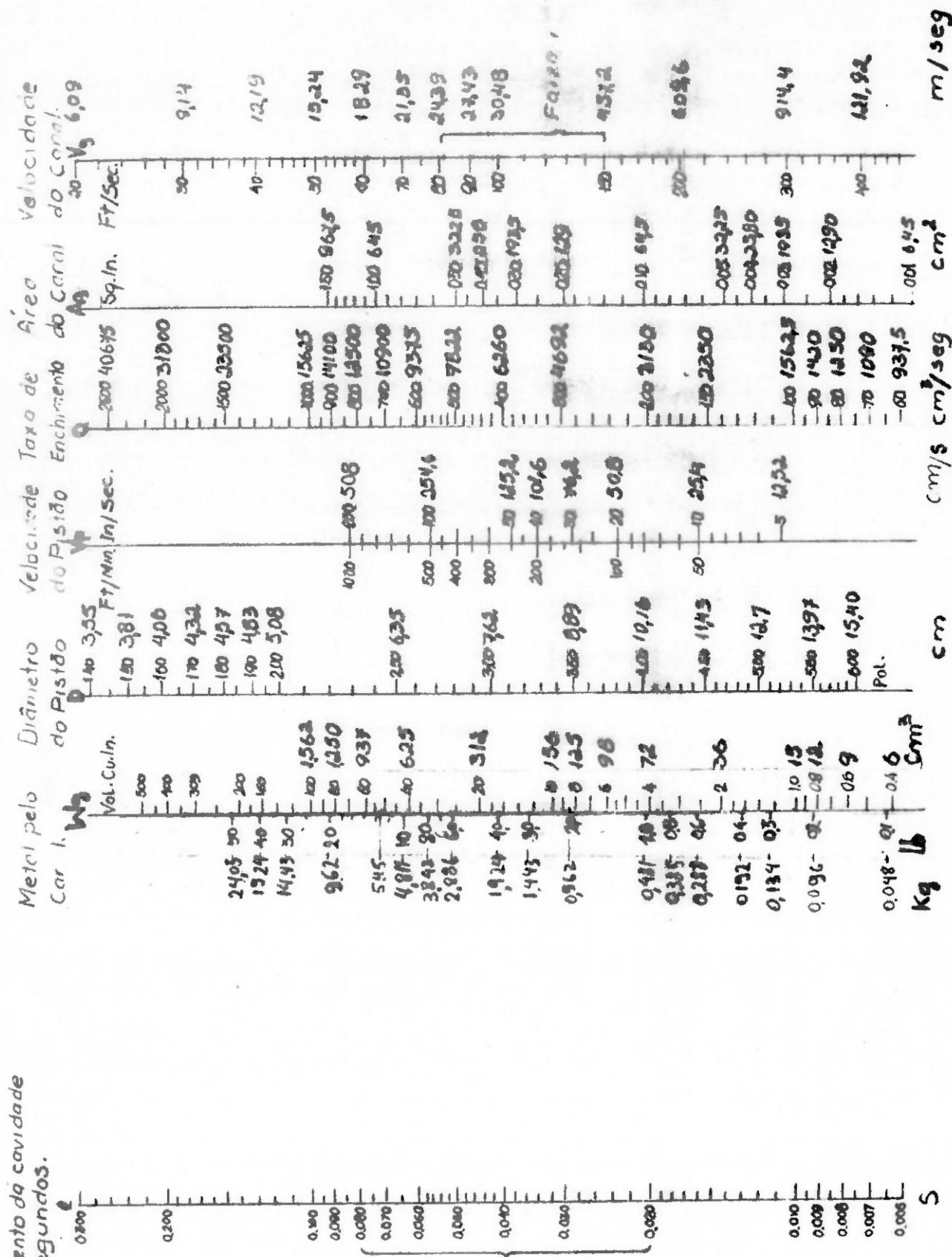
Aqui será mostrada a utilização de um âbaco para o cálculo das secções dos canais.

No âbaco, podemos ver a escala t, que mostra o tempo de enchimento da cavidade em segundos; nessa escala está explícita a faixa normal de tempo para enchimento, que vai de 0,020 seg. até 0,080 seg.

A escala Wg é a do peso do metal que passa pelo canal; aqui devemos estimar o peso do tiro completo (peça mais canais) dado em gramas; para facilidades, essa escala dá também o volume em centímetros cúbicos.

Enchimento da cavidade
Em segundos.

Fig. 21.



Faixa normal

A escala D é a do diâmetro do pistão de injeção , que influi na velocidade do material, pois quanto maior for seu diâmetro, maior é o volume deslocado, conseqüentemente , há uma redução de pressão efetiva do metal injetado para uma mesma força do pistão. O diâmetro do pistão está definido pe los elementos padronizados, dentro de cada fábrica e para ca da máquina.

A escala V_p é a da velocidade do pistão que pode ser regulada, mas é limitada pela capacidade da bomba e da tubulação de óleo e pelas perdas de carga, ou resistências oferecidas pelo fluxo do metal que flue para a ferramenta (é dada em cm por minuto ou mm por segundo).

A escala Q , chamada de "Muster Scala", dá o valor da taxa de enchimento (milímetros cúbicos por segundo).

A escala A_g : área do canal procurada, é dada em milímetros quadrados.

A escala V_g dá a velocidade do material no canal (dada em cm por segundo).

Segue-se a sequência de procedimentos para o uso do ábaco:

Embora seja possível, com boa aproximação, impor um tempo de enchimento da cavidade da ferramenta, sabe-se que peças de espessuras de paredes diferentes e de mesmo peso , têm tempos de enchimento diferentes. É preciso encontrar um fator de diferenciação - uma curva foi levantada experimentalmente. Essa curva dá o tempo de enchimento da ferramenta, em função do fator K , onde, $K = \text{peso} \times \text{espessura de parede dominante ou principal}$. Com essa curva pode-se ter uma orientação para definir o tempo de enchimento da cavidade (figura 22).

Conclui-se assim, que:

- O 1º passo é calcular o peso do tiro completo W .
- O 2º passo é calcular a espessura da parede média T .
- O 3º passo é calcular o fator $K = W \times T = k$.
- O 4º passo: com K e o gráfico I , determinar o tempo ótimo para enchimento da peça (Fig.22).
- O 5º passo: escolher a velocidade do metal no canal, que achar conveniente (Vg).
- O 6º passo: locar T_1 na escala T dos tempos de enchimento do canal. Locar Wg_1 na escala Wg .
Locar Vg_1 na escala Vg .
Por uma reta, ligar Tc e Wg e prolongando até a escala Master Q , ligando o ponto encontrado na escala Q com o ponto Vg_1 da escala Vg ; encontramos assim a área da secção do canal Ag_1 na escala Ag .
- O 7º passo: verificar a máquina que será usada na operação.
- O 8º passo: tomar o diâmetro do pistão previsto para a operação de fundição (Q_1).
- O 9º passo: listar as velocidades de tiro possíveis para a máquina e estabelecer uma média da velocidade do pistão (Vp_1).
- O 10º passo: locar os pontos D_1 e Vp_1 nas escalas respectivas. Ligar os pontos D_1 e Vp_1 , prolongar até a escala Q_1 (Master Scale), determinar o ponto Q_1 , ligar o ponto Q_1 ao ponto Vg_1 na escala Vg . Na escala Ag surge um novo valor Ag_2 , para a área do canal.
- O 11º passo: escolher o valor a ser adotado. Caso exista uma diferença muito grande entre os dois valores Ag_1 e Ag_2 , usar a média dos dois.

O 12º passo: multiplicar o valor Ag por 1,2 para obter a secção transversal do canal de trabalho.

Para melhor esclarecimento, vamos apresentar um exemplo no final do capítulo 10.

- Técnica de projeto de canais para peças de paredes finas em peças feitas de Zamac

Também desenvolvida no Battelle Institute, essa técnica veio proporcionar uma economia considerável de matéria prima. As peças tradicionais têm paredes da ordem de 1,5 mm. A nossa técnica permite a produção de peças de 1,0 mm até 0,7 mm; além da economia de material, pode-se obter uma quantidade maior de peças por hora, pois paredes finas esfriam mais rápido.

A teoria é baseada numa planificação acurada do canal de injeção: cuidando que a alimentação do bico intermediário tenha área maior que a entrada da peça; mantendo essa área constante ao longo do canal; colocando-se defletores de fluxo para garantir uma alimentação uniforme na base da peça; escolhendo o local de injeção de tal modo que se garanta que a cavidade seja preenchida por uma onda uniforme sem turbilhões que vai levando a cavidade da sua maior área para a menor, onde estão colocadas as bolsas de ar.

A forma de se conseguir isso é a seguinte:

- 1º) divide-se a peça em faixas dispostas do ponto de injeção até o fim da peça; o ponto de injeção deve ser escolhido sempre numa linha reta da peça, se possível, e que tenha maior área, maior volume, provocando um fluxo das partes

mais largas para as mais estreitas; tomando essa borda maior devemos dividi-la em segmentos iguais de aproximadamente 25mm. Os pontos da divisão, ligados às extremidades opostas à linha de injeção e acompanhando o provável fluxo de material, formam as faixas citadas.

Cada faixa deve ser considerada como uma peça independente; o peso da faixa deve ser calculado e a partir desse peso, serão dimensionados os canais (figura 22b).

Tomando a peça dividida dessa forma, para facilitar, vamos numerar cada faixa, de 1,2.....,n. Cada faixa terá sua entrada de material Ag_1, Ag_2, \dots, Ag_n .

- 29) Para cálculo da área de entrada de cada faixa, temos a seguinte fórmula:

$$Ag_n = \frac{Ag \times W_{gn}}{W_g}$$

onde: Ag_n = área da entrada do segmento.

Ag = área do canal de alimentação principal da peça completa.

W_{gn} = peso da faixa enésima.

W_g = peso total da peça.

Sabendo que a área mínima do bico de enchimento deve ser maior que a área total do canal e sabendo que uma entrada na peça de Zamac que não produza defeitos de rebarbação ou porosidades internas não pode ultrapassar a 0,75 mm de espessura, podemos tirar da fórmula o valor de Ag :

$$Ag = \frac{Ag_n \times W_g}{W_{gn}}$$

Podemos, com o valor de Ag calcular a área da entrada de cada faixa $Ag_1, Ag_2, Ag_3, \dots, Ag_n$ (figura 22b).

Secção transversal típica do canal de alimentação

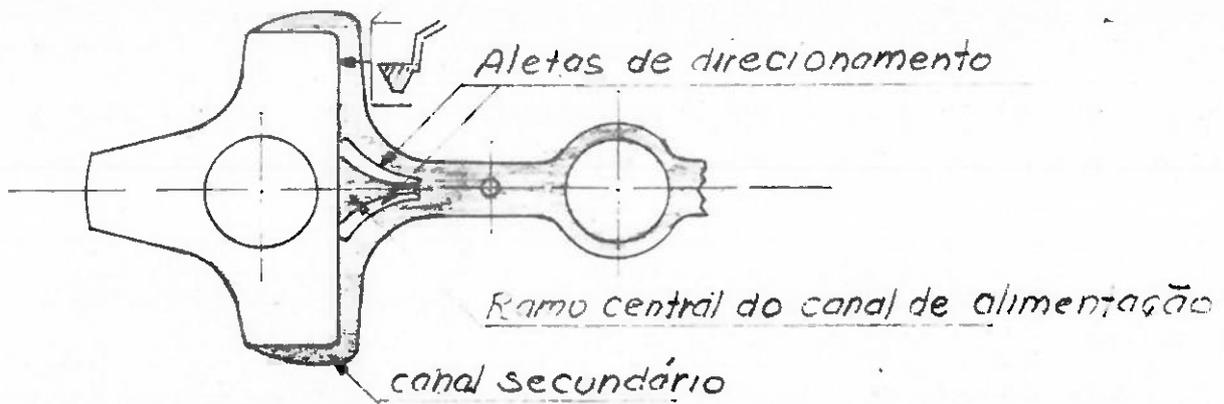


Fig.22a. Canal projetado conforme os negros apresentados.

$A_g =$ Secção transversal Área de alimentação em segmentos

$$A_r = 0.235 \text{ sq.in.}$$

$$A_1 = A_{g1} \times \frac{1}{2} \text{ in.} = 0.030 \text{ sq.in.}$$

$$A_2 = \frac{A_r}{2} - A_1 = \frac{0.235}{2} - 0.030 = 0.088 \text{ sq.in.}$$

$$A_3 = A_2 - A_{g2} = 0.088 - 0.027 = 0.061 \text{ sq.in.}$$

$$A_4 = A_3 - A_{g3} = 0.061 - 0.023 = 0.038 \text{ sq.in.}$$

$$A_5 = A_4 - A_{g4} = 0.038 - 0.021 = 0.017 \text{ sq.in.}$$

Det. das secções resultantes para os ramos do canal

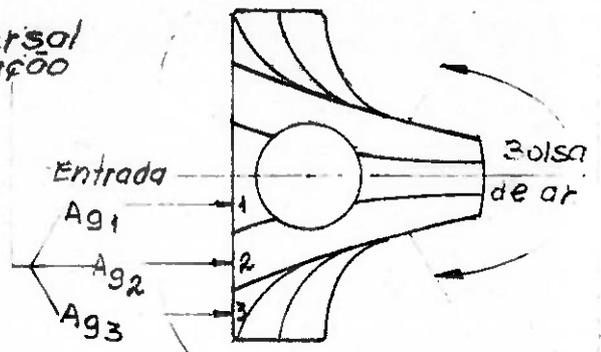
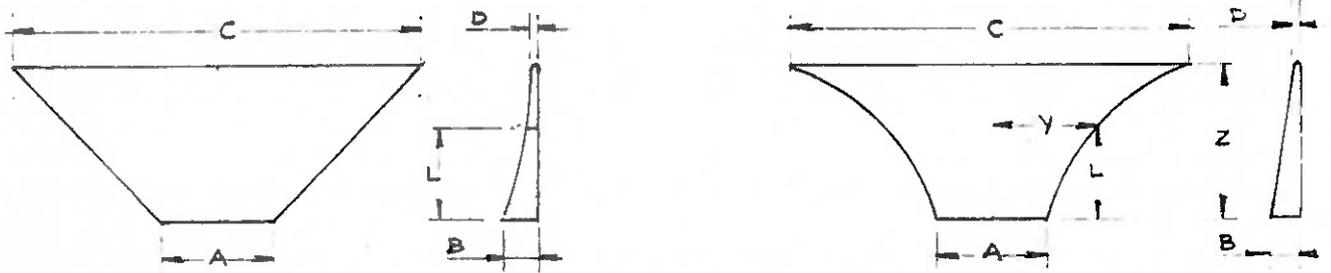


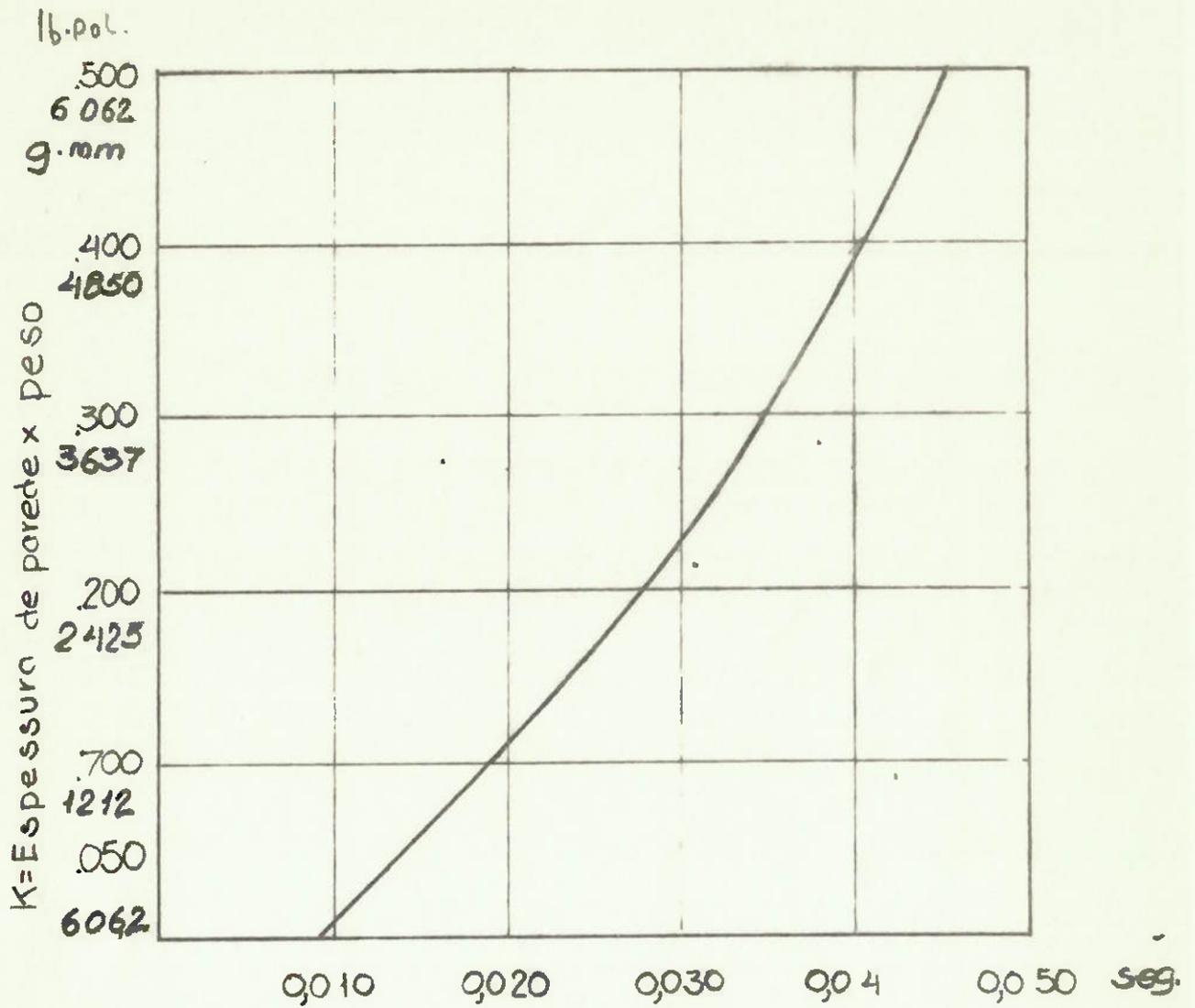
Fig.22b Divisões da borda da peça em setores.



$$x = \frac{AB}{\left(\frac{C-A}{z}\right)L + A}$$

$$y = \frac{\frac{1}{2} AB}{\left(\frac{D-B}{z}\right)L + B} = \frac{\frac{1}{2} AB}{\frac{(B-D)(z-L) + D}{z}}$$

Fig.22c. Cálculo das secções para área constante ao longo do canal.



Tempo de enchimento da cavidade.

Gráfico do valor do tempo de enchimento da cavidade em função do fator K = espessura da parede média x peso.

- 39) Com os valores das áreas de entrada de cada faixa, podemos calcular a área dos ramos de canais que alimentam essas faixas.
- 40) Conhecendo a área de cada ramo podemos fazer o arranjo físico do canal. É importante manter constante a área transversal de alimentação, o que é facilmente conseguido (figura 22a e c, onde vemos as fórmulas necessárias, como também a forma mais indicada). A figura 23 mostra o mesmo método descrito, aplicado à peça máscara de T.V., que é basicamente uma janela.

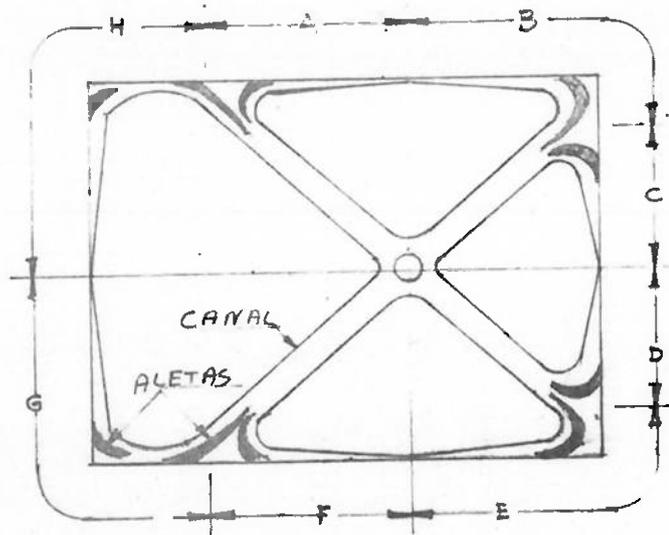
Apresentamos métodos para cálculo dos canais para moldes de fundição de Zamac. Embora não se possa garantir ainda que os mesmos métodos valem para outros materiais, como o Alumínio, pode-se usar as regras dadas como uma aproximação razoável para outros metais, correndo o risco de ter que corrigir os canais para se conseguir peças aceitáveis. Como os métodos tradicionais também são aproximações e requerem correção, certamente as perdas serão menores usando os métodos numéricos, tomando o cuidado de aumentar a entrada do material para 2 ou 3mm, quando o metal for Alumínio.

Note-se que o financiador das pesquisas cujos resultados aqui são apresentados, é um Instituto do Zinco, e gostaria que se usasse mais zinco.

- Saídas de ar e bolsas de ar ou volante térmico

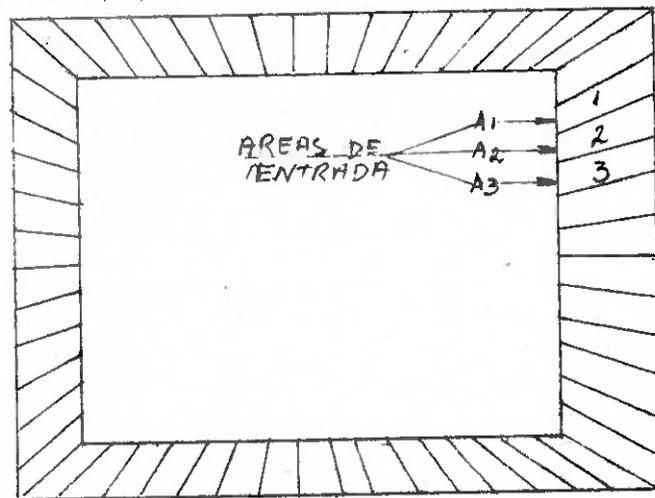
O ar armazenado dentro da cavidade pode prejudicar a peça: deve-se provocar a sua saída, abrindo ranhuras em zig-zag

Fig. 23. Canais dimensionados para uma máscara de T.V.



Esquema de controle de posição do canal de alimentação.

Esquema de localização dos canais.



Divisão da borda da peça em setores.

A_r = secção transversal do canal de injeção.

Secções horizontais das partições do canal.

Cálculo das Áreas.

$$A_{g2} = \frac{0.235}{0.75} \times 0.086 = 0.027 \text{ Pol.}^2$$

$$A_{g3} = \frac{0.235}{0.75} \times 0.074 = 0.023 \text{ Pol.}^2$$

$$A_{g4} = \frac{0.235}{0.75} \times 0.066 = 0.021 \text{ Pol.}^2$$

$$A_{g5} = \frac{0.235}{0.75} \times 0.054 = 0.054 \text{ Pol.}^2$$

$$A = 0.24 \text{ in}$$

$$C = 2 \text{ in}$$

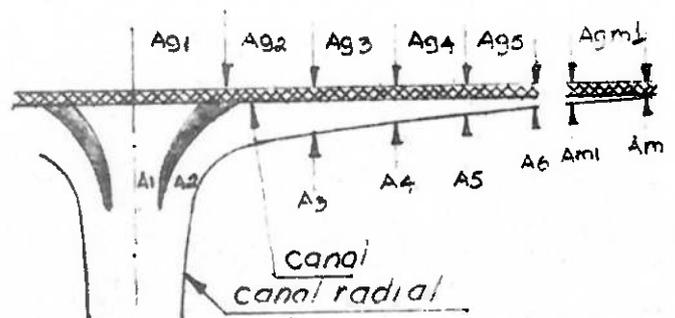
$$B = 0.25 \text{ in}$$

$$D = 0.030 \text{ in}$$

$$A \times B = 0.06057 \text{ in}$$

$$Z = 1.38 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} A_1 + A_2 &= A_{g1} \\ A_1 &= A_{g1} \\ A_2 &= A_{g2} + A_{g3} + A_{g4} + A_{g5} + \dots + A_{gm1} \\ A_3 &= A_2 - A_{g2} \\ A_4 &= A_2 - A_{g2} - A_{g3} \\ A_5 &= A_2 - A_{g2} - A_{g3} - A_{g4} \\ A_6 &= A_2 - A_{g2} - A_{g3} - A_{g4} - A_{g5} \\ A_m &= A_2 - A_{g2} - A_{g3} - A_{g4} - A_{g5} - \dots - A_{gm1} = 0 \end{aligned}$$



Detalhes da entrada com sua secção longitudinal e defletores.

na região onde se deseja extrair ar ou simplesmente, dar um acabamento rugoso na superfície do molde, evitando que o ar fique preso. Muitas vezes, o ar fica emulsionado na frente da onda do metal que preenche a peça; um turbilhão formado pelas singularidades da peça, também emulsiona o ar no metal. Esse metal sujo deve ser extraído e, para isso, abrem-se "bolsas de ar" que a rigor são cavidades abertas junto à borda da peça.

Quando a distância do centro de injeção é muito grande, pode haver pontos frios na peça que se quer injetar; por isso, abrem-se também "bolsas de ar", que funcionam como volante térmico, aquecendo os pontos frios.

A ligação dessas bolsas de ar na peça, deve ser feita da mesma forma que o canal de injeção, provocando a linha crítica de ruptura com a respectiva borda de segurança; essa borda de segurança deve ser feita em todo contorno da peça, para facilitar a rebarbação (figura 24).

Exemplo:

Fazer o dimensionamento dos canais para injetar uma peça de peso $W = 1,95$ Kg, paredes média dominante $T = 1,78$ mm, / sendo escolhida uma máquina que tenha capacidade para injetar o peso W e força de fechamento suficiente, para dimensionar o canal, vamos usar ábaco dado na página 65 figura 21.

1) Determinar o fator $K. = T \times W$

$$K = 1,78 \times 1,95 \approx 3,5$$

$$K = 3,5 \text{Kgm mm.}$$

2) Com o valor de K podemos encontrar o tempo de enchimento da cavidade, usando o gráfico da figura 22 página 70 / obteremos o valor de T $T = 0,033$ consultamos o ábaco e verificamos que o valor está dentro da faixa normal de trabalho.

3) O pré-planejamento da ferramenta definia que o molde fosse de duas cavidades, daí podemos estimar o peso do tiro completo que se compõe de 2 vezes o peso da peça mais o peso do canal, peso do bico de injeção e peso das bolsas de ar. Sabe-se da prática que para peças de mais de 500g, o tiro completo é aproximadamente 130% do peso da peça. Teremos portanto o valor de W_g do tiro completo. $W_g = 5,45$ Kg.

4) Com o peso do tiro completo e o curso do pistão (característica da máquina) podemos escolher, diâmetro D do pistão $D = 120$ m.

5) A velocidade do pistão (característica da máquina) pode ser regulada por nos porém tem valores máximos. Uma velocidade boa e recomendada é 1500 a 1600 cm/seg.

6) Procura-se uma velocidade para o metal no canal, que esteja dentro da faixa normal (de 45 a 25 m/seg).

Toma-se o valor de $V_g = 33,5$ m/seg.

Temos agora todos os dados para o calculo da área da secção do canal. Ver os valores no ábaco que resultou $A_{g1} = 750$ cm² e $A_{g2} = 625$ cm² podemos adotar qualquer dos dois ou a média; caso esses valores se distanciem muito, devemos mudar pistão ou as velocidades do pistão, de forma a fazer com que os valores A_{g1} e A_{g2} se aproximem.

RESUMO



$$W = 1,95 \text{ Kg}$$

$$T = 1,78 \text{ mm}$$

$$K = T \times W = 3,5 \text{ K} = 3,5 \text{ Kgmm.}$$

$$t = 0,033 \text{ seg do gráfico}$$

$$W_g = 2 \times W \times 1,3 = 5,45.. W_g = 5,45 \text{ Kg.}$$

$$D = 120\text{mm da máquina}$$

$$V_p = 1500 \text{ a } 1600 \text{ cm/seg recomendado regular na máquina}$$

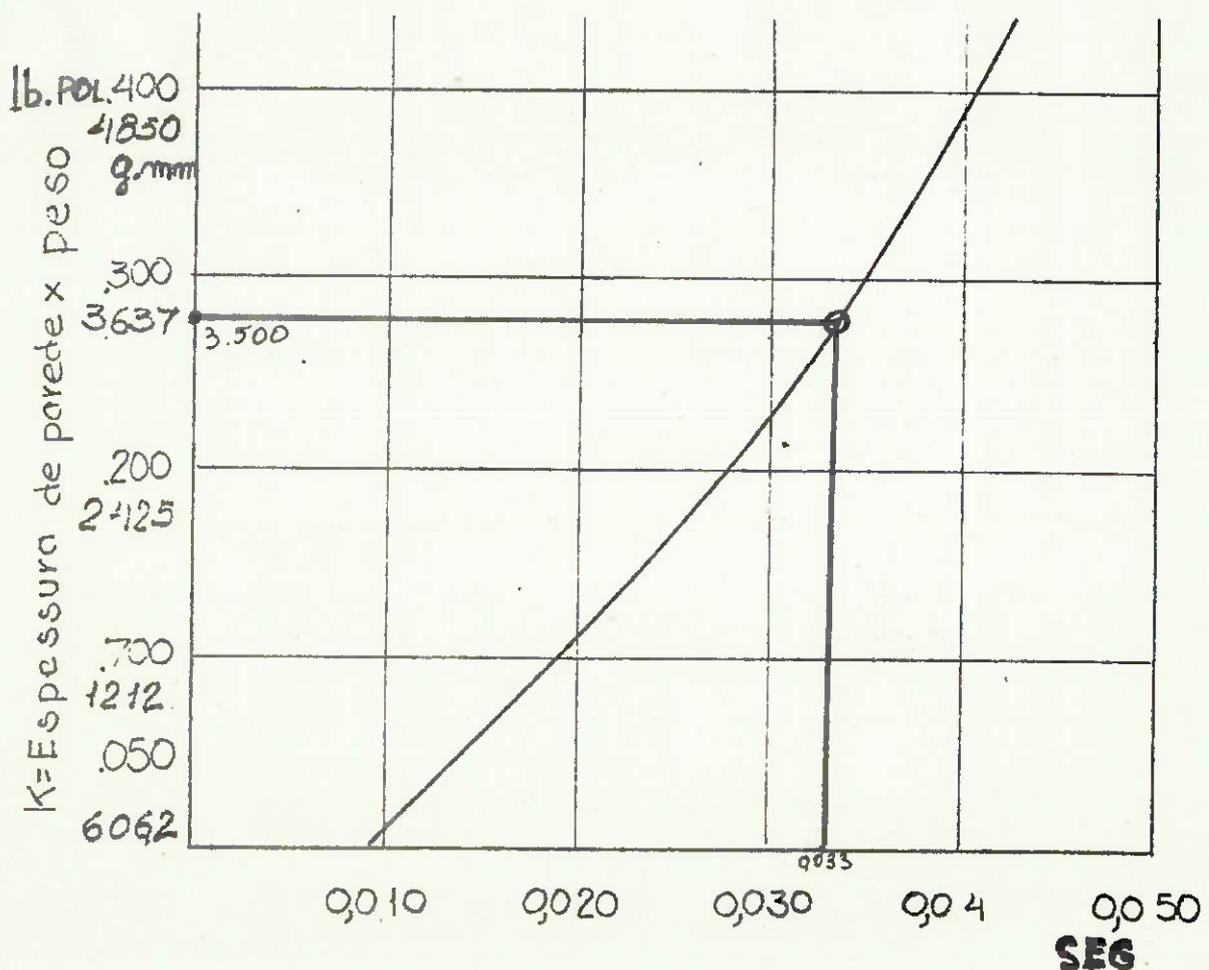
$$V_g = 33,5 \text{ dentro da faixa de } 25 \text{ a } 45 \text{ m/s}$$

$$A_{g1} = 750 \text{ cm}^2 \text{ dado pelo tempo de enchimento e peso do tiro}$$

$$A_{g2} = 625 \text{ cm}^2 \text{ dado pelo diâmetro do pistão de injeção e velocidade do pistão.}$$

Adotar o valor mais indicado entre 625 e 750cm² para a secção transversal do canal.

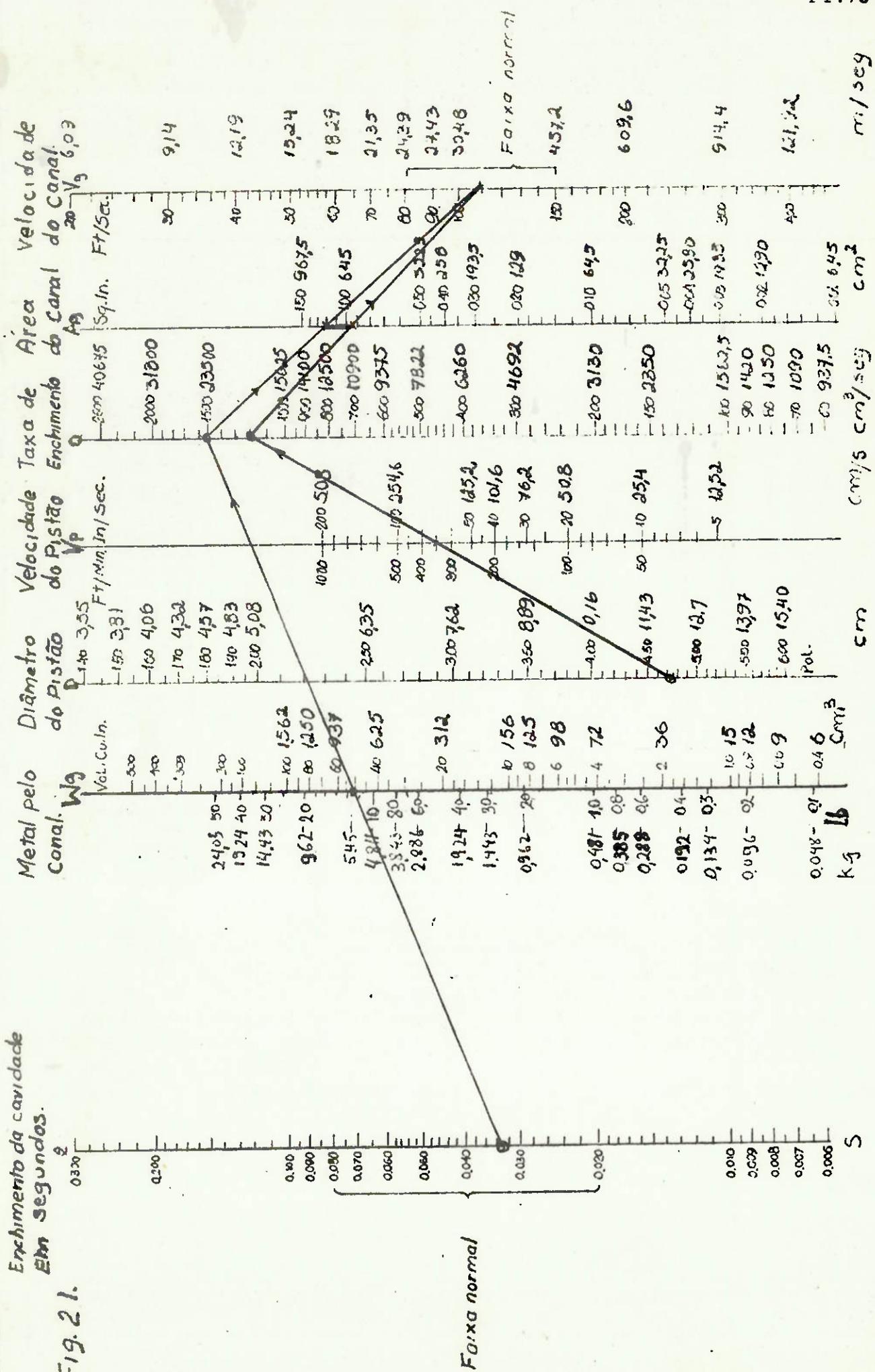
Ver figuras abaixo e página seguinte.



Tempo de enchimento da cavidade.

Enchimento da cavidade em segundos.

Fig. 21.



Faixa normal

m/sec

cm²

cm³/seg

cm

kg

lb

S

c) Sistema de Extração

Para dimensionar o sistema de extração precisamos definir:

- Esforços de extração
- Pinós extratores e contra-extratores
- Placas extratores
- Limitadores reguláveis
- Acionamento da extração
- Esforços de Extração

Ao projetar o sistema, devem-se distribuir os pinos extratores sobre a peça e fora dela, de maneira a se ter esforços de extração distribuídos uniformemente.

A peça, ao se solidificar e esfriar, sofre uma contração, abraçando os machos com um esforço, que pode ser calculado.

Para simplificar, deve-se supor um anel esfriando sobre o pino, e depois estender o cálculo para a peça (figura 25).

L = perímetro da peça (médio)

Δt = variação de temperatura

K = coeficiente de dilatação

$\Delta L = L \Delta t K$

k = coeficiente de elasticidade do material da peça para suas dimensões

T = força necessária a extração

F = força com que o anel comprime o pino

u = coeficiente de atrito pino anel

$$\Delta LK = F \quad T = \mu F$$

Esses esforços são tabelados para pinos, e estão disponíveis nos manuais das máquinas (figura 26).

O sistema de extração é composto de:

- 1) Extratores e contra-extratores
- 2) placas extratoras; placa guia e placa de encosto;
- 3) limitadores guias e buchas.

- Extratores e contra-extratores

Os extratores são um conjunto de pinos que, apoiados à peça injetada e empurrada por um cilindro hidráulico ou um apoio acionado com a abertura da máquina, extraem a peça.

Esses pinos atravessam a caixa dos blocos de gravação, indo até a peça e partindo das placas extratoras.

Os contra-extratores, porém fora da peça, funcionam para recuar a placa extratora e regular sua altura, e também servindo como guia da placa (figura 27).

O material usado é o chamado aço-prata C 0,65%, Mn / 03%, Si 0,40%, Cr 17% ou C 0,35%, Mn 0,50%, Si 0,75%, / Cr 1,25% Mo 0,20%, Al 1,25%. A forma do extrator e contra-extrator é geralmente um pino com cabeça forjada e haste retificada; deve ser tratado termicamente a dureza de 48 - 50 Rc, e nitretado.

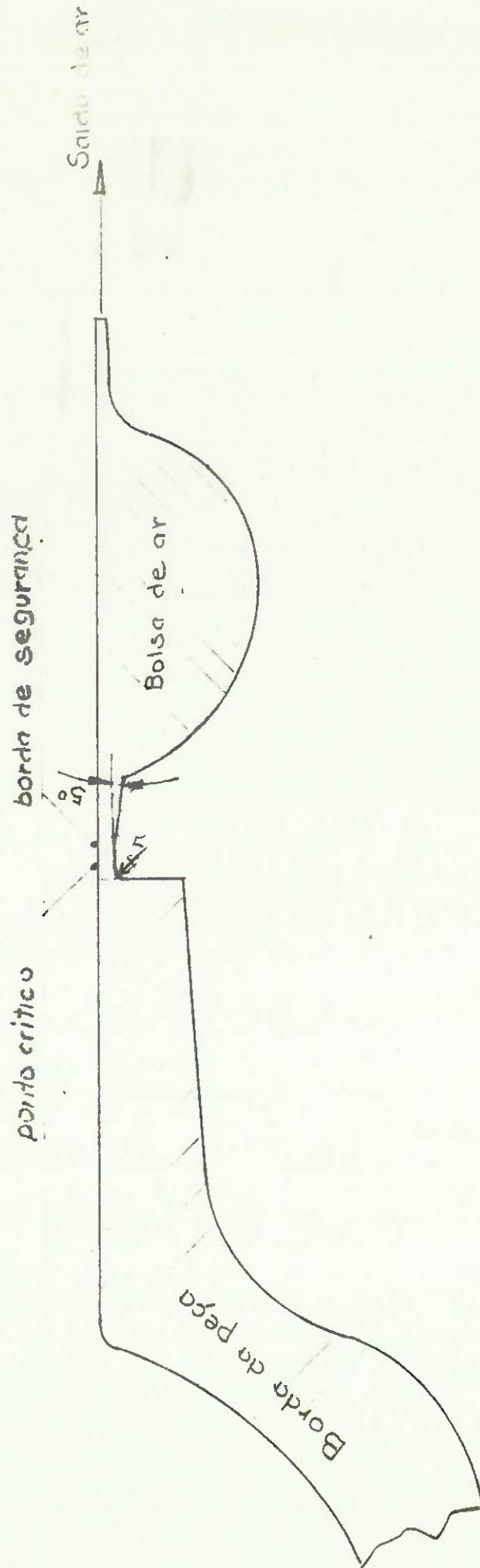
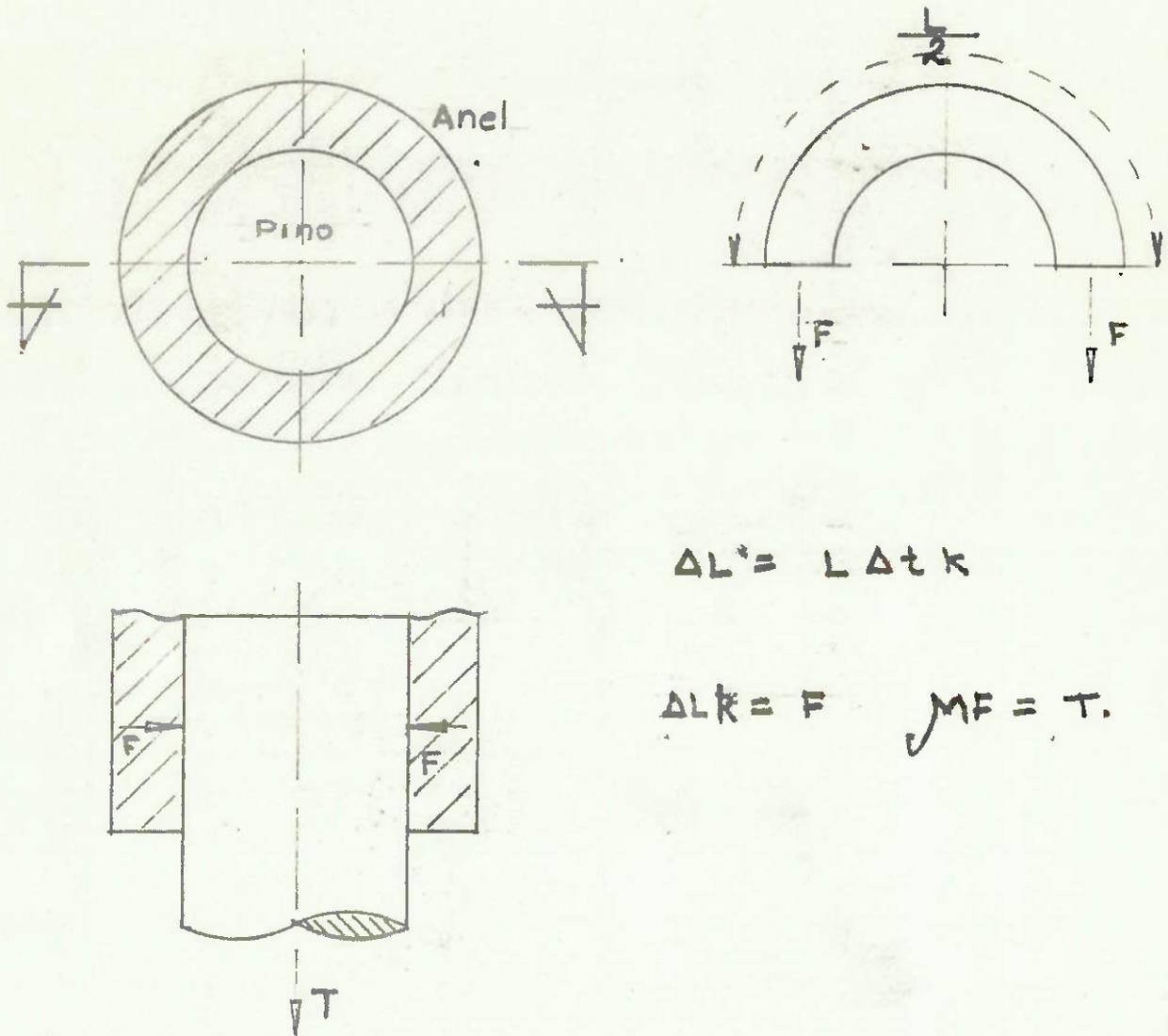


Fig. 24. Entrada de uma bolsa de ar com a respectiva saída de ar e sua borda de segurança.



$$\Delta L' = L \Delta t k$$

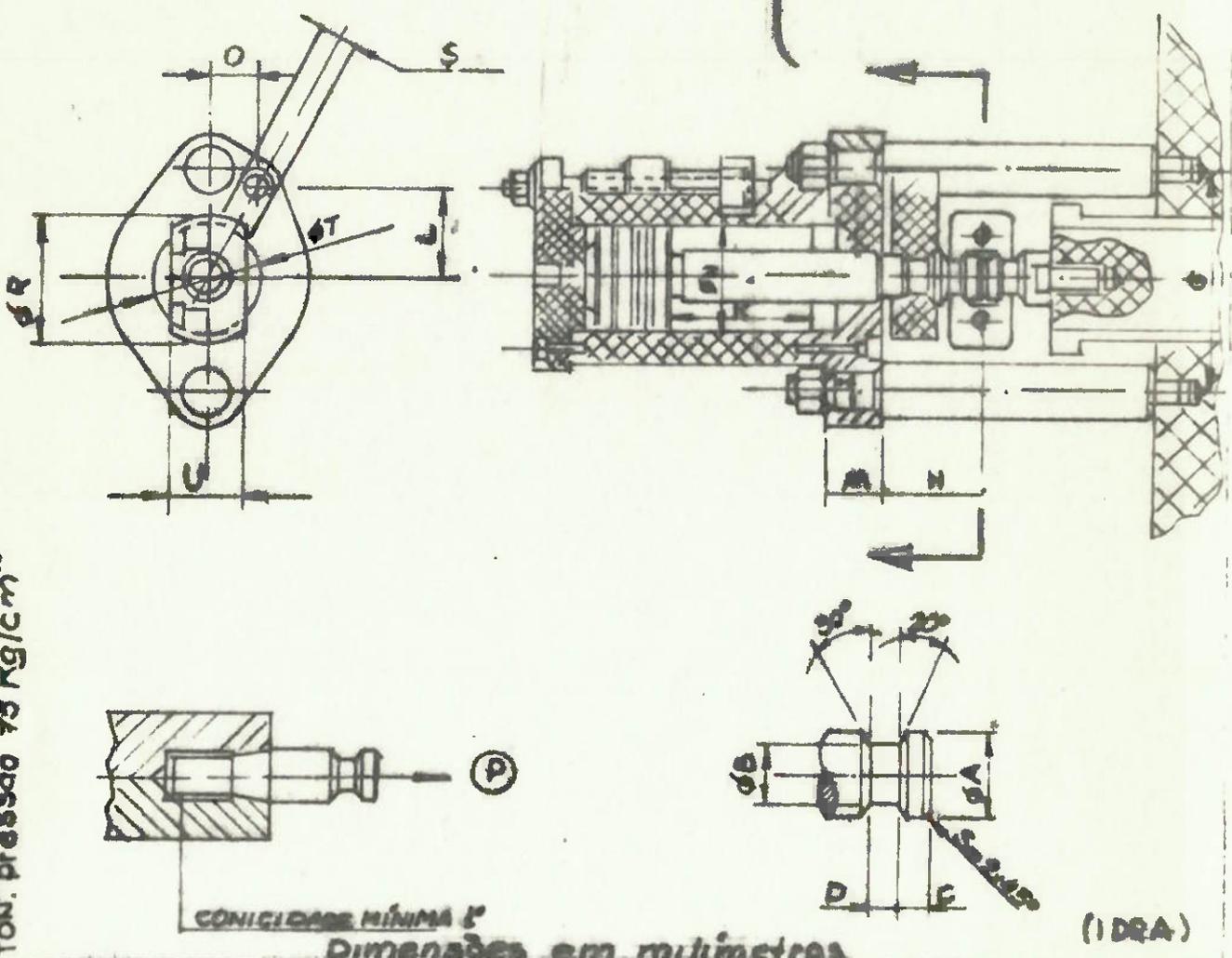
$$\Delta L k = F \quad \text{MF} = T.$$

Fig. 25. Desenho esquemático do anel que abraça o pino.

Fig. 26. Tabela de dimensões dos cilindros hidráulicos para extração radial de machos com conicidade mínima de 1° e área de contato conhecida.

cálculo da força e partes do valor P
 Força = P x área de contato

- Zamac - 50 g/cm²
- Al - 80 g/cm²
- Latão - 100 g/cm²



FORÇA
TON. pressão 75 kg/cm²

CONICIDADE MÍNIMA 1°
 Dimensões em milímetros

Tipo	A	B	C	D	F	G	H	I	L	M	N	O	R	S	T	U	CURSO	K
05	27	20	12	10	16ma	105	75	18	28	43	40	61	70	30	75	50	50	100
1	27	20	12	10	20ma	150	60	25	53,2	40	50	47	90	30	80	80	50	100 150 300
2	34	25	11,5	10	20ma	150	60	25	61	40	67	47	90	30	80	80	50	100 150 200 300
3	34	25	11,5	10	24ma	180	60	25	70	50	80	47	90	30	80	80		100 150 200 300
5	39	30	15	13	24ma	210	75	25	85	55	100	47	100	30	90	70	50	100 150 200 300
8	49	40	17	18	30ma	250	82	30	105	65	125	47	106	30	100	80		100 150 200 300
10	63	50	20		36ma	280	92	35	115	65	145	47	120	30	110	90	100	200 300 400 500
15	63	50	20	23	40m3	310	92	45	140	90	175	57	120	30	110	90		200 300 400
25	75	60	40	28	50m3	350	125	55	160	120	220	67	140	40	120	140		200 300

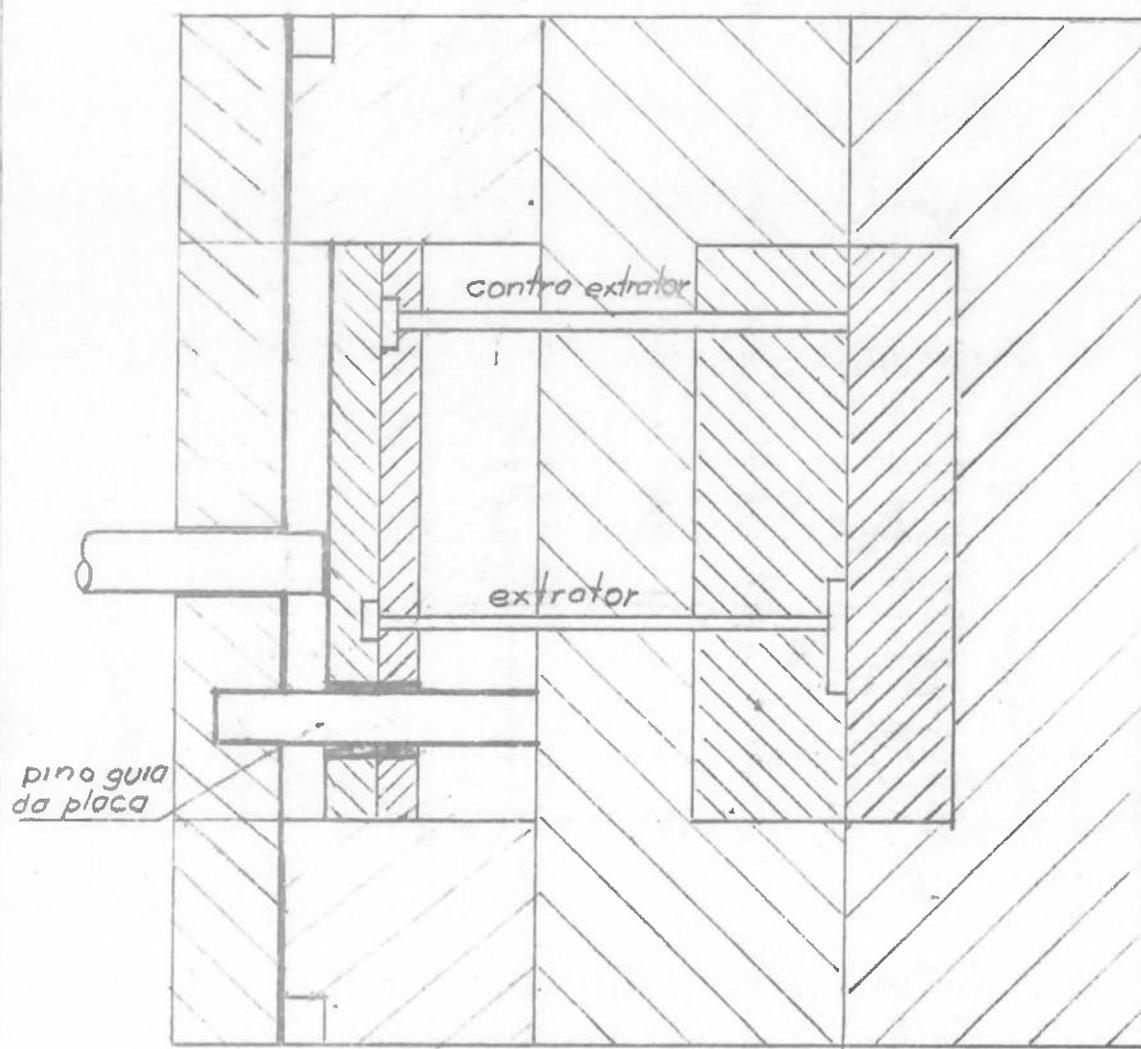


Fig.27a. Corte de um molde esquemático mostrando um extrator, um contra extrator, a placa extratora guia, a placa extratora de encosto, pino de guia das placas extratoras.

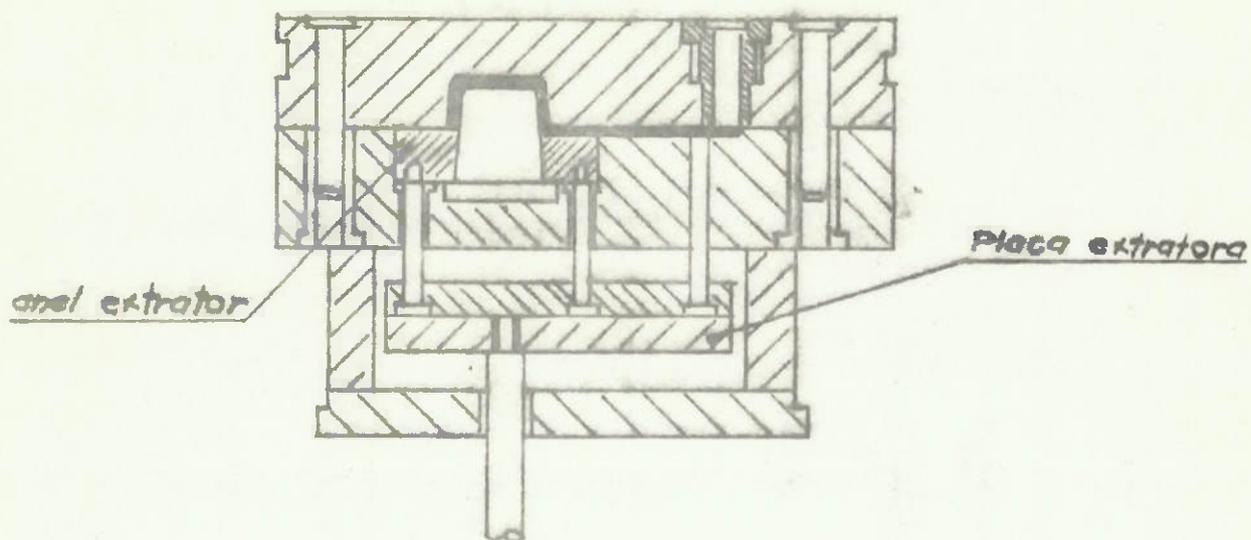


Fig.27b. Anel extrator

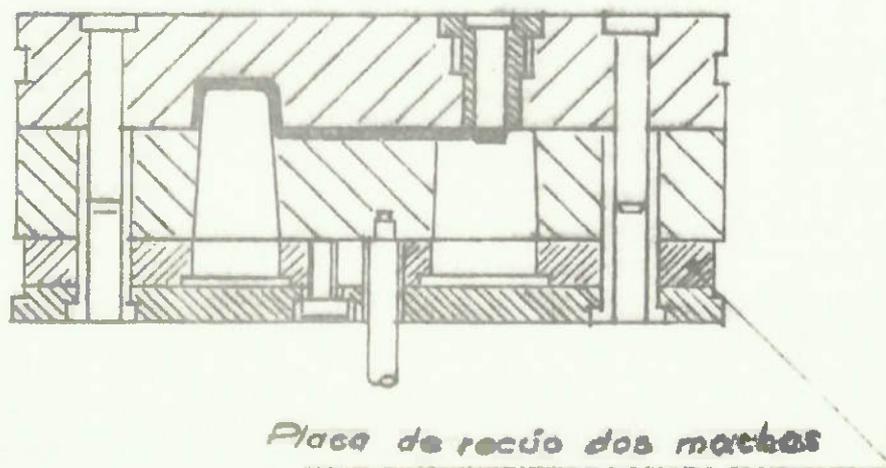


Fig.27 C. Recuo dos machos.

Quando o pino é muito fino e longo, deve-se fazê-lo escalonado, com vários diâmetros e, assim, garantir vida mais longa; deve-se evitar pinos com medidas abaixo de 5mm. O número de extratores deve ser tal que a força do cilindro extrator não possa quebrá-los, caso a peça agarre no molde. Supondo que por qualquer razão, a peça agarre no molde, (o que acontece com frequência) e a máquina tenha seu cilindro hidráulico extrator mais forte que a resistência mecânica dos pinos extratores, será ocasionada aí a avaria total de todos eles (figura 28).

(Força de extração da máquina) <<(Resistência a compressão do conjunto de extratores.)

- O uso de anel de extração em vez de pino é também muito conveniente, para peças de paredes finas. Para entendermos basta verificar a figura 27b.

- O recuo dos machos por meio de uma placa permite/ uma extração muito uniforme para peças de paredes finas. As peças são dispostas conforme a figura 27c.

- Placas extratoras

A placa de guia posiciona os pinos de acordo com a furação do molde e os guias; a placa do encosto, parafusada à placa de guia, prende os extratores; sua função é a de transmitir aos extratores o esforço de extração.

Ela deve ser dimensionada para resistir ao esforço/máximo do cilindro de extração; com isso, se evita a sua avaria, caso haja um engripamento dos extratores (muito comum) (figura / 27a).

(Força de extração da máquina) < (Resistência da placa)

- Limitadores reguláveis



Costuma-se colocar limitadores reguláveis ou fixos, para impedir que a placa encontre no molde, e assim, se possa lubrificar os extratores por trás. Isso também permitirá que se avance a placa, quando os extratores estiverem baixos.

O conjunto de extratores funciona como guia da placa, permitindo que ela avance paralelamente, mas, às vezes, a distribuição de extratores desbalanceada impede o avanço em esquadro, e aí é necessário colocar uma coluna de guia com buchas garantindo um avanço perfeito da placa. (figura 270).

- Acionamento da extração

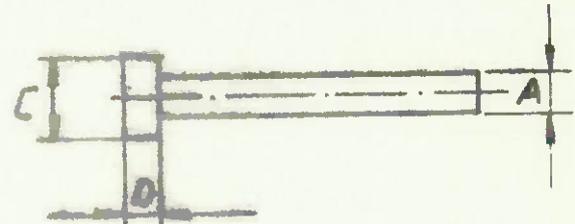
A placa extratora é acionada das formas seguintes:

Acionamento mecânico: - com o movimento de abertura da máquina, impede-se o avanço da placa extratora que está acompanhando a máquina, provocando a extração da peça.

Acionamento hidráulico: - aciona-se a placa extratora com um cilindro hidráulico.

Acionamento por cremalheira: - uma cremalheira presa à placa é acionada por uma engrenagem movimentada manualmente, (pouco usada ultimamente).

A	C	D
3φ	6φ	3
4φ	8φ	4
5φ	10φ	5
6φ	11φ	5
8φ	13φ	6,5
10φ	17,5φ	6,5
16φ	24φ	7



Furação do macho $\phi = A + H7$ com comp de 30 mm.
 Furo do corpo do molde $\phi = A + 2$
 Furo da placa extratora $\phi = A + 1$

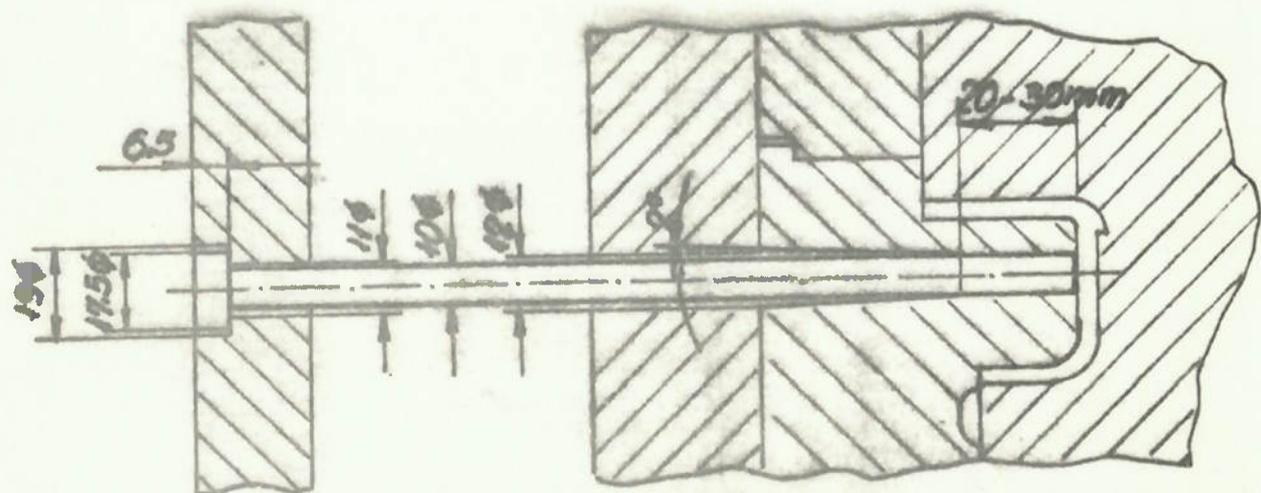
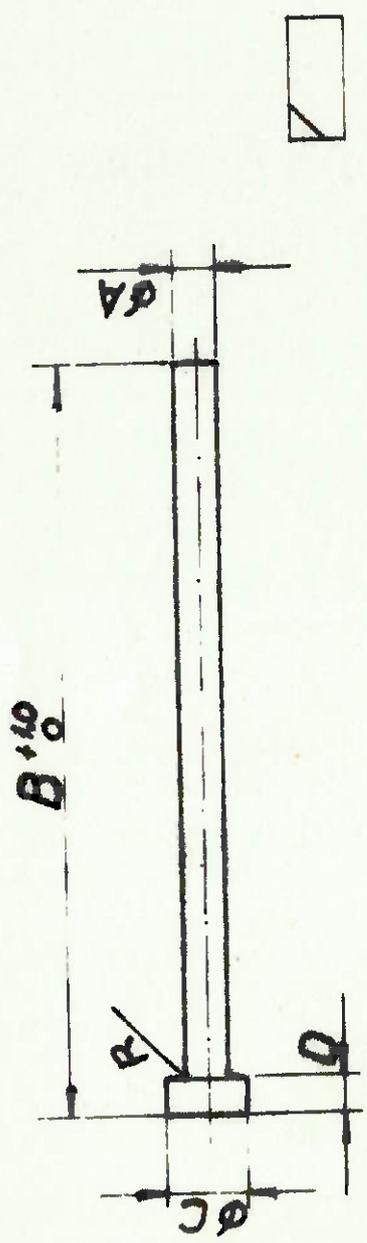


Fig. 25. Dimensões recomendadas para extrator e seu alojamento nas placas do molde. (BUNELER).

Fig. 29. Dimensões recomendadas para pinos extratores e contra extratores.



Extratores

φA	φC	φD	Comprimento B					
			150	175	200	250	300	350
φ4 -0.004 -0.012	φ8 0 -0.2	4 0 -0.05	Pos. 01	Pos. 07	Pos. 13	Pos. 19	Pos. 25	Pos. 31
φ5 -0.004 -0.012	φ10 0 -0.2	5 0 -0.05	02	08	14	20	26	32
φ6 -0.004 -0.012	φ11 0 -0.2	5 0 -0.05	03	09	15	21	27	33
φ8 -0.005 -0.014	φ13 0 -0.2	6.5 0 -0.05	04	10	16	22	28	34
φ10 -0.005 -0.014	φ17.5 0 -0.2	6.5 0 -0.05	05	11	17	23	29	35
φ12 -0.006 -0.017	φ20 0 -0.2	7 0 -0.05	06	12	18	24	30	36

Contra extratores

φ16 -0.006 -0.017	φ24 0 -0.2	7 0 -0.1	45	46	47	48	49	50
-------------------------	------------------	----------------	----	----	----	----	----	----

POS. SE REFERE A PEÇAS PADRÃO BUMELER

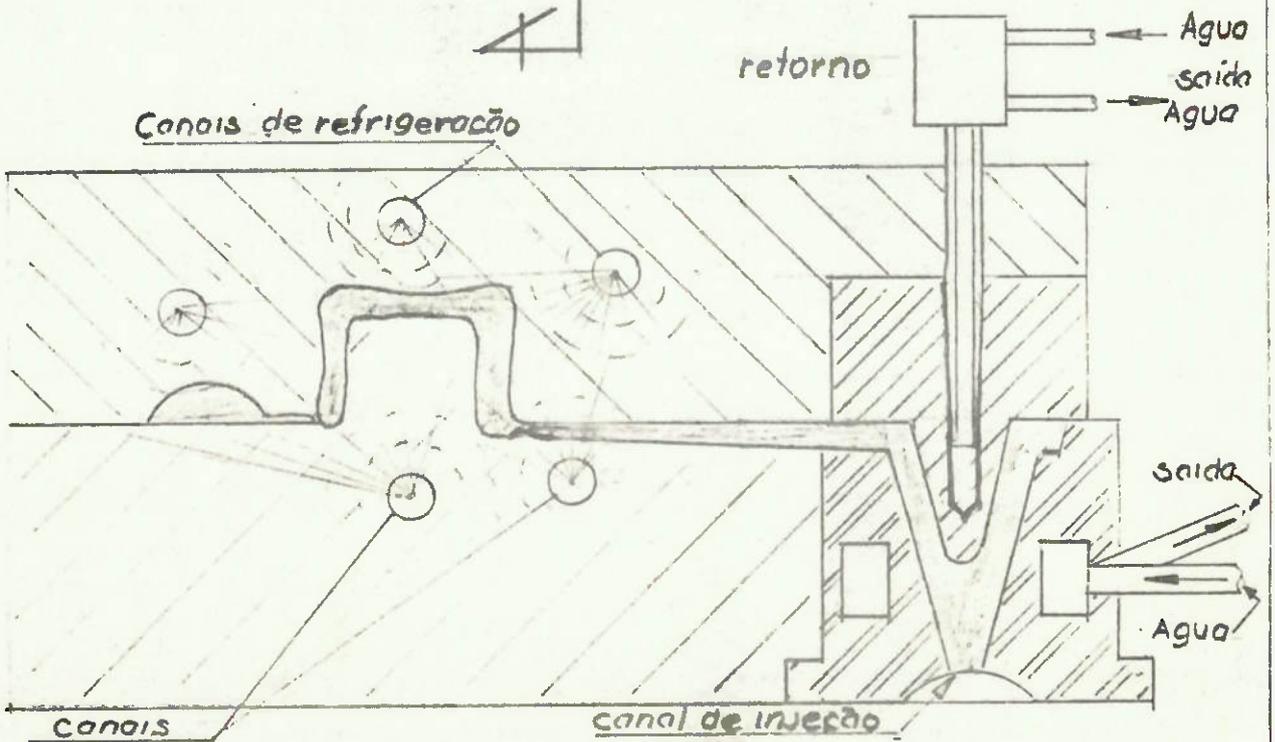
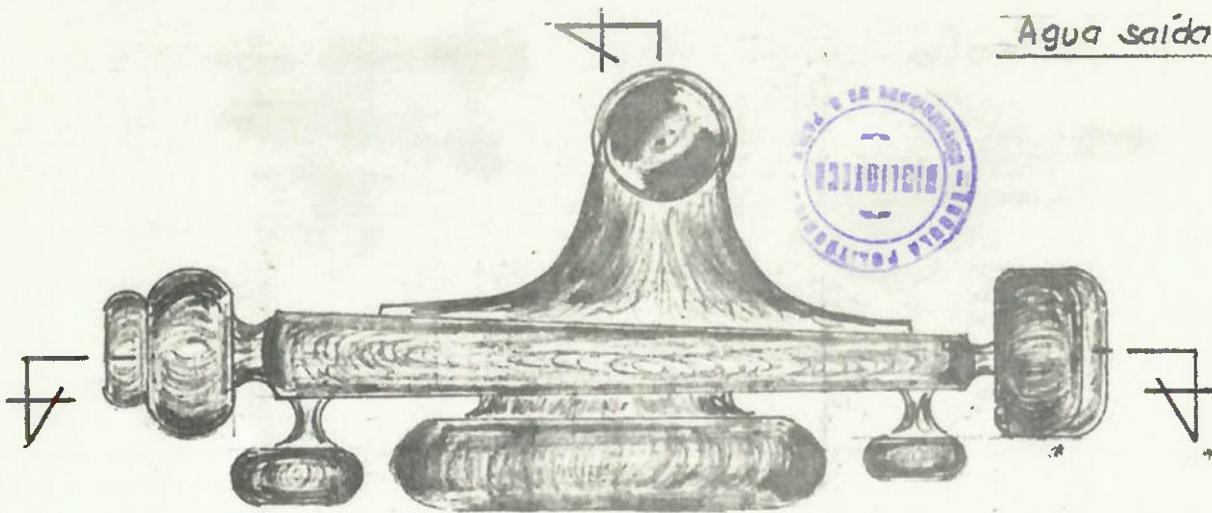
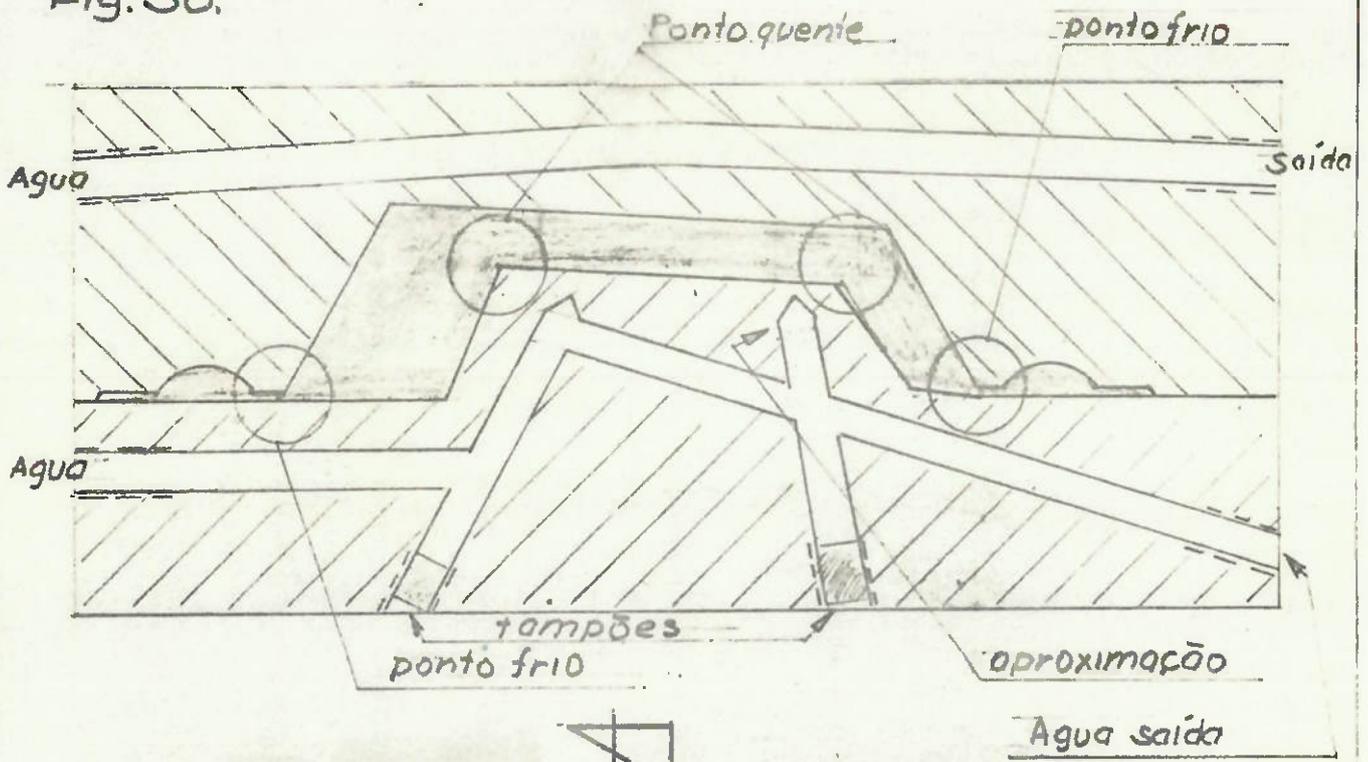
d) Sistema de Refrigeração

Para uma boa operação de fundição é necessário o contrôle de temperatura do molde. Esse contrôle é feito pelo sistema de refrigeração, pois, só se consegue produzir, com a velocidade das máquinas modernas, se o molde for convenientemente refrigerado.

Já vimos que a bucha de injeção e a espiga de contração devem ter canais para água de refrigeração; além disso o bloco de cavidades deve ser refrigerado, segundo as regras que serão expostos a seguir:

1. Deve-se abrir o maior número de furos para refrigeração no molde, mesmo que, mais tarde eles não venham a ser utilizados.
2. Os canais de refrigeração devem ser abertos de forma a retirar o calor dos pontos de concentra - ção de massa da peça fundida, que provoca falhas na peça. Ver figura 30 onde foi tomado o cuidado / de colocar a furação de água na vizinhança do ca - nal de injeção e nos ângulos internos da peça, lon - ge das extremidades onde existem pontos frios. Quan - do um ponto é inacessível à passagem de um canal, pode-se prolongar a furação para levar o refrige - rante por convexão até aquele ponto.
3. É preciso estudar a influência dos canais de for - ma a garantir que fiquem tão equidistantes quanto possível dos pontos de onde deve ser retirado

Fig. 30.



Sistema de refrigeração do molde de uma maçarjeta. Os círculos em torno do canal de refrigeração mostram o gradiente de temperatura.

calor figura 30). Para isso devem-se traçar círculos centrados no centro da furação de água. Esses círculos representam, aproximadamente, linhas isotérmicas e os vários furos devem ser alocados de forma que suas isotérmicas se encontrem na superfície da peça.

4. A tubulação de água deve ser controlada por registros de controle de agulha normal ou com termostatos na saída do molde, garantindo uma operação reprodutível, isso é:

anotando os valores ótimos para a temperatura do molde, obtidos durante as primeiras amostras, poder-se-á preparar a máquina mais rapidamente / quando da produção do próximo lote.

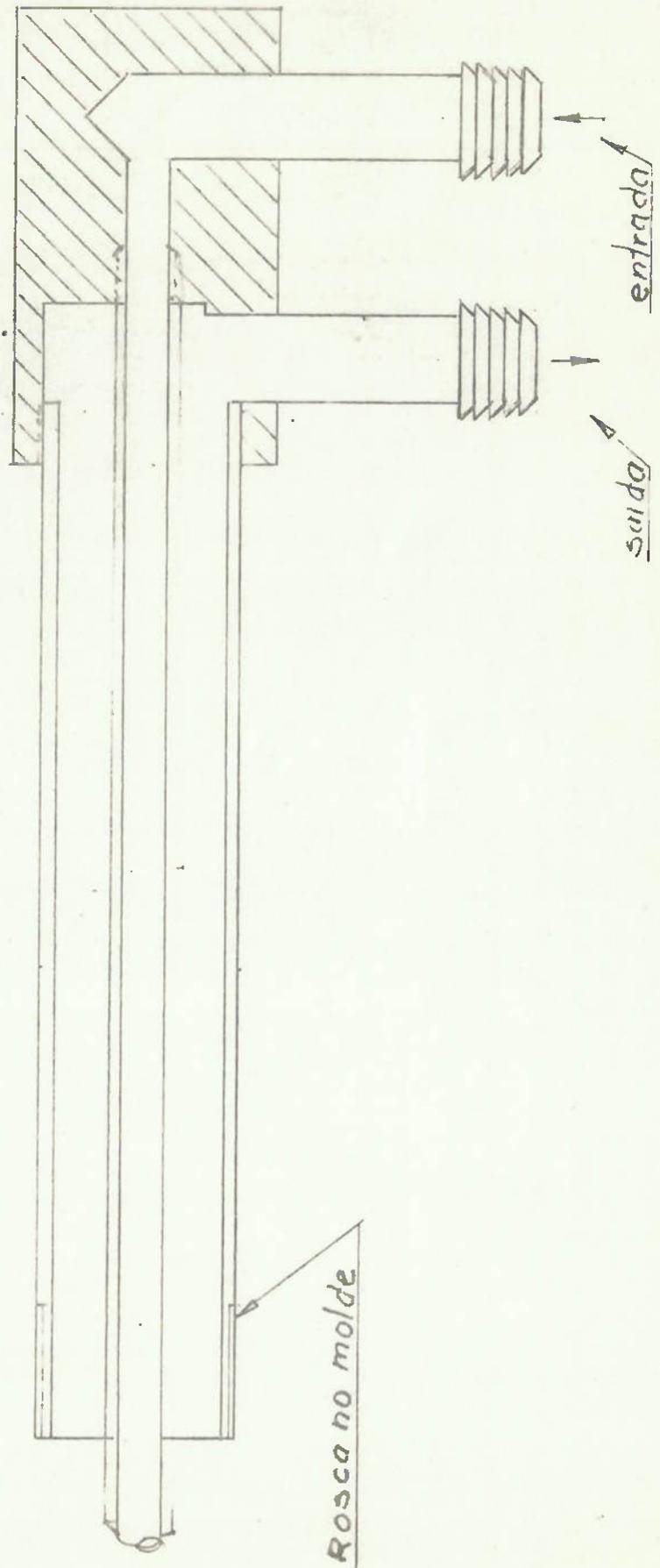
5. Deve-se evitar de colocar furos de refrigeração/ muito perto de furos de extração, porque poderá acontecer um vazamento por fissuras sempre presente, após algum tempo de operação do molde. O mesmo cuidado deve ser tomado nas vizinhanças / das cavidades do molde.

6. O projeto de ferramenta deve prever toda furação de água possível, prevenindo pontos fracos no / bloco das cavidades.

- É melhor aumentar o bloco para colocar água, que ter um molde sem refrigeração ou fraco.

Fig. 31. Sistema de refrigeração de retorno.

F1.91



7. Quando não se puder furar o molde com furos passantes, para canalizar a água, deve-se usar um dispositivo chamado "retorno" (figura 31).

O dispositivo de refrigeração "retorno" deve ser rosqueado na entrada do furo e o pequeno tubo deverá alcançar o ponto a ser refrigerado.

A refrigeração aumenta a vida do molde, principalmente em molde de fundir alumínio; a temperatura alta provoca uma deterioração na superfície da ferramenta, por meio de fissuras profundas.

e) Sistemas de Extração Radial

Os moldes se dividem em 2 tipos característicos: os simples, que tem movimentos de abertura ou fechamento, com extração simplesmente axial e os moldes providos de extração radial, além dos movimentos descritos para os moldes simples.

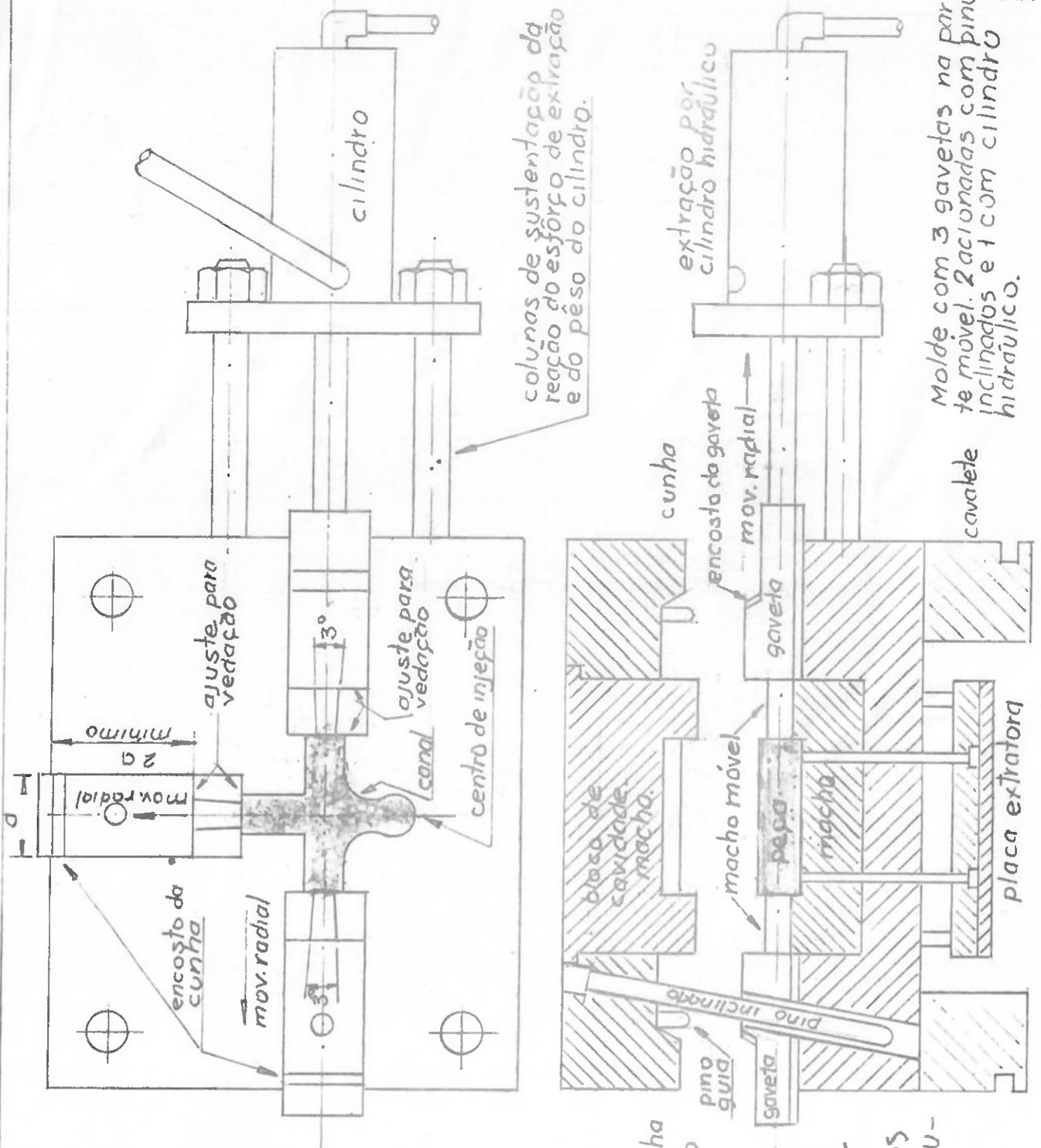
Os dispositivos de extração radial são usados para gerar furos ou formas que não podem ser obtidos com a abertura do molde num só plano (figura 32).

Os sistemas mais usados para o transporte dos machos e gavetas extraídas radialmente são: pinos inclinados e cilindros hidráulicos. (podem ser usadas outras formas, mas as mais frequentes são essas.). Chama-se macho, a parte que gera a figura na peça e gaveta o bloco que suporta o macho e é guiado na caixa ou no prolongamento desta.

Os esforços de extração devem ser calculados para dimensionar os pinos, cilindros e cunhas. Esses cálculos são feitos como anteriormente, no ítem c desse capítulo. Ponto crítico para o cálculo, é conseguir travar as gavetas fechadas; para isso, usam-se cunhas ancoradas na parte fixa e que súportam o esforço de injeção, além de completarem o transporte, eliminando a fólga entre pino e gaveta.

Quando se usa cilindro, também é conveniente usar cunhas, pois elas garantem o fechamento e impedem o recuo do macho, quando o impacto de injeção provoca um golpe de ariete muito forte, vencendo a força do cilindro.

- O sistema de Extração Radial está exposto nos tópicos seguintes:



colunas de sustentação da reação do esforço de extração e do peso do cilindro.

extração por cilindro hidráulico

Molde com 3 gavetas na parte móvel. 2 acionadas com pinos inclinados e 1 com cilindro hidráulico.

extração por pino inclinado.

Fig. 32. Corte de um molde de 3 gavetas na parte móvel. 2 acionados com pinos inclinados e uma com cilindro hidráulico.

- Machos;
- Gavetas;
- Cunhas;
- Pinos de Transporte e Cilindro hidráulico;
- Considerações.

- Machos

São presos às gavetas. Seu ajuste deve permitir uma vedação perfeita, para impedir que o metal vaze, inundando as guias das gavetas. É conveniente que o macho tenha um ângulo de saída grande (39° no mínimo), para facilitar a extração (figura 32, exemplo mostrado na figura é uma das muitas soluções possíveis para o ajuste das gavetas. A vedação nos exemplos não no mesmo plano da peça, mas no prolongamento do macho).

- Gavetas

As gavetas devem proporcionar o transporte do macho rigorosamente no esquadro. Para isso, é necessário que seu comprimento seja pelo menos duas vezes a largura (figura 32).

O curso da gaveta deve ser tão grande que permite a limpeza perfeita do encosto da gaveta e do "rabo de andorinha", / garantindo seu bom funcionamento. Usa-se refrigerar as gavetas, / para evitar engripamentos provocados pela dilatação da peça pelo calor; usa-se também uma leve conicidade nas gavetas, porém com um encosto, para impedir que haja aderência da gaveta no bloco, pois o ângulo da conicidade estará abaixo do ângulo de atrito.

- Cunha de Trava de um Extrator Radial

Considere-se agora, o caso de um extrator radial conformar um dos lados da peça; o macho estará sujeito ao em puxo f igual à área do macho, multiplicada pela pressão de injeção ($f = PS$). Obviamente, esse macho tem que ser travado, para não abrir no momento da injeção; a trava usada é mostra da no desenho (figura 33).

A força F é suportada pela cunha mostrada no desê nho. Uma componente dessa força tende a deformar a cunha; de ve-se, da mesma forma, impor uma deformação máxima da cunha, para que ela resista ao esforço.

É fácil perceber que se tem uma viga rigidamente en gastada e, a favor da segurança, deve-se considerar a força concentrada na extremidade da mesma.

Pode-se dimensionar a cunha ao cisalhamento à fle xão e verificar que as dimensões encontradas são bem menores que as encontradas no dimensionamento à deformação. Sabe-se que a peça se romperá se usarmos os resultados do dimensio namento para flexão e cisalhamento, porém as guias da gaveta serão invadidas por metal líquido, provocando avaria do molde. Para evitar que o metal penetras guias, além do bom ajuste do mol de, é preciso que haja deformação da cunha de trava; para is so impõe-se no cálculo acima, uma deformação máxima de 0,05 milímetros, usando para o cálculo a pressão de pico de inje ção mostrada nos diagramas da máquina a ser usada.

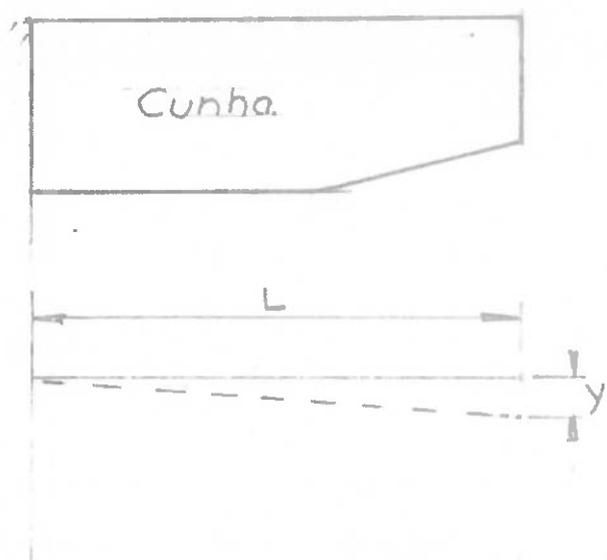
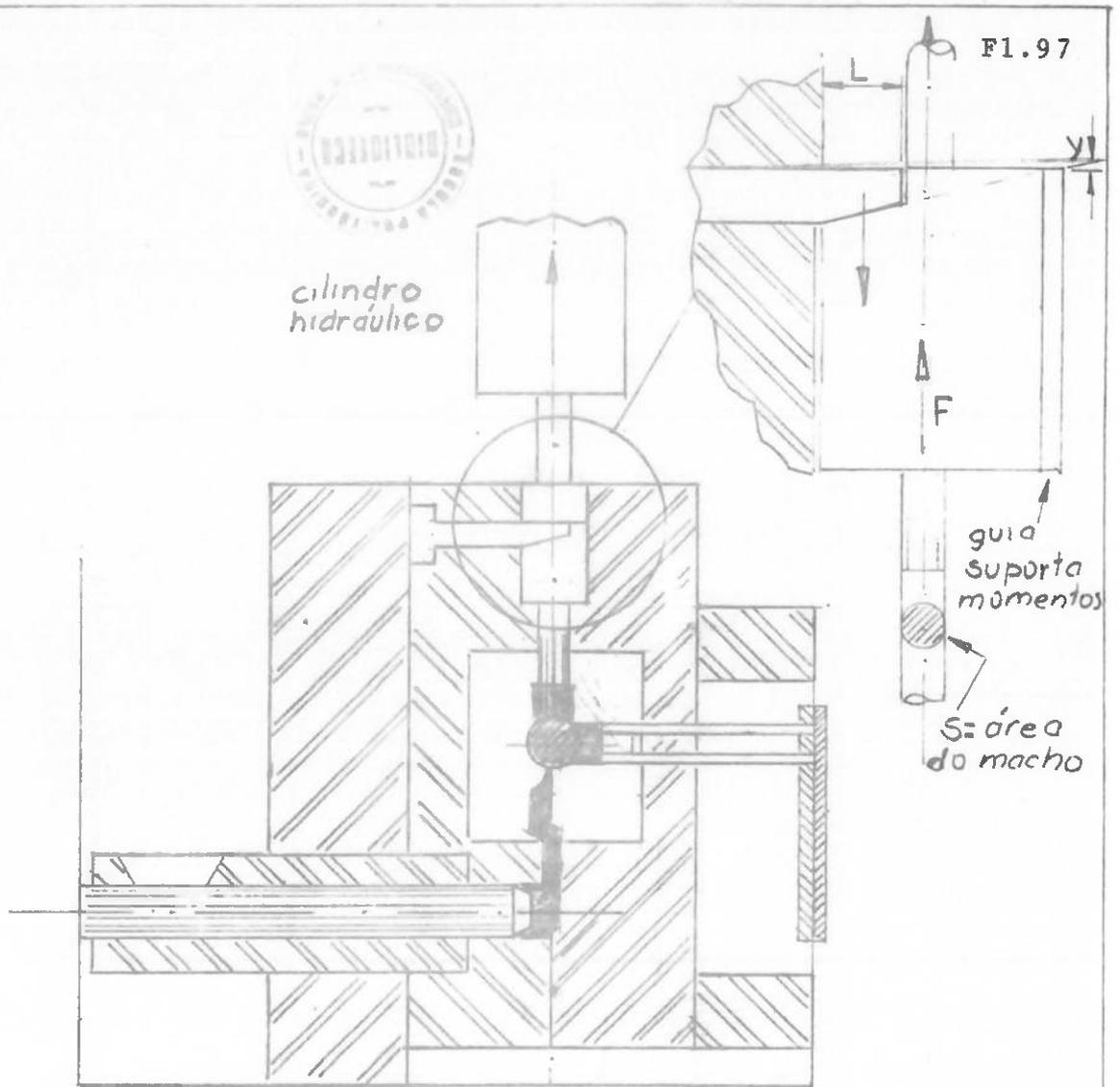
As cunhas de trava são sempre uma fonte de proble mas, quando mal dimensionadas.

O enconsto das cunhas deverá ser endurecido e de preferência postiço, para poder ser substituído, quando gasto



F1.97

cilindro hidráulico



$$y = \frac{FL^3}{3E\theta}$$

Fig.33. Detalhe da cunha da trava de uma gaveta.

- Pinos de transporte e cilindro hidráulico

Cada pino de transporte pode ser calculado como uma viga em balanço, engastada. Os pinos devem ser dimensionados à flexão e ao cisalhamento, mas é mais importante verificar a flexão, impondo deformação máxima de 2 milímetros e calculando para a condição de molde fechado. Na fórmula, L representa a distância da superfície do molde até o centro de resistência à extração do macho (figura 34).

O ângulo do pino de transporte não pode ser maior que 189° . Para trabalhar bem, devemos deixar um jogo no ajuste entre pino e o furo da gaveta.

O ângulo da cunha deve ser levemente diferente do ângulo do pino de transporte: 2 ou 3 graus menos.

O cilindro hidráulico deve ser suficiente para extrair o macho, deixando a cunha garantir o fechamento, quando a gaveta for na parte móvel. Caso contrário, deve-se usar um cilindro que suporte todos os esforços de injeção, pois as gavetas colocadas na parte fixa não podem usar cunhas.

Para sustentar o cilindro, são necessárias colunas que, além de suportarem a resistência de extração, sustentam o peso do cilindro hidráulico, que fica em balanço (figura 32).

Os suportes e colunas de ligação do cilindro com a gaveta e moldes devem ser compatíveis com a força do cilindro.

Obviamente, a extração radial, com transporte por pinos inclinados, só pode ser usada quando a gaveta é na parte móvel.

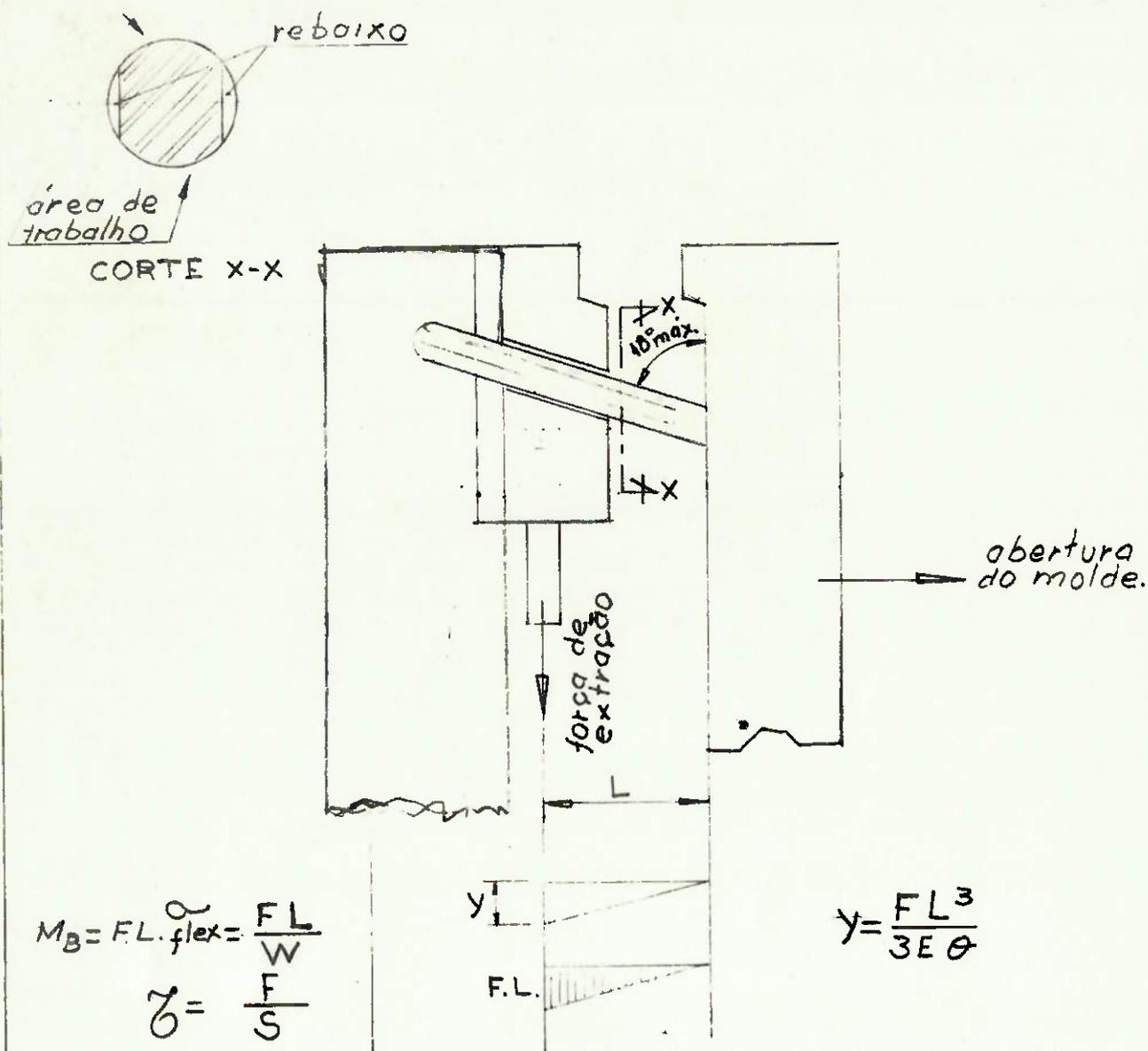


Fig.34. Detalhe de uma gaveta acionada com pino inclinado de transporte mostrando os diagramas de carga simplificados para seu cálculo.

f) Bloco de Gravação das Cavidades

Para o projeto dos blocos onde serão gravadas as cavidades, é preciso definir algumas das dimensões que dependem essencialmente do tamanho da peça a ser fabricada, dimensões essas que serão verificadas, quanto a sua resistência aos esforços atuantes. Além das dimensões prévias dos blocos serão definidos os parâmetros seguintes:

- Linha de fechamento;
- Dimensões prévias dos blocos;
- Ângulos de saída e conicidade;
- Contração prevista para a peça;
- Tolerância da peça;
- Centro de gravidade;
- Equilíbrio dos esforços radiais;
- Verificação das dimensões do bloco;
- Fabricação dos blocos de cavidades.

- Linha de Fechamento

Linha de fechamento ou linha de partição da ferramenta ("Part-Line" dos americanos) é a linha definida pelo encontro da parte fixa e parte móvel do molde.

A definição dessa linha depende essencialmente da forma da peça a ser fundida e, se o projetista da peça não levou em conta a sua existência na peça fundida, grandes dificuldades se apresentarão para o projeto do molde.

Uma peça simples como um copo, terá uma linha reta de divisão e a superfície do molde será plana, com exceção da cavidade na parte fixa do molde e do macho na parte móvel do molde. Uma peça com um perfil cheio de irregularidades produzirá uma linha de fechamento irregular; a superfície do molde será composta de vários planos, com curvas de concordância de plano para plano, devendo, obviamente, ser cuidadosamente ajustadas as partes fixa e móvel do molde.

Estabelecer uma linha de fechamento que reproduza todas as singularidades da peça e proporcione uma operação de fundição econômica, é uma arte e o sucesso da ferramenta dependerá muito dessa definição. A maioria dos livros de Fundição Sob Pressão trazem inúmeros exemplos; aqui serão mostrados apenas detalhes que possam ser generalizados, lembrando que cada peça é um problema especial, onde cabe a pergunta - "Onde foi prevista pelo projetista da peça a linha de fechamento?".

Examinemos uma solução adotada para uma peça tipo copo com uma aleta interna e com um furo central (figura 35).

Pode-se notar que a aleta interna da peça complicity a linha de fechamento do molde, que se não fosse por ela, teria uma linha de fechamento em um único plano e o macho que gera o furo central seria cilíndrico, colocado numa das partes, em vez de bipartido e colocado metade em cada lado.

Outro exemplo pode ser visto na figura 36, onde uma janela lateral pode ser obtida com um artifício da linha de fechamento.

Também relacionadas com a linha de fechamento, cuidados podem ser tomados na obtenção de detalhes do tipo mostrado na figura 37.

Fig.35. Detalhe da linha de fechamento de um molde.

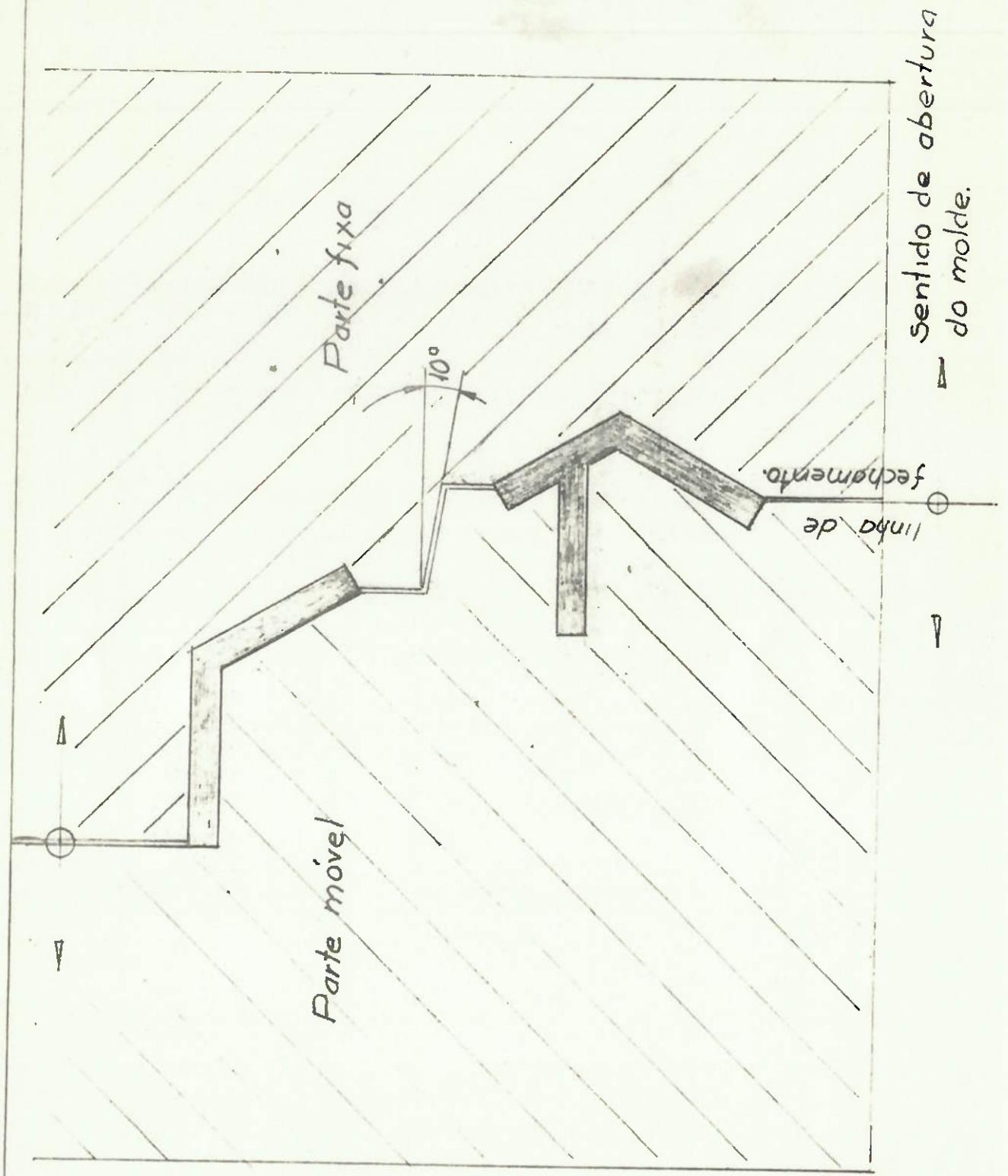


Fig. 36.

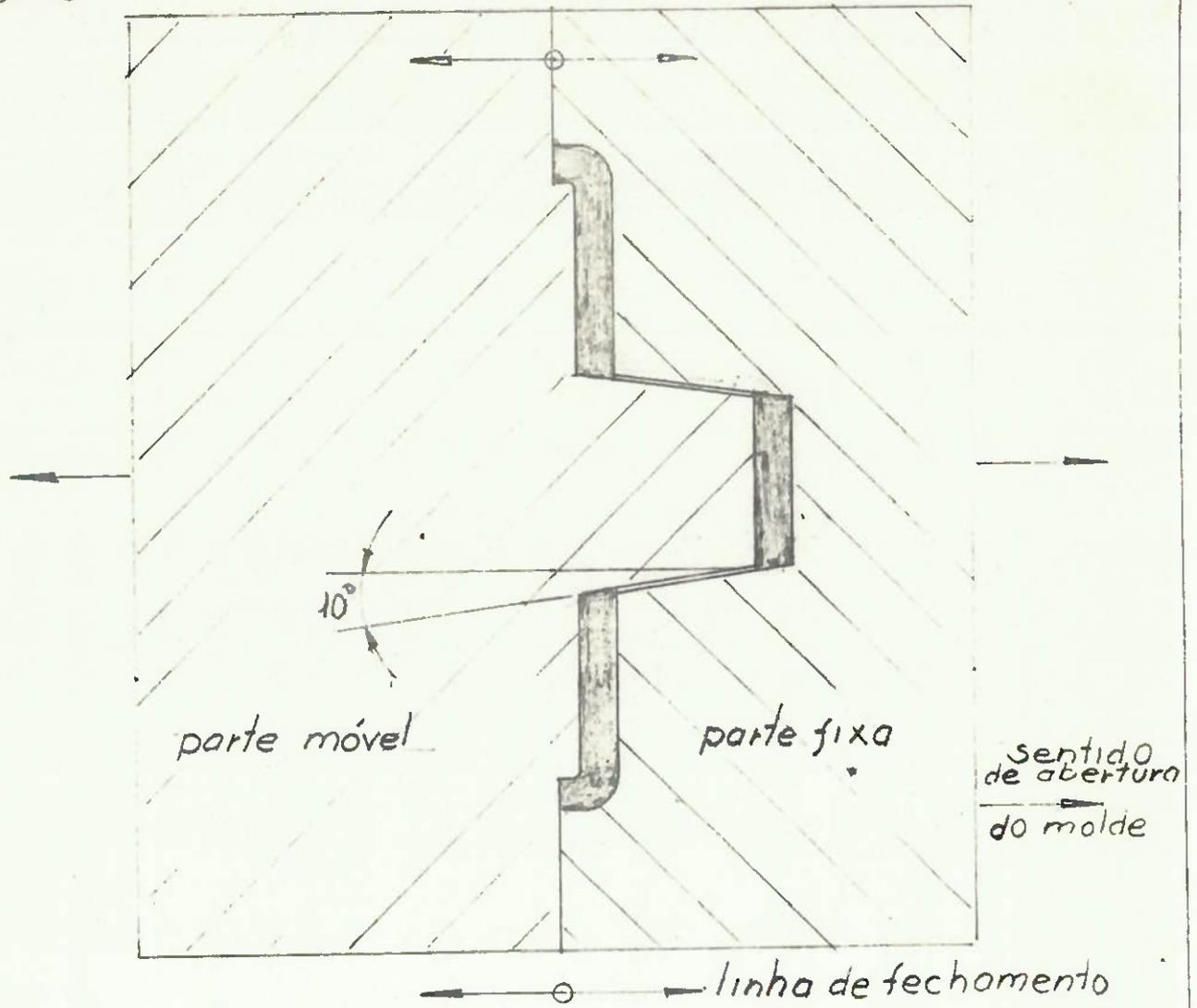
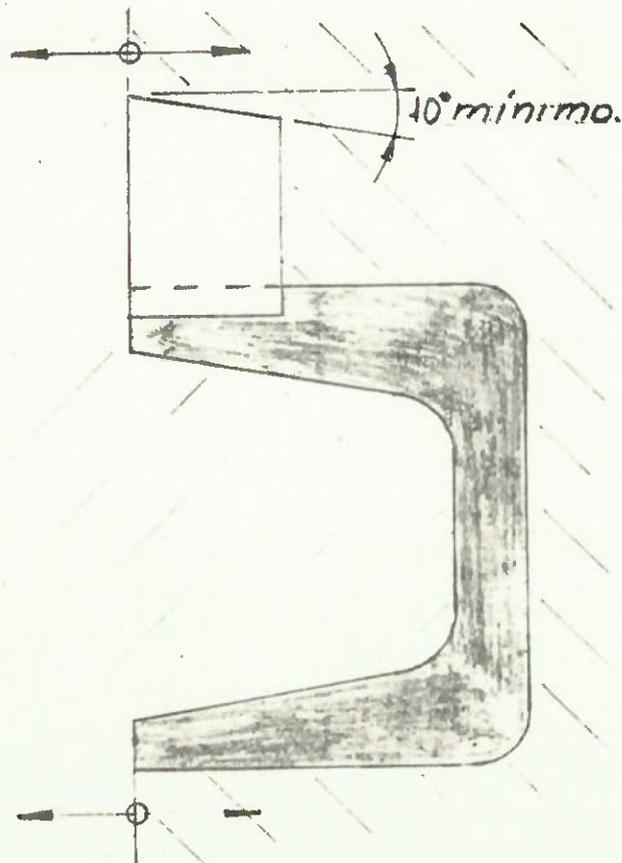


Fig. 37.



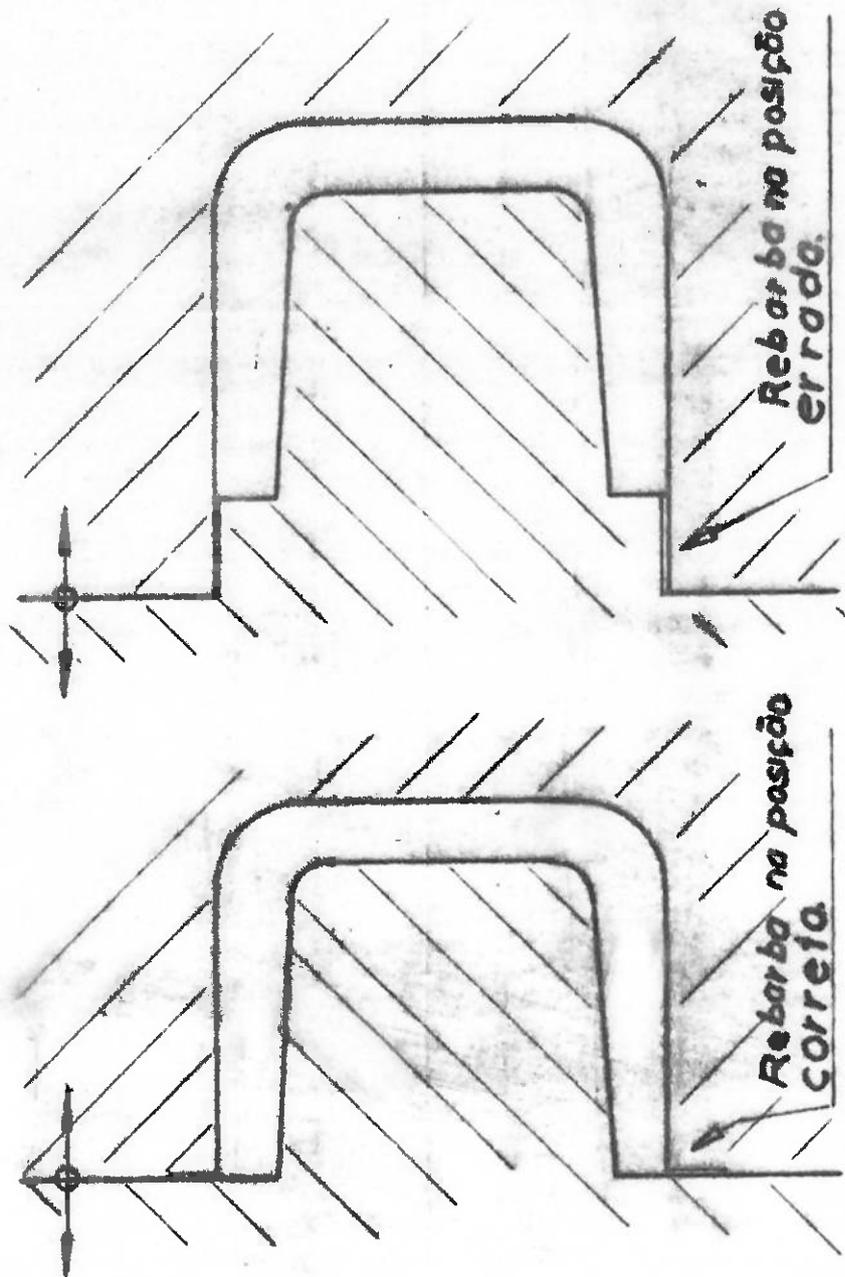


Fig. 38. Duas linhas de fechamento para a mesma peça.

A tendência seria colocar a linha de fechamento on de aparece o pontilhado, em vez de deixar um bloco maior, que garante uma vida mais longa para o molde.

Aparecem na figura 37 alguns detalhes de fechamento de moldes com machos se tocando na direção da abertura da ferramenta. Nesses casos, deve-se construir o fechamento com uma inclinação maior que 10° , se possível.

Os vários planos da linha de fechamento devem ser prolongados pela caixa do molde, evitando cantos ou descontinuidades que reterão rebarbas, dificultando a limpeza.

A linha de fechamento deve ser colocada de tal forma, que facilite a rebarbação da peça e, quando possível, em lugares que serão usinados na peça, ou ainda nas quinas. Leve-se em conta, que a peça será rebarbada com ferramenta de corte e para isso, deve-se prever uma rebarba perpendicular, ou próxima da perpendicular, à parede da peça; uma rebarba paralela à parede da peça, não dá para ser cortada com estampo de corte (figura 38).

- Dimensões Prévias do Molde

Chamado pelos americanos de "Lay-Out", é o primeiro estudo e, para fazê-lo, precisamos saber qual a linha de fechamento do molde, qual a máquina que vai fundir, que pres são será usada, etc.

Tomando o desenho da peça com a vista da área frontal deve-se estabelecer uma distância mínima da borda da peça até a borda do molde. Essa distância mínima vai garantir que o metal líquido não vaze pelo fechamento da ferramenta, e tem que garantir uma vedação perfeita, quando o molde estiver fechado.

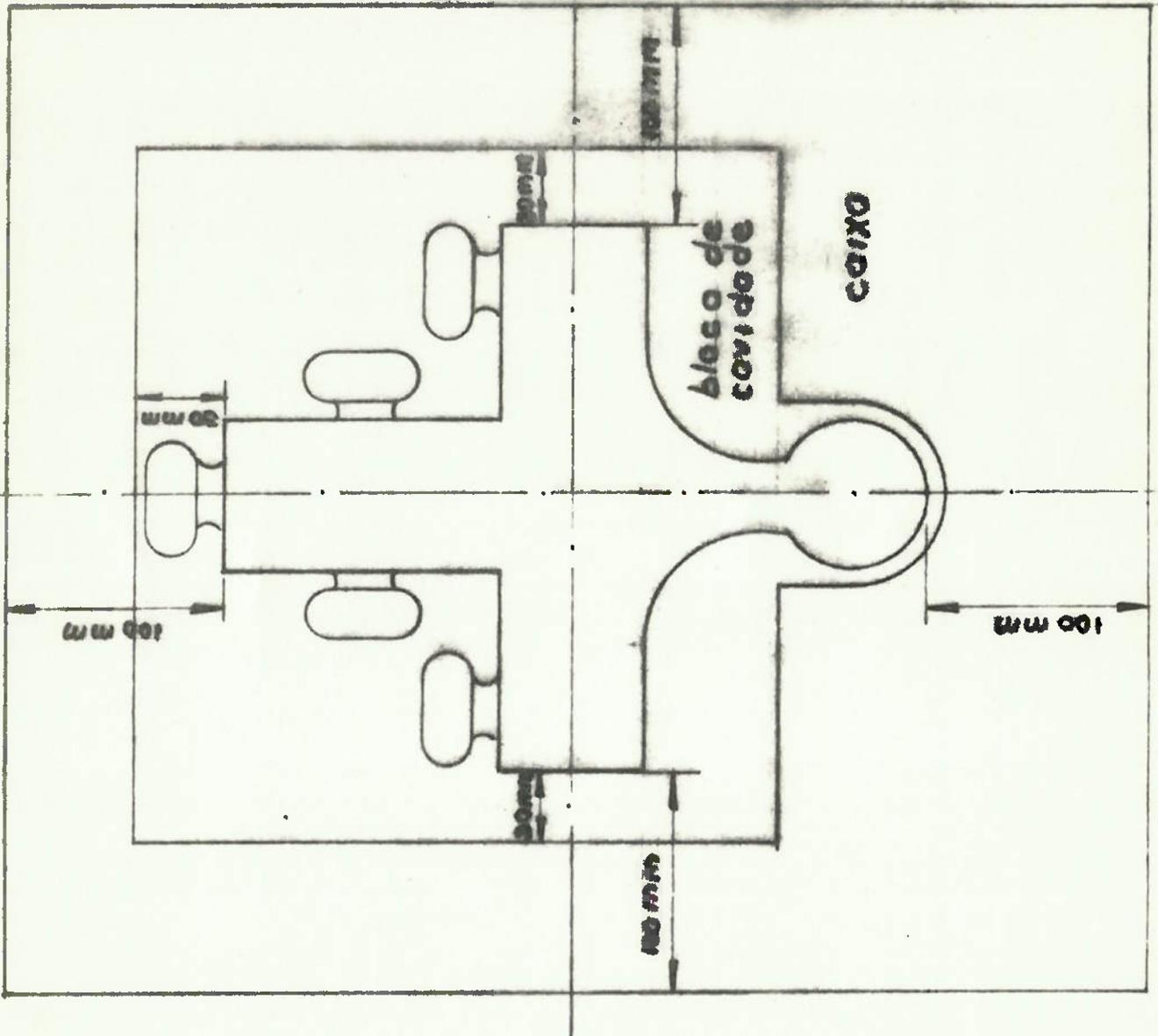


Fig.39 Áreas de vedação recomendadas para um molde.

A distância mínima deve ser da ordem de 100 milímetros, nas máquinas de câmara fria (figura 39), sendo que 70 mm, no mínimo, devem ser cobertos pela caixa.

Frequentemente tem-se peças com pontas e, para economizar, surge a tentação de deixar uma superfície de vedação mais estreita; se for feito isso, surgirão problemas; apesar de qualquer cuidado especial que se possa tomar, o metal líquido irá espirrar.

Ao definir o tamanho da caixa e bloco de cavidades, não se deve esquecer que a distância recomendada deve ser a partir das bolsas de ar.

Para as máquinas de câmara quente, que trabalham com pressões menores, pode-se usar a distância da borda da peça à borda do molde, de 60 milímetros nas peças pequenas, e de 80 a 100 milímetros nas peças maiores.

Não se deve esquecer que os blocos têm que ser dimensionados, para resistir aos esforços de trabalho.

- Ângulos de Saída e Conicidades

Basicamente, pode-se dizer que a condição ideal é ter 1,5º de inclinação de saída para garantir uma boa operação de fundição - em Zamac pode-se arriscar 1º de inclinação de saída, mas no Alumínio, surgirão problemas, se for adotada uma saída menor que 1,5 graus.

Os problemas mais comuns que aparecem, quando a inclinação de um macho é menor que a especificada são:

- deformação da peça na extração;
- quebra de extratores do molde;
- agarramento do metal da peça na parede do molde, com formação de riscos ou marcas na peça. É muito conveniente observar as normas técnicas de fundição sob pressão.

Normas para projeto de peças fundidas sob pressão são publicadas pela S.D.C.E. (Standar Die Costang Engenai - rem) como também normas italianas de fundição sob pressão/ podem ser encontradas.

- Contração Prevista para a Peça

Pode-se prever que uma peça de Zamac vá sofrer / uma contração de 0,5% (meio por cento) de sua dimensão. A chamada contração não é devida somente à contração da peça; a rigor, esses 0,5% representam a modificação da medida que devemos fazer, para construir o molde, ou melhor: o molde vai ser construído frio; em trabalho, ele se aquece, dilatando-se; a peça é fundida sobre o molde dilatado, e depois se esfria, contraindo-se. Após a extração da peça do molde ela ainda continua se contraindo, até que fique na temperatura ambiente.

Para algumas dimensões que resultam da forma intrincada de uma peça, não é possível prever a medida final, e só após a amostra, constata-se o erro e por aproximações/sucessivas, com correções, chega-se à dimensão desejada.

Para alumínio, a modificação das medidas usadas é de 0,6 por cento. Usam-se também ábacos, para se determinar as medidas finais do molde.

O tempo de extração pode influir na dimensão da peça, pois dependendo das suas características, ao se contrair sobre o molde antes da extração, a peça pode se deformar plasticamente. Quando isso acontece, tem-se que controlar o tempo de extração e a refrigeração do molde, de maneira a se ter a dimensão desejada.

- Tolerância da Peça

As tolerâncias que podem ser obtidas no processo, podem ser verificadas nas normas da F.S.P, porém, é possível influir na solução adotada para o projeto e conseguir resultados / melhores que os previstos na norma. Para isso, escolhe-se a linha de fechamento de maneira que nenhuma dimensão de tolerância/apertada esteja vinculada ao fechamento da máquina e após as primeiras amostras, o molde será corrigido, e assim atinge-se uma tolerância de processo bastante justa.

A tolerância depende da dimensão e, naturalmente, quanto maior a dimensão mais larga é a tolerância (costuma-se adotar para tolerância geral, 0,25 milímetros).

- Centro de Gravidade

Para uma peça simétrica, o centro de gravidade coincide com o centro geométrico da peça, porém uma peça de forma assimétrica, exige que calculemos o centro de gravidade na direção do fechamento do molde, para que possamos reforçar convenientemente a estrutura do mesmo.

Os esforços de extração também podem se localizar assimetricamente, e no projeto é preciso reforçar os extratores ou aumentar seu número nos pontos onde o esforço for maior; o apoio da placa de extração deverá ser aplicado no centro de gravidade dos esforços de extração dos pinos extra_{to}res.



- Equilíbrio dos Esforços Radiais

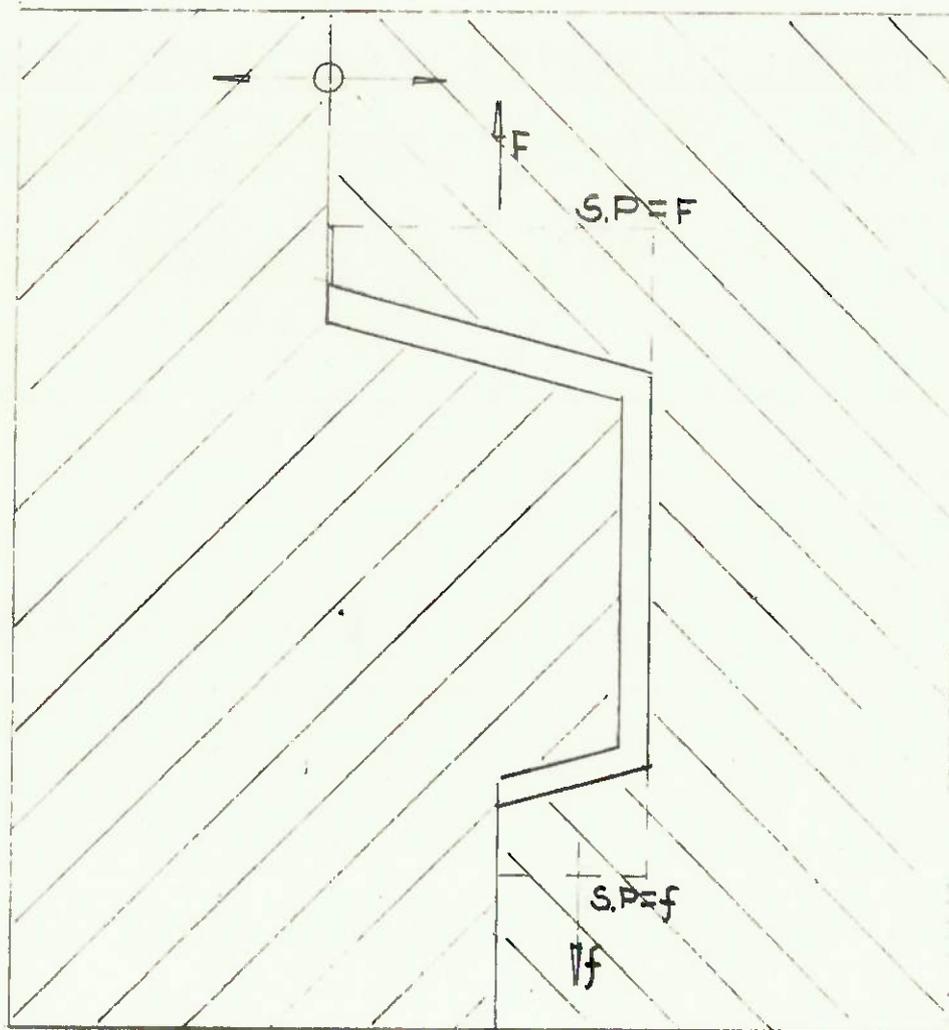
Uma peça simétrica já tem seu equilíbrio garantido. As peças assimétricas, com paredes laterais diferentes, apresentam esforços radiais a serem considerados (figura 40). Vemos que a peça com área maior de um lado, vai provocar um deslocamento do molde para um lado, ocasionando avaria dos pinos de guia e da máquina. O problema é resolvido, deslocando-se a linha de fechamento, para garantir o equilíbrio (figura 41). Adotando essa providência, o molde estará estruturado para suportar os esforços radiais. Uma solução conveniente é colocar duas peças simetricamente dispostas, garantindo o equilíbrio.

- Verificação das Dimensões do Bloco

É necessário dimensionar o ferramental de maneira que:

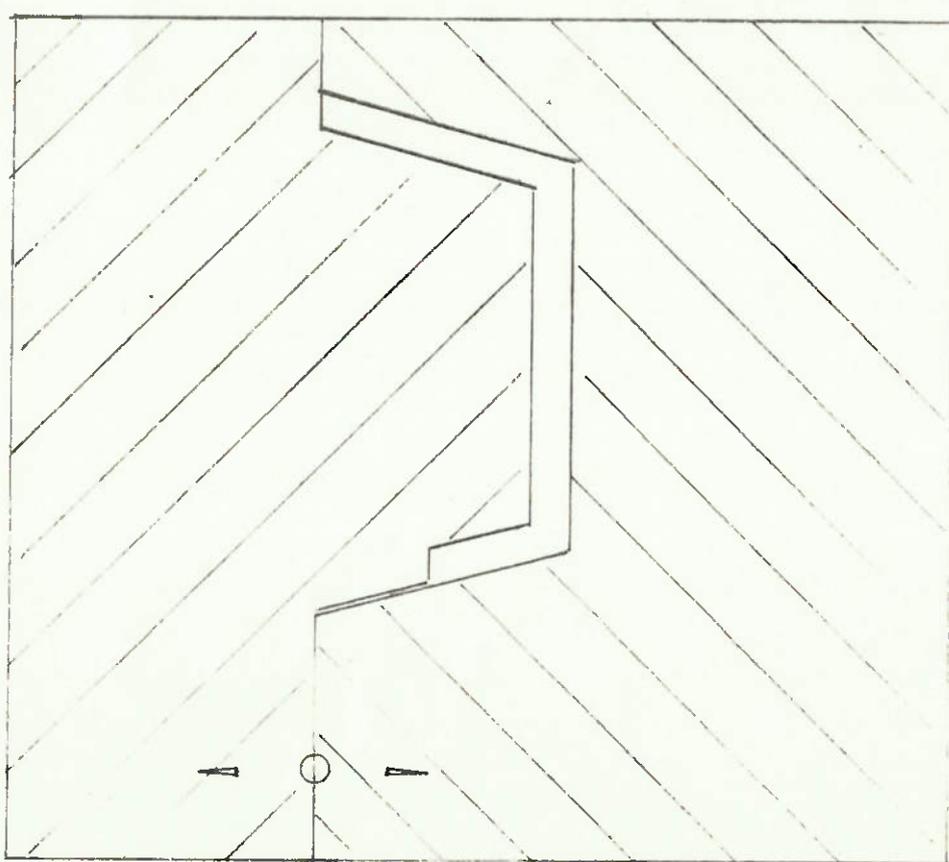
- a) A peça a ser obtida se mantenha dentro das tolerâncias especificadas;
- b) As deformações do molde não provoquem vazamento do metal injetado.

Errado.



Os esforços radiais são suportados pelos pinos de guia

Fig. 41
Certo.



Os esforços radiais são suportados pela bucha de fechamento.

No primeiro caso, deve-se consultar o desenho da peça e considerar as deformações da ferramenta, de tal forma que a peça gerada tenha as dimensões exigidas; no segundo caso, sabe-se, por experiência, que uma passagem menor que 0,1 mm, não provoca vazamento do metal líquido; portanto, para maior segurança, deve-se impor uma deflexão de 0,020mm até 0,05mm.

Segundo "Denton", podem-se considerar quatro casos:

- I) Cálculos baseados na consideração de que cada parede do molde, em contato com a cavidade, seja considerada como uma viga fixa, com carga uniformemente distribuída.
- II) Cálculos baseados na consideração de que cada parede do molde em contato com a cavidade, seja considerada como viga livremente apoiada, com carga uniformemente distribuída.
- III) Cálculos baseados na consideração da cavidade como um pórtico, com carga uniforme.
- IV) Cálculos baseados na consideração de uma viga como simplesmente apoiada.

As simplificações aqui são grandes: não se considera a pressão de fechamento da máquina e o apoio da ferramenta, porém, são simplificações a favor da segurança (figuras 43 e 42).

As fórmulas consideradas são:

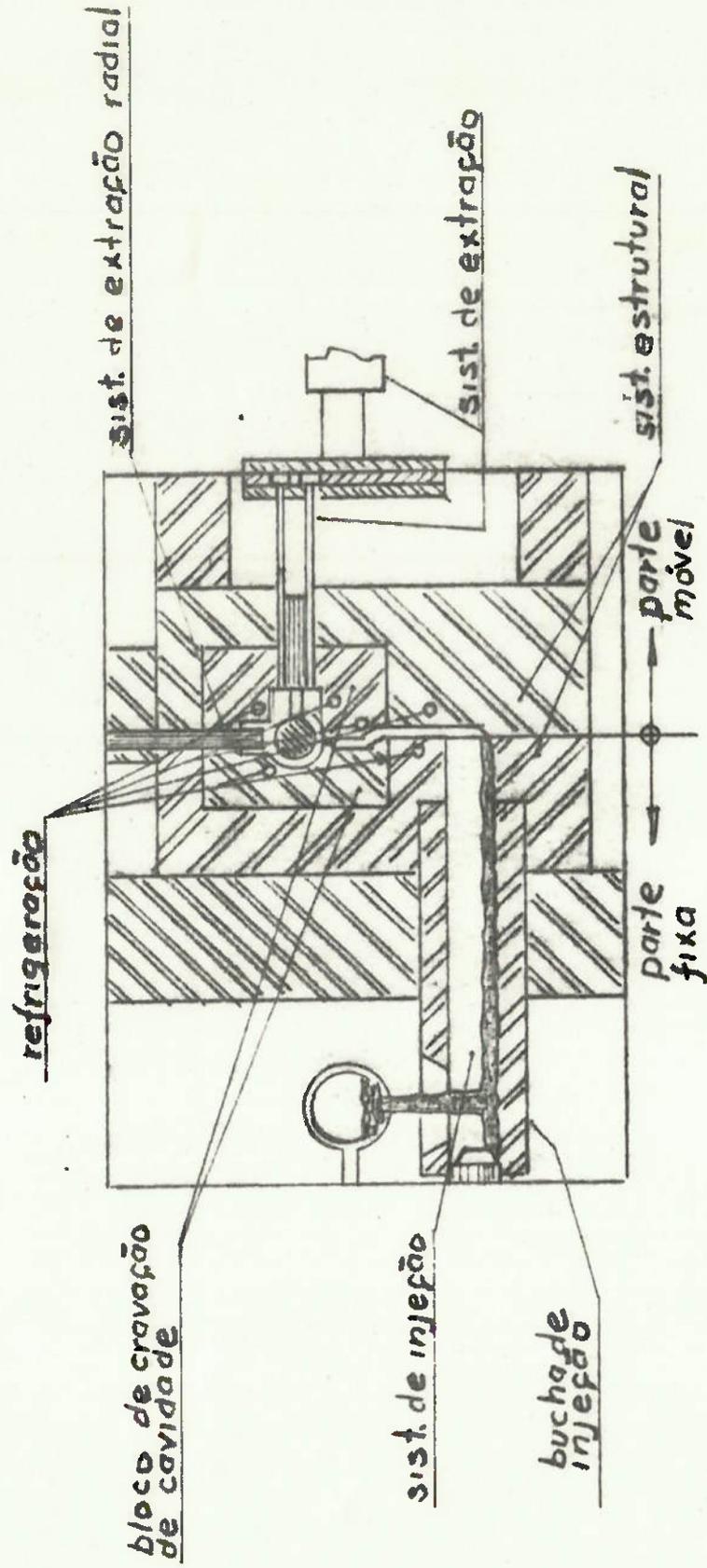


Fig. 42. Corte de uma ferramenta e bucha de injeção.

$$\text{Caso I: } Y = \frac{FL^4}{384EI}$$

onde:

Y = flecha;

F = carga kg. cm vão, calculada a partir de P pres
são de injeção;

S = área projetada no sentido considerado;

F = SP;

L = comprimento da parede interna;

E = módulo de elasticidade;

I = momento de inércia;

d = largura da parede;

t = espessura da parede.

$$\text{Caso II: } Y = \frac{5FL^4}{384EI}$$

Caso III: Considerando como um pórtico, é preciso calcular os momentos fletores M:

$$M_{ss} = \frac{FL^2}{8}$$

$$M_1 = \frac{FL^2}{8} \quad M = \frac{FL^2}{8} - M_1$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{(FL^3 - 12 M_1 L)}{24EI_L}$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{(FB^3 - 12 M_1 B)}{24EI_B}$$

Inclinações iguais:

$$\frac{FL^3 - 12 M_1 L}{24EI_L} = \frac{FB^3 - 12 M_1 B}{24EI_B} \quad M = \frac{F(I_B L^3 + I_L B^3)}{12(I_B L + I_L B)}$$

$$T_L = T_B \quad I_L = I_B$$

$$M_1 = F (L^3 + B^3) / 12 (L + B)$$

$$Y_L = \frac{5FL^4}{384EI_L} - \frac{M_1 L^2}{8EI_L} \quad - \text{Esta é a mais racional das hipóteses, embora difícil de calcular.}$$

Caso IV: Pode ser considerada de maneira diferente, usando uma fórmula deduzida por Timoshenko e Lessells:

$$Y = \frac{DPd^4}{E y_3}$$

onde:

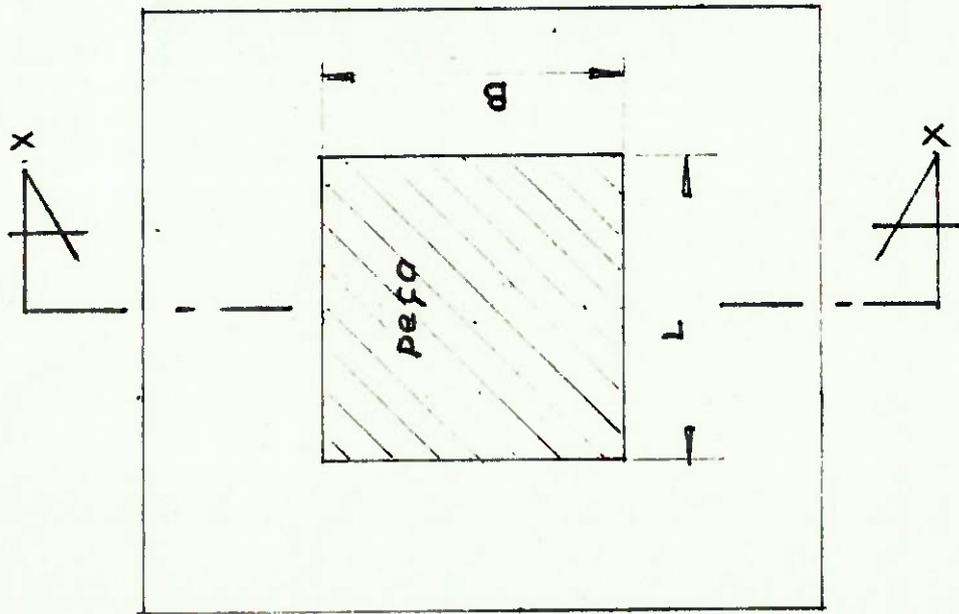
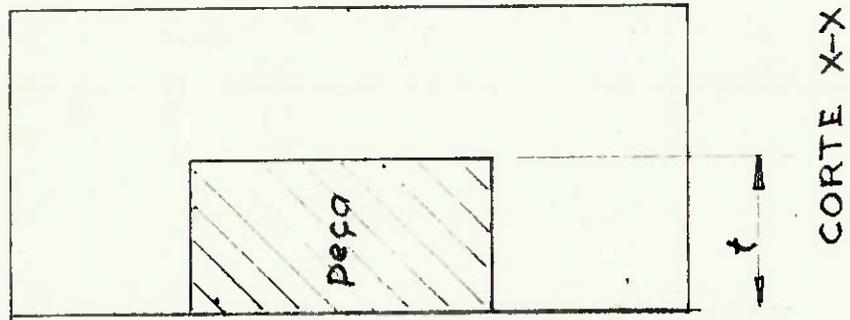
C = constante tabelada em junção de L/D (tabela 1);

L = maior dimensão da parede;

d = menor dimensão da parede;

t = espessura da parede.

Fig.43. Cavidade de uma ferramenta esquemática.



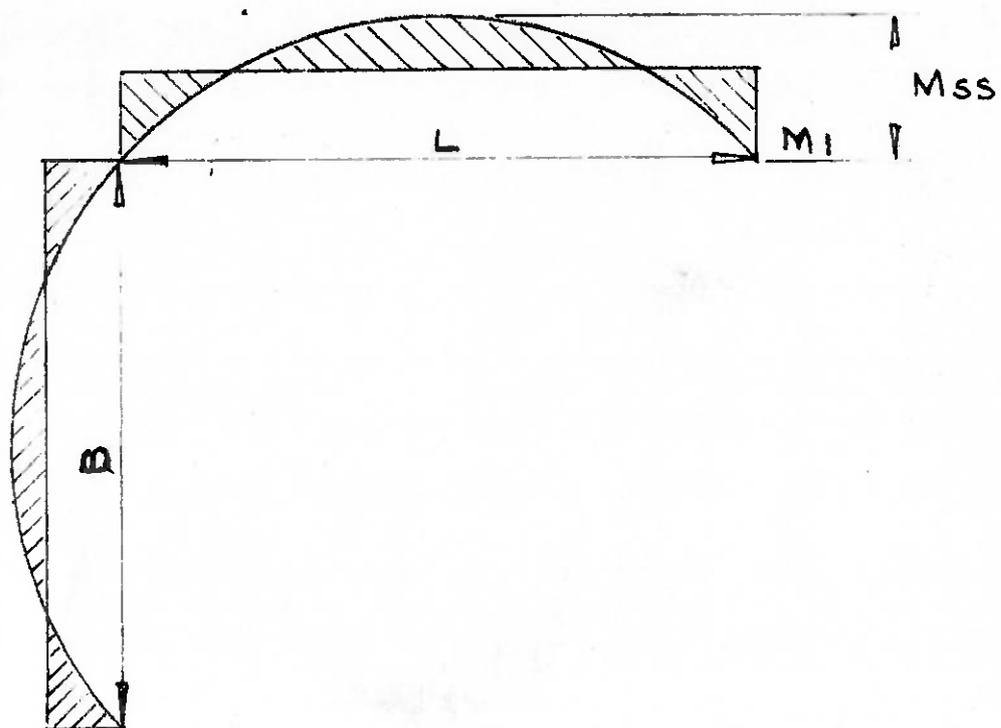


Diagrama do momento fletor

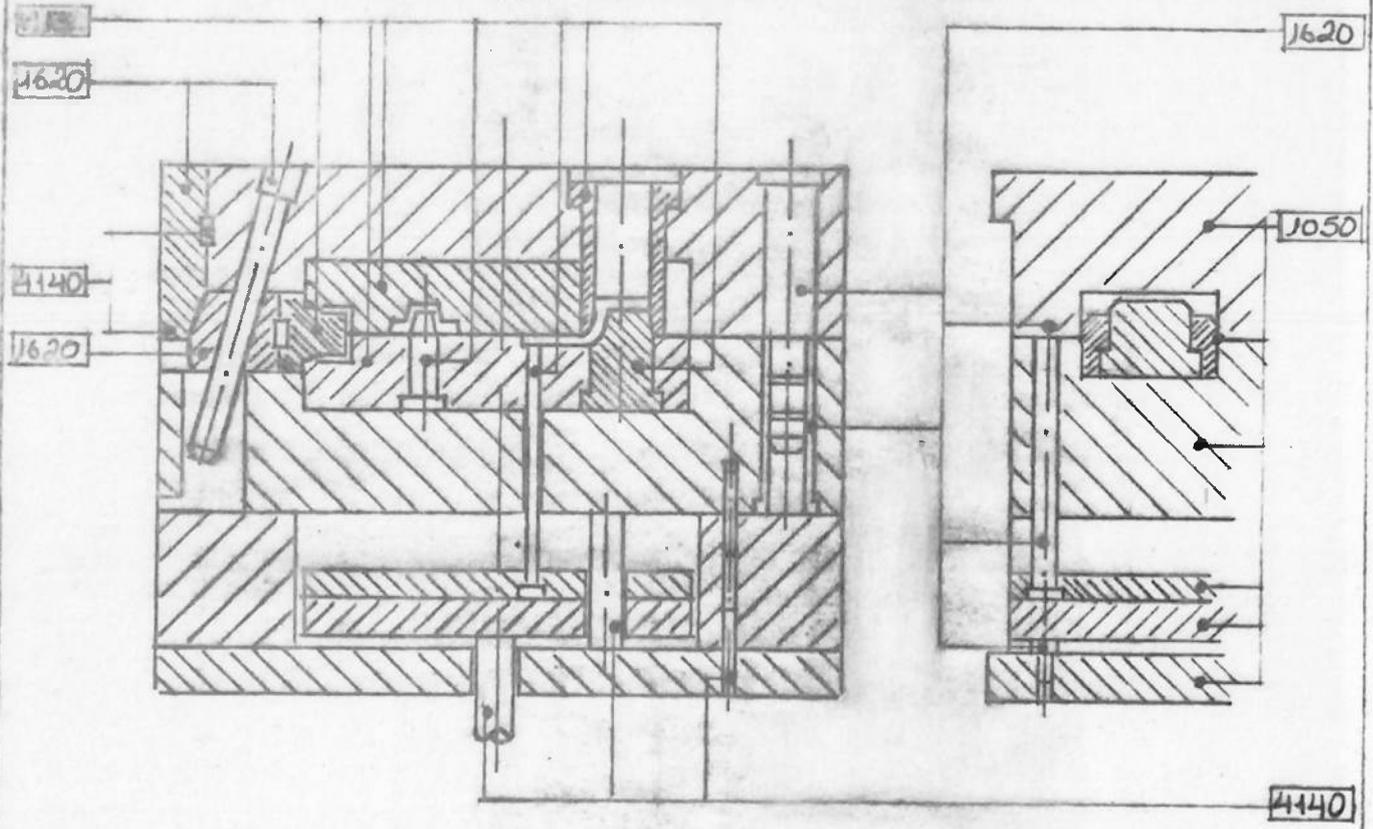
envelhecimento; deixar uma sobre-medida para ser removida após a normalização, é uma garantia de que não surgirão deformações muito prejudiciais.

Os equipamentos de ferramentaria necessários à construção dos moldes, são os clássicos; porém, um pantógrafo tridimensional, um para um, é indispensável. Atualmente as máquinas de eletroerosão já estão sendo usadas com grandes vantagens.

Um equipamento também importante, é uma prensa para ajustagem do molde. Com a ferramenta pronta e temperada, é preciso fechá-la com uma das partes pintadas com tinta de ajustagem e proceder um ajuste regoroso, senão ter-se-á um molde que não tem vedação perfeita e, quando em trabalho, espirrará metal líquido, provocando acidentes e produzindo rebarbas.

O acabamento e material usado em cada parte do molde já foi explicado no texto, porém, para uma visão global são de grande valia as figuras 43 e 44.

Bronze e Latão



Alumínio e Zamac.

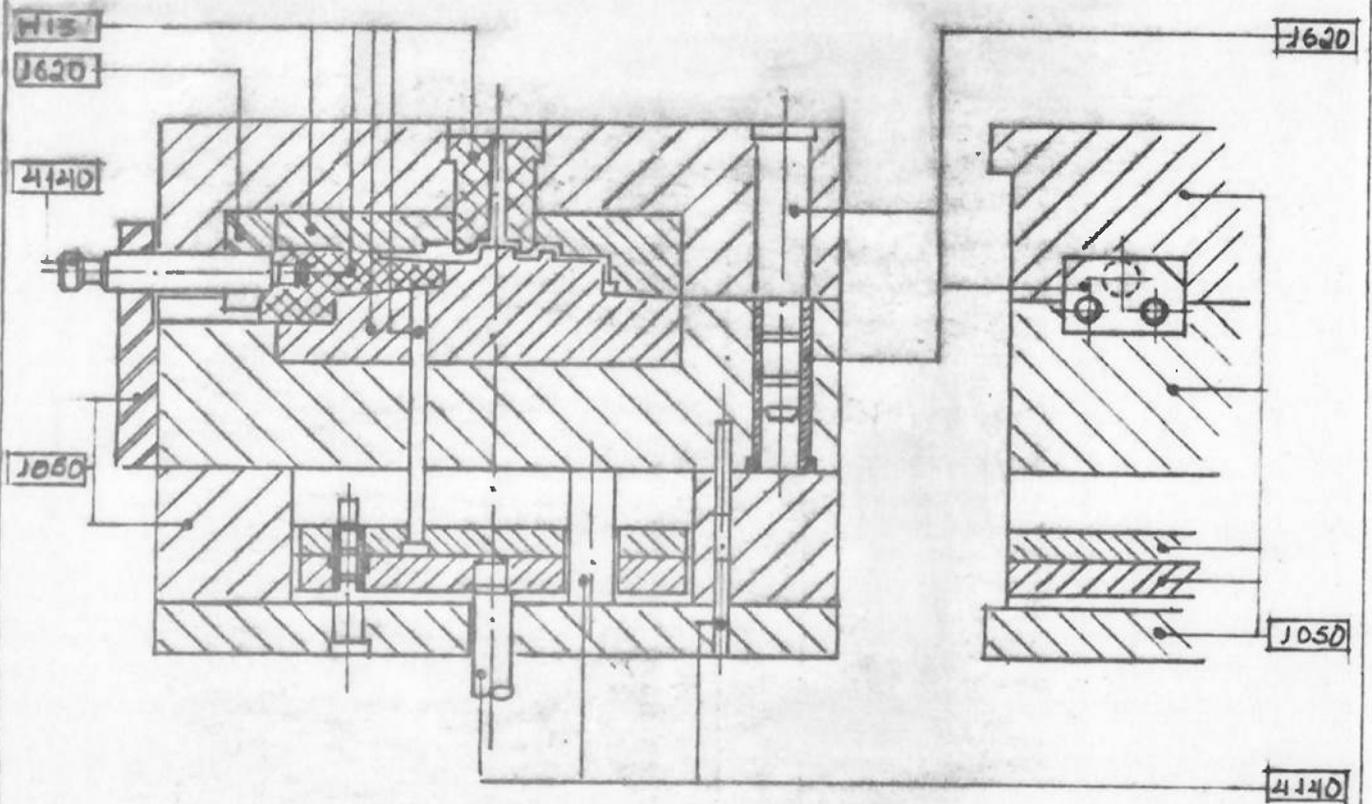


Fig.4B. Materiais indicados para o molde.
AISI

CAPÍTULO 4 - CENTRO DE INJEÇÃO

4. CENTRO DE INJEÇÃO



Frequentemente são encontradas peças que não podem ser injetadas pelas bordas por várias razões. É preciso então, encontrar uma forma de injetar a peça. As máquinas de "câmara quente" têm a flexibilidade de ter um bico de injeção pequeno e permitem que possamos injetar a peça tanto na borda como no centro. Por exemplo: "injetar uma polia para correia "V" - é muito mais conveniente injetar pelo centro da peça.

As máquinas de "câmara fria de pistão vertical" , também se comportam como as de câmara quente, para injetar a peça, sendo que a característica da peça obtida é diferente-mais compacta no núcleo e superfície mais porosa, ocorrendo o inverso nas peças obtidas nas máquinas de "câmara quente".

As máquinas de câmara fria com pistão horizontal, podem também trabalhar injetando peças pelo centro, mas para isso é preciso usar alguns artifícios no molde. Algumas soluções podem ser observadas nas figuras 44, 45, 46 e 47, onde peças diferentes são submetidas ao modo mais adequado para sua injeção.

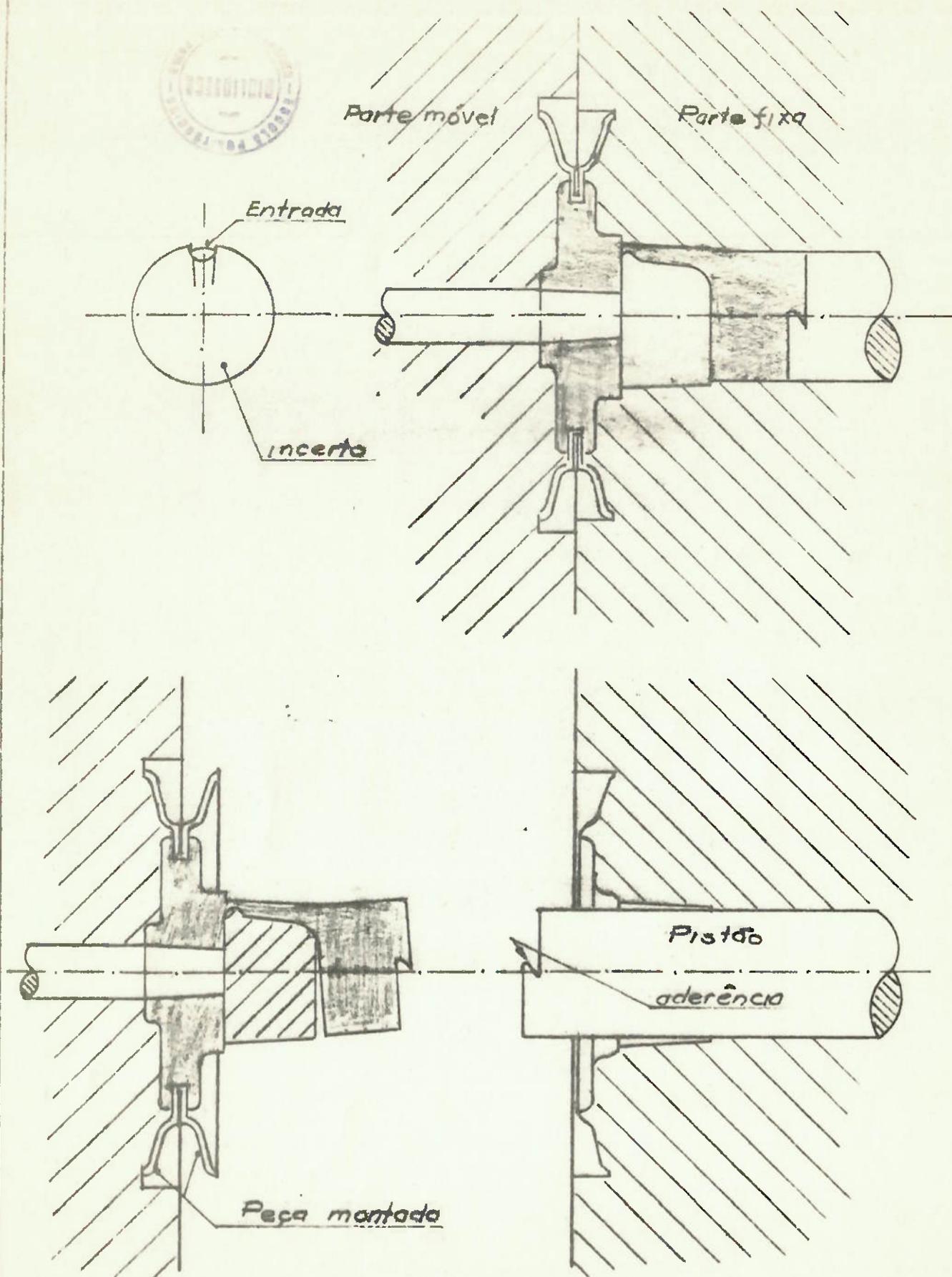


Fig. 44.
 Injeção com incerto. Pistão com aderência.
 A peça colocada no molde e injeta-se o cubo.

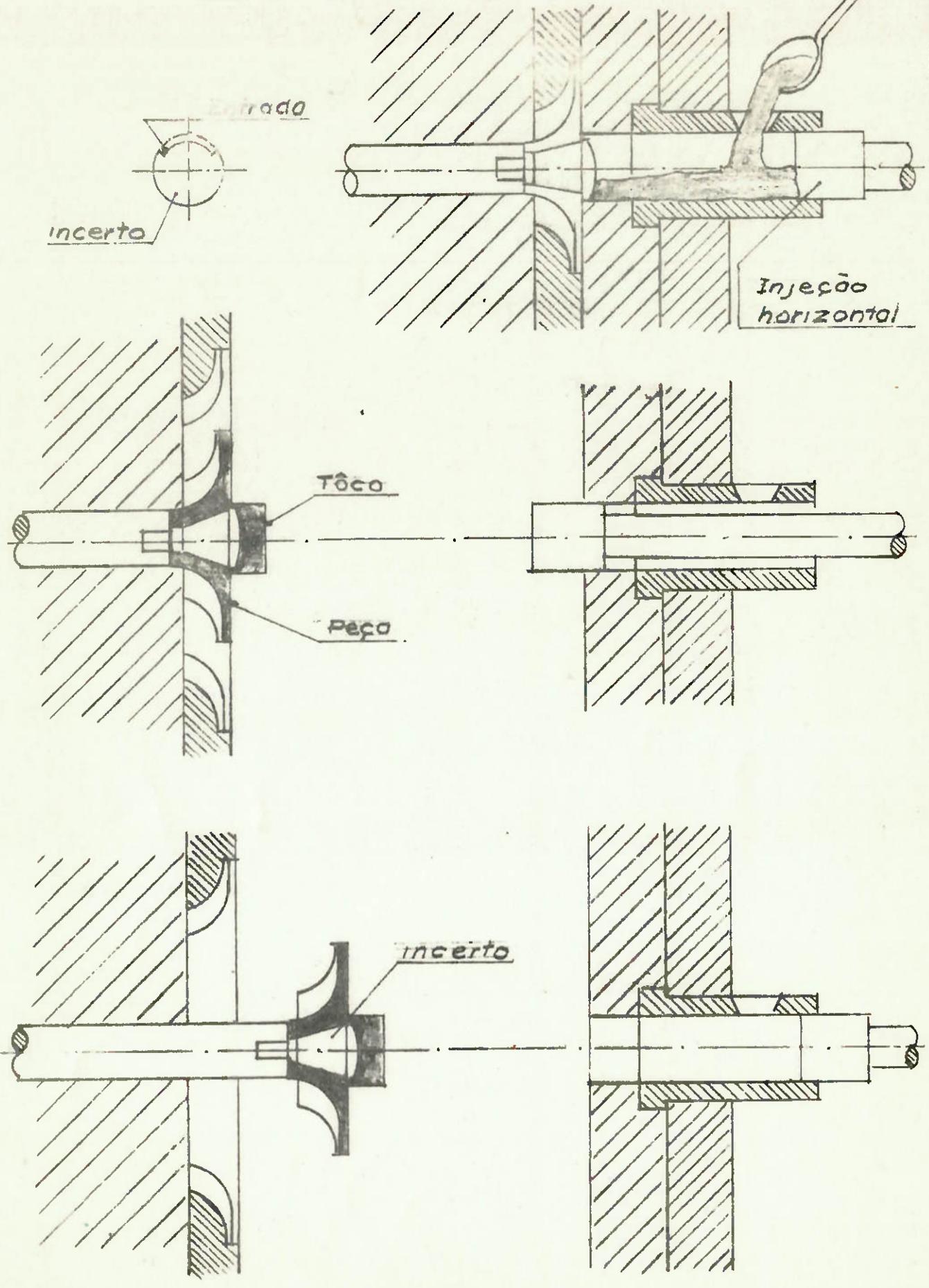


Fig.45. Injeção com incerto que será removido de cada peça.

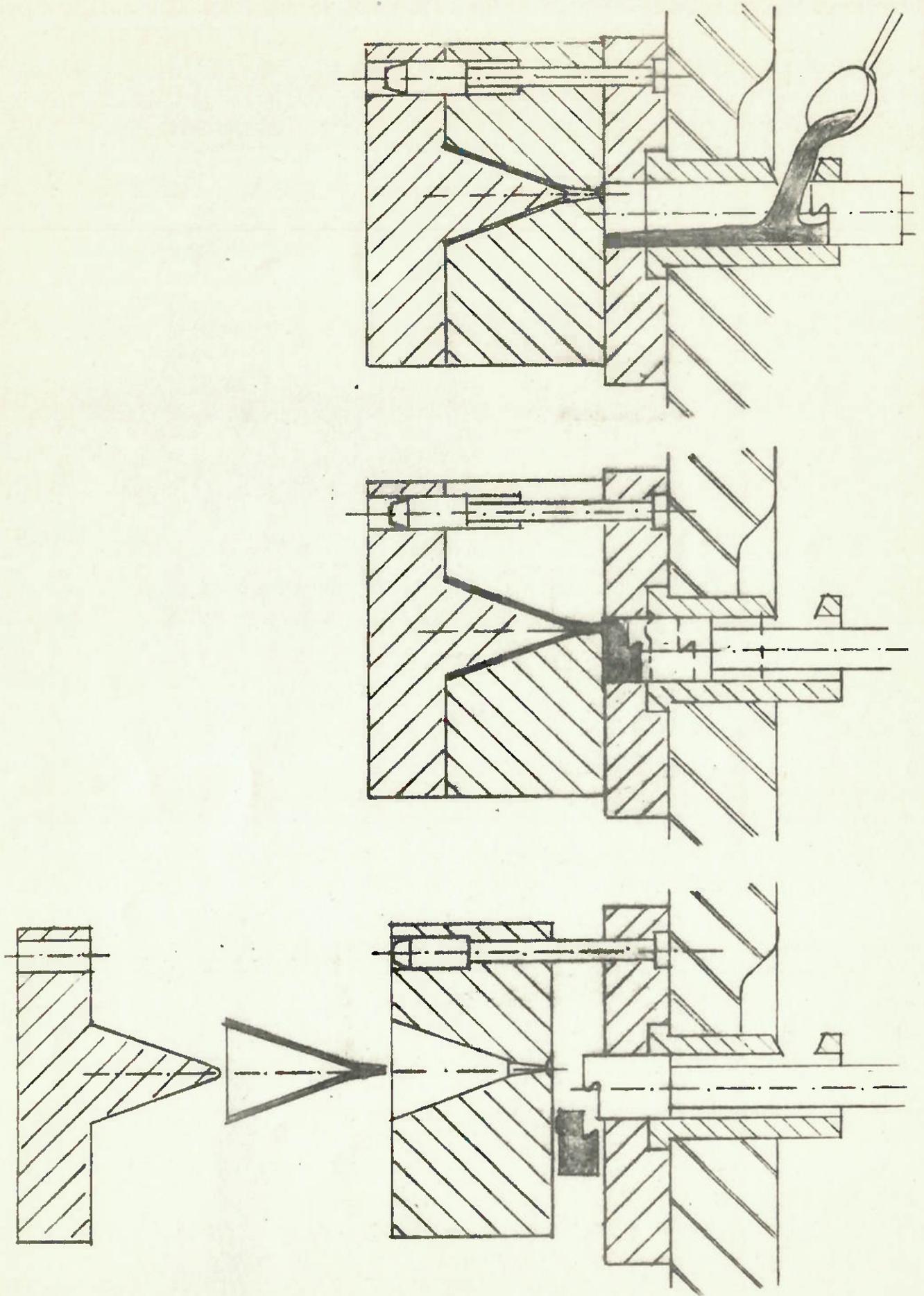


Fig 46. Injeção capilar. Pistão com aderência.
 Molde de 3 placas.

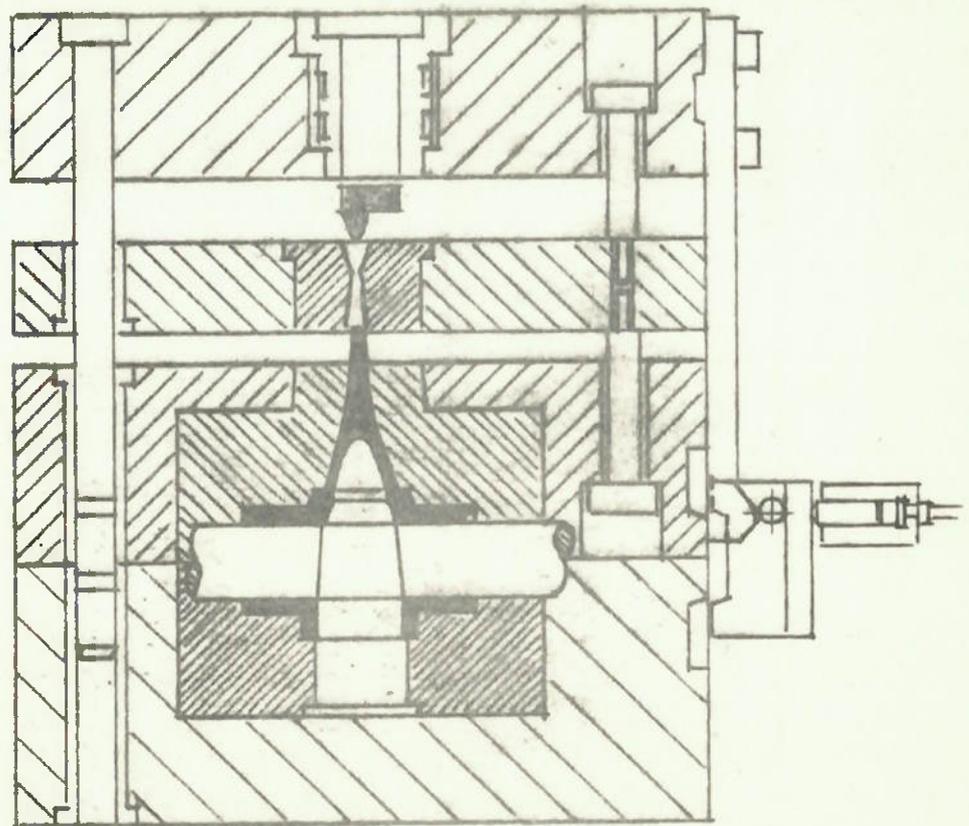
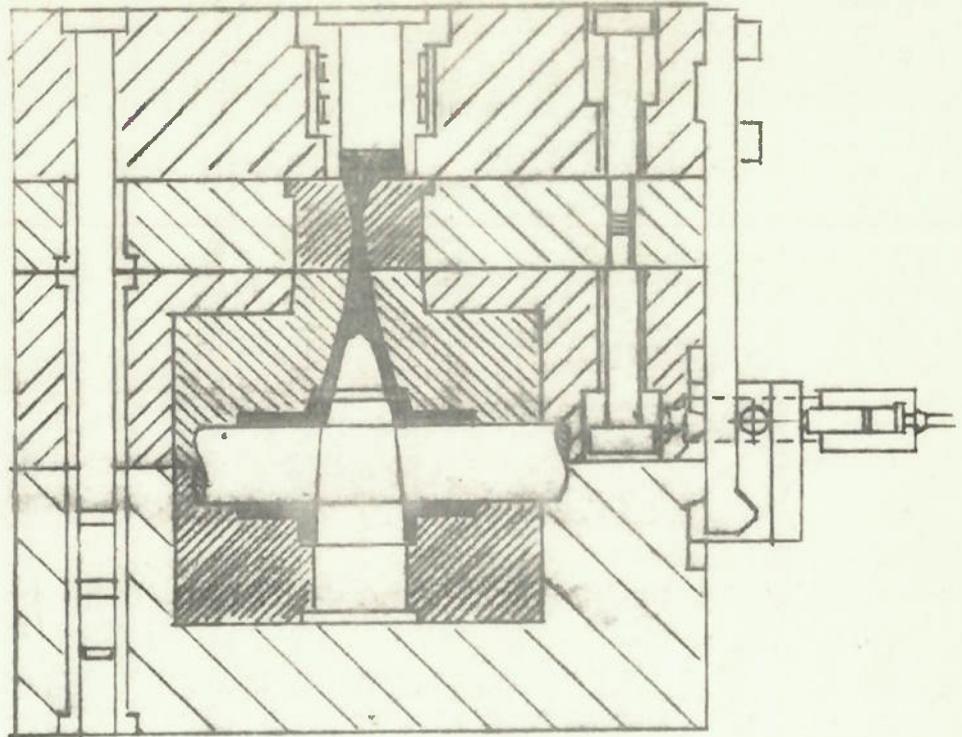


Fig.47. Injeção central capilar.
Molde de 3 placas do Manual das maq. BUHLER.

BIBLIOGRAFIA

- 1 - SYLVIA J. GERIN - "CAST METALS TECHNOLOGY" - American Foundrymen's society training and research institute - 1972 - 338 páginas.
- 2 - DENTON E. N. e GLAVILL A. B. - "PRINCIPIOS BÁSICOS E PROJETOS - MOLDES DE INJEÇÃO" - Editora Blucher Ltda.
Ano 1970 - Ed. Inglesa 1963 - 309 páginas.
- 3 - CHIAVERINI V. - "AÇOS CARBONO E AÇOS LIGA" - Associação Brasileira de Metais - 1971 - 429 páginas.
- 4 - DOEHLER H.H. - "DIE CASTING" - Mc Graw-Hill Book Company Kogakusha Company Ltd. Tokyo - 1951 - 500 páginas.
- 5 - GUSTAV LIEBY - "DESIGN OF DIE CASTINGS" - American Foundrymen's / Society - 1957 - 199 páginas.
- 6 - DIETER GEORGE E. JR. - "MECHANICAL METALLURGY" - Mc Graw-Hill Kogakusha, Ltd. Tokyo 1961 - 600 páginas.
- 7 - LAWRENCE H. VAN VLACK. - "PRINCIPIOS DE CIENCIA DOS MATERIAIS" Edgar Clucher S.P. - 1970 - 413 páginas.
- 8 - T. P. GROENEVEID AND W.D. KAISER, BATTELLE COLUMBUS LABORATORIES / "DESIGN GUIDELINES FOR THE PRODUCTION OF HIGH- QUALITY LIGHTWEIGHT THIN-WALL ZINC DIE CASTING'S" - INTERNATIONAL LEAD - ZINC RESEARCH ORGANIZATION, INC - 1975 - 60 páginas.
- 9 - "DIE CASTING ENGINEER" - SOCIETY OF DIE CASTING ENGINEERS
Volume 13 nº 5 set-out 1969
Volume 10 nº 5 set-out 1966
Volume 18 nº 2 marc-abril 1974
Volume 19 nº 1 jan-februr 1975
- 10 - NOTAS DE AULA - CURSOS DE PÓS-GRADUAÇÃO:
- " MATERIAIS PARA FERRAMENTAS MECÂNICAS" - MECÂNICA EPUSP - Prof. Dr. V. Chiaverini - Prof. Dr. E. Bresciani F.
- " TÓPICOS ESPECIAIS TRATAMENTO TÉRMICO" - METALURGIA EPUSP / Prof. Dr. R. O. M. Weinbaum
- " MATERIAIS METÁLICOS ESTRUTURAS PROPRIEDADES MECÂNICAS" - EPUSP Prof. Dr. V. Chiaverini - Prof. Dr. E. Bresciani F.
- 11 - "MODERN CASTING" - Junho - 1967

12 - Catálogos .- Máquinas de Fundição sob Pressão:

IDRA - Itália

BUHLER - Suíça

13 - Catálogos - DME - peças padronizadas PARA MOLDES DE FUNDIÇÃO

SOB PRESSÃO.



I N D I C E

- 1 - INTRODUÇÃO - pag. 06
 - a) a importância do projeto - pag. 07
 - b) padronização - pag.09
- 2 - A PEÇA E A MÁQUINA - pag. 12
 - a) a peça a ser fabricada - pag. 13
 - b) a máquina a ser usada - pag. 14
 - material de que vai ser feita a peça - pag. 14
 - acabamento desejado - pag. 14
 - (precisão) tolerância em geral - pag. 15
 - c) demanda estimada - pag. 19
 - d) considerações de ordem prática - pag. 20
- 3 - PROJETO DA FERRAMENTA - pag. 25
 - a) sistema estrutural - pag. 26
 - caixa fixa e caixa móvel - pag. 26
 - cavaletes - pag. 30
 - bucha de guia e pinos de guia - pag. 32
 - acessórios - pag. 36
 - b) sistema de injeção - pag. 41
 - bucha de injeção - pag. 41
 - espiga de contração - pag. 45
 - canais de alimentação - pag. 55
 - cálculos da secção dos canais - pag. 63
 - técnica de projetõ de canais para peças de paredes finas em peças feitas de Zamac - pag. 67
 - saída de ar e bolsas de ar ou volante térmico - pag. 71
 - exemplo - pag. 75
 - resumo - pag. 75
 - c) sistema de extração da peça - pag. 77
 - esforços de extração - pag. 77

- placas extratoras - pag. 84
- limitadores reguláveis - pag. 85
- acionamento da extração - pag. 85
- d) - sistema de refrigeração
- e) - sistema de extração radial
 - machos - pag. 95
 - gavetas - pag. 95
 - cunha de trava de um extrator radial - pag. 96
 - pinos de transporte e cilindro hidráulico - pag. 98
- f) - bloco das gravações das cavidades - pag. 100
 - linha de fechamento - pag. 100
 - dimensões prévias do molde - pag. 105
 - ângulos de saída e conicidade - pag. 107
 - contração prevista para a peça - pag. 108
 - tolerância da peça - pag. 109
 - centro de gravidade - pag. 109
 - equilíbrio dos esforços radiais - pag. 110
 - verificação das dimensões do bloco - pag. 110
 - fabricação dos blocos de cavidades - pag. 119
- 4 - CENTRO DE INJEÇÃO - pag. 123
 - Bibliografia - pag. 128