



Processamento de Materiais Poliméricos

Processamento de polímeros

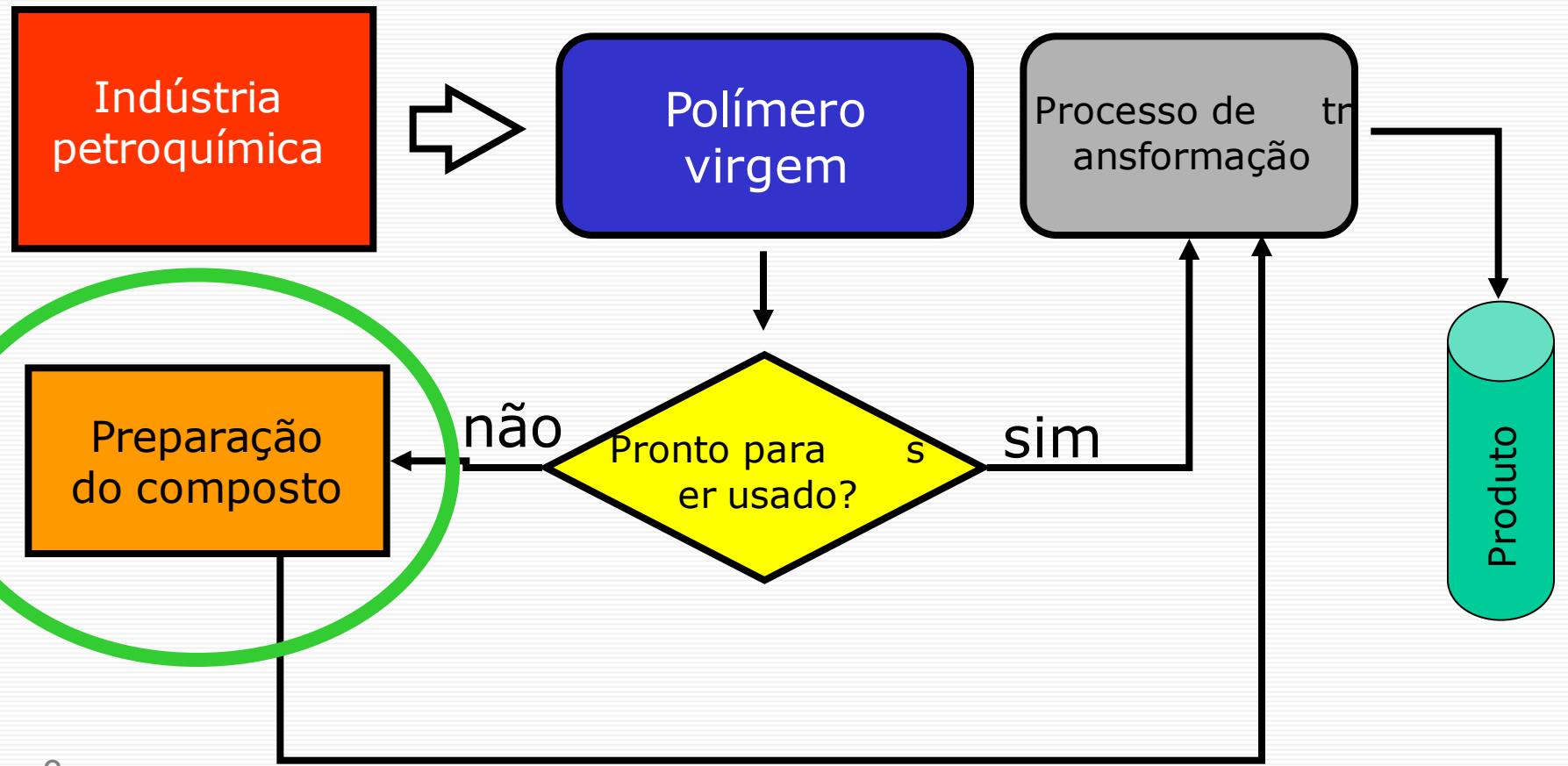
Etapas genéricas do processamento de polímeros

1. **PLASTIFICAÇÃO** – Levar o material a um estado em que sua forma possa ser modificada na etapa seguinte;
2. **CONFORMAÇÃO** – Dar forma desejada a peça;
3. **ESTABILIZAÇÃO DE FORMA** – Endurecimento, resfriamento, cura ou remoção de solventes até a temperatura ambiente.

Processamento de polímeros

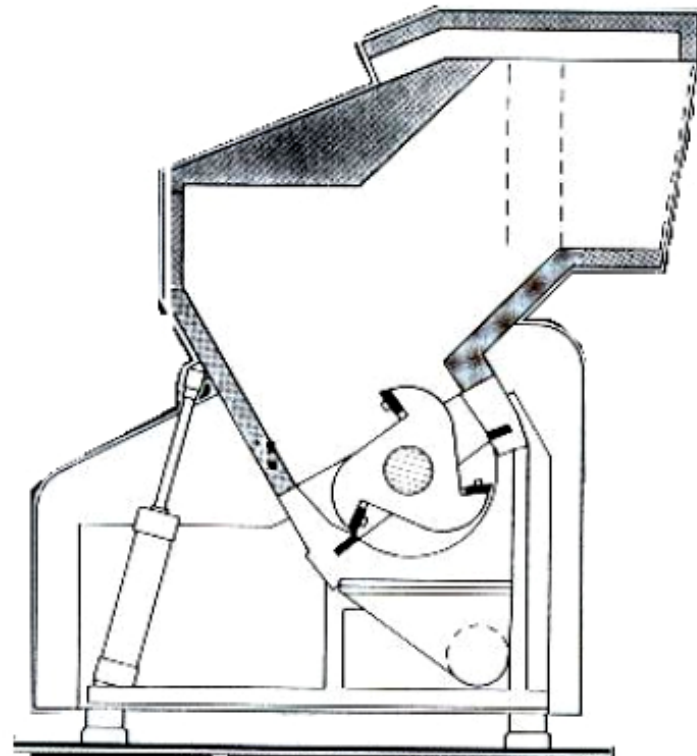
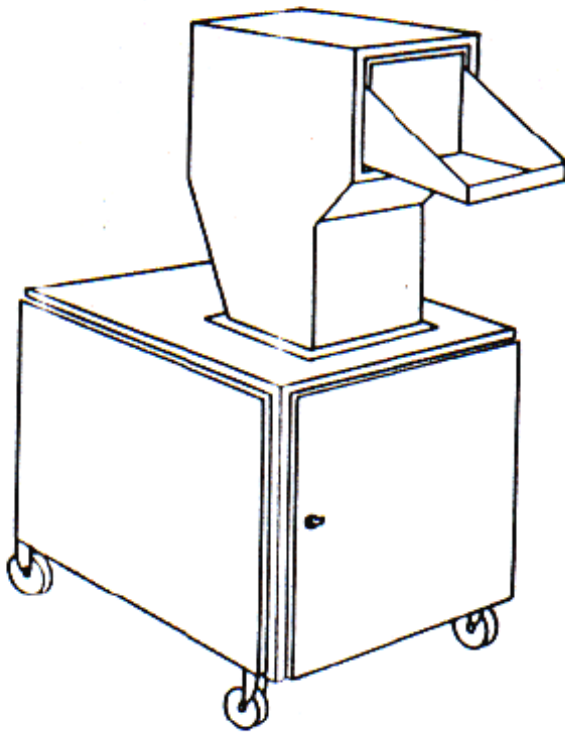
Antes de tudo é necessário

PREPARAR OS POLÍMEROS PARA O PROCESSAMENTO



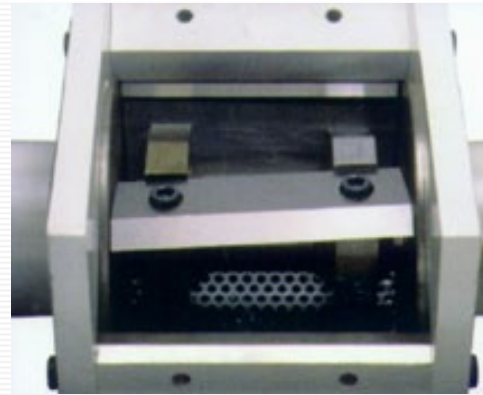
Processamento de polímeros

Trituradores



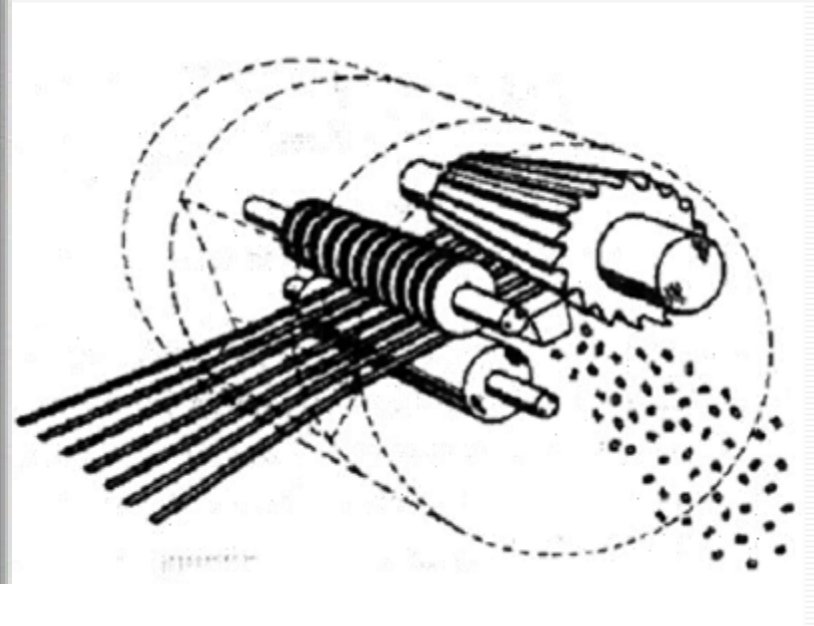
Processamento de polímeros

Trituradores



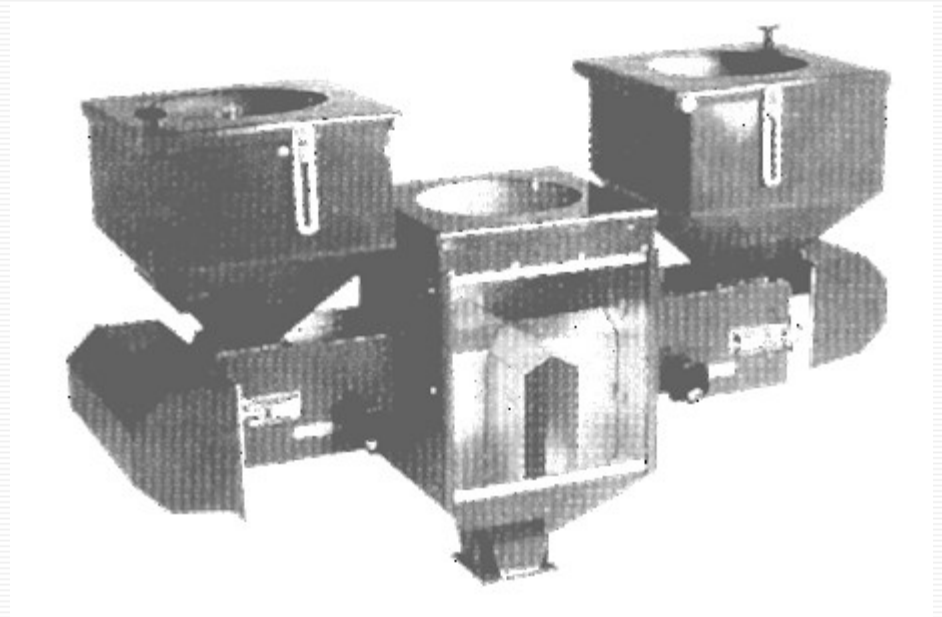
Processamento de polímeros

Extrusão - granulação



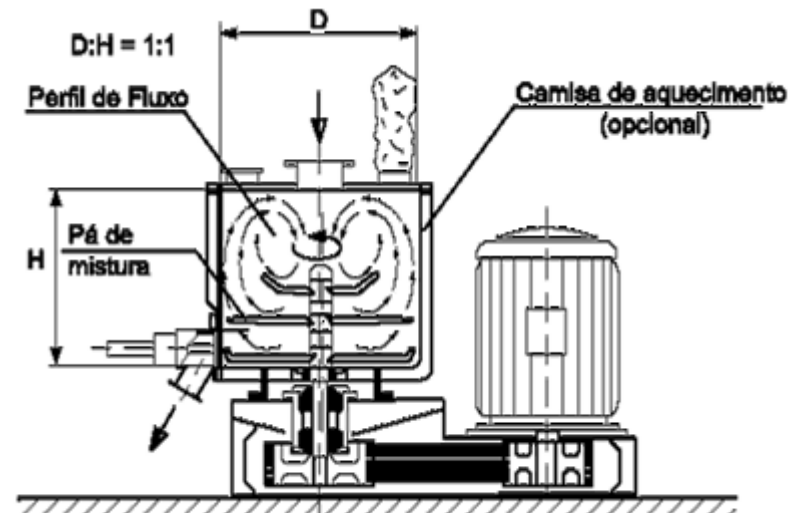
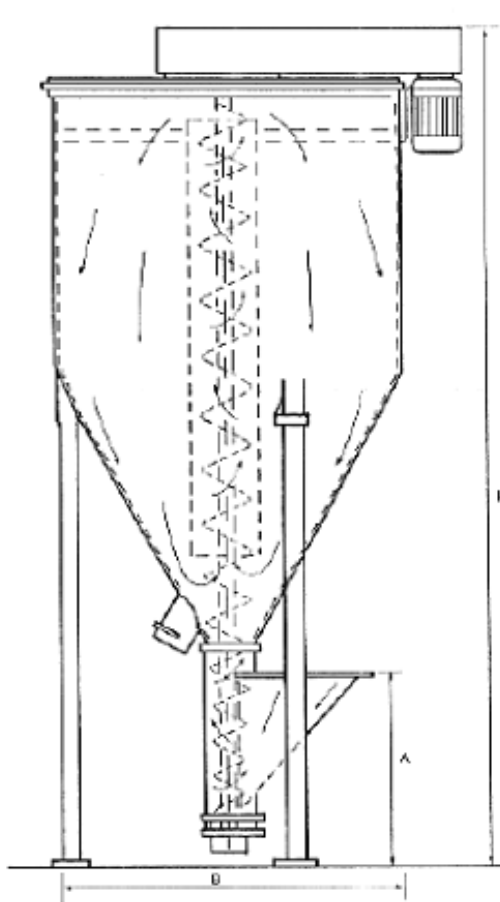
Processamento de polímeros

Dosadores



Processamento de polímeros

Misturadores



Adaptado de Titow, W. V. (1984). PVC Technology.



Processamento de polímeros

EXTRUSÃO DE POLÍMEROS

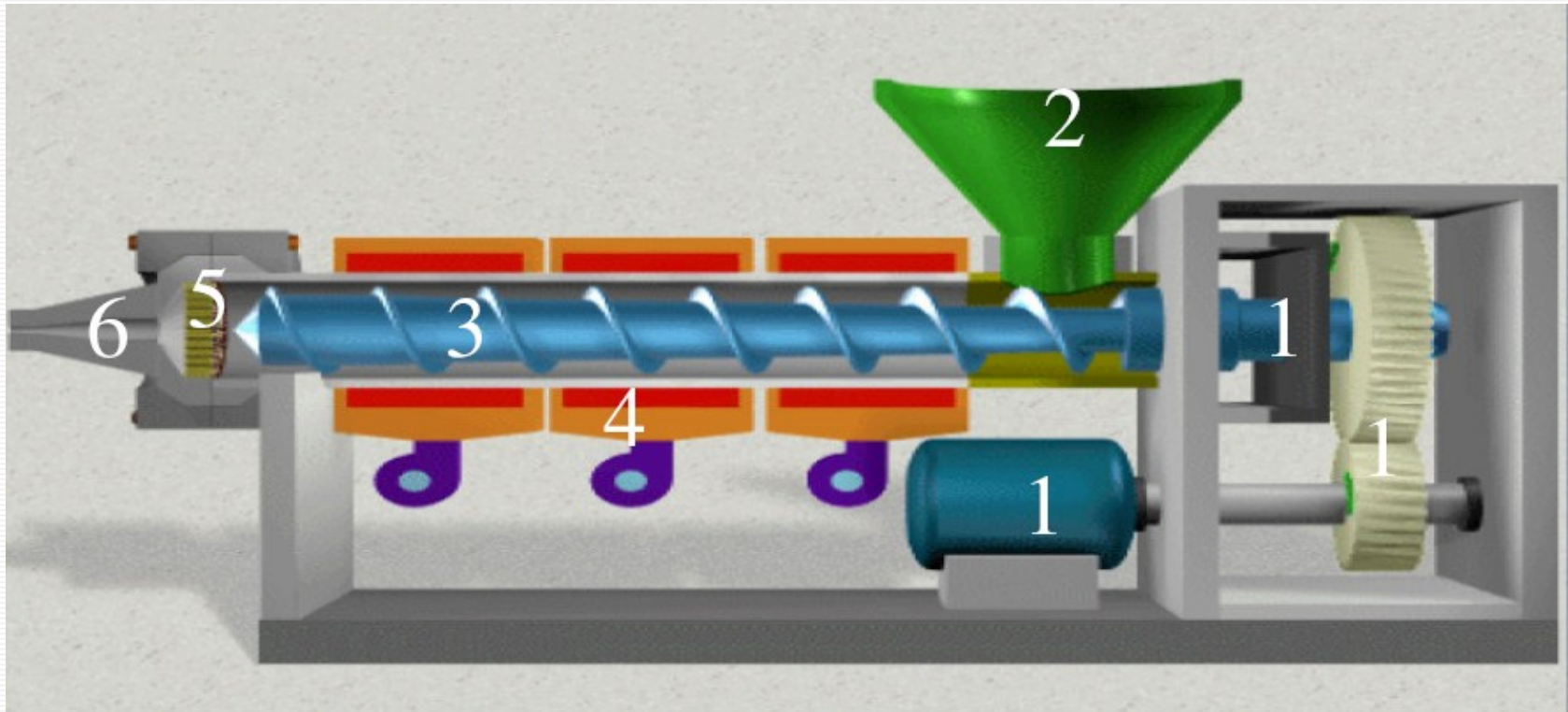
Processamento de polímeros

Extrusão – Pré e Durante

1. **Polímero sólido (preparado: grãos, flocos ou pó);**
2. **Aquecido**
3. **Plastificado**
4. **Pressurizado**
5. **Forma (matriz – seção transversal)**

Processamento de polímeros

Extrusão – Máquina extrusora



Processamento de polímeros

Extrusão – Máquina extrusora - Rosca

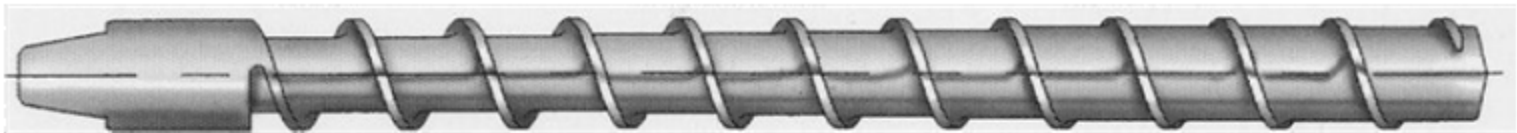
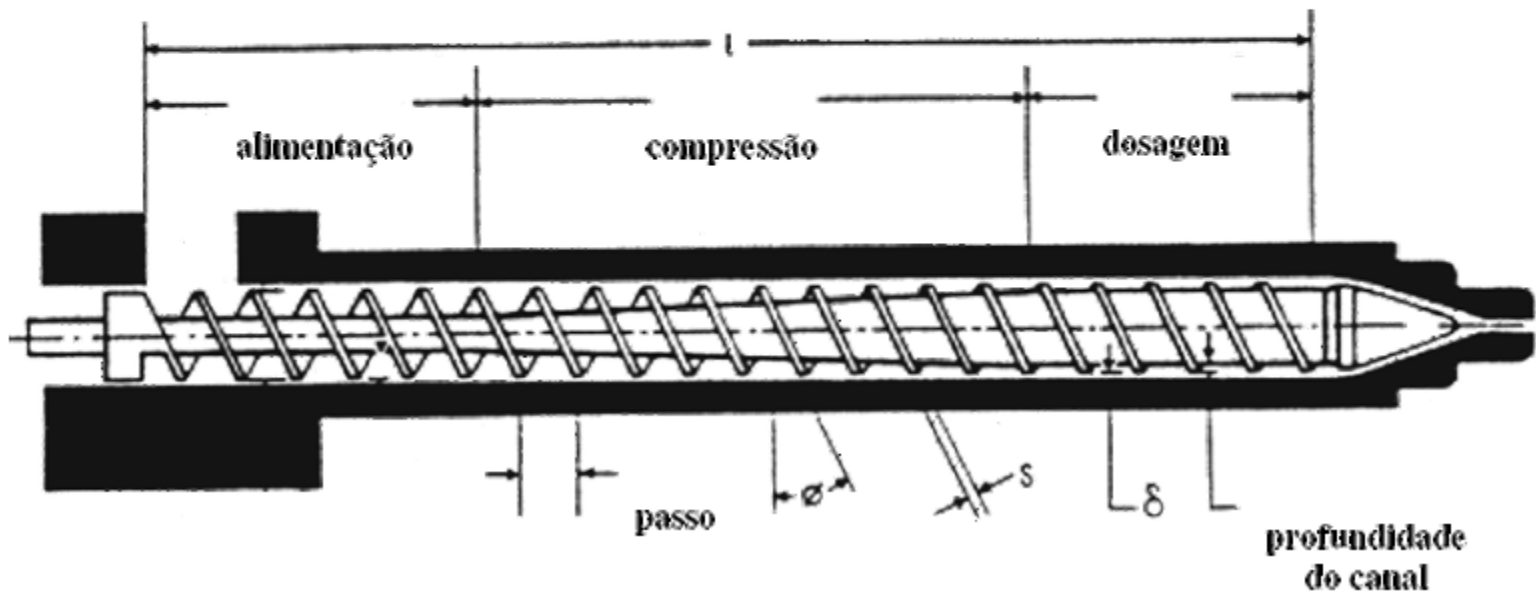
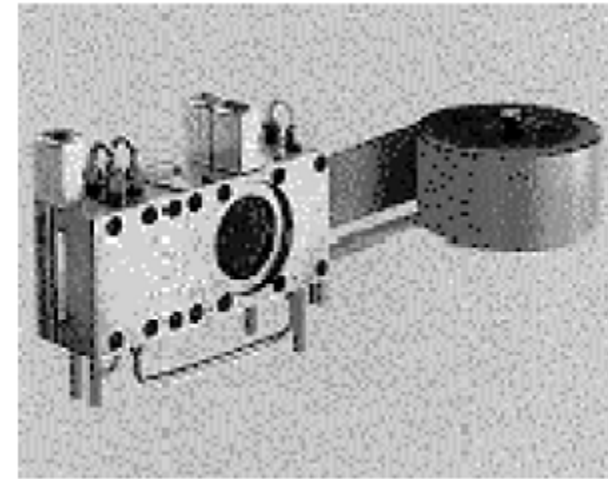
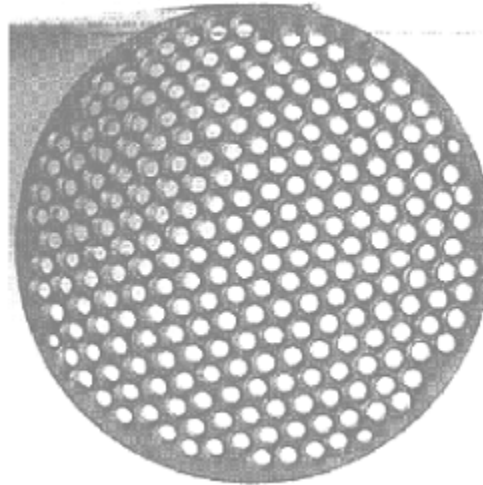
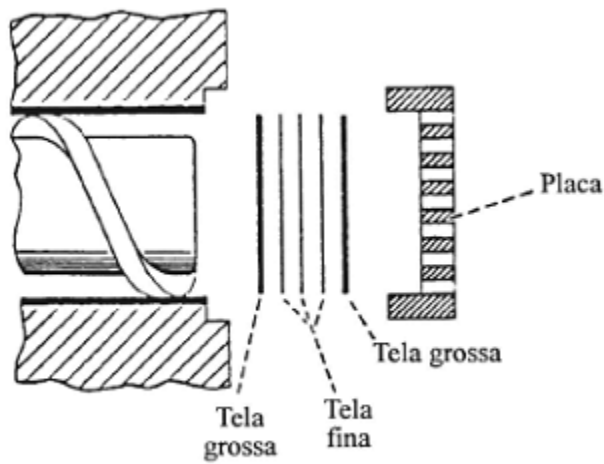


figura 1 – Rosca universal



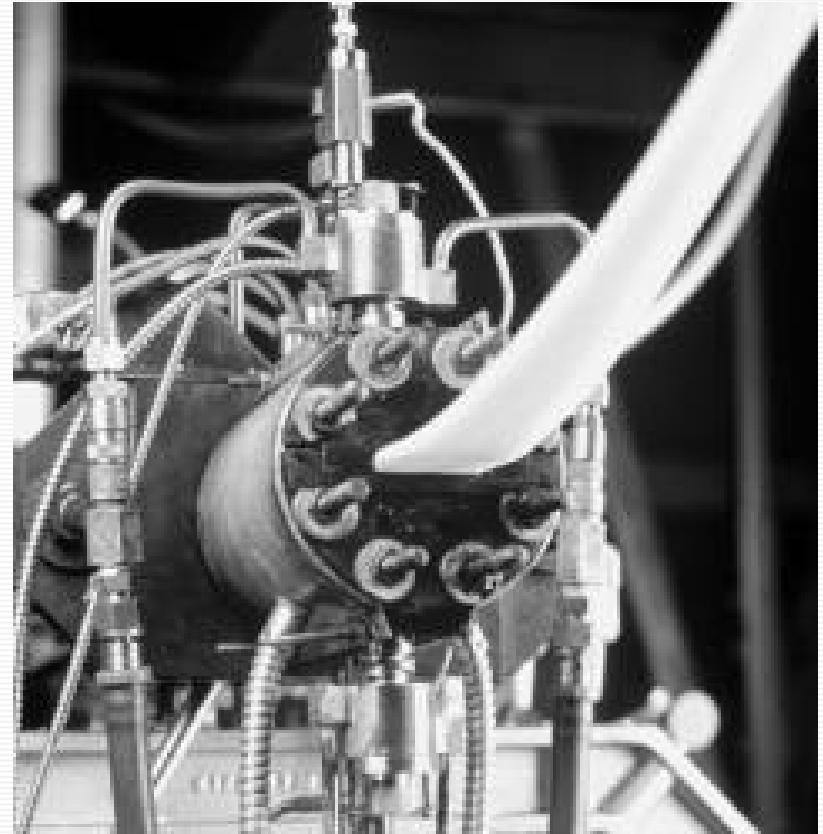
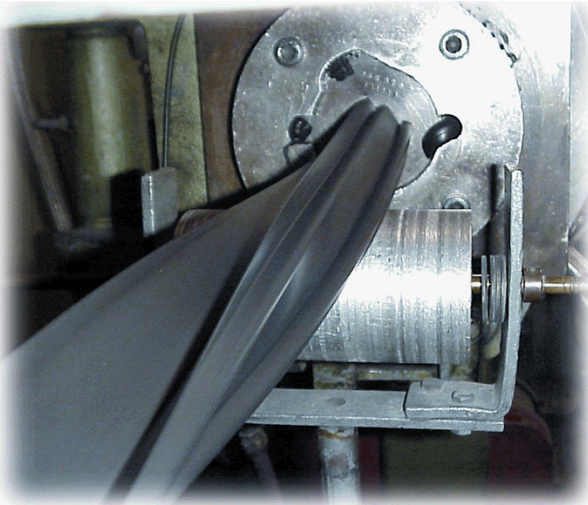
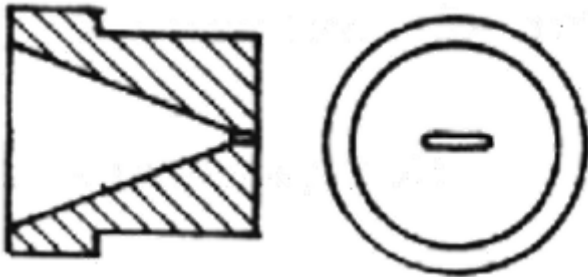
Processamento de polímeros

Extrusão – Máquina extrusora – Placa e filtros



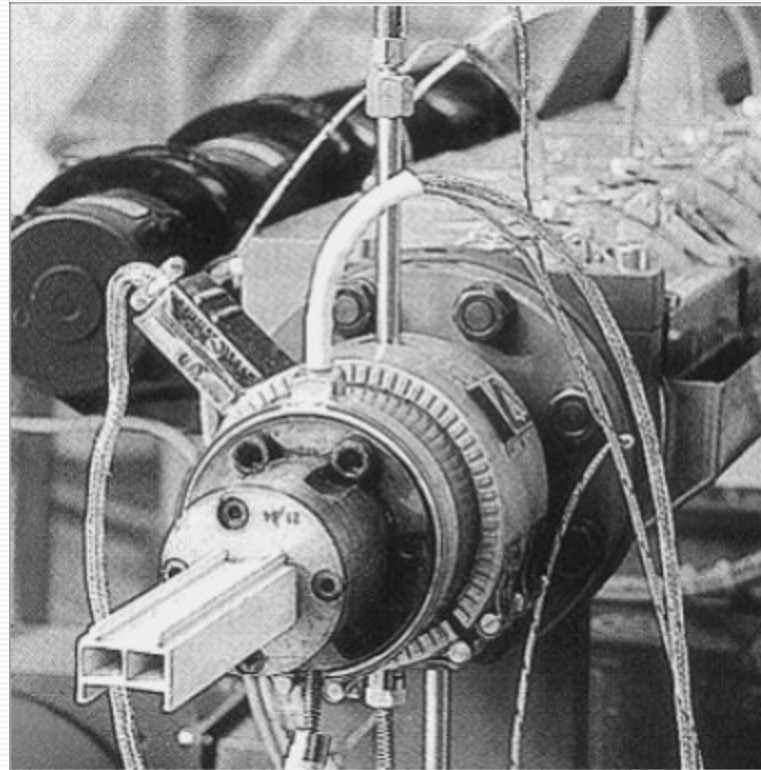
Processamento de polímeros

Extrusão – Máquina extrusora – Matriz



Processamento de polímeros

Extrusão – Perfis não circulares



Processamento de polímeros

Extrusão de mangueiras e revestimento de condutores

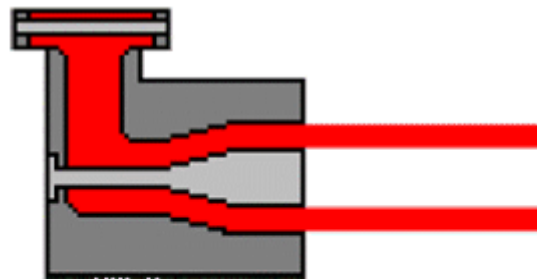
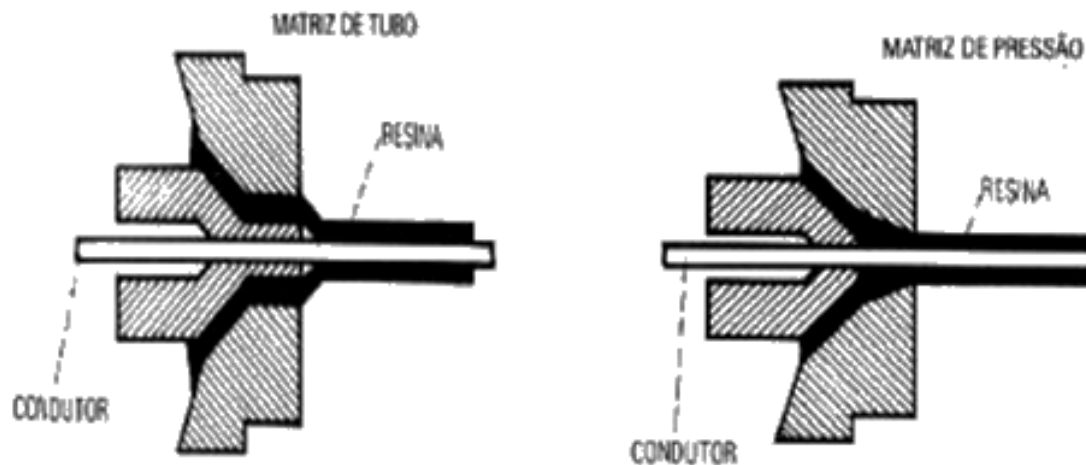
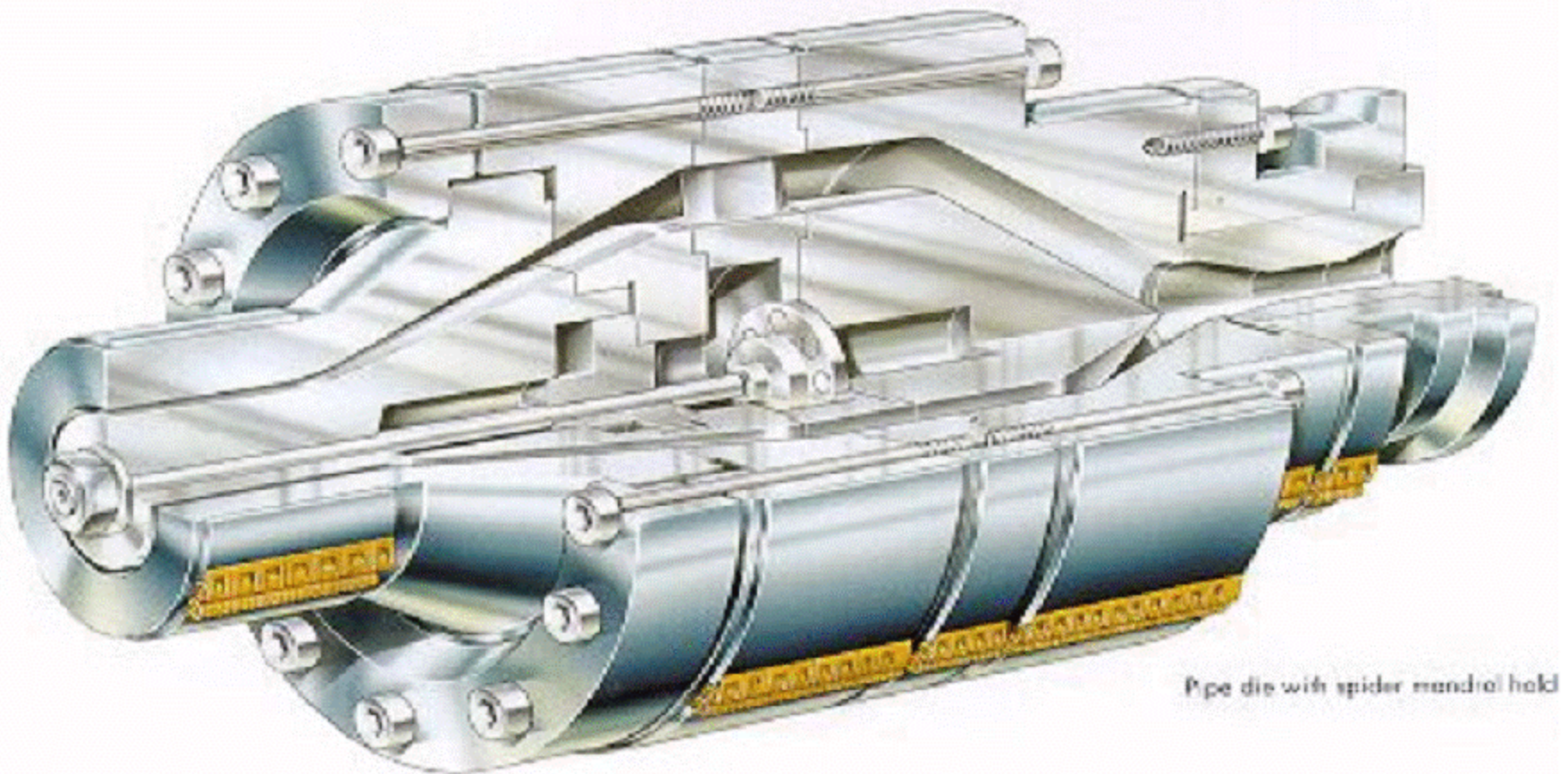


Figura 11 – Matriz a 90 ° para a extrusão de mangueiras e tubos de pequeno diâmetro.



Processamento de polímeros

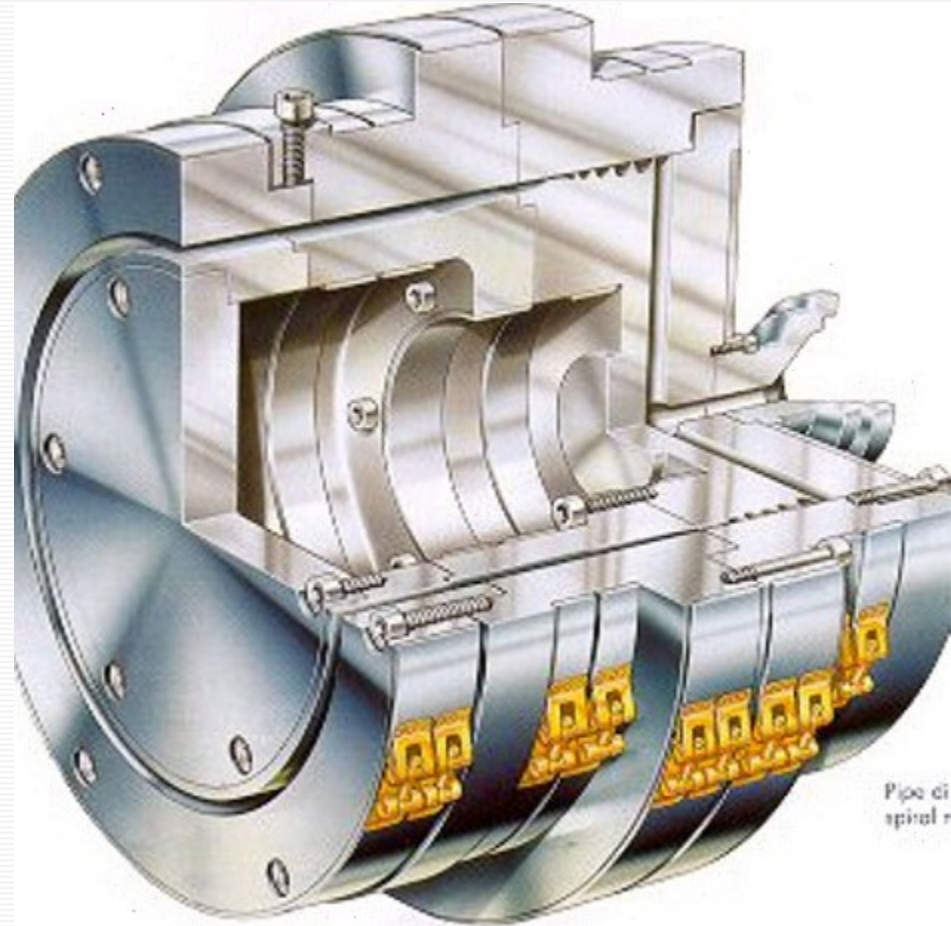
Extrusão de tubos lisos



Processamento de polímeros

Extrusão de tubos lisos

- Espirais na superfície do mandril.
- Induzem a um fluxo multidirecional
- Flutuações no fluxo – corrigida pelos lábios
- o canal do espiral vai diminuindo ao longo do corpo do mandril, isso faz com que a queda de pressão seja gradativa – fluxo adequado e homogêneo.





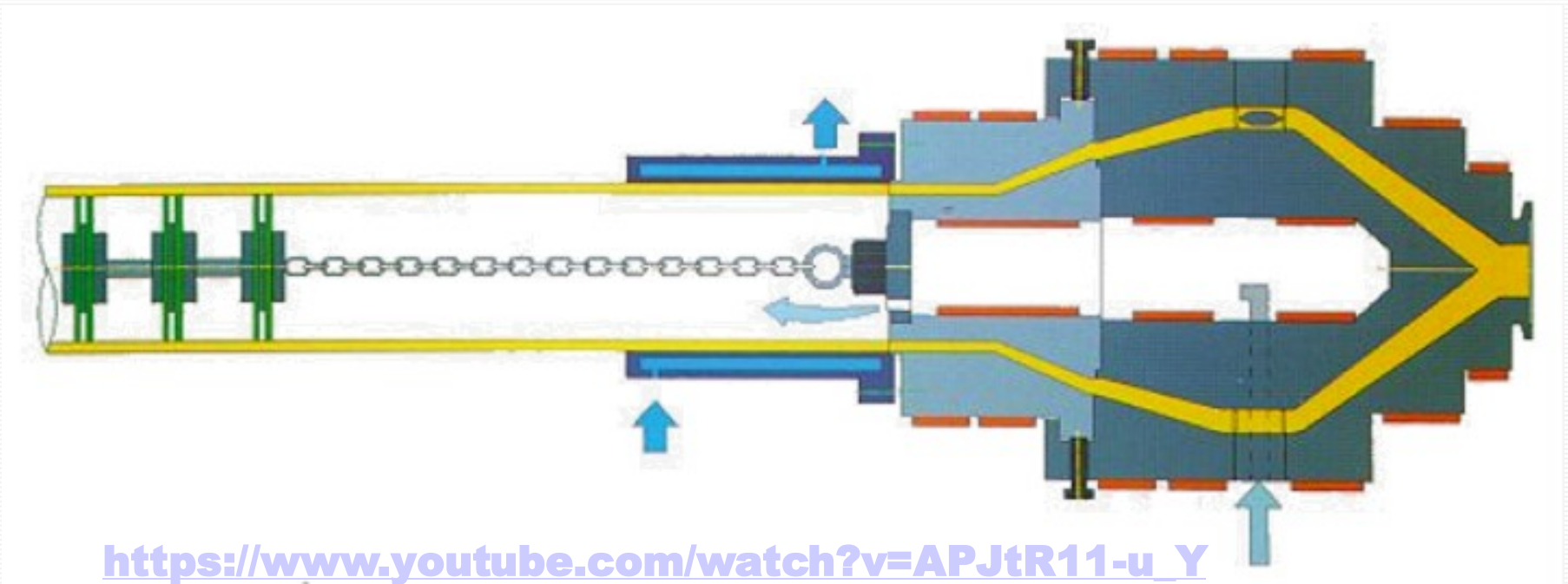
Processamento de polímeros

Equipamentos pós-extrusão

- 1. Calibrador (resfriar, forma final);**
- 2. Equipamento de resfriamento;**
- 3. Puxador ou arraste;**
- 4. Serra;**
- 5. Mesa recolhedora;**
- 6. Bobineira**

Processamento de polímeros

Calibração

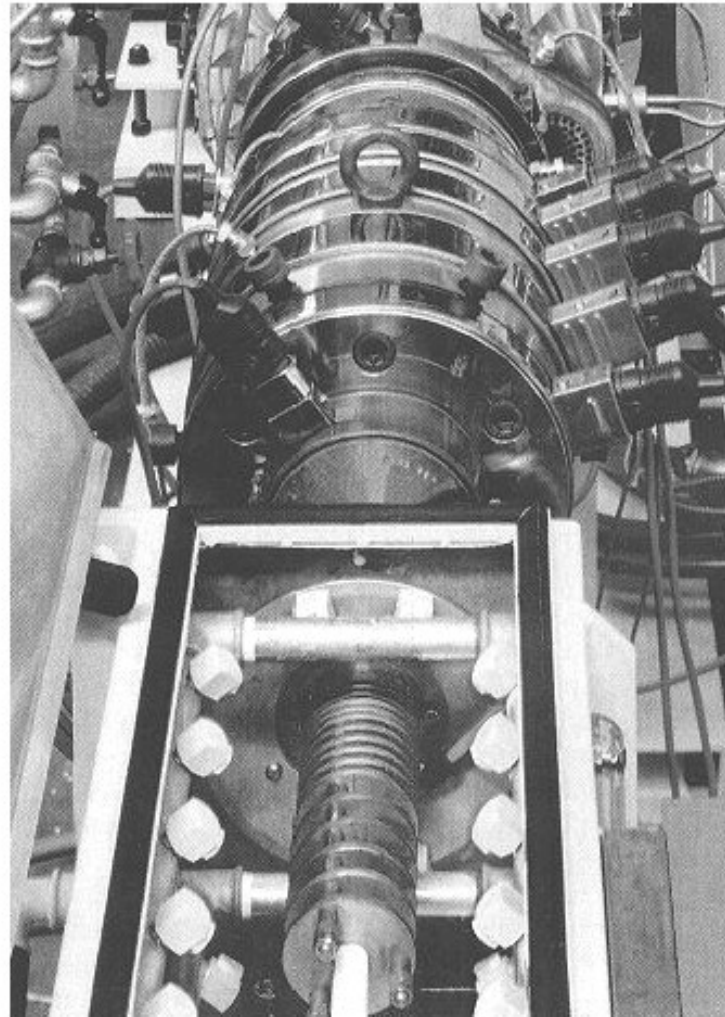


https://www.youtube.com/watch?v=APJtR11-u_Y

<https://www.youtube.com/watch?v=onFQqyWS0oo>

Processamento de polímeros

Calibração



Processamento de polímeros

Extrusão de filmes

PRODUTOS:

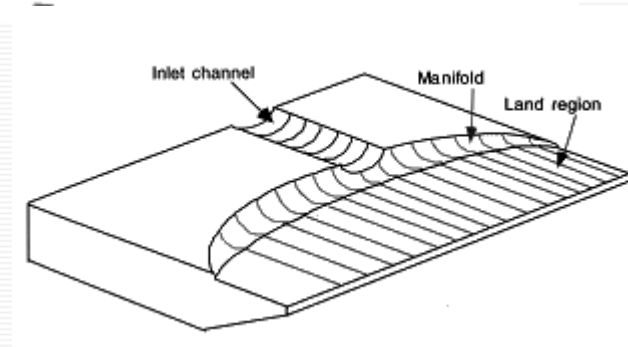
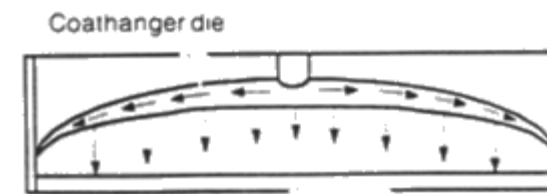
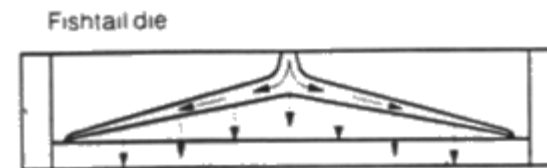
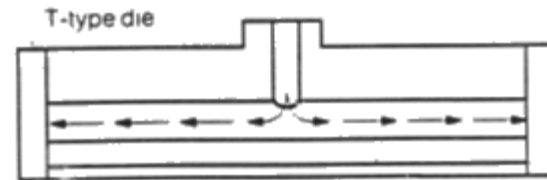
- filmes finos: 10-50 μm
- filmes espessos: 100-400 μm
- chapas p/ termoformagem: 0,2-2,5 mm

Processamento de polímeros

Extrusão de filmes – Tipo de matriz

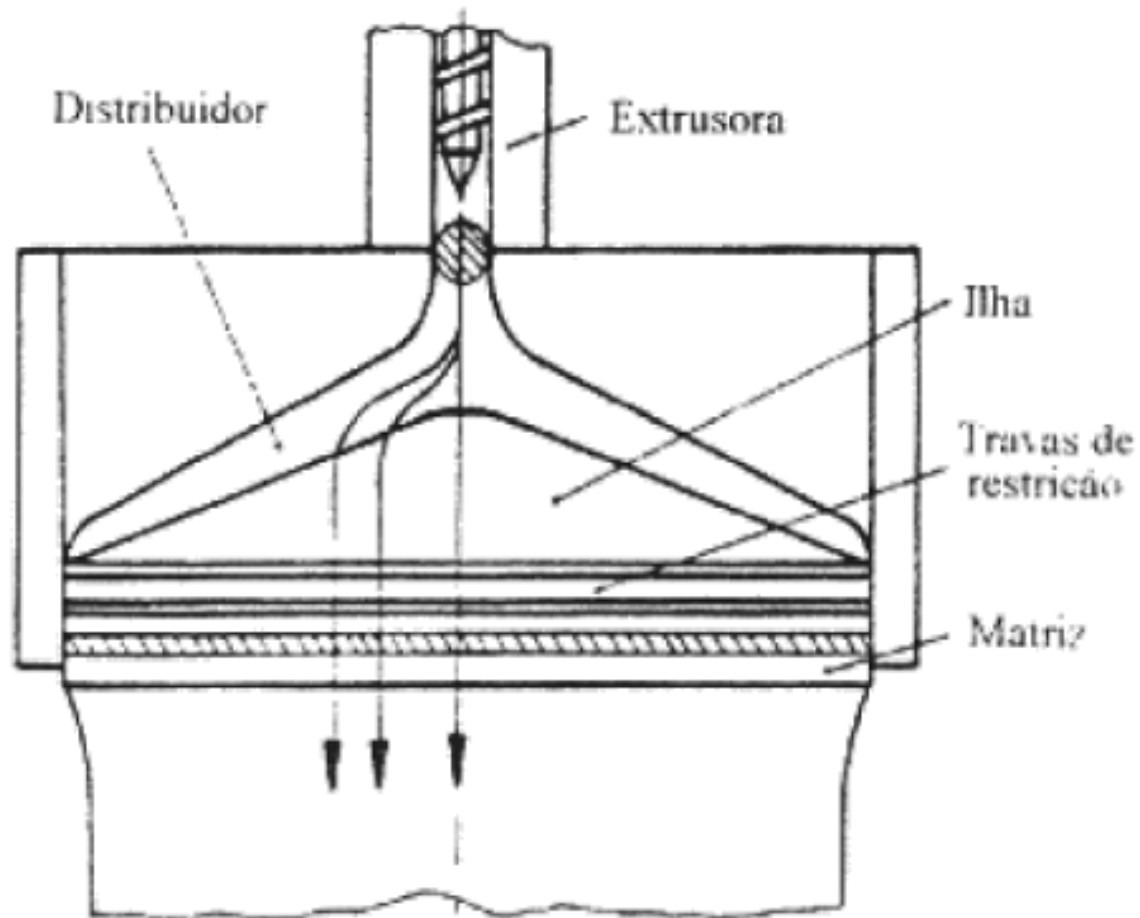
MATRIZ:

- em “T”, “rabo de peixe” ou “cabide”
- posição oblíqua em relação à linha
- espessura reguláveis entre 0,2 e 0,6 mm



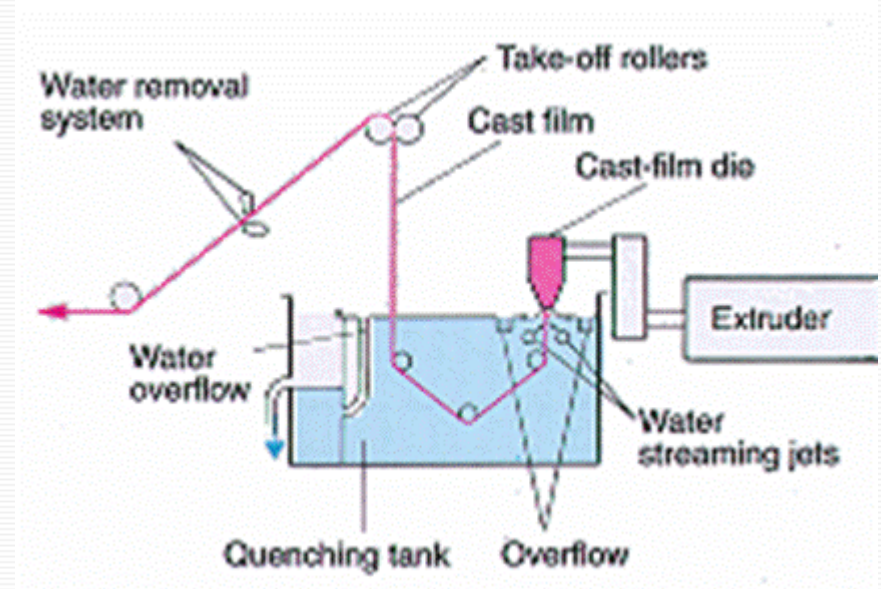
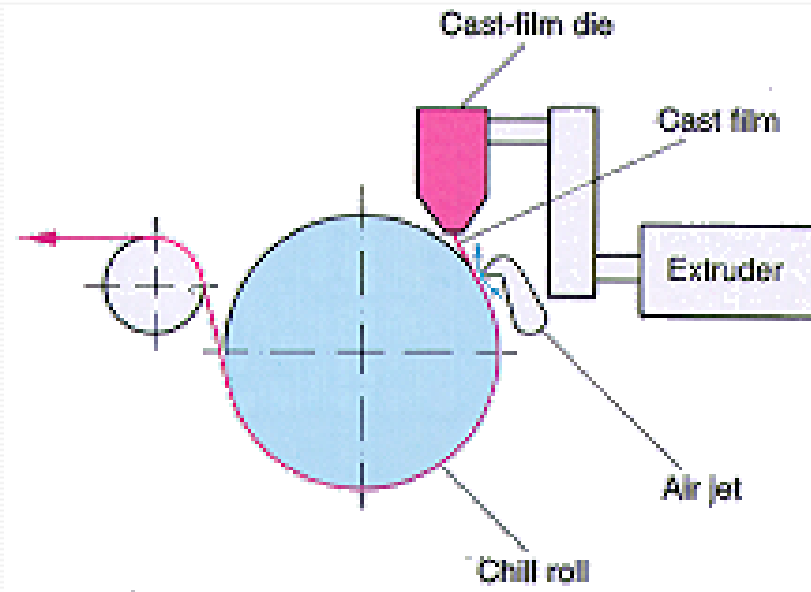
Processamento de polímeros

Extrusão de filmes – Tipo de matriz



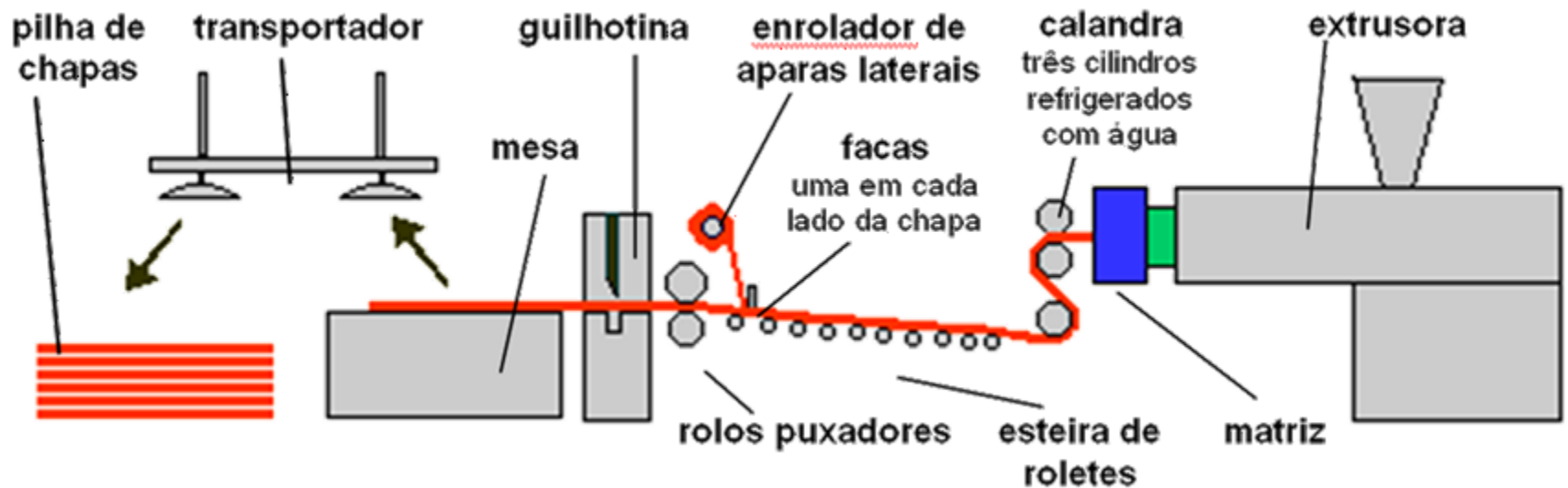
Processamento de polímeros

Extrusão de filmes – Resfriamento



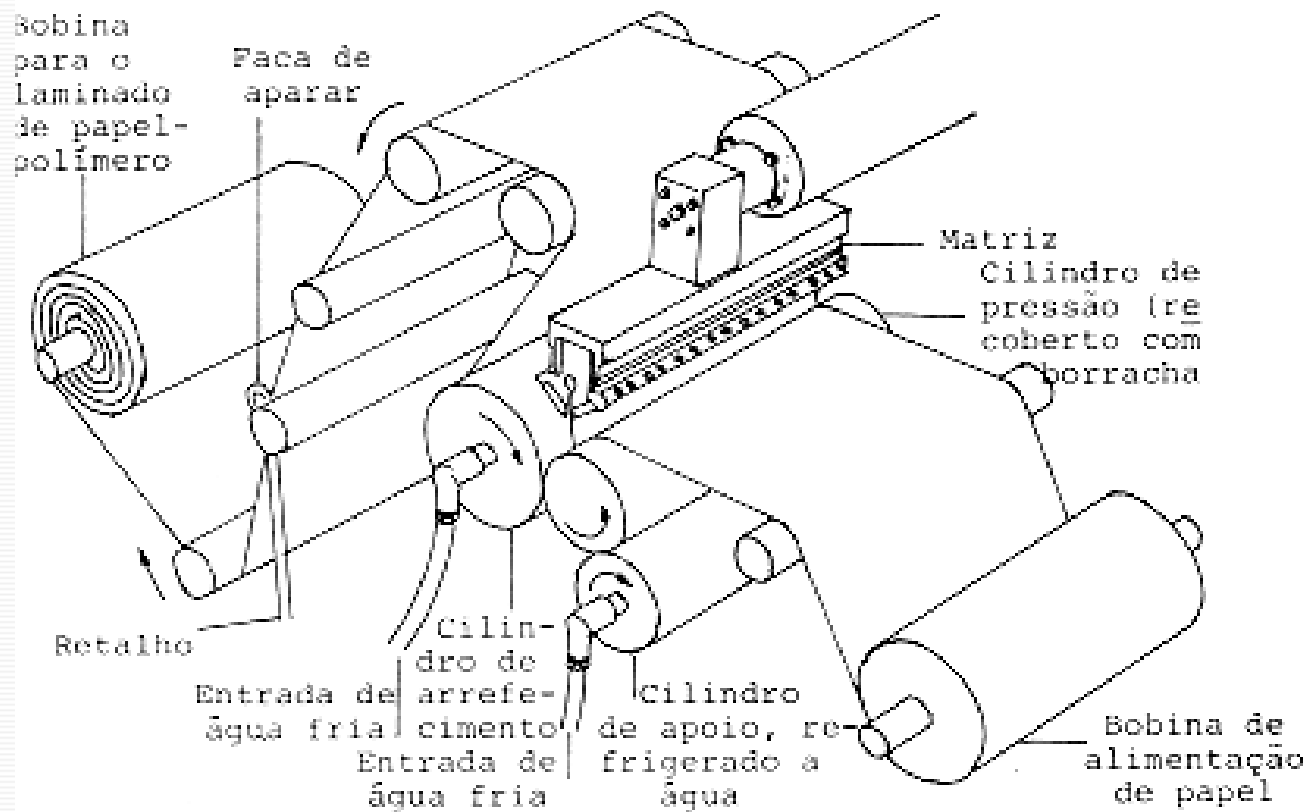
Processamento de polímeros

Extrusão de chapas



Processamento de polímeros

Extrusão-laminação

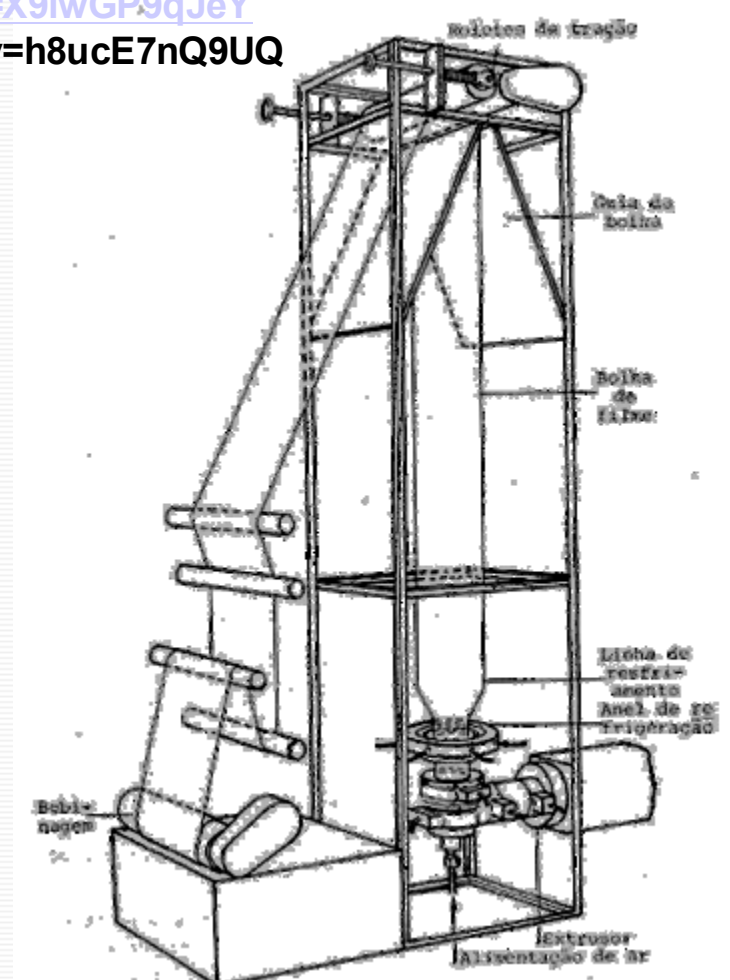
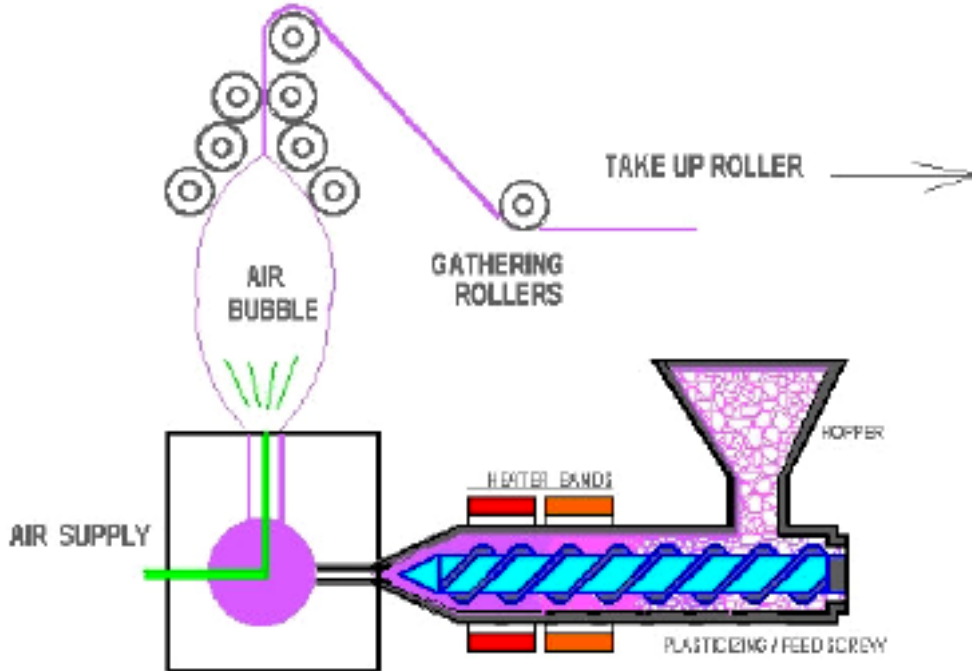


Processamento de polímeros

Processo Tubular de Extrusão

<http://www.youtube.com/watch?v=X9lwGP9qJeY>

<https://www.youtube.com/watch?v=h8ucE7nQ9UQ>



Processamento de polímeros

Processo Tubular de Extrusão – Sistema de Resfriamento

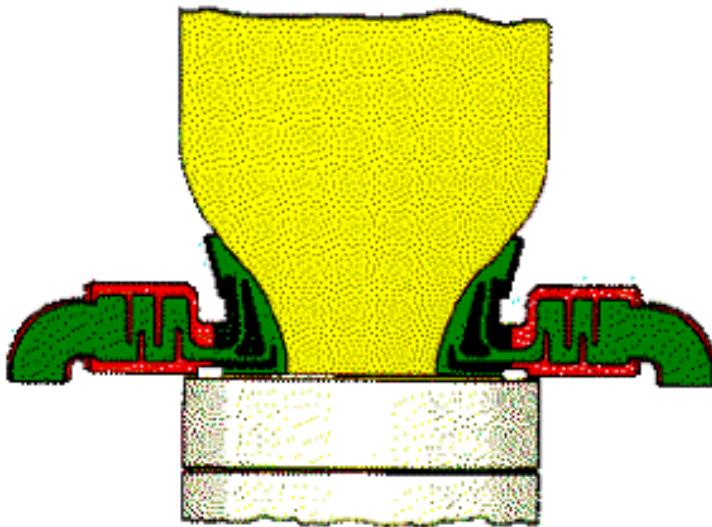


Figura 38– Corte de um anel de resfriamento

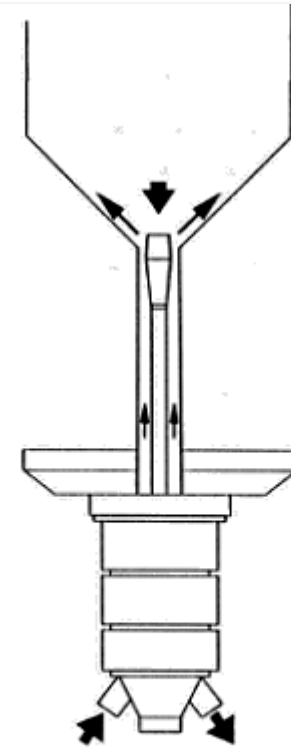


Figura 39– Sistema de resfriamento interno do balão



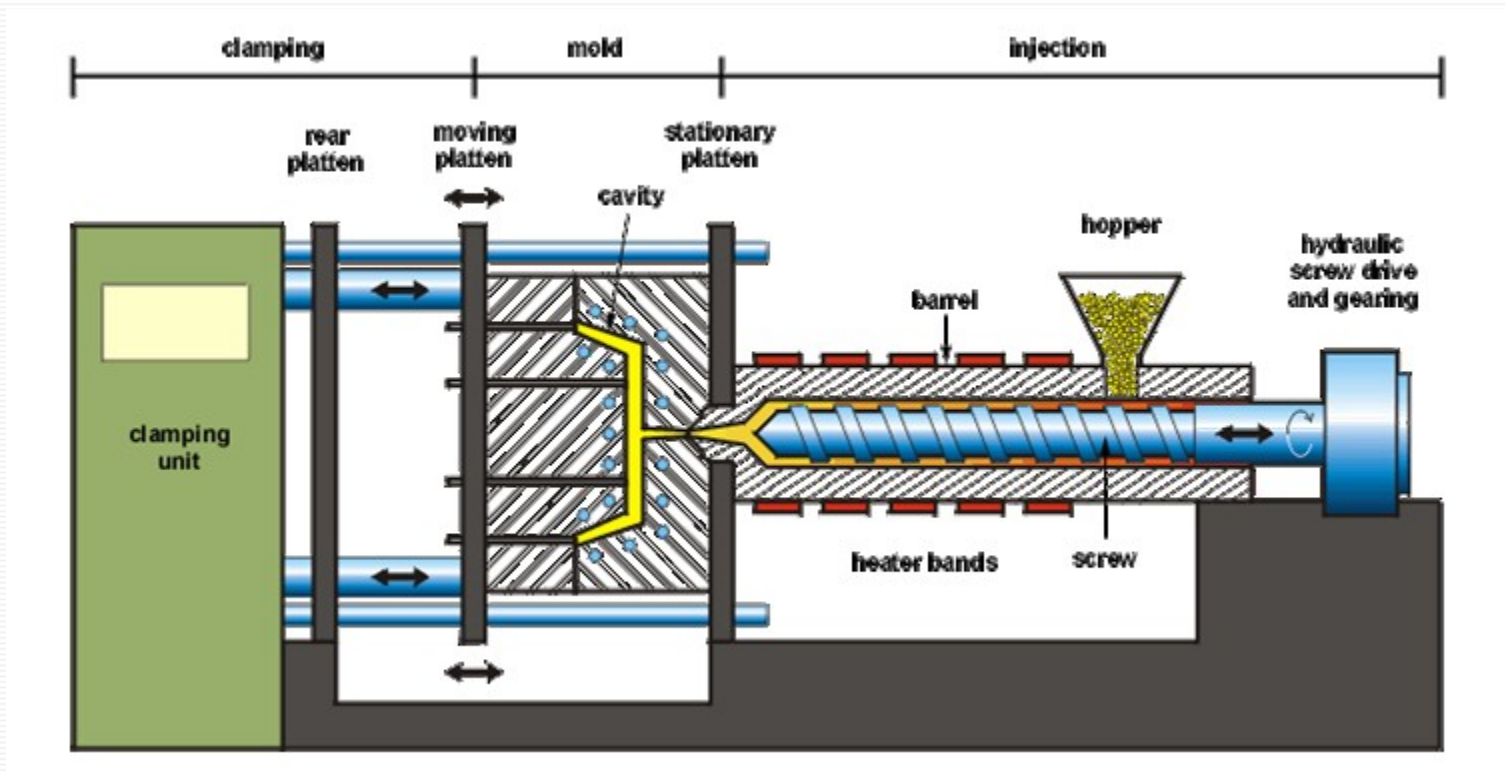
Processamento de polímeros

INJEÇÃO DE POLÍMEROS

Processamento de polímeros

Esquema de uma máquina de moldagem por injeção

parafuso móvel → plástico fundido → injeção no molde



Processamento de polímeros

Máquina de moldagem por injeção



Processamento de polímeros



Processamento de polímeros

Vantagens da moldagem por injeção

- 1 – peças de elevada qualidade
- 2 – custos baixos
- 3 – bom acabamento
- 4 – automatização do processo
- 5 – formas complicadas

Desvantagens da moldagem por injeção

- 1 – elevado custo do equipamento
- 2 – processo de controle bastante rigoroso

Processamento de polímeros

Matéria-prima

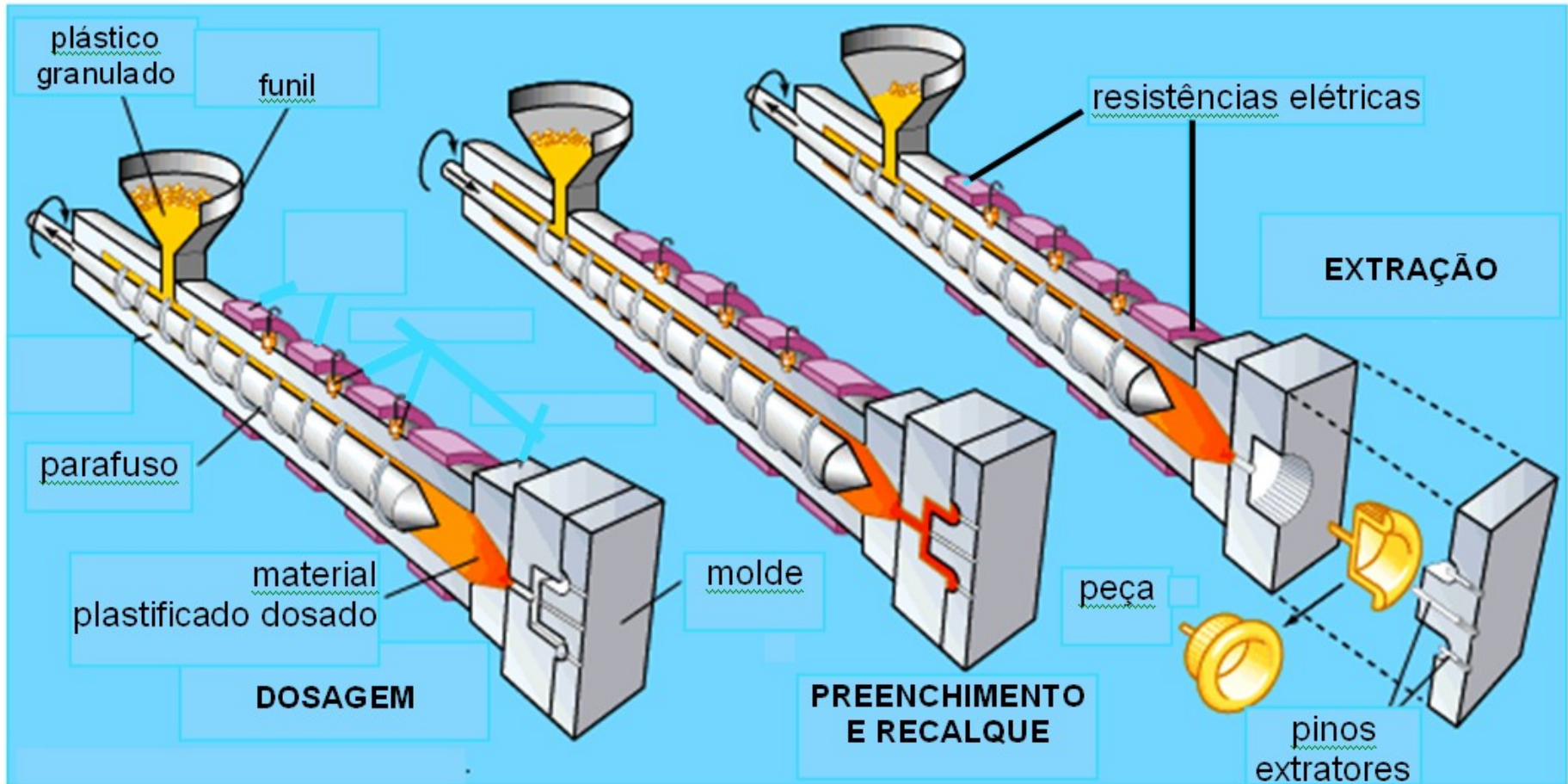
- 1 – Praticamente todos os termoplásticos
- 2 – Praticamente todos os termofíxos

Nos termoplásticos, o molde deve ser **resfriado** para solidificar o polímero.

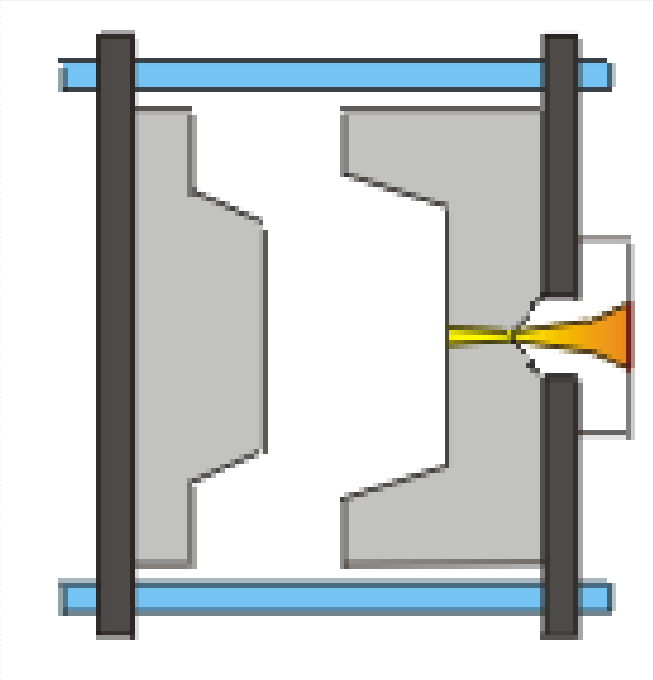
Nos termofíxos, o molde deve ser **aquecido** para a reticulação e solidificação.

Processamento de polímeros

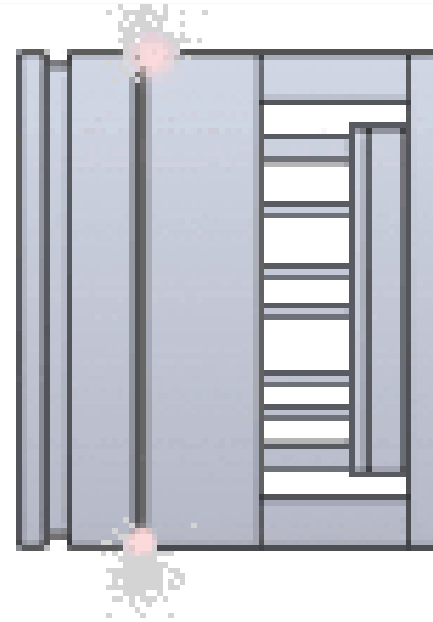
Ciclo de injeção



Processamento de polímeros

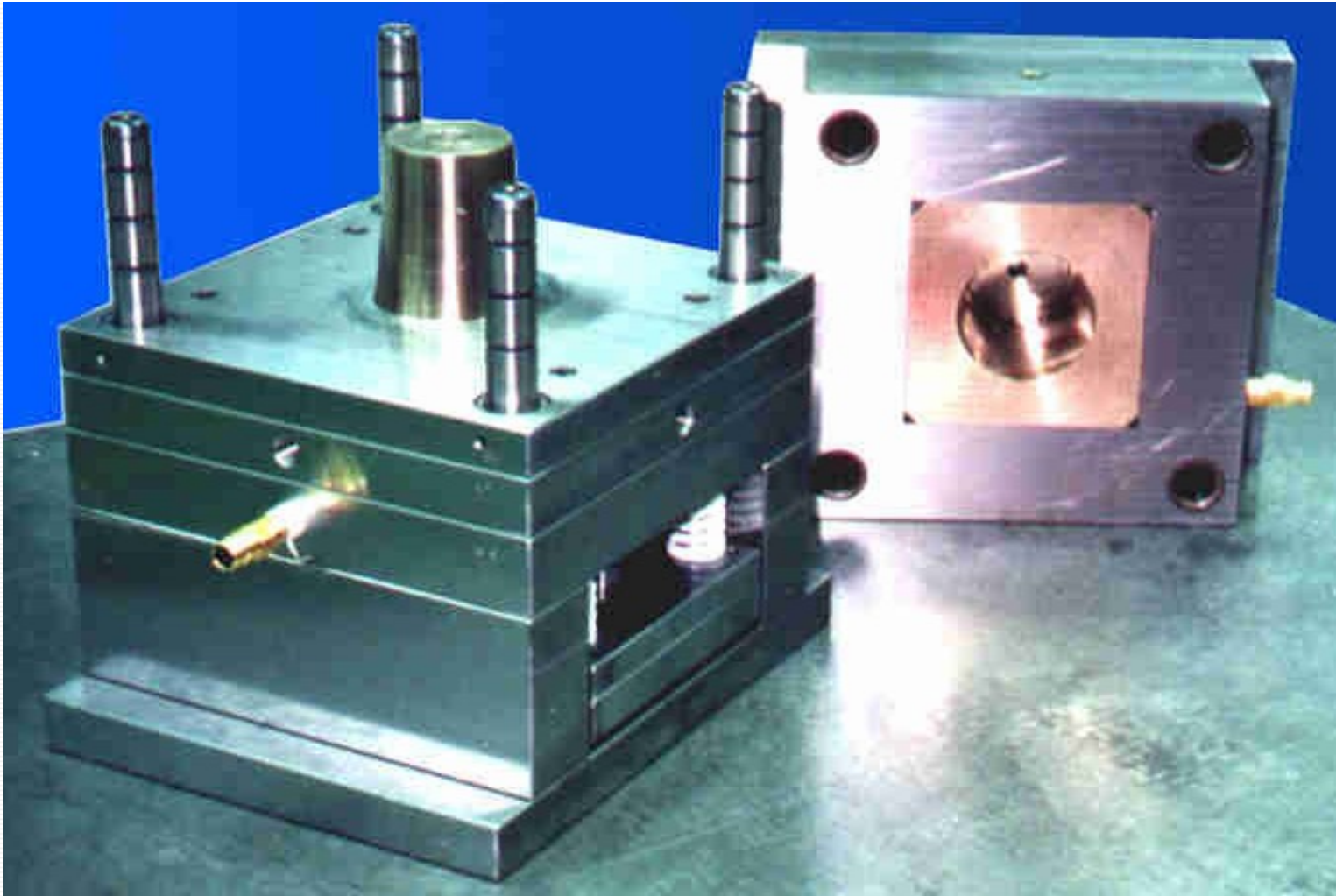


**Detalhe do processo
de injeção**



**Detalhe do processo
de extração**

Processamento de polímeros



Processamento de polímeros

Sistemas de um molde de Injeção

- **Sistema de Alimentação**
- **Sistema de Extração**
- **Sistema de Resfriamento**
- **Saída de Gases**
- **Placa com as Cavidades**



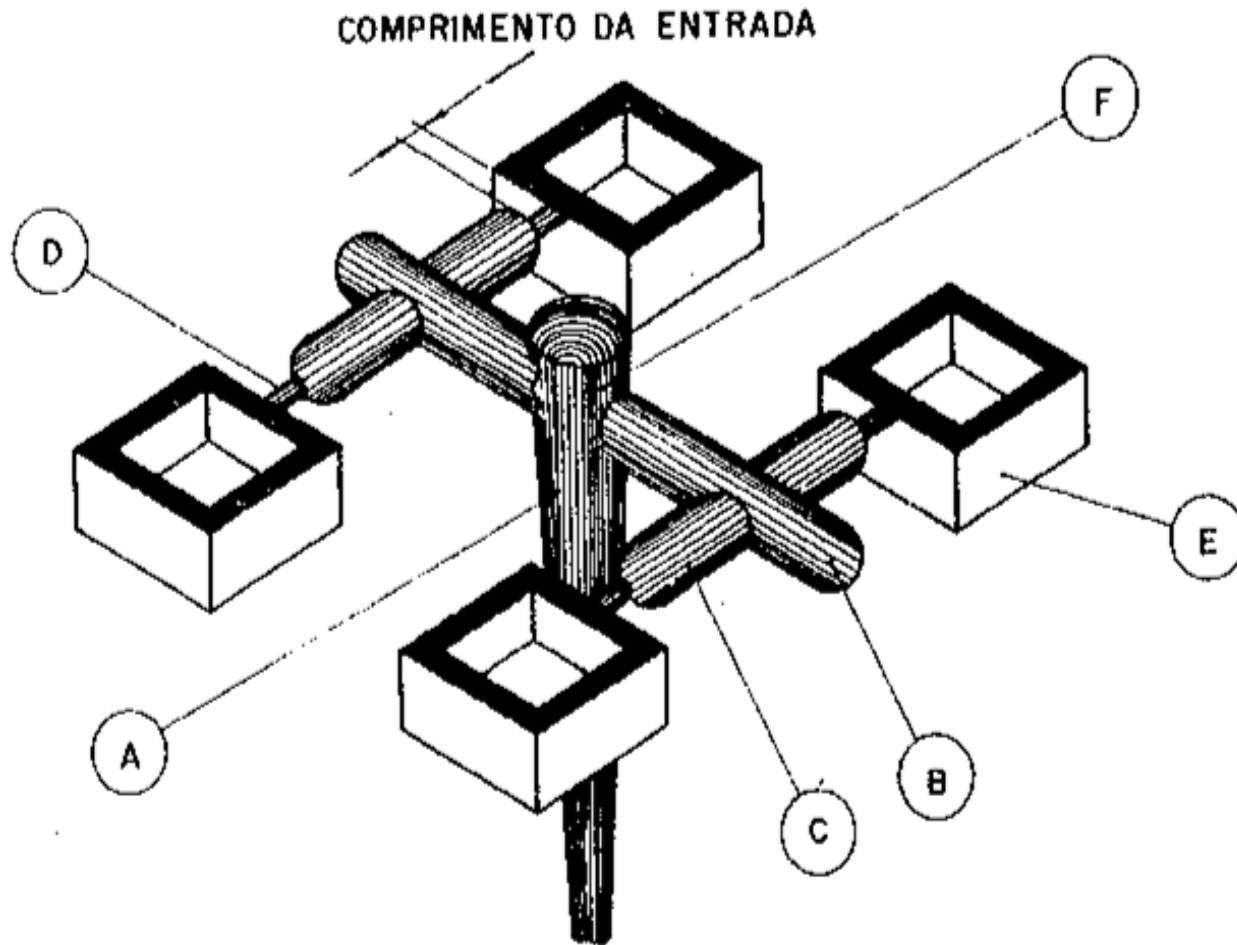
Processamento de polímeros

Funções

- **Receber e distribuir o material plastificado**
- **Modelar**
- **Resfriar**
- **Desmoldar**

Processamento de polímeros

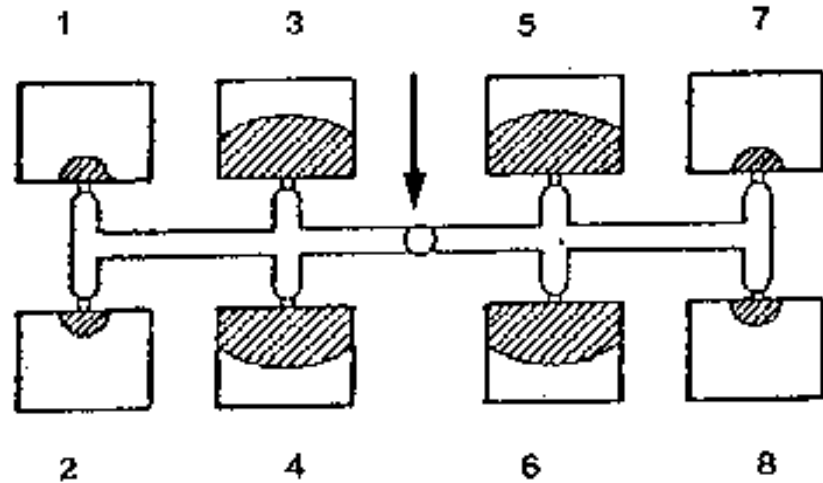
Canais de distribuição



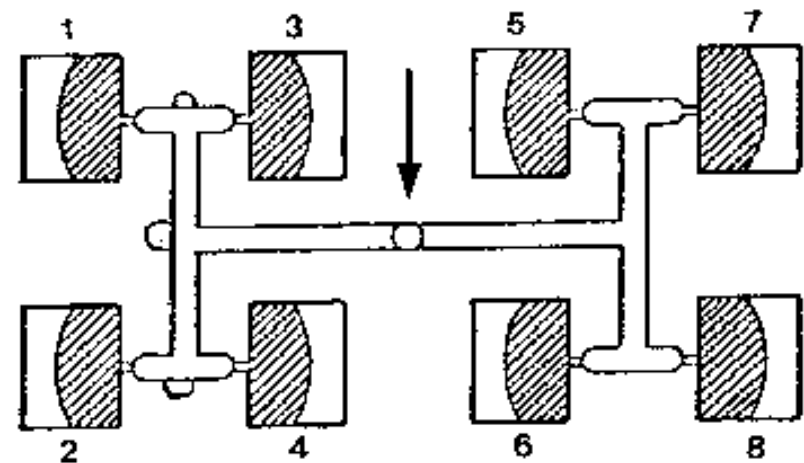
Processamento de polímeros

Canais de distribuição

Não balanceado

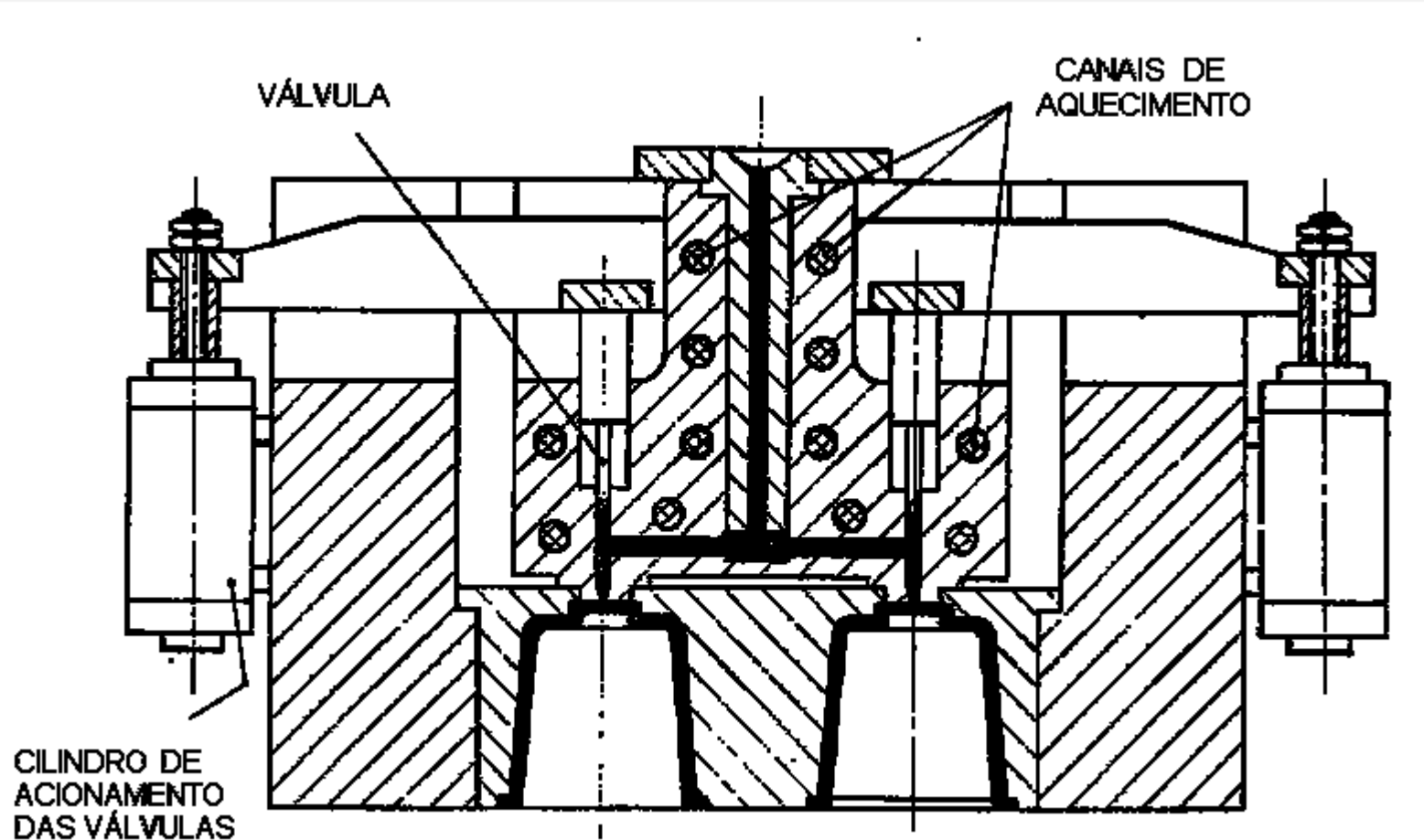


Balanceamento adequado



Processamento de polímeros

Canal de distribuição quente



Processamento de polímeros

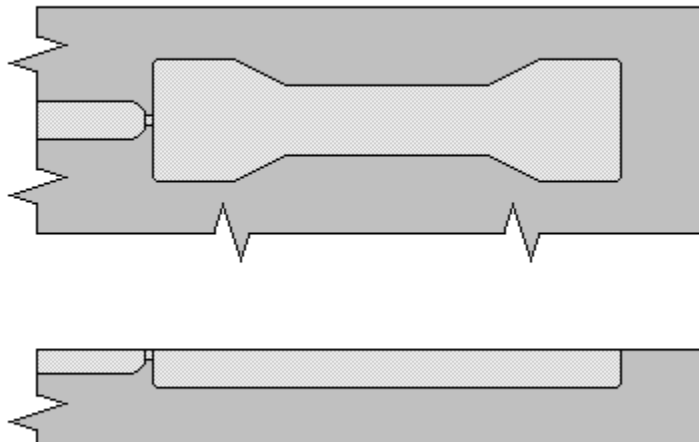
Saída de gases

- São canais rasos que se estendem da cavidade ao exterior do molde
- Saídas ineficientes resultam em:
 - mal preenchimento da peça
 - linhas de emendas fracas
 - contração irregular do moldado
 - queima da superfície da peça

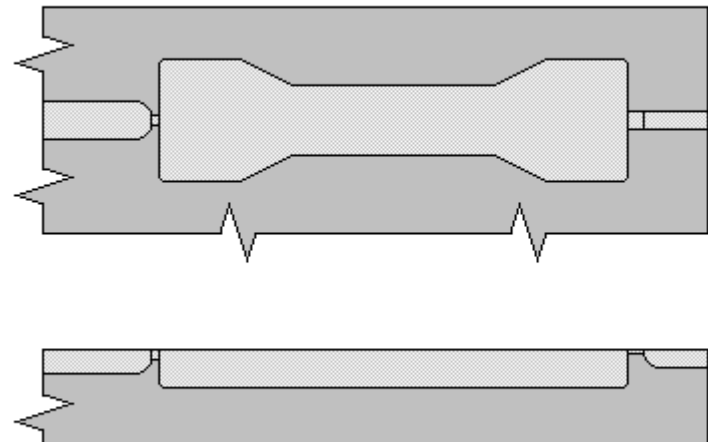
Processamento de polímeros

Saída de gases

Cavidade **sem** saída de gases



Cavidade **com** saída de gases



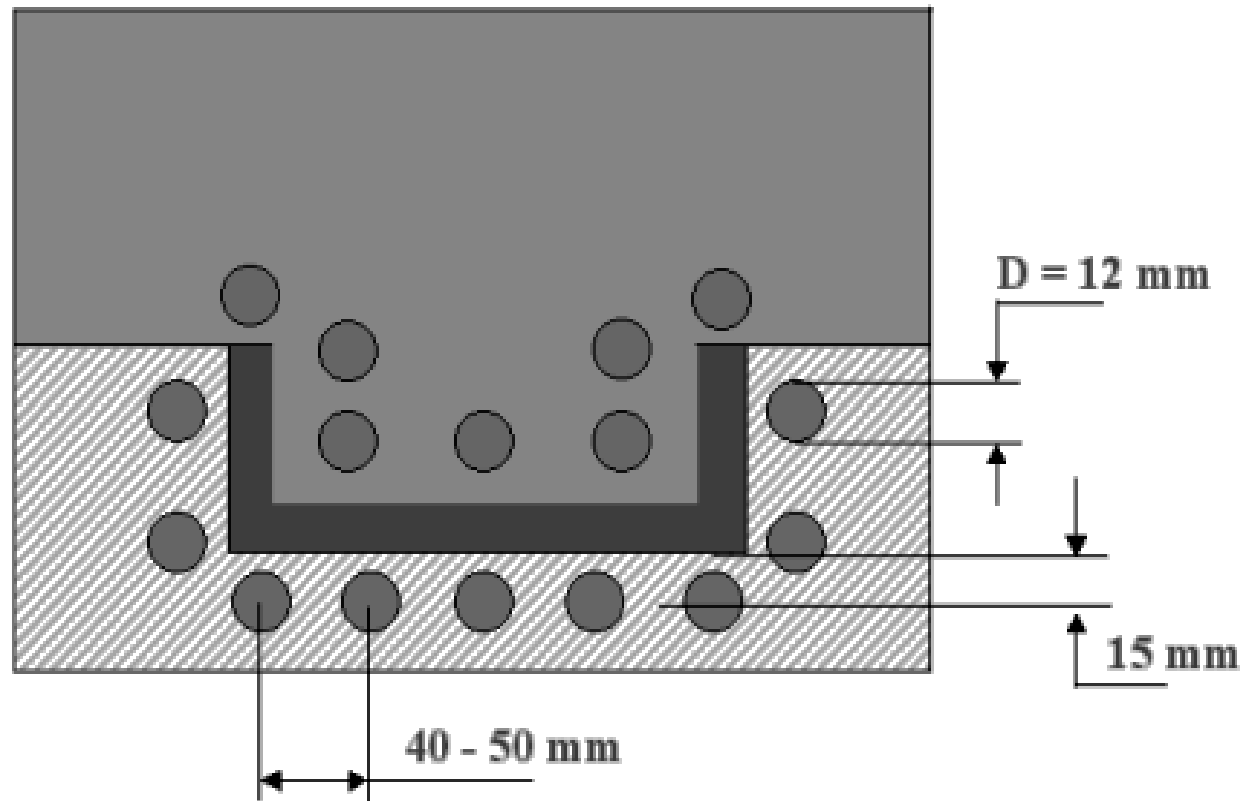
Processamento de polímeros

Sistema de resfriamento

- Constituído por canais no interior do molde para circulação de água
- A diferença de temperatura do líquido entre a entrada no molde e a saída deve ser a menor possível
- Grandes diferença de temperatura no molde (provoa diferentes taxas de resfriamento) causam:
 - peças com contração, brilho, qualidade das linhas de solda, diferentes em cada ponto

Processamento de polímeros

Sistema de resfriamento



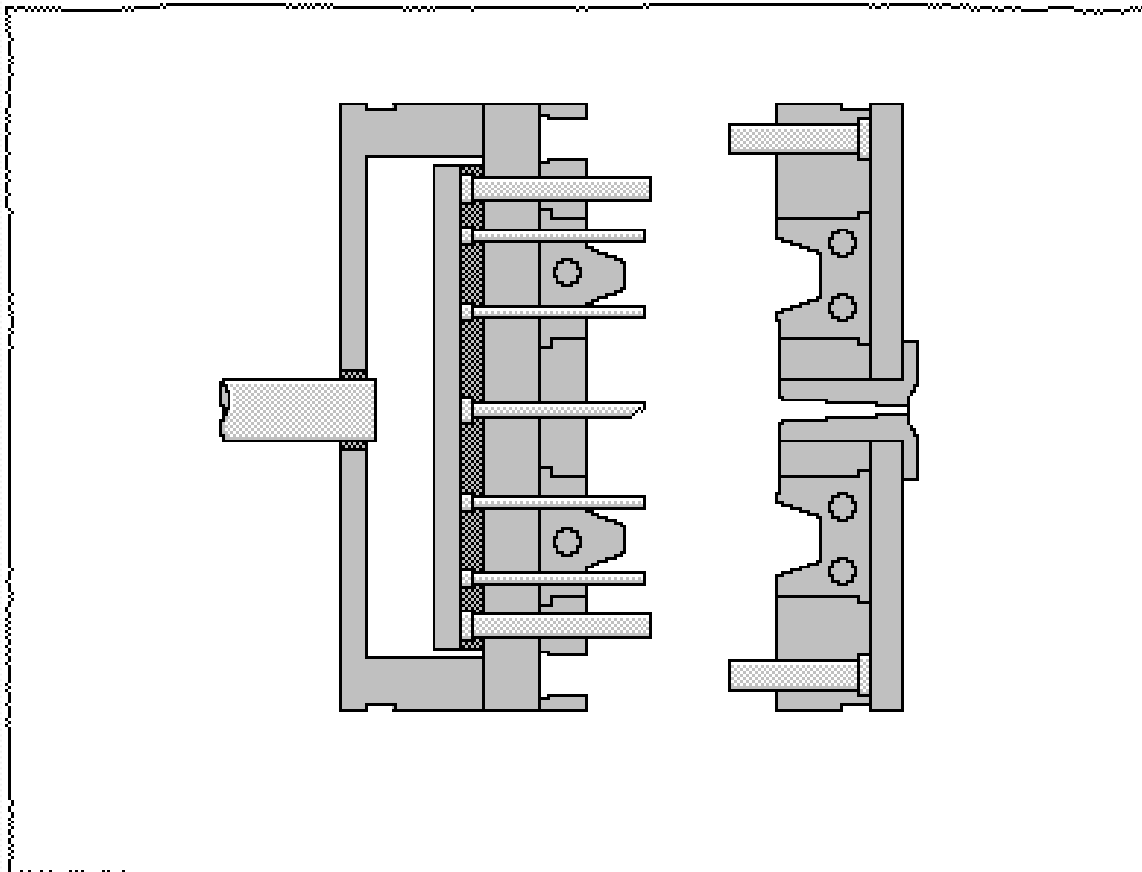
Processamento de polímeros

Sistema de extração

- Devem atuar na face inferior da moldagem (não vista) - evitar marcas nas faces expostas
- A extração pode ser feita por:
 - Pinos
 - Placas
 - Ar comprimido
 - Núcleo Rotativo
 - Ventosas...

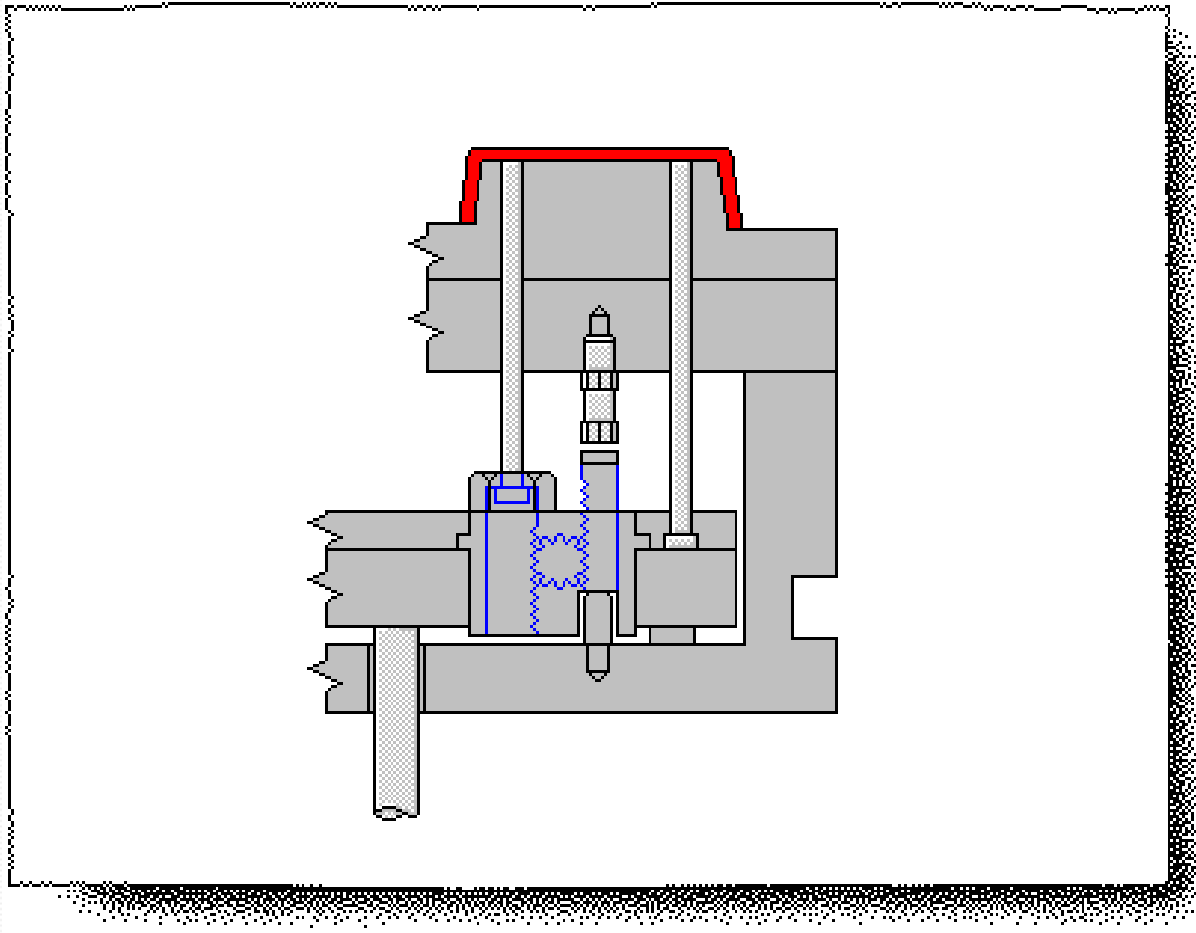
Processamento de polímeros

Sistema de extração



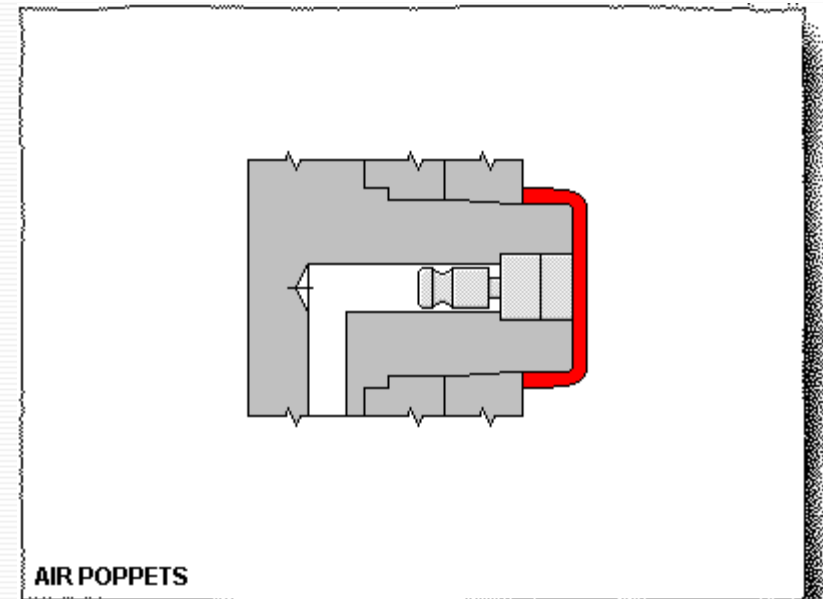
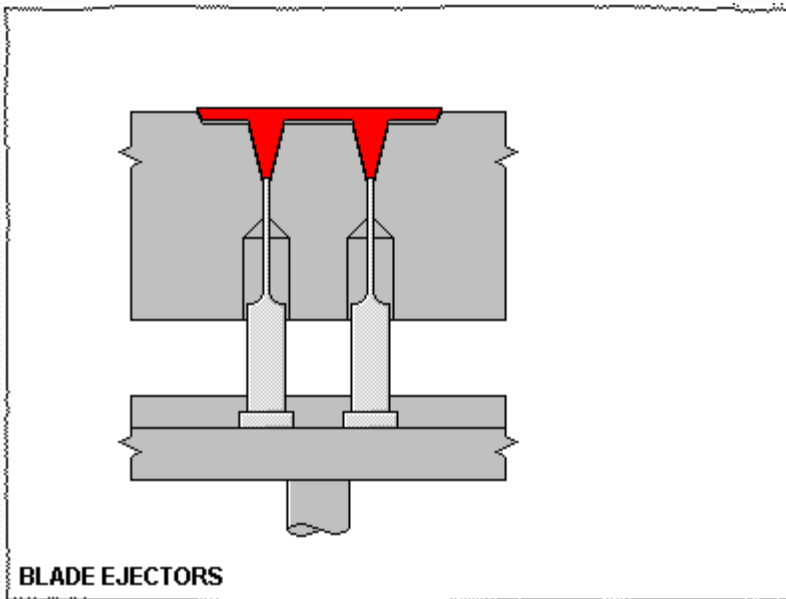
Processamento de polímeros

Sistema de extração



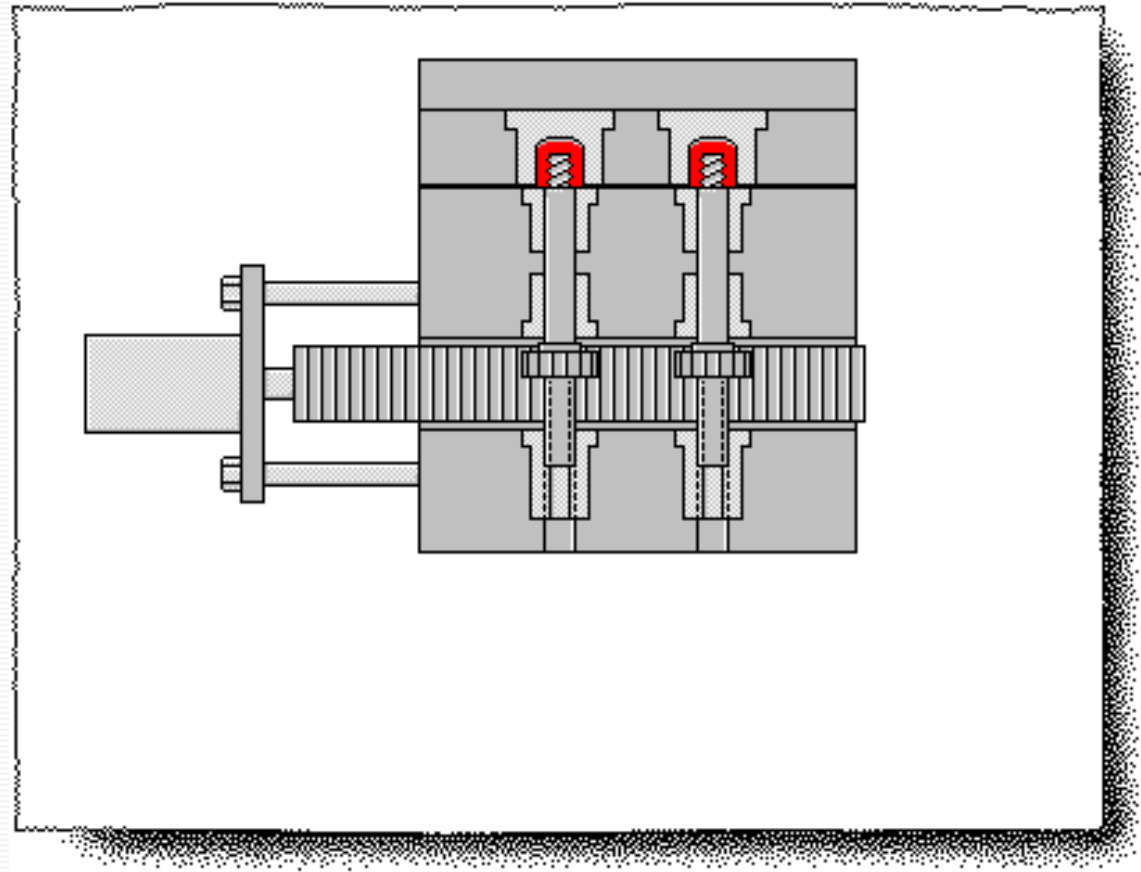
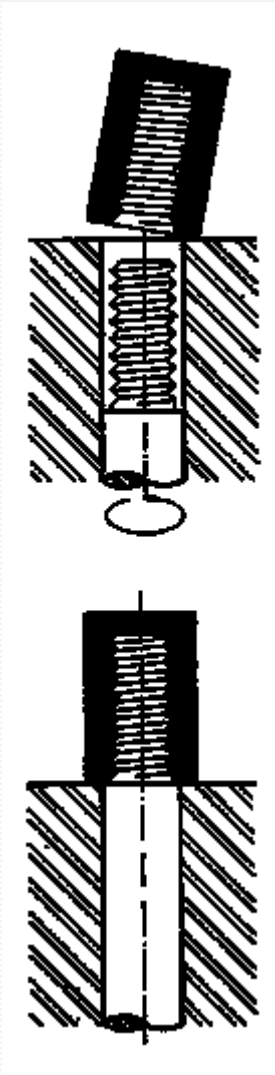
Processamento de polímeros

Sistema de extração



Processamento de polímeros

Sistema de extração





Processamento de polímeros

MOLDAGEM DE POLÍMEROS POR SOPRO

Processamento de polímeros

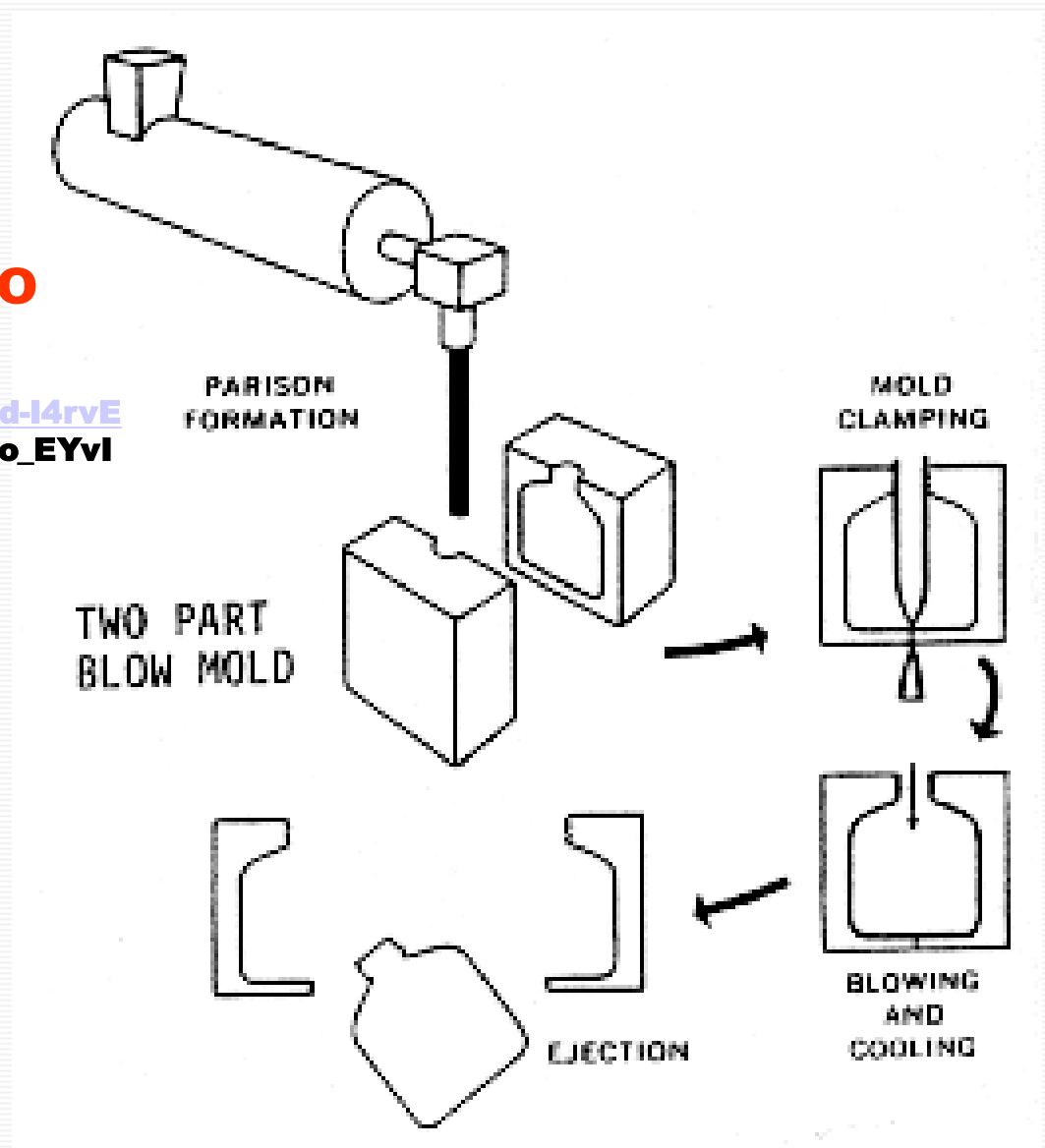
Etapas no processo de moldagem por sopro

- 1. Plastificação do material**
- 2. Obtenção de pré-forma**
- 3. Fechamento do molde sobre a pré-forma**
- 4. Sopro para expansão**
- 5. Resfriamento**
- 6. Extração**

Processamento de polímeros

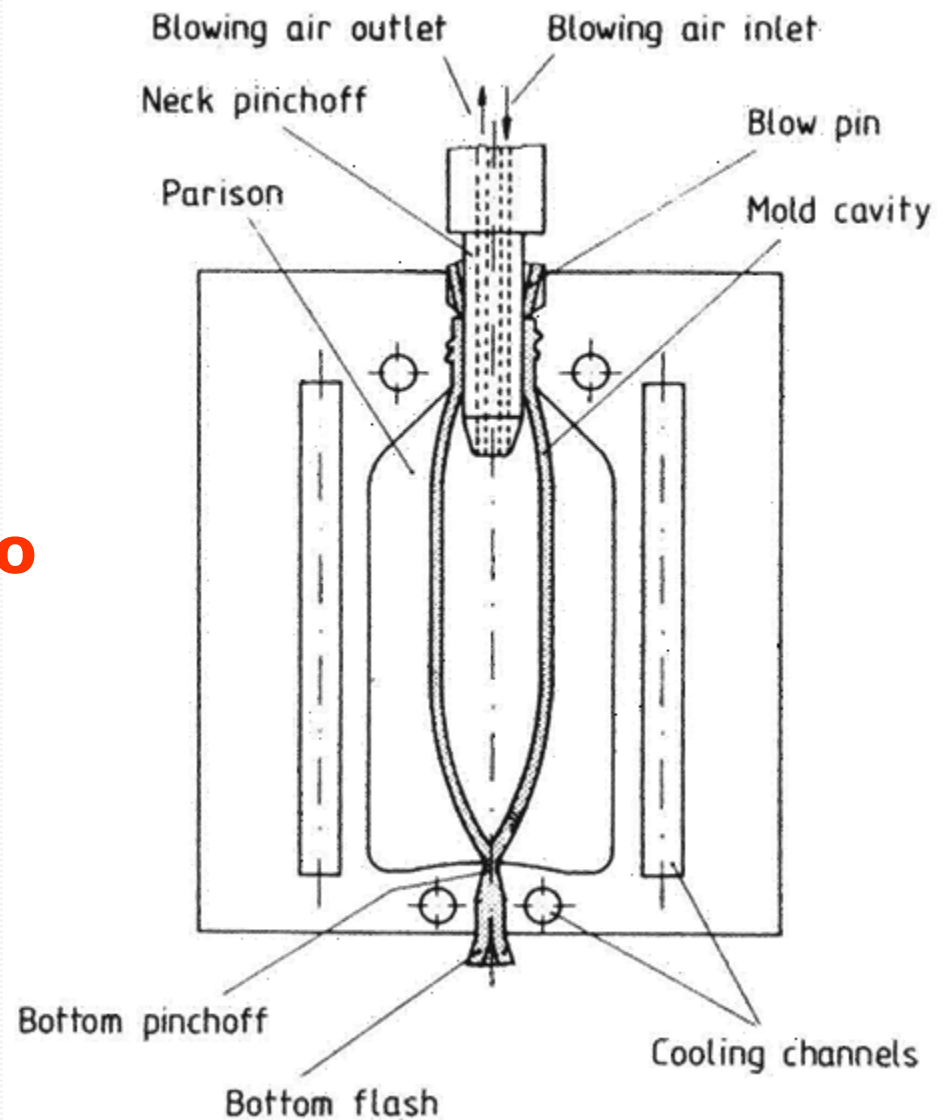
Processo extrusão-sopro

<https://www.youtube.com/watch?v=403Xd-I4rvE>
https://www.youtube.com/watch?v=8-fooo_EYvI



Processamento de polímeros

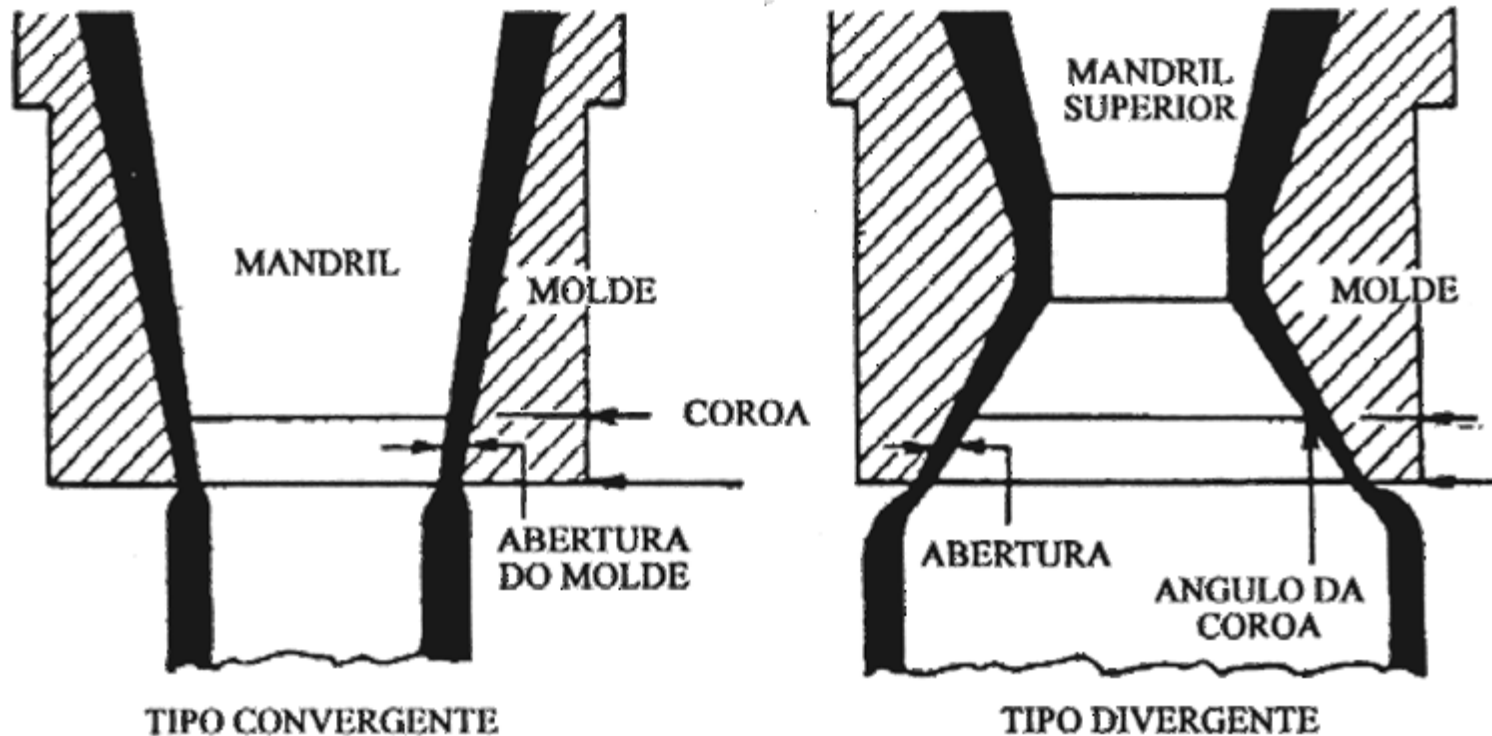
**Processo
extrusão-sopro
PARISON**



Processamento de polímeros

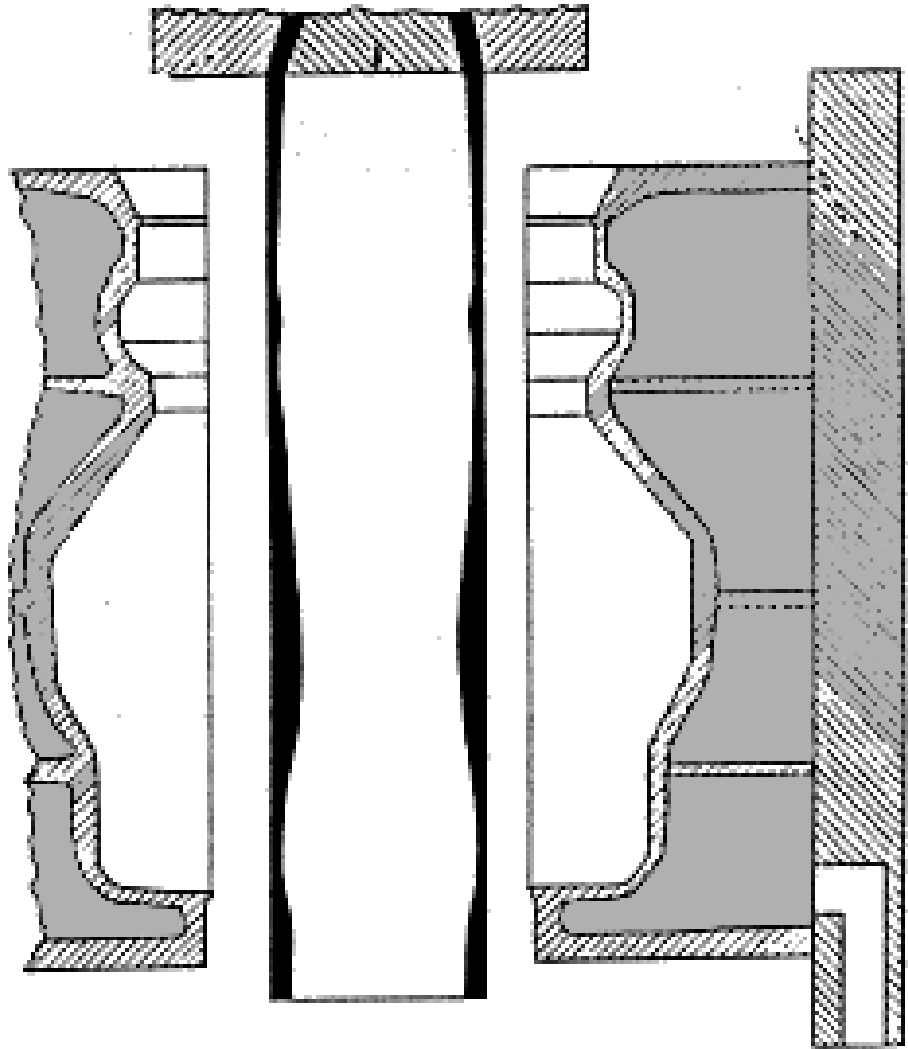
Características dos produtos e processos

Espessura de parede desuniforme



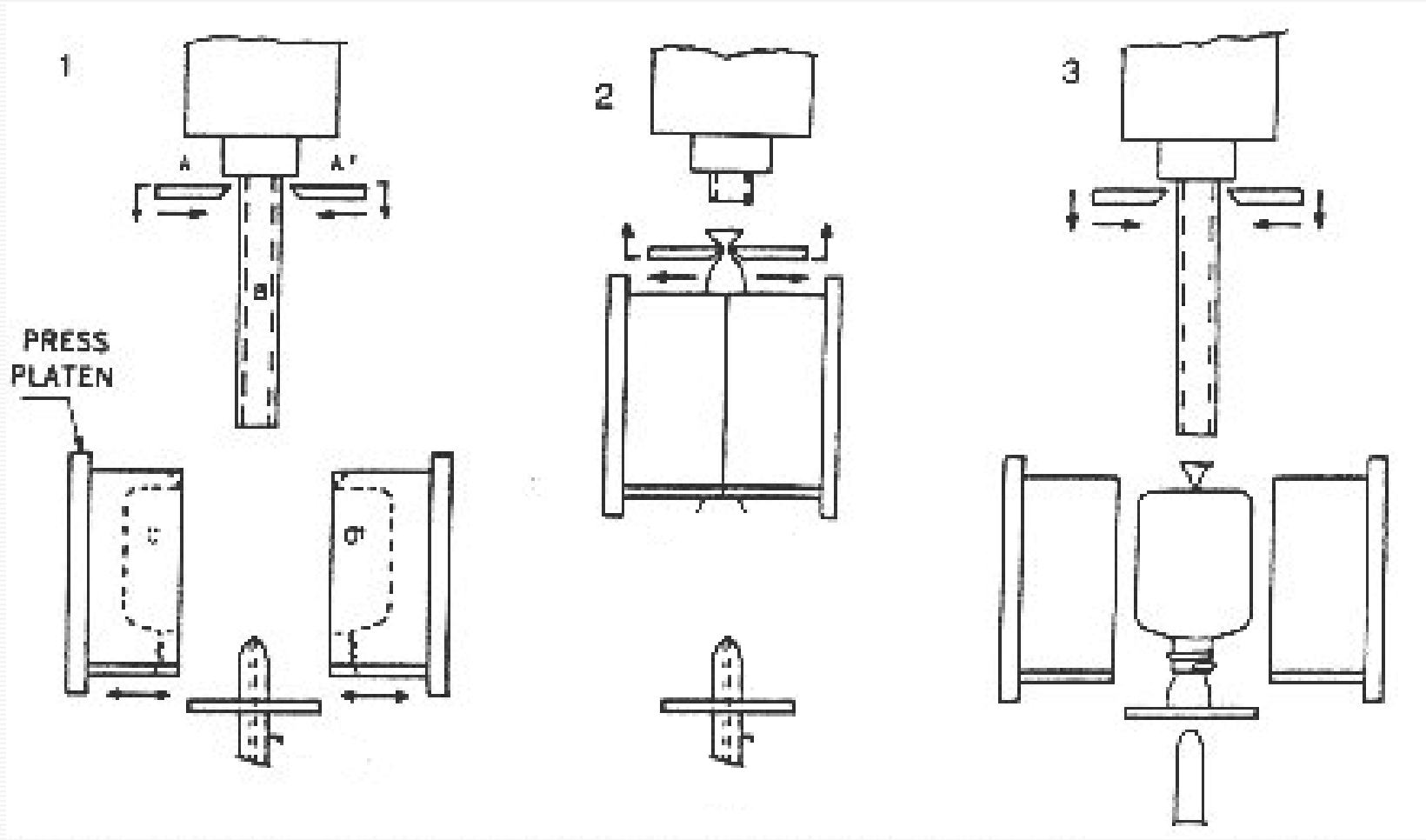
Processamento de polímeros

Variação da espessura da parede para uniformizar o produto acabado



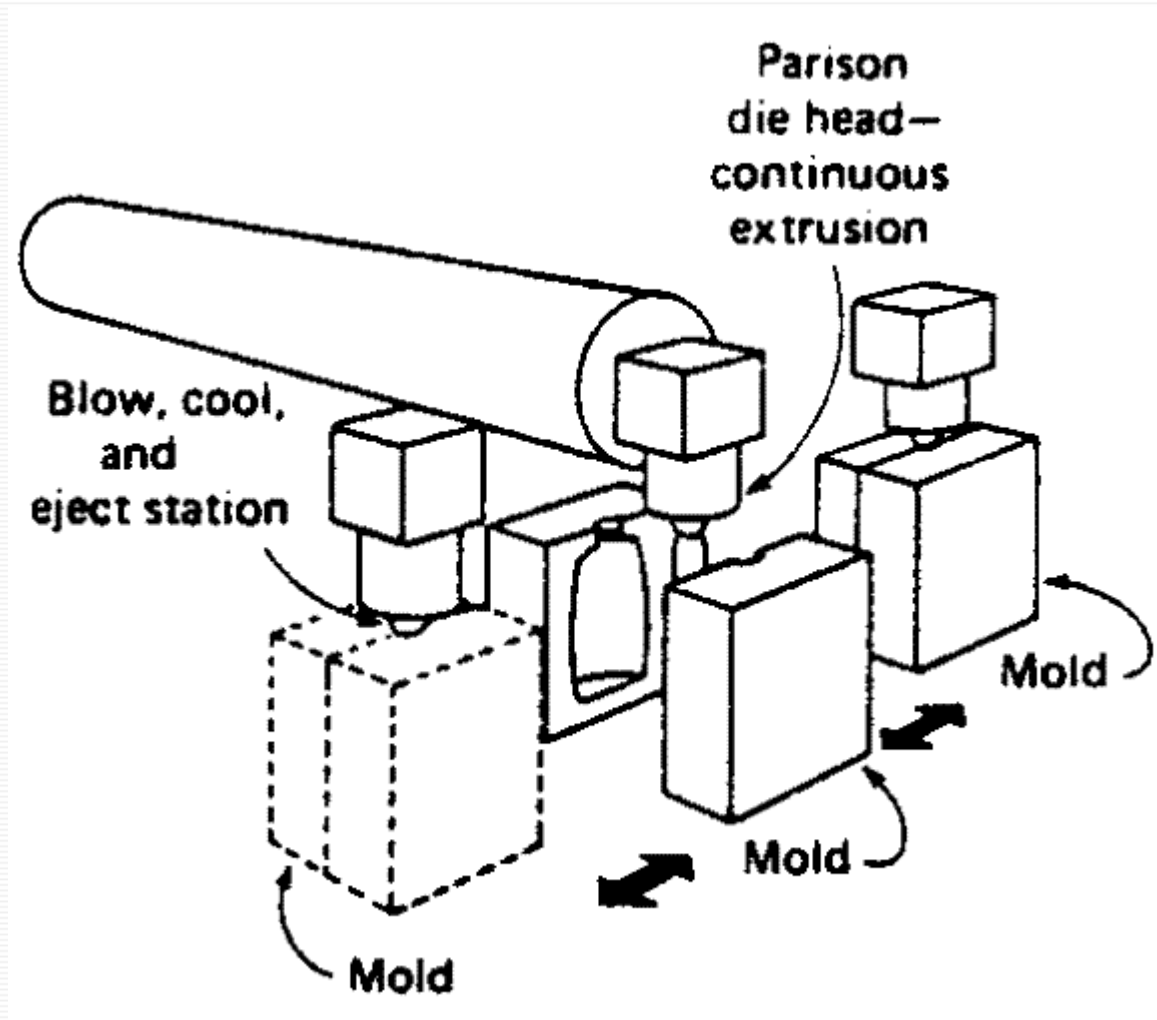
Processamento de polímeros

Extrusão contínua com molde ascendente



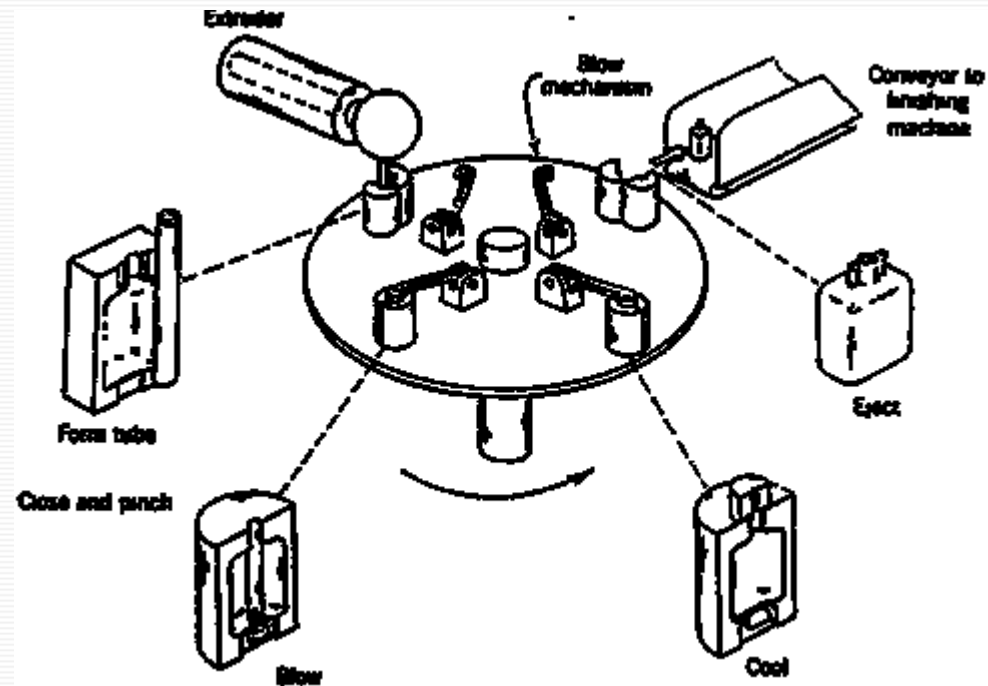
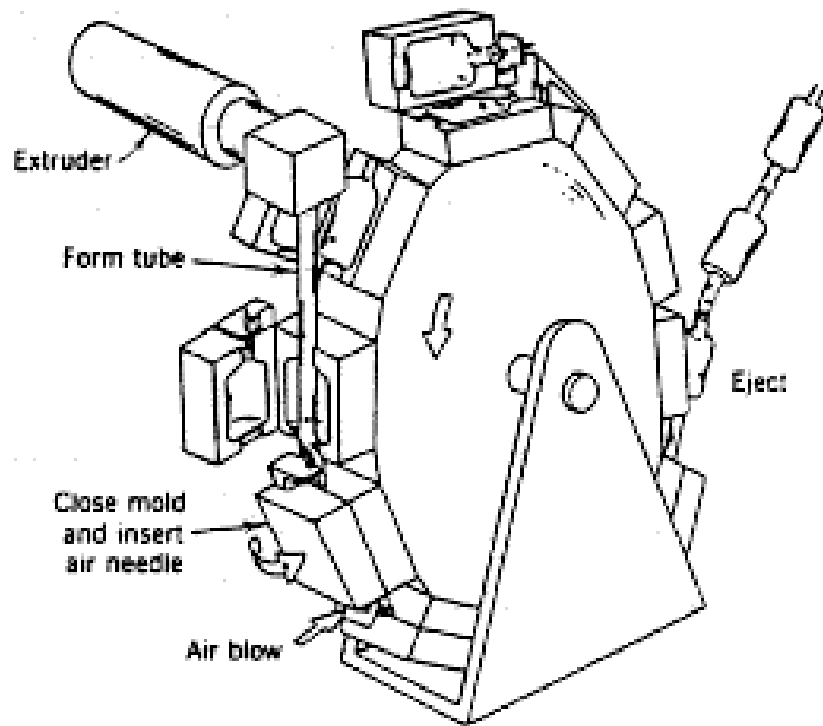
Processamento de polímeros

Extrusão contínua com molde deslizante



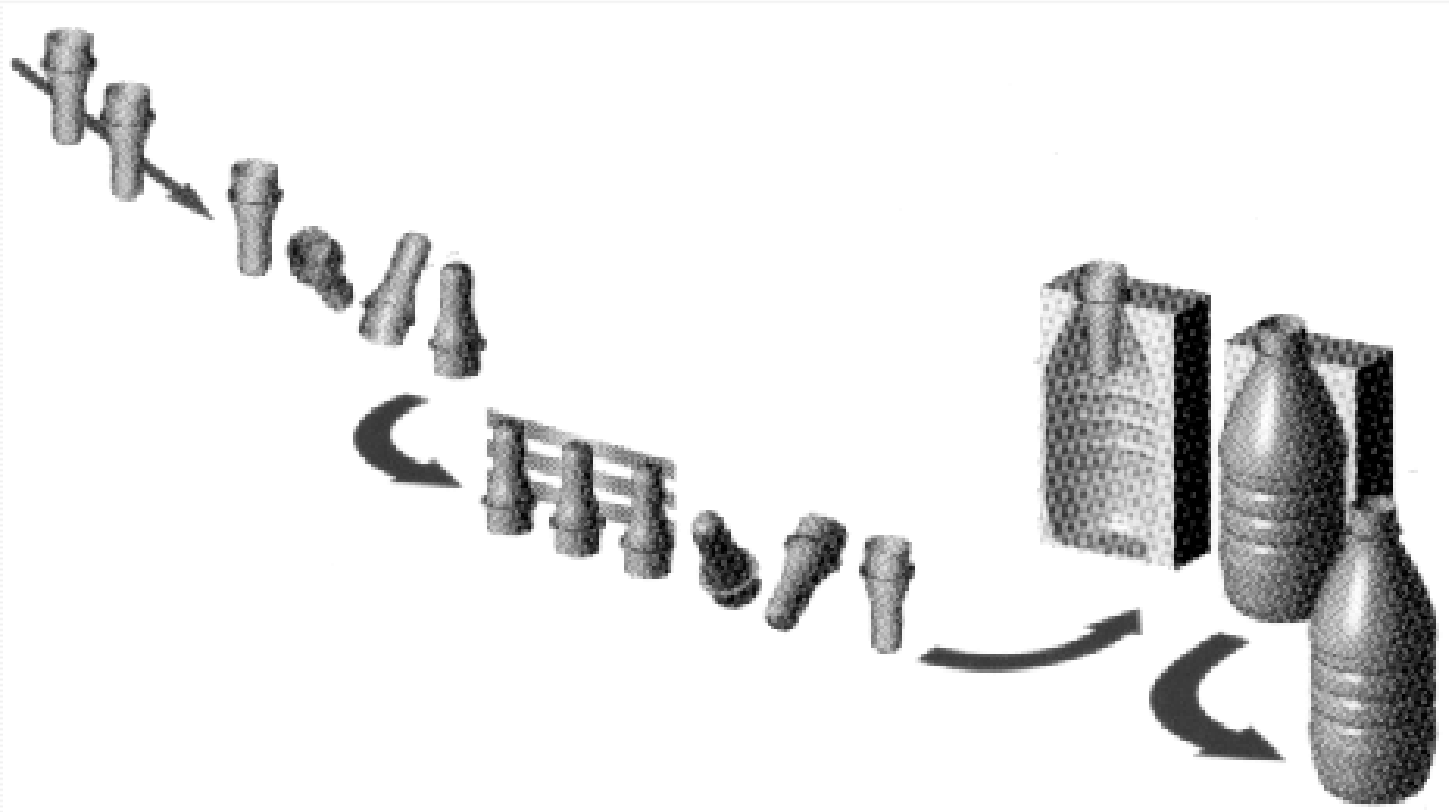
Processamento de polímeros

Extrusão contínua com árvore rotativa



Processamento de polímeros

Processo INJEÇÃO-SOPRO

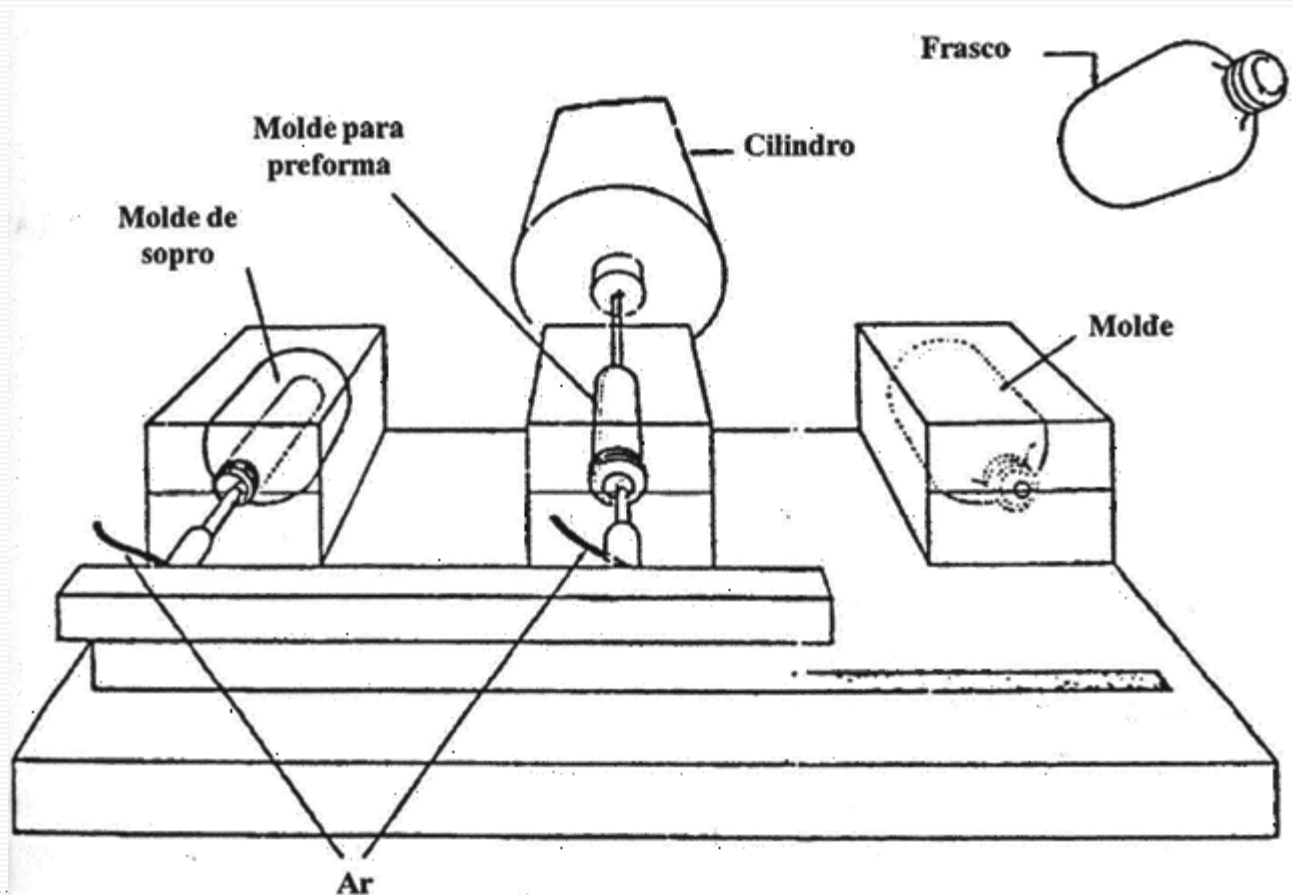


Processamento de polímeros

INJEÇÃO-SOPRO – Pinos de deslizamento

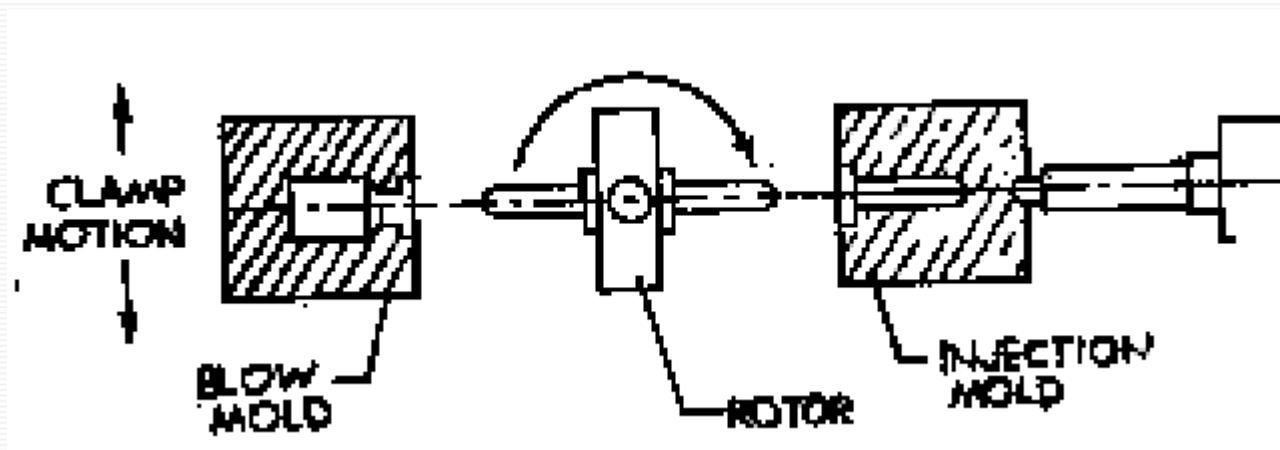
https://www.youtube.com/watch?v=bu_QoXQUzJU

<https://www.youtube.com/watch?v=JTE0qQi-1Cw>



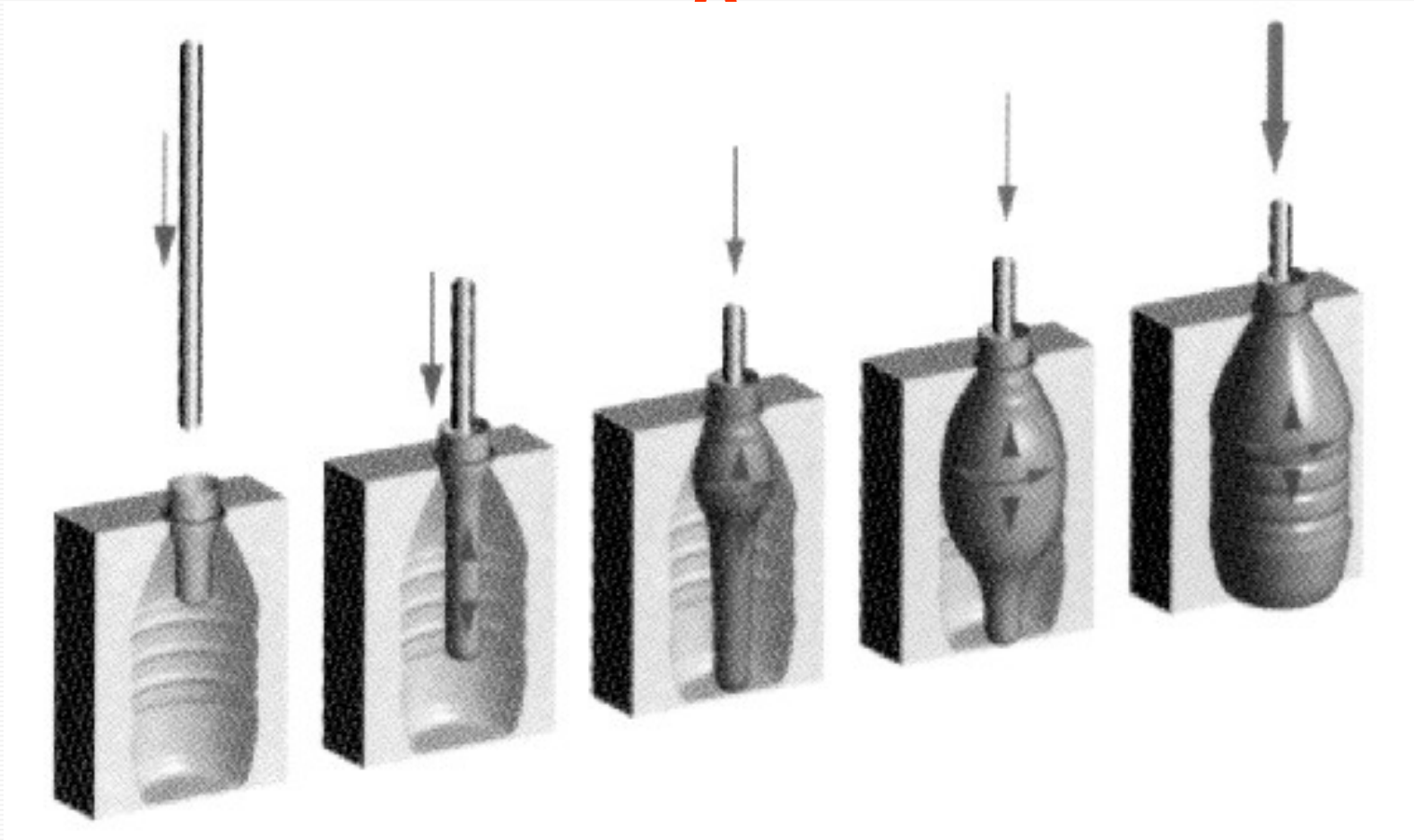
Processamento de polímeros

INJEÇÃO-SOPRO – Árvores rotativas com duas posições



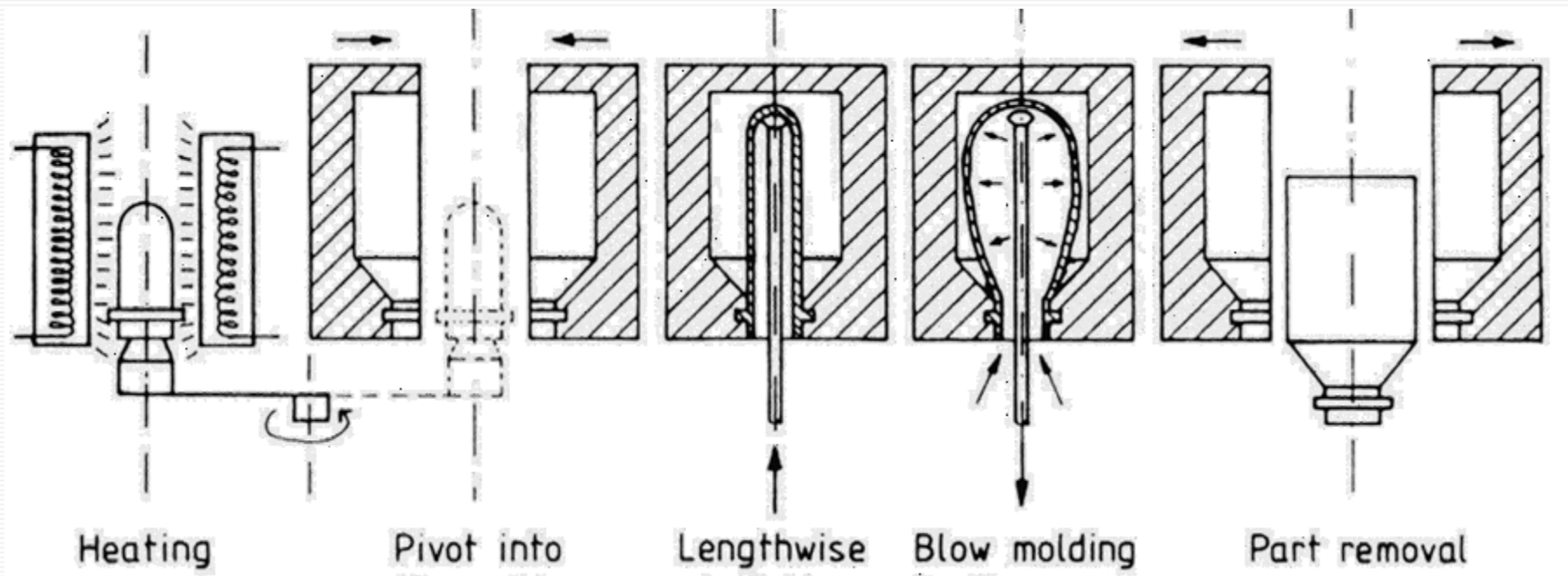
Processamento de polímeros

Processo INJEÇÃO - ESTIRAMENTO - SOPR



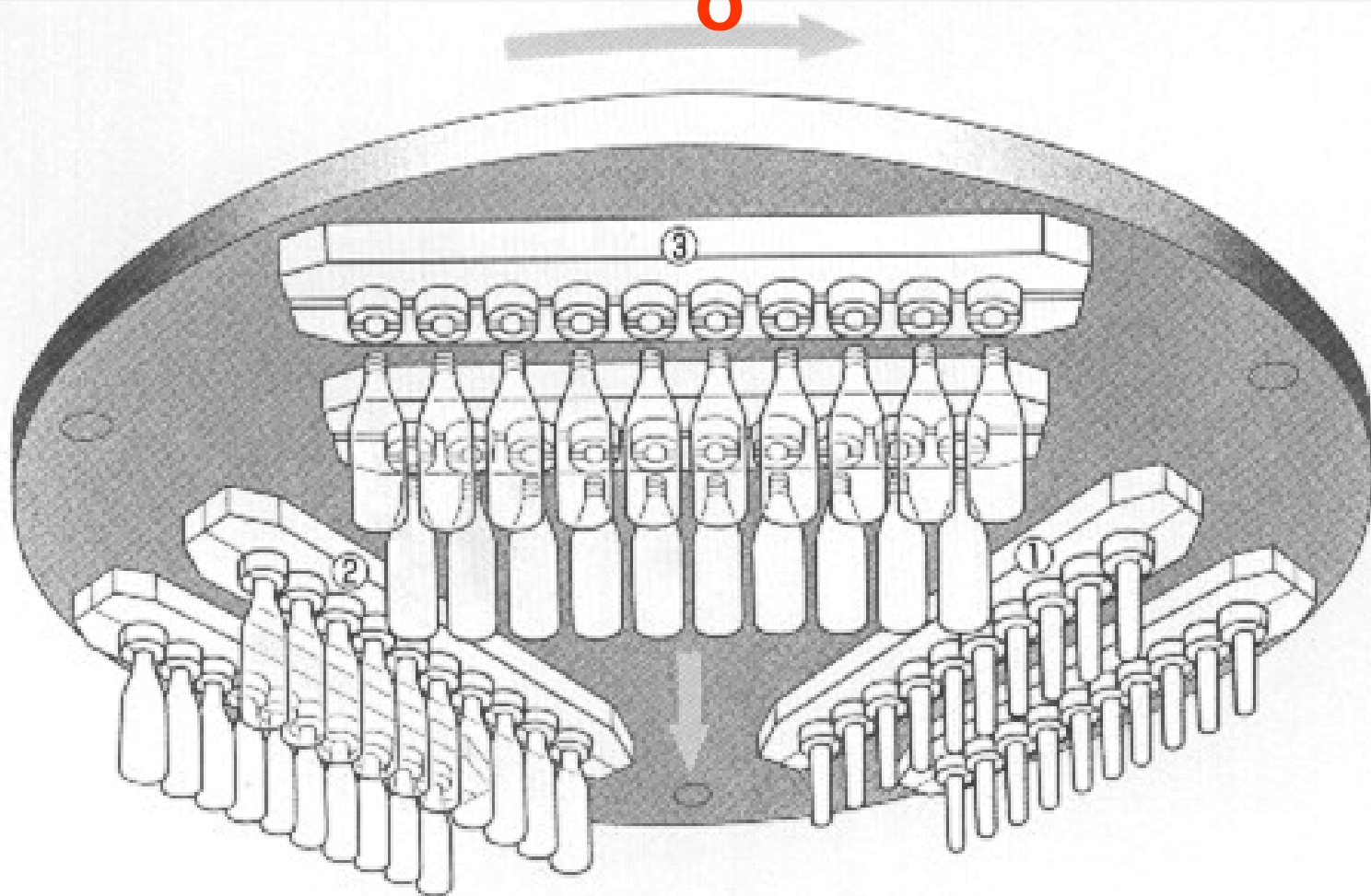
Processamento de polímeros

Processo INJEÇÃO - ESTIRAMENTO - SOPR O



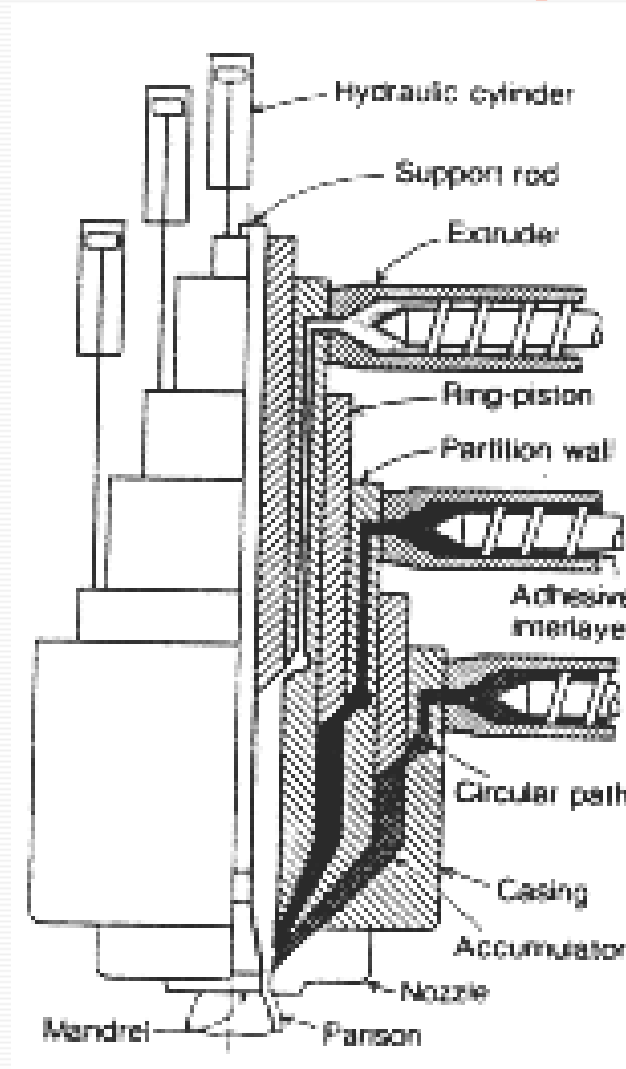
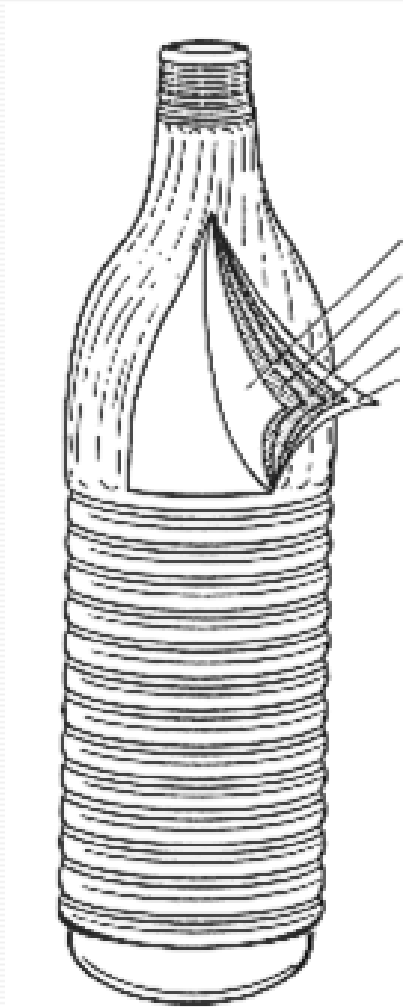
Processamento de polímeros

Processo INJEÇÃO - ESTIRAMENTO - SOPRADO



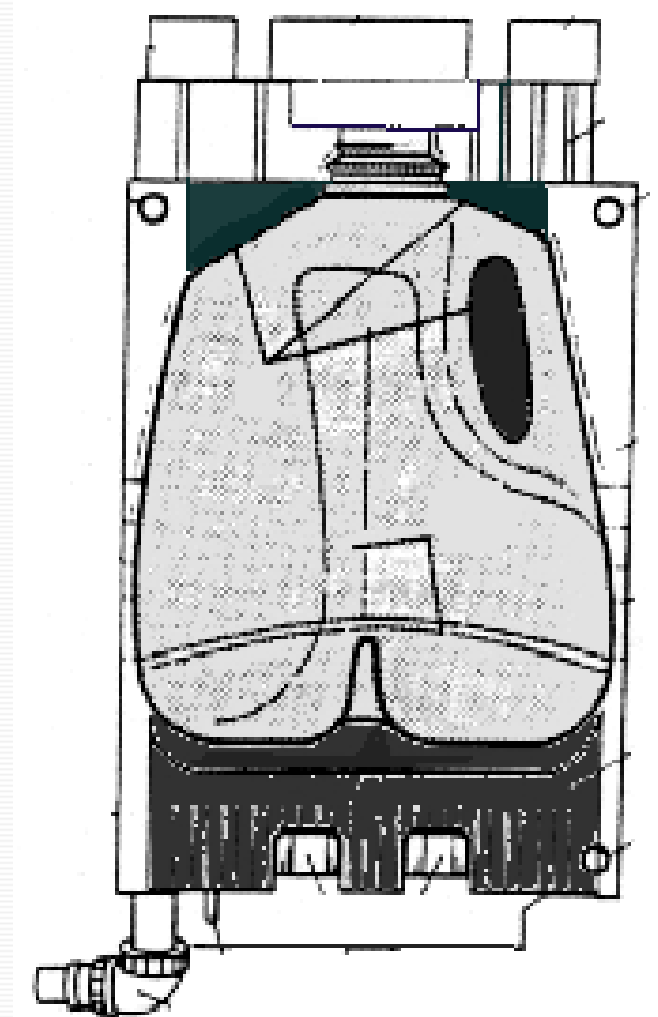
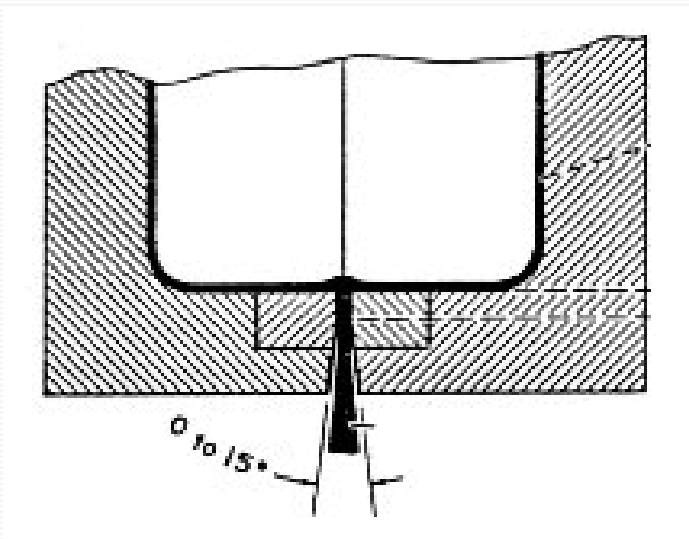
Processamento de polímeros

Processo Co-extrusão + sopro



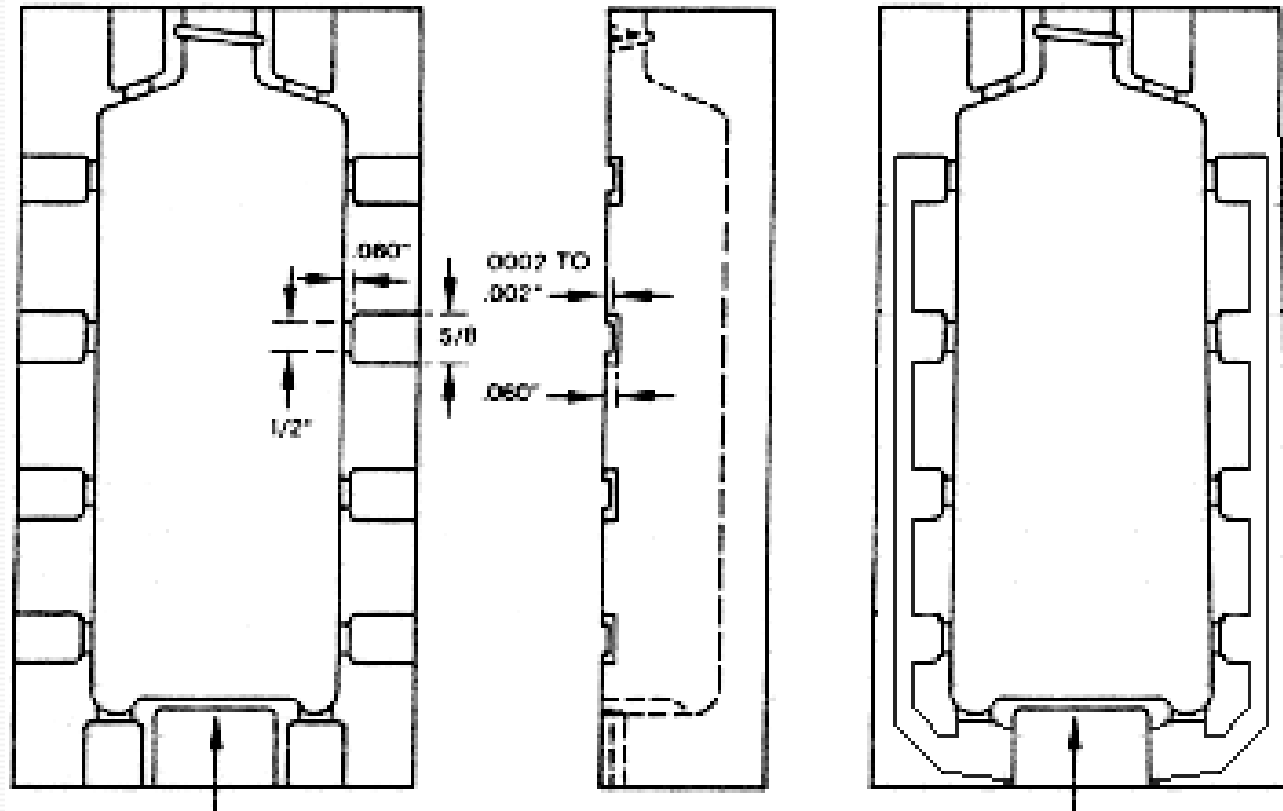
Processamento de polímeros

MOLDES DE SOPRO



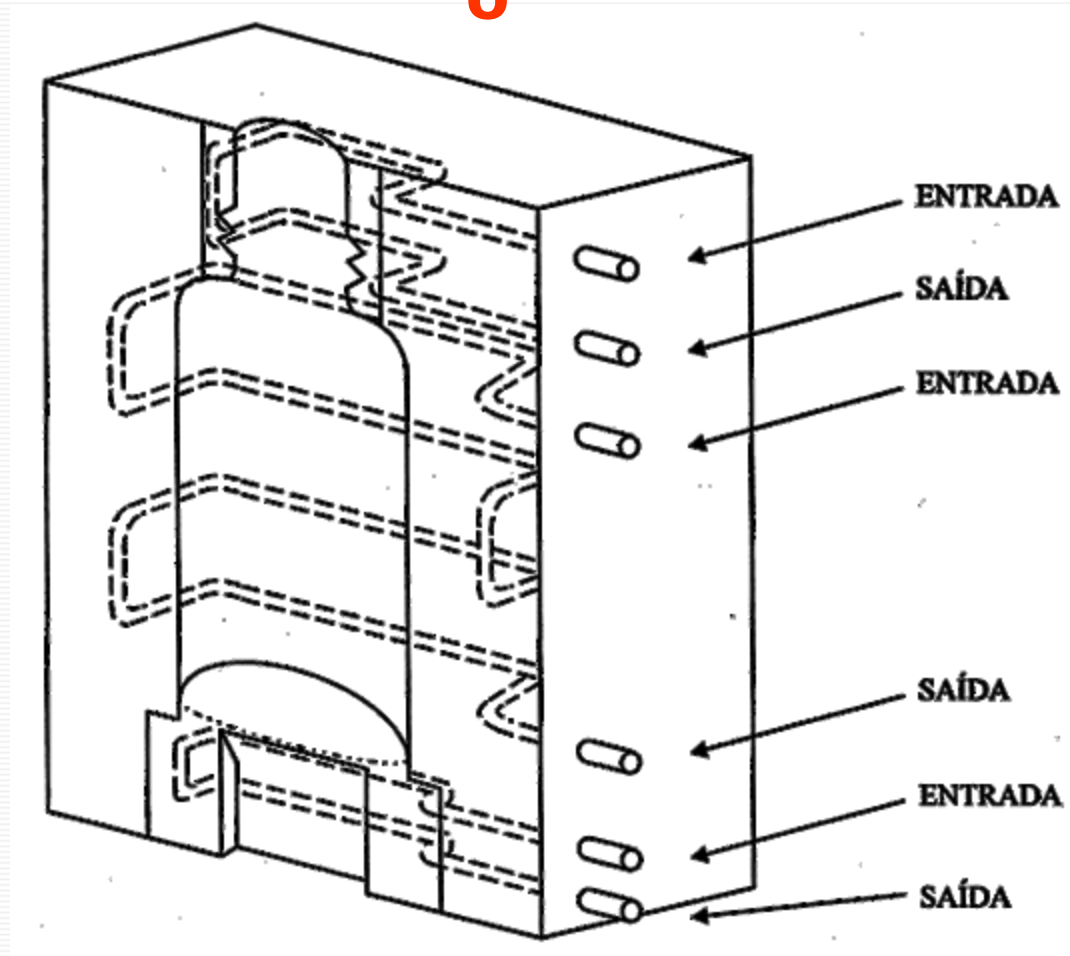
Processamento de polímeros

MOLDES DE SOPRO – Saída de gases



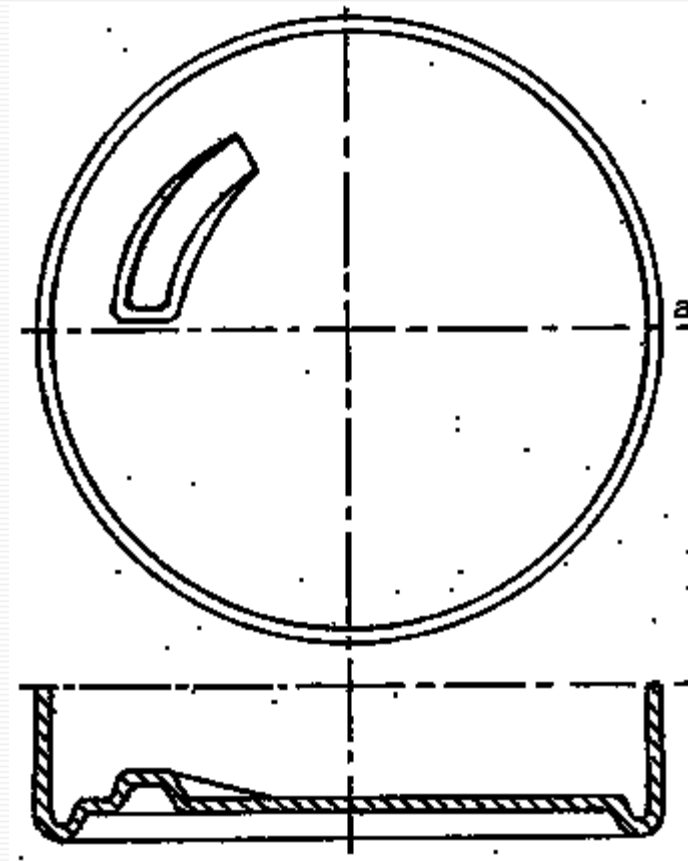
Processamento de polímeros

MOLDES DE SOPRO – Sistema de resfriamento



Processamento de polímeros

MOLDES DE SOPRO – Detalhes para operações posteriores





Processamento de polímeros

MOLDAGEM POR TERMOFORMAGEM

<https://www.youtube.com/watch?v=mAsg2QpEQx4>

<https://www.youtube.com/watch?v=y7sbNw04ex4>

Processamento de polímeros

O que é termoformagem?

Processos pelos quais são obtidas peças moldadas a partir de **chapas planas** previamente produzidas.

Estas chapas são **temporariamente amolecidas** por ação de calor, e, logo após forçadas a **envolver a superfície de um molde** com a forma da peça requerida.

Processamento de polímeros

Chapas planas previamente produzidas

Como são feitas?

1. Extrusão – mais utilizada
2. Co-extrusão – quando se deseja chapas com propriedades especiais (multi-paredes)
3. Fundição – muito utilizado para o caso dos acrílicos (monômeros líquidos são vazados para uma forma com temp. controlada onde ocorre a polimerização.

Processamento de polímeros

Onde é utilizada a termoformagem?

1. Indústria de embalagens e descartáveis
2. Indústria automobilística
3. Produtos da linha branca (refrigeradores e freezers)
4. Construção civil





Processamento de polímeros

Etapas básicas do processamento de polímeros

- 1. Aquecimento da chapa**
- 2. Conformação**
- 3. Resfriamento**
- 4. Corte e estampagem**

Processamento de polímeros

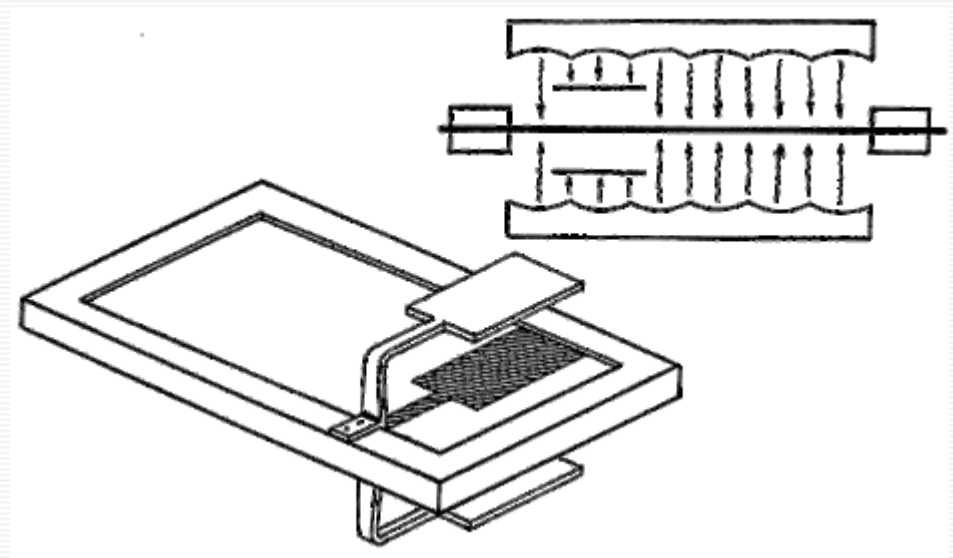
1. Aquecimento da chapa

Aquecimento convectivo

Aquecimento condutivo

Aquecimento por radiação

A radiação infravermelha é emitida de uma fonte constituída de **lâmpadas** que podem fornecer temperaturas numa faixa que vai de 260 a 630°C, de acordo com o material a ser aquecido.



Aquecimento por radiação com sombreamento

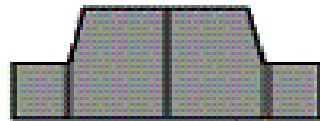
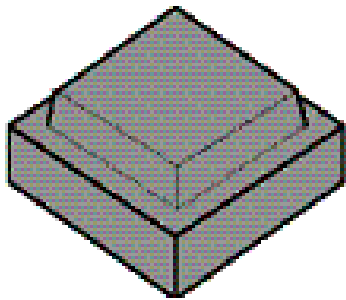
Processamento de polímeros

2. Conformação da chapa

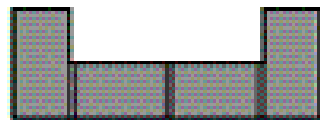
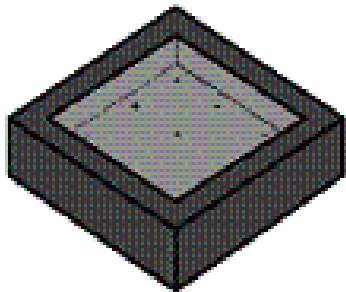
1. O molde possui somente uma “cavidade”, ao contrário da injeção e sopro que possuem duas.
2. Parte da chapa é estirada, levando ao afinamento de parede
3. A espessura da parede será maior na região que encontrar primeiro o molde
4. A superfície que entra em contato com o molde estará isenta de marcas, mas possuirá melhor precisão dimensional

Processamento de polímeros

2. Conformação da chapa



Male Forming

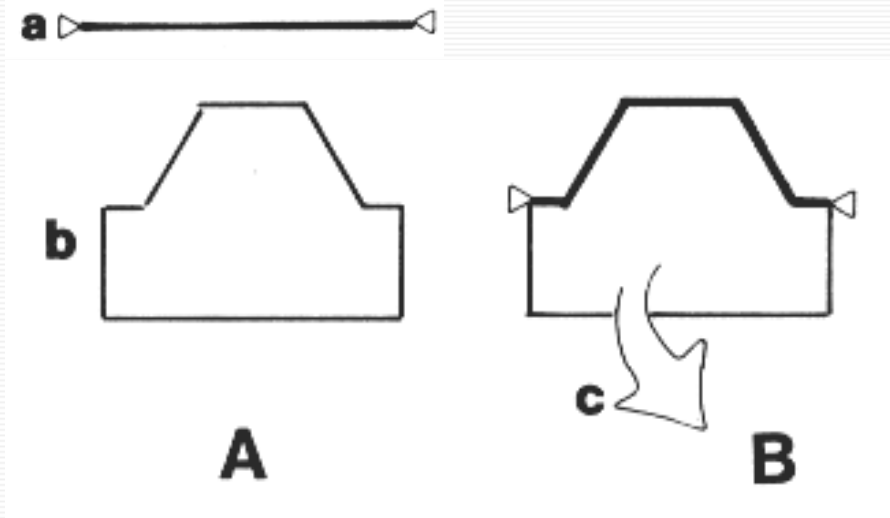


Female Forming

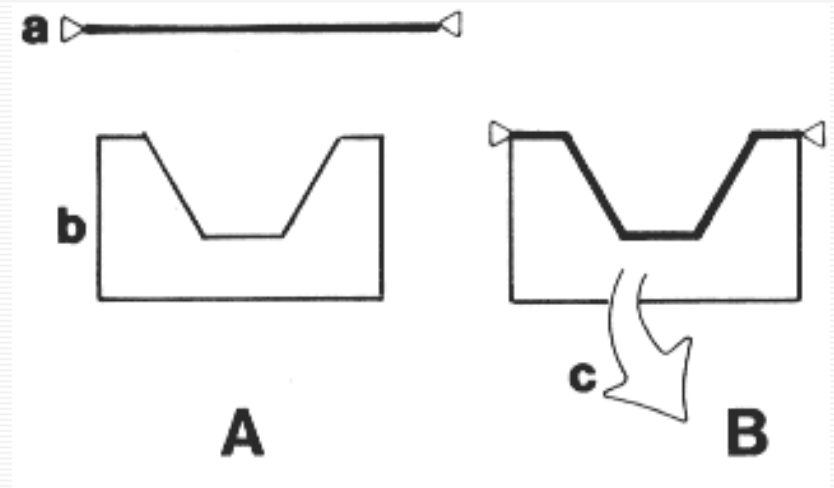
A espessura da parede será maior na região que encontrar primeiro o molde

Processamento de polímeros

2. Conformação da chapa



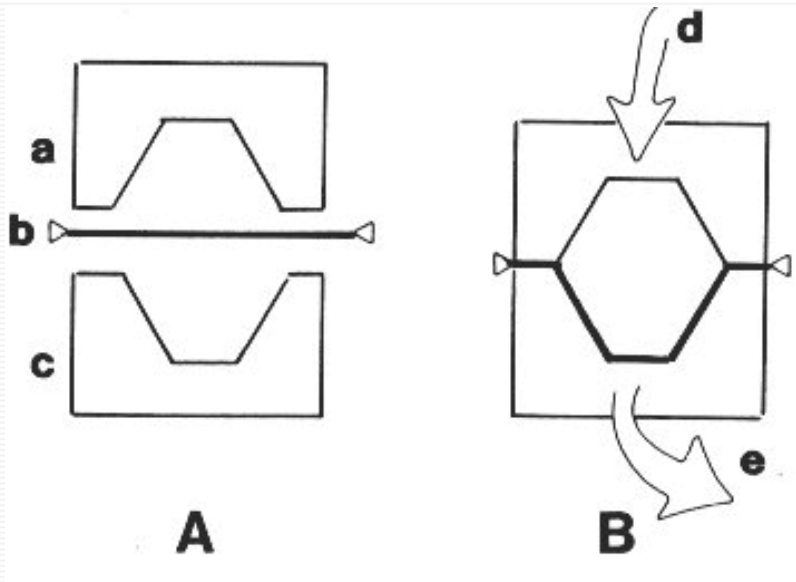
Por recobrimento



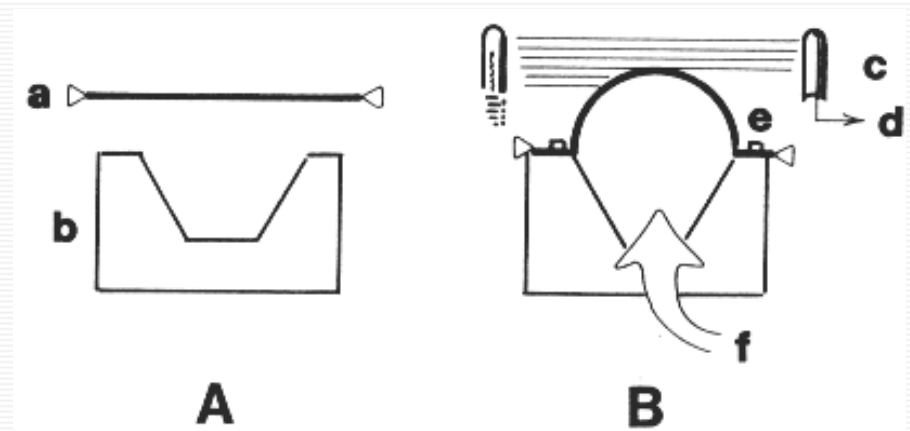
Por vácuo

Processamento de polímeros

2. Conformação da chapa



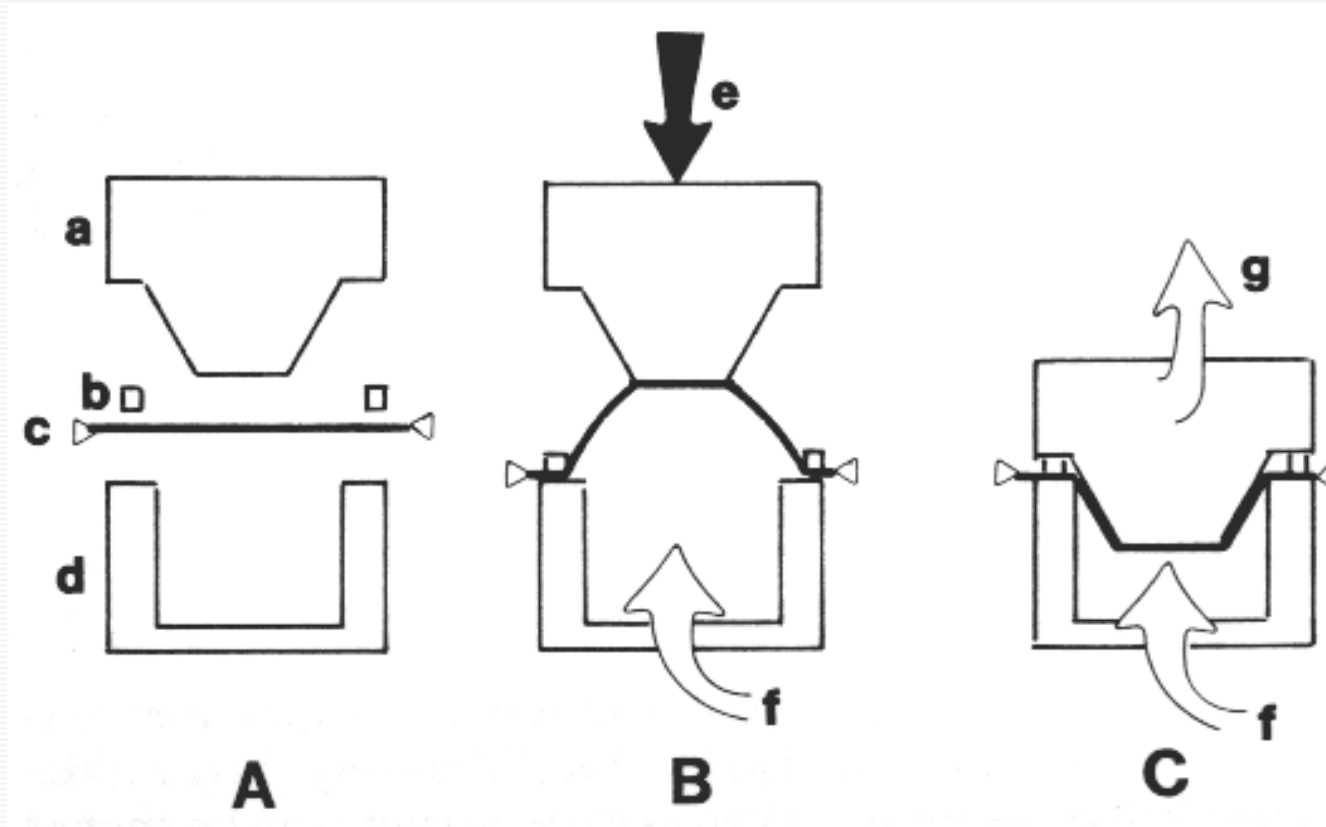
Por pressão positiva



Por sopro livre

Processamento de polímeros

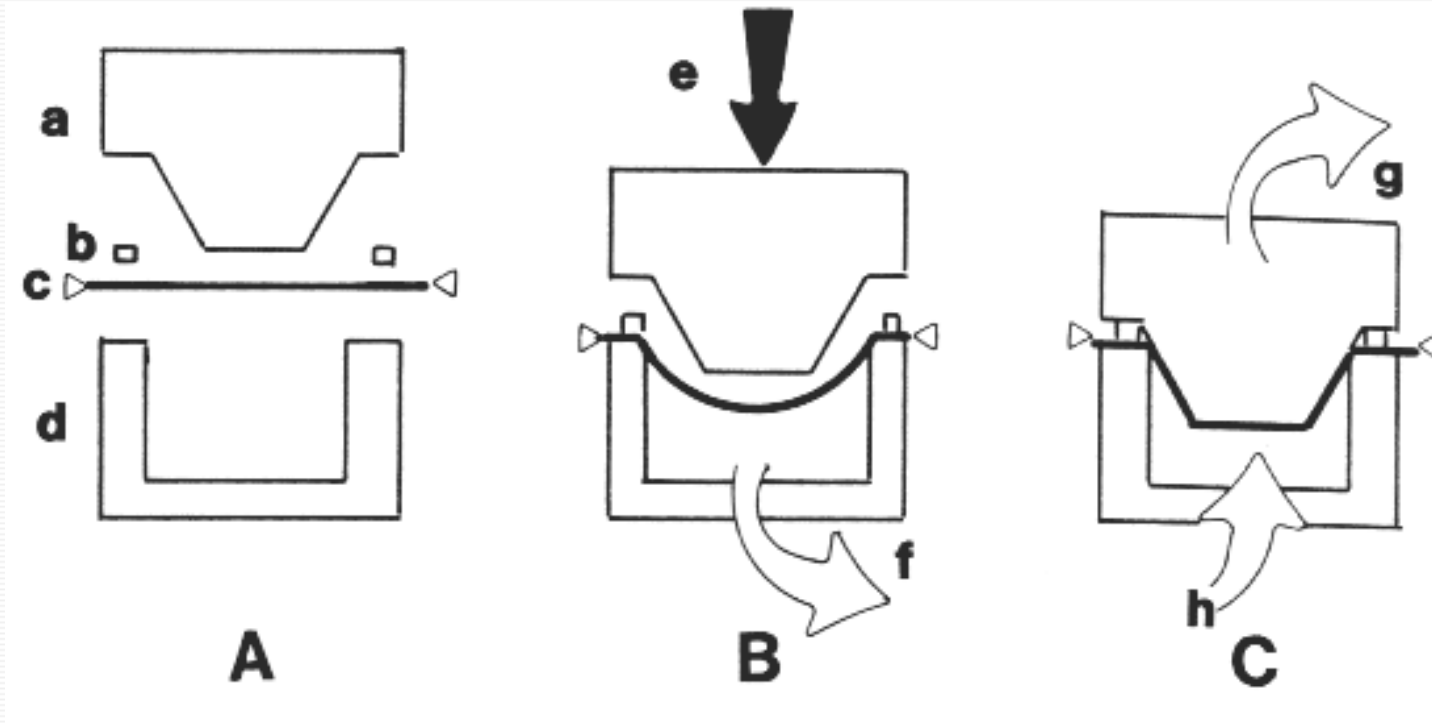
2. Conformação da chapa



Estiramento + recobrimento com bolha formada com ar comprimido

Processamento de polímeros

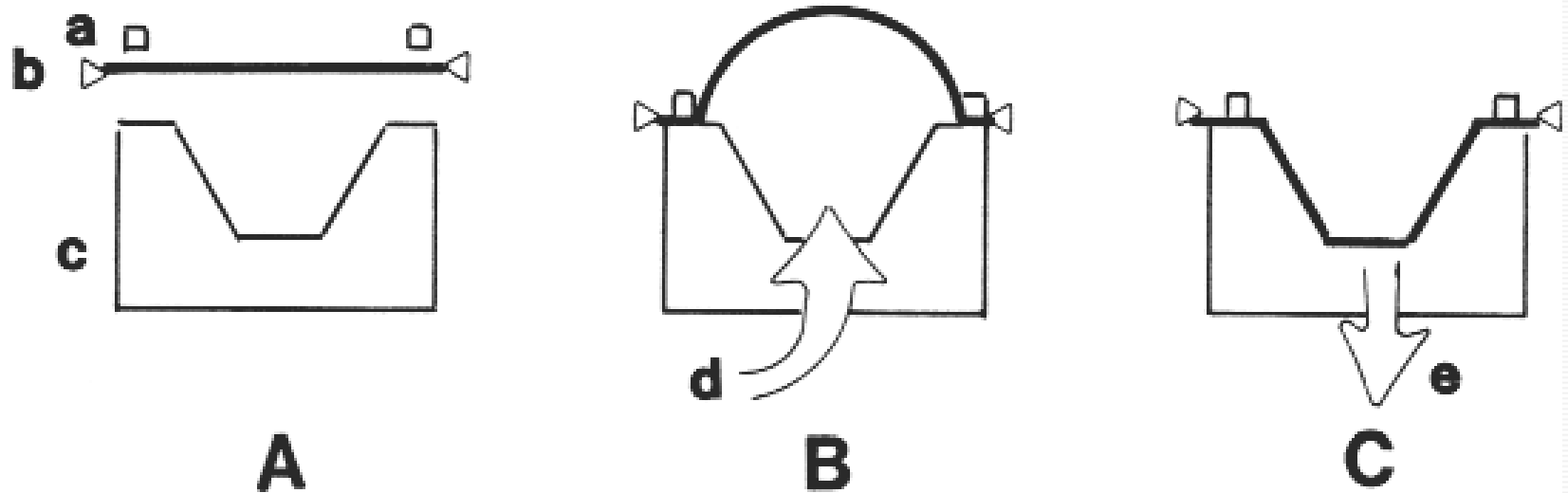
2. Conformação da chapa



Estiramento + recobrimento com bolha formada por vácuo

Processamento de polímeros

2. Conformação da chapa



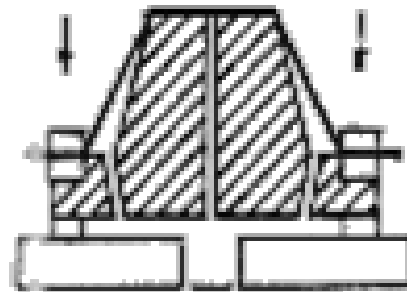
Estiramento + vácuo

Processamento de polímeros

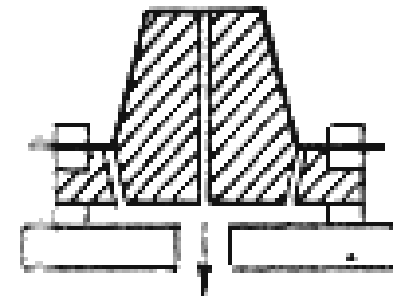
2. Conformação da chapa



a) Aquecimento



b) Revestimento

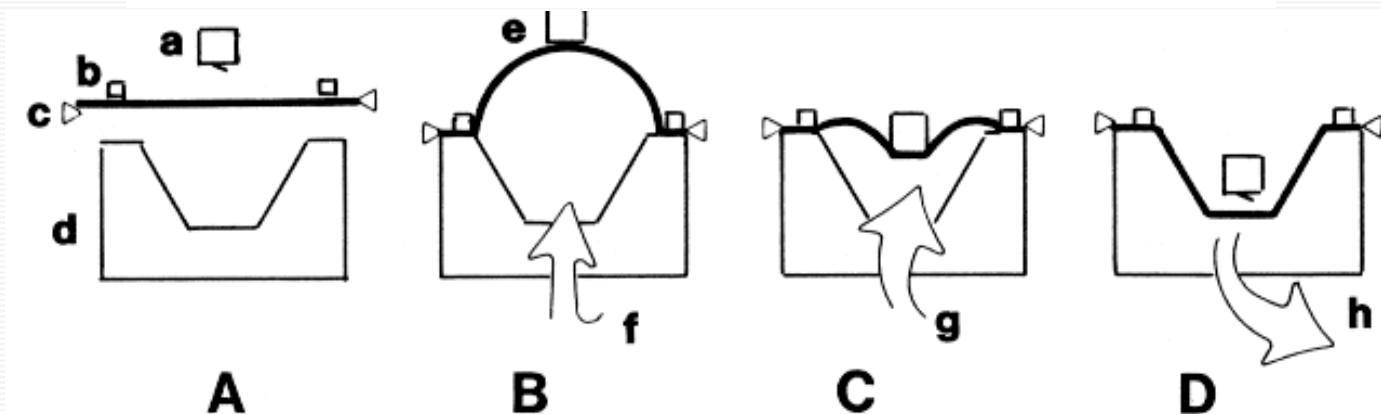
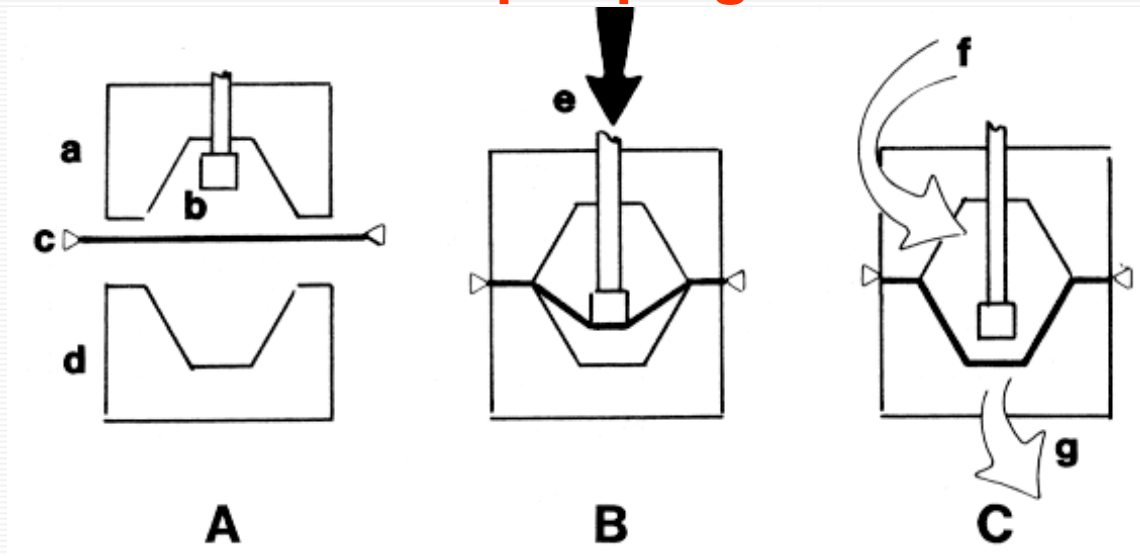


c) Moldagem a vácuo

Estiramento + recobrimento + vácuo

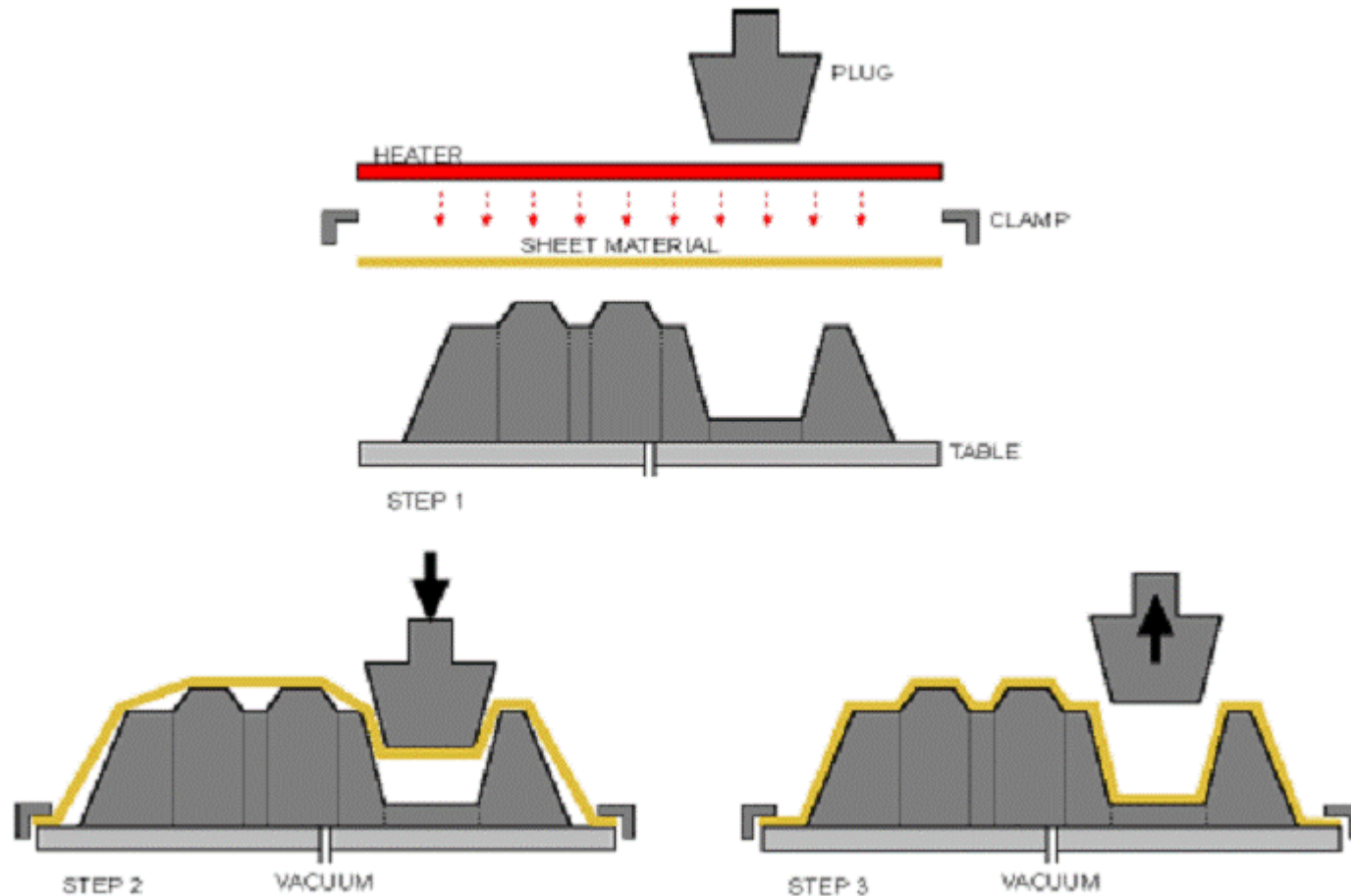
Processamento de polímeros

2. Conformação da chapa métodos auxiliares por plugue



Processamento de polímeros

2. Conformação da chapa métodos auxiliares por plugue



Processamento de polímeros

2. Conformação da chapa Exemplo de molde

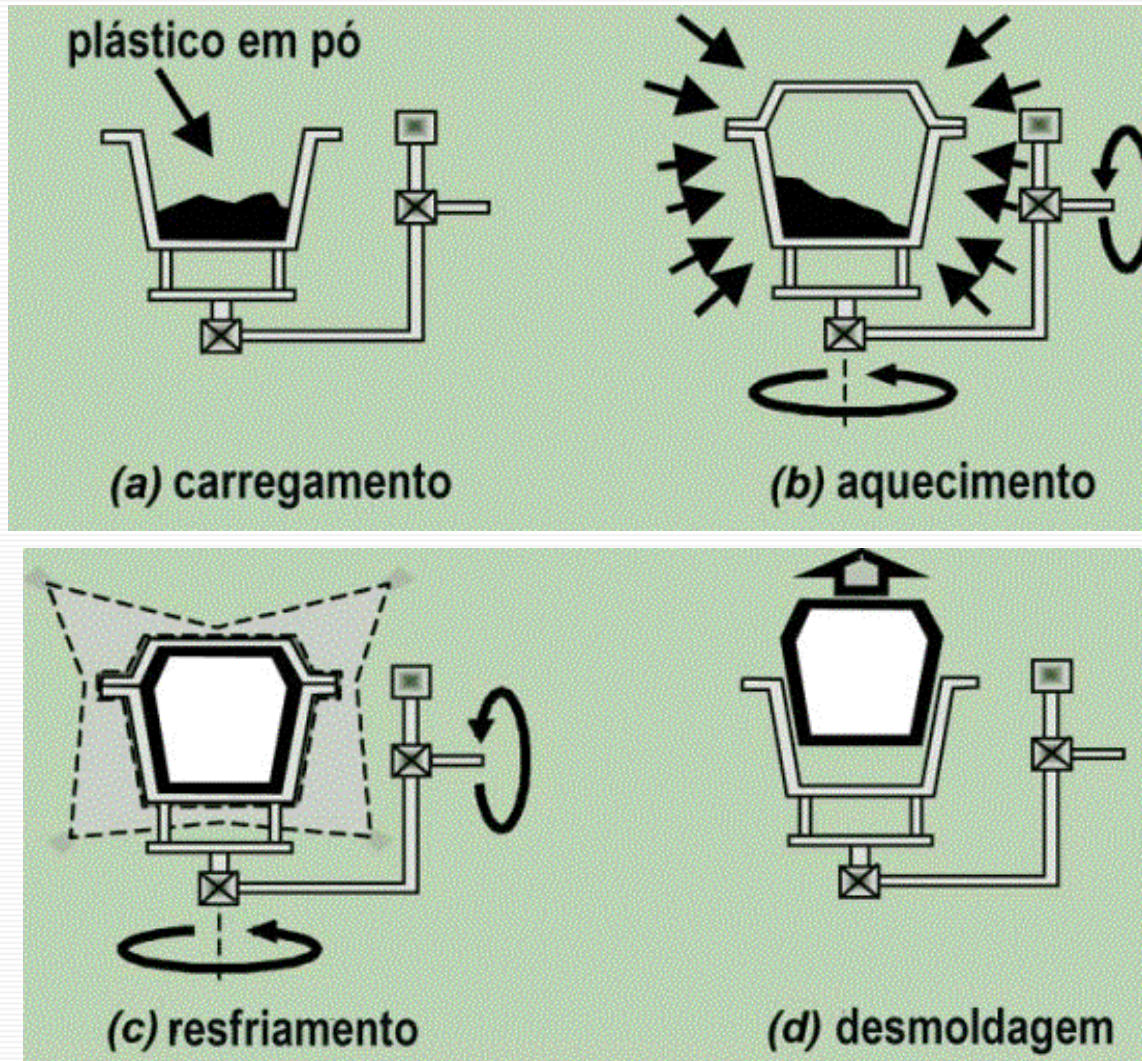




Processamento de polímeros

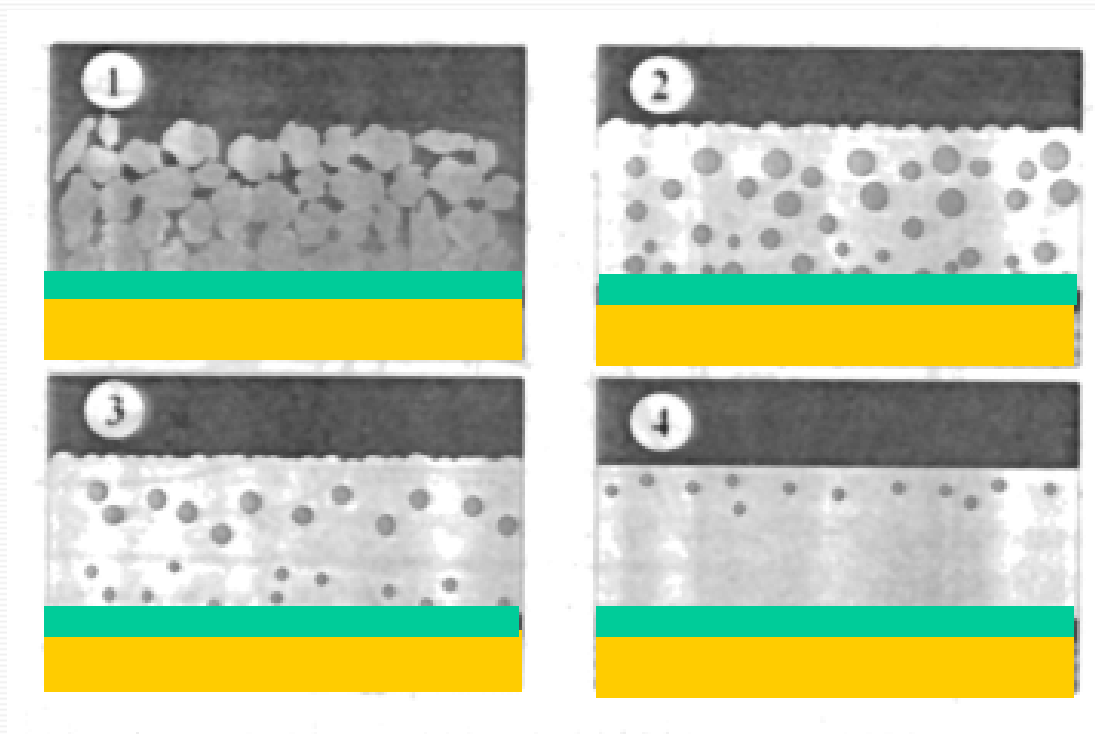
ROTOMOLDAGEM

Processamento de polímeros



Processamento de polímeros

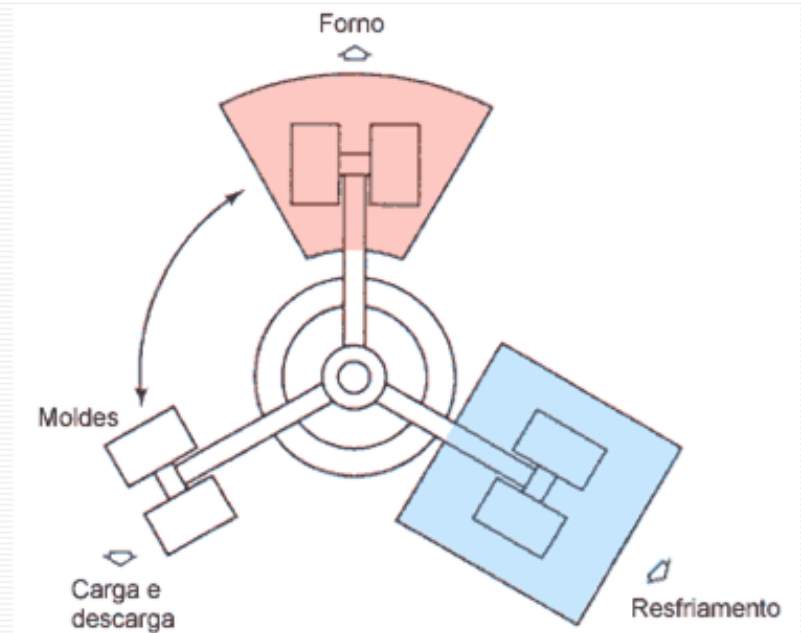
ROTOMOLDAGEM



Sinterização e densificação

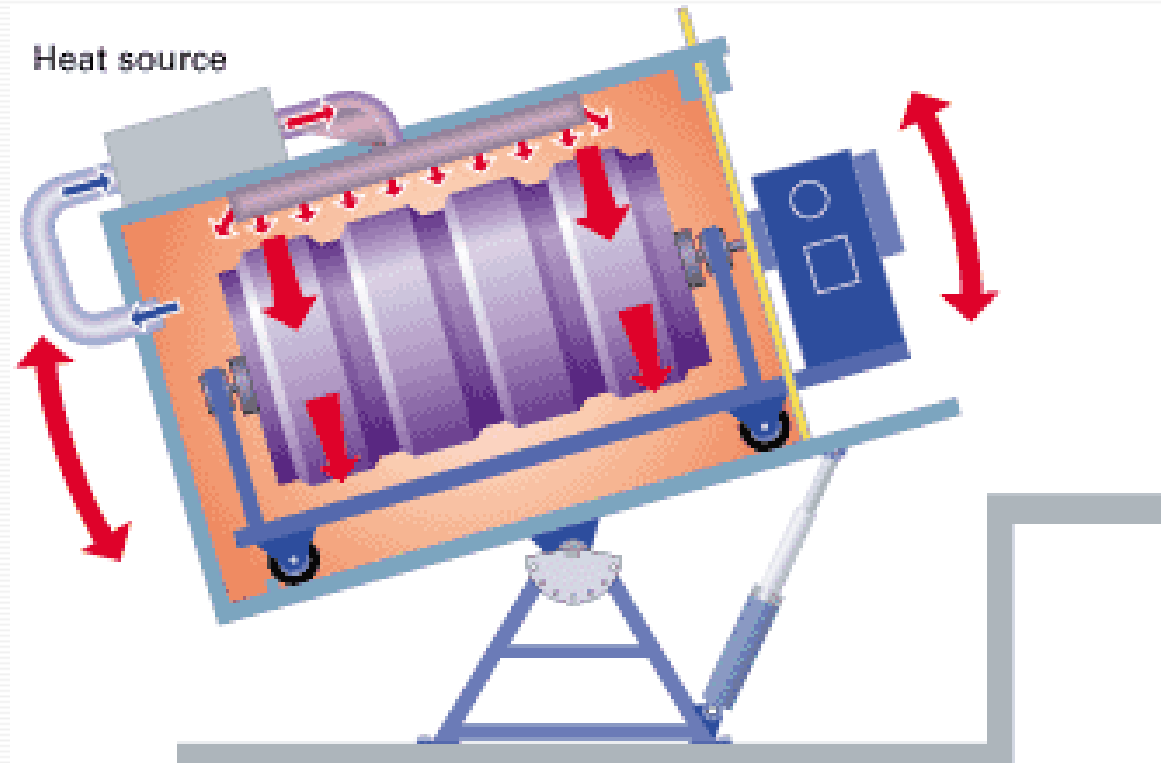
Processamento de polímeros

Rotomoldadora em carrossel



Processamento de polímeros

Rotomoldadora tipo rock-and-roll



Processamento de polímeros

Vantagens da rotomoldagem

- 1. Distribuição da parede dos moldados é relativamente uniforme. Os cantos externos possuem maior espessura, aumentando a resistência**
- 2. Não há desperdício de material (rebarbas, canais de alimentação, etc.)**
- 3. Produtos isentos de linhas de solda e tensão residual decorrentes de orientação molecular**
- 4. Baixo custo do ferramental e dos equipamentos**

Processamento de polímeros

Desvantagens da rotomoldagem

- 1. Ciclos de produção mais longos, podendo tornar o produto mais caro que os similares produzidos por injeção ou soprados.**
- 2. Poucas resinas se adaptam a este tipo de processamento. Atualmente se utiliza principalmente o PE linear de média densidade e o PVC Plastirol, ambos em pó.**