

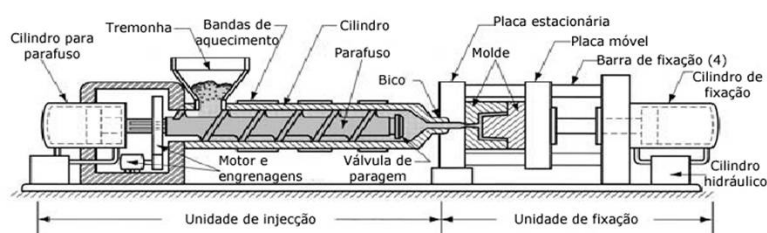
## Injeção

O processo de moldagem por injeção consiste essencialmente na fusão da resina PET, através do amolecimento do PET num cilindro aquecido e sua injeção no interior de um molde, onde endurece e toma a forma final. A peça moldada é, então, extraída do molde por meio dos pinos ejetores, ar comprimido, prato de arranque ou outros equipamentos auxiliares. Cada material possui suas características reológicas e por isso cada rosca deve ser projetada de forma a fundir o material antes da injeção, promover a homogeneização da temperatura do fundido, a dispersão de pigmentos e/ ou aditivos bem como manter a temperatura, pressão e cisalhamento sobre controle para não provocar a degradação do material. Um ciclo completo consiste das operações seguintes:

- 1- Dosagem dos grãos de PET previamente secos no cilindro de injeção.
- 2- Fusão do PET até obter a fluidez necessária à injeção.
- 3- Injeção do material fundido no molde fechado.
- 4- Resfriamento do material até a solidificação.
- 5- Extração do produto.

O equipamento de injeção é constituído por dois componentes principais:

- Unidade de injeção– funde e “entrega” o polímero fundido
- Unidade de fixação– abre e fecha o molde em cada ciclo de injeção.



Alguns parâmetros importantes para se ter sucesso na injeção de plásticos são:

- O material plástico estar na temperatura ideal de injeção.
- As propriedades intrínsecas do plástico a ser injetado serem apropriadas ao produto na qual vai ser moldado.
- O molde ser de ótima confecção, facilitando o preenchimento e extração da peça
- Ter ciclos de produção eficientes (rápidos e com baixo índice de refugo)

### Obtenção de peças a partir do processo de injeção

O processo de obtenção de peças injetadas em PET conta com 5 etapas distintas: secagem, alimentação, plastificação, injeção e ejeção do produto.

**1ª Etapa – SECAGEM:** a secagem da resina PET é uma das mais importantes e críticas. Desta forma, reservamos um capítulo só para ela.

**2ª Etapa - ALIMENTAÇÃO:** é a transição entre o silo e a entrada do PET na plastificadora.

Nesta etapa, quando necessário, são dosados aditivos ao PET (protetores aos raios ultravioleta, concentrados de cor, etc.), através de equipamentos específicos para esta finalidade. Estes equipamentos garantem a mistura homogênea de aditivos e PET. Os aditivos podem estar no estado sólido (grãos do tamanho da resina, microsferas,...) ou líquido.

**3ª Etapa – PLASTIFICAÇÃO:**

É uma etapa muito importante e delicada. Nela o PET muda de estado físico para ser injetado. As temperaturas de trabalho, geralmente controladas por resistências, variam conforme o equipamento e devem ser ajustadas de 265° a 295°C, de forma a evitar degradação por excesso de temperatura.

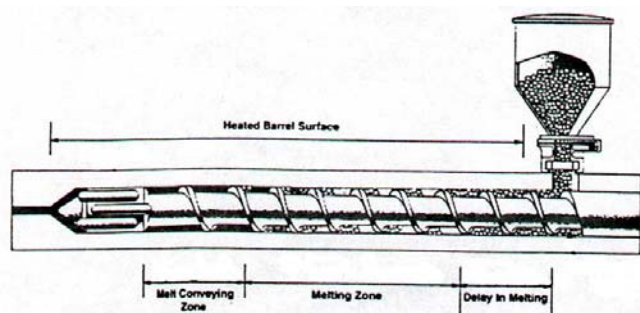


Figura (2) Zonas de trabalho

Na figura 2, podem ser notadas as três regiões em que se divide a rosca de injeção:

- Alimentação: Geralmente é curta, tem por finalidade transportar os grânulos sólidos para a próxima região, o diâmetro do núcleo permanece constante e o ângulo de inclinação dos filetes é da ordem de 15-20°;
- Compressão (ou plastificação): É a maior parte da rosca. É a zona onde se inicia a plastificação onde o material será comprimido e cisalhado. Ao final, o material está praticamente todo fundido;
- Homogeneização (região final da rosca): Nesta zona a plastificação é completada e o material atinge sua máxima homogeneidade.

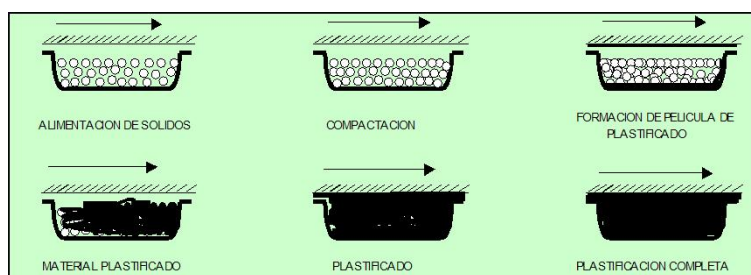
#### Processo de Plastificação

Aproximadamente 80% do calor requerido na extrusora para fundir o PET é proporcionado pelo calor gerado pela fricção das moléculas entre si. O resto é proporcionado pelas cintas de aquecimento (resistências).

O PET é fundido completamente através de combinação de cisalhamento ao quais os grãos são submetidos quando comprimidos na rosca e aquecimento através das resistências.

A taxa de cisalhamento é indiretamente controlada através da velocidade da rosca e da contra pressão (quanto maior a contra pressão, maior a taxa de cisalhamento).

O perfil de temperatura varia de acordo com a resina e presença de pigmentos ou outros aditivos.



Para evitar degradação do PET sugere-se:

- minimizar a temperatura de fusão do PET
  - o reduzir a temperatura das cintas de aquecimento
  - o reduzir a velocidade de cisalhamento (contrapressão e velocidade da rosca)
- minimizar o tempo de residência do PET no canhão no estado fundido

Com as considerações acima tentamos evitar geração de acetaldeído e a queda de viscosidade intrínseca.

#### 4ª Etapa – INJEÇÃO:

É a injeção propriamente dita, quando o PET plastificado é transferido para o molde, preenchendo sua(s) cavidade(s). Esta função é executada pelo próprio parafuso sem fim ou por um pistão auxiliar que recebe o PET plastificado do parafuso. O molde de injeção encontra-se fechado por um sistema adequado a suportar as pressões envolvidas durante o processo de injeção. Estando o molde a baixa temperatura devido à circulação de água gelada em seu interior, o material endurece rapidamente (durante o tempo de resfriamento), formando a peça. Se o resfriamento fosse lento, ele poderia retornar parcialmente ao estado cristalizado, debilitando algumas propriedades do produto final. Ao final desta etapa, a peça está com sua forma definitiva, pronta para ser extraída após a abertura do molde.

Um parâmetro a considerar durante a injeção é a “Velocidade de injeção”. Esta velocidade é a de preenchimento do molde de injeção e pode variar de acordo com o tamanho da pré-forma. O perfil de velocidade de injeção deve ser ajustado para que se tenha um fluxo constante de velocidade e enchimento do molde. Normalmente 90% da dosagem de material ocorrem com pressão alta de injeção, e o restante se enche com baixa pressão (retenção)..

Outro parâmetro é o recalque, que é a parte do processo de injeção que se realiza a baixa pressão e tem a finalidade de compactar a peça para evitar a contração da mesma, além de evitar outros defeitos como rechupes, quebra da peça, má formação, fiapos... Geralmente se realiza em três etapas;

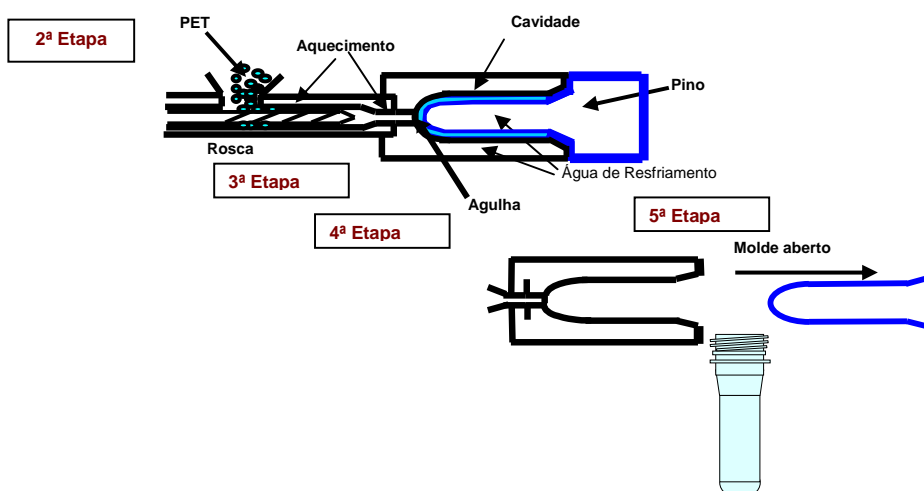
- Primeira etapa: empregada para dar acabamento ao gargalo, evitando peças incompletas
- Segunda etapa: empregada para compactar o corpo da pré-forma para evitar rechupes pela contração do material
- Terceira etapa: aplicada principalmente no ponto de injeção, evitando perfurações no mesmo

Uma compactação excessiva pode produzir cristalização induzida por pressão e dificulta a extração das peças.

Durante o resfriamento ocorre a descompressão do material plastificado. Isto permite que o material nos canais de distribuição de material seja despressurizado reduzindo o risco de afetar o ciclo seguinte.

#### 5ª Etapa – EJEÇÃO:

Na quinta e última etapa, o produto é retirado ou ejetado da máquina, estando pronto para ser estocado e comercializado.



Algumas variáveis de controle durante o processo de injeção:

- Pressões (injeção, recalque e contra pressão)
- Temperaturas (cilindro, massa e molde)

- c) Velocidade de injeção
- d) Rotação da rosca
- e) Tempos (injeção, resfriamento, recalque)

### a) PRESSÕES:

#### PRESSÃO DE INJEÇÃO

A pressão de injeção é a pressão necessária para promover o preenchimento da cavidade pelo material plástico fundido. A intensidade da pressão de injeção depende de alguns fatores:

**Tipo de material** - quanto maior a viscosidade do material, mais difícil se torna o preenchimento da cavidade, portanto a pressão necessária para fazer o material fluir e preencher a cavidade será maior.

**Complexidade da peça** - Curvas, ressaltos, nervuras e paredes finas dificultam o fluxo do material dentro da cavidade além de causar resfriamento precoce do material, causando aumento da viscosidade e portanto dificultando o fluxo do material. Devido a estes obstáculos o nível da pressão de injeção deve ser maior que em peças menos complexas.

**Temperatura do molde** - Quanto maior a temperatura do molde, menor será a perda de temperatura do material durante o preenchimento da cavidade, diminuindo assim o aumento da viscosidade do material. Dessa forma, é possível utilizar pressão de injeção menor quando se utiliza temperaturas apropriadas no molde.

De uma forma geral, a pressão de injeção ideal para uma determinada peça pode ser determinada iniciando a injeção com pressão baixa e aumentar gradualmente até se obter peças de boa qualidade.

#### PRESSÃO DE RECALQUE

A pressão de recalque começa a atuar quando a peça já está completa. Normalmente o recalque se realiza a baixa pressão e possui a finalidade de compactar a peça e evitar a contração da mesma.

A intensidade da pressão e o tempo de atuação dependem de alguns fatores como:

- Temperatura do molde - Moldes excessivamente quentes retardam a solidificação do material e aumentam a contração de moldagem do material, necessitando tempo de atuação e intensidade maior da pressão de recalque.
- Projeto da peça - Paredes grossas dificultam o resfriamento do material, portanto a pressão de recalque deve ser regulada para que atue até que o material esteja solidificado.

Geralmente se realiza em três etapas:

- Primeira etapa: é empregada para dar acabamento ao finish, evitando peças incompletas
- Segunda etapa: é empregada para compactar o corpo da pré-forma, para evitar rechupes pela contração do material
- Terceira etapa: é aplicada principalmente na área do ponto de injeção, evitando perfurações do ponto.

Uma compactação excessiva pode produzir cristalização induzida por pressão, e dificulta a desmoldagem das peças e rechupes e flash no gargalo.

- Altas pressões aumentam a temperatura de solidificação (transição vítrea)
- Baixas pressões de compactação podem produzir rechupes nas peças moldadas.

#### CONTRA PRESSÃO

A contra pressão é a pressão que se opõe ao retorno da rosca durante a dosagem do material. Quanto maior, maior é a dificuldade do retorno da rosca, aumentando o cisalhamento no material. Tal fator é conveniente apenas quando se deseja melhorar a homogeneização de *masterbatch* por exemplo.

Com relação aos materiais, quanto menor o cisalhamento, melhor será a manutenção das propriedades do material. Recomenda-se, portanto, utilizar baixa contra pressão, apenas o suficiente para garantir que o material a ser injetado esteja isento de bolhas.

## **b) TEMPERATURAS**

### **TEMPERATURA NO MOLDE**

O bom controle da temperatura na ferramenta é determinante sobre aspectos como acabamento da peça, tensões internas, contração e estabilidade dimensional. Para se obter controle de temperatura eficiente no molde é necessário que os canais de aquecimento sejam bem projetados de forma a distribuir uniformemente o calor por todo o molde. A uniformidade da temperatura no molde é crucial para materiais cristalinos, porque dela depende a uniformidade da cristalização do material e, portanto a estabilidade dimensional do moldado.

### **RESFRIAMENTO DO MOLDE**

Por sua natureza o PET tende a formar cristais. Como o PET cristaliza rapidamente no range de 150 a 190°C, a pré-forma deve ficar o menor tempo possível neste limite.

Assim, para prevenir a cristalização, o PET deve ser resfriado rapidamente, para ficar no estado amorfo e assim obtermos peças claras e rígidas. Desta forma, para o processamento do PET, é necessário que o molde de injeção seja resfriado com água gelada (7-10°C).

### **TEMPERATURA DO CILINDRO / MASSA**

O PET trabalha com temperaturas entre 265-295°C, dependendo do equipamento utilizado.

## **c) VELOCIDADE DE INJEÇÃO**

A velocidade de injeção pode ser traduzida como o tempo de preenchimento da cavidade do molde pelo material fundido. Assim, quanto maior a velocidade de injeção menor será o tempo de preenchimento da cavidade. No início de produção, deve-se iniciar o processo com velocidade lenta a fim de evitar-se o surgimento de rebarbas ou danos no molde e elevá-la conforme a necessidade da peça.

O perfil de velocidade de enchimento deve ser ajustado para garantir uma velocidade constante. Tipicamente 90% da dosagem de injeção ocorre com pressão de injeção alta e 10% com pressão baixa (recalque)

O tempo de injeção empregado para encher um molde está baseado na velocidade de enchimento recomendada para o PET (8 a 12 g/seg).

## **d) ROTAÇÃO DA ROSCA**

Quanto maior o RPM da rosca, maior será a homogeneização do material e mais rápida será a etapa de dosagem do material, refletindo em ciclos menores de moldagem. Porém o maior atrito gerado no material é prejudicial, podendo causar degradação do material.

## **e) TEMPOS**

### **TEMPO DE INJEÇÃO**

É o tempo que o material leva para sair do canhão e se transferir para o molde. Está diretamente ligado à velocidade de injeção e ao tempo total de ciclo.

### **TEMPO DE RECALQUE**

É tempo em que a peça receberá pressão de compactação, auxiliando a boa formação da mesma. Na formação de rebarba esse é um parâmetro que deve ser verificado e se for o caso reduzi-lo.

### **TEMPO DE RESFRIAMENTO**

É o tempo em que a peça fica no interior do molde se resfriando de acordo com a necessidade do processo. O tempo de resfriamento ocorre desde o momento em que a resina sai do canhão de injeção até a ejeção da peça final.