

CAVIDADES

- Fundamentos de Projeto de Ferramentas
- Prof. Mauro César Rabuski Garcia

Contração de Termoplásticos

- A variação dimensional das peças injetadas em relação às dimensões do molde depende essencialmente da **contração** e do **empenamento**.
- A contração dos termoplásticos é, sobretudo, o resultado da expansão e contração térmica do material durante as fases de injeção, pressurização, recalque e resfriamento

Contração de Termoplásticos

- Fatores gerais que influenciam na contração: características do material, geometria do molde e da peça e condições de processamento (recalque, tempo e pressão de injeção, temperatura do molde e do fundido).

Contração de Termoplásticos

- O empenamento está associado a uma variação de forma e não implica necessariamente uma variação de volume. Em muitos casos, as duas categorias de variação dimensional podem ocorrer simultaneamente.

Contração de Termoplásticos

- Podem ser definidos três valores de contração:
- Contração de desmoldagem
- Contração de moldagem
- Contração pós-moldagem

Contração de Termoplásticos

- **A contração de moldagem** é definida pela diferença entre as dimensões do molde frio e as dimensões da peça injetada após 16 horas de condicionamento em ambiente controlado de temperatura e umidade.

Contração de Termoplásticos

- A **contração de desmoldagem** é a contração exibida pela peça imediatamente após a extração.
- A **pós-contração** é a contração adicional exibida pela peça relativamente a contração de moldagem, exibida normalmente em materiais semicristalinos devido ao fenômeno de pós-cristalização.

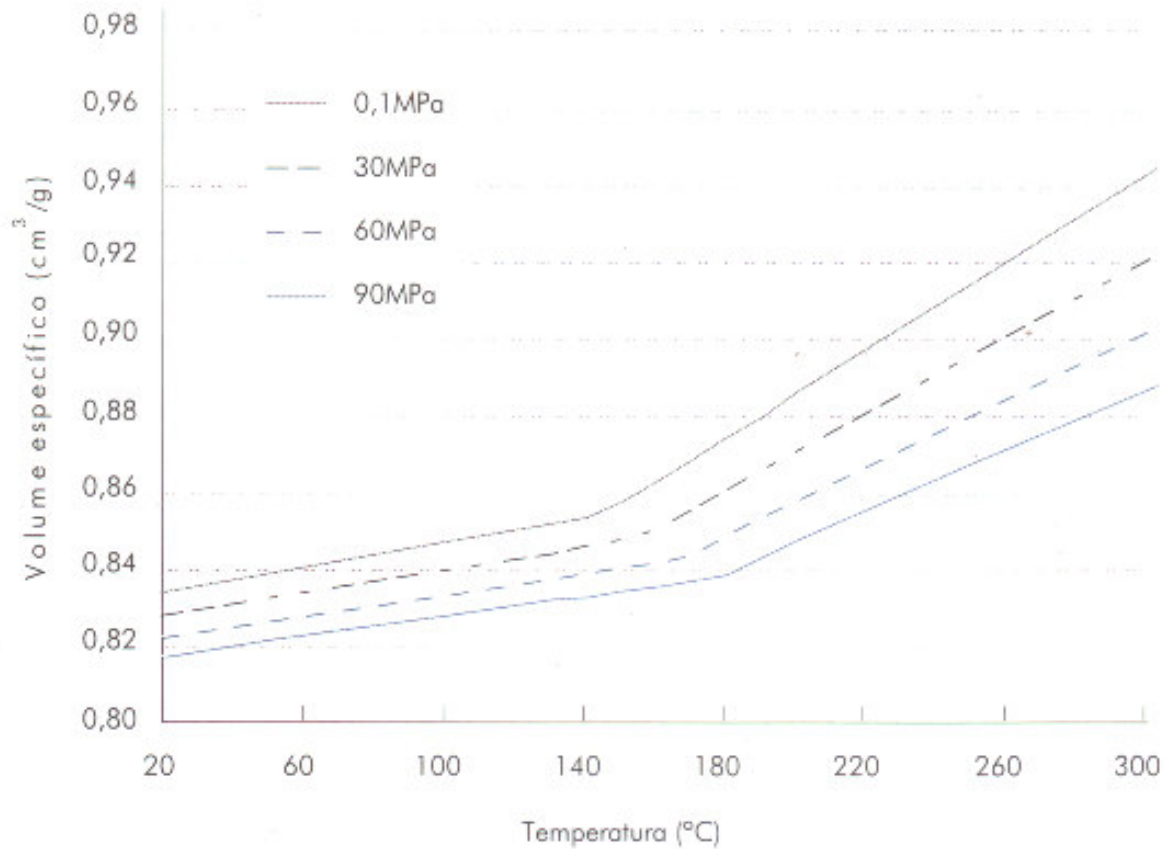
Fatores que afetam a contração

- Material
- Geometria da peça
- Condições de processamento

Material

- Durante o resfriamento do material termoplástico existe aumento da densidade do material, isto é uma diminuição do volume específico.
- A dependência do volume específico com a pressão e temperatura é normalmente estabelecida nos diagramas $p-v-T$

Material - Diagrama pVT (amorfos)



Material – Diagrama pVT (semicristalinos)

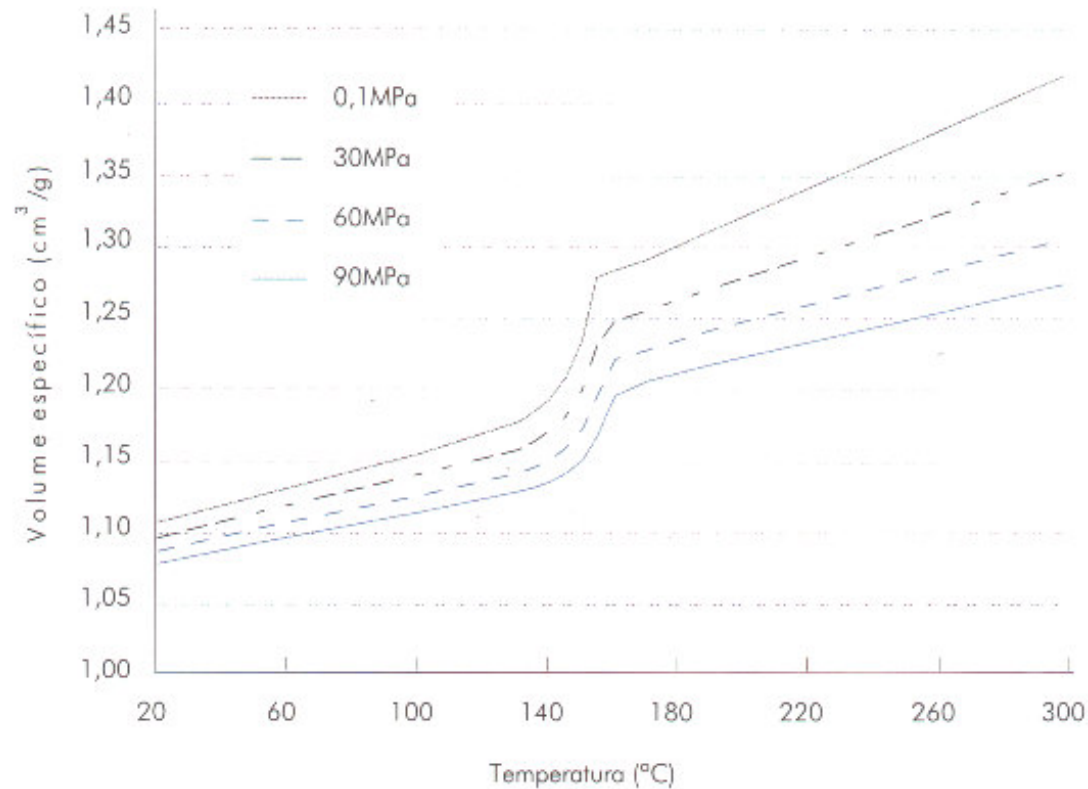


Fig. 5.1 – Diagramas pVT
a) polímero amorfo; b) polímero semicristalino

Material

- De forma a compensar a diminuição do volume específico do material durante a fase de resfriamento as dimensões das cavidades são afetadas pelo fator de contração.
- A contração dos termoplásticos é geralmente referente à direção do fluxo em placas com ataque lateral, em que a razão comprimento/largura é grande.

Material - Tabela de contração de termoplásticos

Material	Contração
PA 6	1 - 1,5
PA 6.6	1 - 1,5
PP	1,0 - 2
LDPE	1,5 - 3
HDPE	1,5 - 3
POM	1,7 - 2,1
PS	0,4 - 0,8
PC	0,5 - 0,7
ABS	0,4 - 0,7
PMMA	0,3 - 0,6
PPO	0,5 - 0,8
PC + ABS	0,3 - 0,85
PBT	1,7 - 2,3

Tab. 5.1 - Valores da contração de alguns termoplásticos

Material - Outros fatores referentes ao material

- Orientação do fluxo
- Incorporação de cargas e reforços
- Pigmentos

Material - Orientação do fluxo

- Quando o polímero é injetado, por exemplo, suas moléculas se orientam na direção de fluxo
- A contração na direção do fluxo é diferente da contração na direção transversal ao fluxo – contração anisotrópica

Material - Incorporação de cargas ou reforços

- A incorporação de cargas (esferas de vidro e talco) ou de reforços (fibras de vidro ou de carbono) influencia bastante a contração final do material.
- Materiais carregados com partículas apresentam menor contração – peças com tolerâncias dimensionais mais apertadas
- Materiais reforçados com fibras apresentam menor contração – contração anisotrópica

Material - Tabela contração de termoplásticos na direção de fluxo e na direção transversal

Material	Contração %	
	Direção do fluxo	Transversal
ABS (30% FV)	0,2	0,5
PPO (30% FV)	0,3	0,8
PC (30% FV)	0,25	0,5
PEI (30% FV)	0,2	0,4
PES (30% FV)	0,2	0,3
PET	1,8	2,1
PET (30% FV)	0,3	1,0
POM	1,7	1,5
POM (30% FV)	0,3	1,6
Pa 6	1,0	1,4
Pa 6 (30% FV)	0,35	1,0
Pa 6.6	1,1	1,5
Pa 6.6 (30% FV)	0,4	0,9
PP (30% FV)	0,35	0,9
PBT (30% FV)	0,3	1,2

Material - Pigmentos

- Afetam significativamente a anisotropia da contração
- PP não pigmentado apresenta uma relação de anisotropia da contração (fluxo/transversal) de 0,9
- PP com pigmento a relação de contração passa para 1,4
- Os pigmentos reduzem preferencialmente a contração transversal

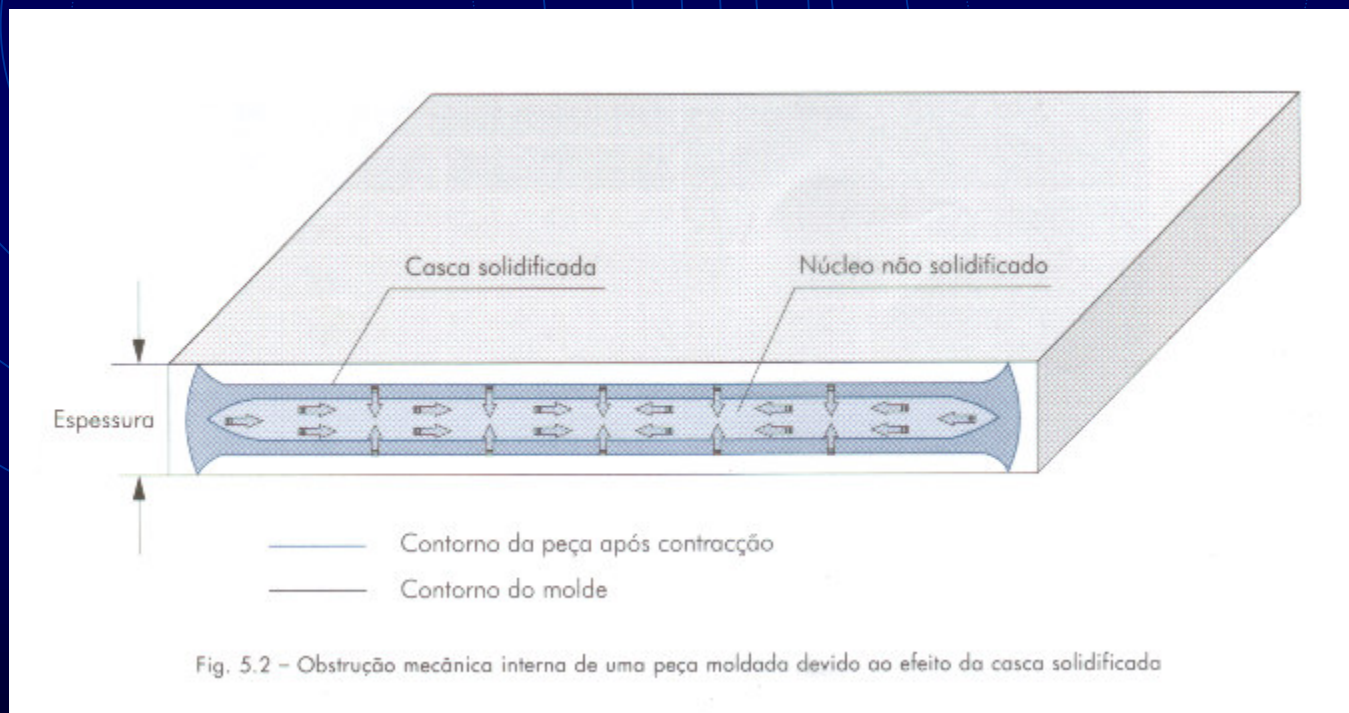
Geometria da peça

- Uma peça moldada por injeção não contrai uniformemente ao longo do caminho de fluxo.
- A contração mais significativa da peça ocorre ao longo da espessura da peça, devido ao menor constrangimento do molde nesta direção.

Geometria da peça

- Na direção do fluxo e na direção transversal ao fluxo o constrangimento mecânico do molde à contração é mais significativo.
- A peça solidifica da periferia (casca) para seu interior (núcleo), o que origina uma obstrução mecânica adicional à contração do núcleo pela casca solidificada nas direções do fluxo e transversal ao fluxo.

Geometria da peça - Obstrução mecânica na contração



Geometria da peça

- As obstruções mecânicas impostas à peça durante o resfriamento produzem tensões residuais na peça.
- As tensões residuais podem limitar significativamente o desempenho mecânico de peças injetadas e podem ser particularmente importantes no desempenho das mesmas a temperaturas elevadas, na medida que a ocorrência de relaxação de tensões nestas condições pode conduzir a pós-contração ou empeno significativos e conseqüentemente ao não cumprimento de tolerâncias dimensionais

Geometria da peça

- A geometria da peça contribui na definição das respectivas dimensões finais e no cumprimento das tolerâncias estabelecidas.
- A existência de paredes de reforço, variações de plano ou de outros pormenores geométricos na peça contribui para o constrangimento mecânico da peça dentro do molde.
- Os pormenores geométricos podem aumentar substancialmente a rigidez estrutural da peça e condicionar a contração da peça após extração

Geometria da peça - espessura

- A espessura da peça é um fator importante na definição da contração da peça.
- Duas geometrias de espessura diferentes resfriam a velocidades diferentes.
- Quanto maior a espessura da peça mais demorada é a difusão de calor no núcleo da peça para as paredes do molde e maior é a contração observada.

Geometria da peça – Variação da contração com a espessura da peça material semicristalino

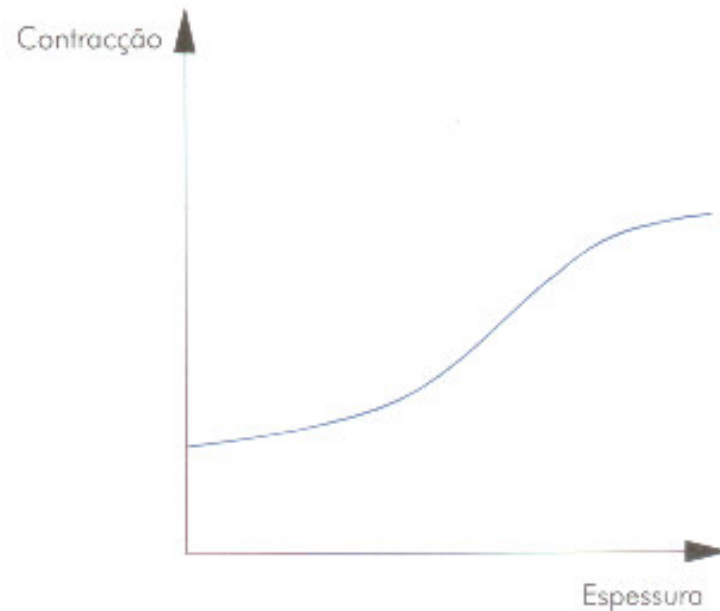


Fig. 5.3 – Variação esquemática da contração com a espessura da peça para um material semicristalino

Influência da espessura da peça na contração

Material	Contração %	
	3mm	6mm
ABS	0,4	0,7
ABS (30% FV)	0,2	0,4
HDPE	1,5	3,0
PPO	0,5	0,8
PPO (30% FV)	0,3	0,8
PEI	0,5	0,7
PEI (30% FV)	0,2	0,4
PES	0,6	0,7
PES (30% FV)	0,2	0,3
POM	1,7	2,1
POM (30% FV)	0,3	0,4
PA 6	1	1,5
PA 6 (30% FV)	0,35	0,7
PA 6.6	1,1	2,2
PA 6.6 (30% FV)	0,4	0,7
PC	0,5	0,7
PC (30% FV)	0,25	0,4
PS	0,4	0,6
PP	1,0	2,0

Geometria da peça - espessura

- Variações de espessura significativas apresentam variações localizadas do valor de contração, o que pode justificar a ocorrência de empenos.
- O cumprimento de tolerâncias para peças com espessura elevadas fica difícil

Geometria da peça – Projeto de peças

- **Uso uniforme de espessuras**
- Promove um fluxo homogêneo do material dentro da cavidade
- Assegura condições similares de resfriamento e contração ao longo da peça, o que minimiza empenos
- Reduz tensões residuais
- Aumenta a produtividade do molde

Geometria da peça – uniformidade de espessuras



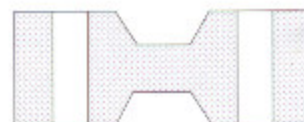
Mau



Bom



Mau



Bom



Mau



Bom

Fig. 5.4 – Uniformidade de espessuras

Geometria da peça – Transição suave entre espessuras diferentes

- A transição gradual de espessuras reduz a concentração de tensões e diferenças de resfriamento

Geometria da peça – Transição entre espessuras diferentes

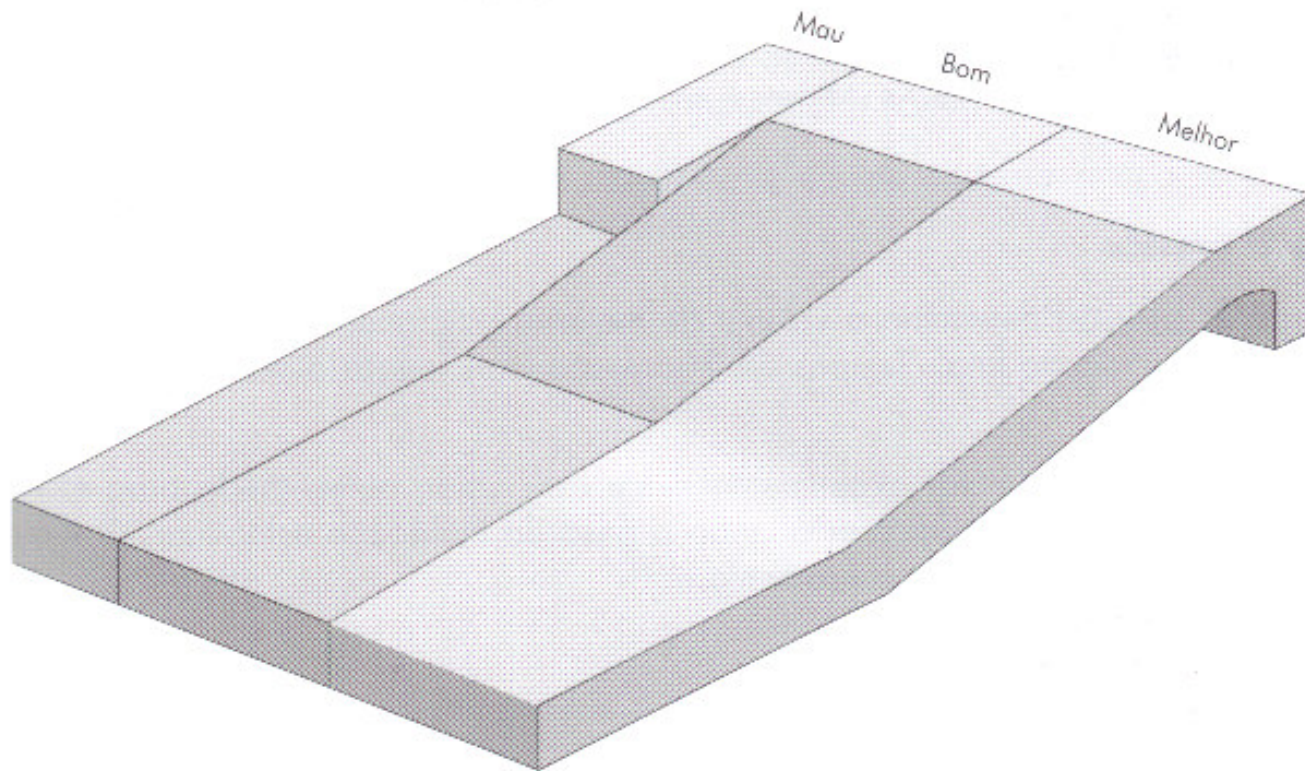


Fig. 5.5 – Transição entre espessuras diferentes

Condições de processamento

- As tolerâncias de peças injetadas correspondem à variação total admissível nas dimensões da peça inerentes a **desvios nas condições de processamento** ou da **condição da ferramenta**.

Condições de Processamento

- Variações na temperatura do molde
- Variações na temperatura do fundido
- Variações no perfil de pressurização do material dentro do molde
- Variações no tempo de resfriamento do material

Condições de processamento – Pressão de recalque

- Visa compensar a contração do material através da introdução de material adicional na cavidade
- A pressão de recalque influencia significativamente na contração do material
- Pressões elevadas – menor influência da contração, tensões residuais excessivas junto às entradas, retenção do canal de injeção e maior consumo de energia
- Pressões baixas – peso da peça e contração são mais influenciados pelas condições de processo, podendo causar rechupes

Condições de processamento - Influência da Pressão de recalque na contração

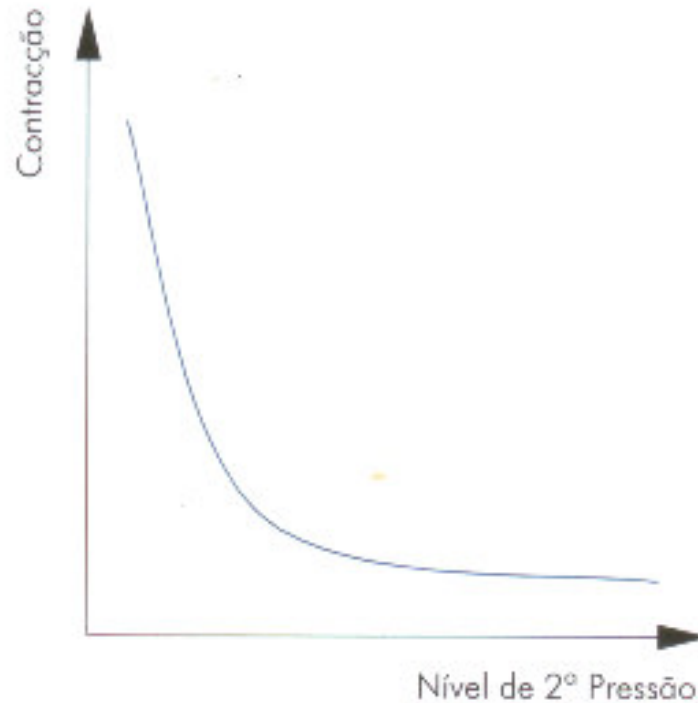


Fig. 5.6 – Influência do valor da 2ª pressão na contração

Condições de processamento – Tempo de recalque

- Tempo de recalque determina o volume de material adicional injetado no molde e conseqüentemente a contração final
- Tempos de pressão mais longos diminuem a contração final da peça

Condições de Processamento – Tempo Pressão de Recalque

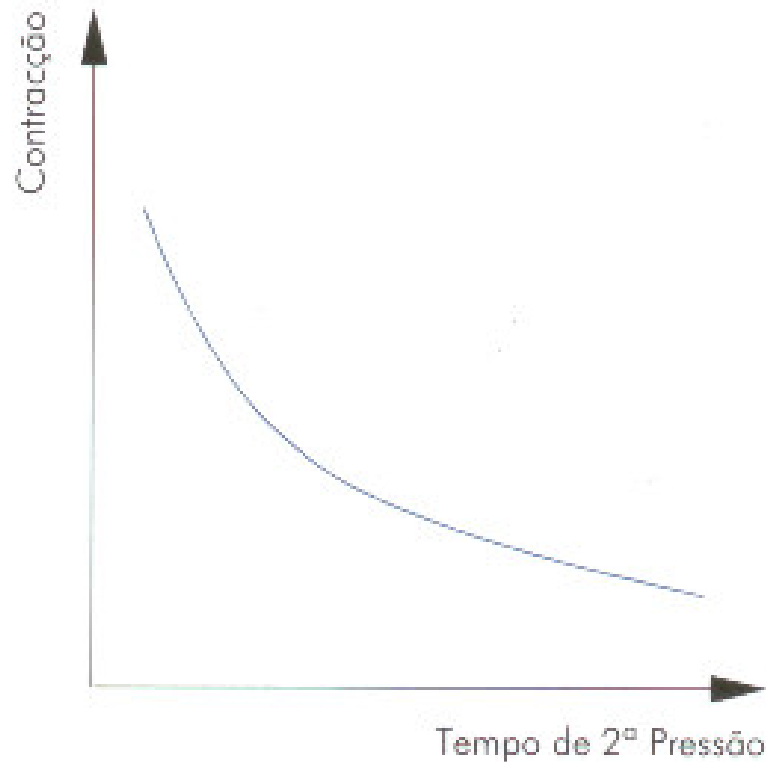


Fig. 5.7 – Influência do tempo de 2ª pressão na contração

Condições de Processamento – Temperatura do molde

- A temperatura do molde determina a velocidade de resfriamento ao longo da espessura, a conseqüente distribuição de tensões residuais e o perfil de pressões dentro da cavidade
- A contração da peça varia diretamente com a temperatura do molde
- Quanto maior for a temperatura do molde maior a contração
- O efeito é reduzido em materiais amorfos e mais pronunciado nos semicristalinos

Condições de Processamento – Temperatura do Molde

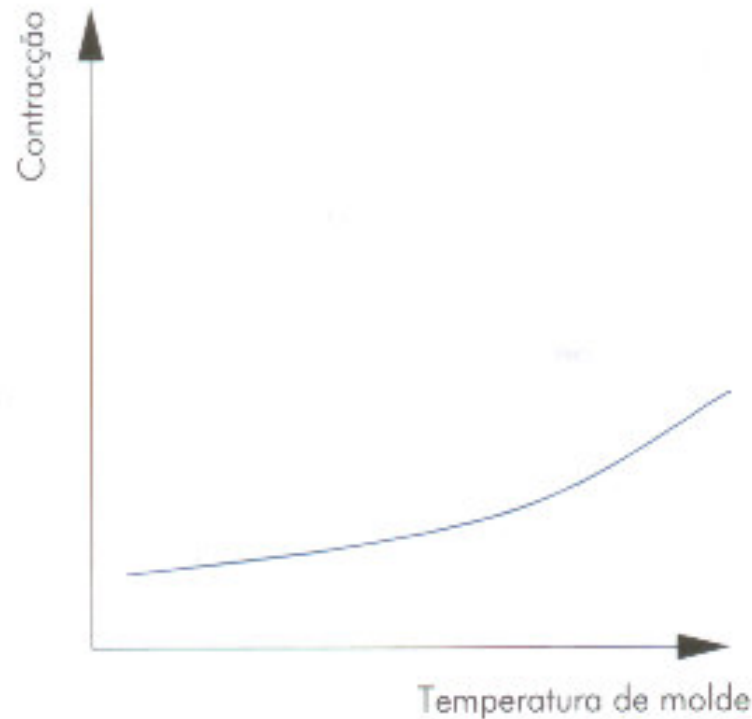


Fig. 5.8 – Influência da temperatura do molde na contração

Condições de Processamento – Temperatura de Injeção

- Temperaturas elevadas aumentam o volume específico, no entanto, o aumento da temperatura diminui a viscosidade do material aumentando a eficiência da compactação
- Em materiais semicristalinos o efeito é mais pronunciado devido ao maior tempo de resfriamento necessário para promover uma maior cristalinidade

Condições de Processamento – Temperatura de Injeção

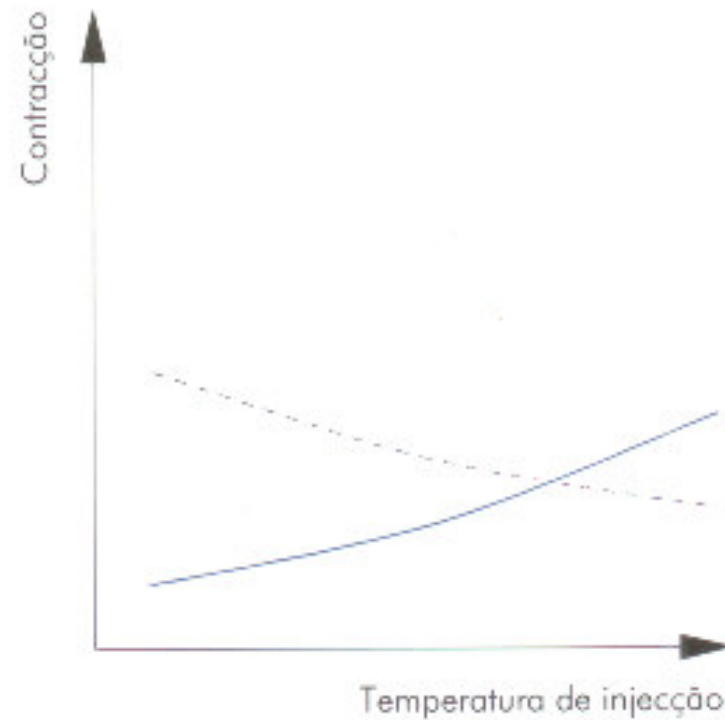


Fig. 5.9 – Influência da temperatura de injeção na contração

Condições de Processamento – Temperatura de extração

- Temperaturas de extração mais altas aumentam a contração da peça
- Quanto menor for o tempo de resfriamento menor é o efeito do constrangimento mecânico na contração

Condições de Processamento – Temperatura de extração

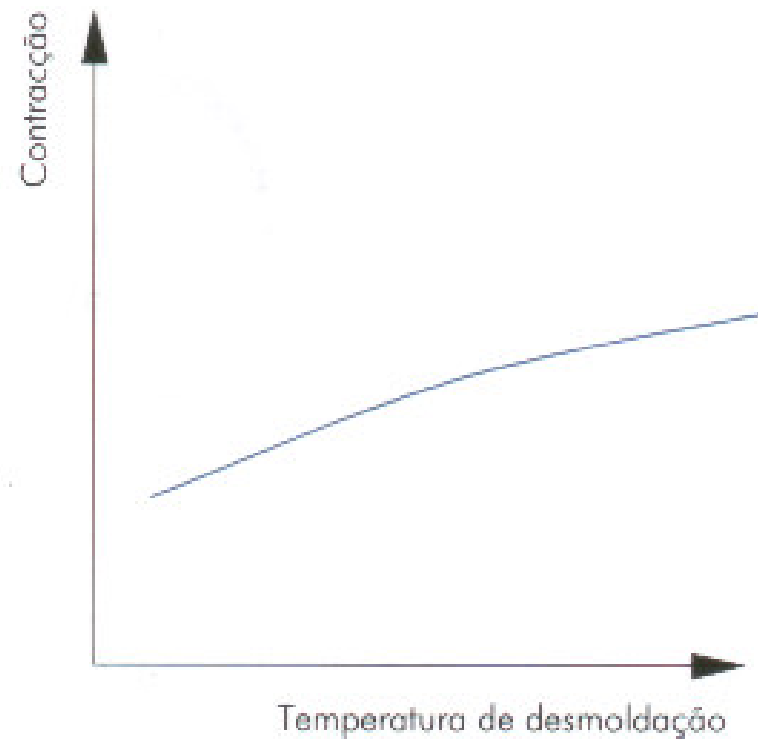


Fig. 5.10 – Influência da temperatura de desmoldação na contração

Correlação entre tolerâncias de moldes e contração

- A especificação de tolerâncias de peças plásticas moldadas por injeção tem obrigatoriamente que considerar a natureza do material termoplástico a moldar
- A norma DIN 16901, por exemplo, considera a natureza do material, na definição das tolerâncias dimensionais lineares de peças poliméricas (termofixos e termoplásticos), moldadas por injeção, compressão e outras variantes destas.

Norma DIN 16901

- Tolerâncias gerais para todas as cotas cujos desvios não estejam especificadas em qualquer documento (desenho da peça, documento de produção ou de encomenda, etc);
- Tolerâncias das cotas com desvios definidos (definição feita junto das mesmas no documento) (Estas tolerâncias apresentam duas classes: 1 e 2).

Norma DIN 16901

- Tolerâncias gerais – 4 grupos de tolerâncias (160, 150, 140 e 130)
- Tolerâncias das cotas com desvios definidos junto do valor nominal - 7 grupos de tolerâncias (160, 150, 140, 130, 120, 110) e engenharia de precisão)

Norma DIN 16901

- Exemplo 1: PP não carregado ou reforçado, com dimensão definida pela moldagem direta de 180 mm (Tolerâncias DIN 16901 – 150)

Dimensões de 160 a 200 mm		
150	A	$\pm 1,50$ mm
	B	$\pm 1,40$ mm

A. Dimensões não relacionadas com o molde
B. Dimensões relacionadas com o molde

Tab. 5.4 – Toleranciamento geral de PP não carregado ou reforçado para as dimensões de 160 a 200 mm (Tolerâncias DIN 16901 – 150)

Norma DIN 16901

- Exemplo 2 – ABS (carregado ou não) dimensão de 180 mm

Dimensões de 160 a 200 mm		
130	A	$\pm 0,70$ mm
	B	$\pm 0,60$ mm

A. Dimensões não relacionadas com o molde
B. Dimensões relacionadas com o molde

Tab. 5.5 – Toleranciamento geral de ABS (carregado ou não) para as dimensões de 160 a 200 mm (Tolerâncias DIN 16901 – 130)

Configuração e estado da ferramenta

- O desempenho de um molde pode ser avaliado pelo desempenho de cada um de seus sistemas funcionais
- A qualidade dimensional das peças produzidas pode depender direta ou indiretamente, em certa medida, da eficiência com a qual o molde desempenha as suas funções

Configuração e estado da ferramenta

- A tolerância da peça plástica injetada é a soma dos desvios acumulados associados ao:
 - Material
 - Processo de injeção
 - Molde

Configuração e estado da ferramenta

- Devido a contração dos polímeros, as cavidades do molde têm que apresentar dimensões superiores às que se quer obter nas peças

$$l_M = \frac{l}{1 - C_M}$$

Norma DIN 16901

- Dimensões relacionadas com o molde – todas as dimensões da peça definidas pela mesma parte do molde (ex: comprimento da peça)
- Dimensões não relacionadas com o molde – todas as dimensões da peça determinadas pela interação de elementos móveis (ex: espessura da peça)

Dimensionamento de Peça Plástica

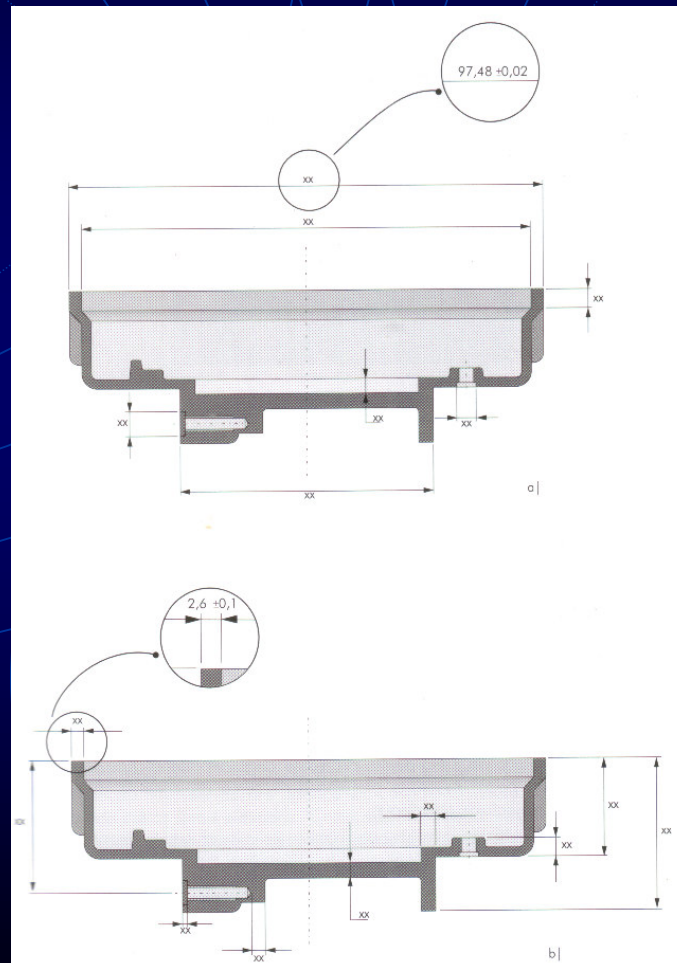


Fig. 5.11 – Dimensionamento de Peça Plástica
a) dimensões relacionadas com o molde (todas as dimensões da peça definidas pela mesma parte do molde);
b) dimensões não relacionadas com o molde (todas as dimensões da peça determinadas pela interação de elementos móveis)

Tolerâncias para usinagem

- Deve-se utilizar a norma DIN 16479
- **Prática comum na indústria de moldes** – emprego de uma tolerância para usinagem do molde igual a metade da tolerância usada na peça plástica
- Uso de tolerâncias para usinagem do molde sejam entre 10 a 70% da tolerância estabelecida para a peça plástica

Norma DIN 16479

- O desgaste do molde em produção, como resultado do atrito imposto pelo escoamento do material, não deve influenciar as tolerâncias definidas
- O uso rígido das tolerâncias de usinagem nas cavidades não garante o cumprimento das tolerâncias dimensionais finais da peça
- A eficiência na obtenção das cotas da peça dependem do desempenho térmico do molde

Tolerâncias para usinagem de moldes – DIN 16479

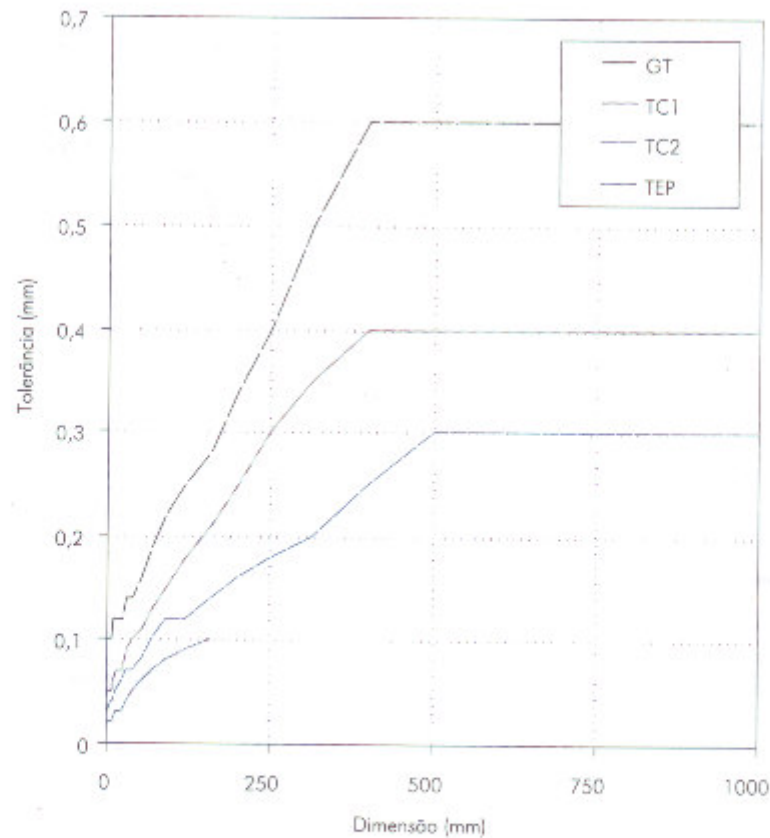


Fig. 5.12 – Tolerâncias para maquinação de moldes de acordo com a norma DIN 16479/1986:
GT – tolerâncias gerais, TC1 – tolerâncias Classe 1 das cotas com desvios definidos,
TC2 – tolerâncias Classe 2 das cotas com desvios definidos,
TEP – tolerâncias para engenharia de precisão, Rever Normas DIN 16901 e 16479

Conclusões

- As tolerâncias mais apertadas devem ser evitadas, sempre que possível, reduzidas ao mínimo, devendo ser evitado em zonas de junta do molde ou de elementos móveis
- O cumprimento das tolerâncias na peça injetada depende do: projeto da peça; bom estado, configuração e desempenho da ferramenta e condições de processamento adequadas e controladas