



Departamento de Engenharia de Materiais (SMM)
Escola de Engenharia de São Carlos (EESC)
Universidade de São Paulo (USP)

SMM0315 – Processamento de Materiais IX: Polímeros

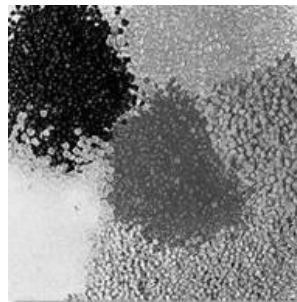
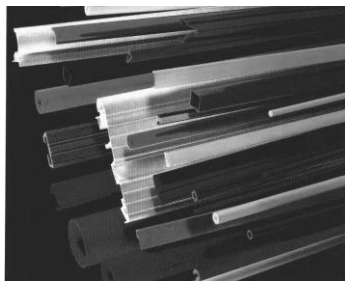
Docente: Marcelo A. Chinelatto

Fevereiro – Julho de 2025

1

I. Introdução ao Processamento de Polímeros

Entende-se por **processamento** ou **moldagem** a transformação de uma matéria-prima polimérica em um produto polimérico ou um semimanufaturado que deverá sofrer novo processamento.



2

I. Introdução ao Processamento de Polímeros

◦ A grande maioria dos materiais poliméricos é submetido à **deformações ou fluxo no estado fundido** durante o curso de seus processos de fabricação ou de transformação em produtos acabados.

- Deformação dos polímeros termoplásticos no estado fundido (melt).

Os processos para esse fim incluem extrusão, moldagem por injeção, calandragem, rotomoldagem. Esse processo é o mais importante em termos de volume.

3

I. Introdução ao Processamento de Polímeros

- Outras possibilidades de transformação
- Deformação no estado borrachoso.

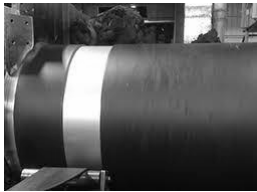
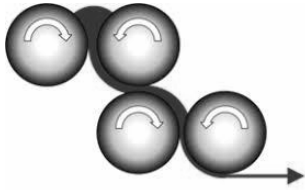
Vacuum forming (termoformagem), conformação à pressão e técnicas envolvendo pressão em geral.

Processamento de soluções para a fabricação de filme, fibras e filamentos.

Processamento de resinas de baixa massa molar ou precursores de polímeros para a preparação de placas (acrílico) e laminados de resina reforçada com vidro e outros materiais.

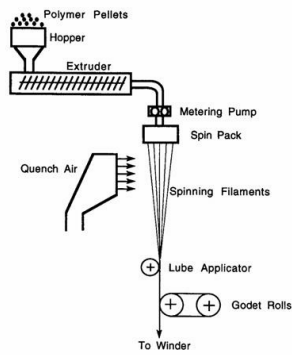
4

Calandragem



5

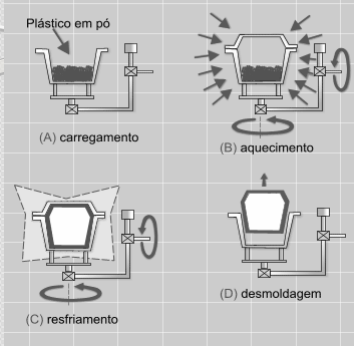
Fibras



6

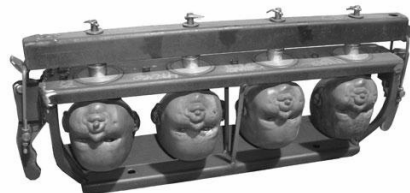
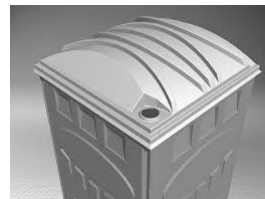
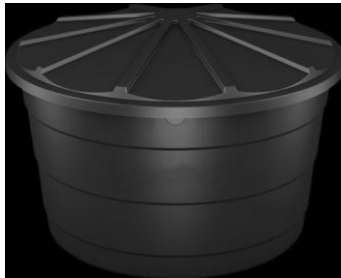
Rotomoldagem

Processo de Rotomoldagem



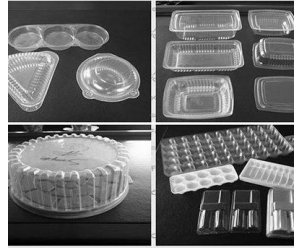
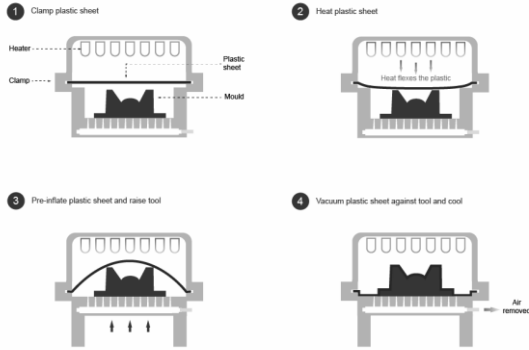
7

Rotomoldagem



8

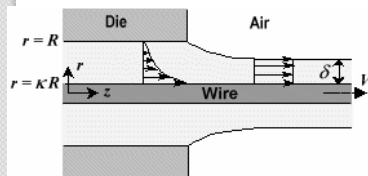
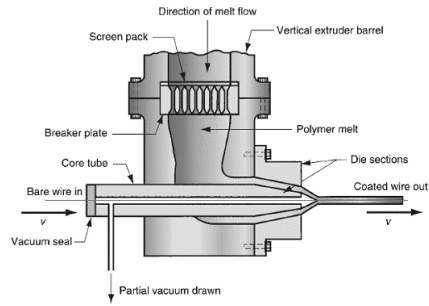
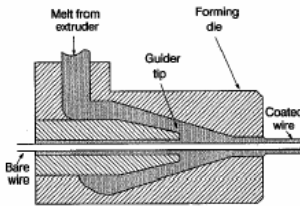
Termoformagem



9

Revestimento

Wire coating



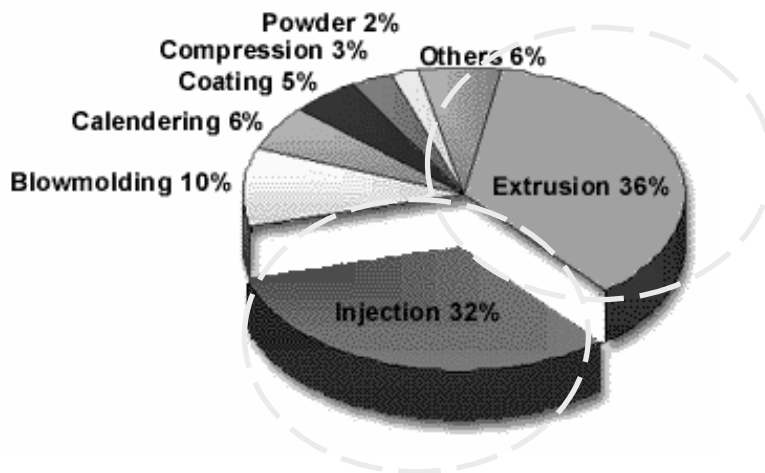
10

Processamento de Polímeros

- A escolha de um processo dependerá:
 - I. características da peça pretendida em termos de forma, aspecto, dimensões, precisão de medidas exigidas e propriedades requeridas.
 - II. características do material polimérico selecionado para a fabricação da peça, incluindo a necessidade de incorporação de aditivos, estágios de fabricação, comportamento térmico e reológico, etc.
 - III. quantidade (ou tiragem) pretendida para a peça a ser produzida

11

Principais Técnicas de Processamento de Polímeros



12

Extrusão

□ INTRODUÇÃO

Extrusão é um processo de transformação onde o material é forçado para fora de um compartimento, pelo aumento da pressão interna.

Na saída do compartimento existe uma abertura com um formato geométrico que proporciona uma forma bem definida ao material extrudado (*extrusado*).

13

Extrusão

□ INTRODUÇÃO

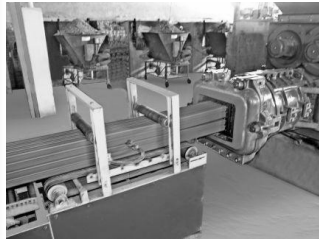
No processo de extrusão, o material fundido ou líquido é bombeado através da saída do compartimento.

O bombeamento pode ser contínuo enquanto tiver material no compartimento e este for submetido a uma pressão superior à pressão externa.

14

Extrusão

◻ INTRODUÇÃO



O processo de extrusão é bastante antigo. Não é um processo exclusivo de transformação de polímeros. É utilizado pelas indústrias de alimentos, cerâmicas e metais (alumínio).

15

Extrusão de Polímeros

◦ A palavra “extrusão” é derivada do Latim:-
extrudere

“ex = fora” e “trudere = empurrar ou forçar ”

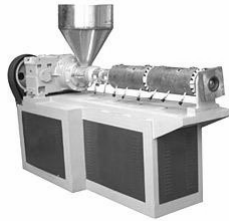
Extrusão é um dos processos mais importantes para transformação de materiais poliméricos.

A extrusora, máquina que realiza este processo, é um dos equipamentos de maior importância na indústria de processamento de polímeros.

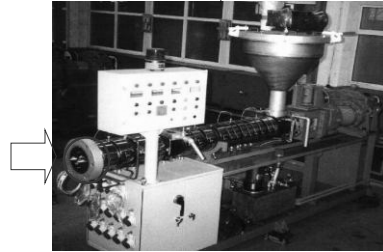
16

Tipos de Extrusoras

Extrusoras de Roscas Simples



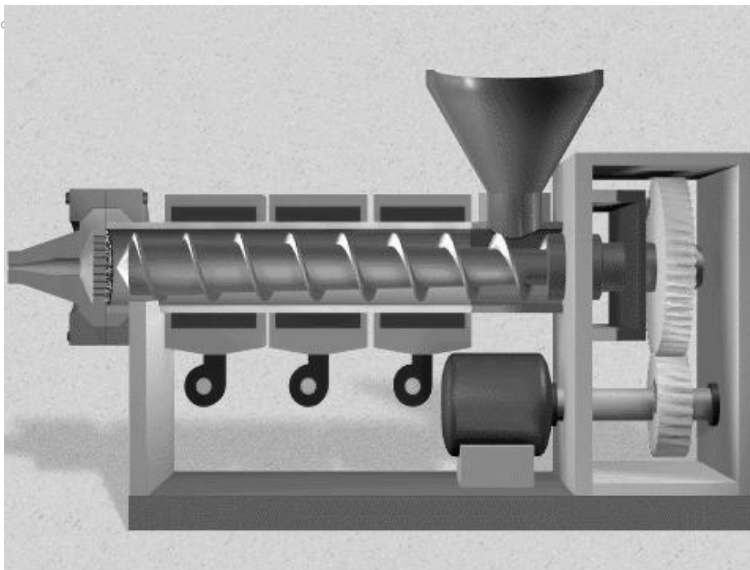
Extrusoras de Dupla Rosca



A grande maioria (90%) dos processos de extrusão de polímeros é efetuada em extrusoras de rosca simples (mono-roasca).

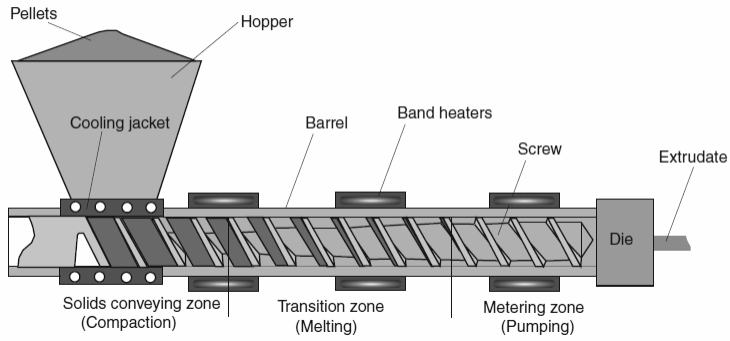
17

Extrusora Mono-roasca



18

Extrusoras de Rosca Simples ou de Rosca Única



19

Linha de Extrusão Simples (Mono-roscas)

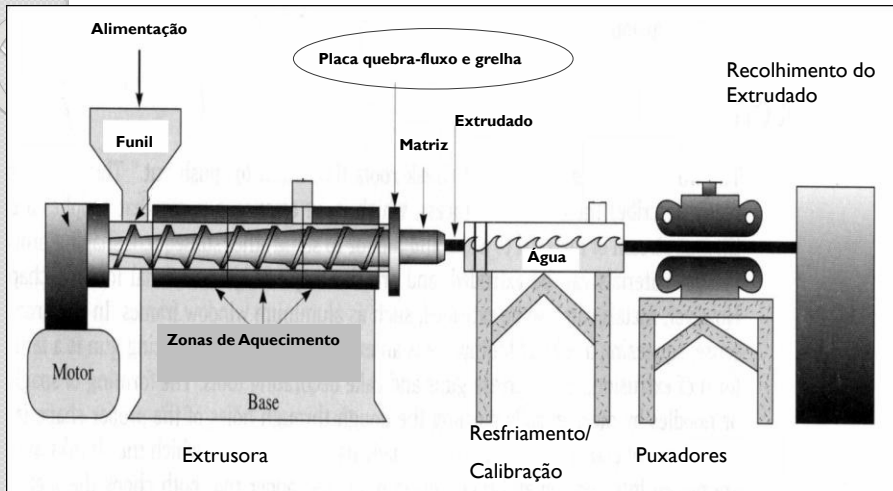


Diagrama esquemático da linha de extrusão com uma extrusora comum de rosca simples e os principais componentes da máquina.

20

Desenvolvimento da Morfologia em Blendas Poliméricas

Modelo Proposto por Makosco *et al.*

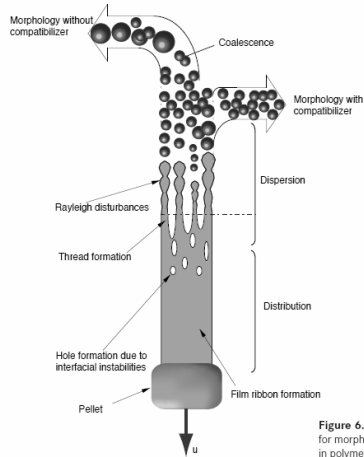


Figure 6.23 Mechanism for morphology development in polymer blends

1. O processo inicia-se a partir da formação de uma fina fita de polímero fundido a partir do grânulo.

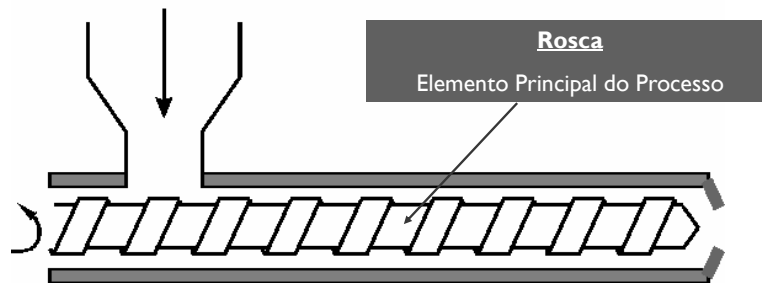
2. A fita é estirada e a tensão superficial causa furos e tiras.

3. Essas tiras são estiradas e reduzem de diâmetro até que a tensão superficial provoque distúrbios de Rayleigh e as tiras quebrem pequenas gotas.

23

Aspectos Importantes da Extrusora (Rosca Simples)

A extrusora possui um cilindro (canhão) com um parafuso (rosca) interno livre para girar.



24



□ Requisitos Básicos na Construção de uma Extrusora Mono-rosca

1) Mancal de Apoio

- fixar a rosca mantendo-a centralizada;
- para empurrar o material para frente é necessário criar uma pressão do fundido. A pressão criada empurra a rosca para trás tendendo a esmagá-la contra o rolamento;
- a pressão de 2000 Psi utilizada em um processo de extrusão (50 mm) causa uma força de recuo na rosca de 3 toneladas.

25



□ Requisitos Básicos na Construção de uma Extrusora Mono-rosca

2) Motor e Caixa de Engrenagens

- Motor elétrico (220, **380** e 440 V)
- **↑ velocidade da rosca ↑ vazão (normalmente)**
- Alteração da velocidade da rosca (50 a 150 rpm)
 - i) usar um motor de velocidade ajustável (CC).
 - ii) usar um motor de velocidade constante acoplado a um sistema mecânico de alteração de velocidade.
 - iii) usar um inversor de frequência

26



☐ Requisitos Básicos na Construção de uma Extrusora Mono-rosca

3) Funil de alimentação

- deve ser projetado para carregar as matérias-primas em várias formas (grânulos, pós, tiras, aparas, etc.) e ser suficientemente amplo para conter a quantidade adequada de polímero. A alimentação ocorre por gravidade.

- Alimentação

- i) por afogamento ou inundação (nível no funil cte).
- ii) contínua: o funil não permanece cheio, mas existe um sistema de alimentação ou de dosagem composto por uma rosca sem fim que alimenta a extrusora, principalmente extrusoras duplas roscas à taxas constantes e programáveis.

27



☐ Requisitos Básicos na Construção de uma Extrusora Mono-rosca

3) Funil de alimentação

Nesta região deve existir um sistema de refrigeração com a finalidade de evitar a fusão prematura da resina nas paredes da rosca e conseqüentemente o bloqueio na alimentação.

Normalmente esta refrigeração é feita com água.

28

□ Requisitos Básicos na Construção de uma Extrusora Mono-rosca

3) Funil de alimentação

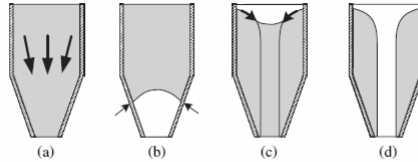


Fig. 4.7 Schematic representation of (a) “mass” flow in hoppers, (b) “arching,” (c) “funnel” flow, and (d) “piping.”

a) e c) não provocam distúrbios ou instabilidades na alimentação

b) e d) provocam distúrbios ou instabilidades na alimentação. Portanto devem ser eliminados.

29

□ Requisitos Básicos na Construção de uma Extrusora Mono-rosca

3) Funil de alimentação

A instabilidade na alimentação de uma extrusora pode ser eliminada via “alimentação forçada”.

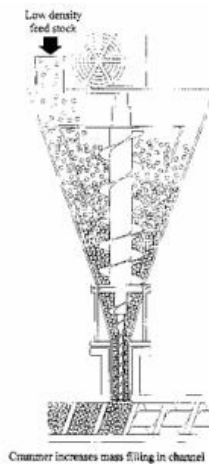
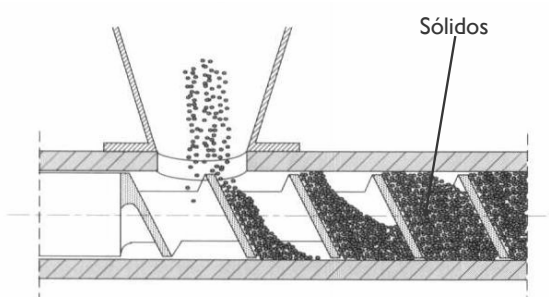


Figure 10 Crammer feeder.

30

❑ Requisitos Básicos na Construção de uma Extrusora Mono-rosca

3) Funil de alimentação

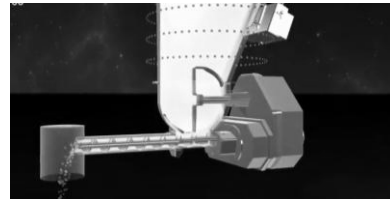


A dosagem pode ser feita com *auxílio de dosadores*.

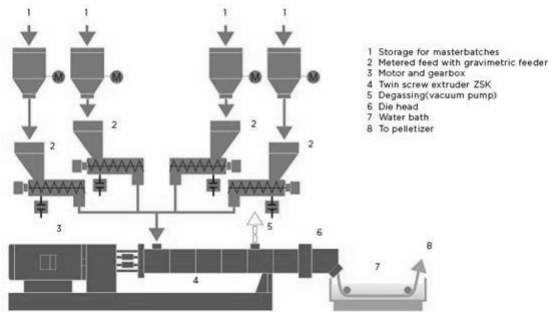
31

❑ Requisitos Básicos na Construção de uma Extrusora Mono-rosca

3.1) Dosadores



Color-Matching Process



32

☐ Requisitos Básicos na Construção de uma Extrusora Mono-rosca

4) Barril / Canhão / Cilindro

O barril deve ser suficientemente longo para gerar um gradiente de pressão e conseqüentemente compactar e plastificar o polímero.

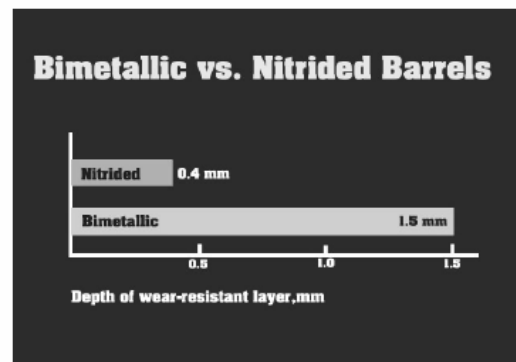
Deve fornecer uma ampla área de contato para gerar calor por atrito

As paredes internas do barril (e externas da rosca) devem ser temperadas e endurecidas para resistir a corrosão e ao desgaste.

33

☐ Requisitos Básicos na Construção de uma Extrusora Mono-rosca

4) Barril / Canhão / Cilindro



34

□ Requisitos Básicos na Construção de uma Extrusora Mono-rosca

4) Barril / Canhão / Cilindro

Recondicionamento do Barril (para casos de desgaste)

▪ **Brunimento**

A espessura de material retirada do barril deve ser adicionada na rosca de extrusão.

Se for retirada, por exemplo, uma espessura de 1 mm do diâmetro interno do barril, deve-se colocar 1 mm no filete da rosca.

35

□ Requisitos Básicos na Construção de uma Extrusora Mono-rosca

4) Barril / Canhão / Cilindro

Recondicionamento do Barril (para casos de desgaste)

▪ **Brunimento**

Entretanto, muda-se a taxa de compressão da extrusora (TC)

$$TC = \frac{\textit{altura do canal na zona de alimentação } (h_i)}{\textit{altura do canal na zona de dosagem } (h_f)}$$

36

☐ Requisitos Básicos na Construção de uma Extrusora Mono-rosca

4) Barril / Canhão / Cilindro

Recondicionamento do Barril (para casos de desgaste)

▪ Brunimento

☐ Exemplo:

- Antes: $h_i = 30 \text{ mm}$ e $h_f = 8,5 \text{ mm} \rightarrow TC = 3,5$
- Depois: $h_i = 30,5 \text{ mm}$ e $h_f = 9,0 \text{ mm} \rightarrow TC = 3,4$

A diminuição na TC pode resultar na presença de bolhas no produto final.

37

☐ Requisitos Básicos na Construção de uma Extrusora Mono-rosca

5) Sistemas de Aquecimento e Resfriamento

Durante a extrusão de polímeros, deve-se manter um controle rígido da temperatura nas diversas zonas da rosca. Os sistemas de aquecimento devem fornecer calor necessário para a fusão do polímero.

☐ Resistências Elétricas

Normalmente são externas ao barril, podendo ter cobertura para minimizar a troca de calor para o ambiente.

Formam zonas de aquecimento.

38

❑ Requisitos Básicos na Construção de uma Extrusora Mono-rosca

6) Grelha (Placa Quebra Fluxo e Telas)

6.1 – Placa Quebra Fluxo (Breaker Plate)

Para gerar suficiente alta pressão de extrusão deve-se manter alguma forma de restrição ao fluxo do polímero.

Serve também para alinhar o fluxo na direção axial e para filtrar e homogeneizar o fundido.

Servem também suportes para as telas.



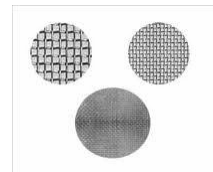
São discos de aços com orifícios de diâmetro de 3 a 5 mm e sem pontos de estagnação

39

❑ Requisitos Básicos na Construção de uma Extrusora Mono-rosca

6) Grelha (Placa Quebra Fluxo e Telas)

6.2 – Telas de Filtragem (Screen)



Consiste em uma malha metálica, disponível com vários tamanhos de furos (ou mash) que atuam como filtro, impedindo a passagem de impurezas e polímero sólido para a matriz.

Dependendo de sua malha, as telas também aumentam a pressão no cabeçote da extrusora.

Cabeçote: é o nome dado ao conjunto composto pela placa quebra fluxo, tela e matriz.

40

□ Requisitos Básicos na Construção de uma Extrusora Mono-rosca

Grelha e Matriz



restrição ao fluxo

Placa Quebra Fluxo + Tela de Filtragem

A restrição ao fluxo proporciona três importantes funções:

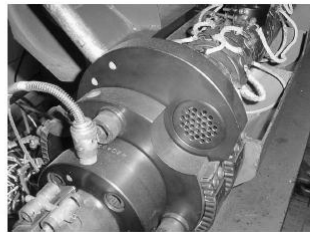
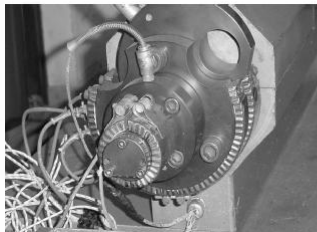
- i) aumenta a pressão de contra-fluxo e conseqüentemente aumenta o cisalhamento e mistura do material;
 - ii) assegura que todo o material passando através da matriz está totalmente homogêneo e livre de impurezas;
 - iii) transforma o fluxo rotacional do material no canal da rosca em fluxo longitudinal na direção de extrusão.
- Entretanto esta restrição ao fluxo reduz a descarga por unidade de energia consumida.

41

□ Requisitos Básicos na Construção de uma Extrusora Mono-rosca

6) Grelha (Placa Quebra Fluxo e Telas)

Trocador de telas



Previne “descontinuidade” e garante troca rápida da tela

42

☐ Requisitos Básicos na Construção de uma Extrusora Mono-rosca

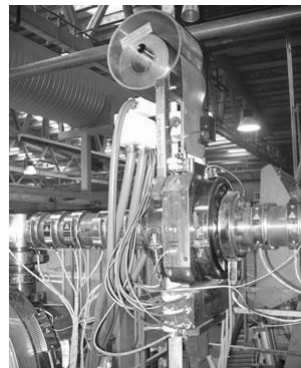
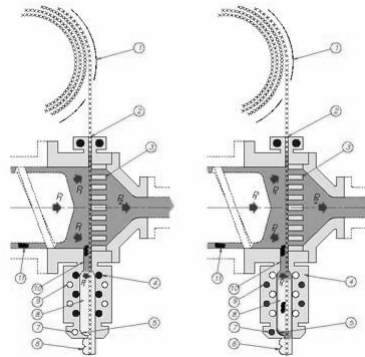
Trocador de telas



43

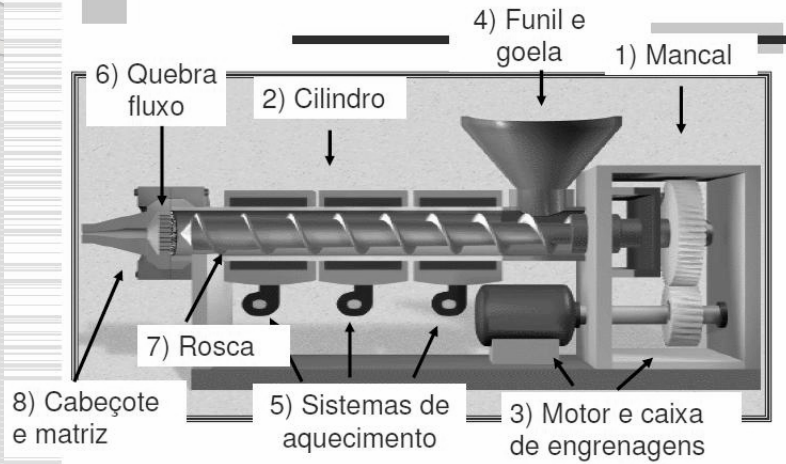
☐ Requisitos Básicos na Construção de uma Extrusora Mono-rosca

▪ Troca de Tela HITECH™



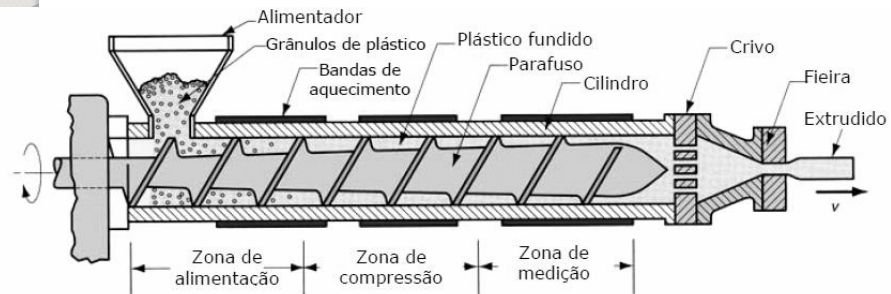
44

Componentes de uma extrusora



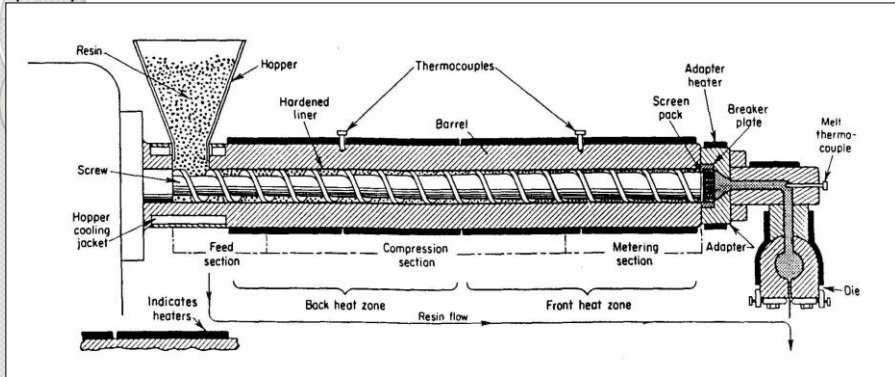
45

Requisitos Básicos na Construção de uma Extrusora Mono-rosca



46

Figura – Diagrama esquemático de uma extrusora comum de rosca simples com as três principais zonas da rosca de extrusão.

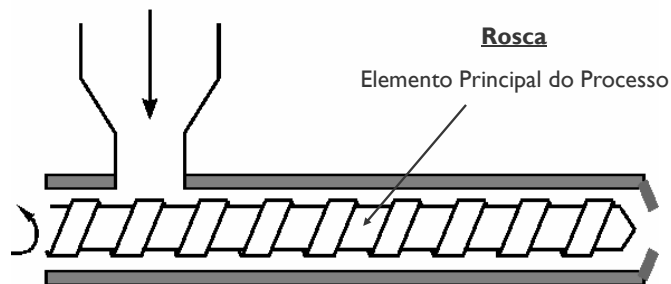


- ➔ Temperaturas de fundidos poliméricos = 180 - 315 °C.
- ➔ Velocidades típicas de roscas = 30 a 150 rpm.
- ➔ Pressões típicas no cabeçote = 7- 40 MPa.
- ➔ Corrente do motor (amperagem) é medida para segurança do motor contra danos por superaquecimento e para monitorar a pulsação na descarga da extrusora.

47

Aspectos Importantes da Extrusora (Rosca Simples):

A extrusora possui um cilindro(canhão) com um parafuso (rosca) interno livre para girar.



48

□ Mono-roasca de Extrusão

° Parte móvel do equipamento

Velocidades típicas de trabalho entre 30 e 150 rpm, entretanto em alguns casos pode-se alcançar 200 rpm.

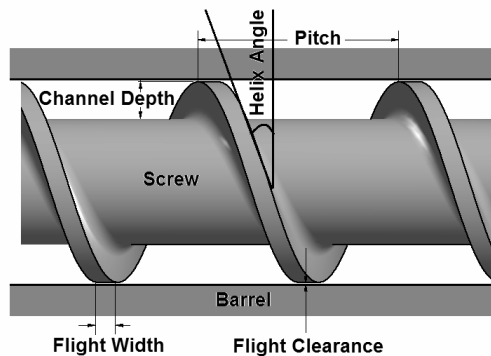
Função: transportar e plastificar o polímero. Deve-se lembrar que o polímero apresenta baixa condutividade térmica e alta viscosidade.

Deve ser projetada para máxima eficiência e vazão (Q), além de durabilidade, plastificação e homogeneização adequadas (sem provocar a degradação do polímero).

Isto requer projetos de roscas específicos para cada material.

49

□ Mono-roasca de Extrusão



Pitch = passo da rosca

Flight width = largura do filete da rosca.

https://www.google.com.br/search?q=screw+extruder+geometry&biw=1366&bih=643&tbm=isch&imgil=A33H5gMCuep_3M%253A%253BMxSFD0XIRJN2QM%253Bhttp%25253A%25252F%25252Fwww.macroeng.com%25252Funderstanding-screw-design-for-film-extrusion-process.php&source=iu&pf=m&fir=A33H5gMCuep_3M%253A%25252CMxSFD0XIRJN2QM%2525C_&usg=__mLJl-Azr-Y42D6sHr_9Q0P6mf9U%3D&ved=0ahUKewjA3LmkpZ7LahXfg5AKHbfDxEQyjcJQ&ei=U-rUVoDnNcWWhwgS4v76IAQ#imgcr=A33H5gMCuep_3M%3A

50

□ Influência da geometria da rosca no processo de extrusão

○ 1) Comprimento e diâmetro

- a quantidade de material manejada pela extrusora (mantendo outros fatores cte) varia com o diâmetro e profundidade dos canais da mesma.
- o comprimento da rosca influi:
 - i. quantidade de calor gerado pelo trabalho interno de atrito.
 - ii. na quantidade de calor gerado para aquecimento por condução devido as resistências elétricas.

L influi no fornecimento de calor para que o polímero atinja a temperatura desejada.

51

□ Influência da geometria da rosca no processo de extrusão

○ 2) Passo da rosca

↑ passo ⇒ ↑ taxa de descarga da extrusora



desde que a rotação seja mantida cte

3) Profundidade do canal da rosca h

↑ h ⇒ ↑ taxa de descarga da extrusora

↓ h ⇒ ↑ a taxa de cisalhamento



desde que a rotação seja mantida cte

52

□ Influência da geometria da rosca no processo de extrusão

4) Folga da rosca e Geometria das Espiras



↑ folga ⇒ ↓ a descarga da extrusora

↓ folga ⇒ ↑ a taxa de cisalhamento

53

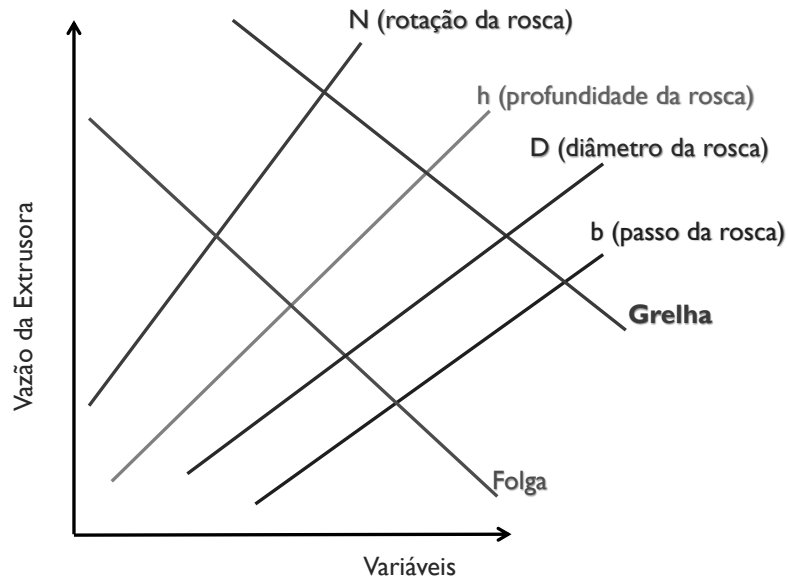
□ Influência da geometria da rosca no processo de extrusão

4) Folga da rosca e Geometria das Espiras

O formato geométrico das espiras ou filetes da rosca influencia na taxa de cisalhamento e na eficiência de mistura. Filetes com grandes inclinações (formando ângulos agudos) formam pontos mortos que propiciam a degradação térmica do polímero.

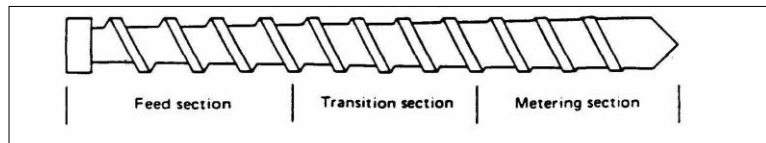
54

☐ Influência da geometria da rosca no processo de extrusão



55

Perfil Geométrico Típico de uma Rosca Simples de Extrusão.



Uma rosca padrão de extrusão costuma apresentar 3 zonas (seções) distintas:-

1. zona de alimentação (ou feed section).
2. zona de compressão ou transição ou fusão (ou compression section)
3. zona de dosagem ou controle de vazão (ou metering section)

56



Perfil Geométrico Típico de uma Rosca Simples de Extrusão.

Zona de Alimentação (responsável pelo transporte dos grânulos)

Menor aquecimento nesta zona, sendo mantido sob refrigeração (água)

A altura do filete é a maior, sendo o material apenas transportado com pequeno aquecimento.

57



Perfil Geométrico Típico de uma Rosca Simples de Extrusão.

Zona de Compressão (responsável pela fusão)

- Redução gradual da altura do filete
- A extensão desta região pode variar dependendo do polímero.
- Fusão: como uma função da temperatura, pressão e cisalhamento.
- Expulsão do ar.

58

☐ Linha de Transição - Coexistência entre sólido/líquido

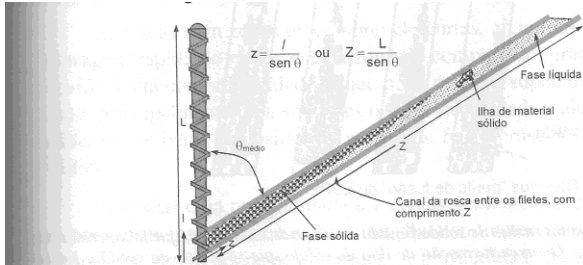
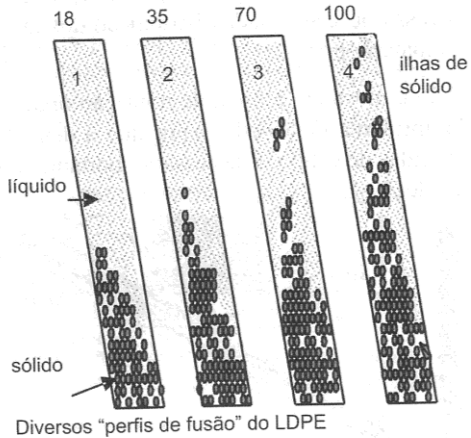


Figura 3.24 - Distribuição da razão sólido/líquido dentro do canal da rosca desde o funil até a extremidade. O cordão sólido perdura até quase o final da rosca, evitando que o ar vá para frente e seja aprisionado na fase líquida. Se o ar for junto com a massa fundida, o produto extrudado conterá bolhas e microbolhas altamente prejudiciais, bem como esse ar, ao esquentar e sob alta pressão, acelera o processo de degradação da resina

59

☐ Linha de Transição - Coexistência entre sólido/líquido

LDPE na temperatura de 180°C, diferentes rotações (rpm) da rosca conforme indicado



60

Perfil Geométrico Típico de uma Rosca Simples de Extrusão.

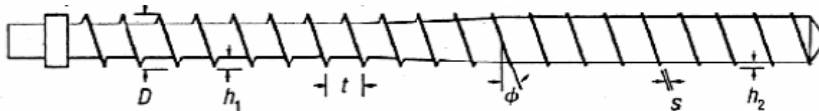
° Zona de Dosagem (responsável pela finalização da homogeneização e pelo fluxo uniforme)

Na zona de dosagem a rosca apresenta sucros rasos, tendo a função de controlar a vazão do equipamento, gerar pressão requerida para a extrusão e promover uma mistura eficiente do material.

Antes de sair do cilindro, o material é normalmente forçado através de uma placa (ou filtro ou ainda placa quebra fluxo), gerando maior mistura e homogeneização do material

61

□ Mono-rosca Padrão



Comprimento da rosca: 20D a 30D (para termoplásticos)

Comprimento da zona de alimentação: 4D a 8D

Comprimento da zona de dosagem: 6D a 10D

Passo: 1D (rosca de passo quadrado – ângulo do filete ~17,67°)

Largura real do filete: 0,1D

Altura do canal da zona de alimentação (h_1): 0,10D a 0,15D

Altura do canal da zona de dosagem (h_2): 0,03D a 0,06D

Taxa de compressão (RC): 2 a 4.

62

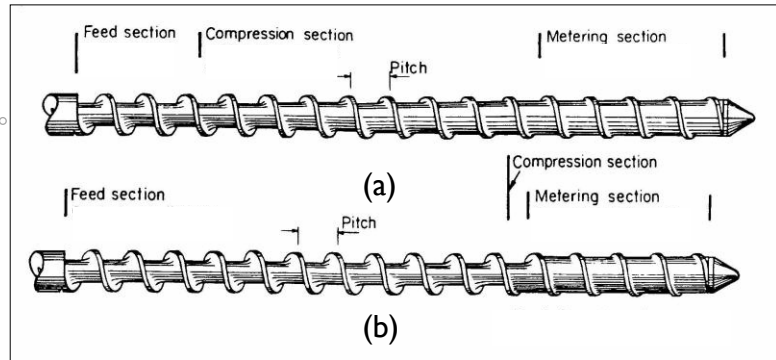


Figura – Projeto de duas roscas com diferenças de configuração para extrusão de (a) polietileno (LDPE) e (b) náilon-66.

Diferenças nas características de fusão de cada polímero:

- **LDPE tem ponto de fusão baixo ($T_f = 115^\circ\text{C}$) e um intervalo largo de temperatura de fusão (30 - 40 $^\circ\text{C}$).**
- **PA 66 funde à uma temperatura mais elevada ($T_f = 260^\circ\text{C}$), porém num curto intervalo de temperatura (3 - 5 $^\circ\text{C}$).**

63

□ Roscas de extrusão típicas para alguns polímeros

Tabela 7.1 Dimensões, em mm, de alguns parafusos típicos de extrusão.

	PVC Rígido	PS	PEBD	PEAD	Náilon
Diâmetro	90	90	90	90	90
Comprimento	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800
Zona 1	270	540	450	720	1.350
Zona 2	1.530	360	900	360	90
Zona 3	0	900	450	720	360
Passo	90	90	90	90	90
Altura (B_3)	5	3,5	3,1	3,9	3,1
Altura (B_1)	15	15	15	15	15

64

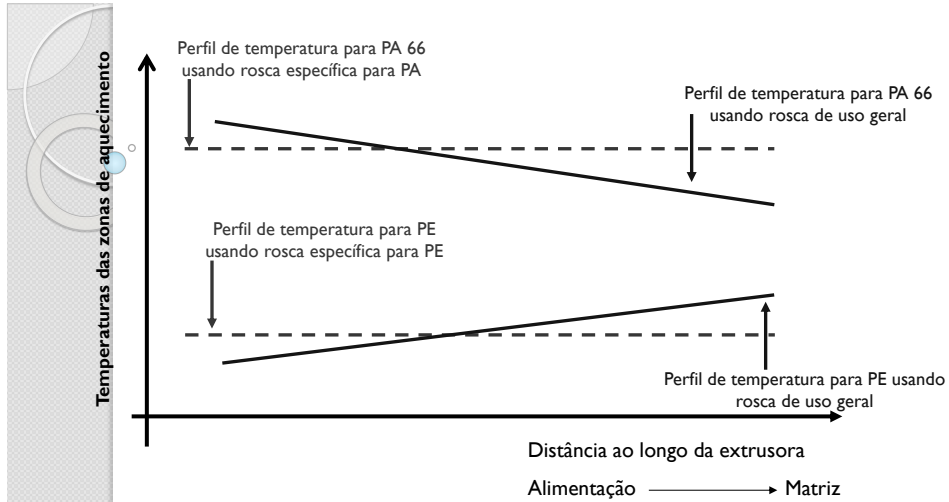


Figura – Perfis de temperaturas para LDPE e PA 66 quando extrudados numa mesma rosca de uso geral e em relação a roscas específicas projetadas para as mesmas resinas.

65

Extrusora : Valores Típicos

Table 6.1 Typical Extruder Dimensions and Relationships (the Notations in Table 6.1 are Defined in Fig. 6.5.)

L/D	Length to diameter ratio 20 or less for feeding or melt extruders 25 for blow molding, film blowing, and injection molding 30 or higher for vented extruders or high output extruders
D	Standard diameter
US (inches)	0.75, 1.0, 1.5, 2, 2.5, 3.5, 4.5, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, and 24
Europe (mm)	20, 25, 30, 35, 40, 50, 60, 90, 120, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, and 600
Φ	Helix angle 17.65° for a square pitch screw where $L_s = D$ New trend: $0.8 < L_s/D < 1.2$
h	Channel depth in the metering section (0.05–0.07) D for $D < 30$ mm (0.02–0.05) D for $D > 30$ mm
β	Compression ratio: $h_{feed} = \beta h$ 2 to 4
δ	Clearance between the screw flight and the barrel 0.1 mm for $D < 30$ mm 0.15 mm for $D > 30$ mm
N	Screw speed 1–2 rev/s (60–120 rpm) for large extruders 1–5 rev/s (60–300 rpm) for small extruders
V_s	Barrel velocity (relative to screw speed) = πDN 0.5 m/s for most polymers 0.2 m/s for unplasticized PVC 1.0 m/s for LDPE

66

☐ Extrusoras Rosca Simples – vazão em função do diâmetro e tipo de polímero

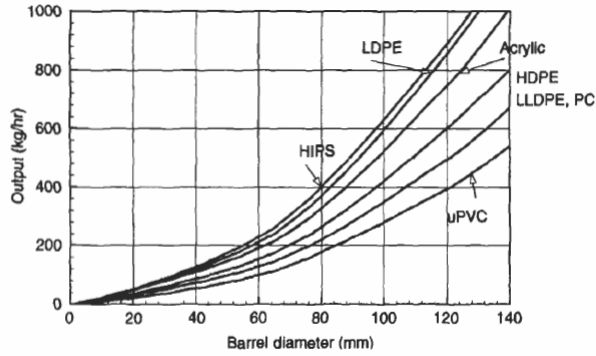


Fig. 4.3 Typical extruder outputs for different plastics

67

A Jornada de uma Partícula Polimérica dentro de uma Extrusora

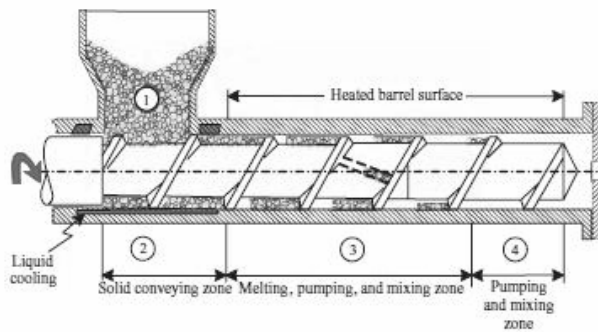


Fig. 9.18 Schematic representation of a plasticating screw extruder. The barrel is cooled in the hopper region and heated downstream. Typical plasticating SSE have length-to-diameter ratios of 24–26.

68

A Jornada de uma Partícula Polimérica dentro de uma Extrusora

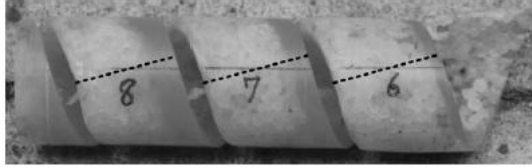
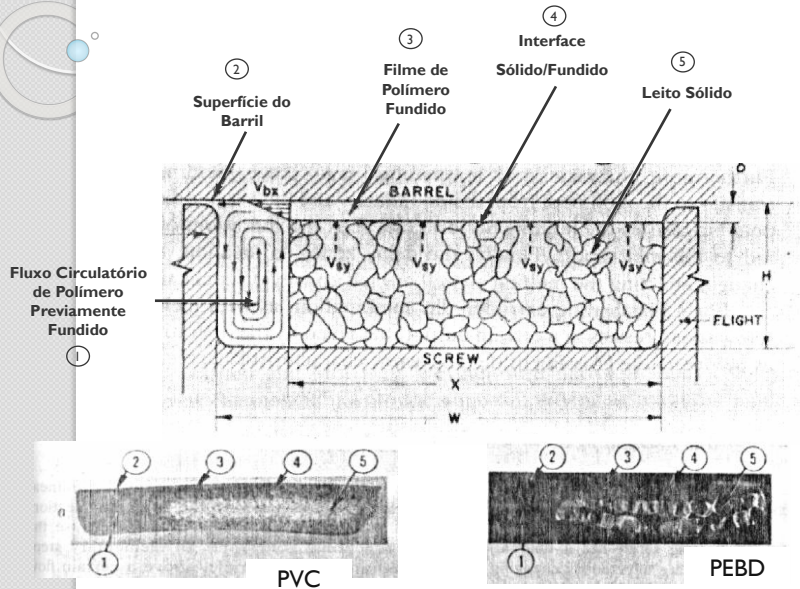


Fig. 9.19 Helical ribbon of LDPE, after it was taken off the screw following a cooling experiment. The numbers indicate turns downstream the hopper and cross sections for examination obtained by slicing it perpendicular to the flights, as shown by the broken line.

69

Zona de Transição MODÉLO DE TADMOR



70

A Jornada de uma Partícula Polimérica dentro de uma Extrusora

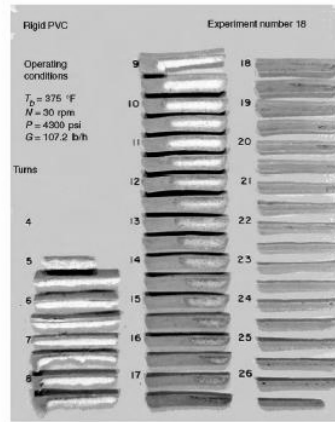


Fig. 9.20 Cross sections obtained from “cooling” experiments of a 2.5-in-diameter 26.5 length-to-diameter ratio screw extruder. Material: rigid PVC. Operating conditions are listed in the figure: T_b is the barrel temperature, N the screw speed, P the pressure at the die, and G the mass flow rate. Numbers denote turns from the beginning (hopper side) of the screw. The screw was of a metering type with a 12.5 turn feed section 0.37 in deep, a 9.5 turn transition section, and a 4.5 turn metering section 0.127 in deep. [Reprinted by permission from Z. Tadmor and I. Klein, *Engineering Principles of Plasticating Extrusion*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1970. The experiments were carried out at the Western Electric Engineering Research Center, Princeton, NJ]

71

A Jornada de uma Partícula Polimérica dentro de uma Extrusora

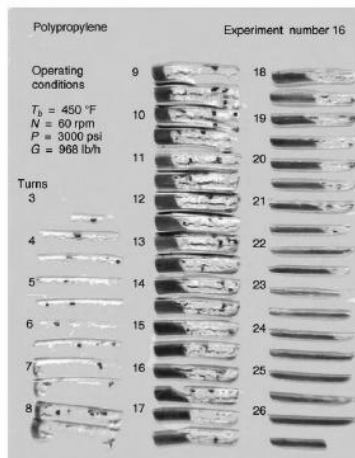


Fig. 9.21 Cross sections obtained from cooling experiments of a 2.5-in-diameter, 26.5 length-to-diameter ratio screw extruder. Material: PP. Operating conditions are listed in the figure ($G = 96.8$ lb/h). Symbols and screw descriptions as in Fig. 9.20.

72

A Jornada de uma Partícula Polimérica dentro de uma Extrusora

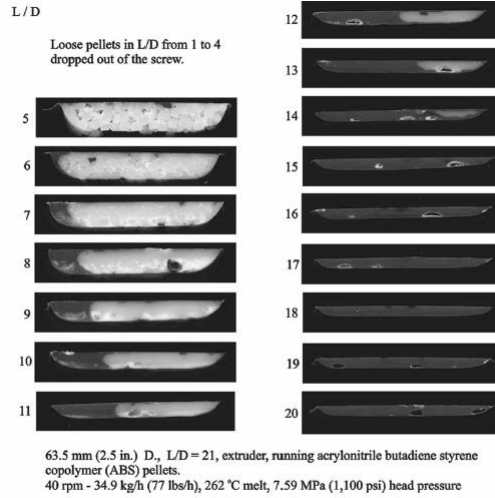
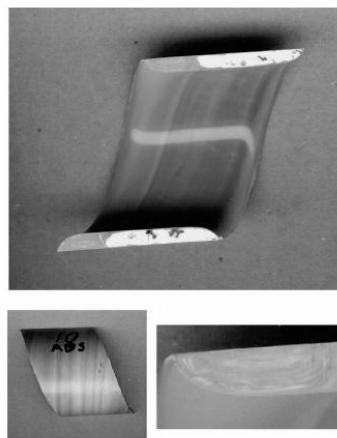


Figure 2.1 Cross-sections of ABS strip along screw channel from screw-freezing experiment (courtesy of Mark Spalding, Kun S. Hyun, and Kevin Hughes, the Dow Chemical Co. USA) (color version is presented in Appendix A)

73

A Jornada de uma Partícula Polimérica dentro de uma Extrusora



ABS segment at 10th L/D from 63.5 mm (2.5 in.) D., L/D = 21, screw with a square-pitch flight (17.65° helix angle)

Figure 2.3 Segment of ABS strip during melting stage from screw-freezing experiment (courtesy of Kun S. Hyun and Mark Spalding, the Dow Chemical Co. USA) (color version is presented in Appendix A)

74

Fluxos em uma extrusora mono-rosca

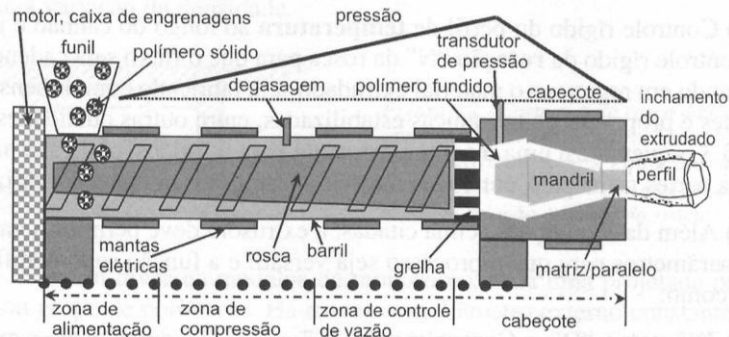


Figura 3.3 - Esquema de uma extrusora com suas diversas partes funcionais

75

Parâmetros que afetam a geração de pressão e o perfil de velocidades ao longo do barril e da rosca

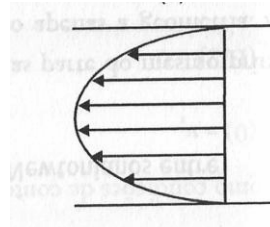
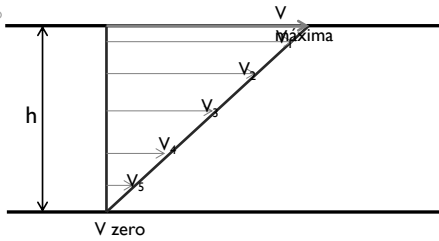
O perfil de distribuição da pressão ao longo da rosca varia muito e ocorre em função tanto da matriz e grelha quanto da forma de alimentação do polímero, principalmente na região do funil.

A temperatura e, conseqüentemente viscosidade também afetam a variação de pressão.

O atrito pode ser modificado através do grau de polimento, da temperatura de resfriamento nesta região, bem como do formato do polímero (pó, grãos, etc.).

76

Teoria do Fluxo para extrusora de Rosca Única



Fluxo de arraste: movimento relativo entre as paredes do barril e da rosca, gerando um perfil de velocidades linear.

Fluxo de Contrapressão: fluxo devido ao gradiente de pressão ao longo do canal da rosca gerando um perfil de velocidades parabólico.

77

Parâmetros que afetam a geração de pressão e o perfil de velocidades ao longo do barril e da rosca

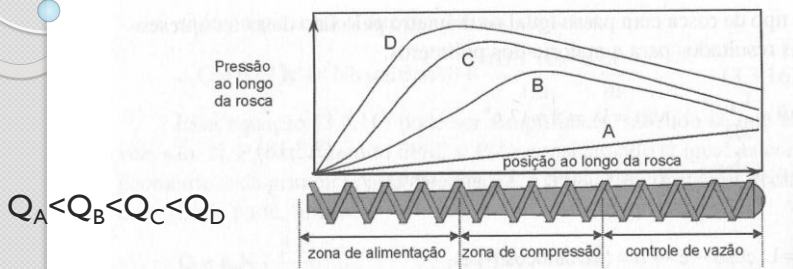


Figura 3.11 - Variação do perfil de pressões ao longo do comprimento da rosca

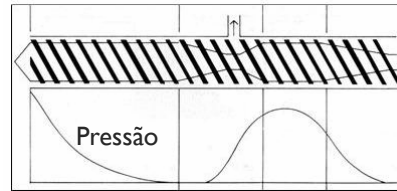
- A) O barril é comum, com canal profundo na zona de dosagem.
- B) O barril é comum, com canal raso na zona de dosagem.
- C) O barril possui boa refrigeração na zona de alimentação e canal raso na zona de dosagem.
- D) Barril com ranhuras na zona de alimentação.

78

- ❑ Parâmetros que afetam a geração de pressão e o perfil de velocidades ao longo do barril e da rosca

Durante a extrusão pode ser necessário utilizar uma região de baixa pressão para a saída de voláteis (principalmente para quem trabalha com extrusão reativa).

Para tal é necessário que o parafuso tenha uma etapa de degasagem nesse ponto

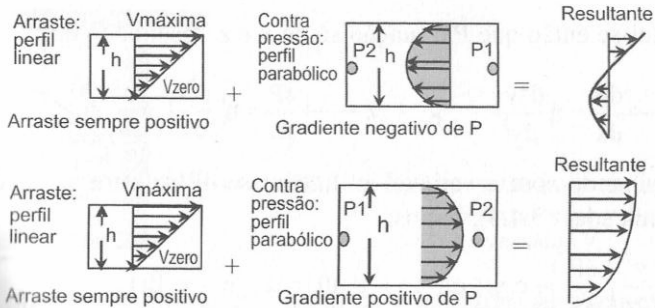


fim ←————— início

O parafuso irá apresentar, assim, uma zona de descompressão, recompressão e zona posterior de dosagem.

79

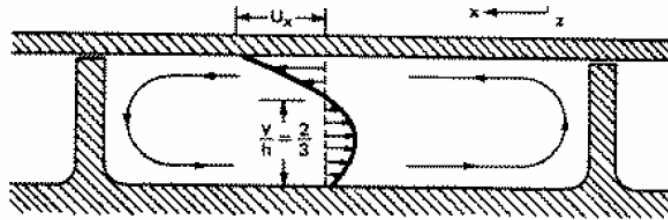
- ❑ Parâmetros que afetam a geração de pressão e o perfil de velocidades ao longo do barril e da rosca



3.12 - Perfis de velocidades provocadas por arraste e pressão sendo somadas, resultando em um perfil resultante na direção z

80

- Perfil de velocidades ao longo do canal da rosca



Modelo de fusão entre os filetes da rosca;

- turbilhonamento para otimizar a distribuição dos grânulos e garantir contato com as paredes para fusão.