

MATERIAIS DE ENGENHARIA ***- (SEM 5908) -***

Aula 06 – Polímeros como Materiais de Engenharia

Prof. Dr. João Manuel Domingos de Almeida Rollo
Prof. Dr. Carlos Alberto Fortulan



POLÍMEROS

Agregado (ou conjunto) de grandes moléculas construídas pela repetição de pequenas unidades químicas simples (meros), ligadas por covalência.

"AGNELLI (1993)"

Histórico:

1860 - Conhecimento do plástico pelos químicos.

1864 - 1ª aplicação prática do plástico, o celulóide .(Nitrato de Celulose)
resolveu o problema de escassez de marfim nos EUA.

1909 - Baquelite.

1935 - Polietileno.

1946 - ABS.

1948 - TEFLON.

1958 - Policarbonato.

1959 - Polipropileno



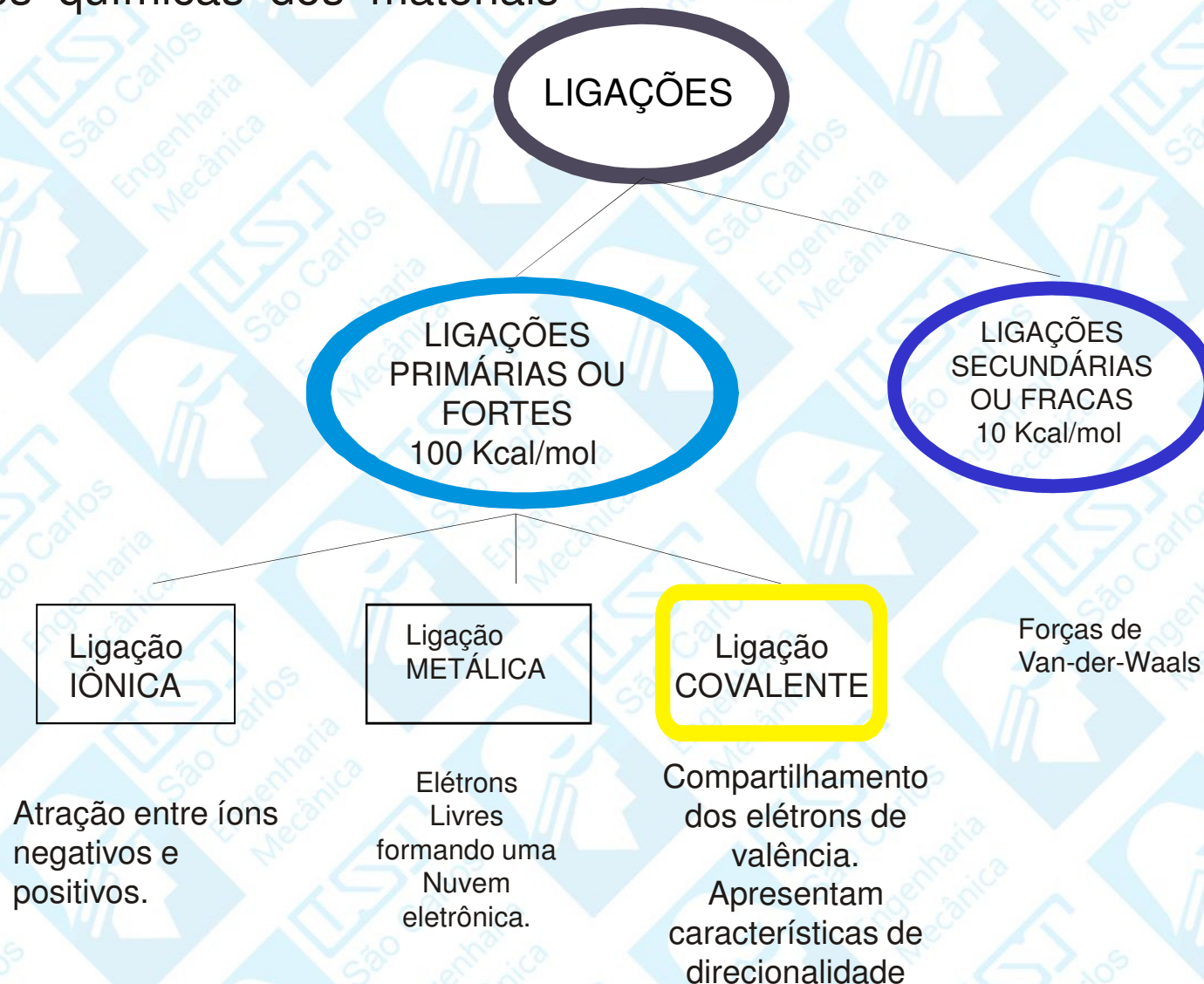
POLÍMEROS

São moléculas longas consistindo de (pelo menos cinco) unidades químicas repetidas ('meros') unidas em conjunto, parecido como nós em um barbante. Os polímeros usualmente contém muito mais que cinco monômeros, e alguns podem conter centenas ou milhares de monômeros em cada cadeia.

Polímeros podem ser: **naturais**, como a celulose ou DNA
ou
sintéticos, como nylon ou polietileno.



Ligações químicas dos materiais



Arranjos atômicos

Estruturas Cristalinas

Formação de cristais, isto é, arranjos ordenados e simétricos dos átomos no espaço.

Monocristais

Policristais

Estruturas Amorfas ou Vítreas

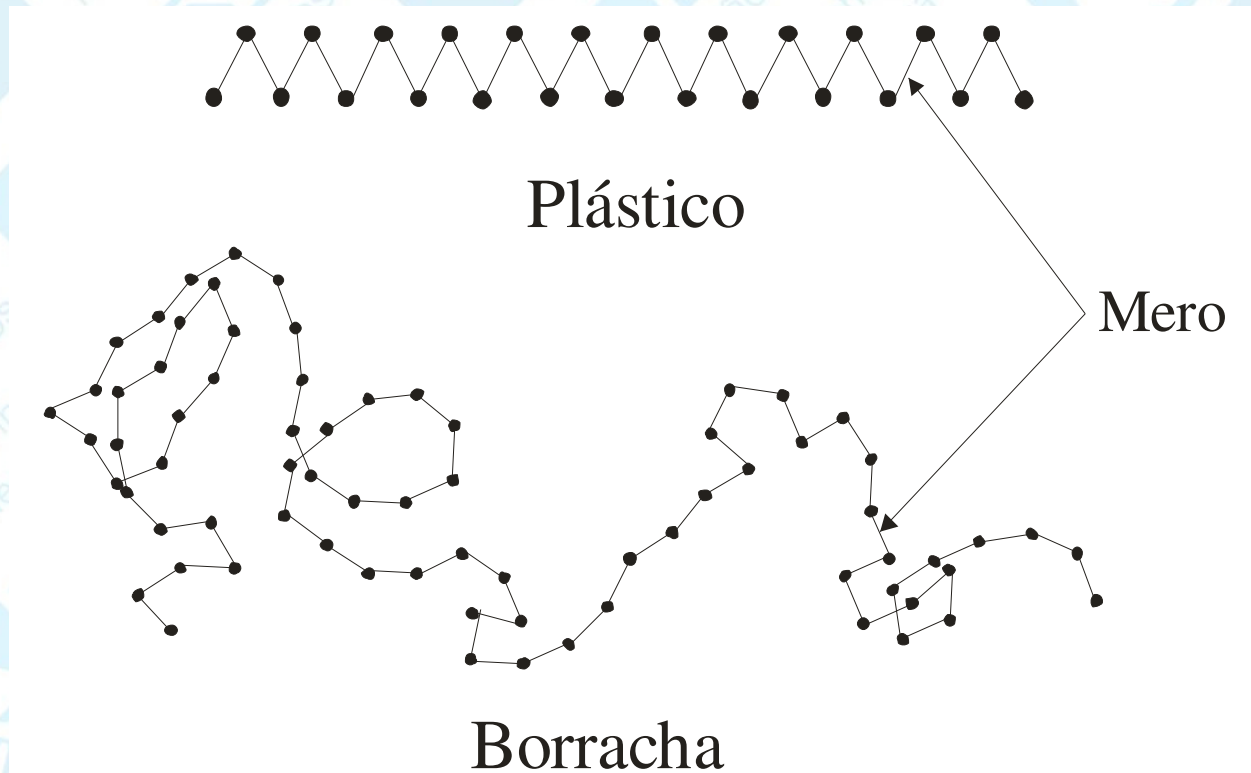
Arranjos desordenados e assimétricos dos átomos, similares à estrutura no estado líquido, embora mais compacta.

Estruturas Moleculares ou Poliméricas

Estrutura típica dos materiais macromoleculares, formado por longas moléculas orgânicas.



Estrutura macromolecular ou polimérica



Polímeros - classificação

PLÁSTICO DE ENGENHARIA

Polímeros de aplicação em engenharia que substituem os materiais convencionais

Polímeros que podem ser reversivelmente aquecidos e resfriados, passando respectivamente de massas fundidas a sólidas

TERMOPLÁSTICO

TERMORRÍGIDO

Polímeros que quando aquecidos formam ligações químicas cruzadas irreversíveis.

Inclui toda a gama de materiais elásticos (borrachas). Podem em temp. ambiente serem alongados em pelo menos 2 vezes.

ELASTÔMERO

BORRACHA

São polímeros que foram vulcanizados para introduzir ligações cruzadas

Mistura física de dois ou mais polímeros termoplásticos, sem qualquer reação química

BLENDAS



Classificação Periódica dos Elementos Químicos



<http://www.chemkeys.com>

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 H 1,0079	2 He 4,0026																
3 Li 6,941(2)	4 Be 9,0122											5 B 10,811(7)	6 C 12,011	7 N 14,007	8 O 15,999	9 F 18,998	10 Ne 20,180
11 Na 22,990	12 Mg 24,305											13 Al 26,982	14 Si 28,086	15 P 30,974	16 S 32,065(5)	17 Cl 36,453	18 Ar 39,948
19 K 39,098	20 Ca 40,078(4)	21 Sc 44,956	22 Ti 47,867	23 V 50,942	24 Cr 51,996	25 Mn 54,938	26 Fe 55,845(2)	27 Co 58,933	28 Ni 58,693	29 Cu 63,546(3)	30 Zn 65,41	31 Ga 69,723	32 Ge 72,64(1)	33 As 74,922	34 Se 78,96(3)	35 Br 79,904	36 Kr 83,80
37 Rb 85,468	38 Sr 87,62	39 Y 88,906	40 Zr 91,224(2)	41 Nb 92,906	42 Mo 95,94	43 Tc 98,906*	44 Ru 101,07(2)	45 Rh 102,91	46 Pd 106,42	47 Ag 107,87	48 Cd 112,41	49 In 114,82	50 Sn 118,71	51 Sb 121,76	52 Te 127,60(3)	53 I 126,90	54 Xe 131,29
55 Cs 132,91	56 Ba 137,33	57-71 La-Lu	72 Hf 178,49(2)	73 Ta 180,95	74 W 183,84	75 Re 186,21	76 Os 190,23(3)	77 Ir 192,22	78 Pt 195,08(3)	79 Au 196,97	80 Hg 200,59	81 Tl 204,38	82 Pb 207,2	83 Bi 208,98	84 Po 209,98*	85 At 209,99*	86 Rn 222,02*
87 Fr 223,02*	88 Ra 226,03*	89-103 Ac-Lr	104 Rf 261*	105 Db 262*	106 Sg 266*	107 Bh 264*	108 Hs 277*	109 Mt 268*	110 Ds 271*	111 Rg 272*	112						

LANTANÍDIOS

57 La 138,91	58 Ce 140,12	59 Pr 140,91	60 Nd 144,24(3)	61 Pm 146,92*	62 Sm 150,36(3)	63 Eu 151,96	64 Gd 157,25(3)	65 Tb 158,93	66 Dy 162,50	67 Ho 164,93	68 Er 167,26	69 Tm 168,93	70 Yb 173,04(3)	71 Lu 174,97
--------------------	--------------------	--------------------	-----------------------	---------------------	-----------------------	--------------------	-----------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	-----------------------	--------------------

ACTINÍDIOS

89 Ac 227,03*	90 Th 232,04*	91 Pa 231,04*	92 U 238,03*	93 Np 237,05*	94 Pu 239,05*	95 Am 241,06*	96 Cm 244,06*	97 Bk 249,08*	98 Cf 252,08*	99 Es 252,08*	100 Fm 257,10*	101 Md 258,10*	102 No 259,10*	103 Lr 262,11
---------------------	---------------------	---------------------	--------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	----------------------	----------------------	----------------------	---------------------

Número atômico

Nome

Simbolo

Massa atômica relativa

25

Mn

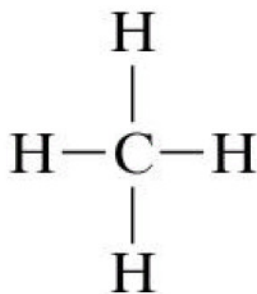
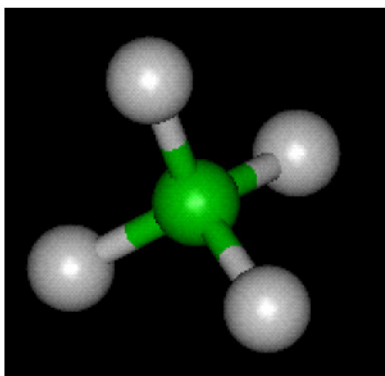
54,938

Massa atômica relativa. A incerteza no último dígito é 1, exceto quando indicado entre parênteses. Os valores com * referem-se ao isótopo mais estável.

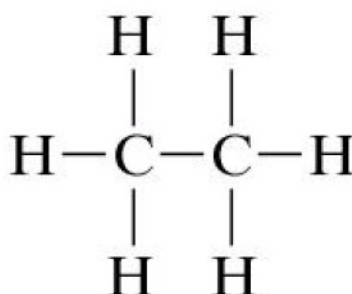
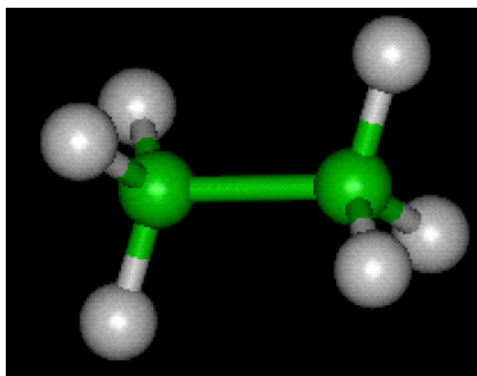


Polímeros – estrutura

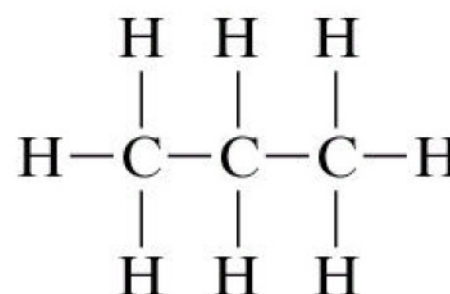
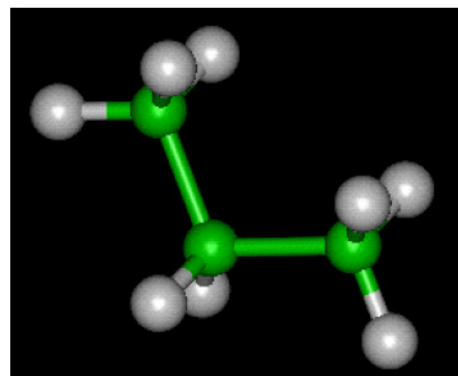
Muitos dos polímeros são orgânicos e formados por moléculas de hidrocarbonetos. Cada átomo de C tem quatro terminais que participa nas ligações, cada átomo de H tem um terminal.



Methane, CH_4



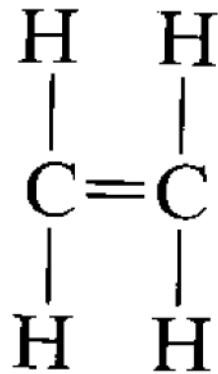
Ethane, C_2H_6



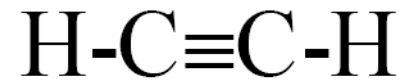
Propane, C_3H_8



Ligações duplas ou triplas podem existir entre os átomos de C (compartilhando de dois ou três pares de elétrons). Estas ligações são chamadas de ligações **insaturadas**. Moléculas insaturadas são mais reativas.



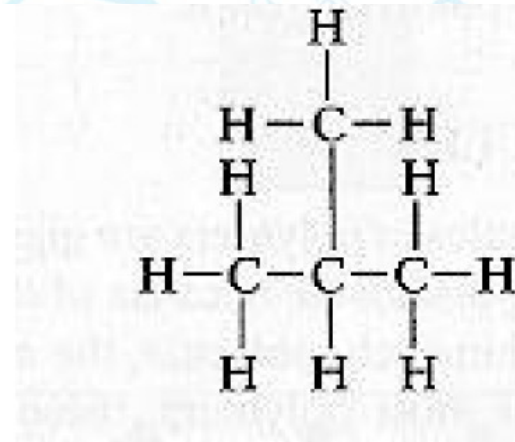
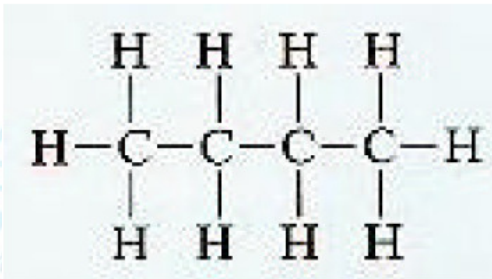
Ethylene, C_2H_4



Acetylene, C_2H_2



Isômeros são moléculas que contêm os mesmos átomos mas em um diferente arranjo. Um exemplo é o butano e o isobutano;



Butane $\rightarrow$ C₄H₁₀ $\leftarrow$ Isobutane



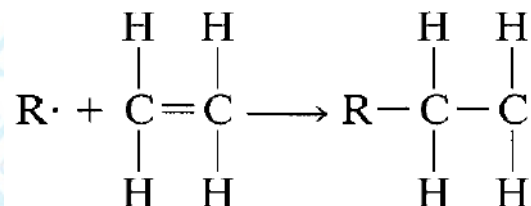
Química das moléculas poliméricas

- ✓ Etileno (C_2H_4) é um gás a temperatura e pressão ambiente;
- ✓ O etileno se transforma em polietileno (sólido) pela formação ativa do mero através da reação com iniciador ou radical catalisador (R.)
- ✓ (.) denota elétron livre (posição ativa)

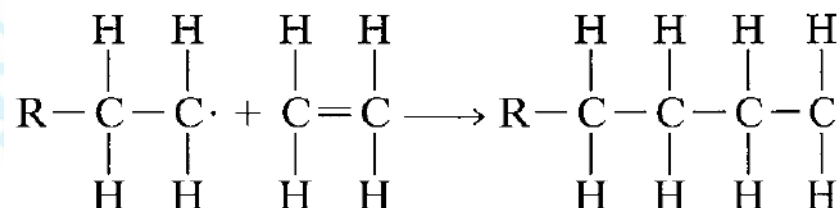


POLIMERIZAÇÃO POR ADIÇÃO:

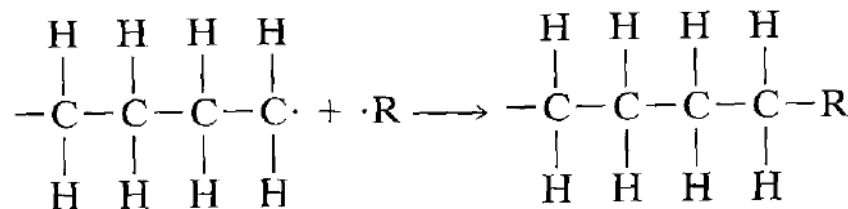
1. Reação de inicialização:



2. Propagação rápida: ~1000 meros em 1-10 ms:



3. Término: quando dois terminais de cadeia ativa encontram um com o outro ou terminais de cadeia ativa encontram com o iniciador ou outras espécies com unidades ativas:



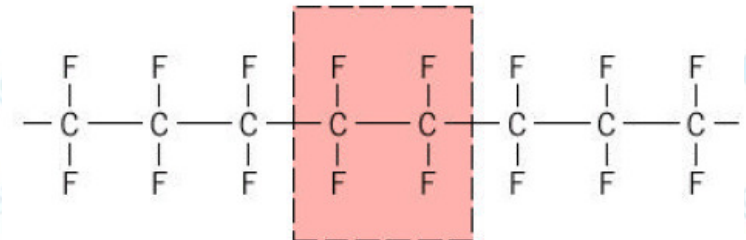
Para o caso específico do grupo hidroxila o peróxido de hidrogênio é uma fonte de radicais.



Polimerização por substituição:

Substituição dos átomos de hidrogênio por flúor no polietileno: politetrafluoretileno

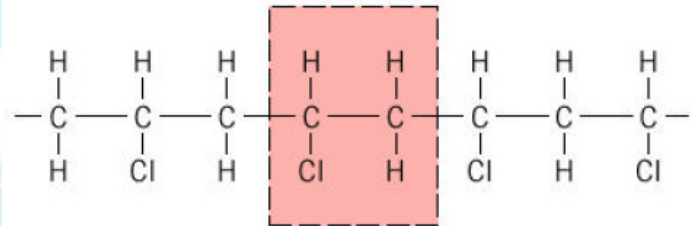
(PTFE) – Teflon



Mer unit

(a)

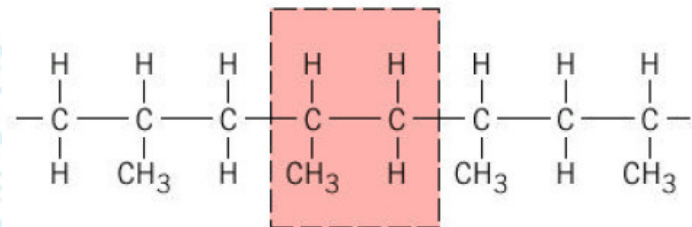
Substituição um dos quatro átomos de hidrogênio por átomos de cloro no polietileno: poli cloreto de vinila. PVC



Mer unit

(b)

Substituição um dos quatro átomos de hidrogênio pelo grupo metil (CH₃) no polietileno: polipropileno (PP)



Mer unit

(c)



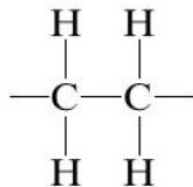
Química das moléculas poliméricas

Quando todos os meros são idênticos, a molécula é chamada de homopolímeros

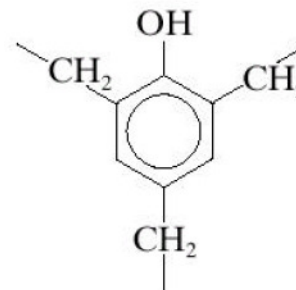
Quando há mais que um tipo de mero presente a molécula é chamada de copolímeros.

Meros que tem 2 terminais ativos são chamados de bifuncionais.

Meros com 3 terminais ativos são trifuncionais. Eles formam uma estrutura tridimensional.

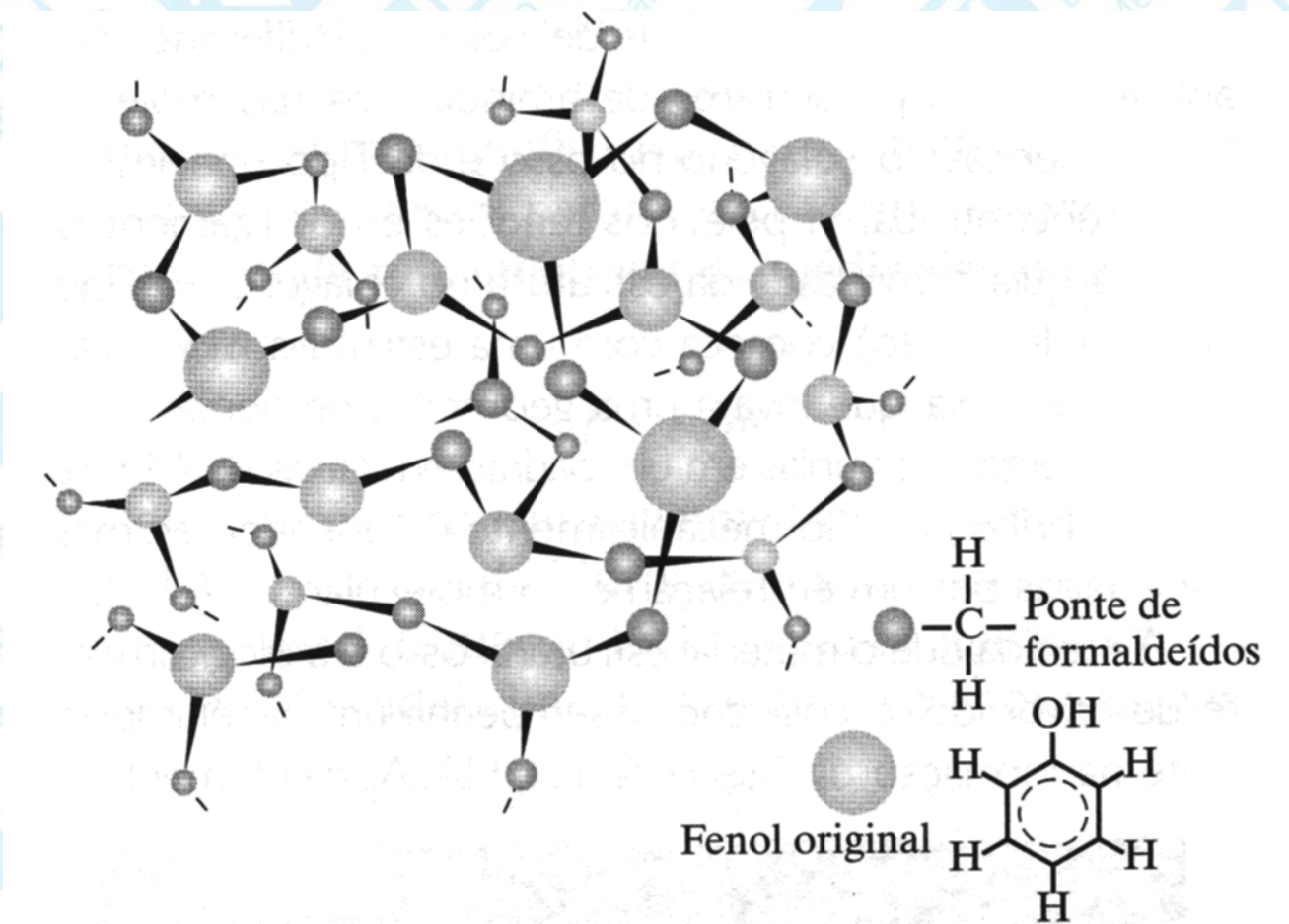


Polyethylene
(bifunctional)



Phenol-formaldehyde
(trifunctional)





Van Vlack 1980



Peso molecular

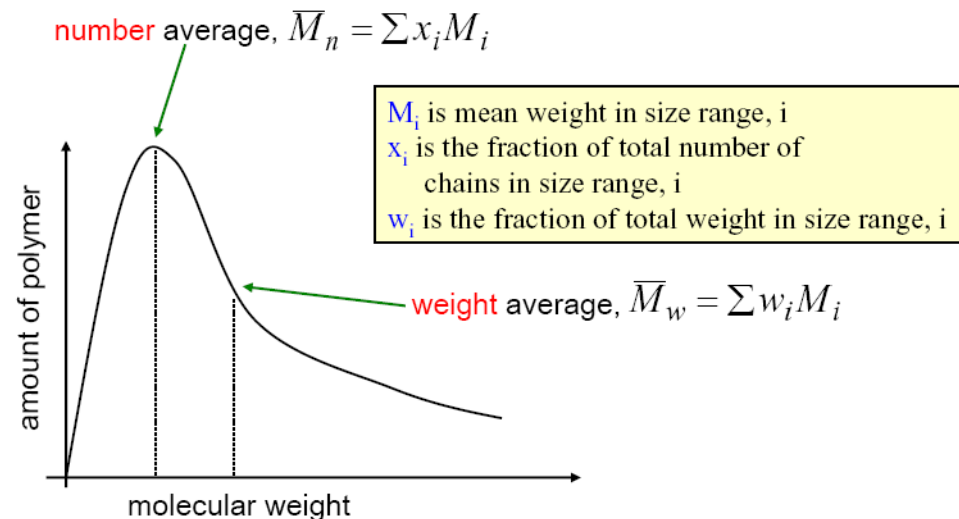
- ✓ Peso molecular (g/mol) (comprimento da cadeia), representa o número de unidades de massa atômica para uma determinada molécula;
- ✓ é controlado pelas taxas de iniciação, propagação e terminação das etapas de polimerização;
- ✓ Há uma distribuição de pesos moleculares resultante da polimerização;
- ✓ O peso molecular médio (pelo número médio ou pelo peso médio)

number-average:

$$\overline{M}_n = \sum x_i M_i$$

weight-average:

$$\overline{M}_w = \sum w_i M_i$$



Peso molecular

Uma outra alternativa o tamanho médio da cadeia polimérica é através do grau de polimerização, n , que é o número de meros em uma molécula polimérica.

number-average:

$$n_n = \frac{\overline{M}_n}{\overline{m}}$$

weight-average:

$$n_w = \frac{\overline{M}_w}{\overline{m}}$$

$\overline{m}$ is the mer molecular weight

O peso molecular de um mero em uma cadeia de copolímero

$$\overline{m} = \sum f_j m_j$$

f_j chain fraction of mer j
 m_j molecular weight of mer j



Ex01: Uma amostra de polietileno tem um peso molecular médio de 25.000 uma. Qual é o grau de polimerização, n , da molécula de polietileno “média”?



Ex: O peróxido de hidrogênio (H_2O_2) fornece dois radicais hidroxila, $\text{OH}\bullet$, que servem para iniciar e terminar a polimerização do etileno (C_2H_4) para o polietileno $-(\text{C}_2\text{H}_4)_n$. Quanto de H_2O_2 (wt%) é preciso ser acrescentado ao etileno para gerar um grau médio de polimerização de 750? Considere que todo H_2O_2 se dissocie em grupos OH que servem como terminais para as moléculas.

Peso atômico: (H=1,008; C=12,01; O=16).



Peso Molecular x Propriedades físicas

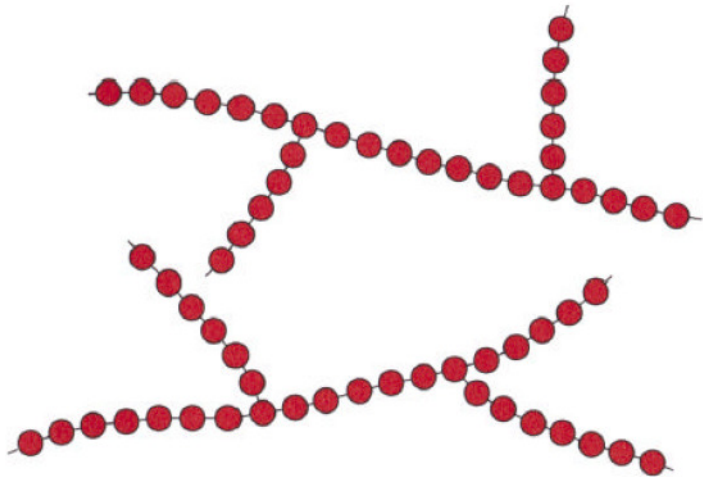
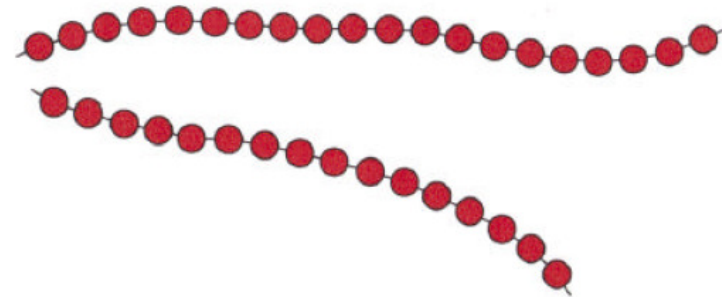
- ✓ A temperatura de fusão/amolecimento aumenta com o peso molecular (até 100.000 g/mol);
- ✓ Estado físico em função do peso molar – T_{amb} .
 - líquidos ou gases → pequenas cadeias poliméricas (peso molar ~100 g/mol);
 - ceras sólidas → polímeros intermediários (~1000 g/mol);
 - sólidos → pesos moleculares de $10^4 - 10^7$ g/mol



Estrutura molecular

As características físicas de material polimérico dependem não somente do peso molecular e da forma, mas também de sua estrutura molecular:

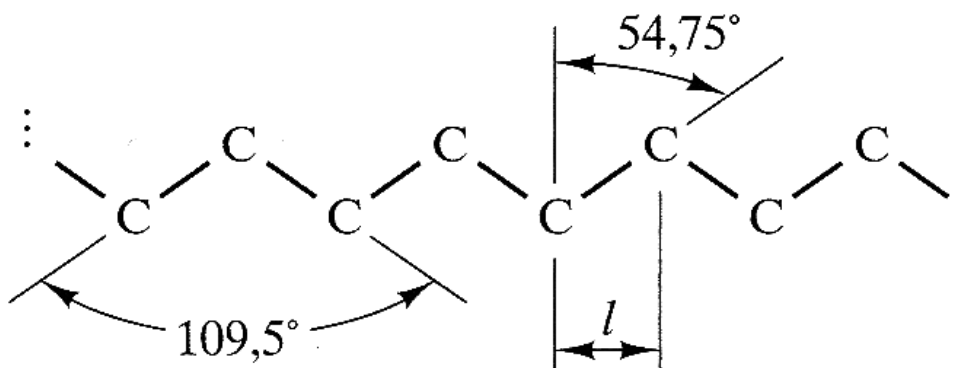
1 Polímeros lineares: União de Van der Waals entre as cadeias. Exemplos: polietileno, nylon.



2 Polímeros ramificados: a eficiência de empacotamento é reduzida em comparação com os polímeros lineares - menor densidade.



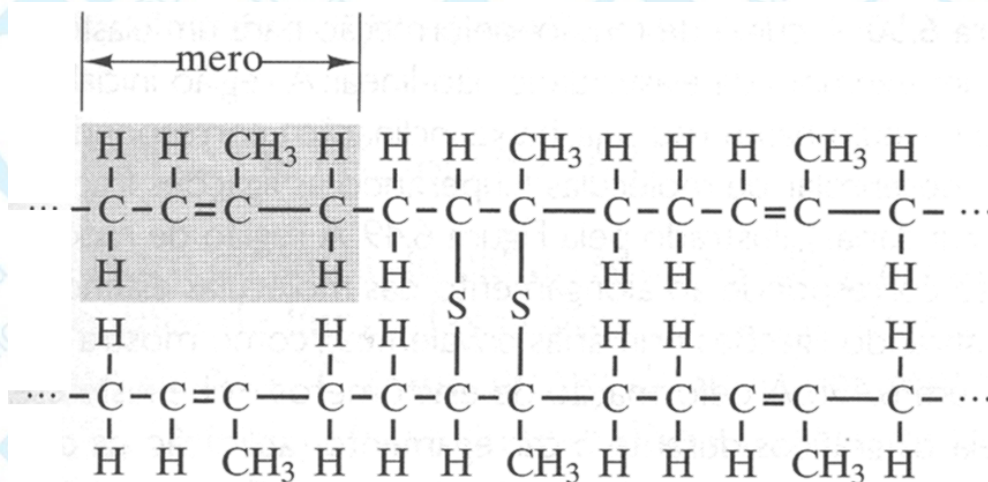
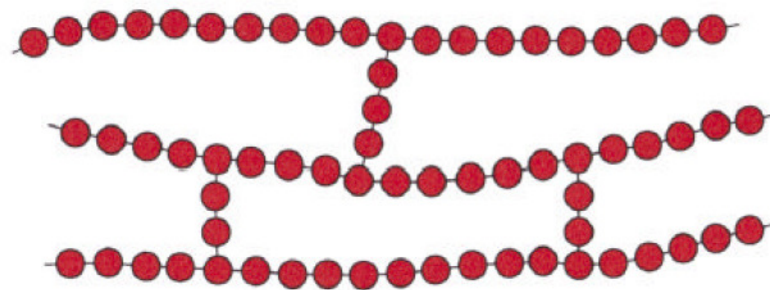
Ex03: Calcule o tamanho de uma molécula de polietileno, $(C_2H_4)_n$, onde $n=500$.



Ligação	Energia de ligação ^a		Comprimento da ligação, nm
	kcal/mol	kJ/mol	
C—C	88 ^b	370	0,154
C=C	162	680	0,130
C≡C	213	890	0,120
C—H	104	435	0,110
C—N	73	305	0,150
C—O	86	360	0,140
C=O	128	535	0,120
C—F	108	450	0,140
C—Cl	81	340	0,180
O—H	119	500	0,100
O=O	52	220	0,150
O—Si	90	375	0,160
N—H	103	430	0,100
N=O	60	250	0,120
F—F	38	160	0,140
H—H	104	435	0,074

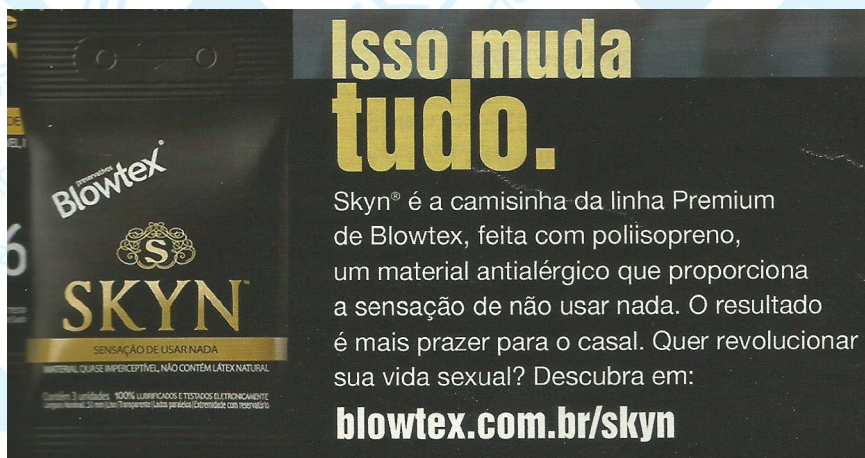


3 Polímeros com ligações cruzadas: as cadeias conectadas por ligações covalentes. Frequentemente obtidas pela adição de átomos ou moléculas que formam ligações entre as cadeias. Muitas borrachas tem esta estrutura.



Ex: Vulcanização – átomos de enxofre formam ligações primárias com meros de poliisopreno adjacentes.





Isso muda tudo.

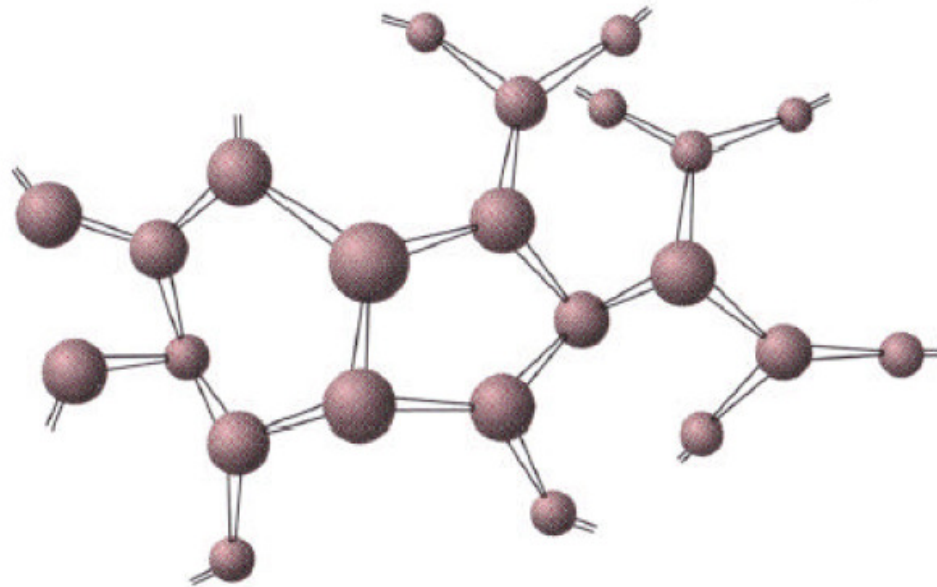
Skyn® é a camisinha da linha Premium de Blowtex, feita com poliisopreno, um material antialérgico que proporciona a sensação de não usar nada. O resultado é mais prazer para o casal. Quer revolucionar sua vida sexual? Descubra em:

blowtex.com.br/skyn

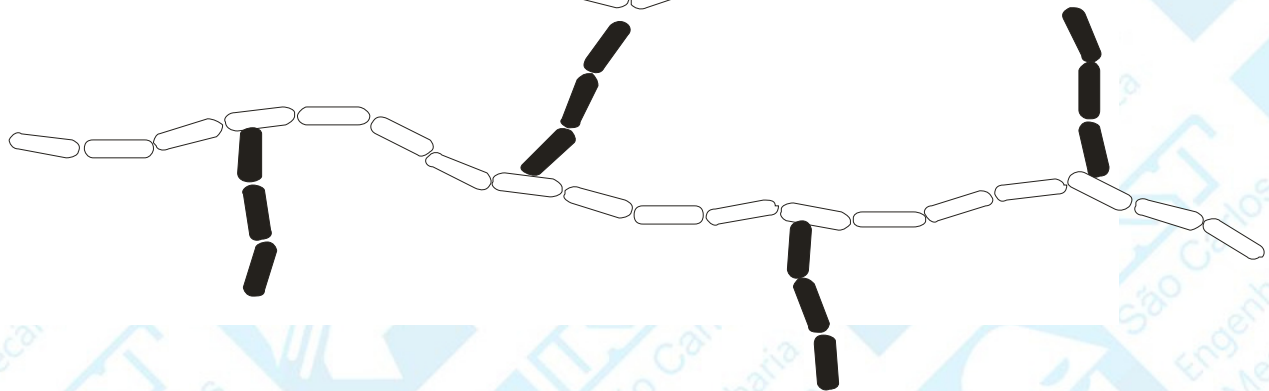


4 Polímeros em rede: redes tridimensionais obtidos de meros trifuncionais.

Exemplos: epoxies, fenolformaldeído.



Regular



Cristalinidade nos polímeros

- ✓ Os polímeros podem formar estruturas cristalinas, algumas partes das cadeias moleculares se alinham durante o resfriamento formando regiões cristalinas → cristalitos (esferulitos)

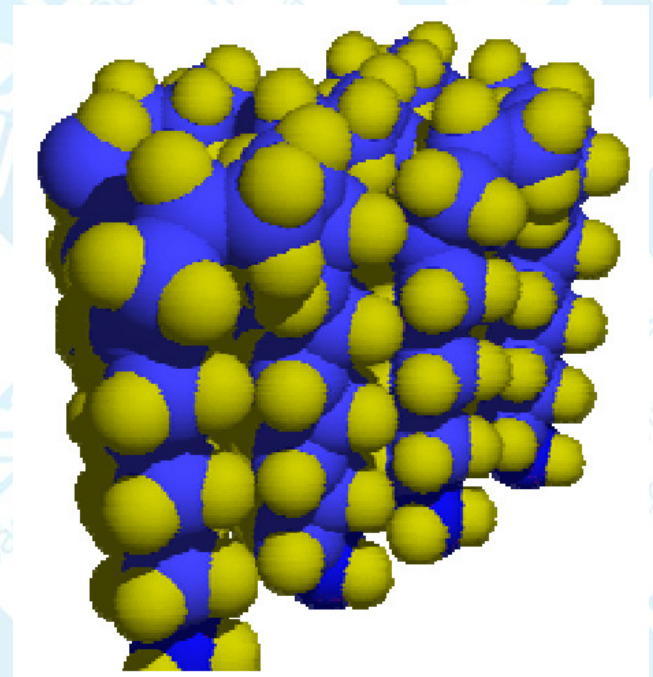
$$\% \text{ crystallinity} = \frac{\rho_c(\rho_s - \rho_a)}{\rho_s(\rho_c - \rho_a)} \times 100$$

Where:

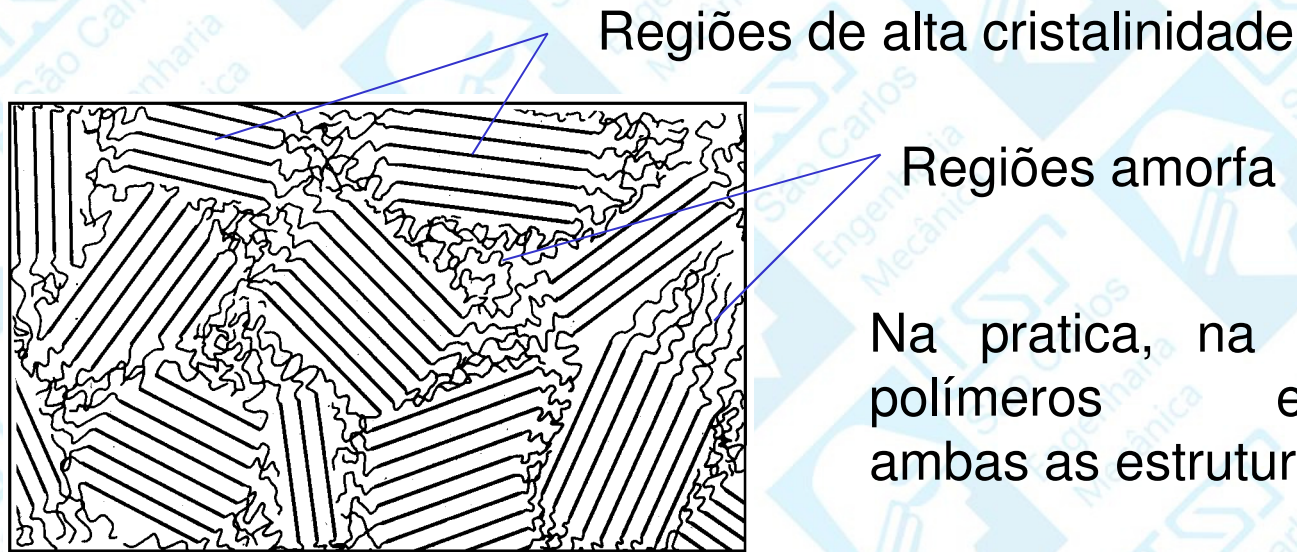
ρ_s = Density of sample

ρ_a = Density of the completely amorphous polymer

ρ_c = Density of the completely crystalline polymer



Cristalinidade nos polímeros



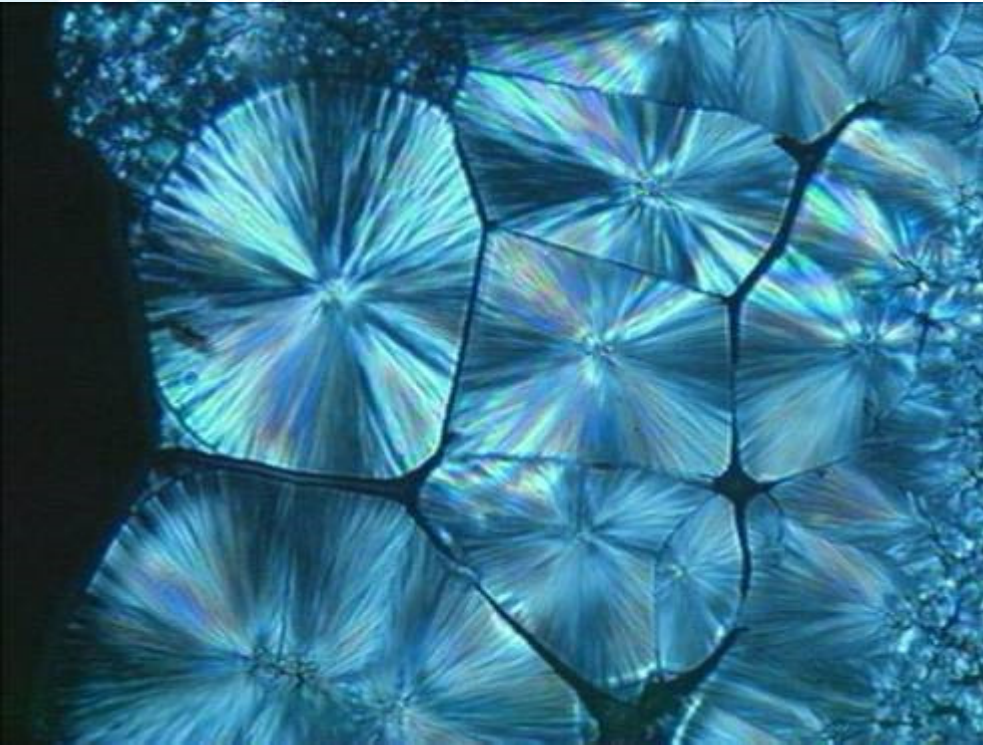
Na pratica, na maioria dos polímeros encontram-se ambas as estruturas .

- taxa de resfriamento (resfriamento mais lento → maior cristalinidade);
- configuração da cadeia: cadeias lineares → maior cristalinidade; copolímeros → menor cristalinidade;
- grau de cristalinidade: faixa de 5 - 95%

Maior % Cristalinidade → maior resistência mecânica



Polipropileno



- ✓ Microscopia ótica;
- ✓ O filme polimérico foi cristalizado à partir de um filme amorfo;
- ✓ Cada cristal é visto radialmente a partir de um núcleo, até encontrar a fronteira com o cristal adjacente.

Polímero Cristalino



Polietileno de alta densidade

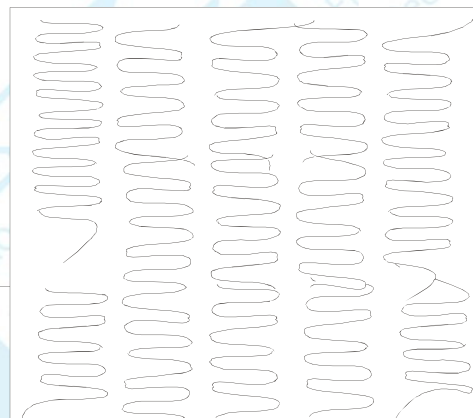


- ✓ Microscopia ótica; (HDPE)
- ✓ O filme polimérico foi cristalizado à partir de um filme inicialmente amorfo (LDPE);
- ✓ Cada cristal é visto radialmente á partir de um núcleo, até encontrar a fronteira com o cristal adjacente.





Polímero no estado fundido com cadeias emaranhadas



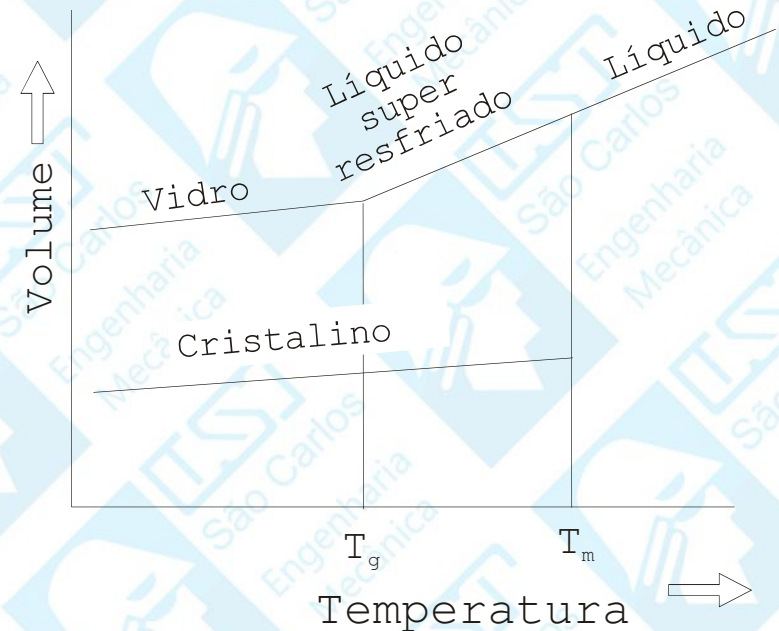
Polímero no estado sólido com cadeias parcialmente ordenadas; cristallitos lamelares



Polímeros no estado sólido com cadeias parcialmente ordenadas; cristallitos esféricos



Polímeros



T_m – Temperatura de fusão cristalina

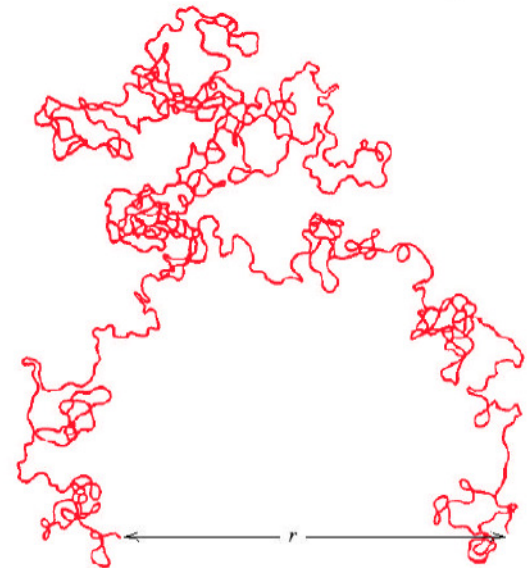
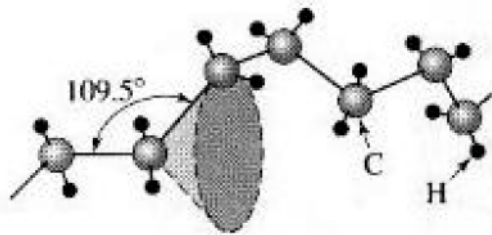
É aquela em que as regiões ordenadas dos polímeros, isto é, os cristalitos e esferulitos, se desagregam e fundem.

T_g - Temperatura de transição vítrea

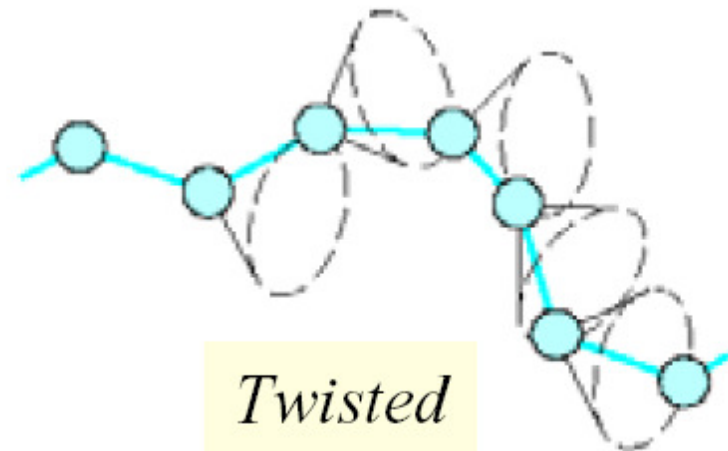
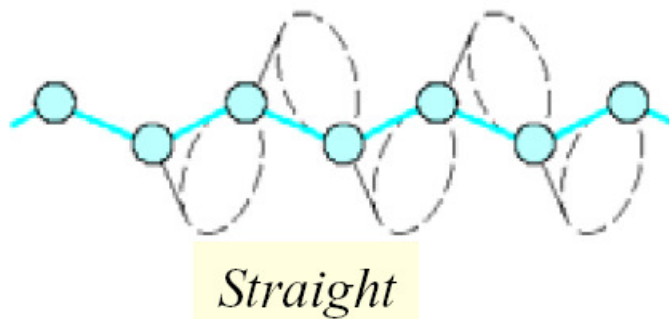
Está associada à região amorfa dos polímeros. A transição é de segunda ordem e representa a temperatura em que a mobilidade das cadeias moleculares, devido a rotação de grupos laterais em torno das ligações primárias, se torna restrita pela coesão intermolecular. Abaixo da T_g a mobilidade desaparece e o material se torna mais rígido.



Torções randômicas e espirais conduzem a um entrelaçamento que lembra a uma imagem de espaguete.



- ✓ Cadeias moleculares podem dobrar, enrolar e torcer;
- ✓ Cadeias vizinhas podem se entrelaçar e se emaranhar;
- ✓ As grandes extensões elásticas das borrachas correspondem ao desvendamento destas cadeias encaracoladas;
- ✓ Características mecânicas e térmicas dependem da habilidade dos segmentos da cadeia em girar.



Propriedades mecânicas dos polímeros

✓ Módulo elástico muito menor que das cerâmicas e metais;

✓ A tensão de fratura pode ser maior ou menor que a tensão de escoamento

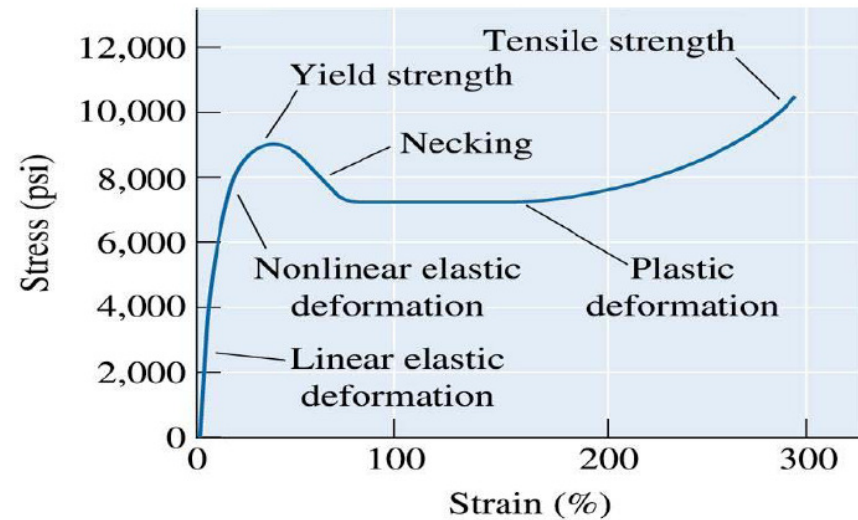
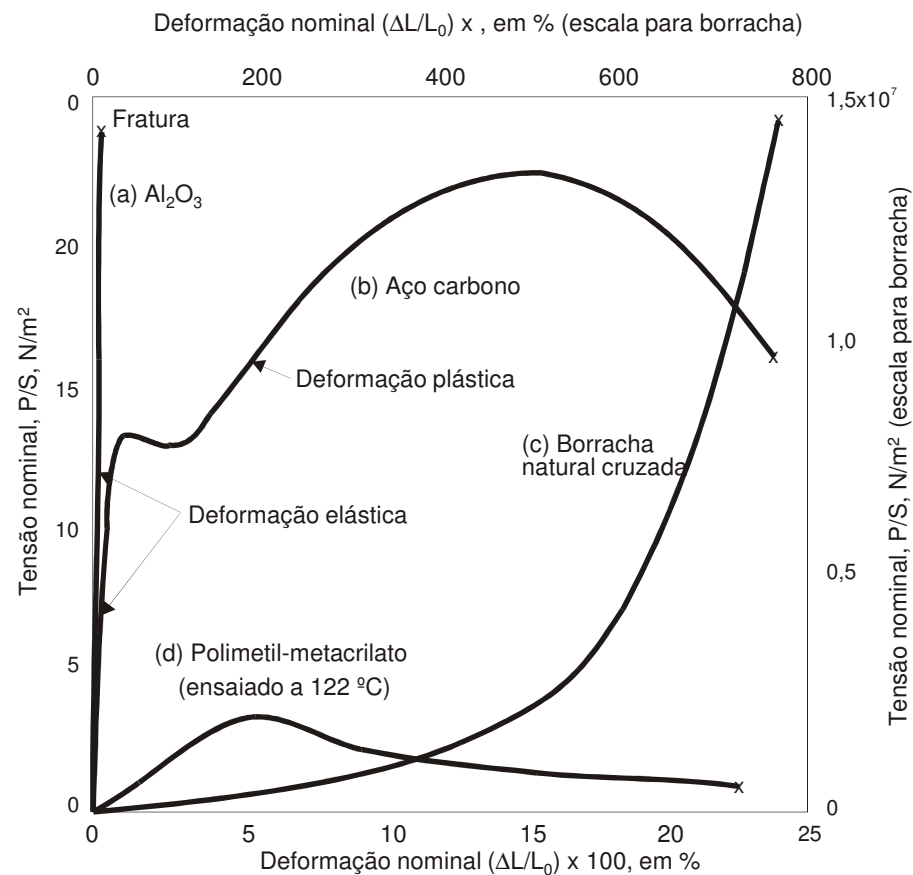


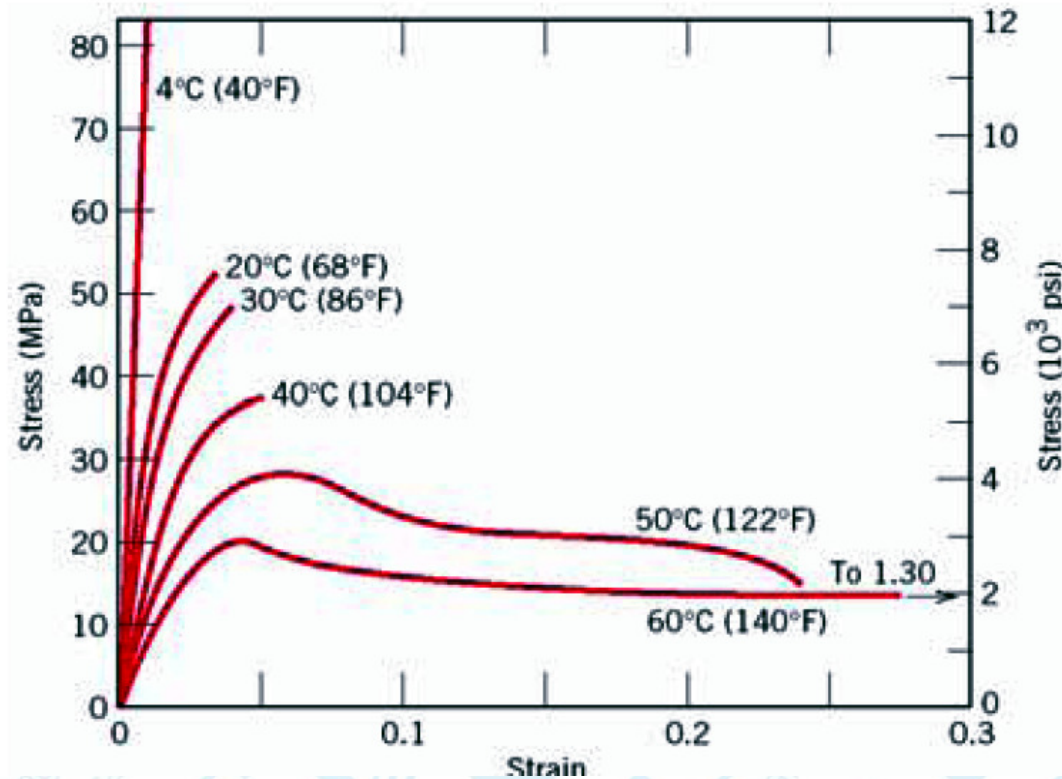
Figure 15.17 The stress-strain curve for 6,6-nylon, a typical thermoplastic polymer.
(*The Science and Engineering of Materials* – by D.R. Askeland and P.P. Phule)



Propriedades mecânicas dos materiais

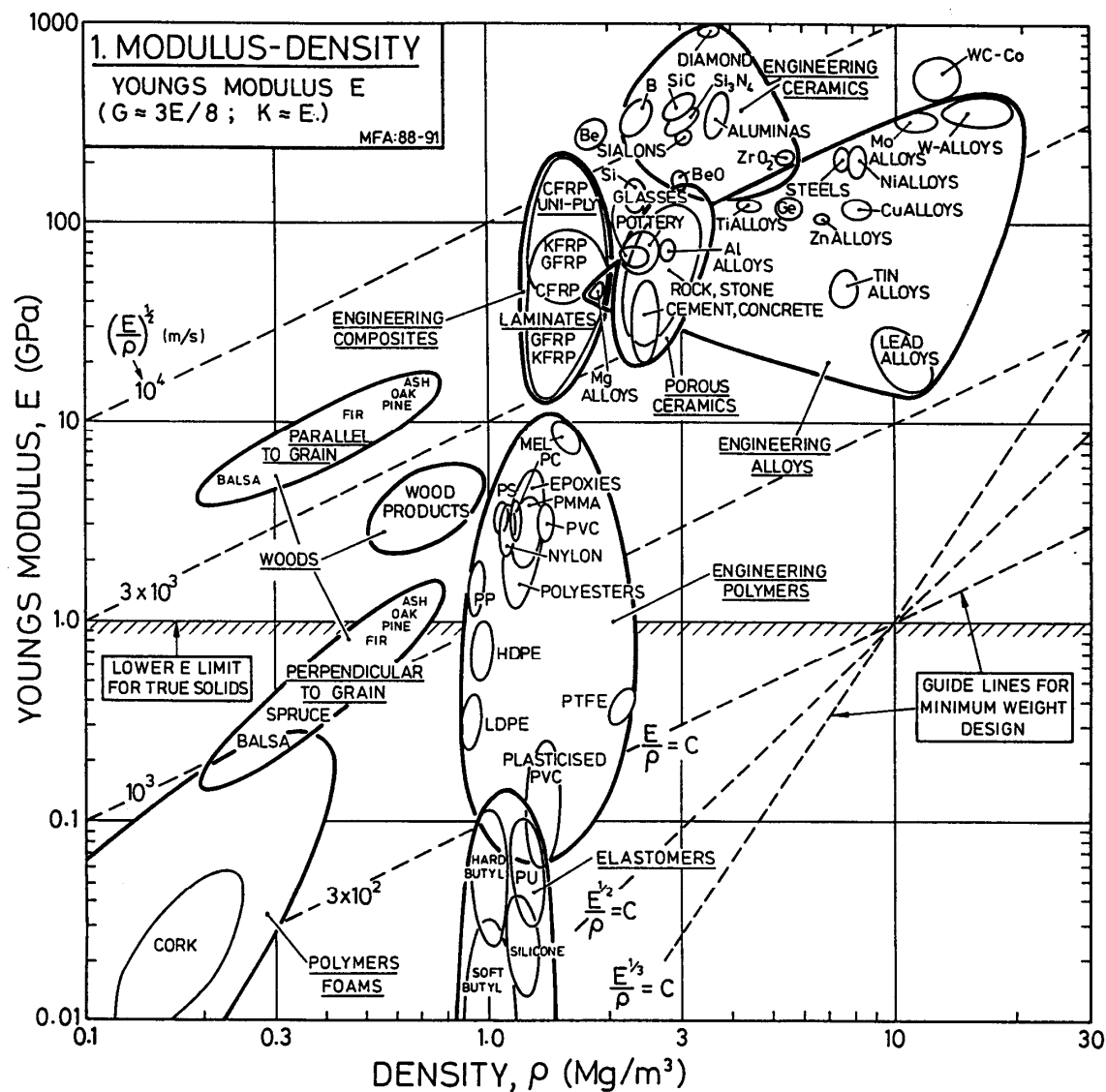


Propriedades mecânicas dos polímeros x temperatura



Efeito da temperatura no comportamento mecânico do PMMA

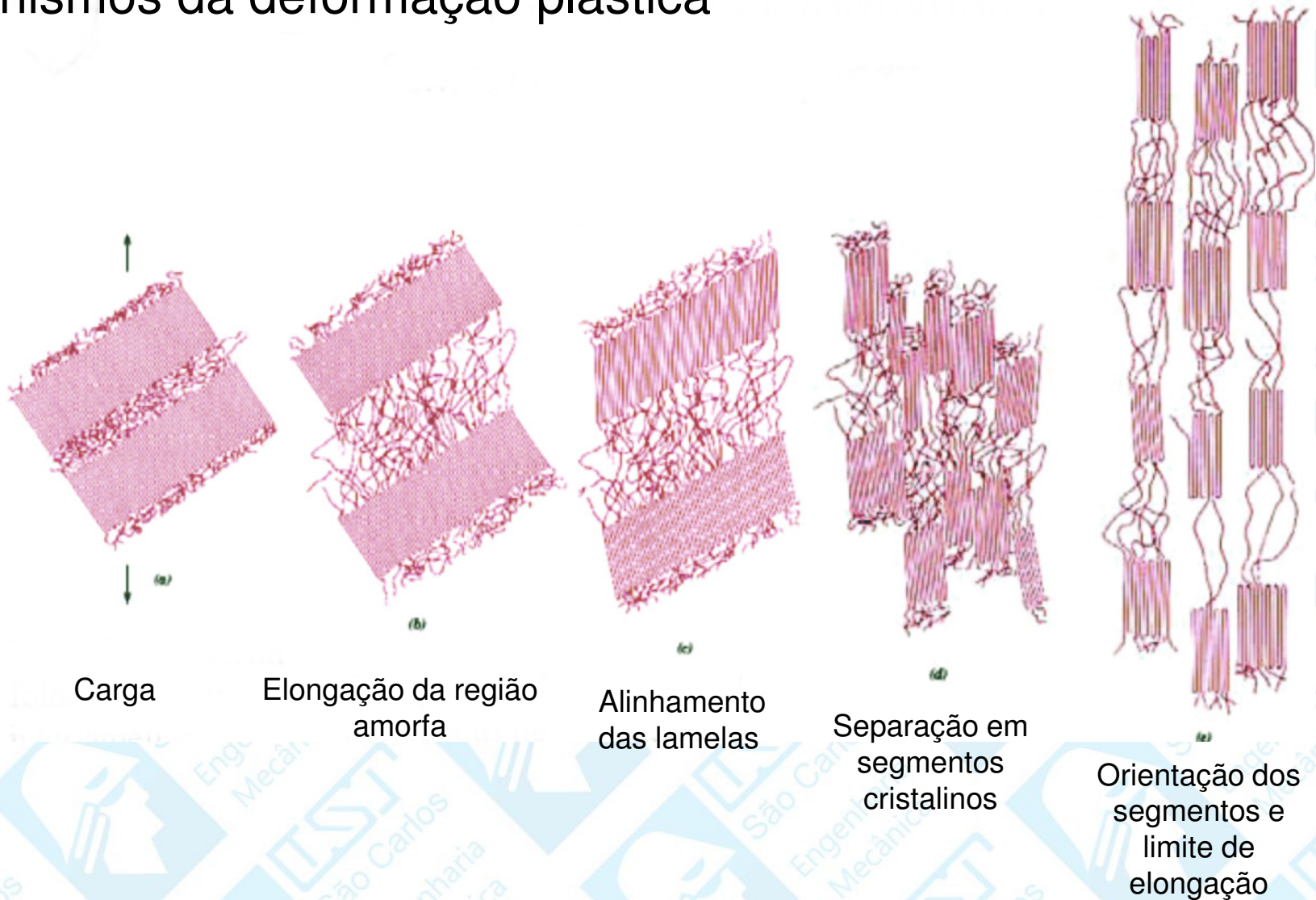


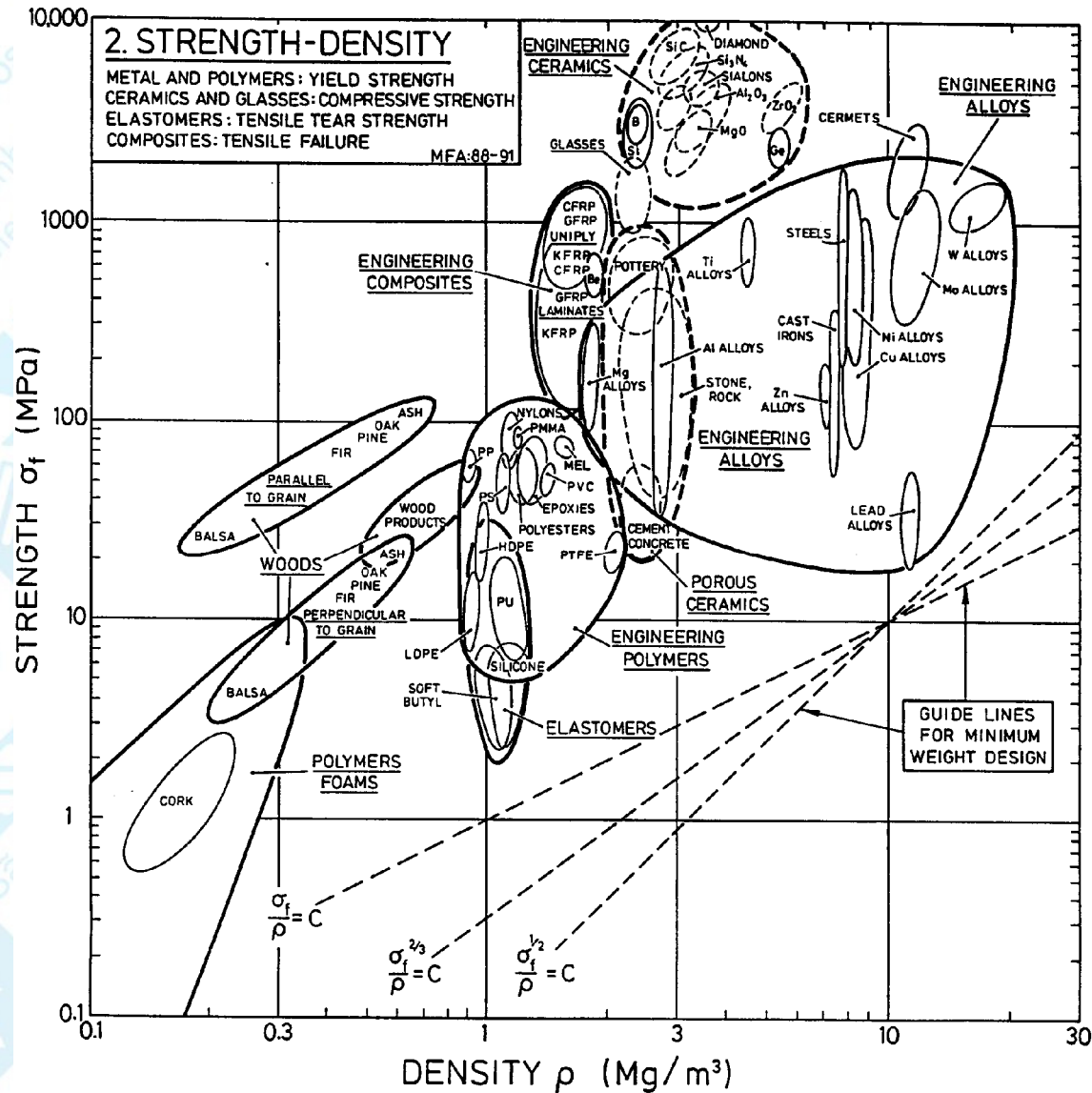


Fonte: ASHBY, M.F. *Materials selection in mechanical design*. Editora Pergamon Press, 311p. 1992



Mecanismos da deformação plástica





Fonte: ASHBY, M.F. *Materials selection in mechanical design*. Editora Pergamon Press, 311p. 1992



Material	PM	ρ g/cm ³	T _m °C	T _g °C	Cristalinidade (%)
LDPE	200.000	0,94 – 0,97	130-135	-100 - -125	até 95%
UHMWPE	3.000.000 a 6.000.000	0,93 – 0,94	135	-100 a -125	45%
PP	80.000 a 500.000	0,9	165-175	4 a 12	60-70
PMMA	500.000 a 1.000.000	1,18	160	105	Muito baixa
PC	10.000 a 30.000	1,20	268	150	Muito baixa
PET	15.000 a 42.000	1,33 – 1,45	250-270	70-74	Até 40%



Polímero	E^a [MPa (ksi)]	E^b_{flex} [MPa (ksi)]	LRT [MPa (ksi)]	Alongamento percentual na fratura	Coefficiente de Poisson ν
Polímeros de uso geral					
Poliétileno					
Alta densidade	830 (120)		28 (4,0)	15–100	
Baixa densidade	170 (25)		14 (2,0)	90–800	
Policloreto de vinila	2.800 (400)		41 (6,0)	2–30	
Polipropileno	1.400 (200)		34 (5,0)	10–700	
Poliestireno	3.100 (450)		48 (7,0)	1–2	
Poliésteres	—(—)	8.960 (1.230)	158 (22,9)	2,7	
Acrílico (Lucite)	2.900 (420)		55 (8,0)	5,0	
Poliamidas (náilon 66)	2.800 (410)	2.830 (410)	82,7 (12,0)	60	0,41
Celuloses	3.400–28.000 (500–4.000)		14–55 (2–8)	5–40	
Polímeros de engenharia					
Acrilonitrila-butadieno-estireno	2.100 (300)		28–48 (4–7)	20–80	
Policarbonatos	2.400 (350)		62 (9)	110	
Acetais	3.100 (450)	2.830 (410)	69 (10)	50	0,35
Politetrafluoretileno (Teflon)	410 (60)		17 (2,5)	100–350	
Elastômeros termoplásticos					
Tipo poliéster		585 (85)	46 (6,7)	400	



Polímero	E^a [MPa (ksi)]	E^b_{Din} [MPa (ksi)]	LRT [MPa (ksi)]	Alongamento percentual na fratura
Termofixos				
Fenólicos (fenol-formaldeído)	6.900 (1.000)	—	52 (7,5)	0
Uretanos	—	—	34 (5)	—
Uréia-melamina	10.000 (1.500)	—	48 (7)	0
Poliésteres	6.900 (1.000)	—	28 (4)	0
Epóxis	6.900 (1.000)	—	69 (10)	0
Elastômeros				
Copolímero polibutadieno/ poliestireno				
Vulcanizado	1,6 (0,23)	0,8 (0,12)	1,4–3,0 (0,20–0,44)	440–600
Vulcanizado com 33% de negro de fumo	3–6 (0,4–0,9)	8,7 (1,3)	17–28 (2,5–4,1)	400–600
Poliisopreno				
Vulcanizado	1,3 (0,19)	0,4 (0,06)	17–25 (2,5–3,6)	750–850
Vulcanizado com 33% de negro de fumo	3,0–8,0 (0,44–1,2)	6,2 (0,90)	25–35 (3,6–5,1)	550–650
Policloropreno				
Vulcanizado	1,6 (0,23)	0,7 (0,10)	25–38 (3,6–5,5)	800–1.000
Vulcanizado com 33% de negro de fumo	3–5 (0,4–0,7)	2,8 (0,41)	21–30 (3,0–4,4)	500–600
Copolímero poliisobuteno/ poliisopreno				
Vulcanizado	1,0 (0,15)	0,4 (0,06)	18–21 (2,6–3,0)	750–950
Vulcanizado com 33% de negro de fumo	3–4 (0,4–0,6)	3,6 (0,52)	18–21 (2,6–3,0)	650–850
Silicones	—	—	7 (1)	4.000
Fluoreto de vinilideno/ hexafluoropropileno	—	—	12,4 (1,8)	—



Módulo elástico médio GPa

Borracha.....	0,0035-3,5	PMMA.....	3,5
Nylon.....	2,8		

K_{IC} MPa.m^{-1/2}

PMMA 1

PS 0,8-1,1

DUREZA SHORE

Durômetro tipo A

Durômetro tipo D

Polímeros mais flexíveis

Polímeros mais rígidos



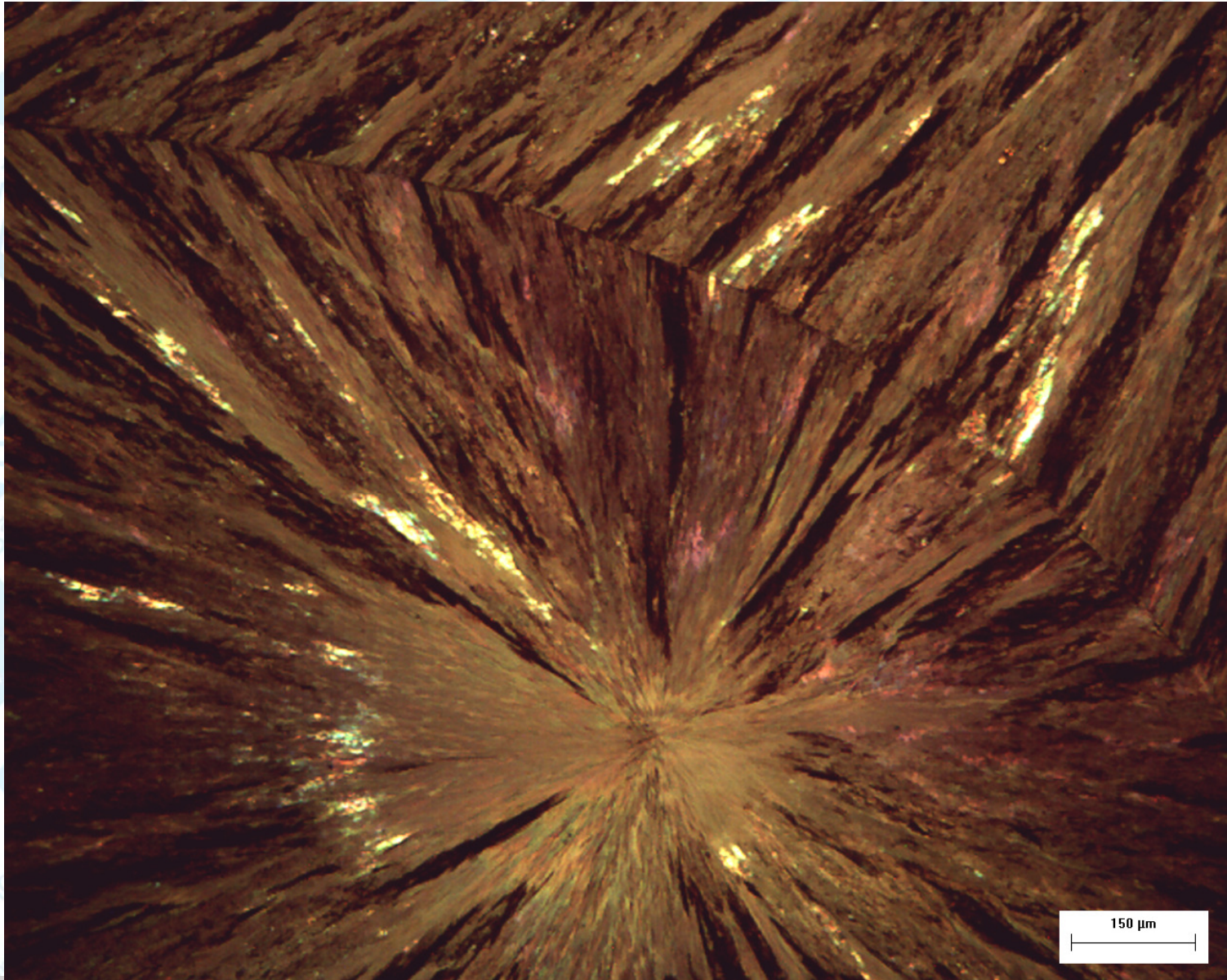
Experimento: Cristalização do Polietileno Glicol (Carbovax)

- ✓ *pelet* de PEG e colocá-lo sobre lâmina de vidro;
- ✓ aquecer até fusão cristalina T_m e pressionar com outra lâmina;
- ✓ amostra 01: desligar a chapa quente e esperar esfriar;
- ✓ amostra 02: refrigerar em água T_{amb} ;
- ✓ Amostra 03: refrigerar em água c/ gelo
- ✓ Observar em microscópio ótico com luz polarizada.

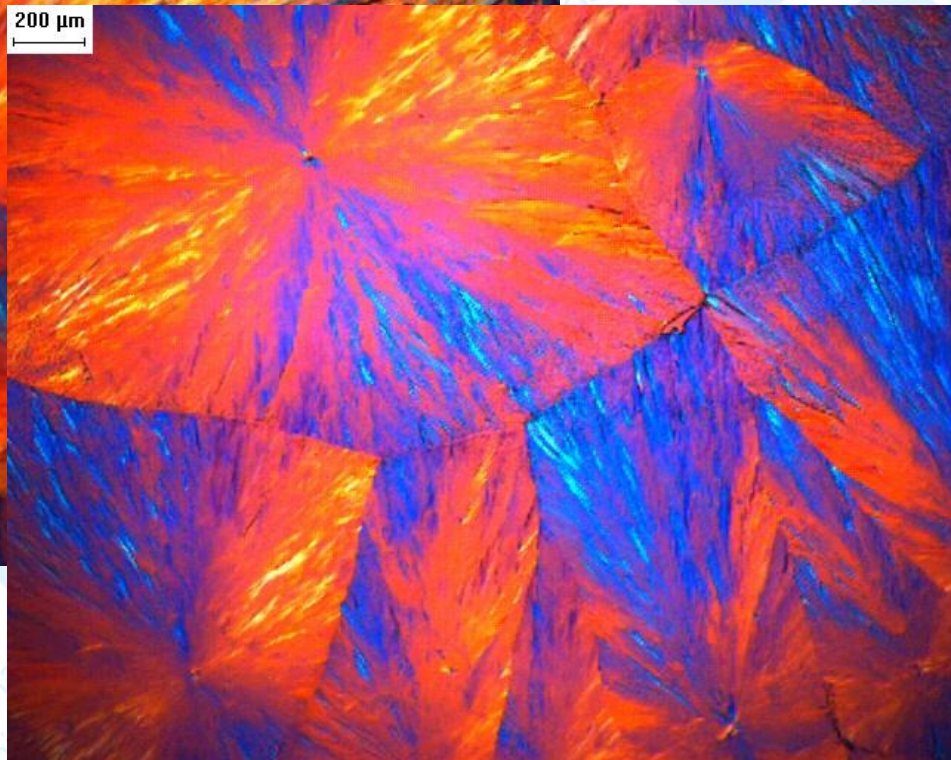
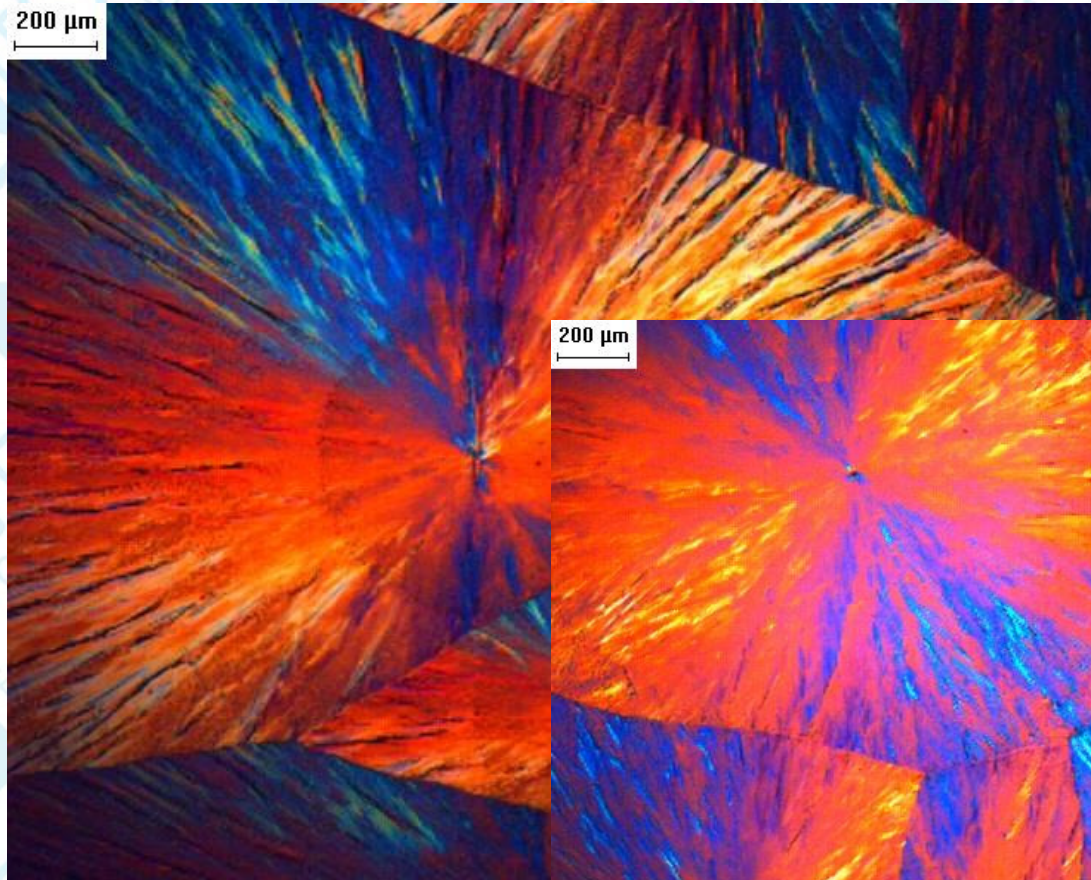
Material	PM	ρ g/cm ³	T_m °C	T_g °C	Cristalinidade (%)
Polietileno Glico			52	-22	



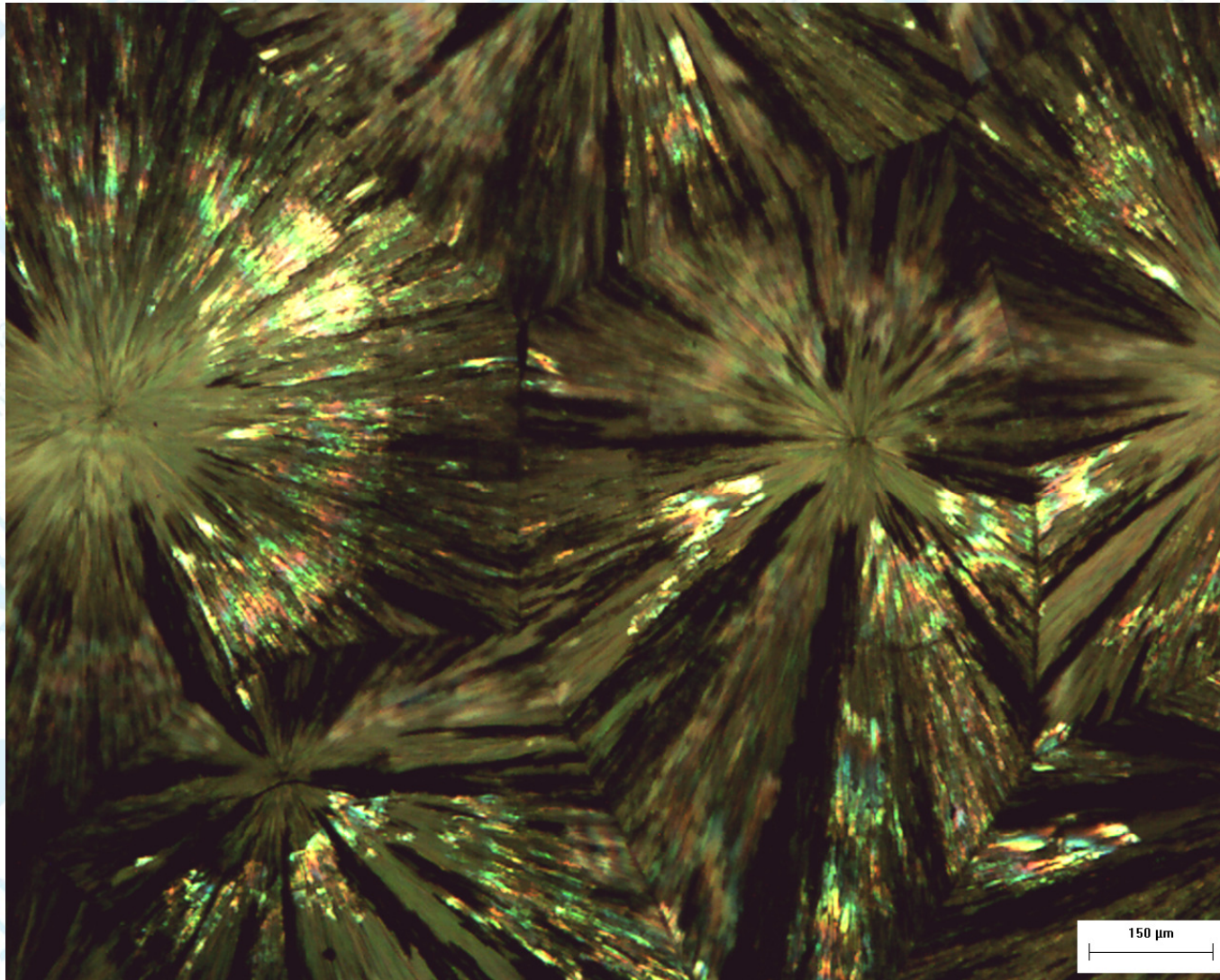
Amostra 01 – Resfriamento lento



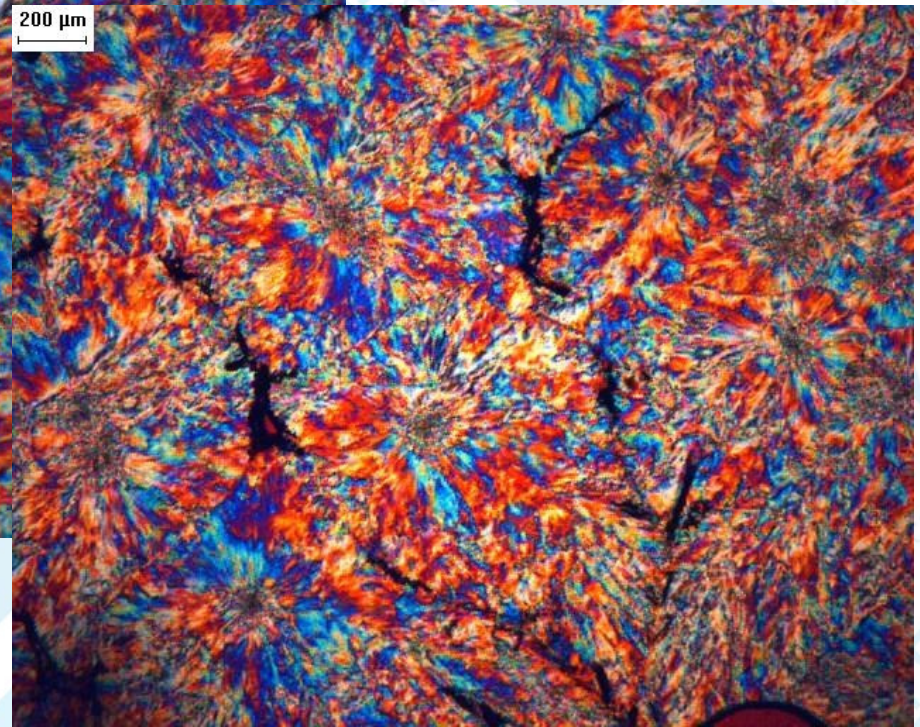
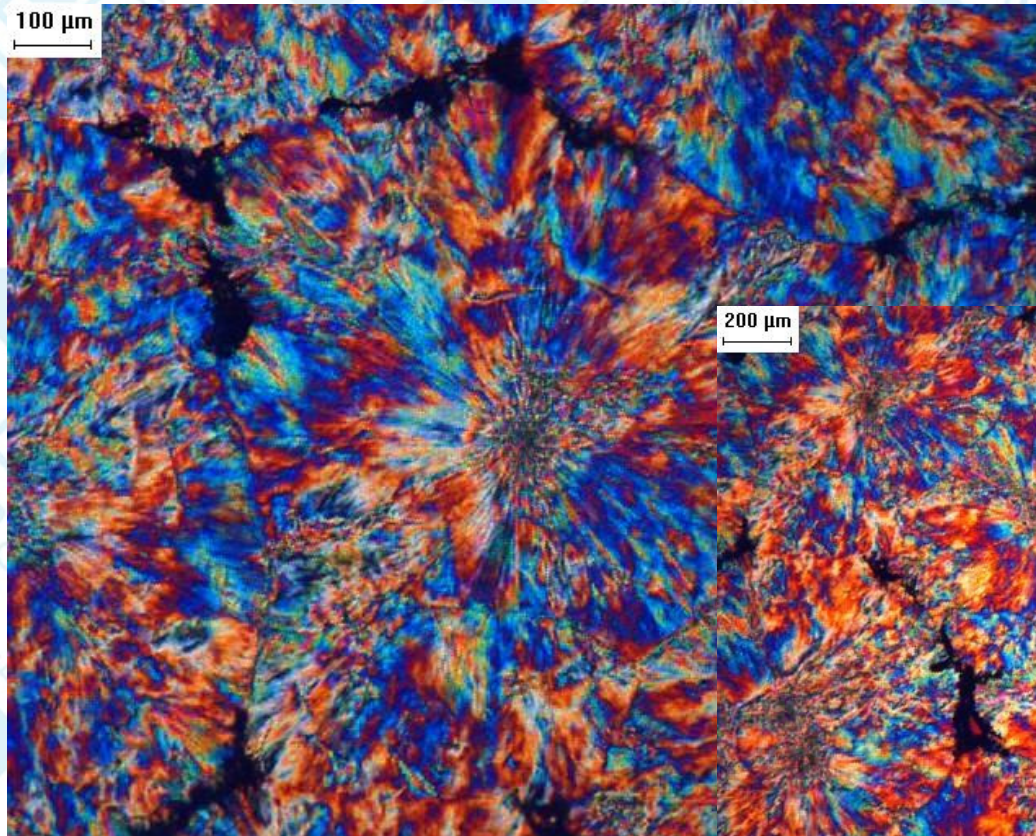
Amostra 01



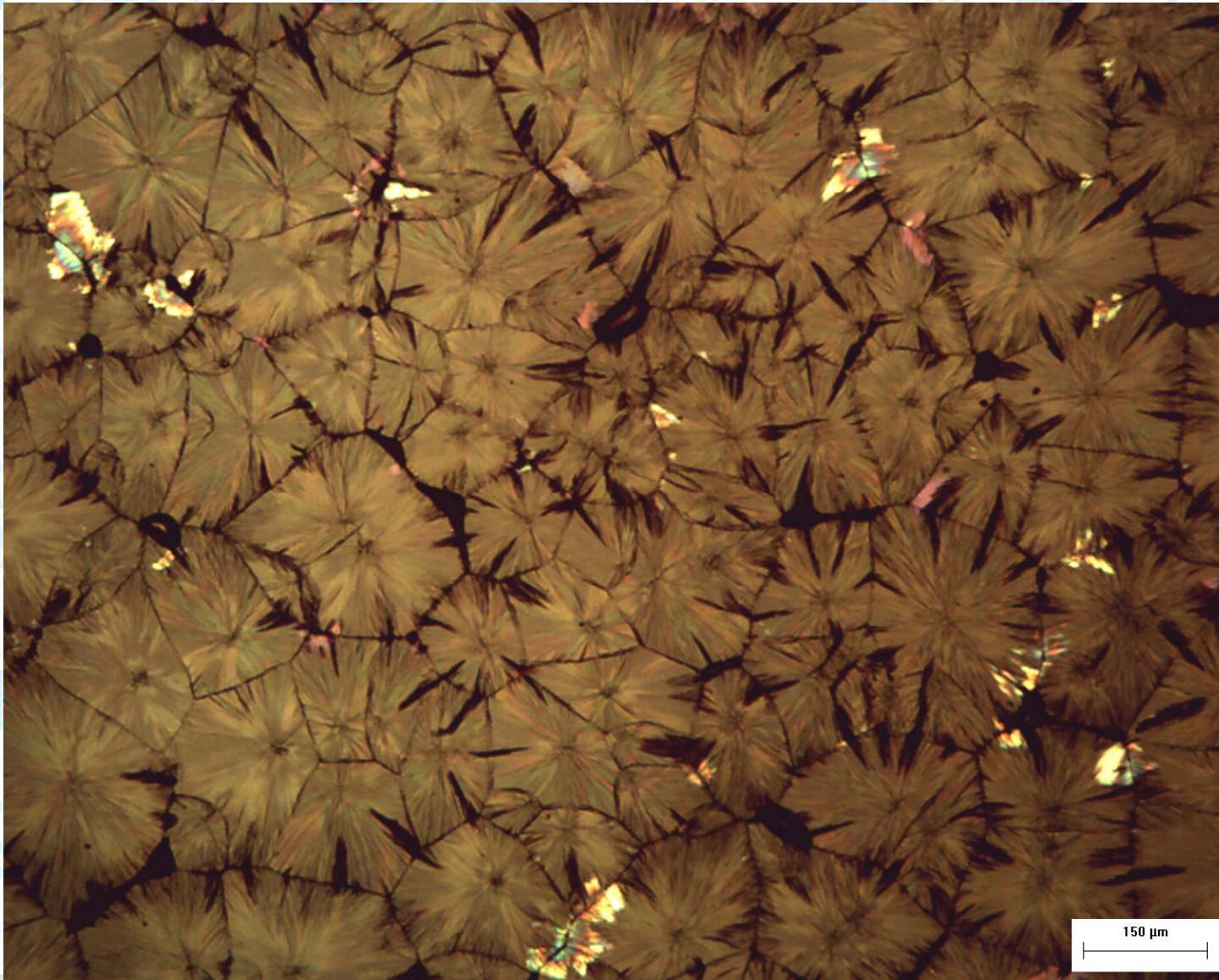
Amostra 02 – Resfriamento em água T_{amb} .



Amostra 02



Amostra 03 – Resfriamento em água com gelo.



Expansão térmica, variações na temperatura provocam deformações dos materiais. Em materiais isotrópicos homogêneos uma variação de ΔT K ($^{\circ}$ C) causa a deformação expressa por:

$$\varepsilon_x = \varepsilon_y = \varepsilon_z = \alpha \cdot \Delta T$$

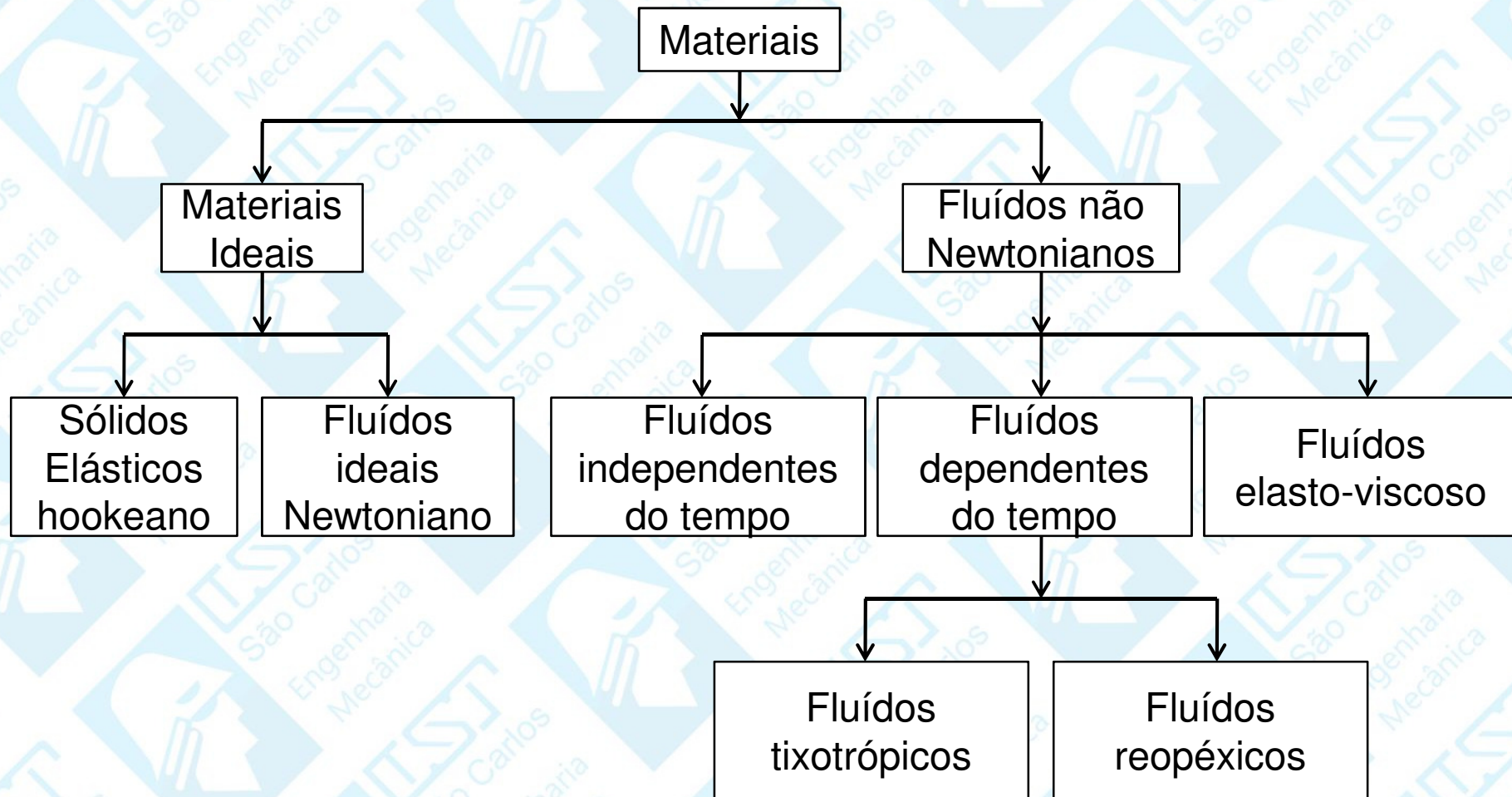
ABNT 1045,	20-250 $^{\circ}$ C	13,0x10 $^{-6}$ m/m. $^{\circ}$ C
ABNT 4340,	20-10\0 $^{\circ}$ C	11,5x10 $^{-6}$ m/m. $^{\circ}$ C
ABNT 8620,	20-100 $^{\circ}$ C	11,6x10 $^{-6}$ m/m. $^{\circ}$ C
ABNT 304,	20-200 $^{\circ}$ C	17,1x10 $^{-6}$ m/m. $^{\circ}$ C
Fofo cinzento	37,8-548 $^{\circ}$ C	12,7X10 $^{-6}$ m/m. $^{\circ}$ C
Ligas de alumínio – geral –	20-250 $^{\circ}$ C	25,0 x10 $^{-6}$ m/m. $^{\circ}$ C
Ligas de titânio – geral-	20-250 $^{\circ}$ C	9,2x10 $^{-6}$ m/m. $^{\circ}$ C
Al ₂ O ₃ 99,9%	20-400 $^{\circ}$ C	7,4x10 $^{-6}$ m/m. $^{\circ}$ C
Nylon 6.6	10-100 $^{\circ}$ C	100x10 $^{-6}$ m/m. $^{\circ}$ C



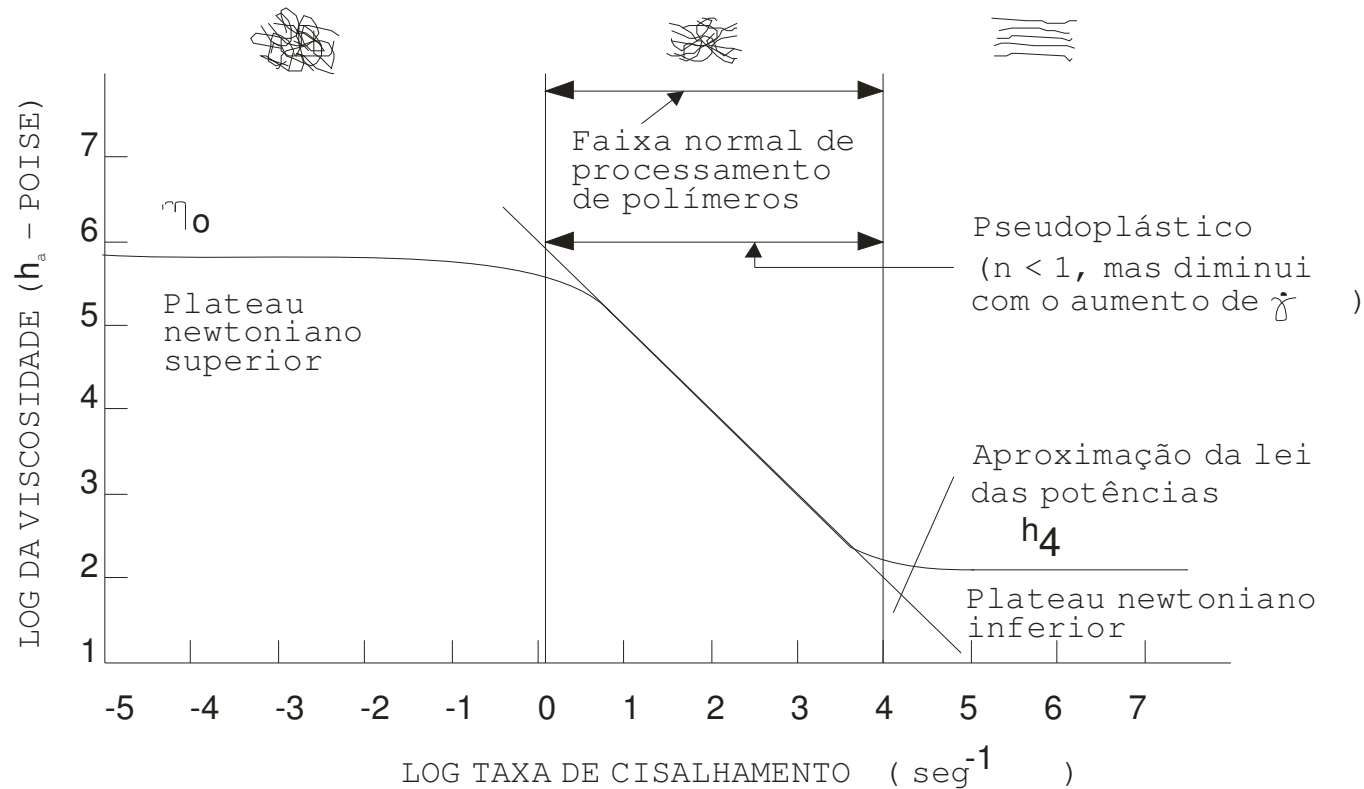
Manufatura de Polímeros



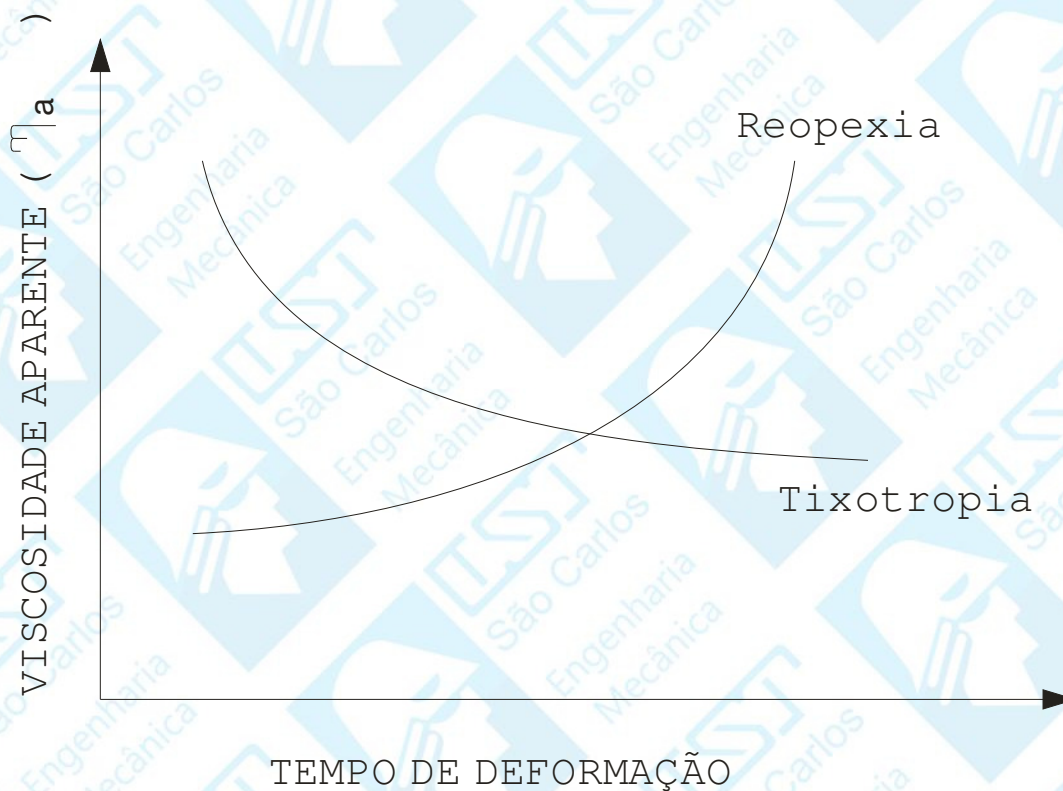
REOLOGICA DOS MATERIAIS



FLUXO DE POLÍMEROS FUNDIDOS

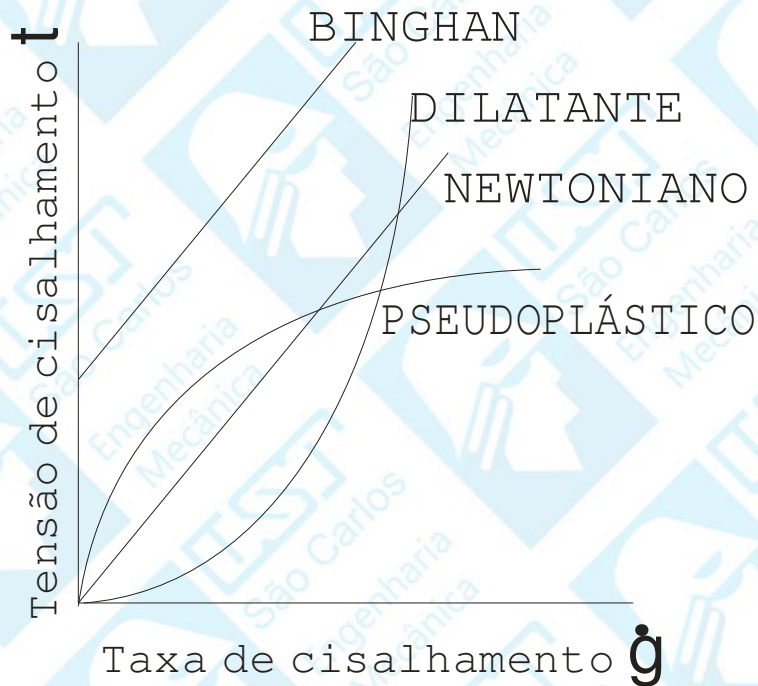


COMPORTAMENTO DE FLUÍDOS DEPENDENTES DO TEMPO

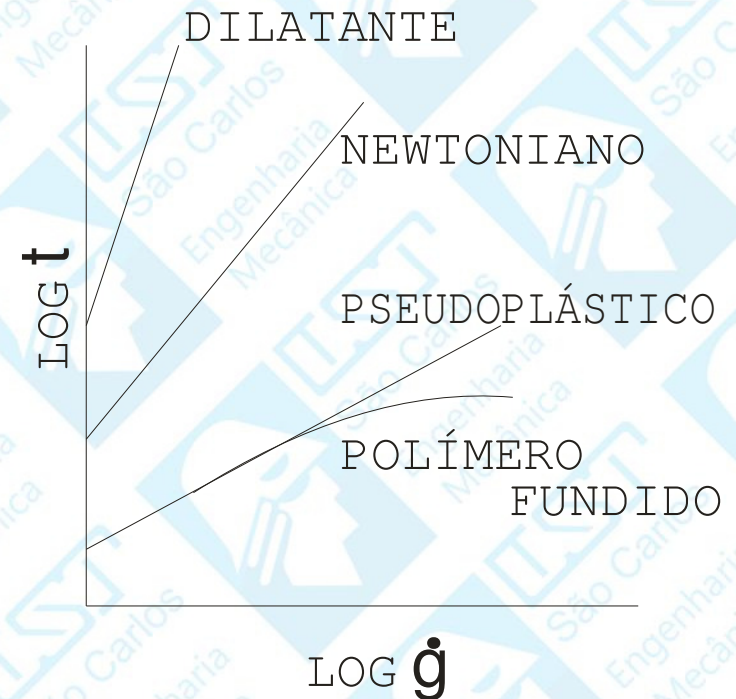


COMPORTAMENTO DOS FLUÍDOS

Independentes
do tempo



Regidos pela lei
das potências



POLÍMEROS - CONFORMAÇÃO

INJEÇÃO

EXTRUSÃO

MOLDAGEM
À SOPRO

SOPRO DE
FILMES E
TUBOS

FUNDIÇÃO
"CASTING"

CALANDRAGEM

MOLDAGEM
ROTACIONAL

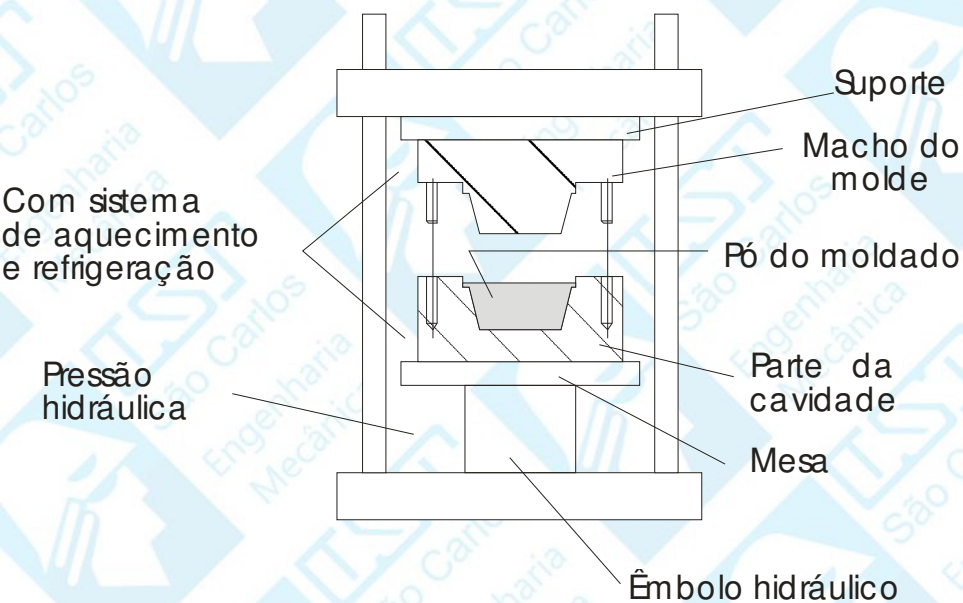
TERMOFORMAÇÃO

COMPRESSÃO

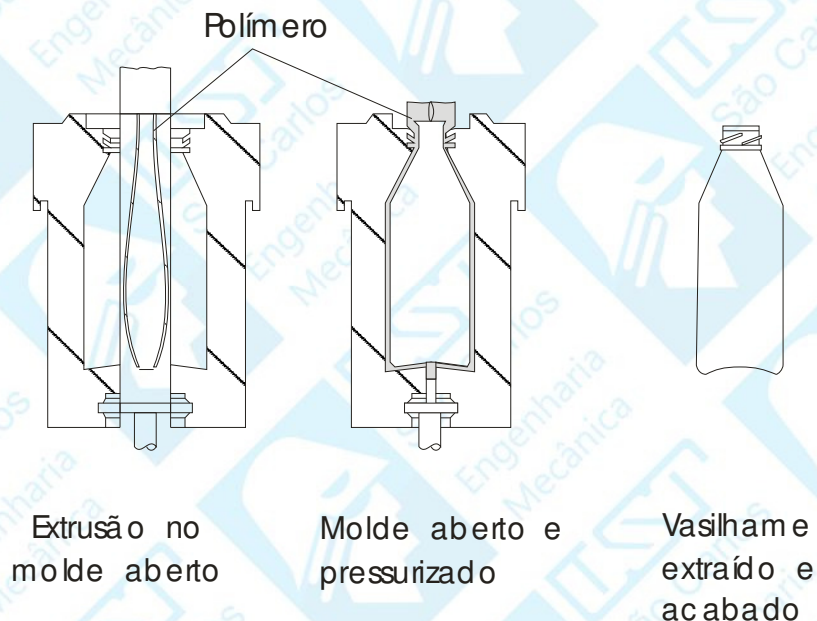


CONFORMAÇÃO DE POLÍMEROS

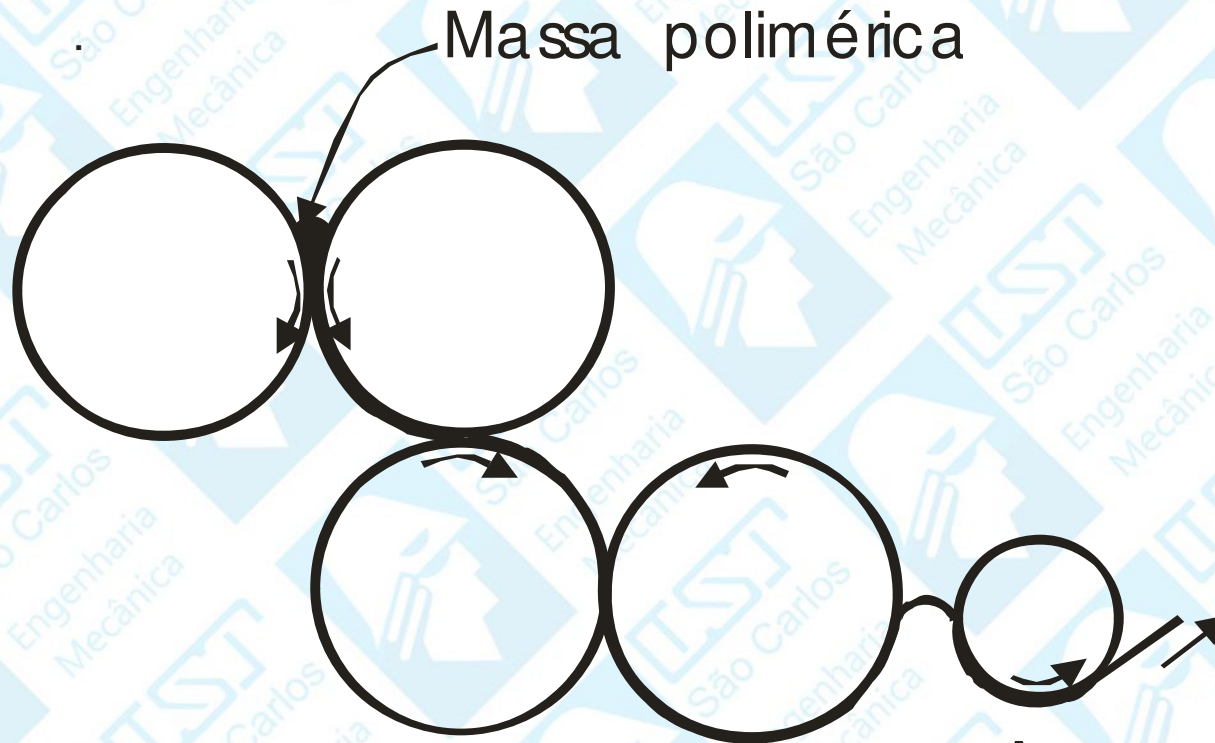
COMPRESSÃO



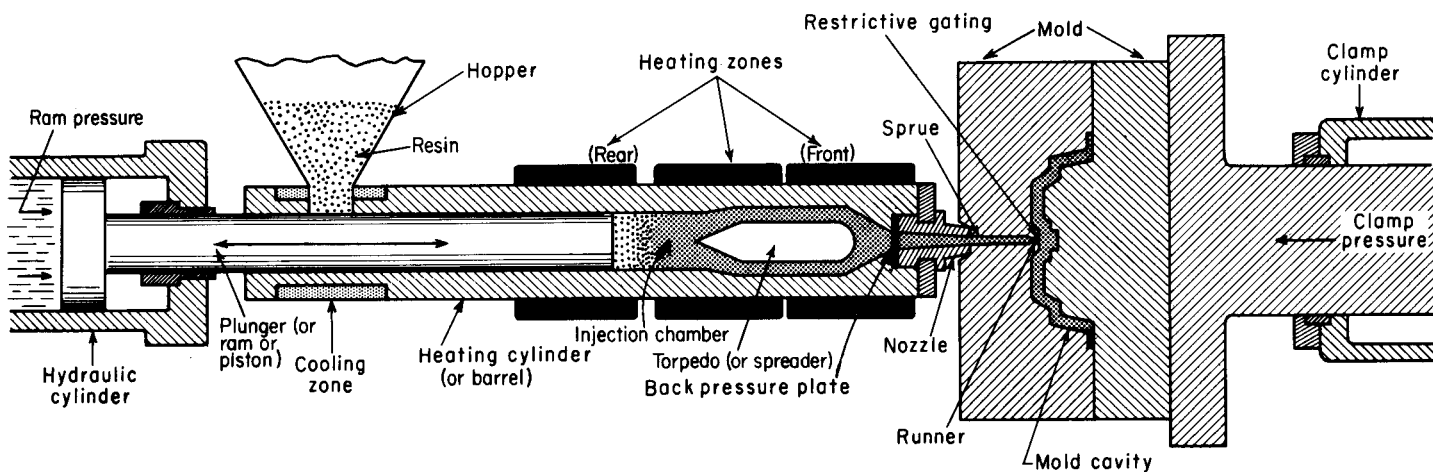
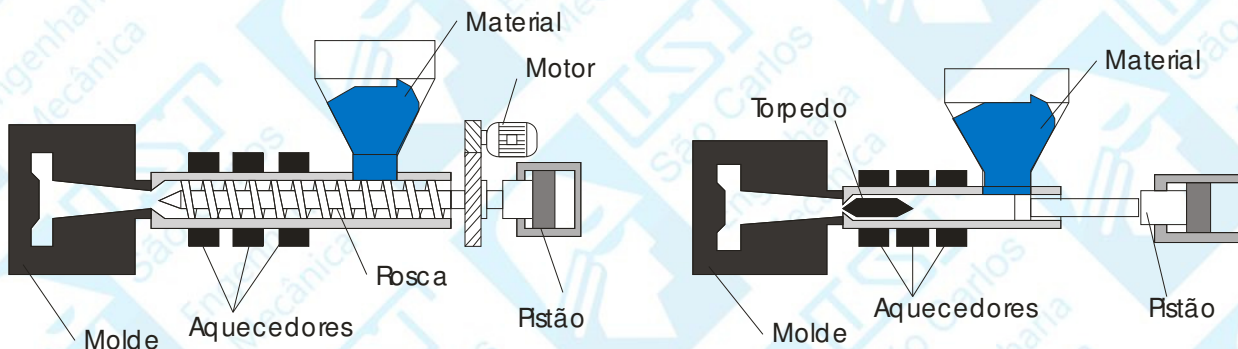
SOPRO



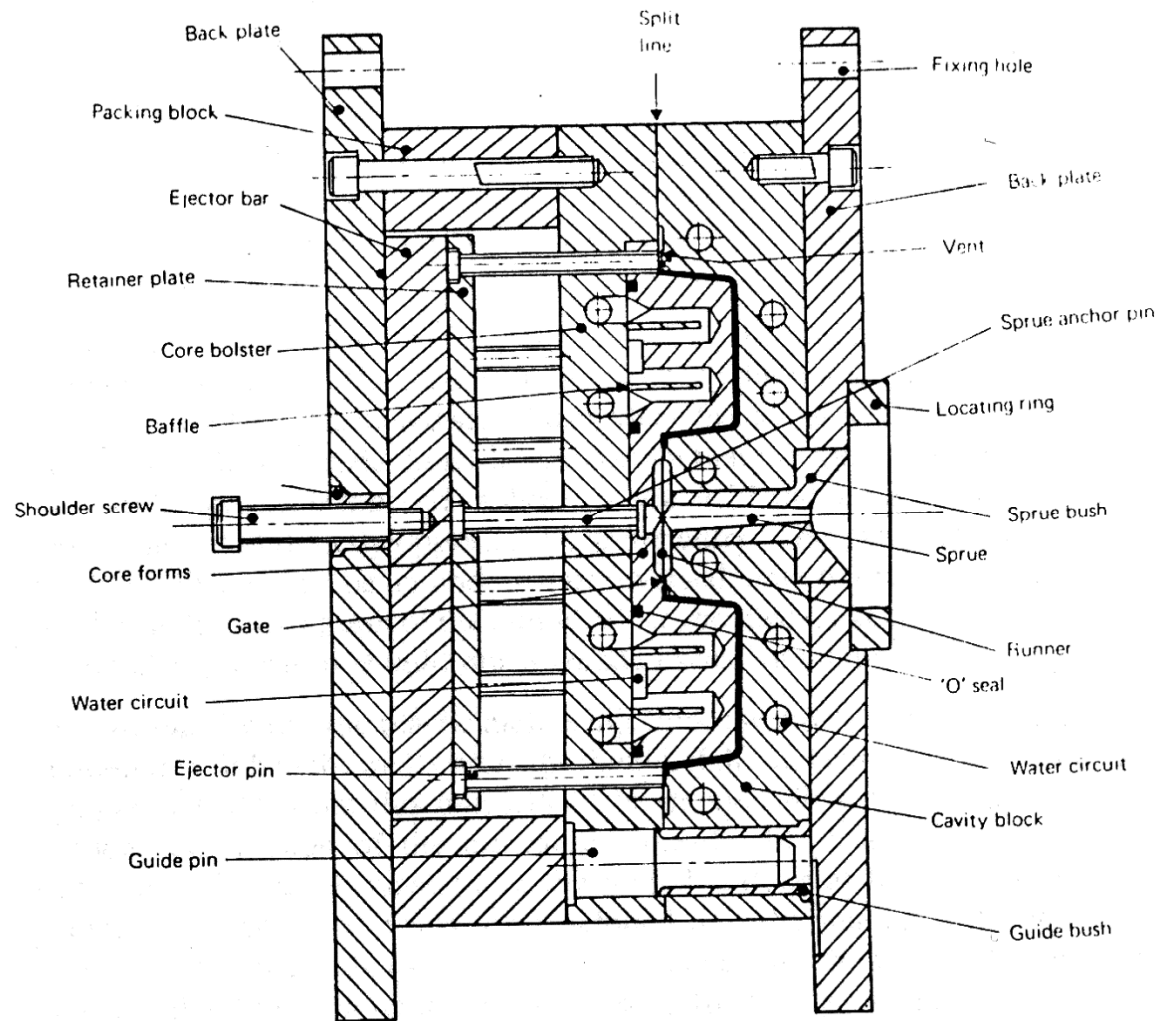
CALANDRAGEM



INJEÇÃO



Moldes de Injeção



Crawford RJ; Plastics Engineering. Pergamon Press. 1987. p.191

Materiais de Engenharia (SEM 5908) - ROLLO, J.M.D.de A, FORTULAN, C.A. (2015)



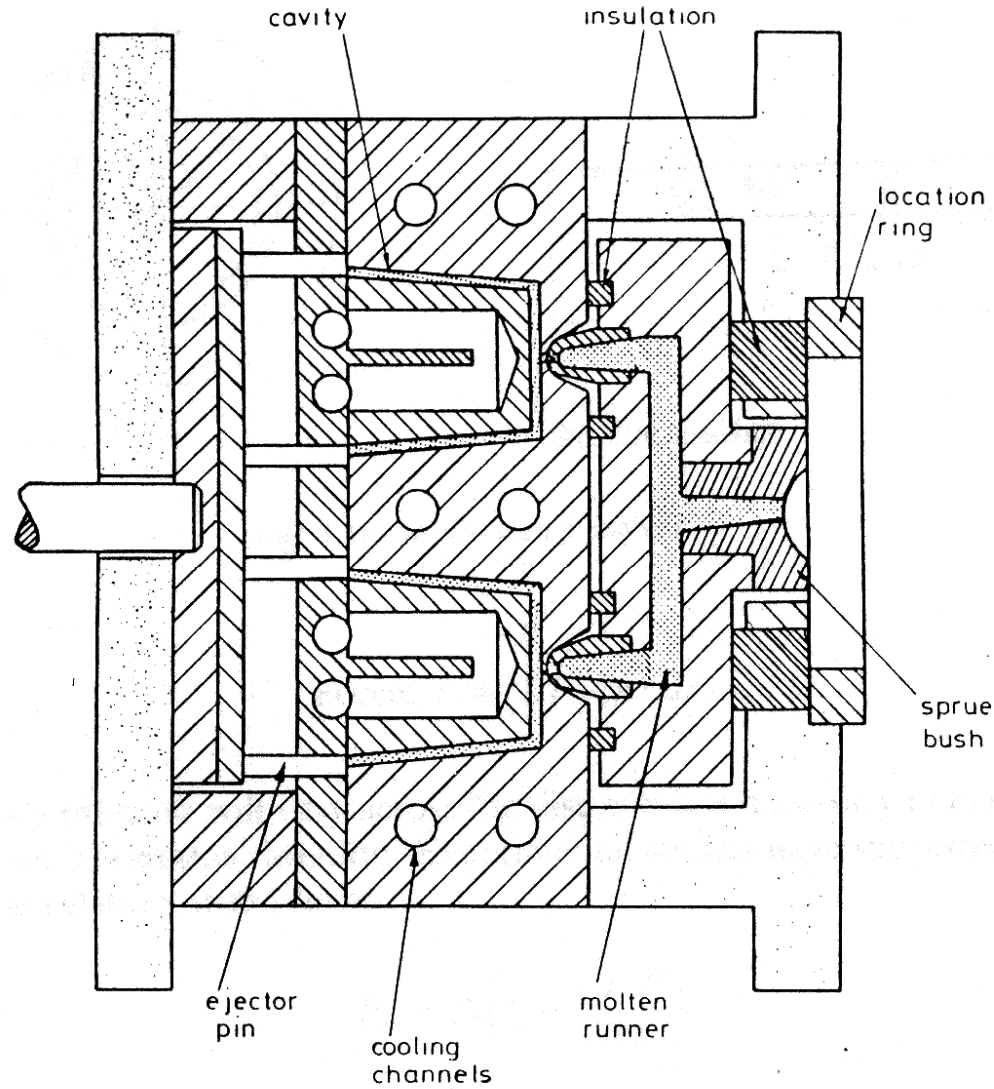


Fig. 4.30 Layout of hot runner mould



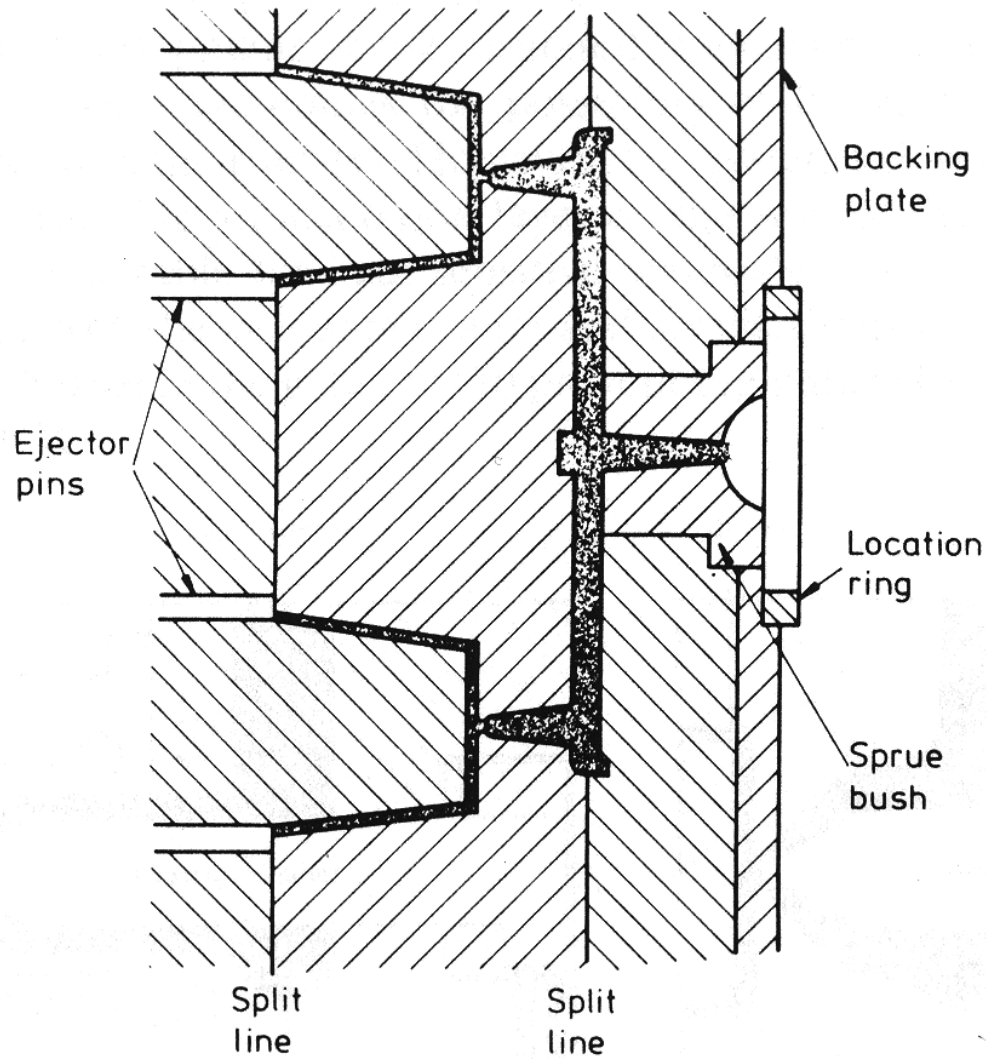
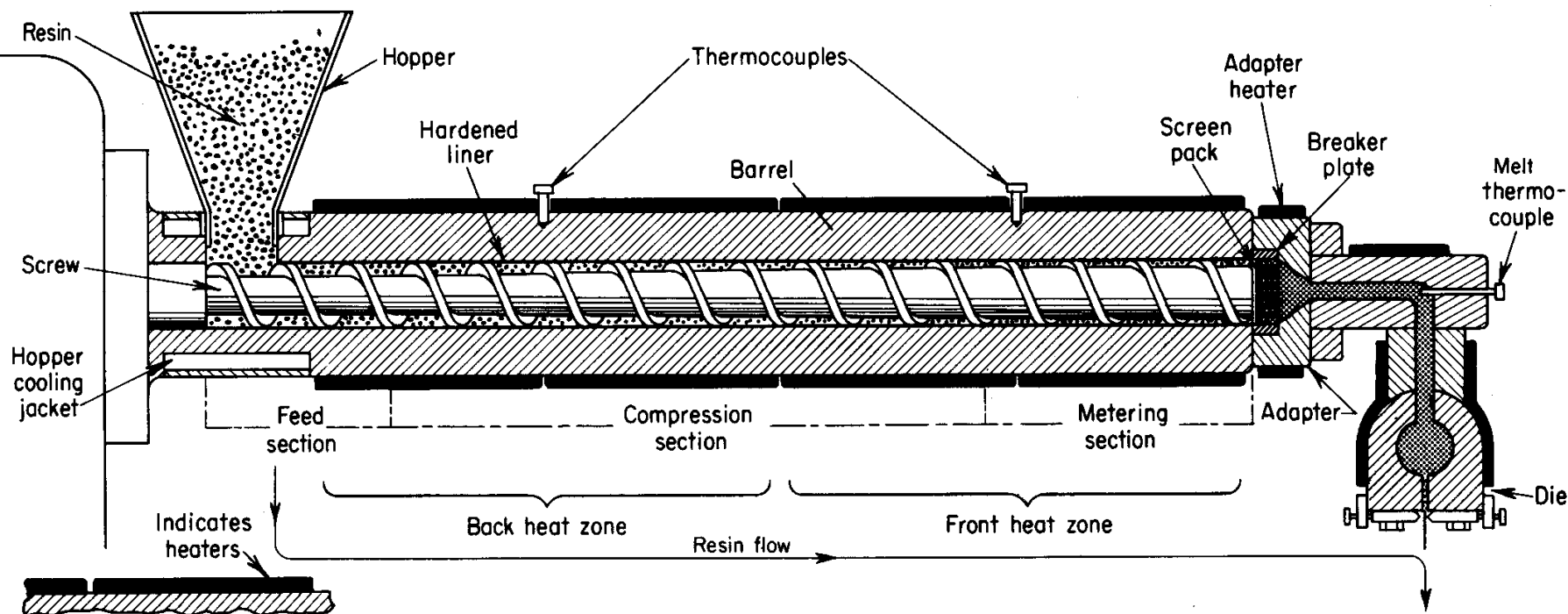


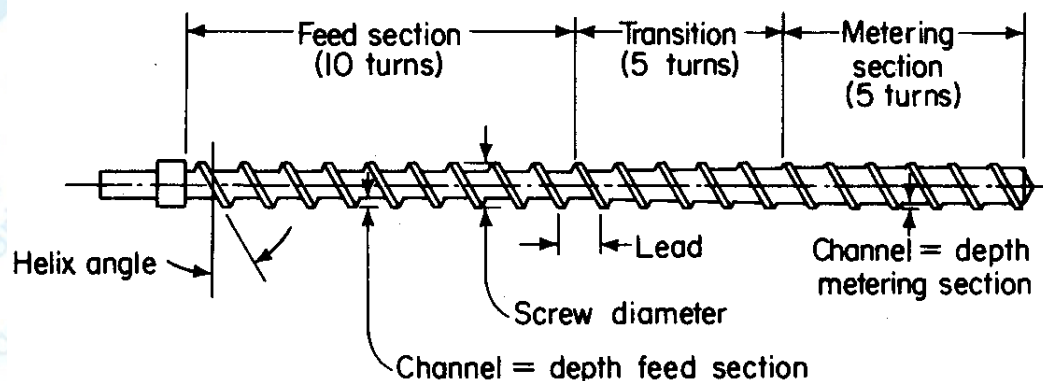
Fig 4.29 Typical 3-plate mould.



EXTRUSÃO



TIPOS DE ROSCAS: SEÇÕES E ESTÁGIOS



Gradual transition; 50% metering



Rapid transition; 50% metering

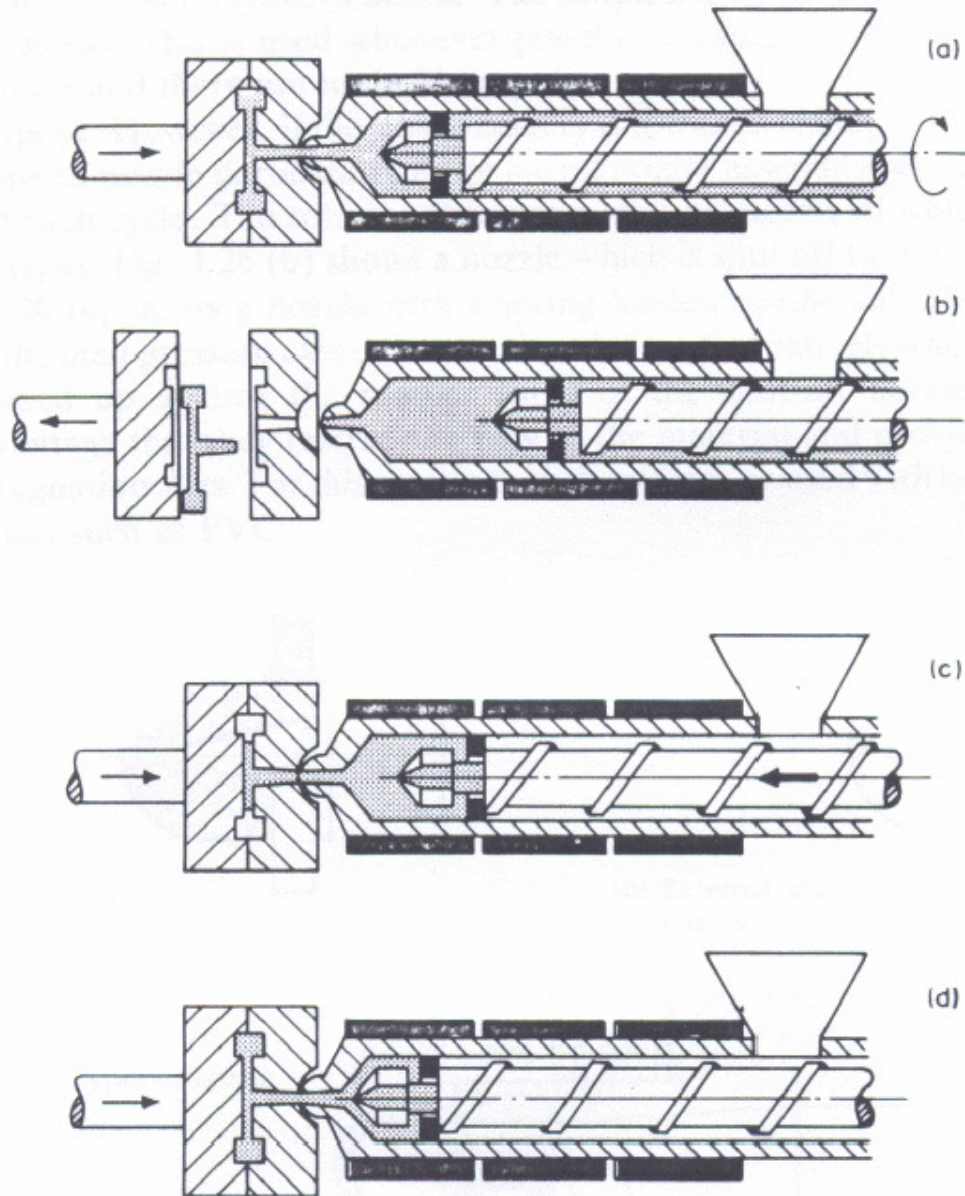


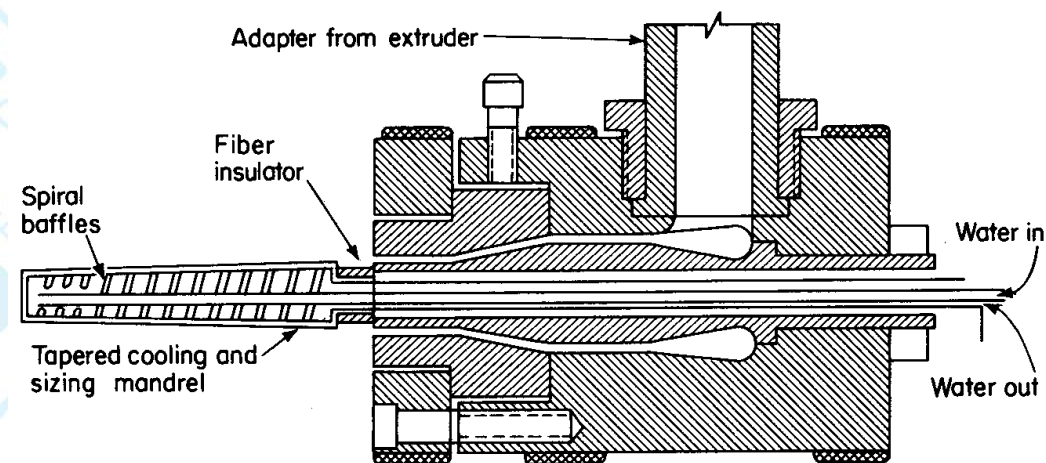
Varying pitch; flighted mixing head



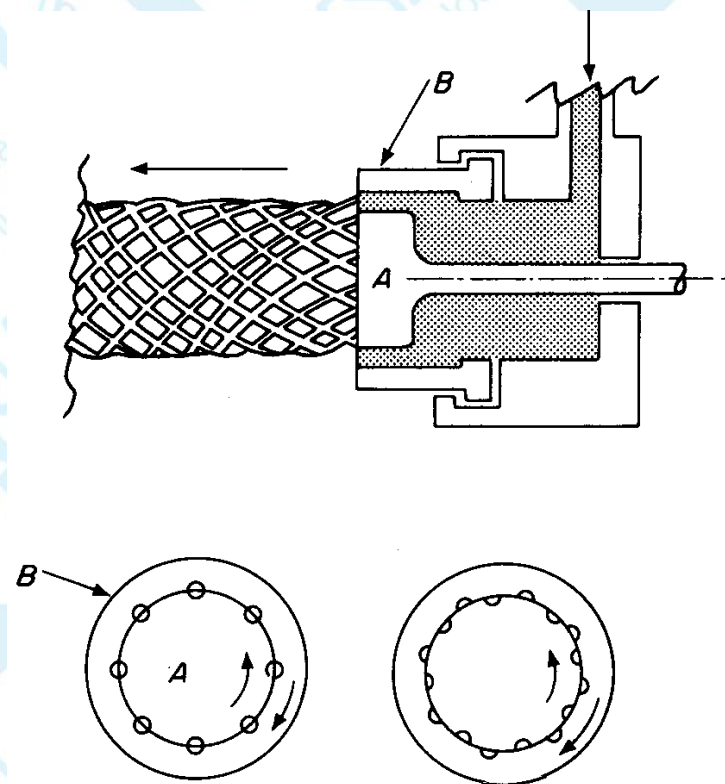
Two stage screw for vented extrusion





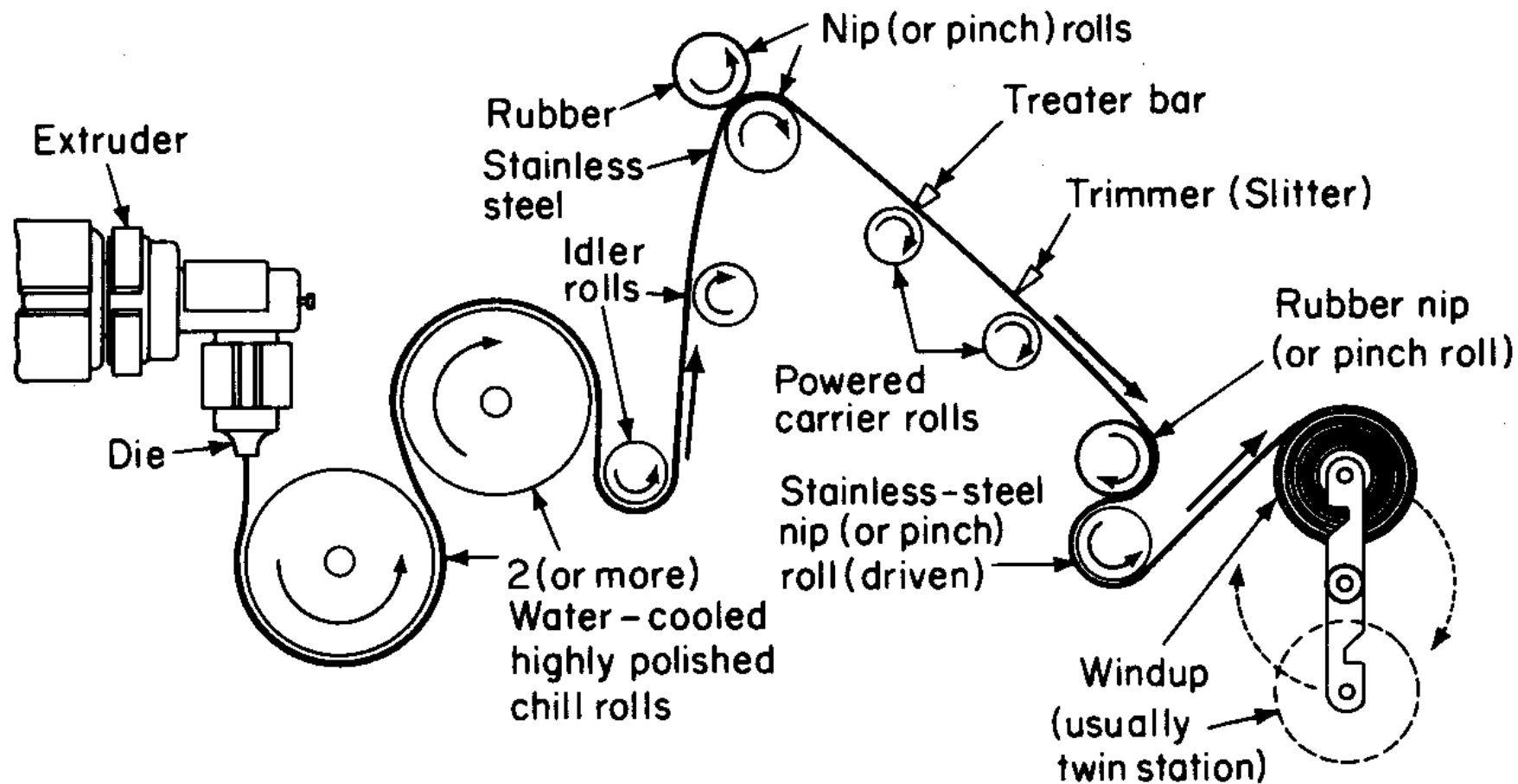


Mandril de refrigeração na extrusão de tubos

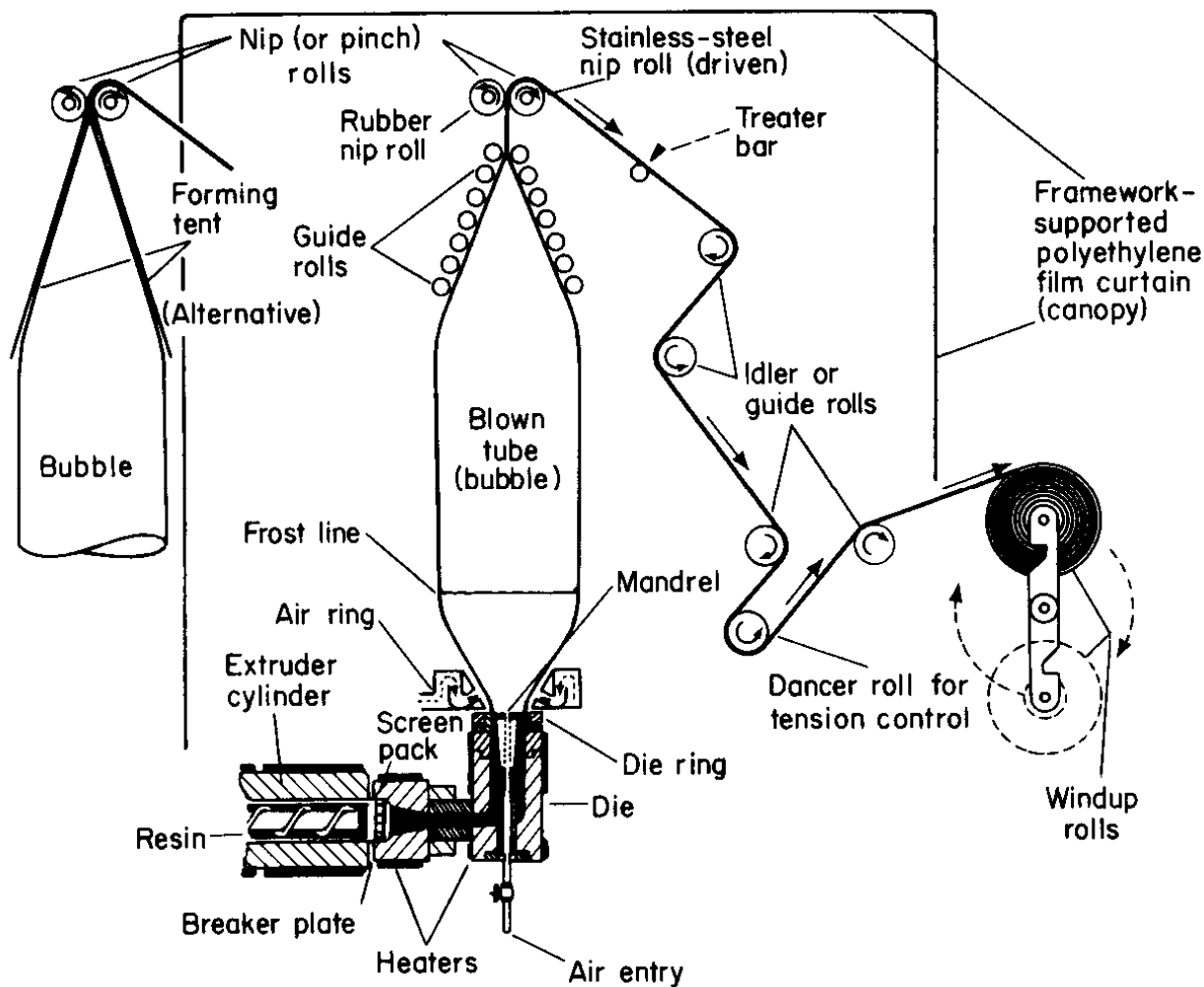


Molde para produção de rede

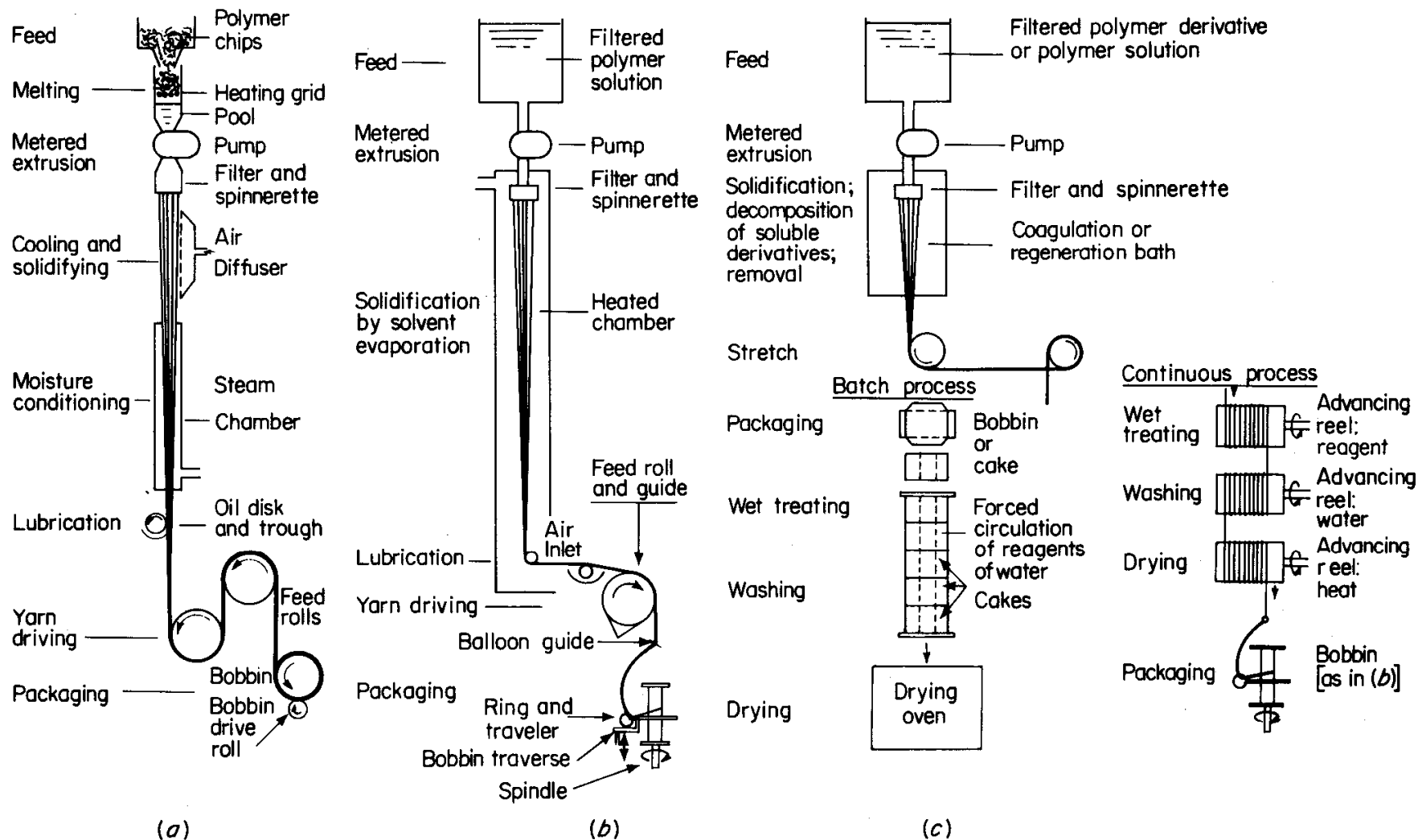
EXTRUSÃO DE FILMES



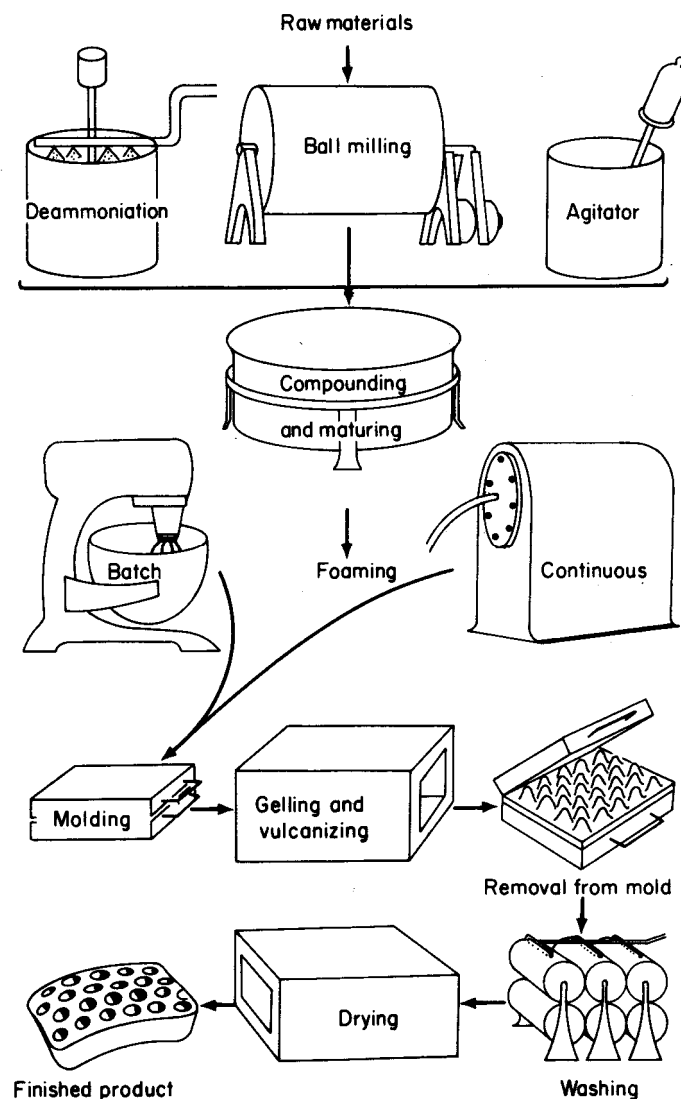
SOPRO DE FILMES E TUBOS



TRÊS PRINCIPAIS PRINCÍPIOS DE FABRICAÇÃO DE FIBRAS



VULCANIZAÇÃO DE LATÉX



Bibliografia

- ASHBY, M.F. *Materials selection in mechanical design*. Editora Pergamon Press, 311p. 1992
- Crawford RJ; *Plastics Engineering*. Pergamon Press. 1987.
- MANO, E. B. *Polímeros como materiais de engenharia*. Editora Edgard Blücher Ltda. 1991.
- Principles of polymer systems, Ferdinando Rodrigues. McGraw-Hill Book Inc. 1970.
- SHACKELFORD, J. F. *Ciência dos Materiais*. Pearson. 2008.
- VAN VLACH, L. A. *Princípios de ciência dos materiais*. Editora Edgard Blücher. São Paulo, 1985, 427p.

