

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

Aula 07 – 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



LIGAÇÕES

LIGAÇÕES
PRIMÁRIAS OU
FORTES
100 Kcal/mol

LIGAÇÕES
SECUNDÁRIAS
OU FRACAS
10 Kcal/mol

Forças de
Van-der-Waals

Ligação
IÔNICA

Ligação
METÁLICA

Ligação
COVALENTE

Atração entre íons
negativos e
positivos.

Elétrons Livres
formando uma
Nuvem eletrônica.

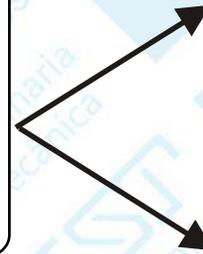
Compartilhamento dos
elétrons de valência.
Apresentam características
de direcionalidade



Arranjos atômicos

Estruturas Cristalinas

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



Monocristais

Policristais

Estruturas Amorfas ou Vítreas

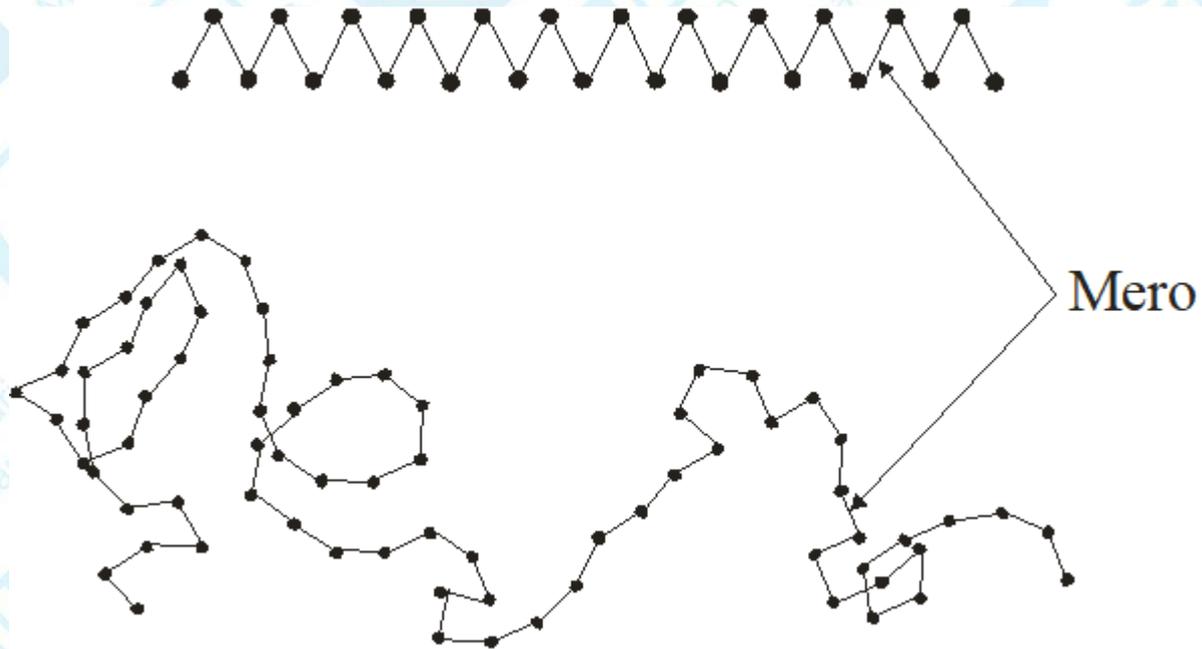
Arranjos desordenados e assimétricos dos átomos, similares à estrutura no estado líquido, embora mais compacta.

Estruturas Moleculares ou Poliméricas

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



Estrutura macromolecular ou polimérica



Classificação

PLÁSTICO DE ENGENHARIA

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

Polímeros de aplicação em engenharia que substituem os materiais convencionais

TERMOPLÁSTICO

TERMORRÍGIDO

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

Polímeros que quando aquecidos formam ligações químicas cruzadas irreversíveis.

ELASTÔMERO

BORRACHA

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

São polímeros que foram vulcanizados para introduzir ligações cruzadas

BLENDA



Classificação Periódica dos Elementos Químicos

<http://www.chemkeys.com>

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

LANTANÍDIOS

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

ACTINÍDIOS

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

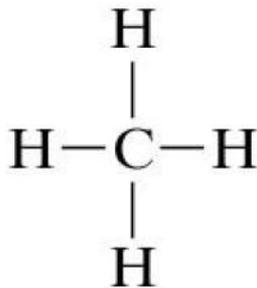
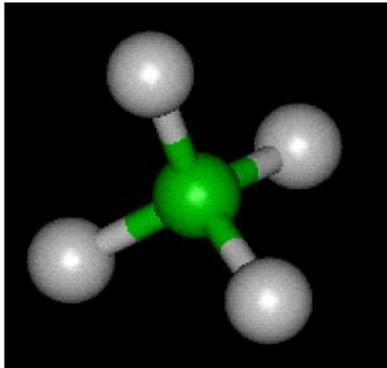
Número atômico: 25
 Nome: MANGANÊS
 Símbolo: Mn
 Massa atômica: 54,938

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

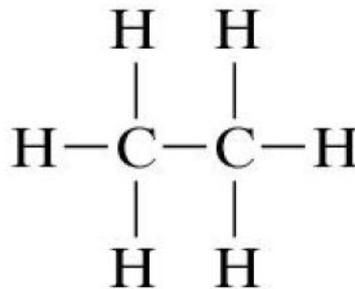
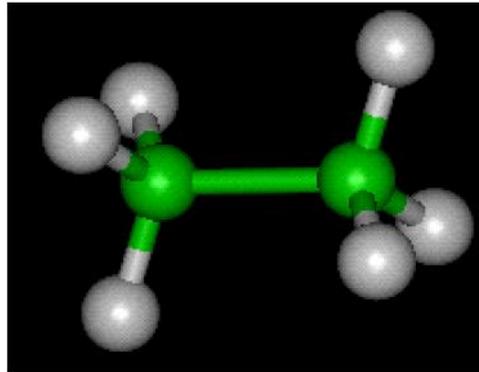


Estrutura

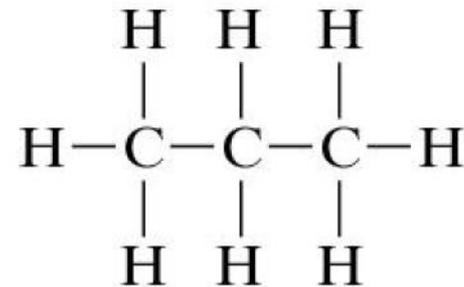
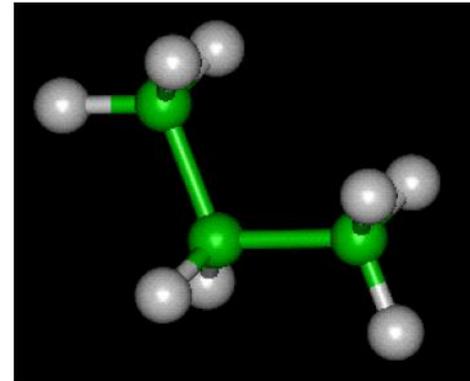
Muitos dos polímeros são orgânicos e formados por moléculas de hidrocarbonetos. Cada átomo de C tem quatro terminais que participa nas ligações, cada átomo de H tem um terminal.



Methane, CH₄



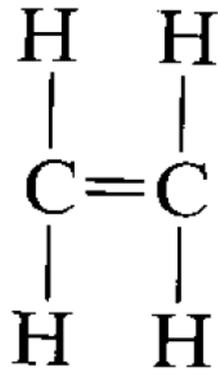
Ethane, C₂H₆



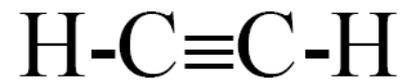
Propane, C₃H₈



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.



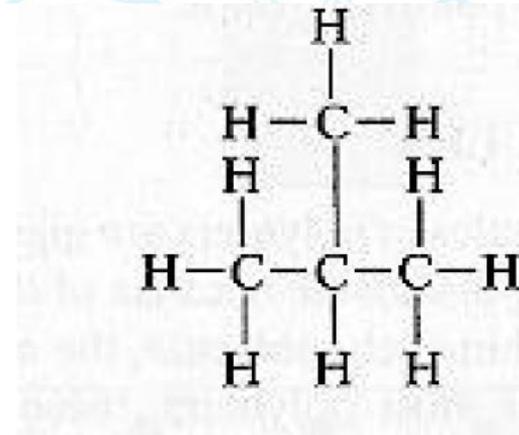
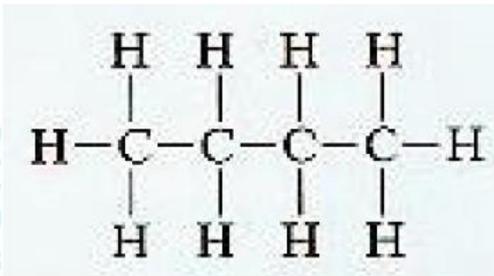
Ethylene, C₂H₄



Acetylene, C₂H₂



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



Butane → C₄H₁₀ ← **Isobutane**



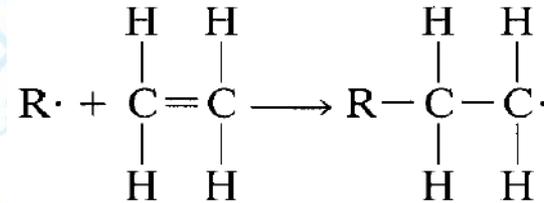
Química das moléculas poliméricas

- ✓ 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)

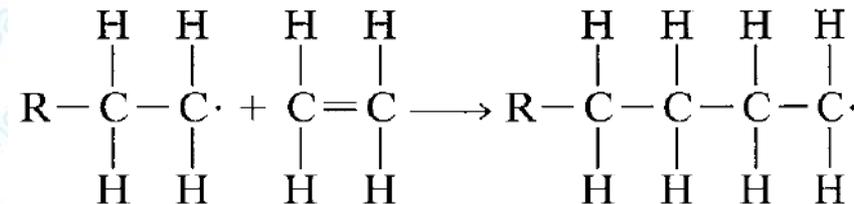


Polimerização por ADIÇÃO:

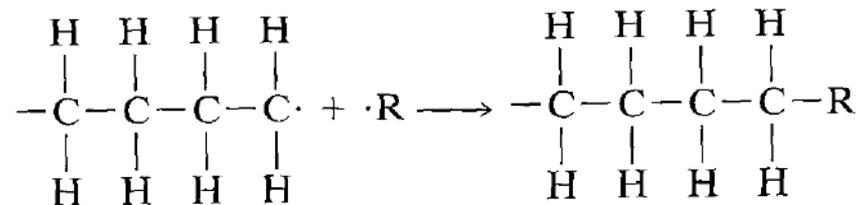
1. Reação de inicialização:



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:



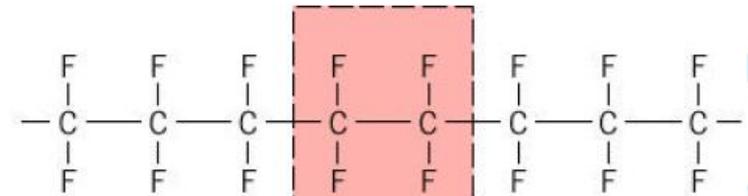
Para o caso específico do grupo hidroxila o peróxido de hidrogênio é uma fonte de radicais.



Polimerização por substituição:

Substituição dos átomos de hidrogênio por flúor no polietileno: politetrafluoretileno

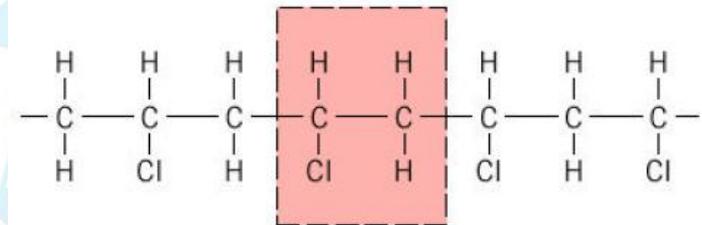
(PTFE) – Teflon



Mer unit

(a)

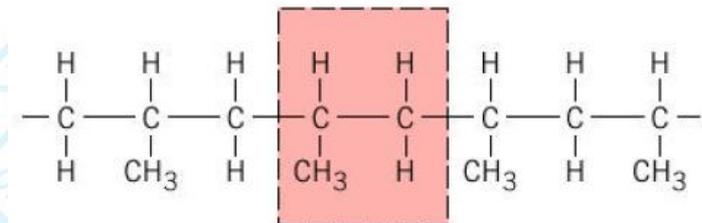
Substituição um dos quatro átomos de hidrogênio por átomos de cloro no polietileno: poli cloreto de vinila. PVC



Mer unit

(b)

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



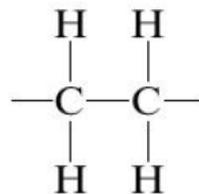
Mer unit

(c)

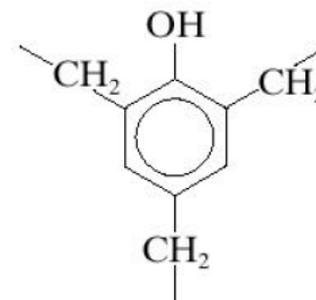


Química das moléculas poliméricas

- ✓ 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 tri-funcionais. Eles formam uma estrutura tridimensional.

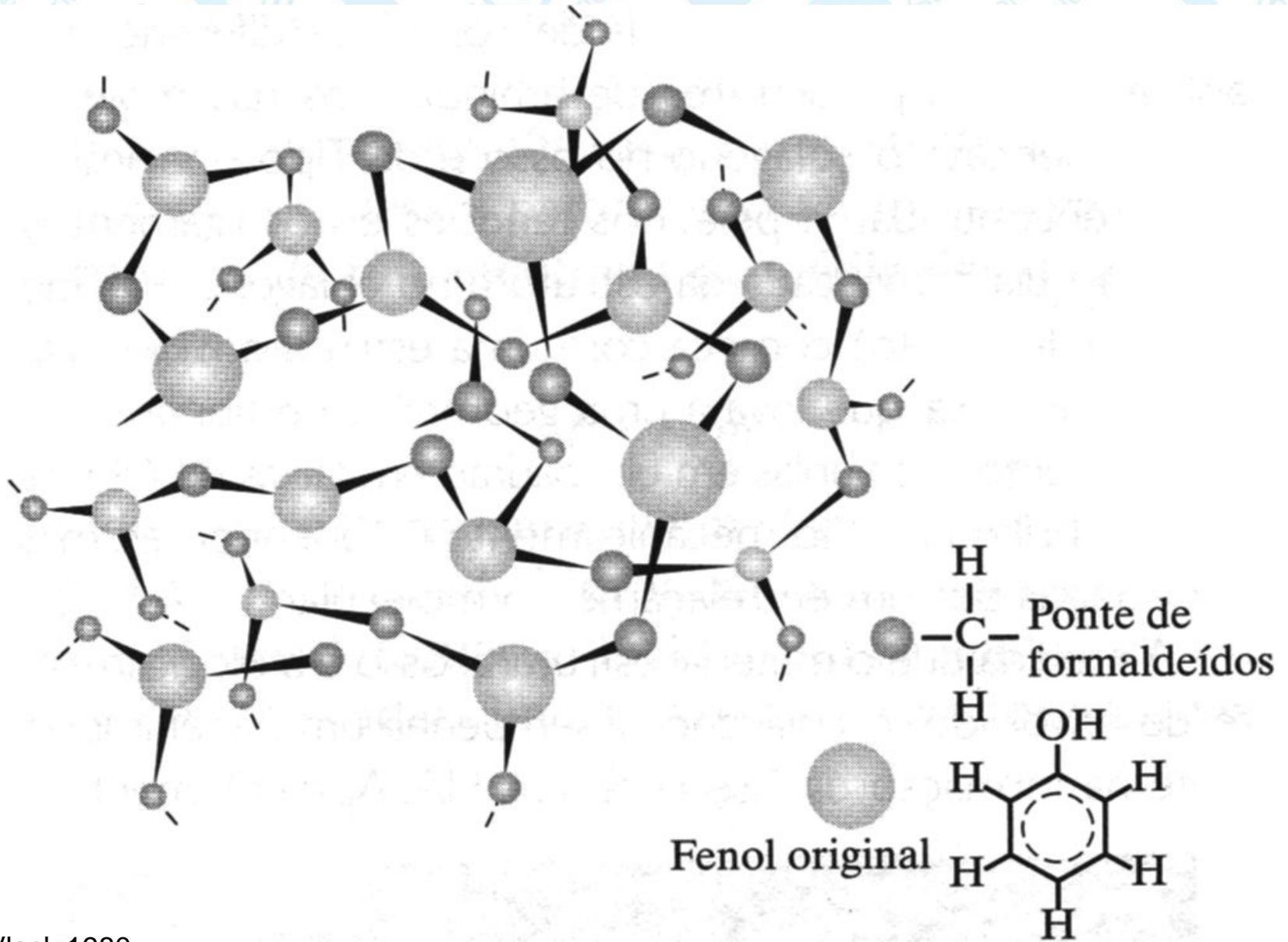


Polyethylene
(bifunctional)



Phenol-formaldehyde
(trifunctional)





Van Vlack 1980



Peso molecular

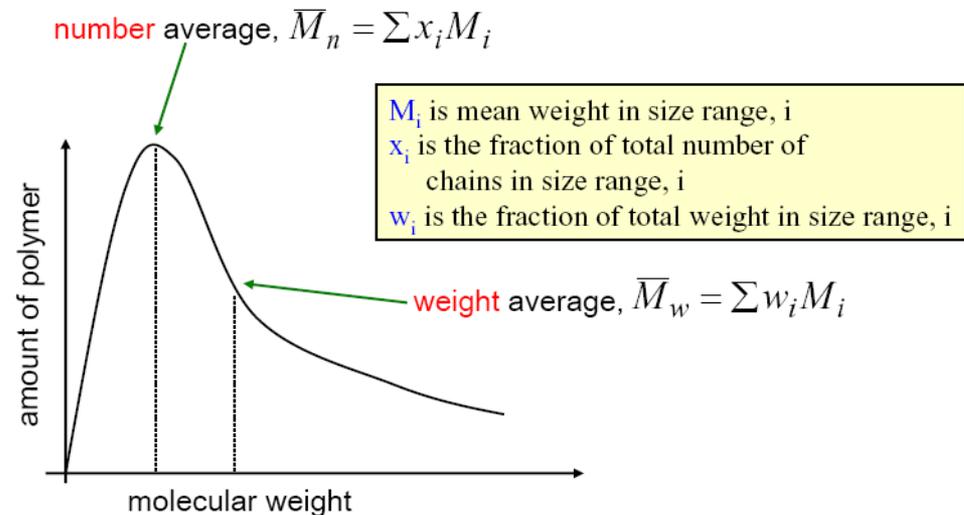
- ✓ Peso molecular (g/mol) (comprimento da cadeia), representa o número de unidades de massa atômica para uma determinada molécula;
- ✓ é controlado pelas taxas de iniciação, propagação e terminação das etapas de polimerização;
- ✓ Há uma distribuição de pesos moleculares resultante da polimerização;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

number-average:

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

weight-average:

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



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

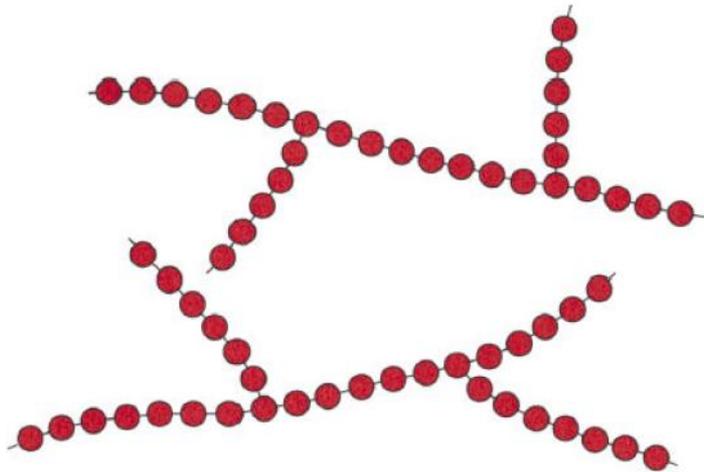
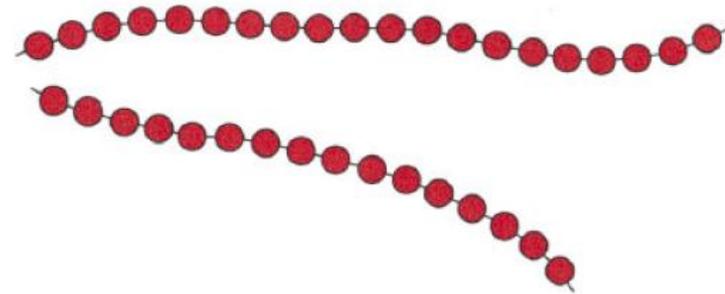
- ✓ A temperatura de fusão/amolecimento aumenta com o peso molecular (até 100.000 g/mol);
- ✓ Estado físico em função do peso molar – T_{amb} .
 - líquidos ou gases → pequenas cadeias poliméricas (peso molar ~100 g/mol);
 - ceras sólidas → polímeros intermediários (~1000 g/mol);
 - sólidos → pesos moleculares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

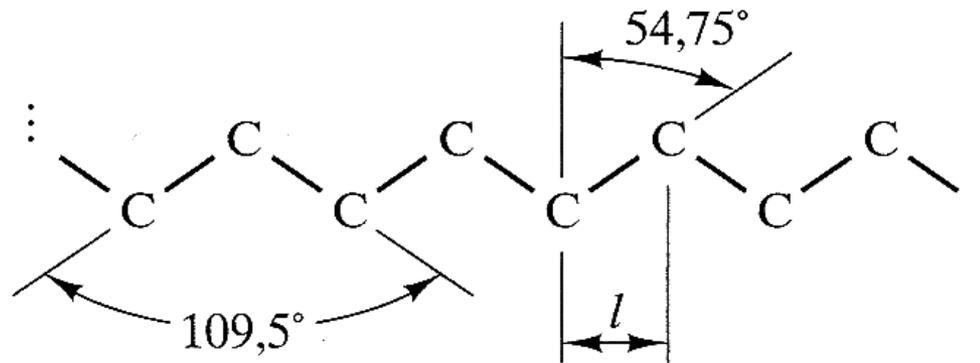
1 Polímeros lineares: União de Van der Waals entre as cadeias. Exemplos: polietileno, nylon.



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



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



38) No dia-a-dia nos deparamos com termos tais como vulcanização e cura de produtos poliméricos. Contudo, poucas pessoas compreendem que esses dois termos pressupõe que se forma, no meio material, uma estrutura macromolecular tridimensional única, interligada por ligações covalentes (ligações cruzadas) que estão separadas por um certo espaçamento. A literatura científica, também, usa o termo reticulação como equivalente a vulcanização ou cura. Assinale a alternativa correta que expressa o significado técnico dos três termos, independentemente, das diversidades de matérias primas empregadas e especificidades das tecnologias usadas para fabricação ou uso e produtos vulcanizáveis ou curáveis ou reticuláveis.

A. a vulcanização ou cura ou reticulação é uma reação química induzida em polímeros, por diversas substâncias e condições específicas ou também ainda pode ser desencadeada pela polimerização de precursores químicos com o objetivo de interligar as macromoléculas do meio reacional que pode ser líquido ou sólido, através de ligações covalentes (ligações cruzadas).

B. a vulcanização ou cura ou reticulação é uma reação de pirólise induzida por meios térmicos com o objetivo de enrijecer o material polimérico, razão pela qual os produtos vulcanizados tais como pneus, anéis de vedação e correias, geralmente, são pretos.

C. a vulcanização ou cura ou reticulação é uma reação de combustão conduzida, numa atmosfera controlada, para promover a queima parcial do polímero e, conseqüentemente, endurecer o material, razão pela qual os produtos vulcanizados tais como pneus, anéis de vedação e correias, geralmente, são pretos.

D. a vulcanização ou cura ou reticulação é um fenômeno puramente físico que consiste em plastificar o material polimérico com um solvente para melhorar sua fluidez e torna-lo moldável. O processo de endurecimento do material ocorre em duas etapas: a evaporação do solvente seguida de sinterização do material.

E. A vulcanização ou cura ou reticulação é um processo de sinterização para endurecer o material polimérico com o objetivo de evitar que ele amoleça durante o uso. Deste modo, durante a sinterização as partículas de polímero sofrem coalescência, justificando assim, o endurecimento deste material.

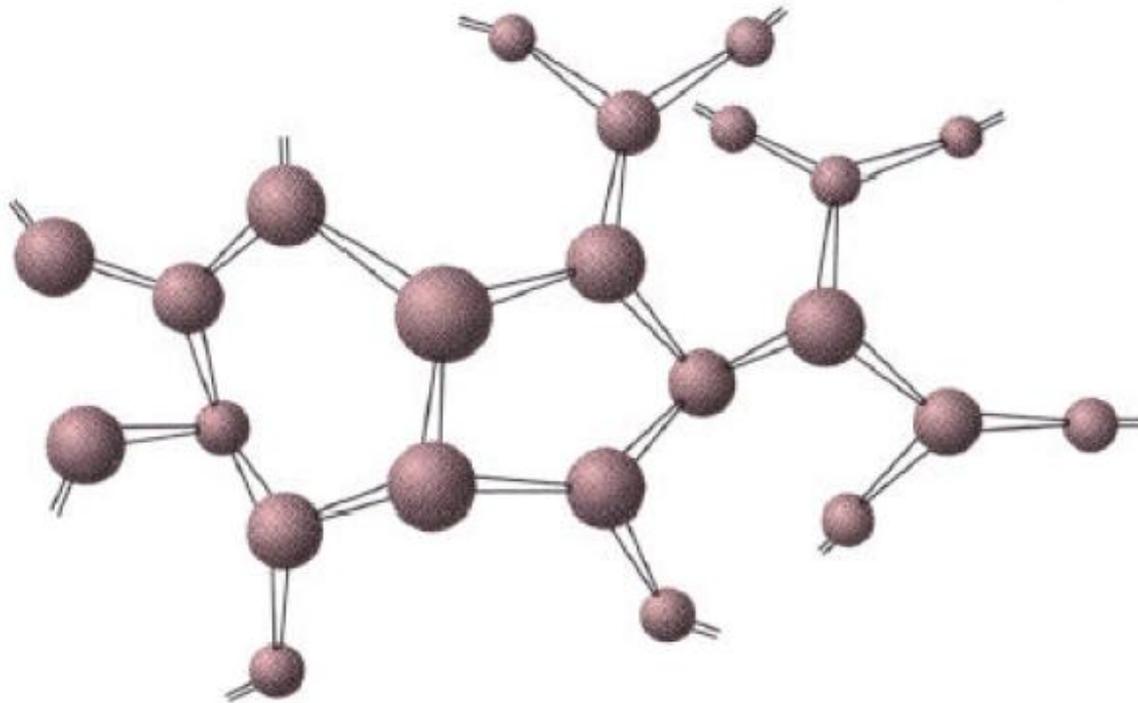


a)



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

Exemplos: epoxies, fenolformaldeído.



Cristalinidade nos polímeros

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

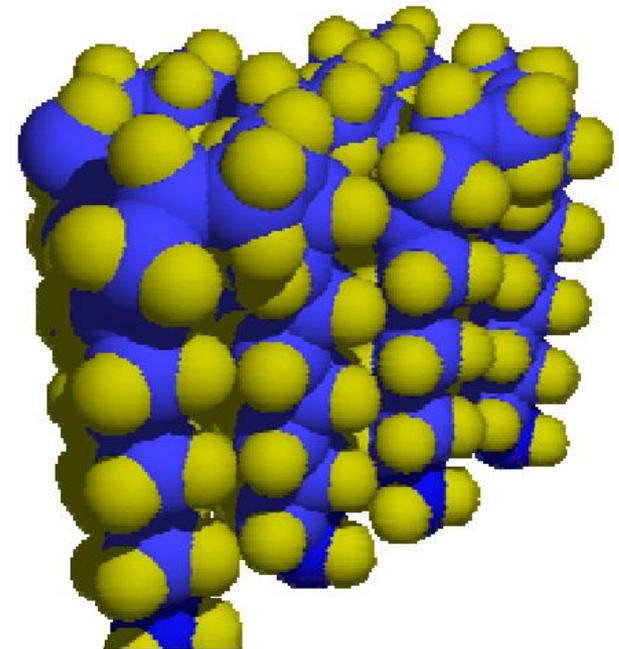
$$\% \text{ crystallinity} = \frac{\rho_c(\rho_s - \rho_a)}{\rho_s(\rho_c - \rho_a)} \times 100$$

Where:

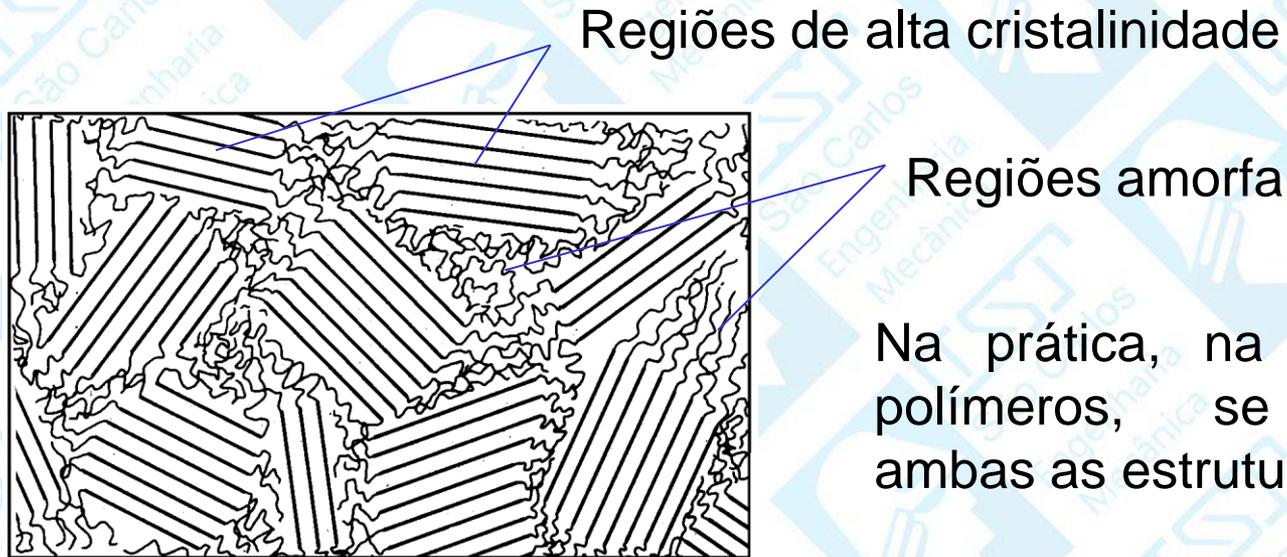
ρ_s = Density of sample

ρ_a = Density of the completely amorphous polymer

ρ_c = Density of the completely crystalline polymer



Cristalinidade nos polímeros



- 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



Polímero Cristalino

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



Polietileno de alta densidade



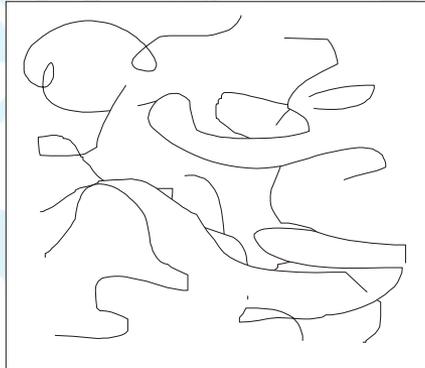
- ✓ Microscopia ótica; (HDPE)
- ✓ O filme polimérico foi cristalizado à partir de um filme inicialmente amorfo (LDPE);
- ✓ Cada cristal é visto radialmente á partir de um núcleo, até encontrar a fronteira com o cristal adjacente.



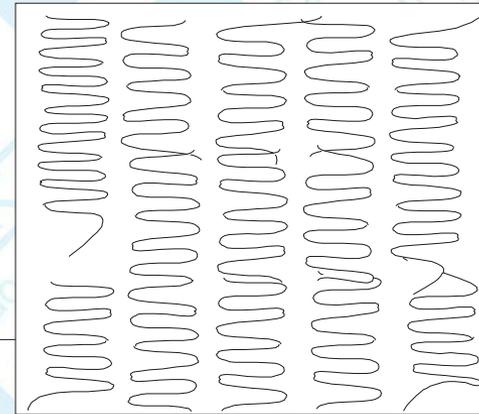
33) Verificou-se que os polímeros transparentes, na região do visível (400-700nm), não produzem picos de difração de raios-x. Por outro lado, observou-se que os polímeros opacos, na região do visível (400-700nm), produzem picos de difração dos raios-x. Considere que os polímeros opacos e transparentes avaliados estão isentos de quaisquer aditivos. Assinale a alternativa correta que explica a razão pela qual os polímeros transparentes e opacos interagiram de forma distinta com os raios-x e a luz visível.

- A. Os polímeros transparentes são cristalinos, isto é, contém uma estrutura de alta ordem, denominada de cristais, que facilita a passagem das duas radiações eletromagnéticas (raios-x, luz visível), enquanto que os polímeros opacos contém uma estrutura completamente desordenada responsável pela reflexão da luz visível e difração dos raios-x.
- B. Os polímeros opacos por serem totalmente amorfos provocam a difração dos raios-x e a reflexão da luz visível, enquanto que em polímeros transparentes, a coexistência das duas fases, cristalina e amorfa, é que justifica a interferência destrutiva das duas radiações, raios-x e luz visível, ao atravessar o meio material.
- C. Os polímeros transparentes por serem amorfos não difratam os raios-x e nem refletem a luz visível, devido à ausência dos cristais, enquanto que os polímeros opacos difratam os raios-x e refletem a luz visível, devido à existência de múltiplas estruturas ordenadas denominadas de cristais.
- D. Os polímeros opacos são totalmente amorfos devido à presença de uma estrutura ordenada, que é responsável pela difração dos raios-x e reflexão da luz visível, enquanto que esses dois eventos estão ausentes em polímeros transparentes, devido à interferência destrutiva proporcionada pela coexistência das fases cristalina e a amorfa.
- E. Os polímeros transparentes por conter cristais muito grandes não difratam os raios-x e deixam a luz visível passar, enquanto os opacos por serem amorfos difratam os raios-x e a luz visível.



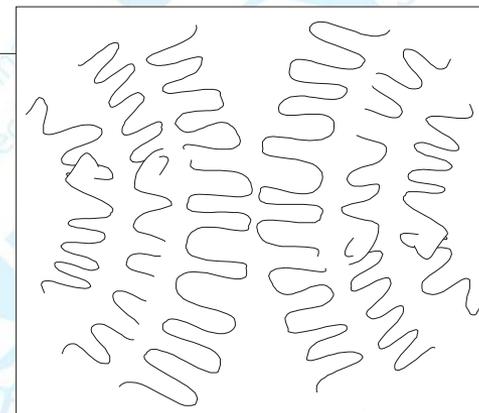


Polímero no estado fundido com cadeias emaranhadas

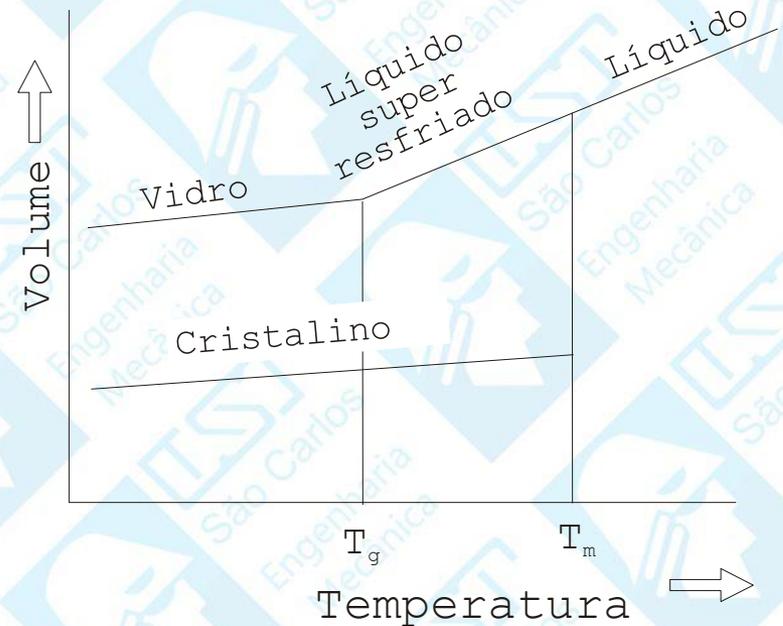


Polímero no estado sólido com cadeias parcialmente ordenadas; cristalitos lamelares

Polímeros no estado sólido com cadeias parcialmente ordenadas; cristalitos esferulitos



Polímeros



T_m – Temperatura de fusão cristalina

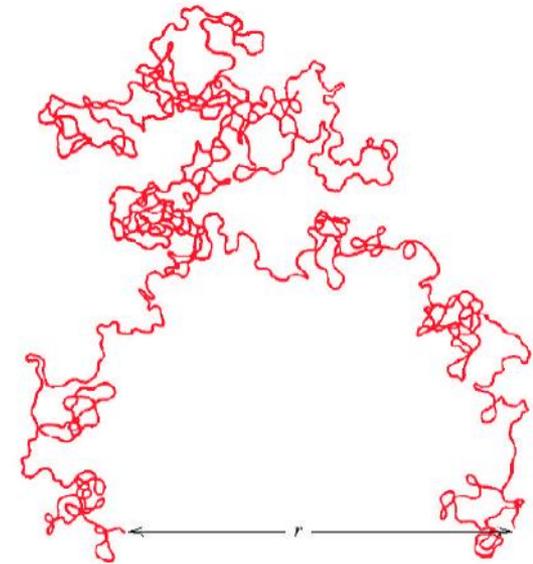
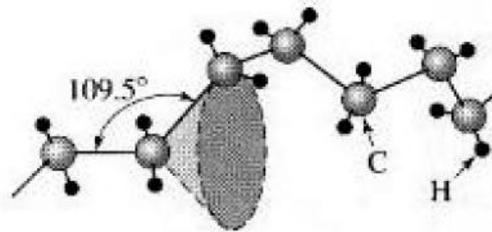
É aquela em que as regiões ordenadas dos polímeros, isto é, os cristalitos e esferulitos, se desagregam e fundem.

T_g - Temperatura de transição vítrea

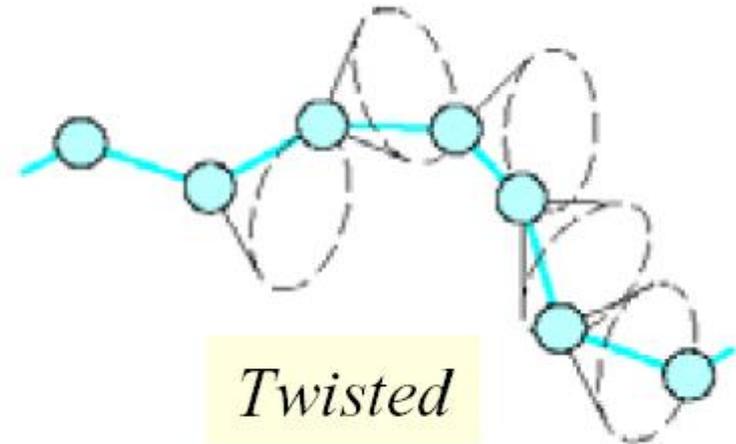
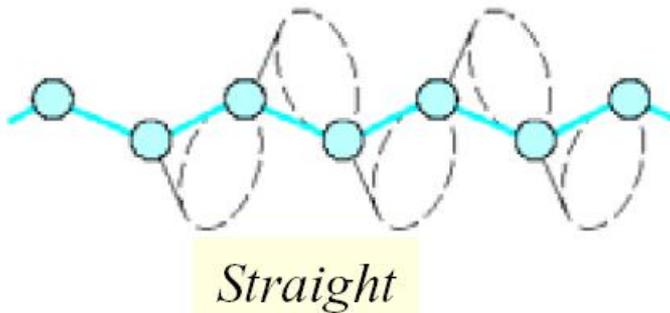
Está associada à região amorfa dos polímeros. A transição é de segunda ordem e representa a temperatura em que a mobilidade das cadeias moleculares, devido a rotação de grupos laterais em torno das ligações primárias, se torna restrita pela coesão intermolecular. Abaixo da T_g a mobilidade desaparece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

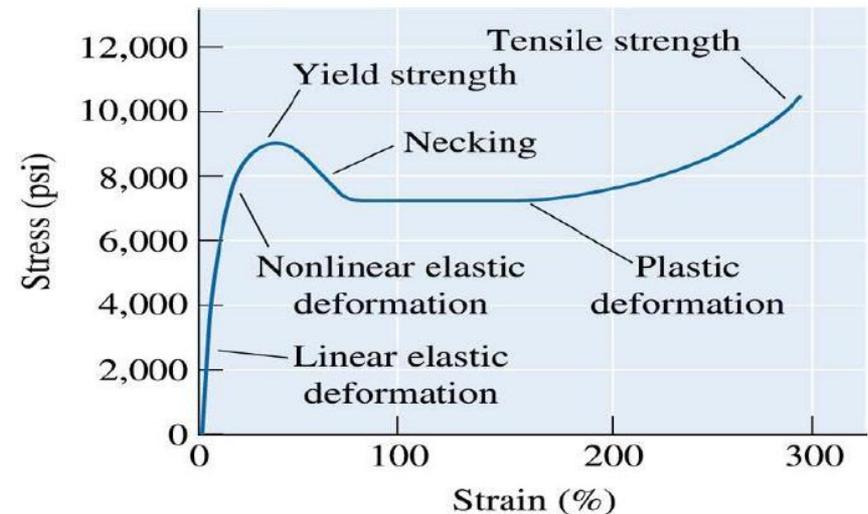
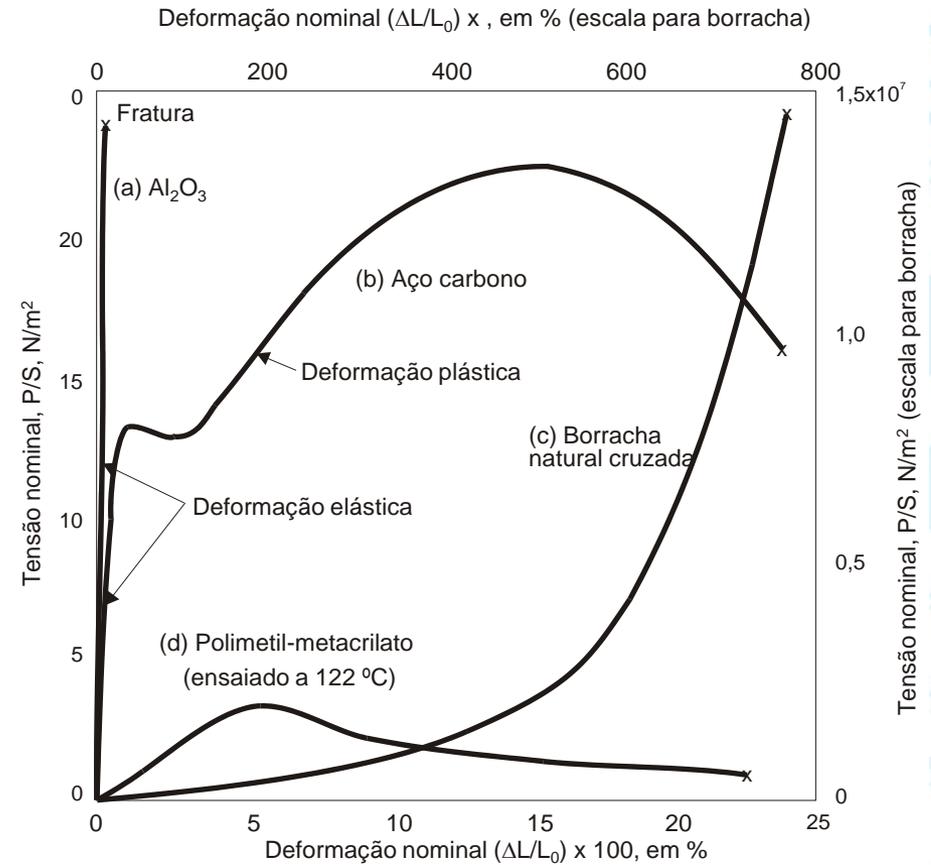


Figure 15.17 The stress-strain curve for 6,6-nylon, a typical thermoplastic polymer. (The Science and Engineering of Materials – by D.R. Askeland and P.P. Phule)



Propriedades mecânicas dos materiais



37) Construiu-se uma extrusora que só possuía zona de alimentação para estudar a influência dos dois coeficientes de atrito dos grãos de polímero contra a superfície da rosca e contra a parede interna do cilindro, ambos a temperatura ambiente. O ensaio consistiu em combinar vários cilindros e duas roscas com diferentes rugosidades para as medidas da vazão de sólidos. Os coeficientes de atrito supracitados foram determinados por uma técnica independente. A figura 4 abaixo mostra as curvas de vazão obtidas em função do coeficiente de atrito dos grãos de polímero contra parede interna do cilindro, usando duas roscas (roscas 1 e 2) com rugosidades distintas. Admitindo-se que a rosca 1 possui menor coeficiente de atrito que a rosca 2, compare e analise as curvas do gráfico e assinale a alternativa correta.

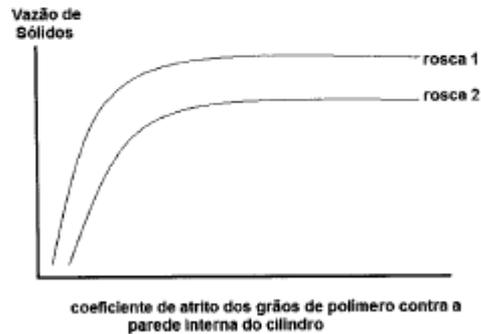


Figura 4 – Vazão de sólidos medidos combinando-se vários cilindros e duas roscas, cujos coeficientes de atrito contra os grãos de polímeros são diferentes.

A. a vazão de sólidos independe dos coeficientes dos grãos de polímero contra a superfície da rosca e a parede interna do cilindro.

B. a vazão de sólidos só depende do coeficiente de atrito dos grãos de polímero contra a superfície da rosca.

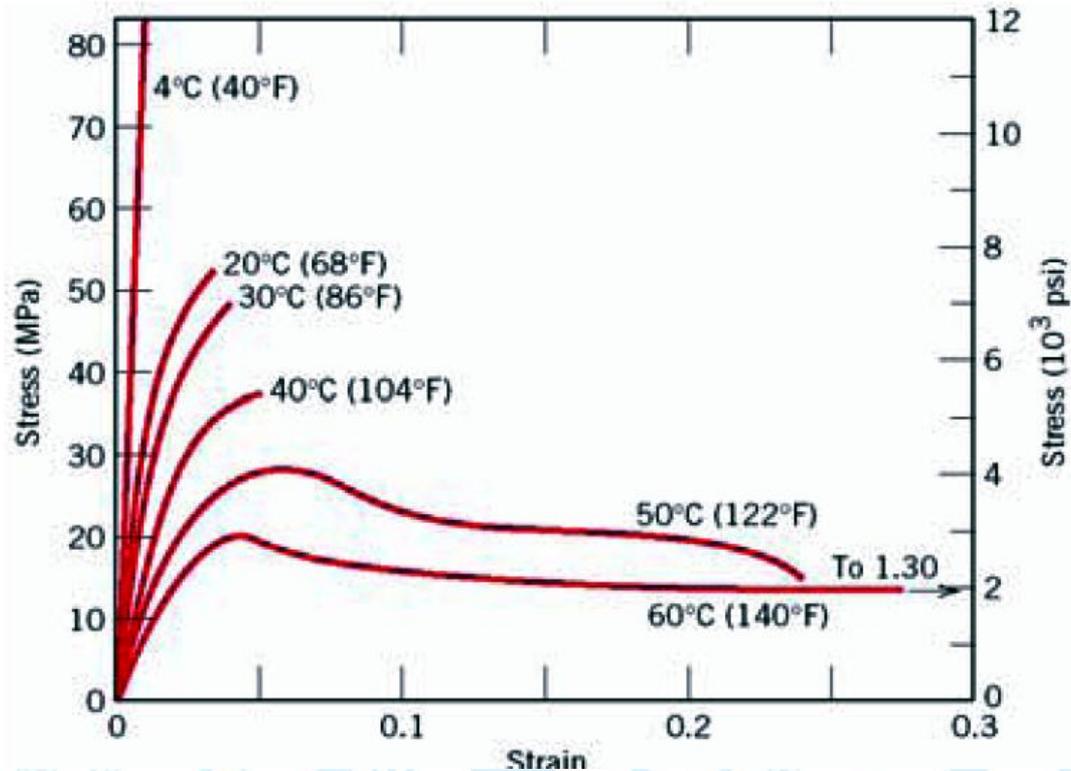
C. a vazão de sólidos aumenta, quando o coeficiente de atrito dos grãos de polímero sólido contra a superfície da rosca aumenta.

D. a vazão de sólidos aumenta, quando os coeficientes de atrito dos grãos de polímero contra a superfície do cilindro é muito baixo.

E. a vazão de sólidos aumenta e se torna constante ao aumentar o coeficiente de atrito dos grãos de polímero contra a parede interna do cilindro e o mesmo ocorre, numa menor magnitude, quando o coeficiente de atrito dos grãos de polímero contra a rosca reduz.

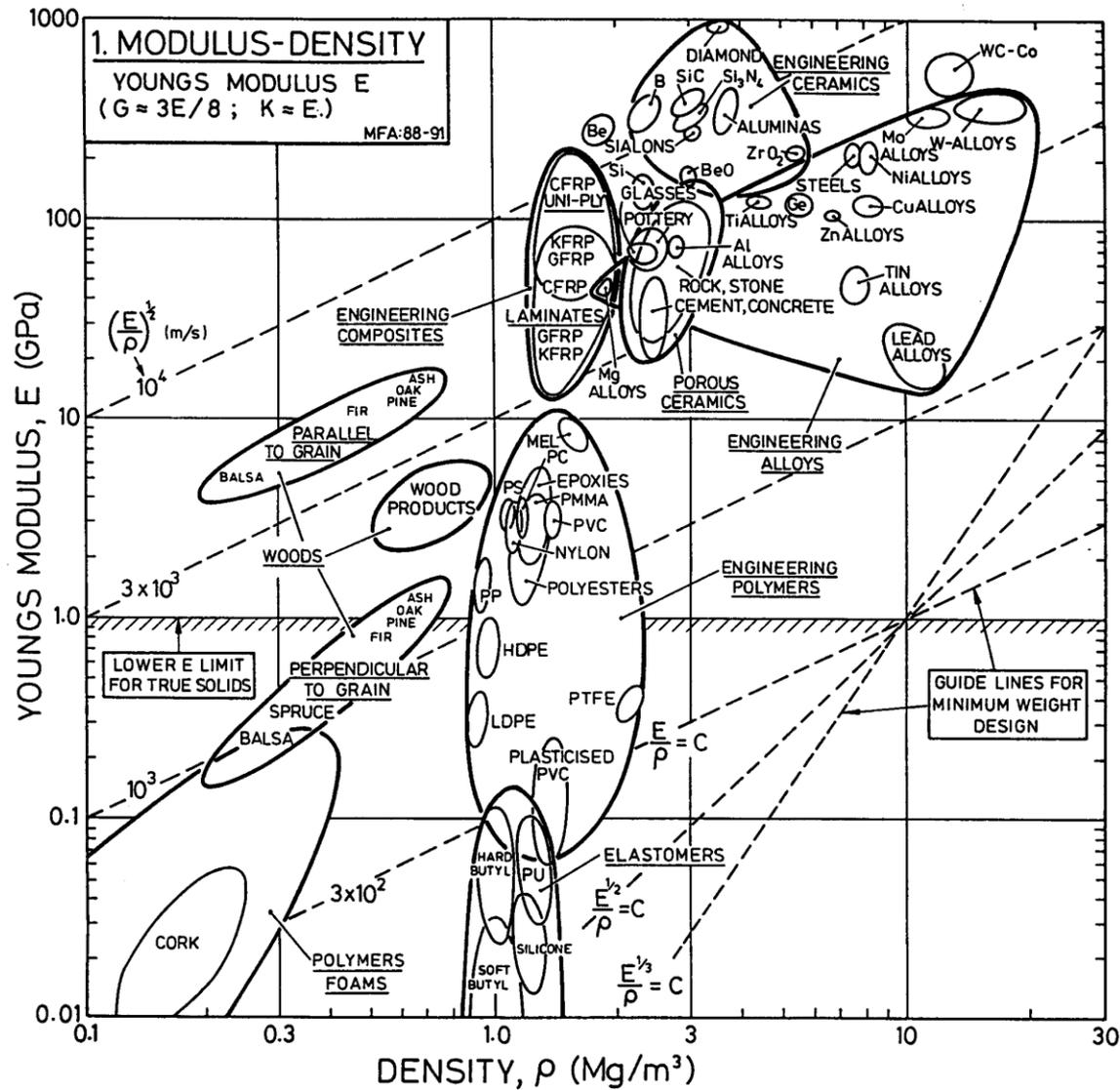


Propriedades mecânicas dos polímeros x temperatura



Efeito da temperatura no comportamento mecânico do PMMA

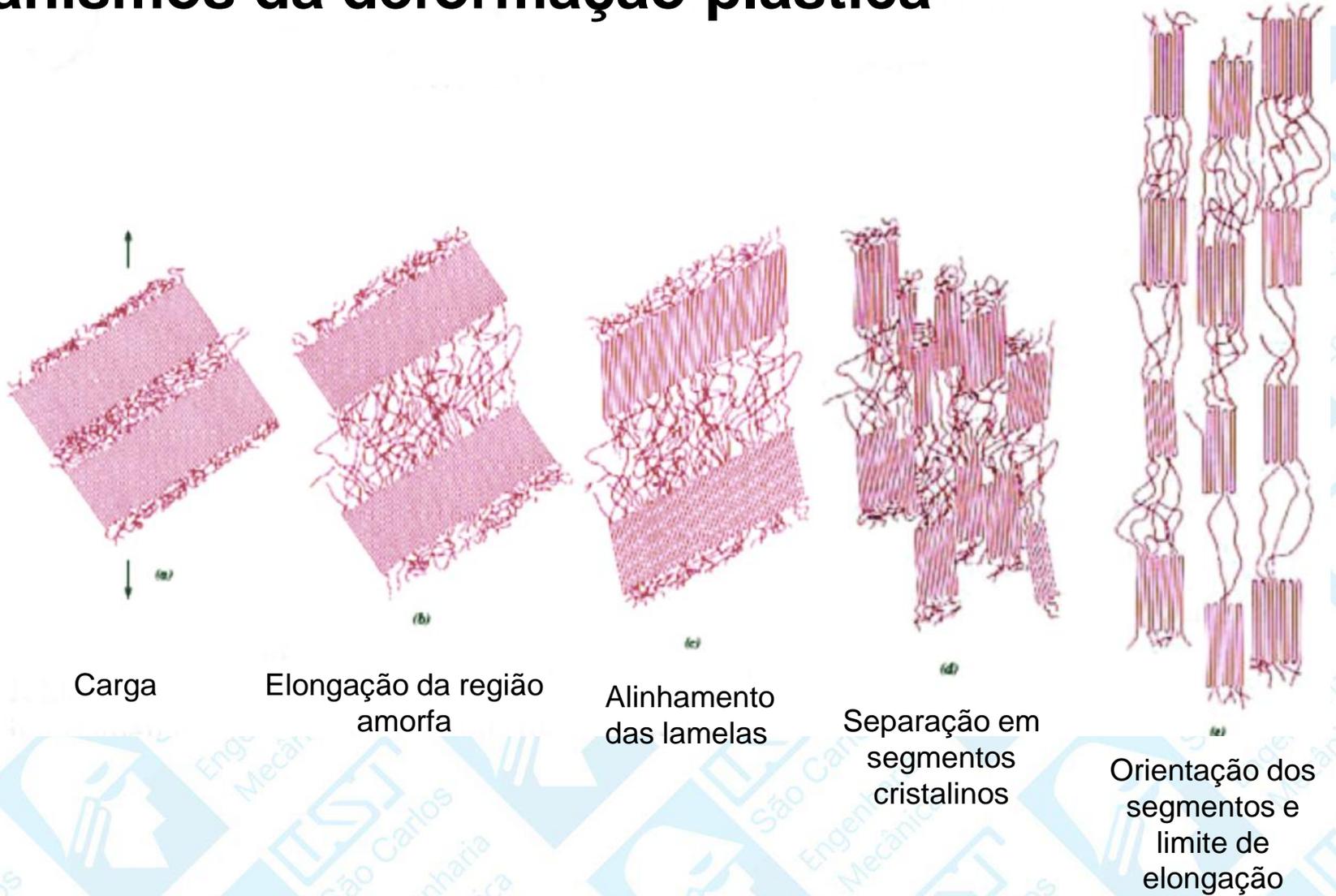




Fonte: ASHBY, M.F. *Materials selection in mechanical design*. Editora Pergamon Press, 311p. 1992



Mecanismos da deformação plástica



34) Duas curvas tensão aparente – deformação, mostradas na figura 2 abaixo, são obtidas em iguais condições de ensaio numa máquina universal de tração. Durante a deformação, notou-se que as reduções de área da seção transversal dos corpos de prova dos materiais A e B são, praticamente, iguais à medida que deformação prossegue até a fratura. Comparando-se as duas curvas, concluiu-se que:

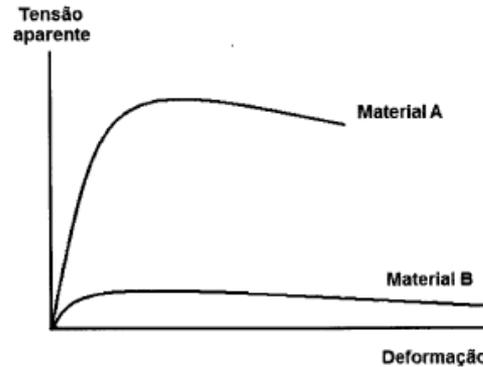
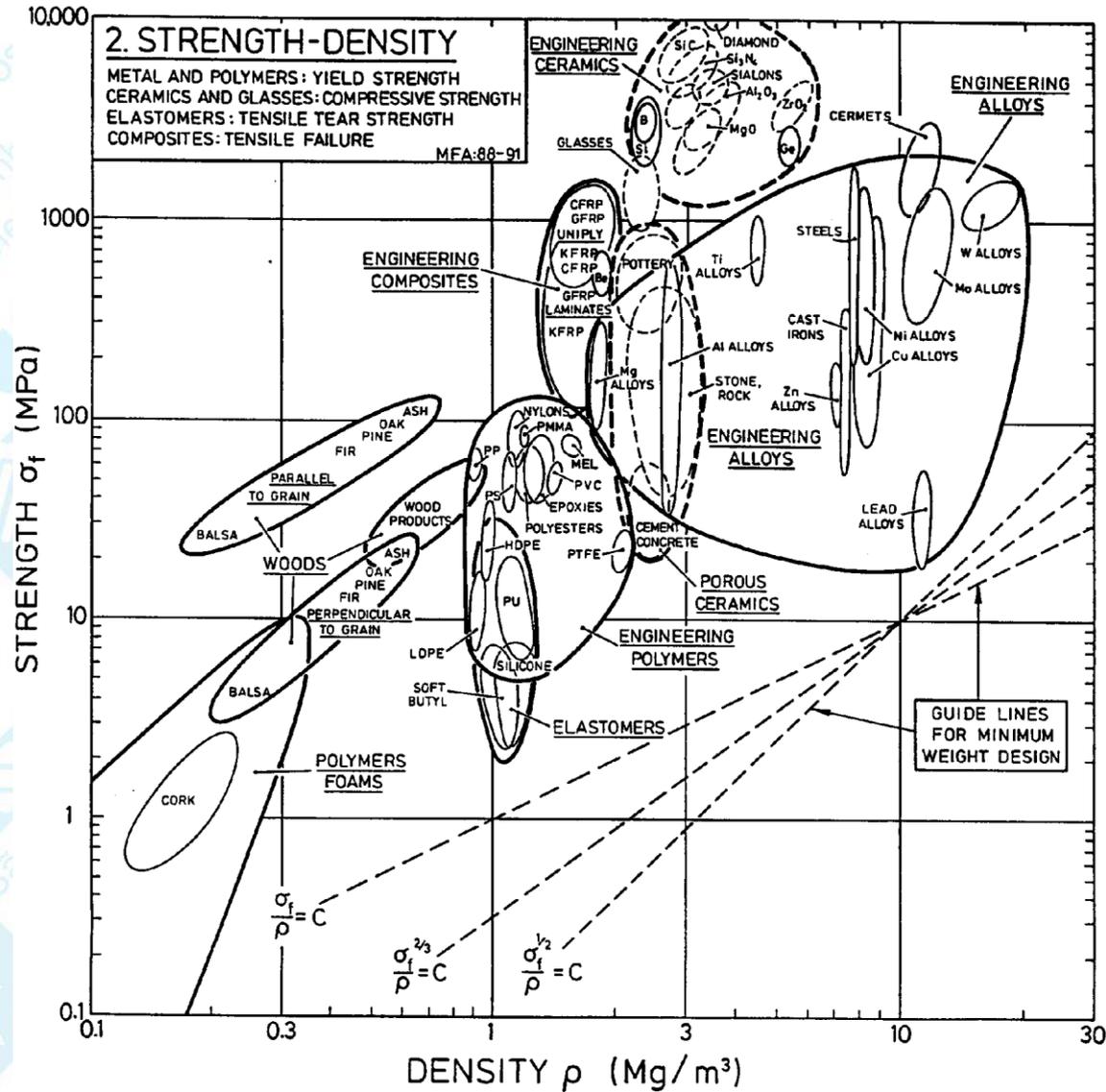


Figura 2 - Curvas tensão aparente–deformação de dois materiais em iguais condições de ensaio.

- A. O material B é o mais tenaz.
- B. O material A é o mais dúctil.
- C. O material A é o mais flexível.
- D. O material B é o mais rígido.
- E. O material A é mais rígido, mais tenaz e menos dúctil.





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					
Polietileno					
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_{Din}^b [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

Polímeros mais flexíveis

Durômetro tipo D

Polímeros mais rígidos



(43) Nas últimas décadas, é notório que o peso dos veículos automotores tem reduzido em função da substituição de peças metálicas por peças poliméricas. Assinale a alternativa correta que explicita a grandeza física responsável pela redução de peso dos veículos automotores proporcionada por essa substituição.

- A. volume específico
- B. condutividade térmica
- C. coeficiente de expansão térmica
- E. calor específico.
- E. capacidade calorífica



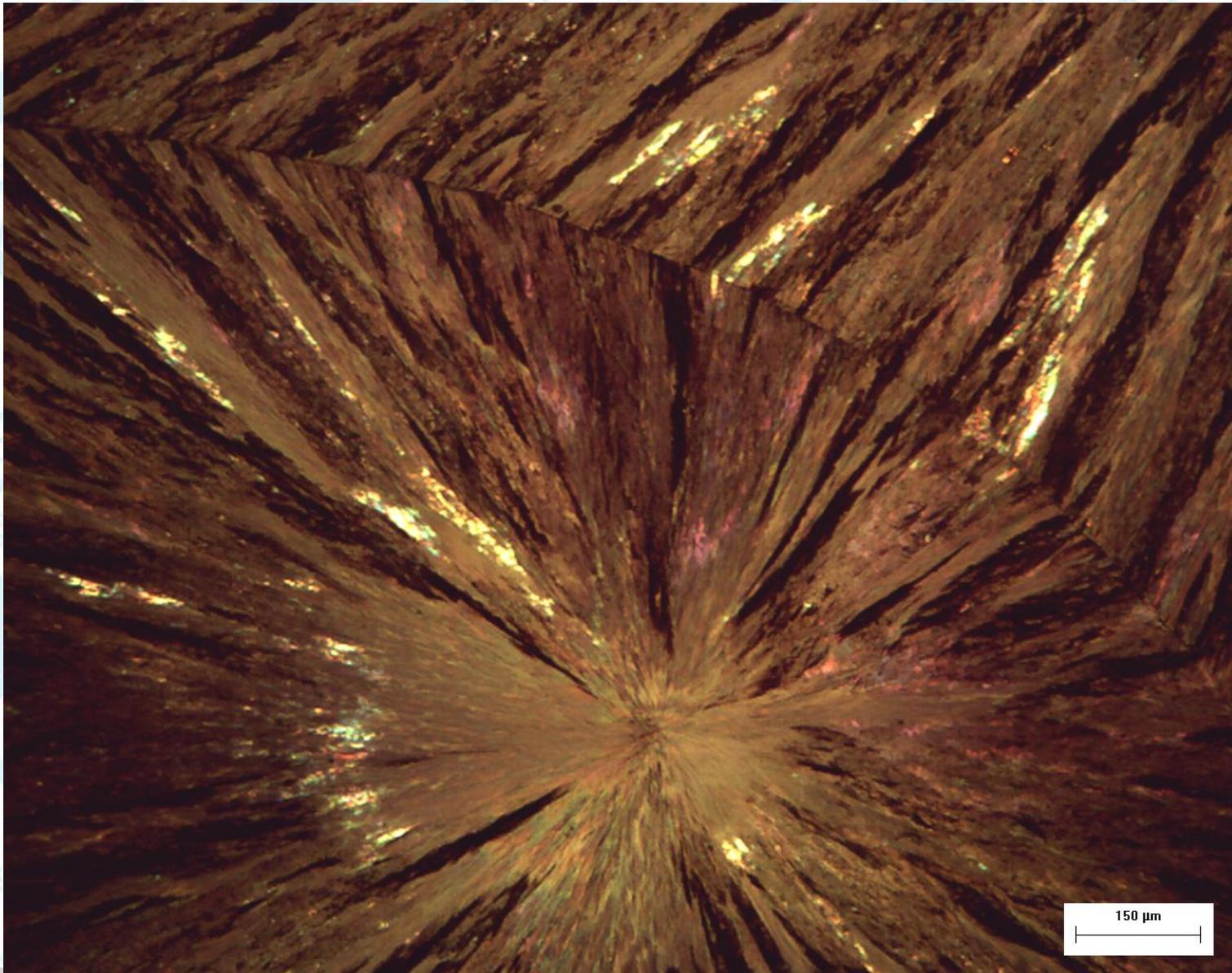
Experimento: Cristalização do Polietileno Glicol (Carbovax)

- ✓ *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	

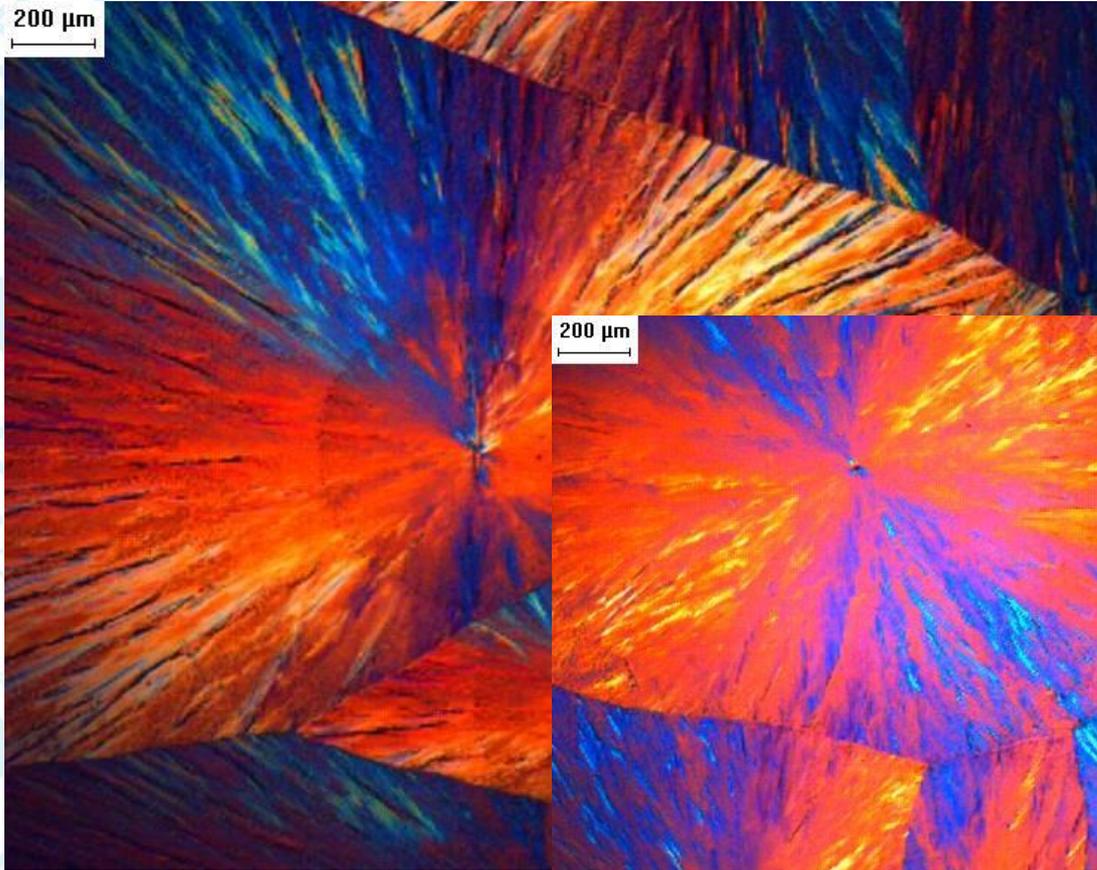


Amostra 01 – Resfriamento lento



Amostra 01

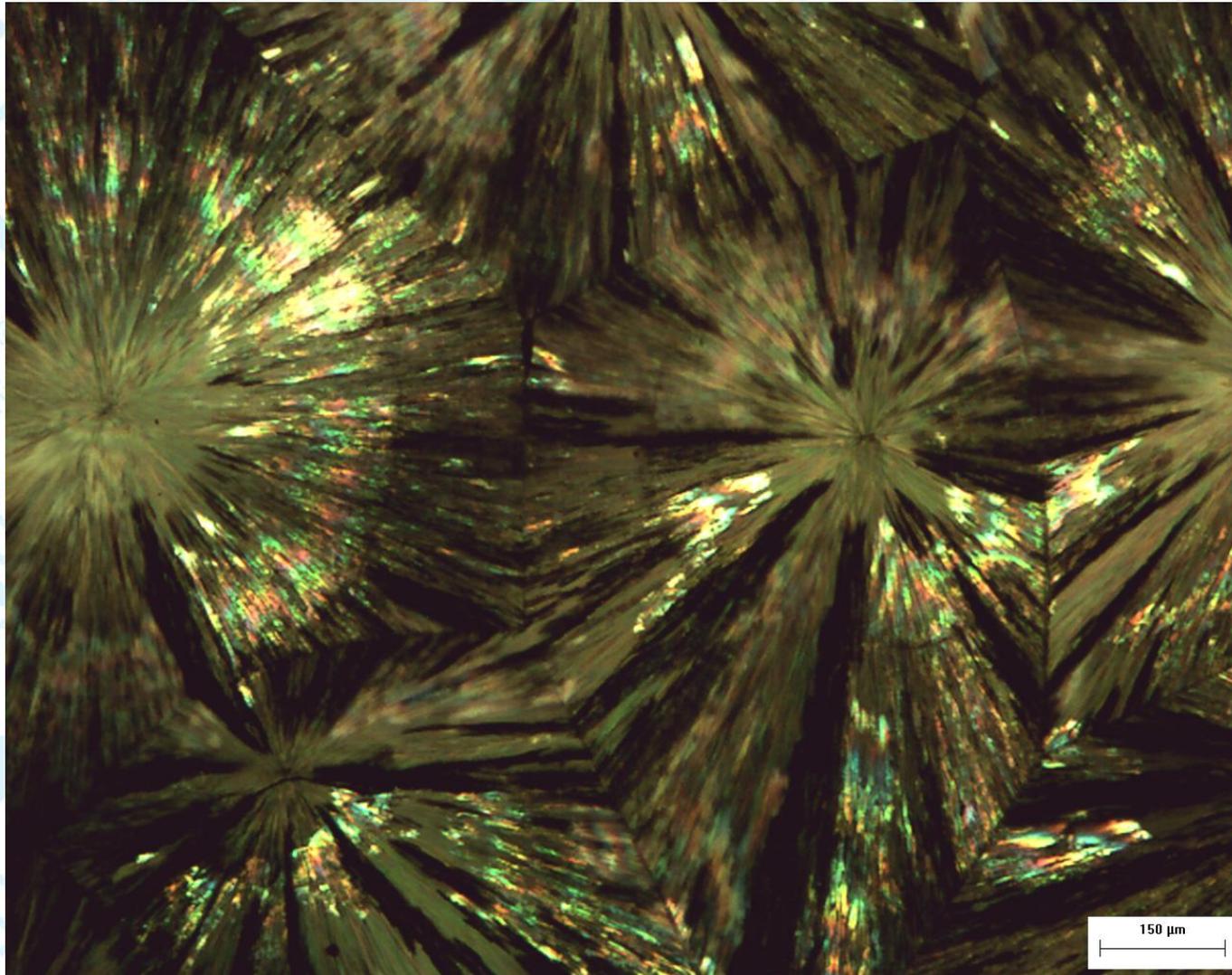
200 μm



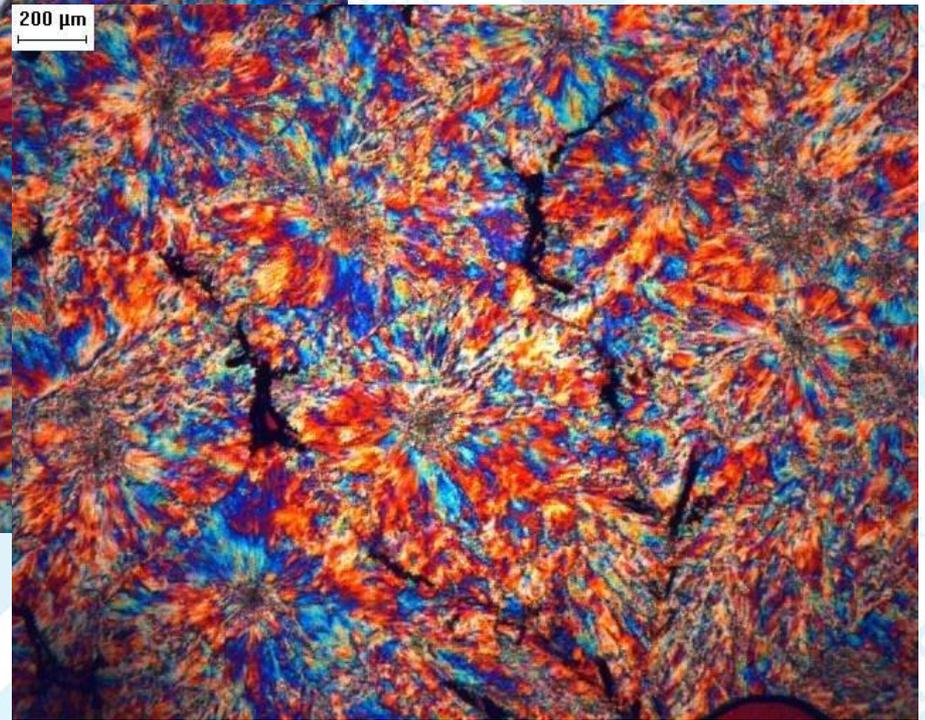
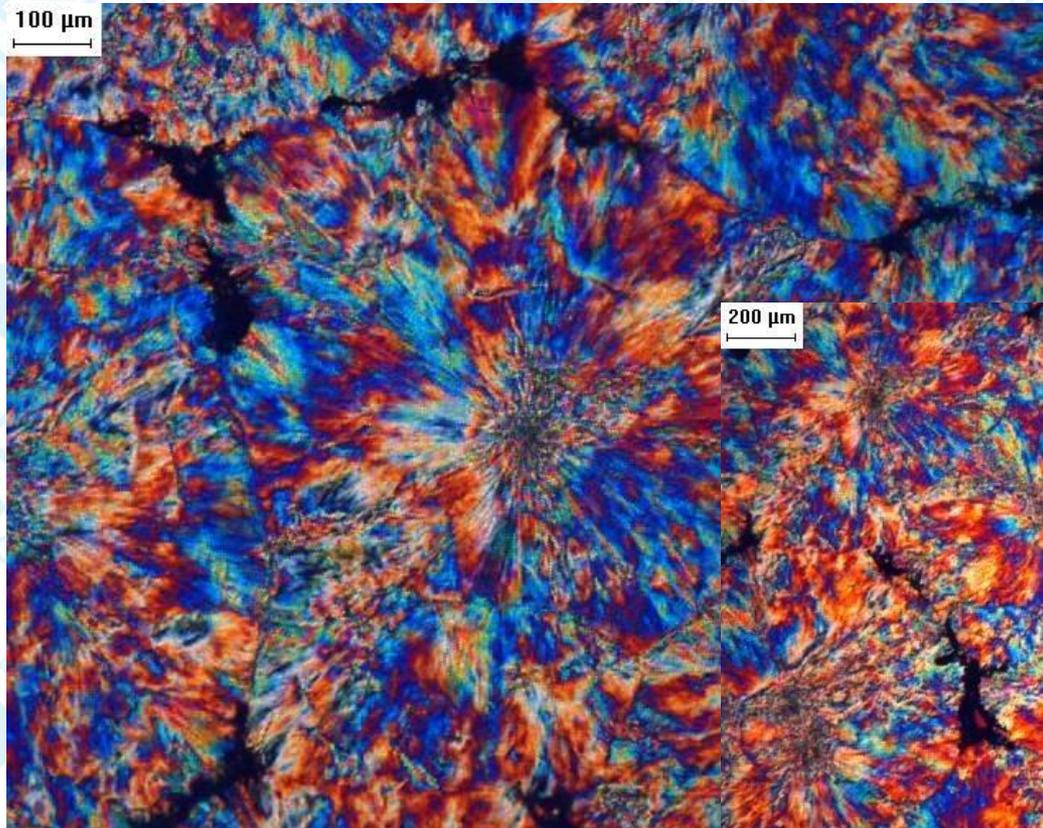
200 μm



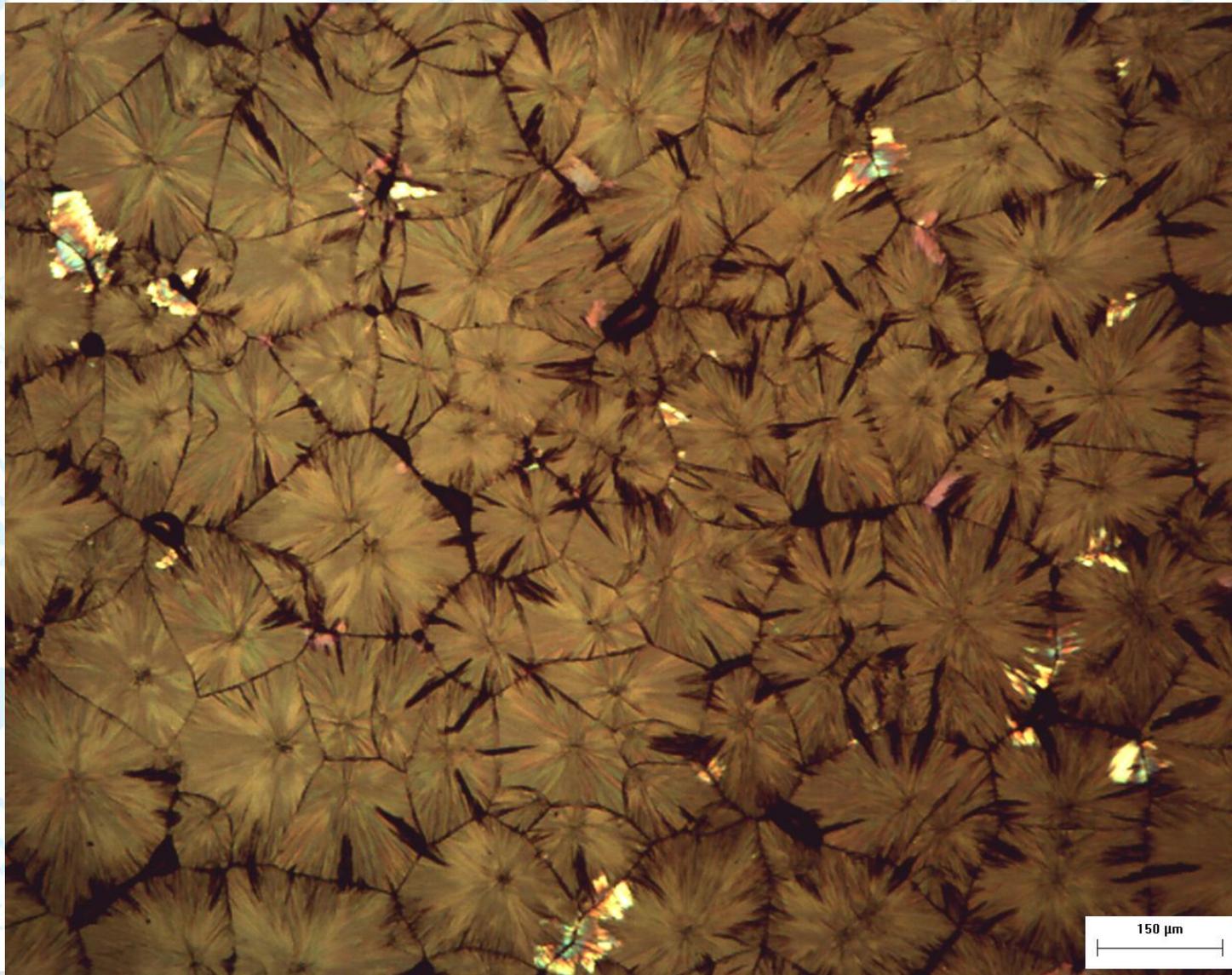
Amostra 02 – Resfriamento em água T_{amb} .



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:

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

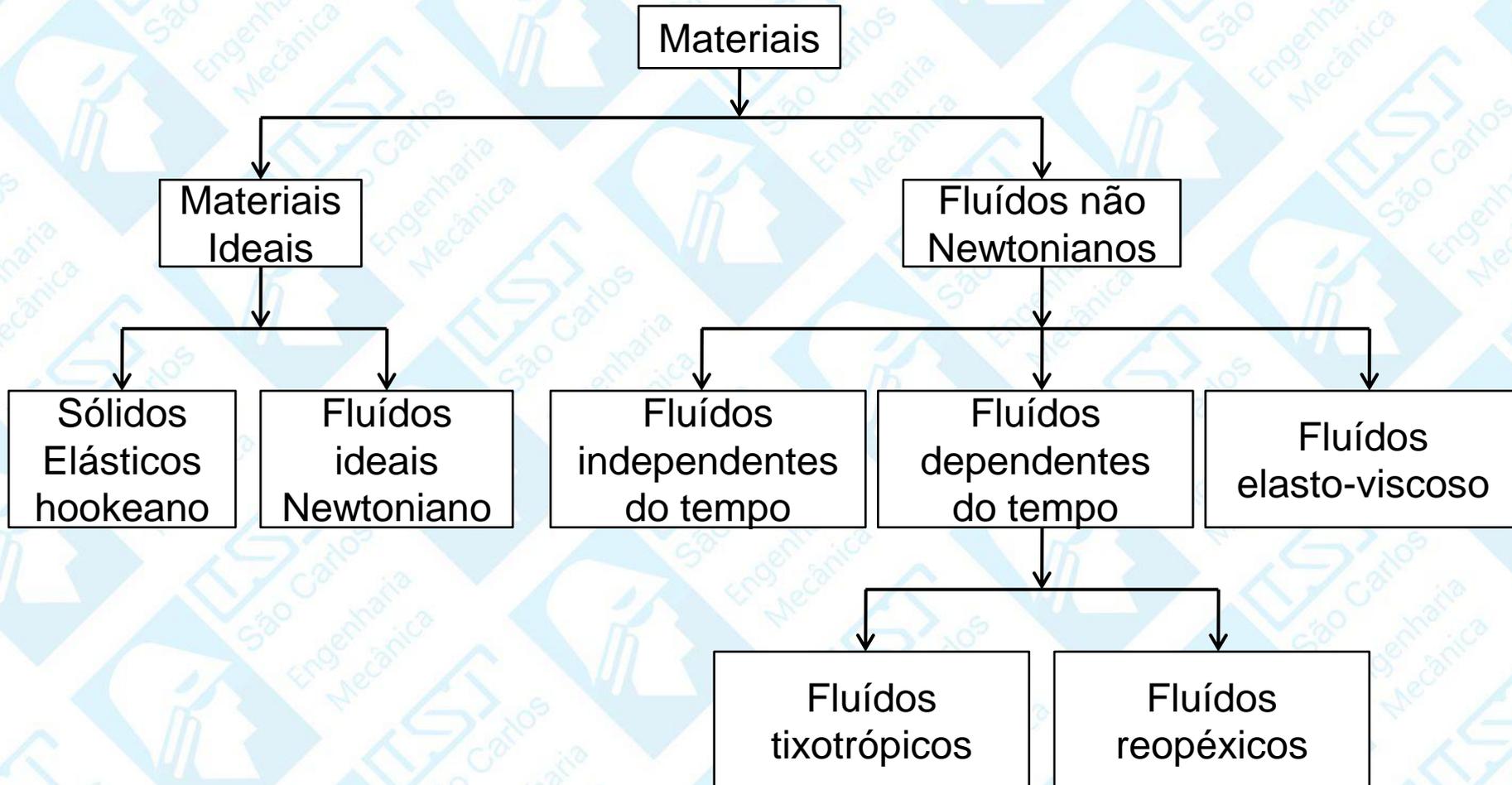
ABNT 1045,	20-250 $^{\circ}$ C	13,0x10 $^{-6}$ m/m. $^{\circ}$ C
ABNT 4340,	20-10\0 $^{\circ}$ C	11,5x10 $^{-6}$ m/m. $^{\circ}$ C
ABNT 8620,	20-100 $^{\circ}$ C	11,6x10 $^{-6}$ m/m. $^{\circ}$ C
ABNT 304,	20-200 $^{\circ}$ C	17,1x10 $^{-6}$ m/m. $^{\circ}$ C
Fofo cinzento	37,8-548 $^{\circ}$ C	12,7X10 $^{-6}$ 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



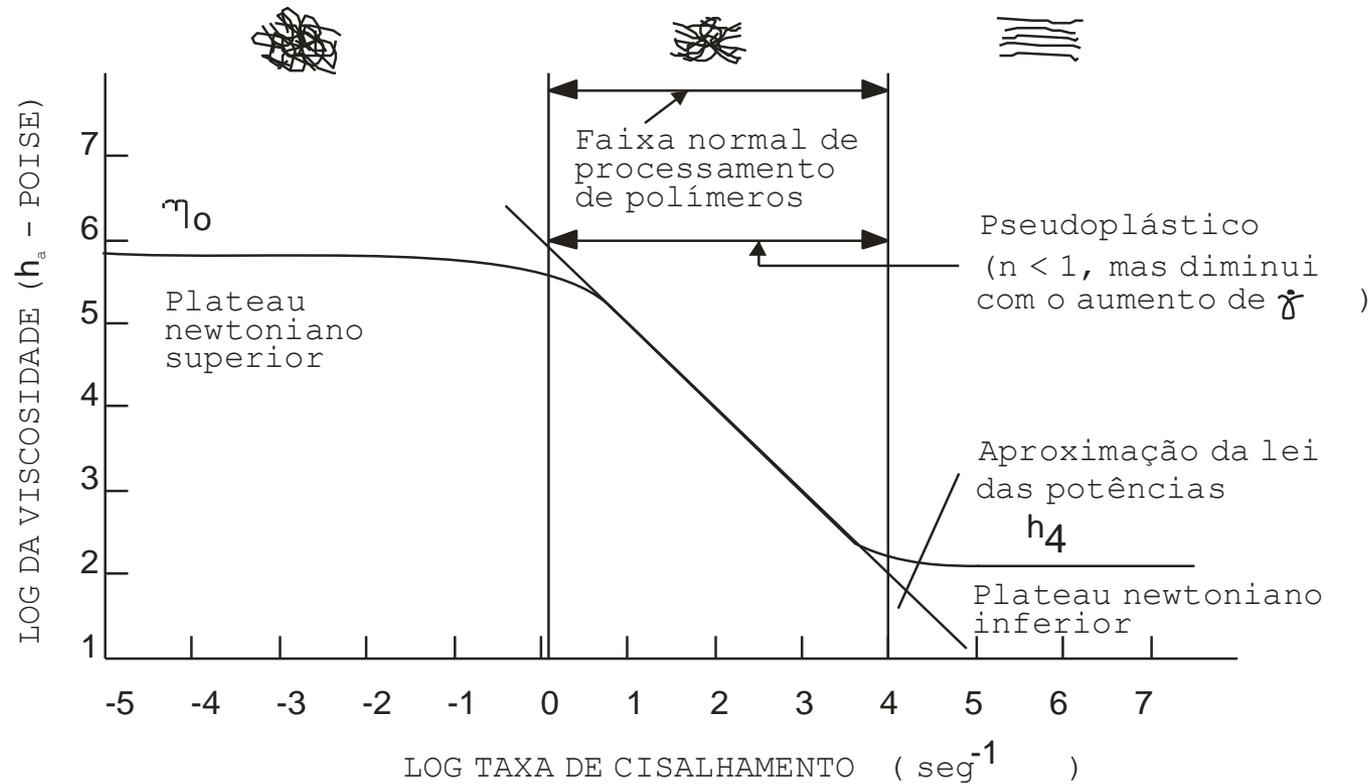
Manufatura de Polímeros



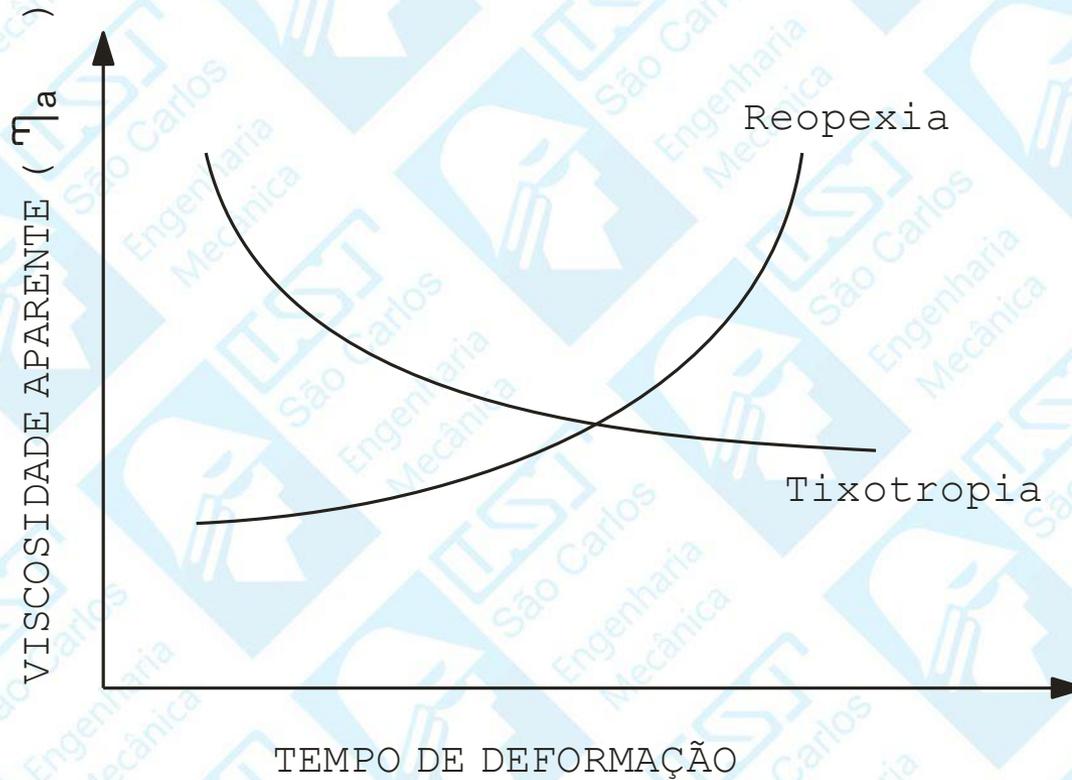
REOLOGICA DOS MATERIAIS



FLUXO DE POLÍMEROS FUNDIDOS

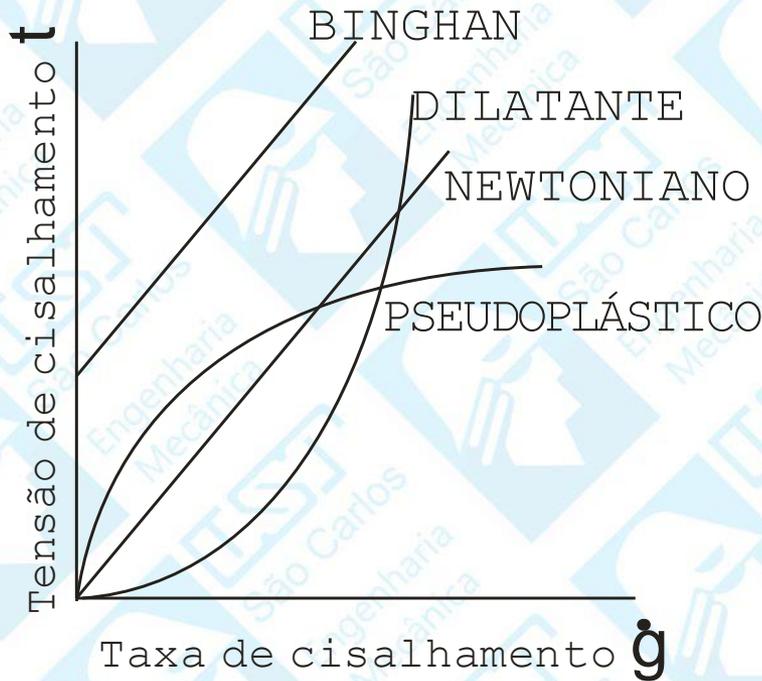


COMPORTAMENTO DE FLUÍDOS DEPENDENTES DO TEMPO

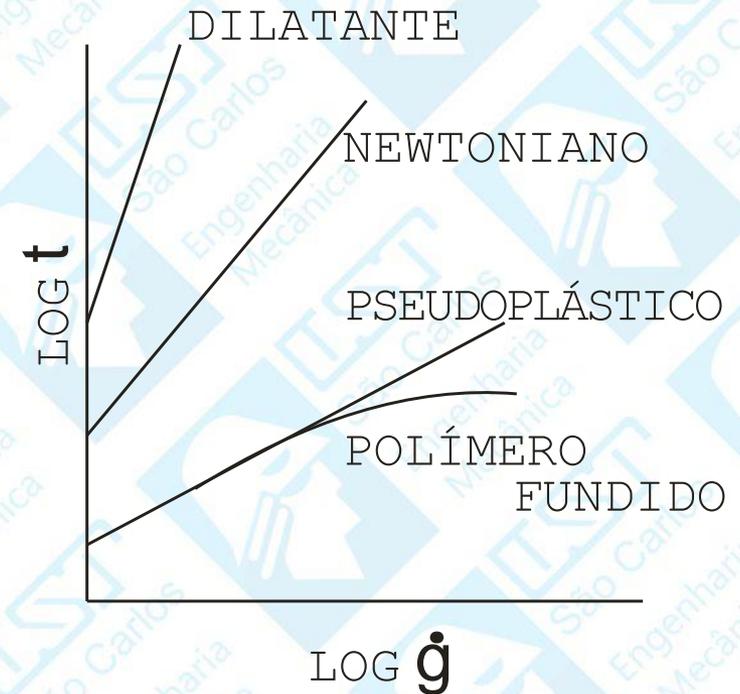


COMPORTAMENTO DOS FLUÍDOS

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

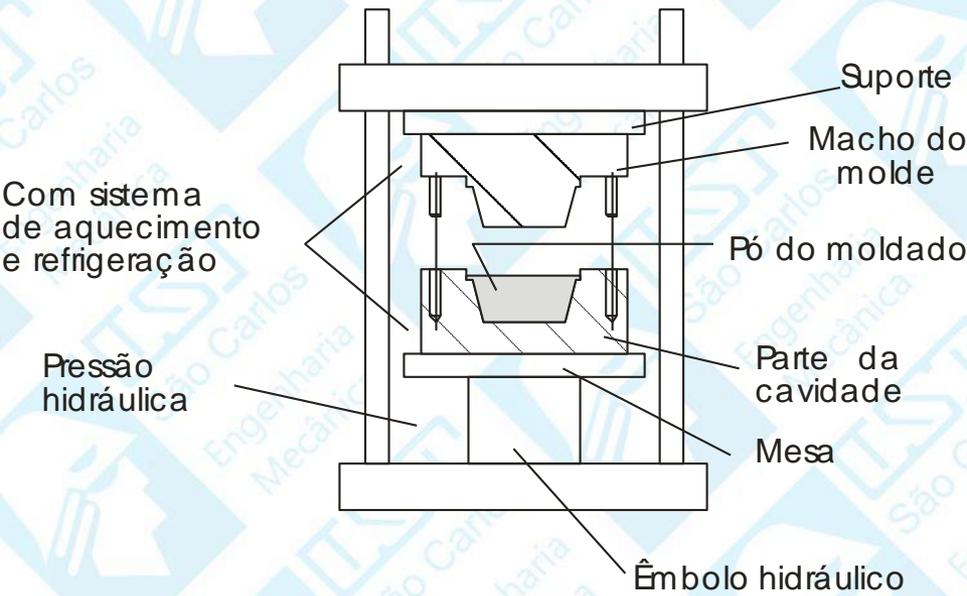
TERMOFORMAÇÃO

COMPRESSÃO

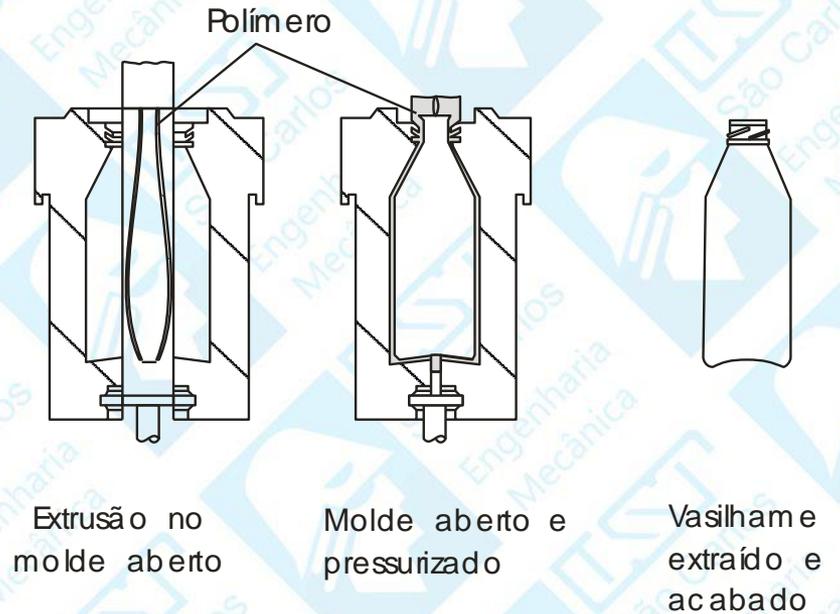


CONFORMAÇÃO DE POLÍMEROS

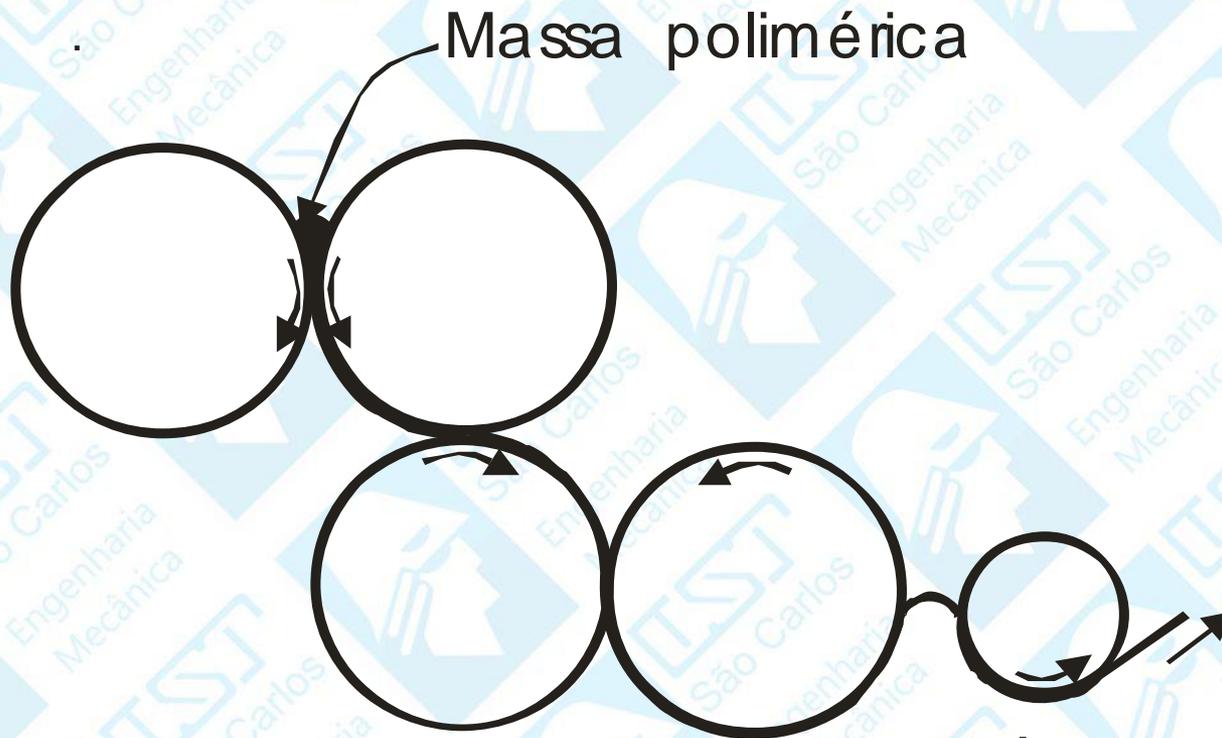
COMPRESSÃO



SOPRO



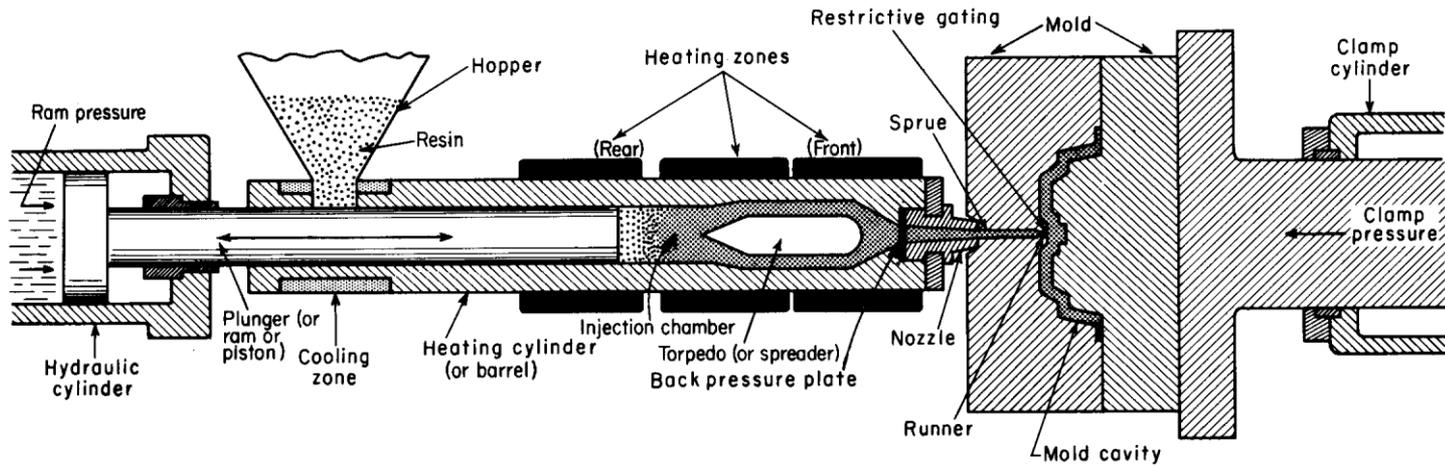
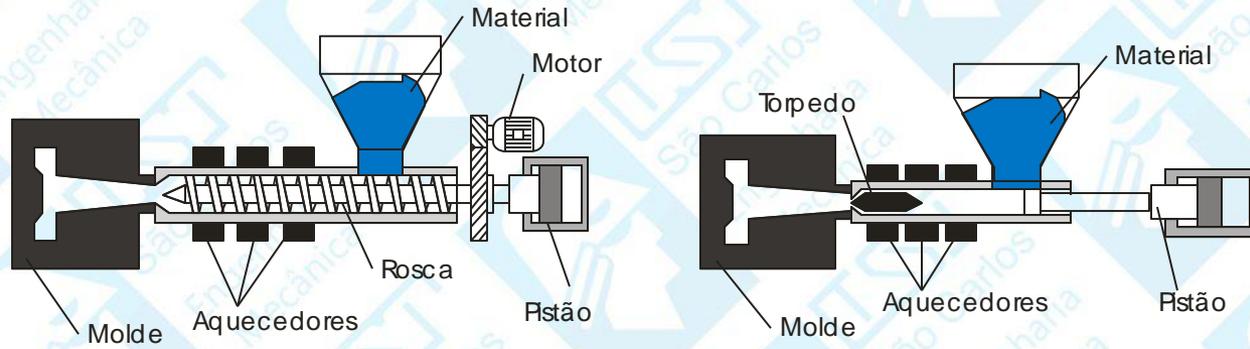
CALANDRAGEM



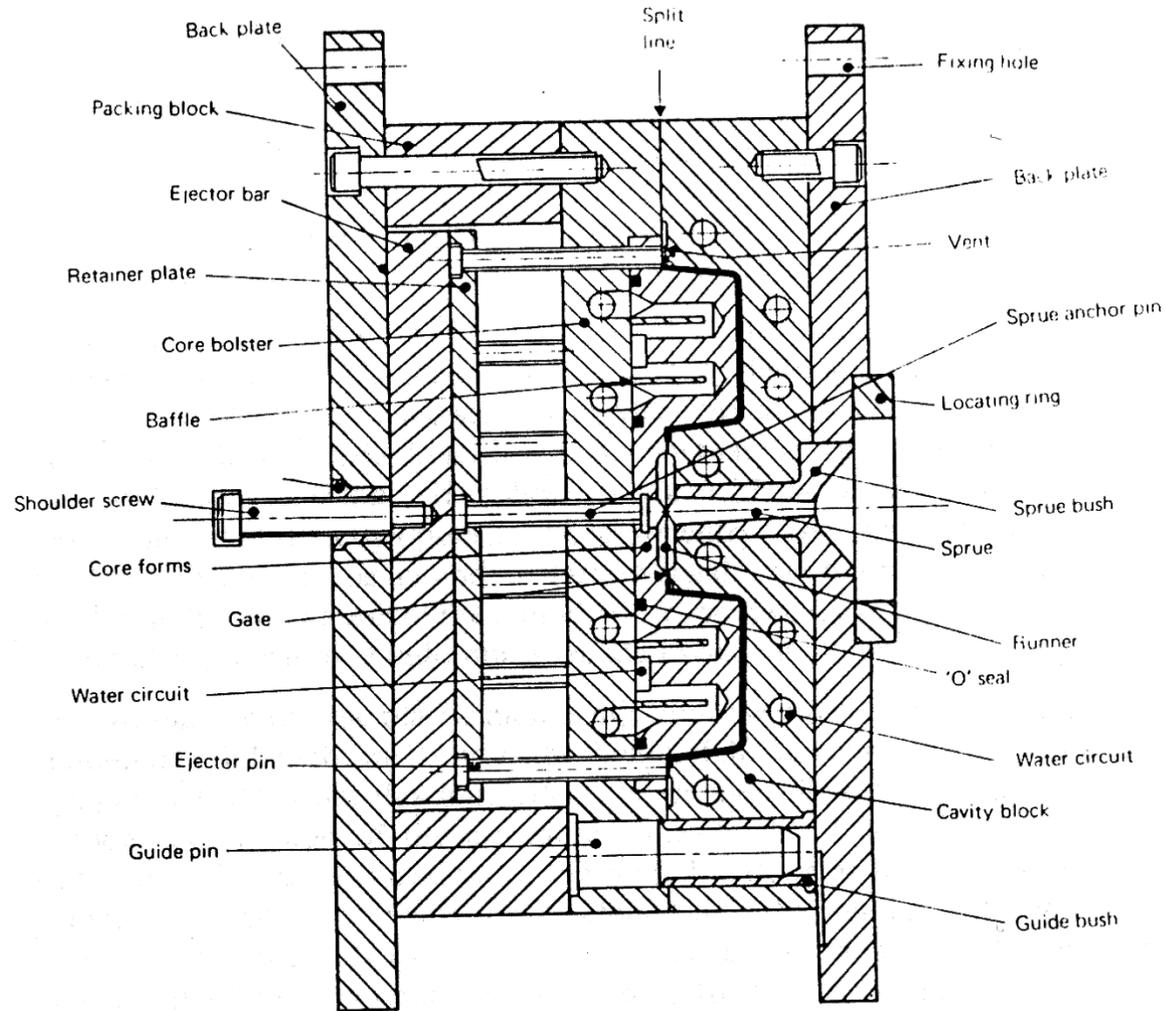
Ao equipamento
de acabamento



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. (2018)



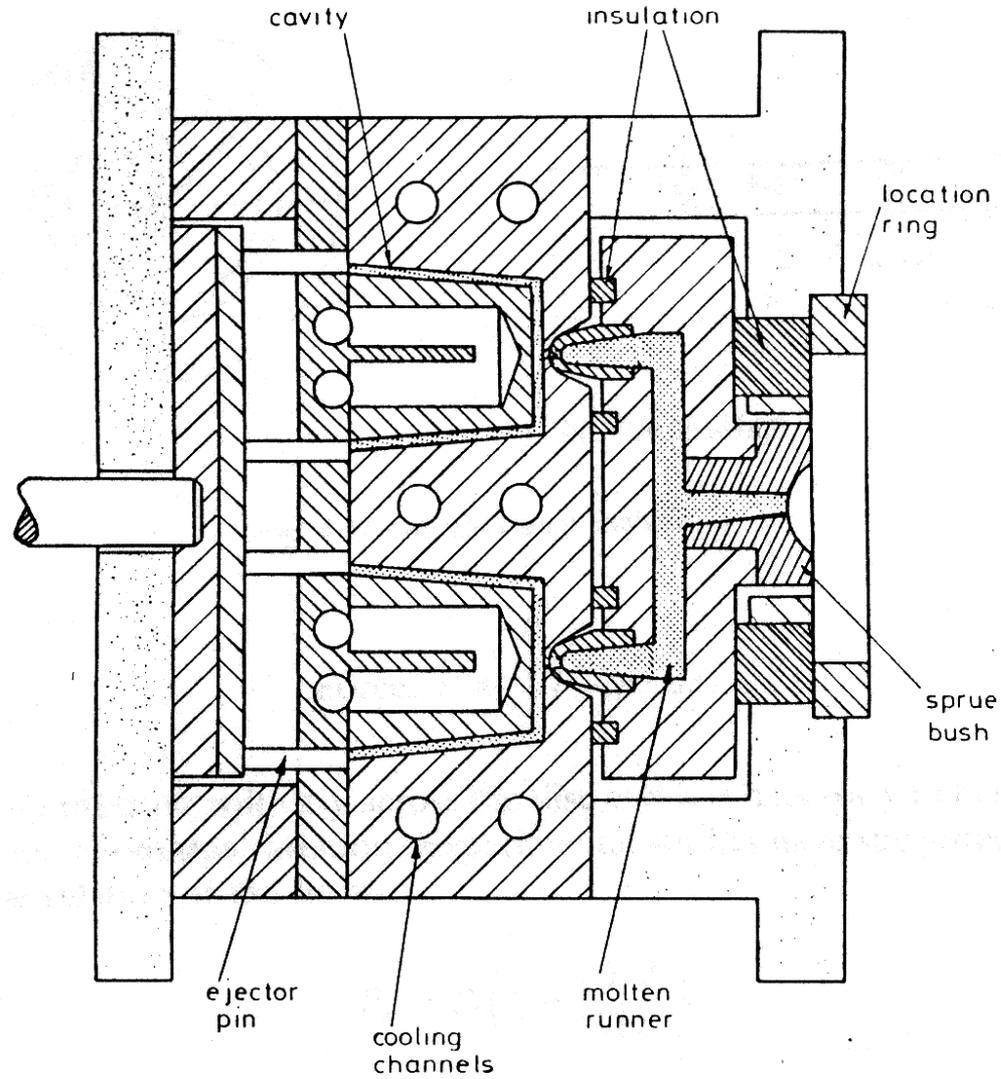


Fig. 4.30 Layout of hot runner mould



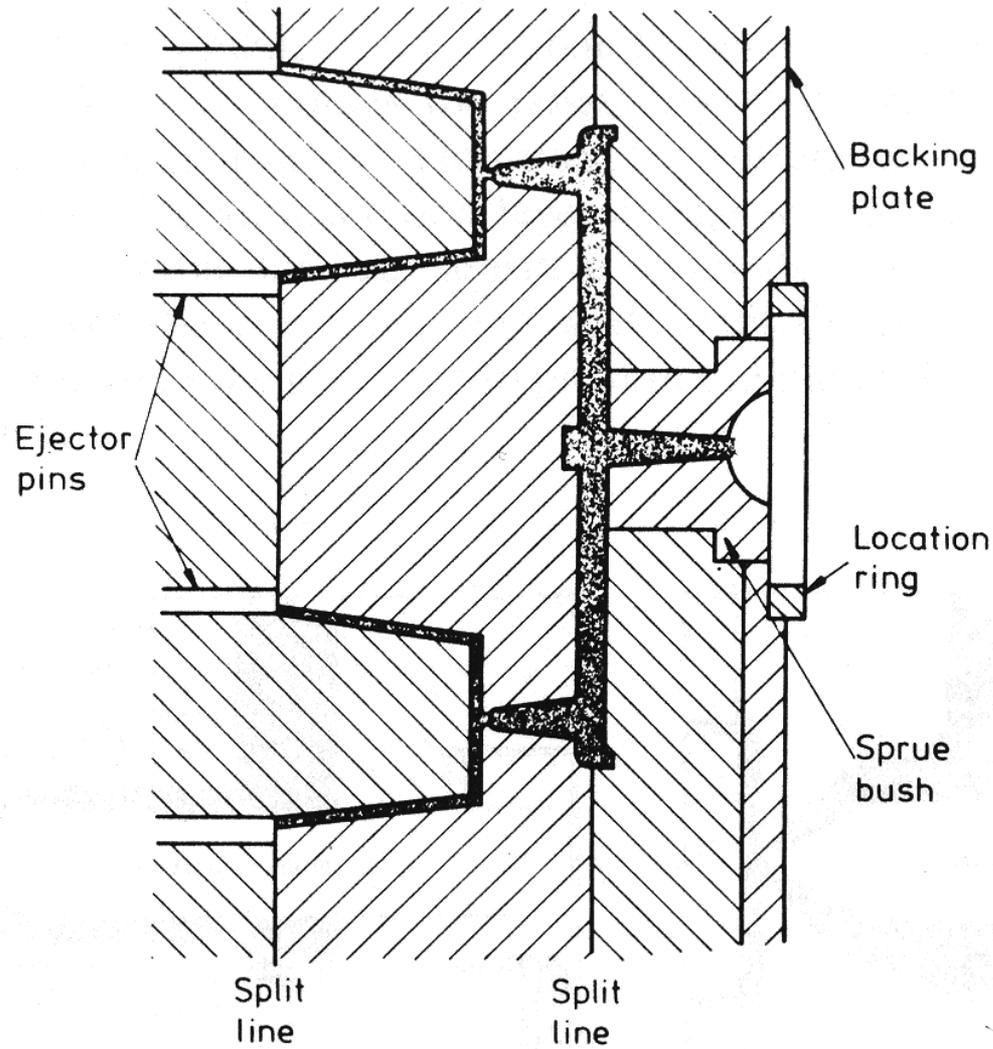
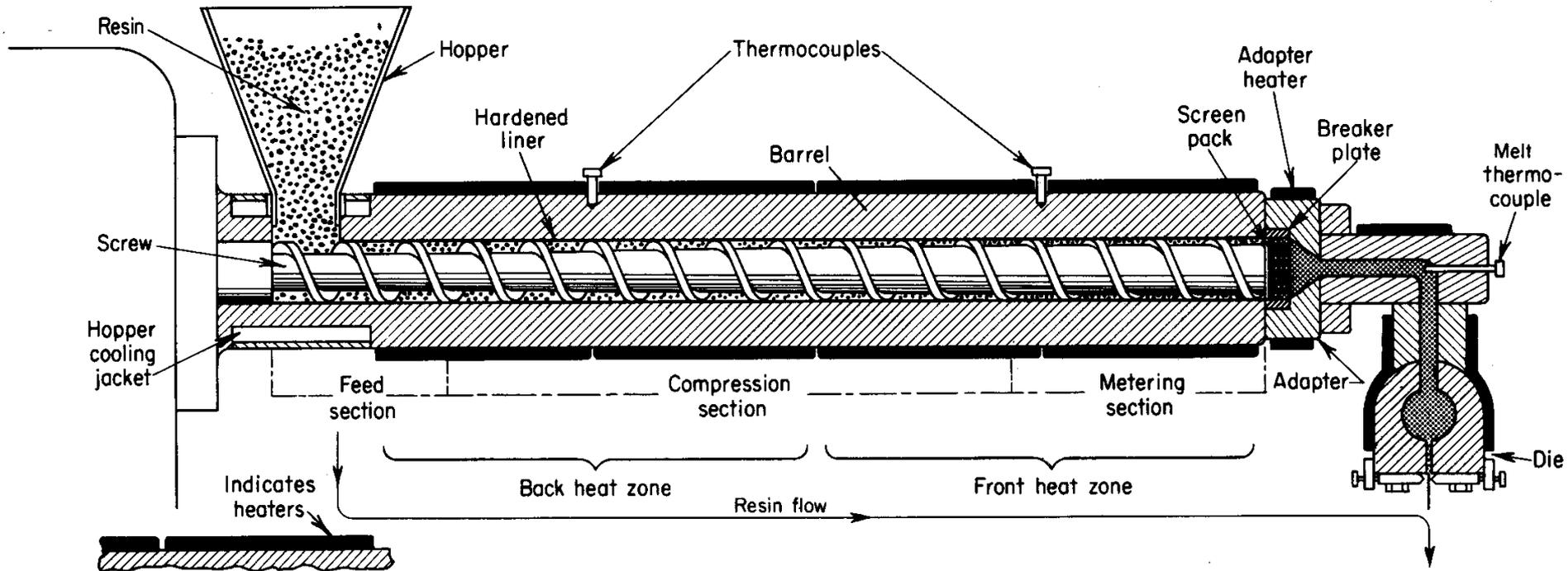


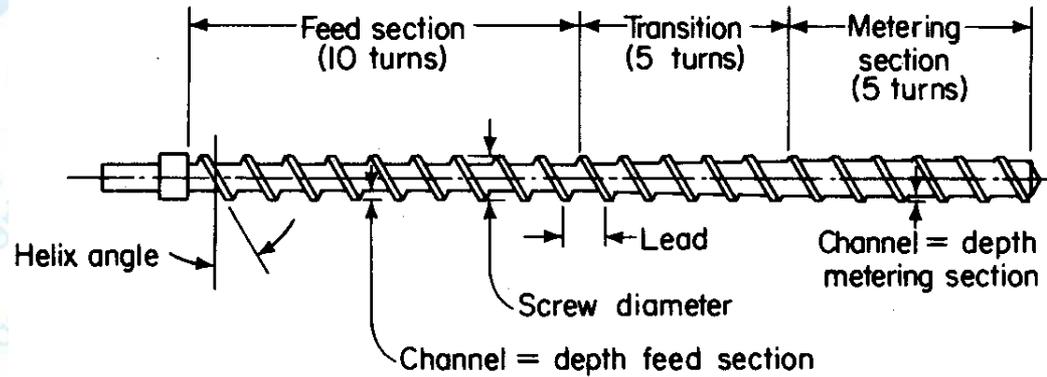
Fig 4.29 Typical 3-plate mould.



EXTRUSÃO



TIPOS DE ROSCAS: SEÇÕES E ESTÁGIOS



Gradual transition; 50% metering



Rapid transition; 50% metering

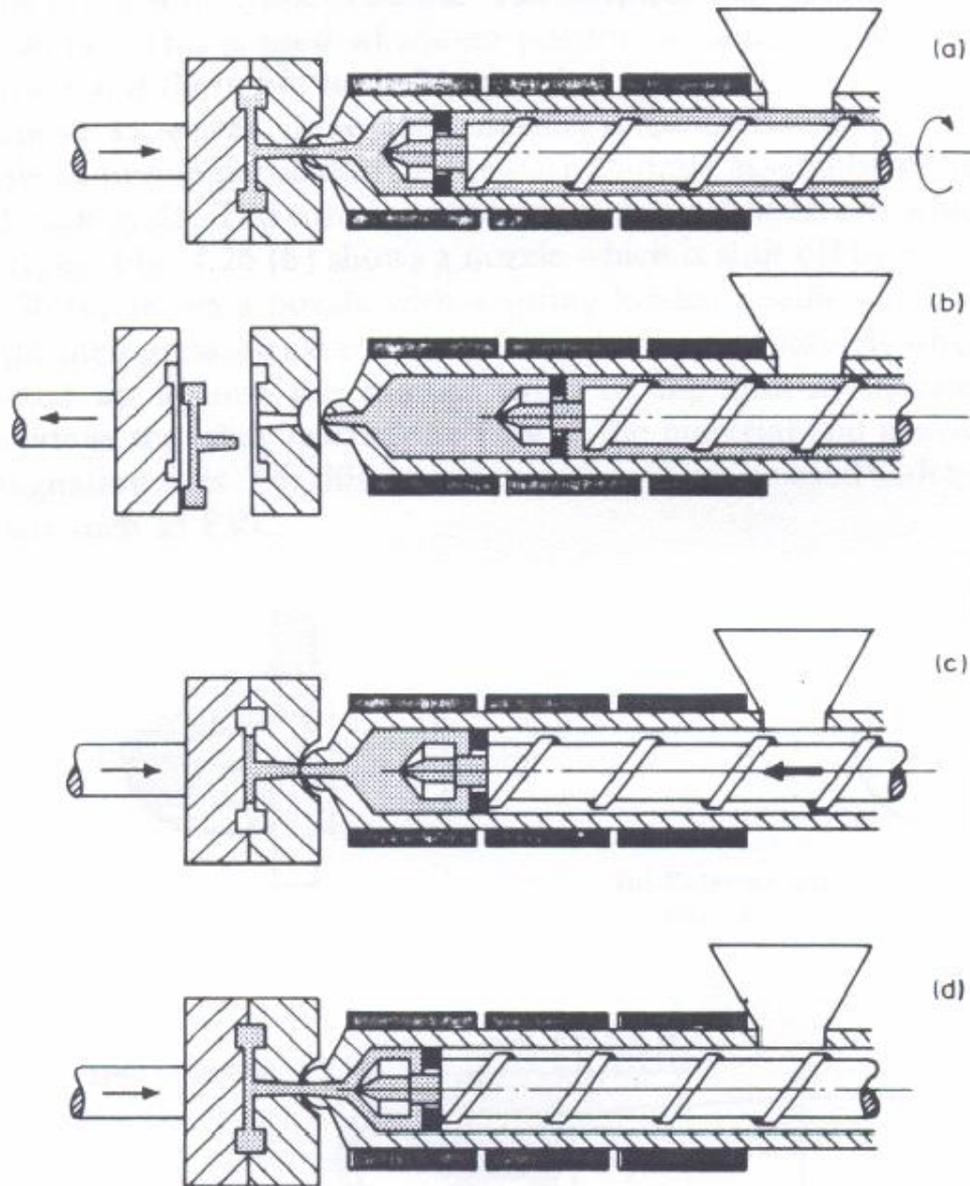


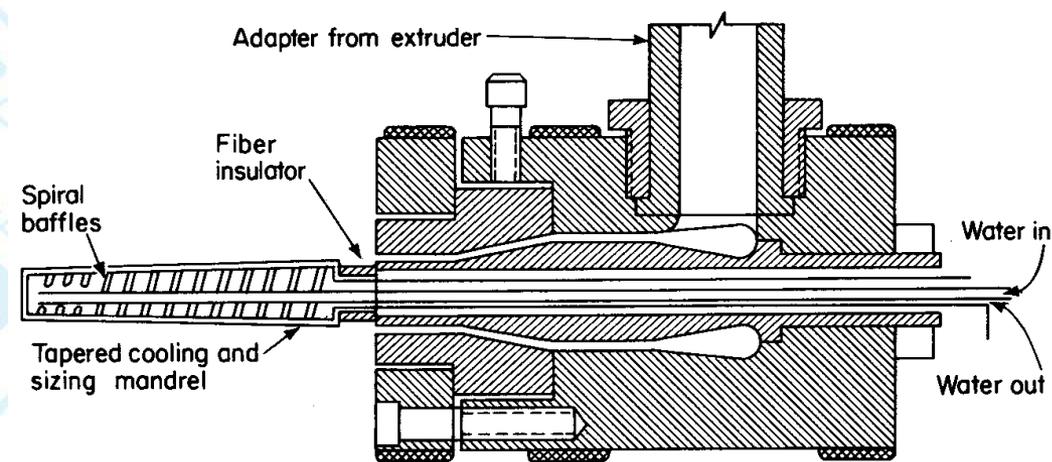
Varying pitch; flighted mixing head



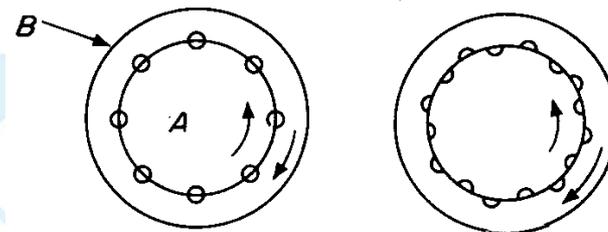
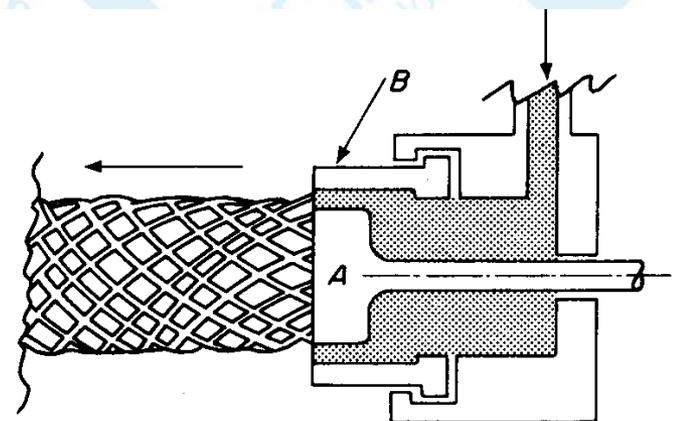
Two stage screw for vented extrusion







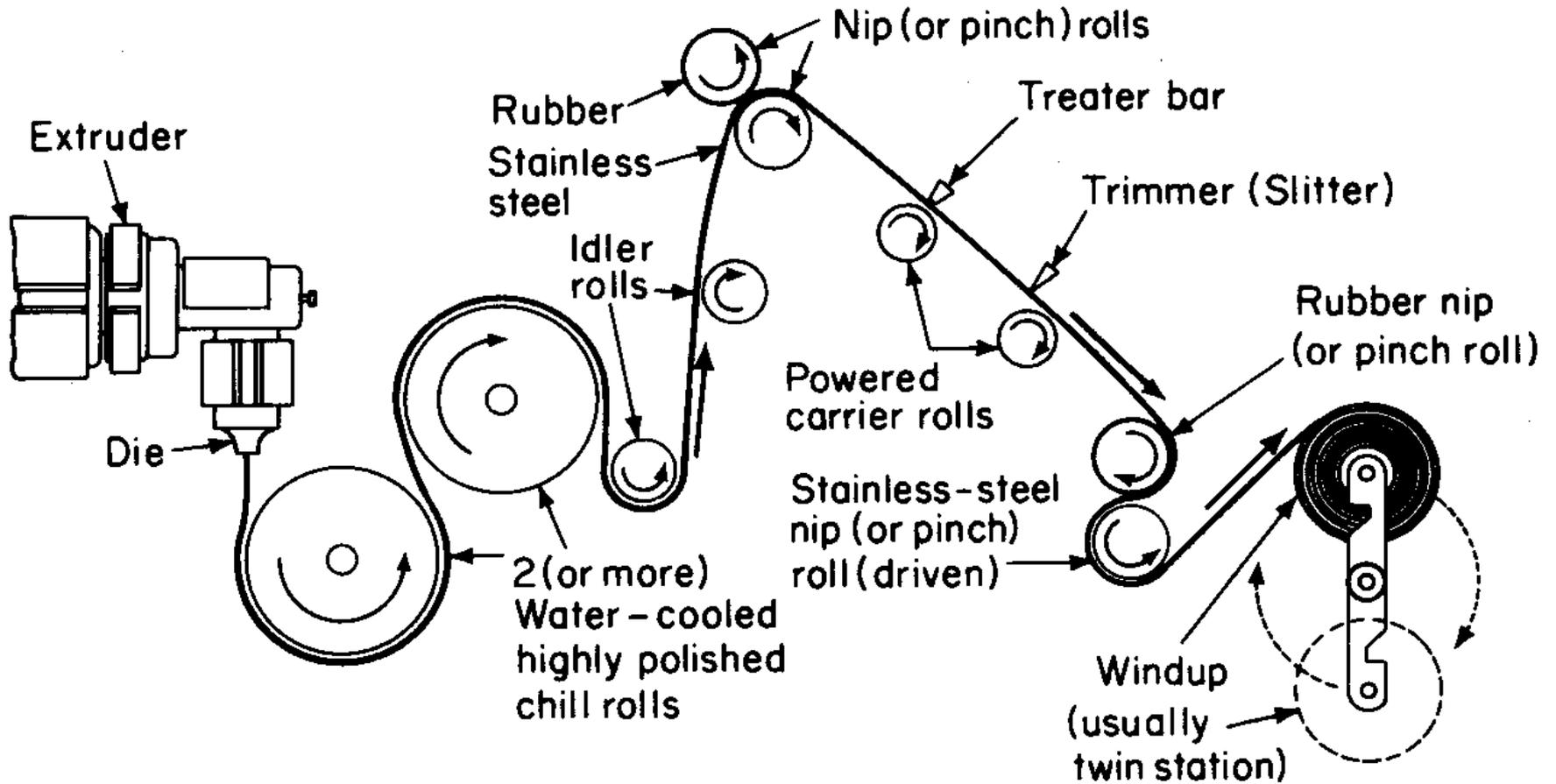
Mandril de refrigeração na extrusão de tubos



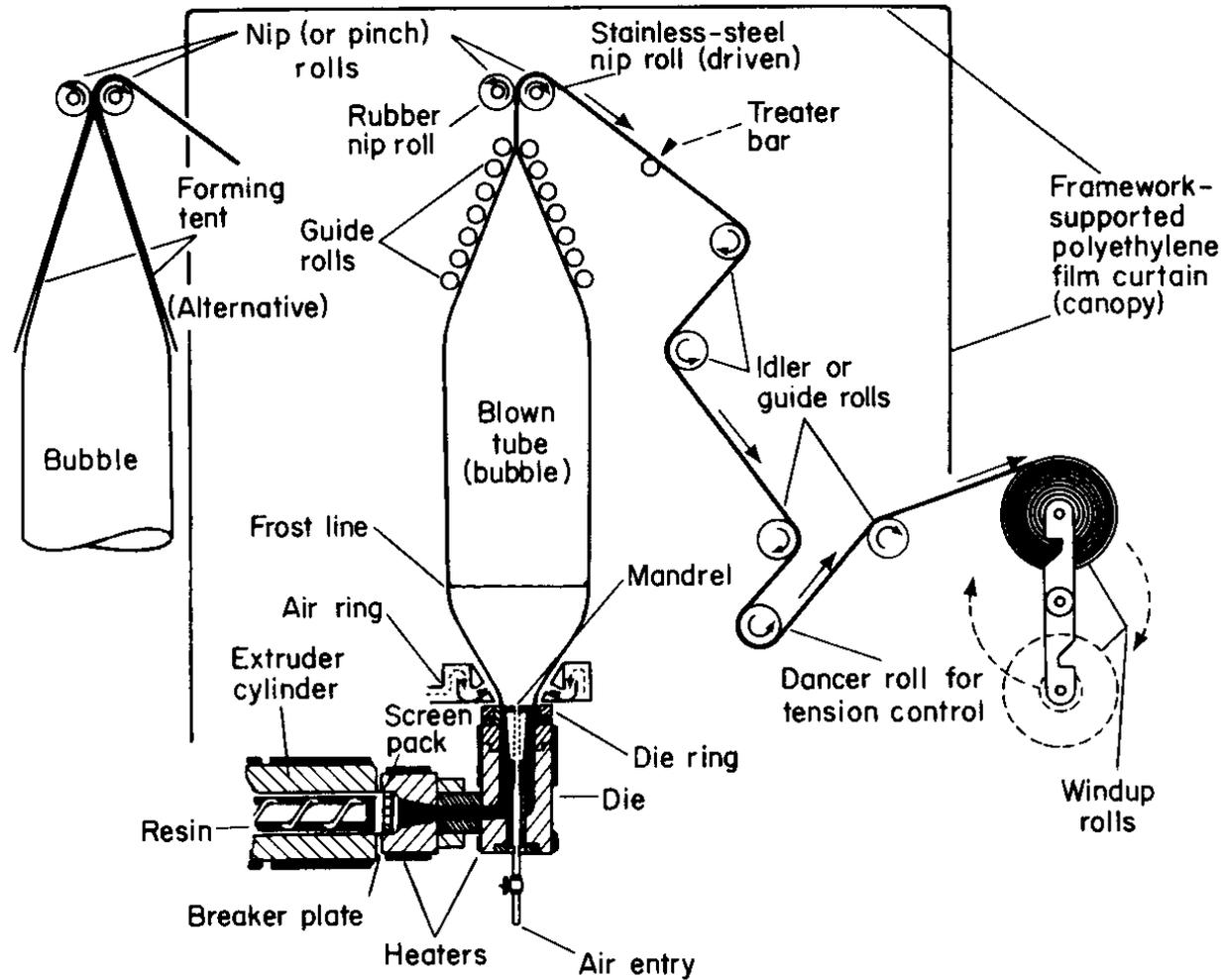
Molde para produção de rede



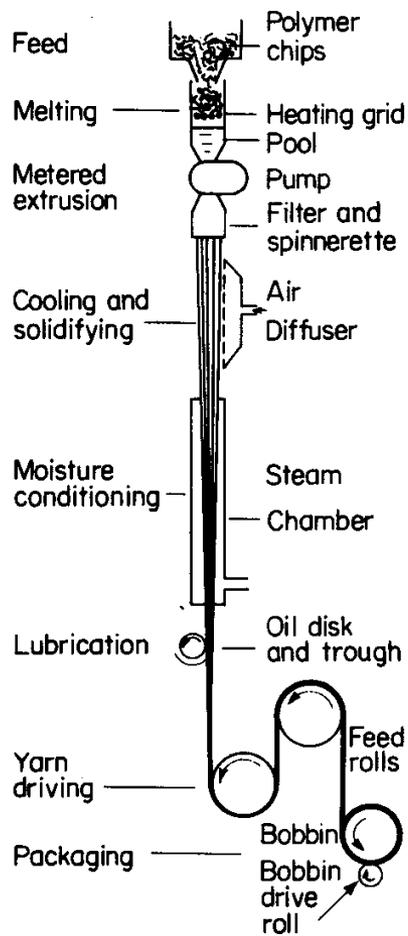
EXTRUSÃO DE FILMES



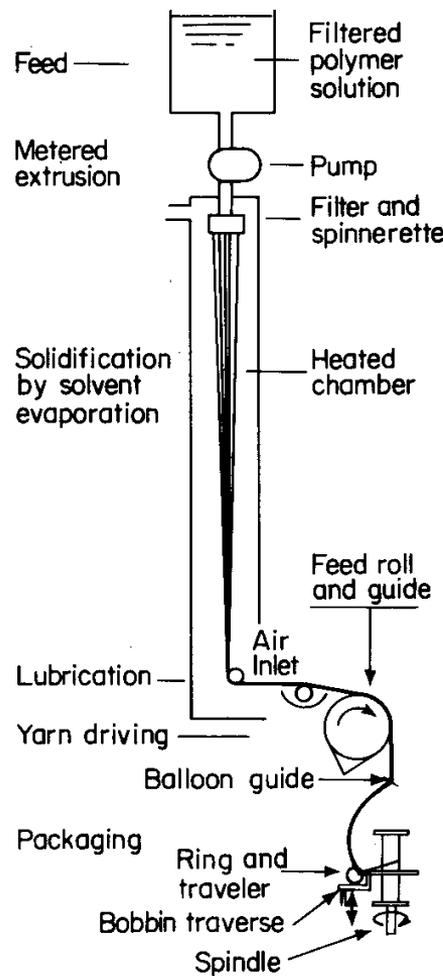
SOPRO DE FILMES E TUBOS



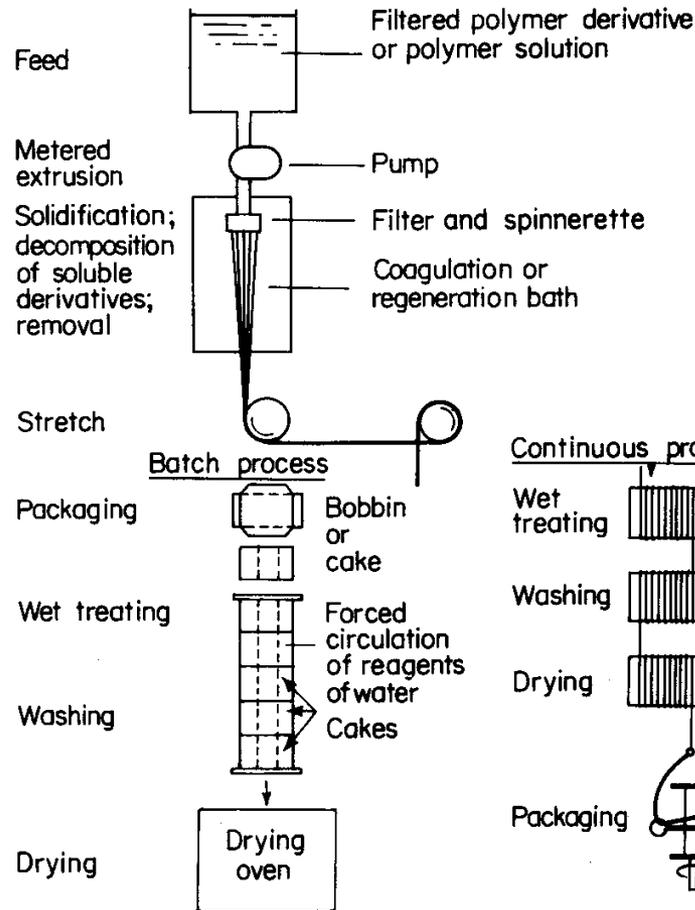
TRÊS PRINCIPAIS PRINCÍPIOS DE FABRICAÇÃO DE FIBRAS



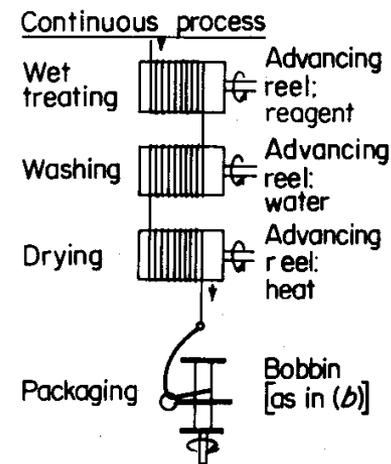
(a)



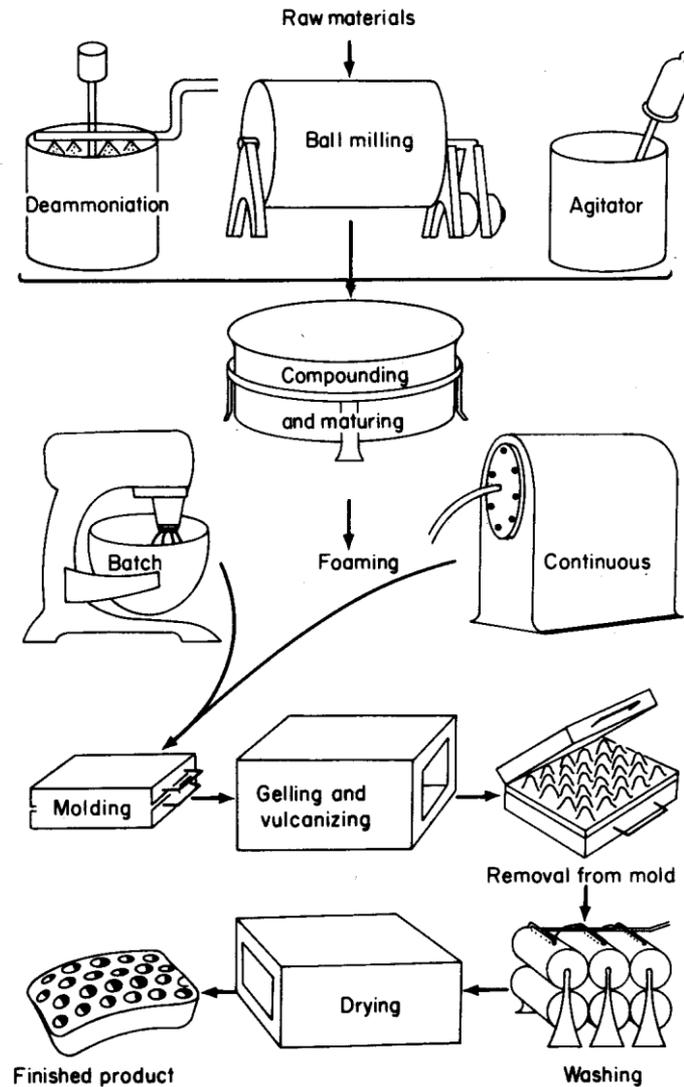
(b)



(c)



VULCANIZAÇÃO DE LATÉX

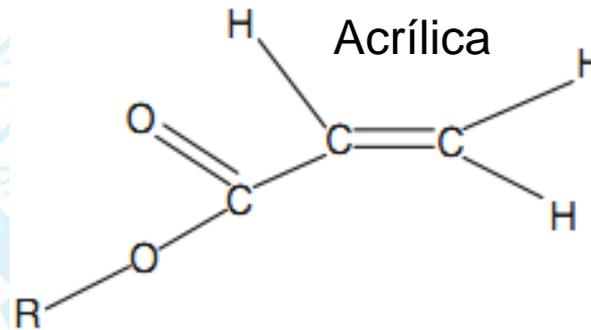


Prototipagem Rápida

- Esteriolitografia;
- SLS;
- 3D Print;
- FDM.

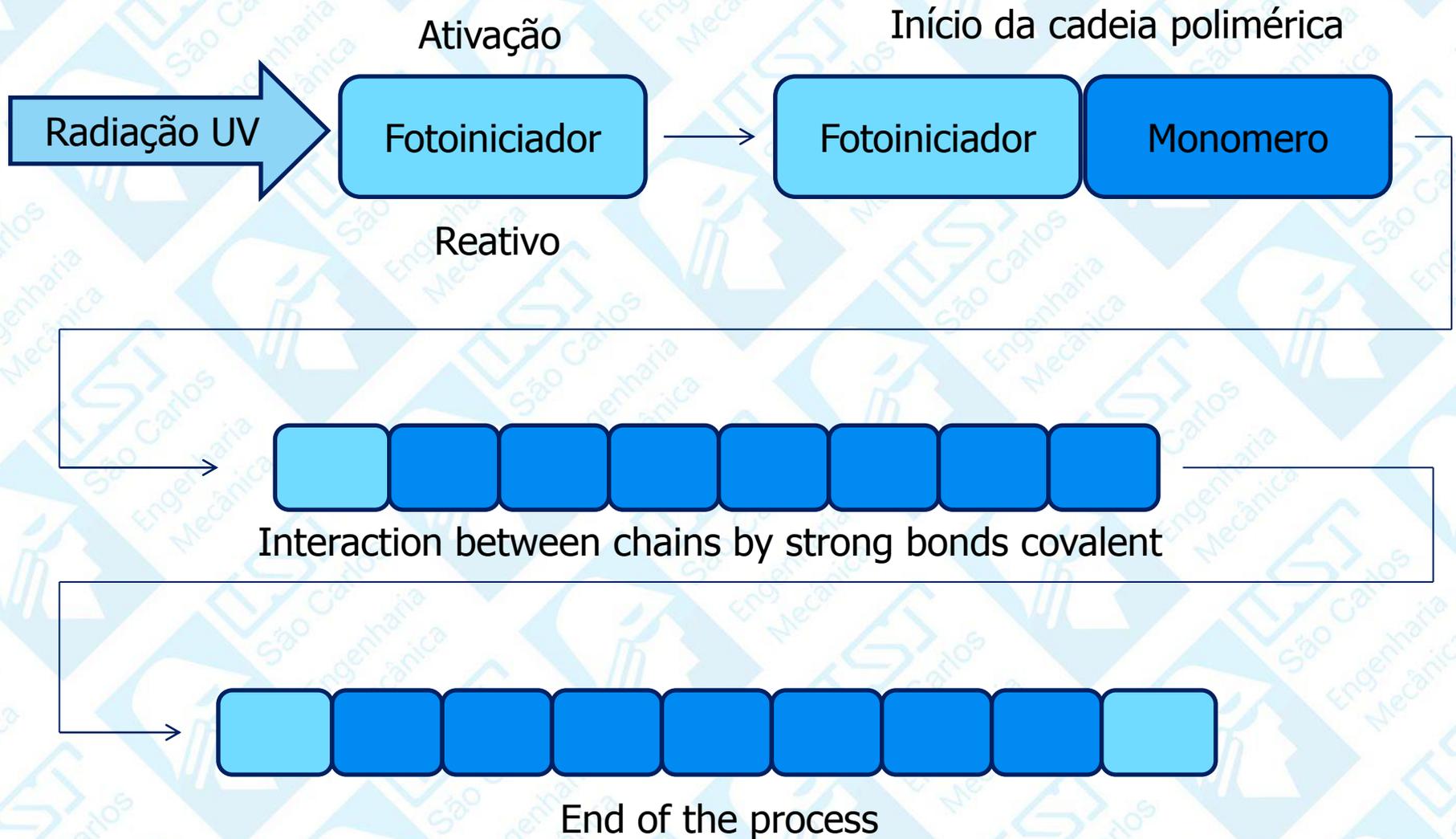


Fotopolimerização

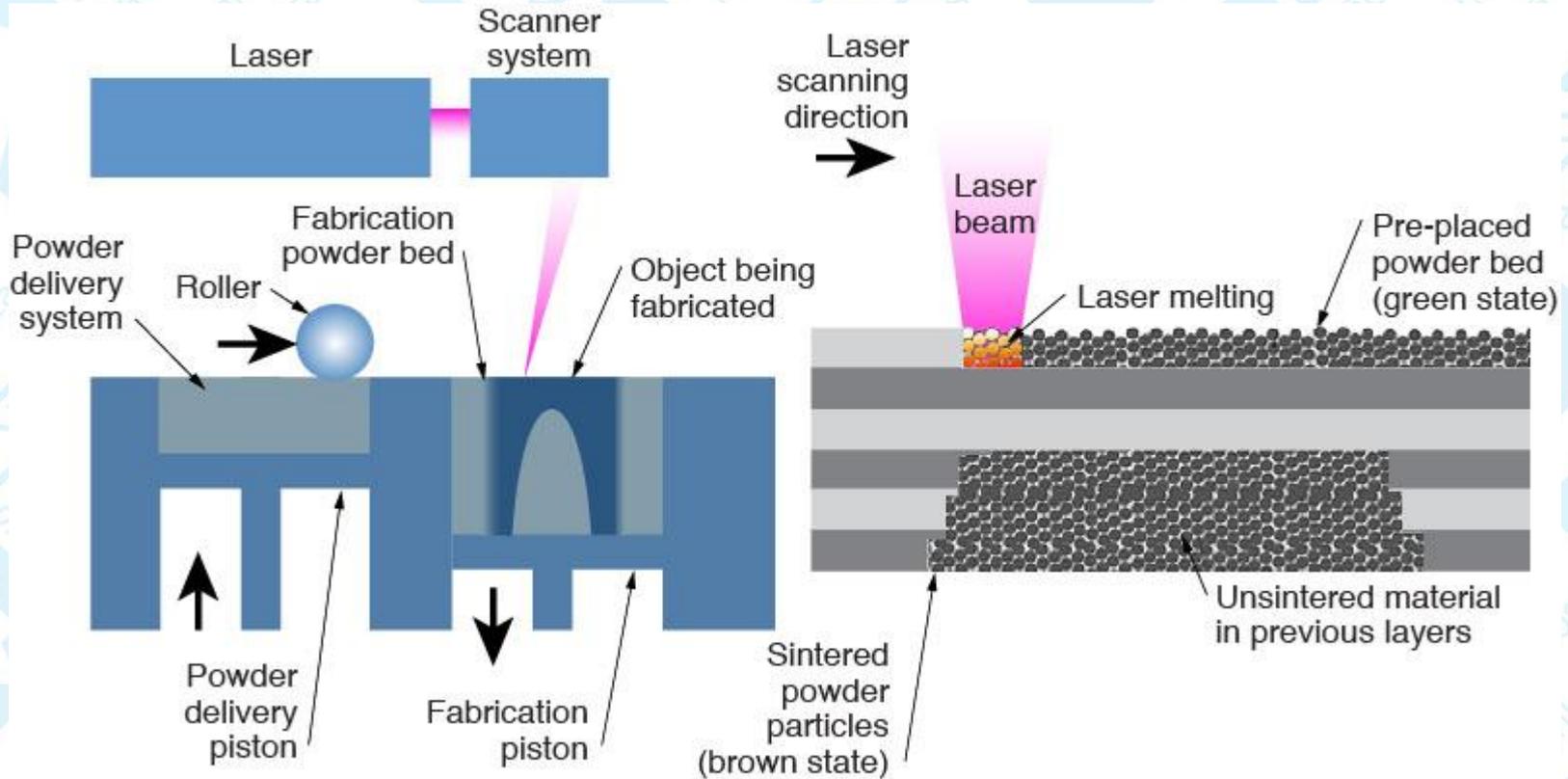


Alta reatividade;
Ondulações;
Retração (5-20 %).

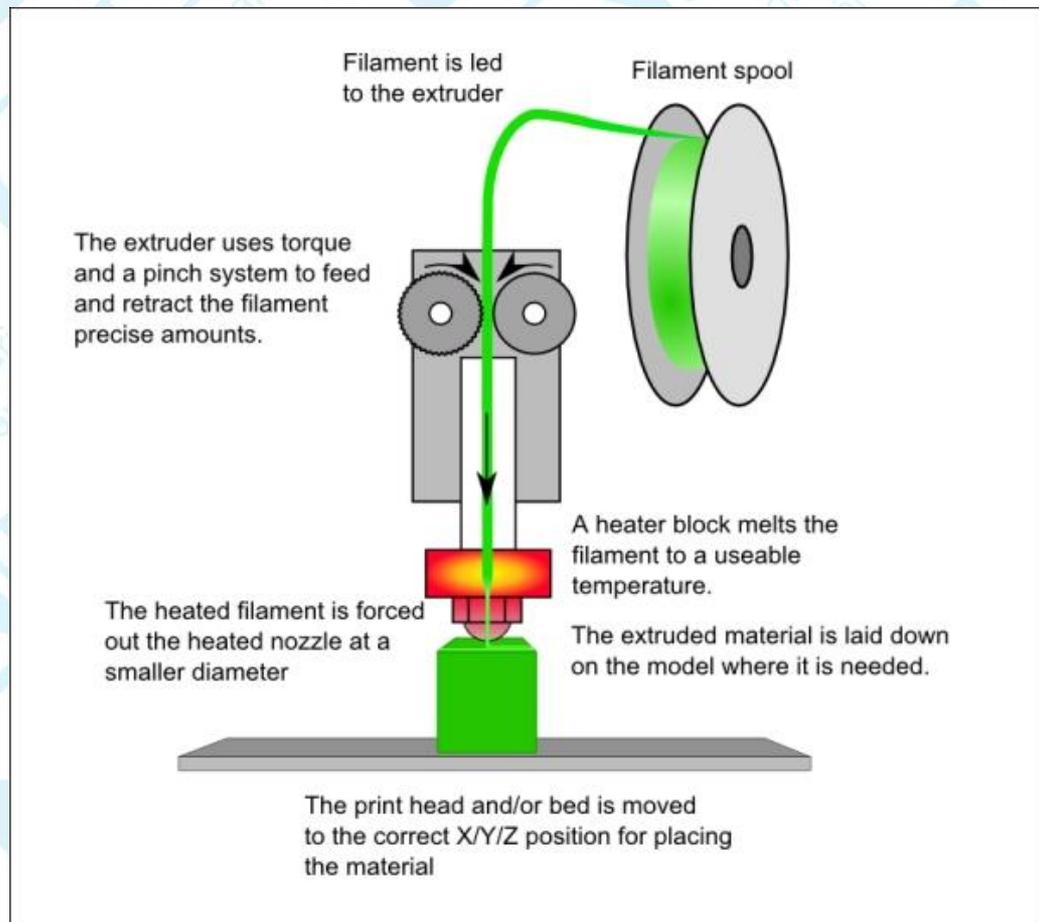
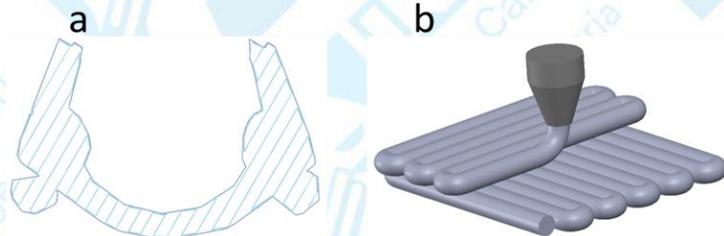




SLS x Sinterização



FDM x Extrusão



42) A conformação de polímeros é realizada por diferentes técnicas de processamento. Assinale a alternativa correta que contém a técnica de processamento adequada para produzir fios e cabos elétricos, perfis e tubos hidráulicos.

- A. extrusão
- B. injeção
- C. laminação
- D. coinjeção
- E. extrusão e sopro.



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.

