

MATERIAIS DE ENGENHARIA

- (SEM 5908) -

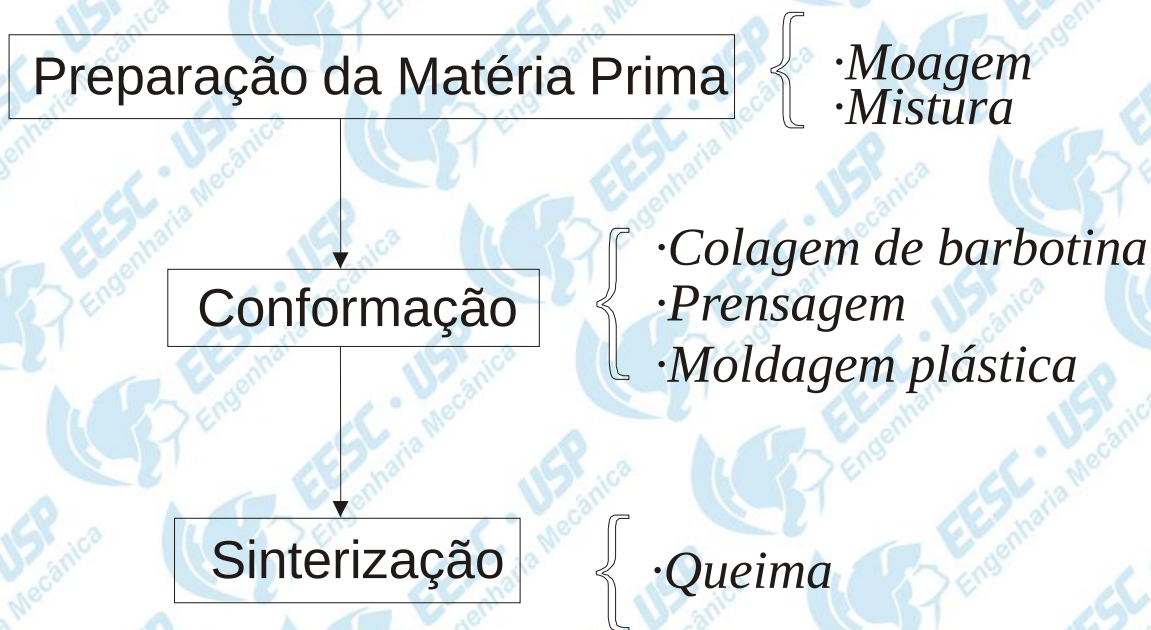
Aula 10 – Manufatura de Materiais Cerâmicos

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



Processamento

Devido ao alto ponto de fusão e elevada fragilidade dos materiais cerâmicos, o processo de moldagem muitas vezes é inviável. Utiliza-se então o processo de sinterização



Cerâmica - formulação

Em geral produtos cerâmicos são obtidos à partir de uma composição de matérias primas cerâmicas.

Objetivos: Conferir propriedades desejadas
Diminuir custos de processamento

MATERIAS PRIMAS

- Sílica: (quartzo, tridimita, cristobalita e vidro de sílica).
- Argilos Minerais: (caulim, argila, montimorilonita).
- Mulita: $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$.
- Alumina: Al_2O_3 - α (Corundum).
- Carбето de Silício: SiC (Carborundum).
- Zircônia: ZrO_2 .
- Magnésia: MgO .
- Feldspato.



Formulação de massas cerâmicas

A composição química de uma mistura de matérias primas pode ser obtida pela média ponderada do teor de cada óxido presente em cada matéria prima

	A	B	C
%SiO ₂	= 99,2 x 0,2	+ 67,0 x 0,3	+ 65,0x0,5 = 72,44
%Al ₂ O ₃	= 0,0 x 0,2	+ 19,5 x 0,3	+ 34,5x0,5 = 23,10
% Na ₂ O e K ₂ O	= 0,8 x 0,2	+ 13,5 x 0,3	+ 0,5x0,5 = 4,46

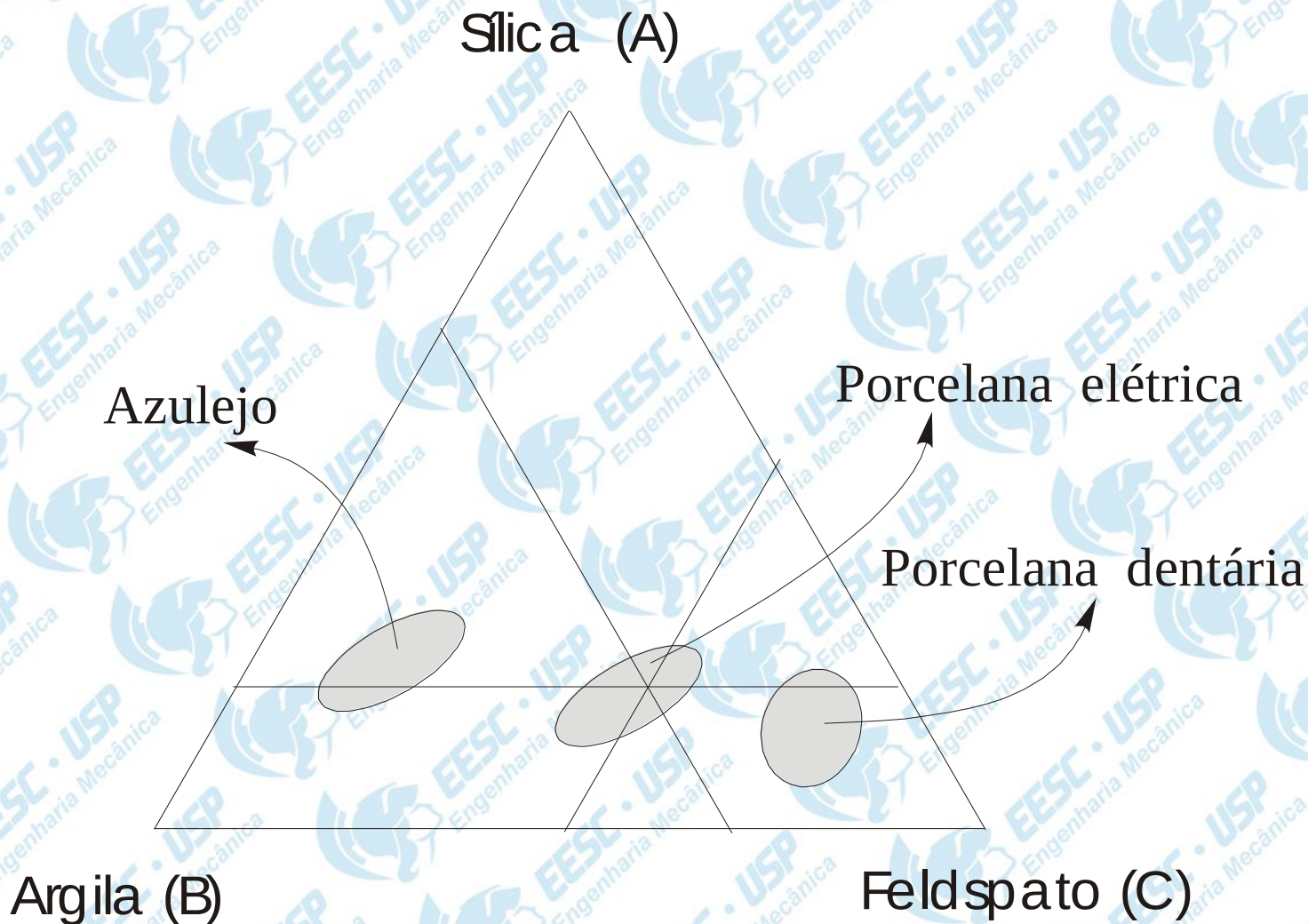
A= sílica

B= feldspato

C= argila



Diagrama triaxial



Transformações térmicas

Estado de Equilíbrio: é o estado de menor energia livre. Qualquer sistema tende a buscar o equilíbrio.



Reações Químicas → Forma um novo composto com diferente composição.

São influenciadas pela pressão, ambiente.

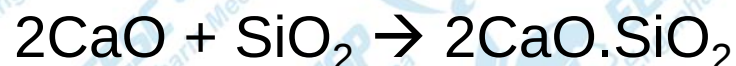


Reações Físicas → mudanças de fases, volume, forma, propriedades. São influenciadas pelo contato (liberdade de movimentos (gases), área superficial, tamanho de partículas)



Reações químicas

a) Sólido-Sólido $\rightarrow$ $\text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3 \rightarrow$ espinélio



b) Sólido-Líquido $\rightarrow$ formação de eutético

c) Sólido-Gás $\rightarrow$ reação com o gás do ambiente ou dissociado

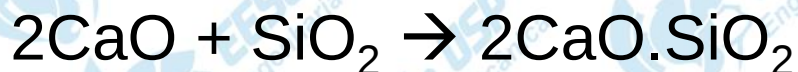
d) Líquido-Líquido $\rightarrow$ formação de vidro

e) Líquido-Gás $\rightarrow$ vidros com componentes voláteis



Reações Químicas - tipos

a) Combinação direta: 2 ou mais substâncias reagem formando 1 componente



b) Reações por deslocamento: $\text{Mg} + 2\text{HCl} \rightarrow \text{MgCl}_2 + \text{H}_2$

c) Troca mútua: $\text{CaSO}_4 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \leftrightarrow \text{CaCO}_3 + \text{Na}_2\text{SO}_4$

d) Rearranjo: (incomum) formação de uréia a partir de cianato de amônio $(\text{CN})\text{O}(\text{NH})_3 \rightarrow \text{N}_2\text{H}_4(\text{CO})$

e) Dissociação: qualquer material que tenha água estrutural. (caulim, argila, bauxita, carbonatos)



Reações Químicas – fatores que influenciam

- a) Composição: a unidade ou reatividade depende da composição (ex: impurezas)
- b) Tamanho de partículas: contato (superfície específica)
- c) Temperatura
- d) Tempo
- e) Pressão mecânica
- f) Atmosfera
- g) Pressão de vapor
- h) Superfície
- i) Tensão superficial: alta tensão → minimiza a região de contato
baixa tensão → molha o sólido



Reações Químicas – fatores que influenciam

- j) Estrutura e propriedades cristalográficas: em reações no estado sólido as principais reações ocorrem por difusão
- k) Viscosidade
- l) Solubilidade: > solubilidade → > reação
- m) Ação seletiva: em vários materiais algumas reações são mais propensas (afinidade, composto insolúvel)
- n) Catalizadores: facilitam as reações (físico-químicas) mas não fazem parte do processo. (normalmente < 1%)
- o) Condutividade térmica
- p) Luz
- q) Mudanças de estado: eutético
- r) Quantidade relativas dos reagentes



Diagramas de fase

São representações gráficas no qual fases em equilíbrio estão presentes no material em várias temperaturas, composições e pressões.

Diagramas de fases são ***Diagramas de Equilíbrio***

A **fase** é definida como a região em um sistema no qual as propriedades e composição são espacialmente uniformes.

Tipicamente um diagrama de fase mostra:

- As fases presentes no equilíbrio;
- A composição das fases presente em um determinado tempo durante o aquecimento e resfriamento;
- A fração de cada fase presente;
- A faixa de solubilidade de um elemento ou componente em outro.



Definições e conceitos básicos

- **Componente:** espécies quimicamente reconhecidas (ex: Fe e C no aço carbono, H_2O e NaCl na água salgada);
- **Fase:** porção quimicamente homogênea de uma microestrutura; região de composição uniforme e estrutura cristalina;
 - Não confunda fase com grão. Uma simples fase no material pode conter muitos grãos, *contudo, um simples grão consiste de uma única fase.*
 - Uma fase pode conter um ou mais componentes.
- **Sistema:** uma série de possíveis ligas, compostos e misturas;
- **Solvente:** principal componente em uma solução;
- **Soluto:** componente minoritário.



Which of the following is/are components of a phase?

- a) Brass, Copper, Zinc;
- b) Copper only;
- c) Zinc only;
- d) Both Copper and Zinc;



Regras de fase

Para a condição de equilíbrio são apresentadas restrições de graus de liberdade F que um sistema pode possuir.

Regra de fase

$$F = C + 2 - P$$

J.W.Gibbs

onde:

F = graus de liberdade;

C = nº de componentes;

P = número de fases presentes.

O número de fase P é o número de fases fisicamente distintas, em princípio, porções mecanicamente separadas do sistema.

– Difração de Raio X – método mais apropriado para identificação.



Sistemas de um Único Componente

$$F = C + 2 - P$$

$$C=1 \Rightarrow F=2$$

Para definir completamente o sistema, ambas: pressão e temperatura devem ser especificadas.

Se duas fases estão presentes $\Rightarrow F=1$, pressão ou temperatura precisam ser especificadas, mas não ambas.

Exemplo:

- ✓ A água, na pressão de 1 atm água (liq) e gelo podem existir em uma única temperatura (0°C)
- ✓ No ponto tríplice, três fases coexistem, e não há graus de liberdade, ou seja ocorrem em uma única pressão e temperatura.



Uma substância de simples fase quando aquecida ou resfriada pode apresentar um número de transformações polimórficas.

Polimorfismo: são diferentes modificações cristalinas de uma mesma substância química

Zircônia (ZrO_2)

Sobre pressão de 1 atm

Monoclínica → tetragonal → cúbica → líquida

1170°C

2370°C

2680°C

Titanato de Bário (BaTiO_3)

romboédrico → ortorrômbico → tetragonal → cúbico

-90°C

0°C

130°C



Sistemas Binários

São sistemas constituídos de dois corpos e são identificados três variáveis: temperatura, pressão e composição.

- ✓ mútua solubilidade e formação de solução sólida;
- ✓ solubilidade sólida parcial sem formação de fase intermediária;
- ✓ solubilidade sólida parcial com formação de fase intermediária.

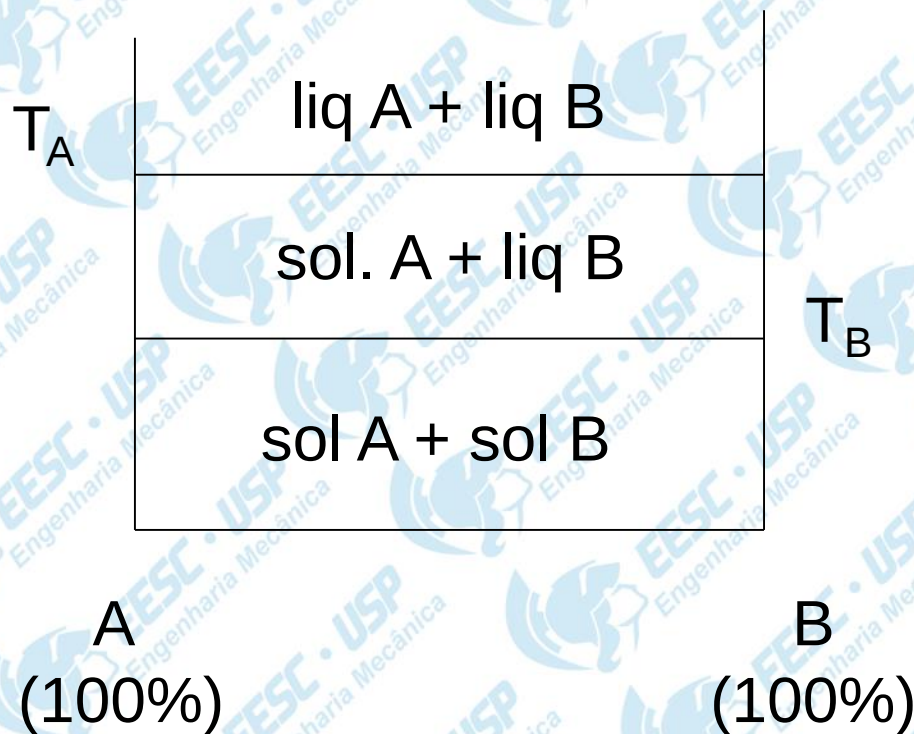


At certain temperature the maximum concentration of solute atoms that dissolve in solvent to form solid solution, this condition is called:

- a) Solubility;
- b) Formation of phase;
- c) Solubility limit;
- d) Formation of super saturated solution;

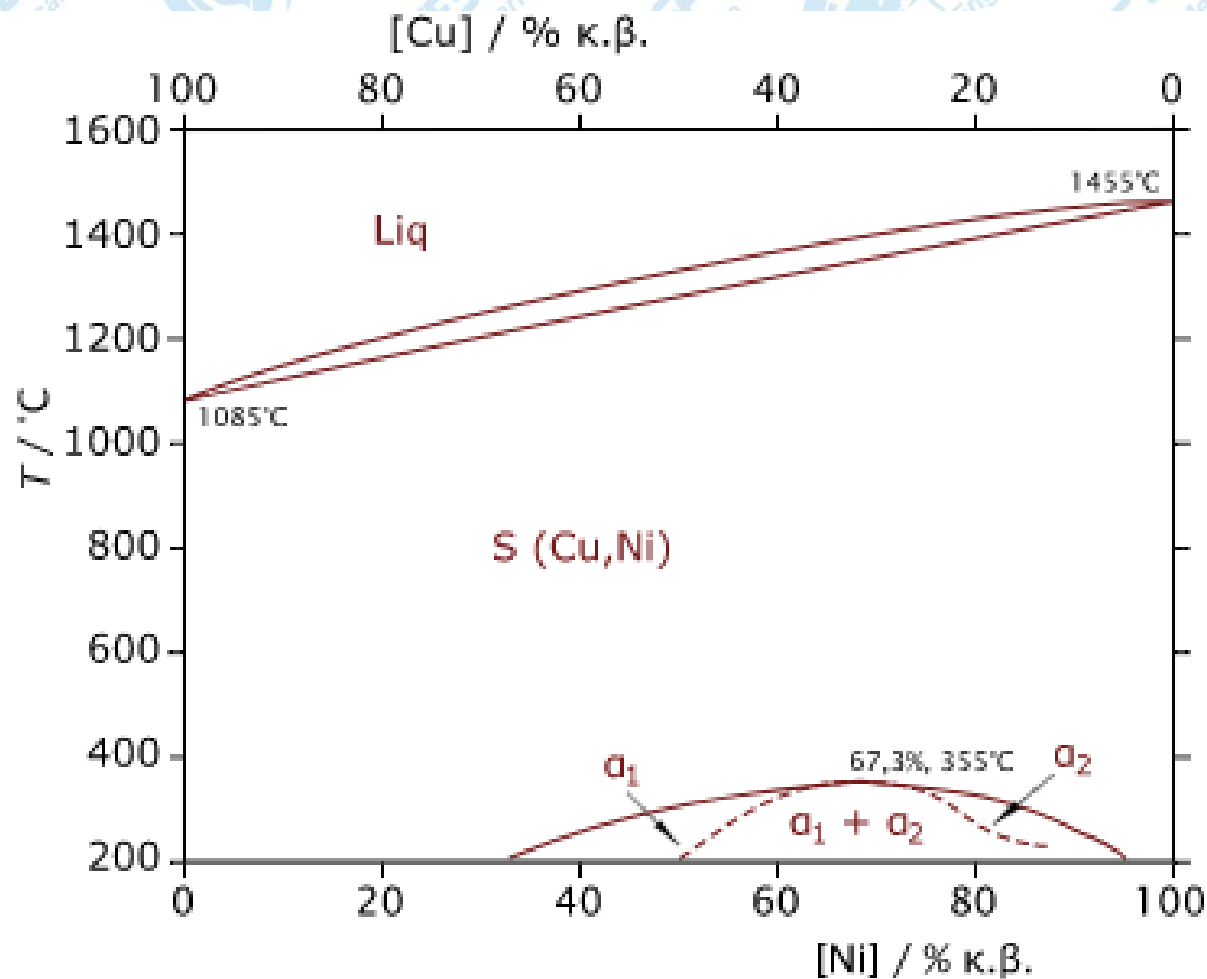


Situação 01 – Componentes imiscíveis nos estados líquido e sólido

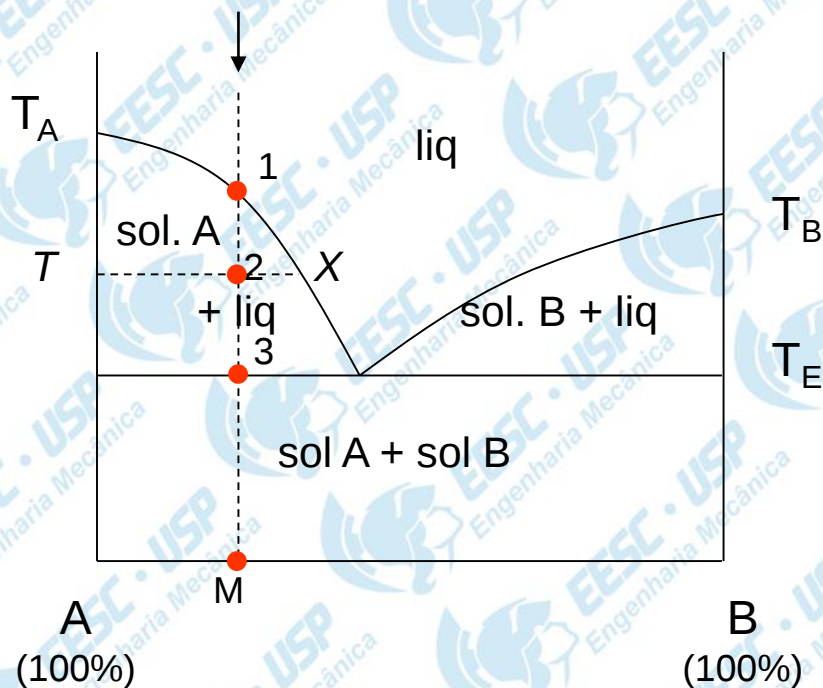


A 53% Ni Cu-Ni alloy is cooled from liquid state to 1300°C. Calculate the % of liquid and solid at 1300°C

- a) 28, 72
- b) 38, 62
- c) 35, 65
- d) 65, 35



Situação 02 – Componentes miscíveis nos estados líquido mas imiscíveis no estado sólido



Ponto 1: cristalização de A

2: crist. A (liq rico em B)

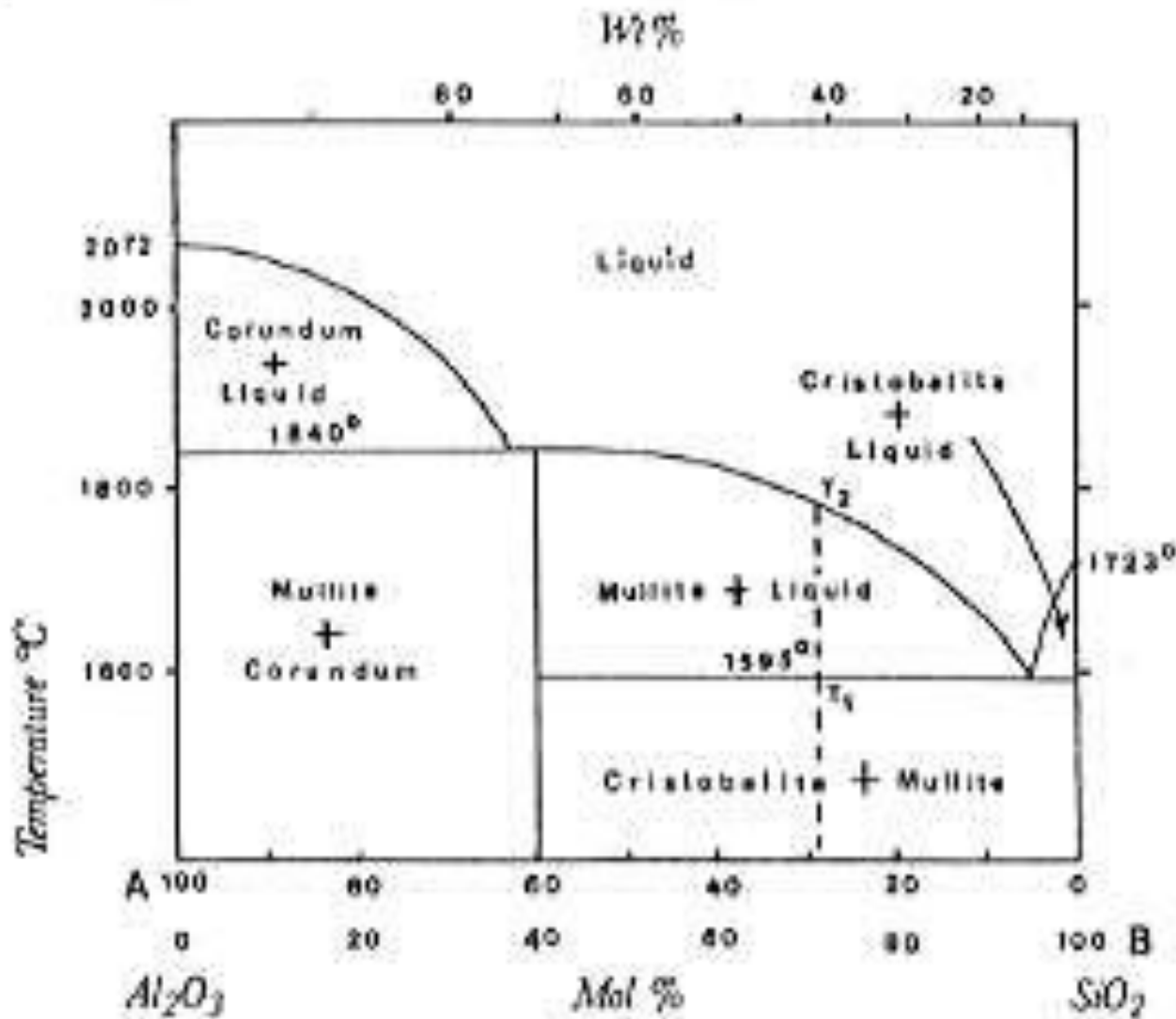
3: $<T_E$ início e fim da cristalização de B, termina a cristalização de A.

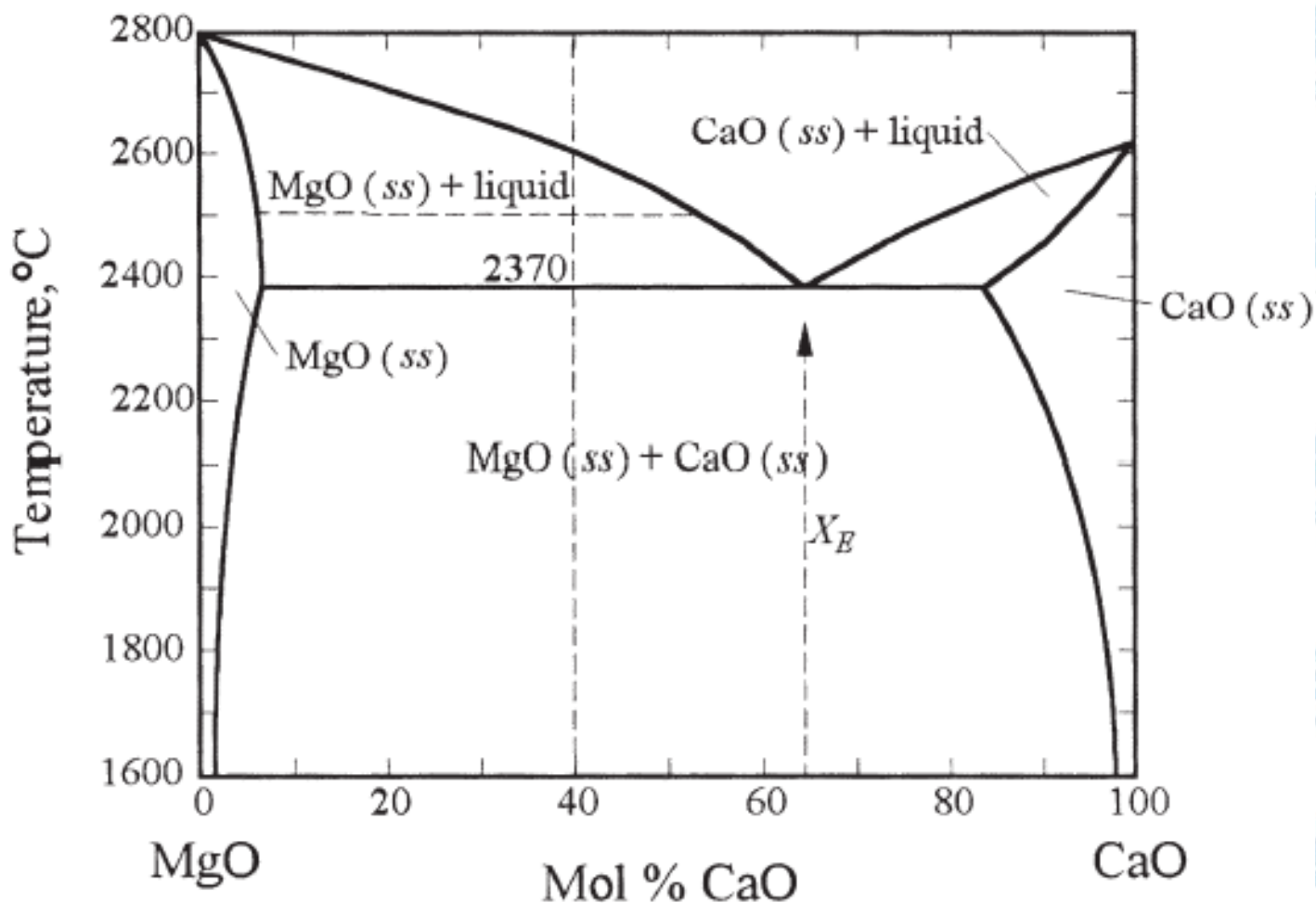
Ponto 2:

$$\% liq = \frac{\overline{2T}}{\overline{XT}}$$

$$\% sol A = \frac{\overline{2X}}{\overline{XT}}$$





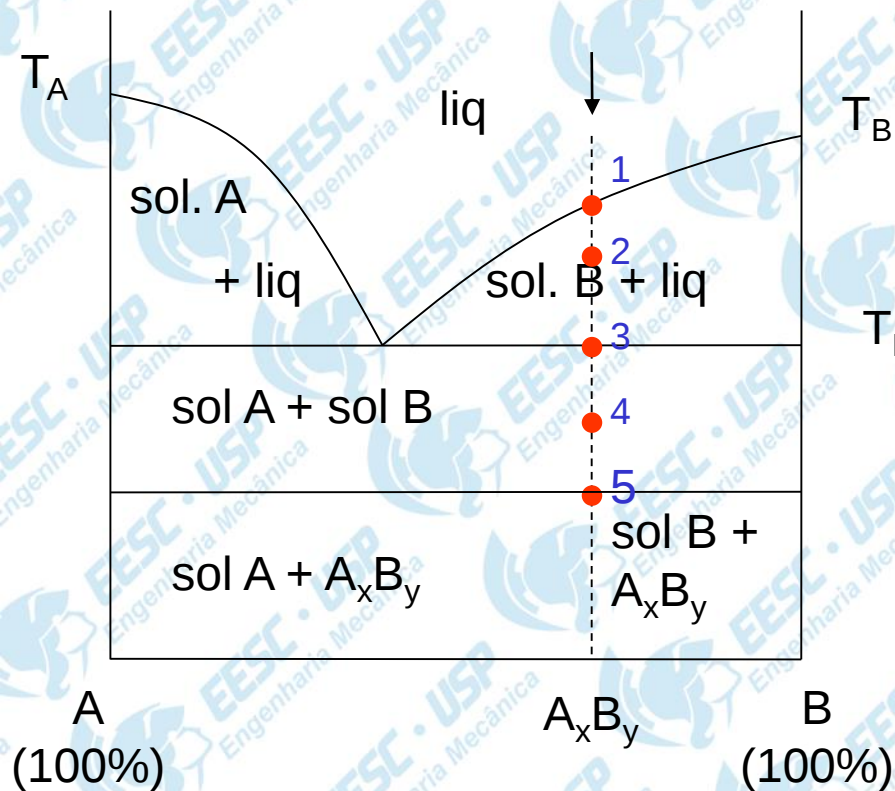


- A temperatura de eutético refere-se ao ponto de intersecção que representa a menor temperatura no qual um líquido pode existir.



Situação 03 – Formação de Composto

a) Composto se decompõe abaixo de T_E ($T < T_E$)



Caminho da cristalização

Pto 1: início da cristalização de B

Pto 2: crist. de B

Pto 3: fim de liq., final da crist. B e início e fim da crist. A.

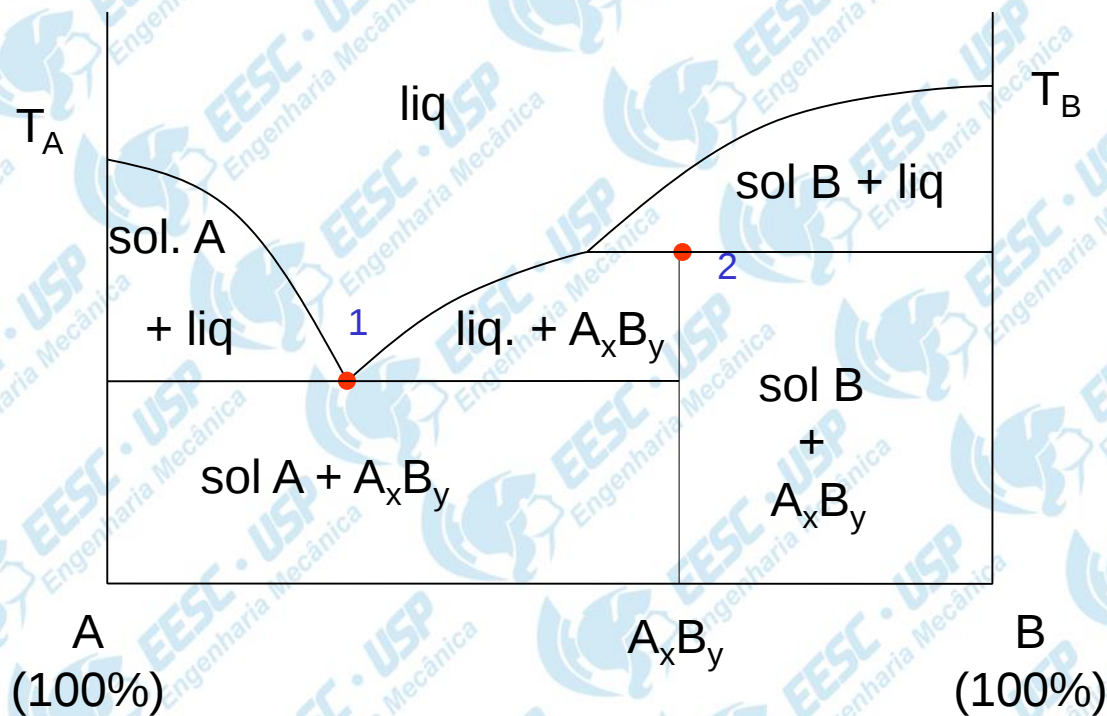
Pto 4: não ocorre cristalização, zona de interação de sólidos

Pto 5: reação de $A+B$ para a formação do composto A_xB_y



Situação 04 – Formação de Composto

a) Composto se decompõe a ($T > T_E$)



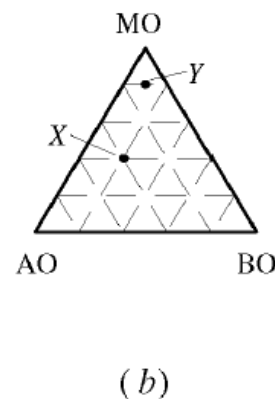
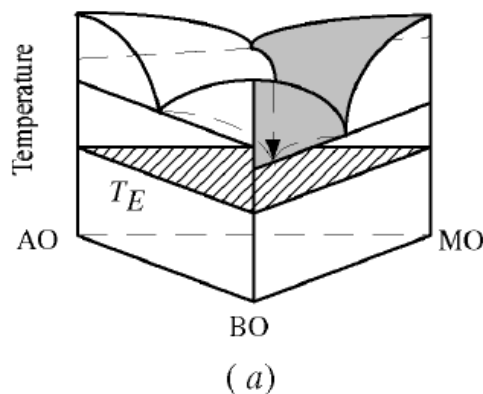
Pto 1: Liq $\rightarrow$ sol. + sol.

Pto 2: Liq $\rightarrow$ sol. + liq



Diagramas ternários

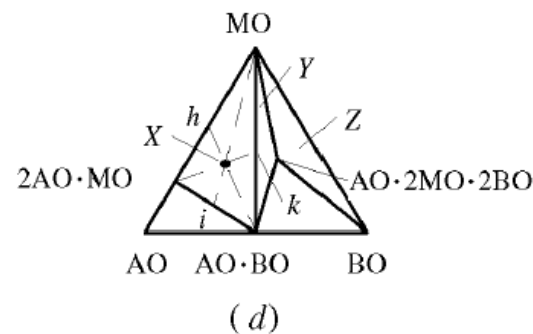
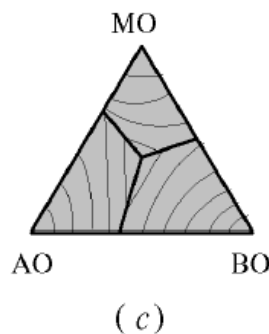
Diagramas ternários relatam as fases e as temperaturas em sistemas de três componentes, e as 4 variáveis consideradas são: temperatura, pressão e concentração de dois componentes (a concentração do terceiro é resultante das duas já fixadas)

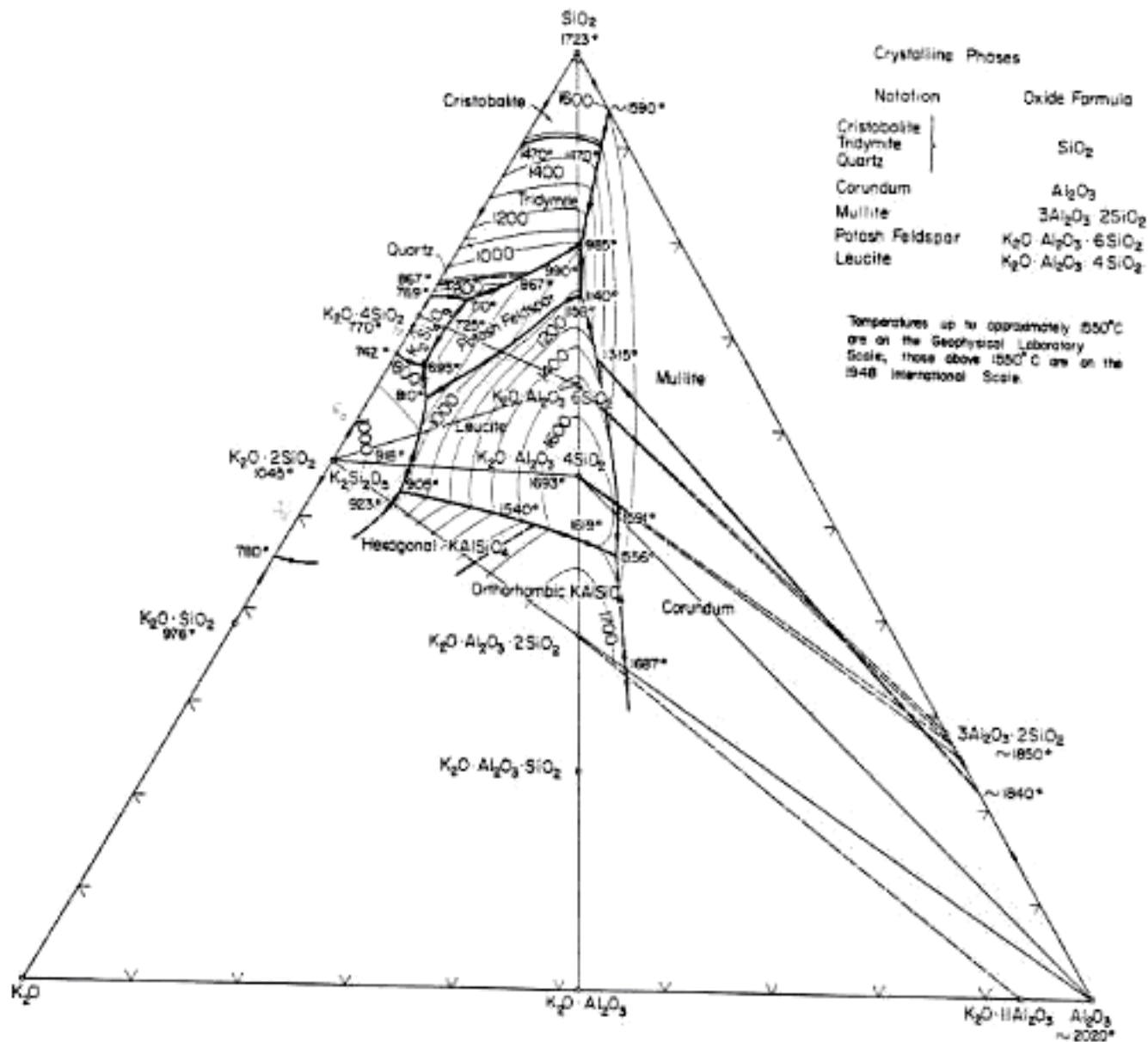
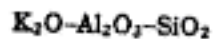


$$\text{Mol fraction MO} = \frac{Xi}{i - \text{MO}}$$

$$\text{Mol fraction of } 2\text{AO} \cdot \text{MO} = \frac{Xk}{k - 2\text{AO} \cdot \text{MO}}$$

$$\text{Mol fraction of } \text{AO} \cdot \text{BO} = \frac{Xh}{h - \text{AO} \cdot \text{BO}}$$





Moagem e mistura cerâmica

Moagem pode ser entendida como o processo de redução do tamanho de partículas por meio de forças mecânicas. Tem um papel importante no processamento de pós finos e quimicamente homogêneos, pois é através desse processo que se torna possível a obtenção de novos materiais com propriedades melhoradas.



Moagem - tipos de moinho

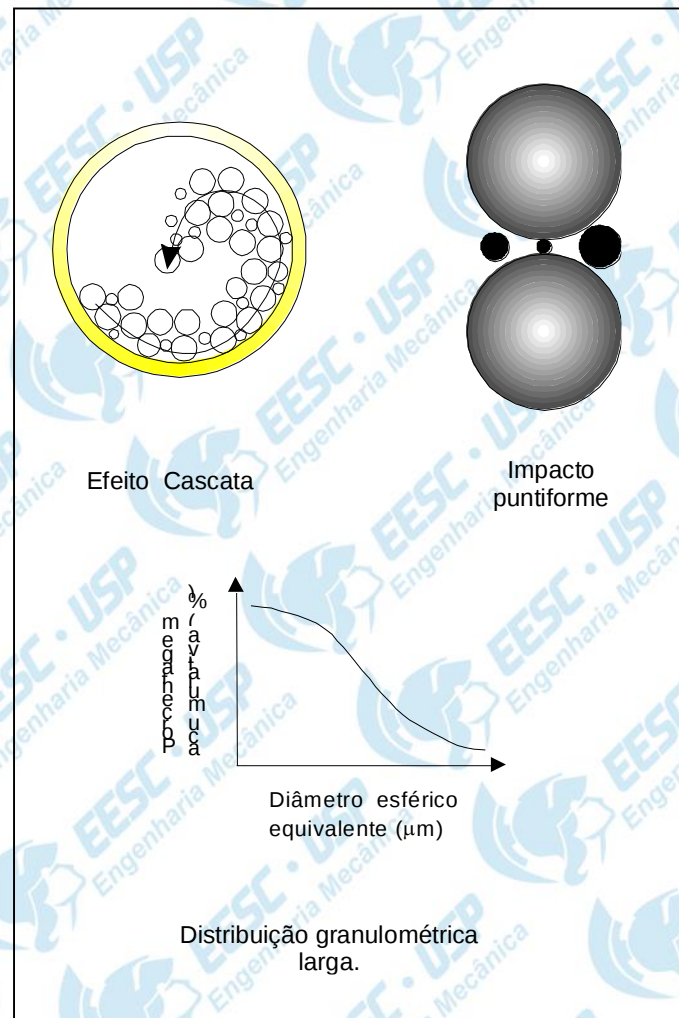
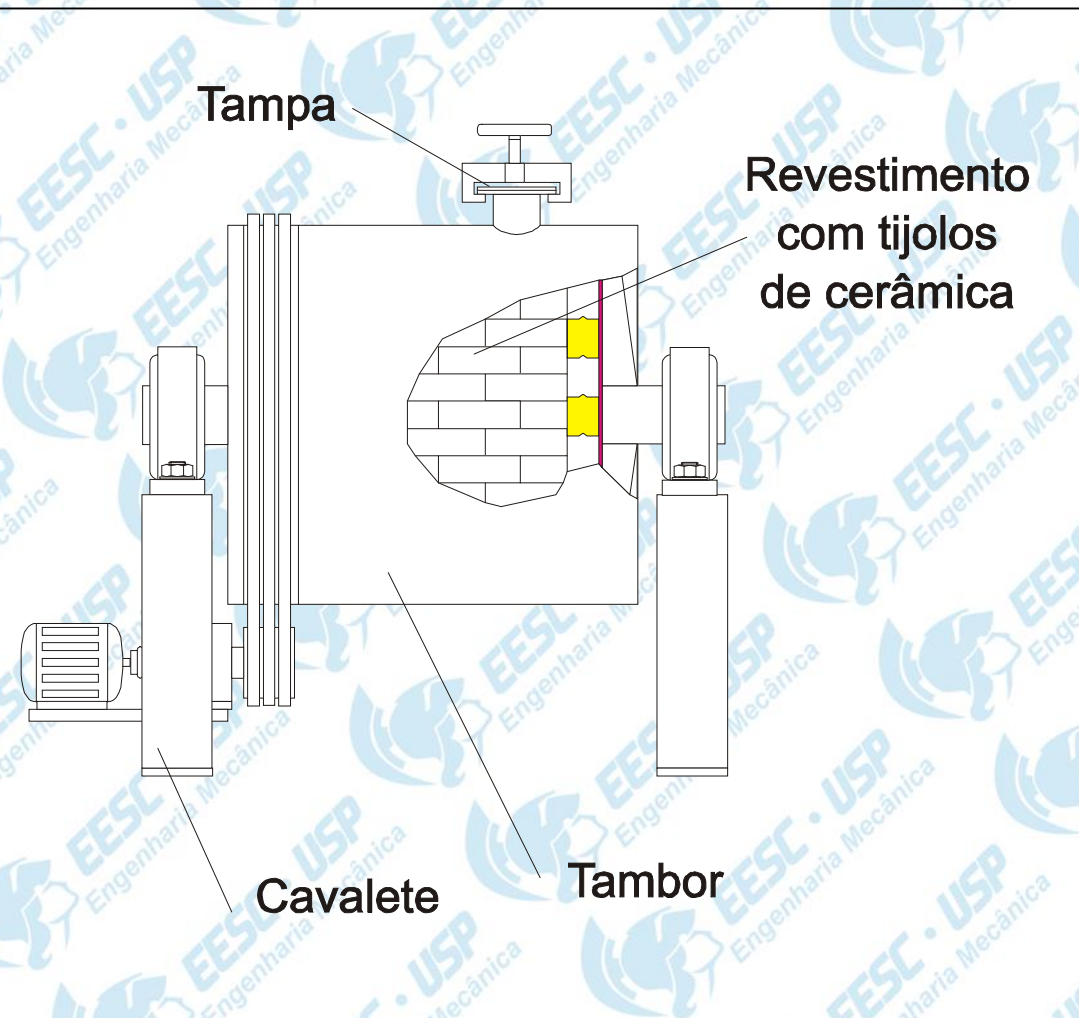
Dentre as técnicas mais usuais encontram-se a do moinho de bolas, o moinho vibratório, o moinho de atrito, o método de classificação a ar, o método da precipitação, o método à laser e o método à plasma

Basicamente o processo de moagem consiste dos seguintes estágios:

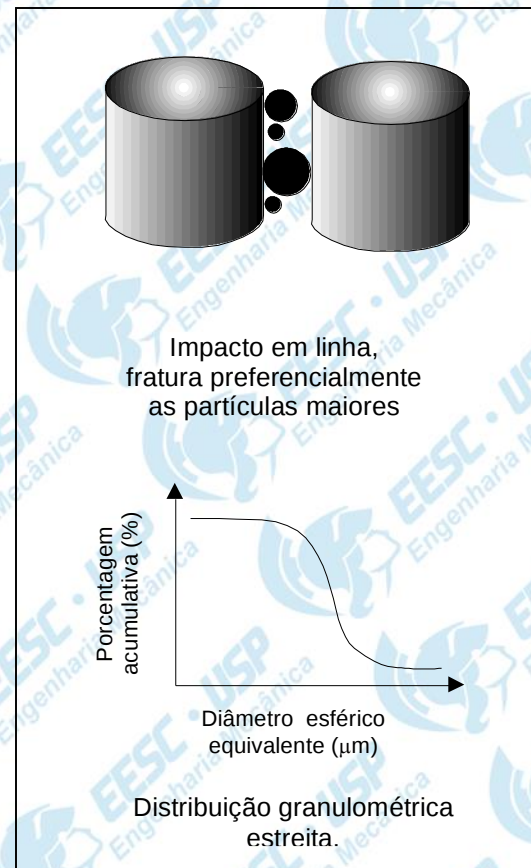
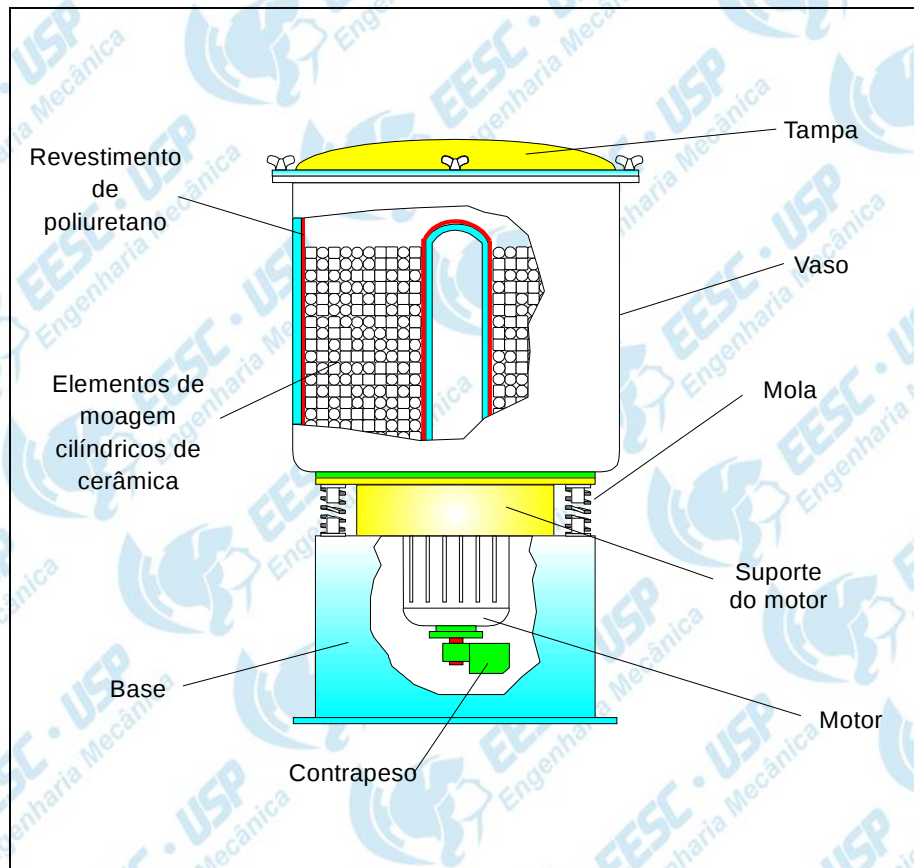
- a) redução do tamanho de agregados por moagem;
- b) fratura de partículas individuais, formação de defeitos e mudanças internas nas partículas durante moagens longas;
- c) reaglomeração durante períodos muito longos de moagem.



Moinho de bolas



Moinho vibratório



Barbotina: Suspensão coloidal que descreve movimento Browniano

Colóide: um sistema microscopicamente heterogêneo onde um componente tem dimensões entre as das moléculas e da areia

Tamanho típico: 1nm a 1 mm

Em suspensão as partículas coloidal descrevem o movimento Browniano

Quando elas se encontram umas as outras, o balanço de forças atrativas e repulsivas determinam a estabilidade das suspensões. Se forças repulsivas forem suficientes para balancear as forças atrativas e as interações de Van der Waals, a suspensão coloidal é dita como estável.

Floculação: agregação reversível

Coagulação: agregação irreversível



Deflocação

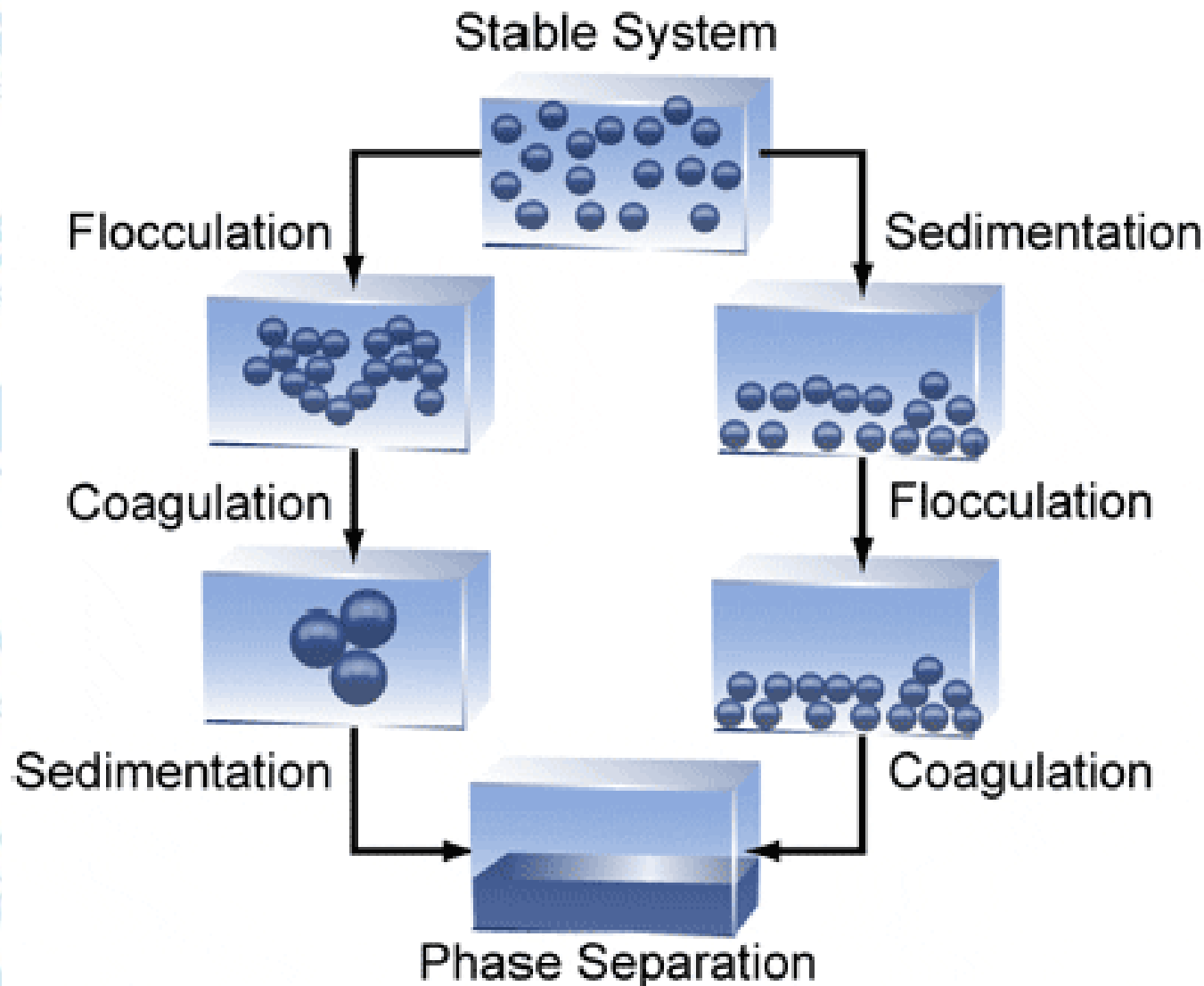
Pós em suspensão em um líquido se aglomeram espontaneamente, a menos que sejam utilizados defloculantes que criam cargas repelentes em duplas camadas ou por impedimento físico.

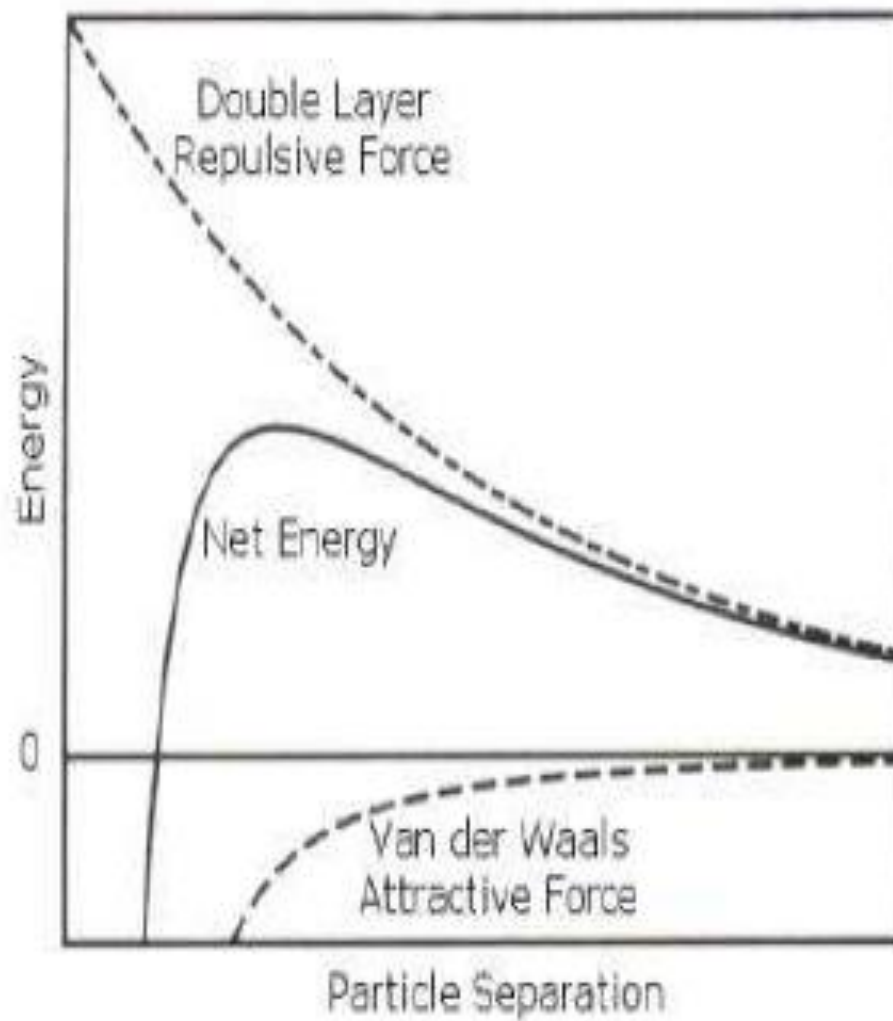
O governo das suspensões é definido por três forças:

- Sedimentação: gravidade (massa e tamanho da partícula);
- Repulsão Eletrostática: carga superficial;
- Atração de Van der Waals.



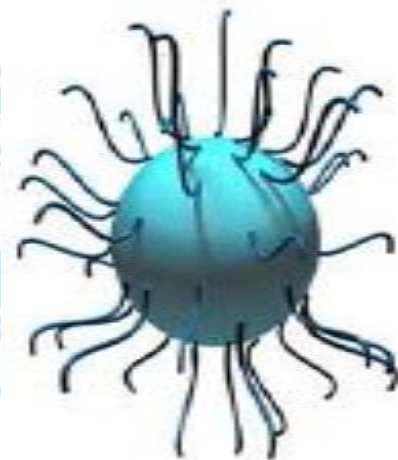
Estabilidade dos suspensões





Estabilização

Repulsão estérica - Envolve a adição de polímeros na superfície das partículas prevenindo o contato entre elas. Se adsorver polímero suficiente uma superfície de revestimento manterá as partículas separadas por repulsão estérica.



Steric stabilization

Estabilização de carga ou **Eletrostática** - isto é o efeito da interação de partículas devido a distribuição de espécies carregadas no sistema.



Electrostatic stabilization



Estabilização estérica

A estabilização estérica é obtida pela anexação de longas cadeias poliméricas nas partículas coloidais. Então, quando as partículas se aproximarem uma das outras (por exemplo devido ao movimento Browniano), a interpenetração é limitada pela cadeia polimérica ocasionando em uma repulsão efetiva.

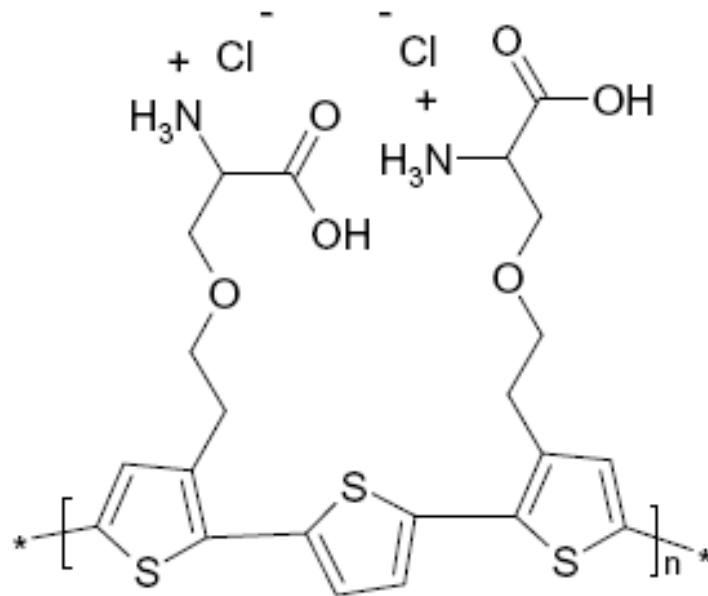
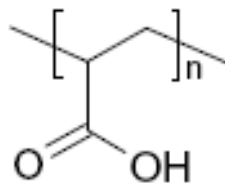
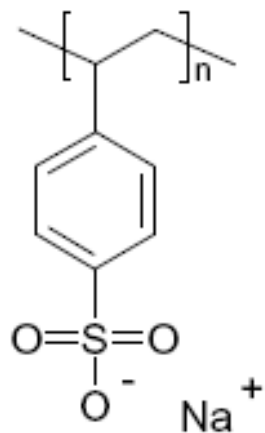
Vantagens:

- a) A repulsão inter-partícula não depende da concentração de eletrólito;
- b) Efetivo em ambos meio aquoso e não-aquoso;
- c) Efetivo sobre uma larga faixa de concentração coloidal, contudo é mais efetiva em baixas concentrações.

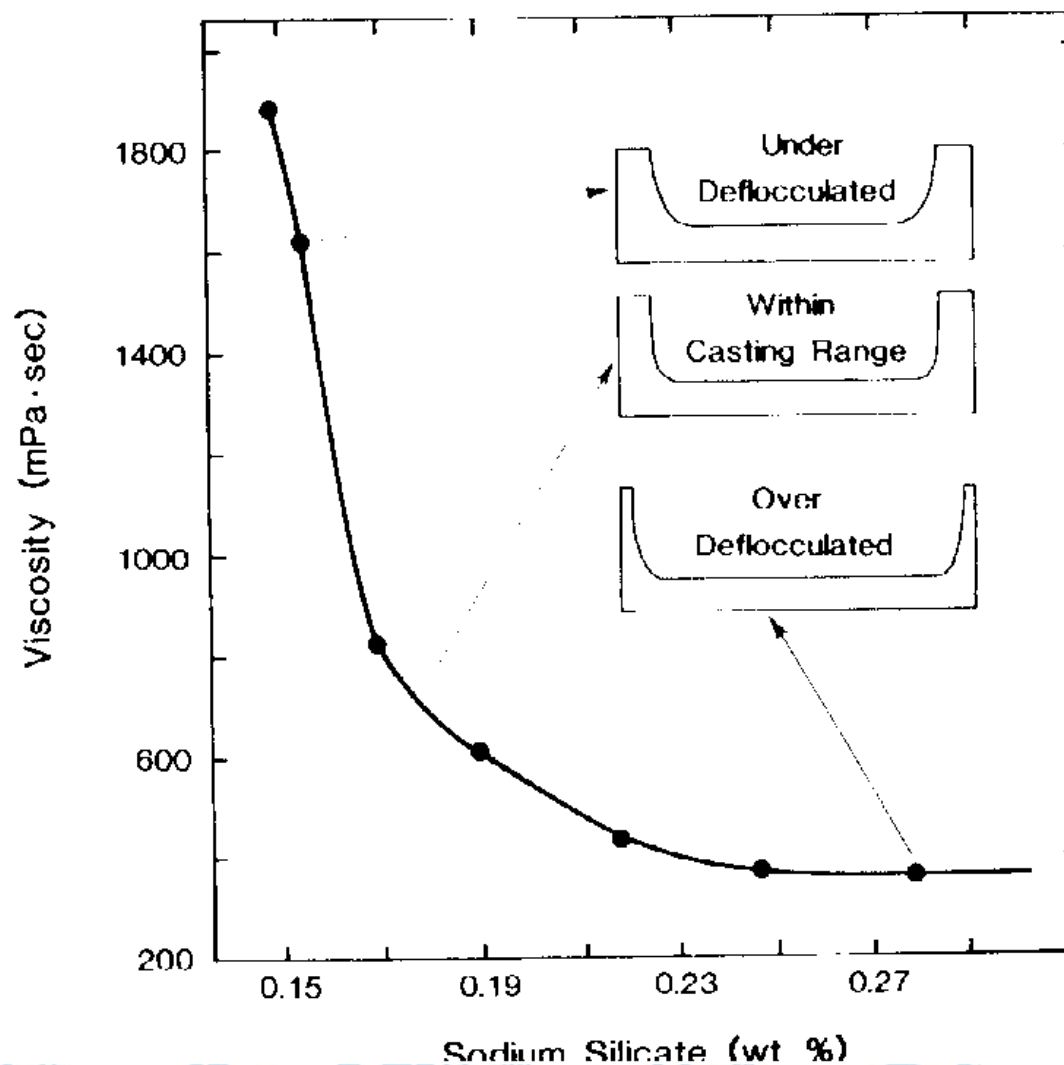


Defloculantes

Poly-eletrólitos: poliacrilato de amônio



Deflocação



Reed, 1995



Ligantes

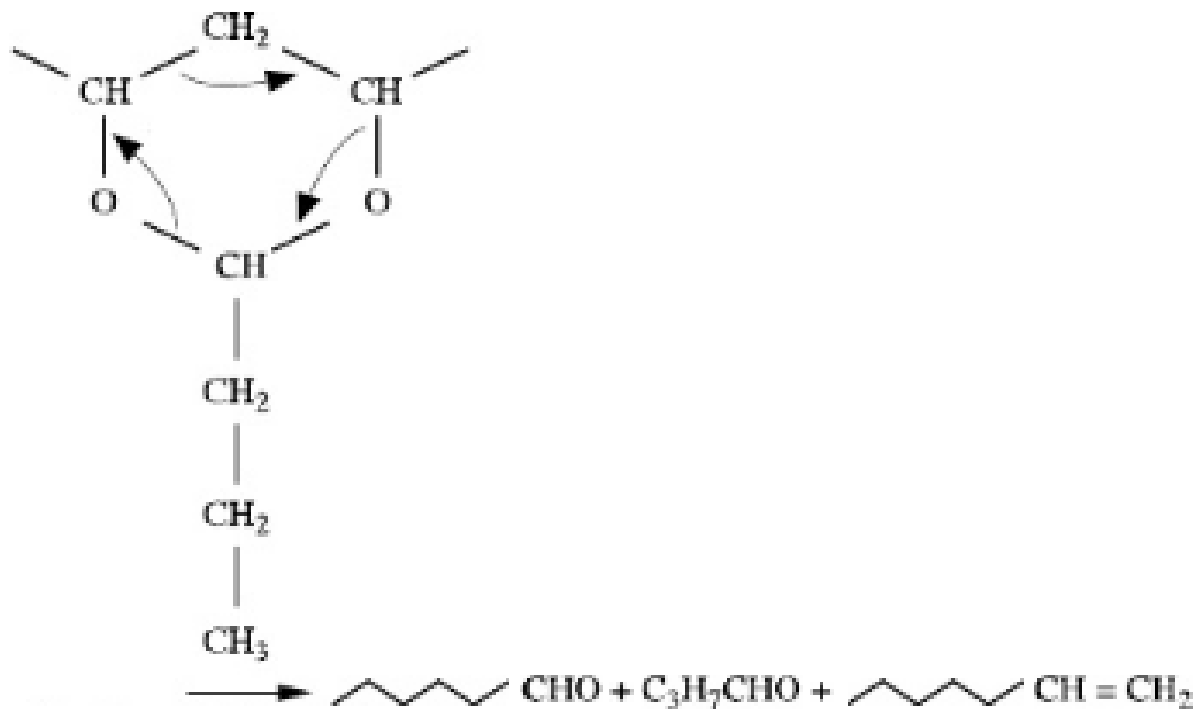
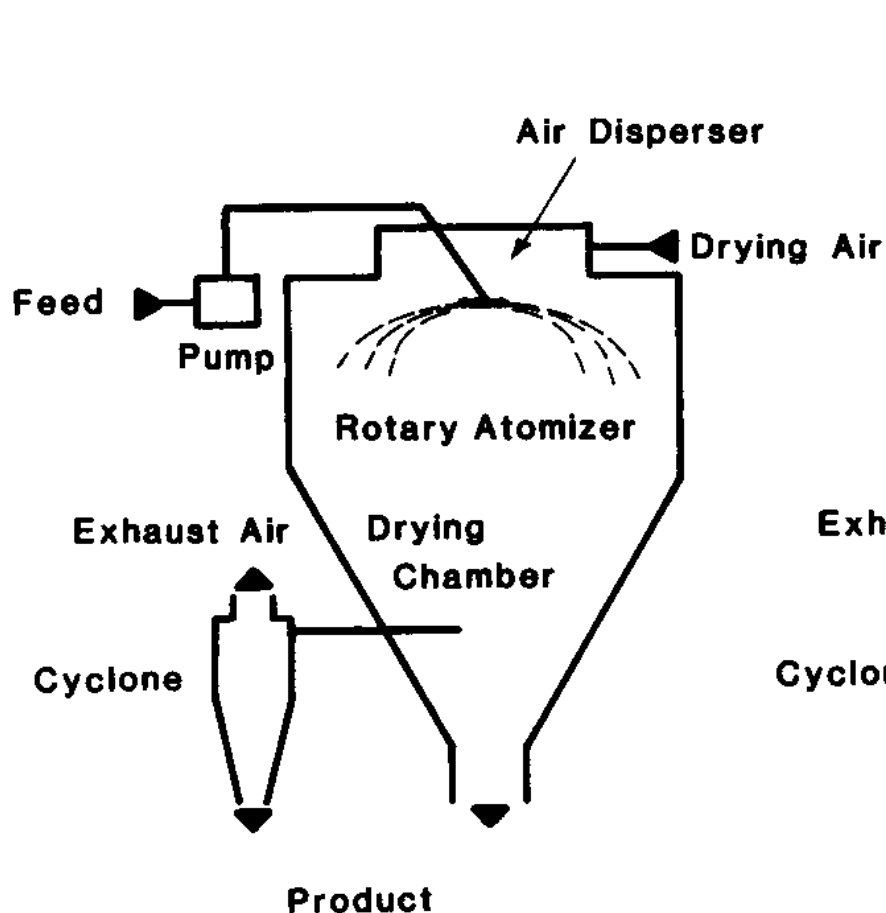


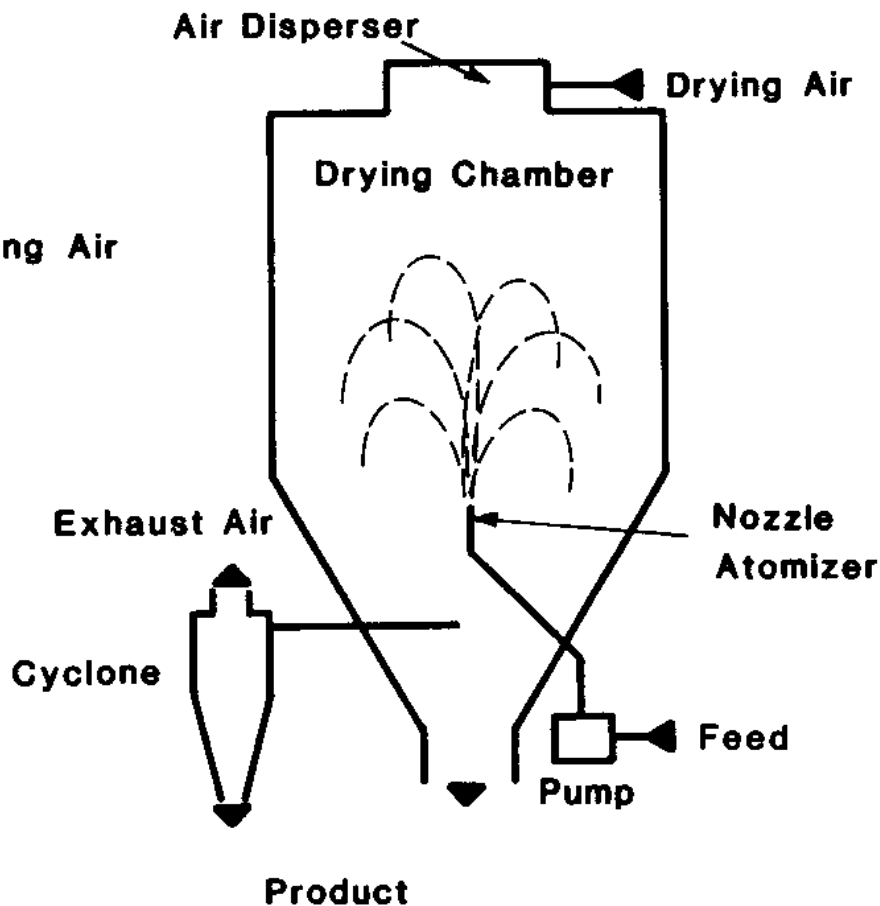
Figure 5.39. Example of the rupture of vinyl polyvinyl butyral chains (PVB) during debinding [BAK 83]



Secagem e aglomeração

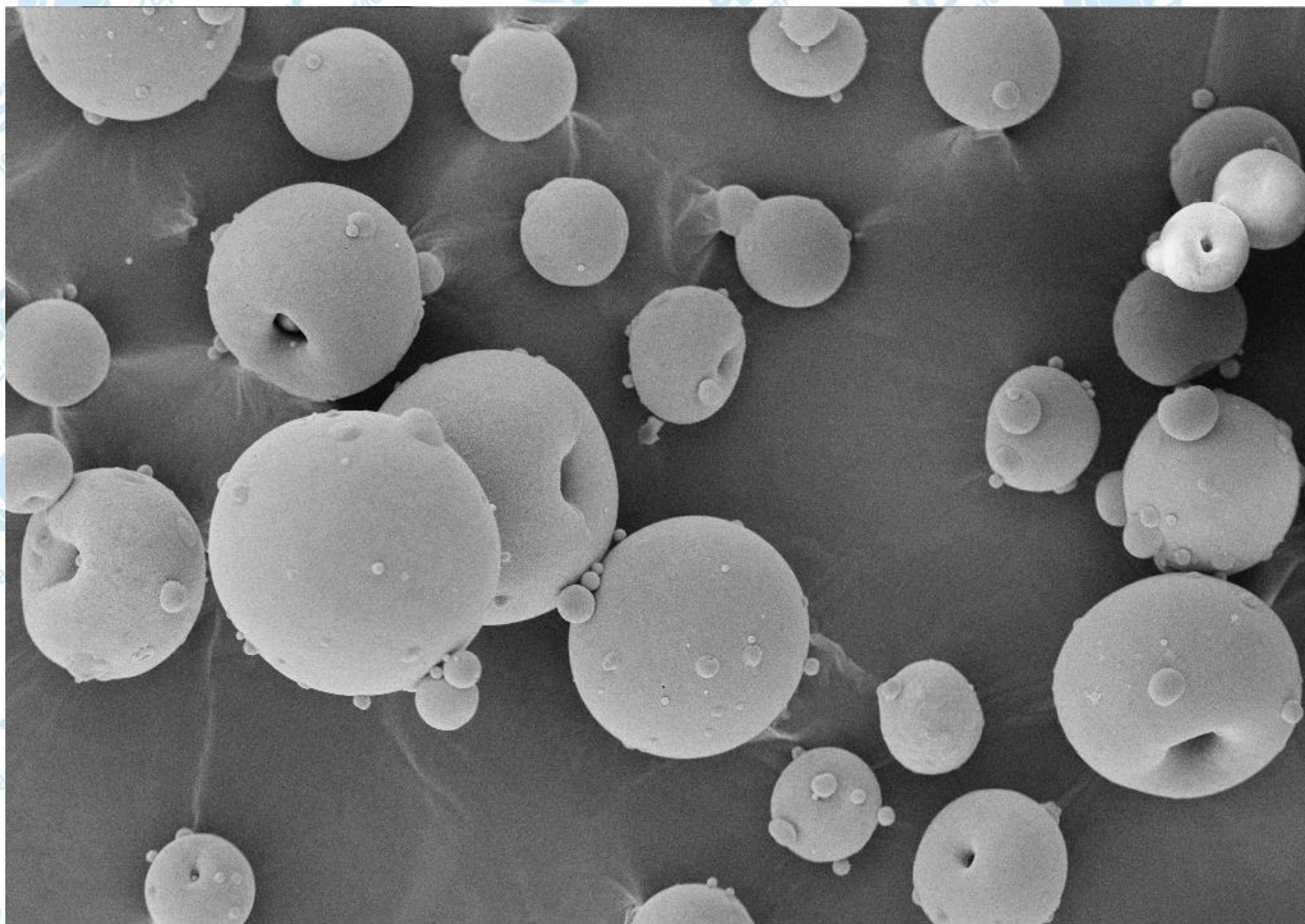


Co-current



Mixed Flow

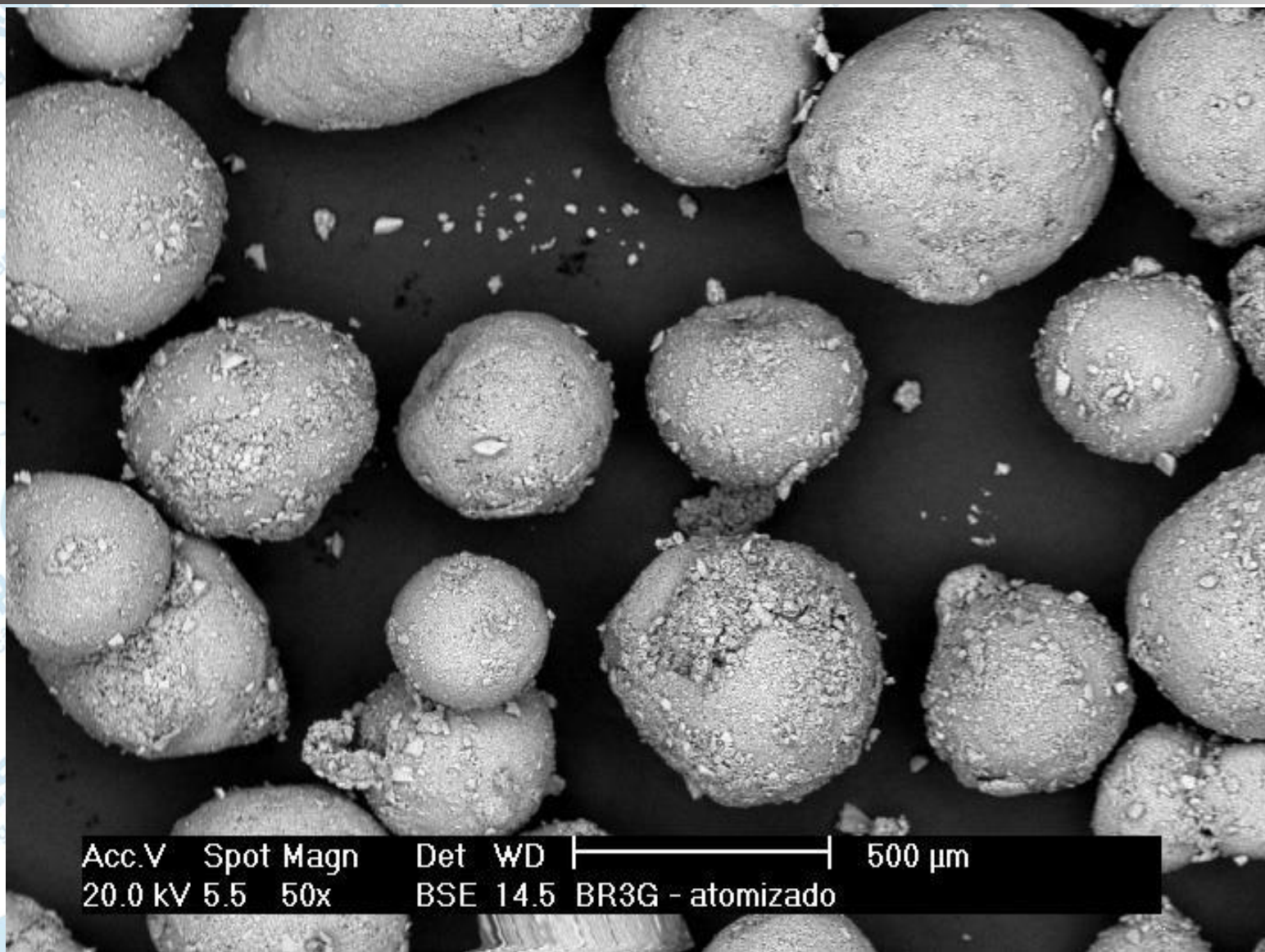




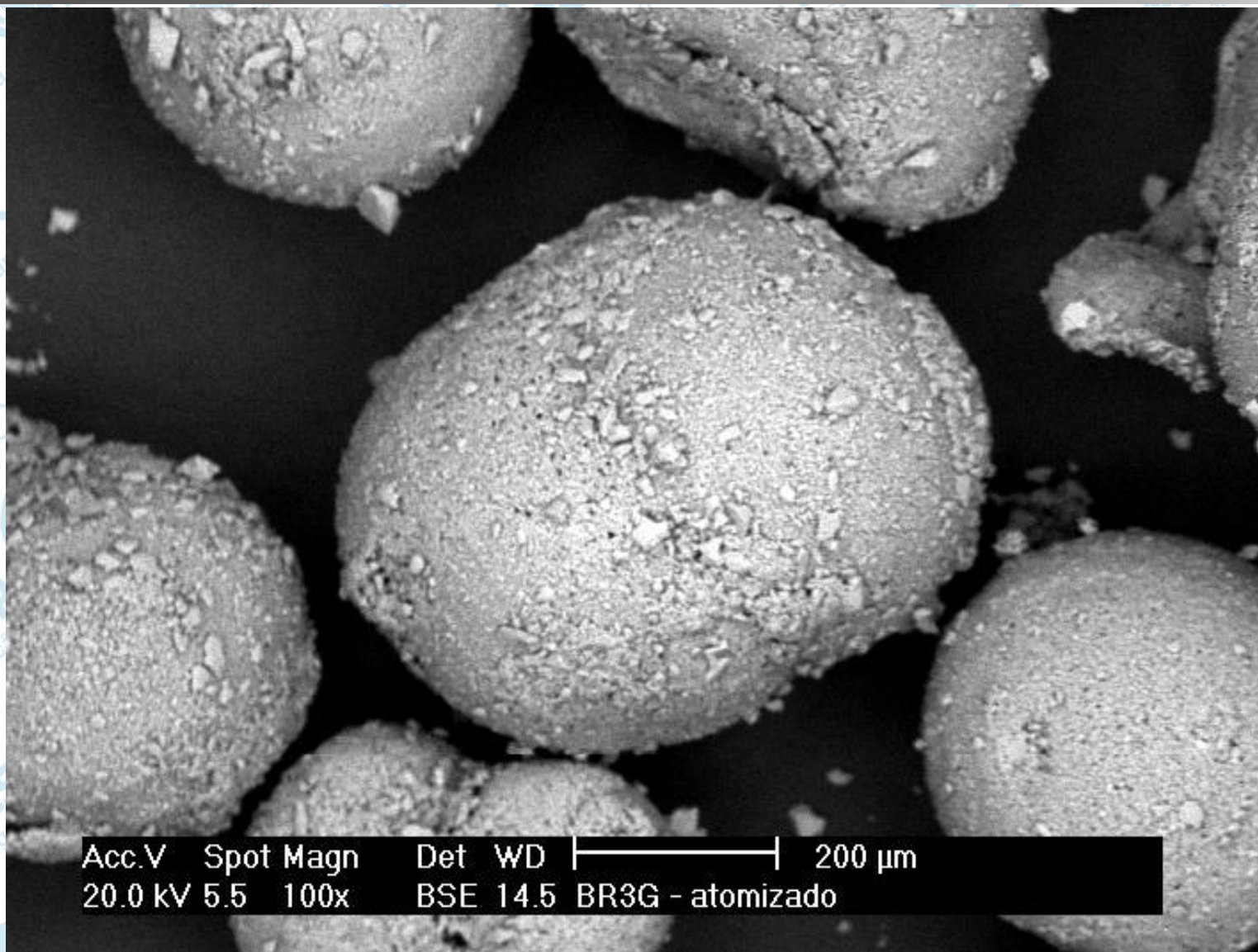
IQSC EHT=20.00 kV WD= 12 mm Mag= 350 X Detector= SE1
30µm Photo No.=39 26-Aug-2008

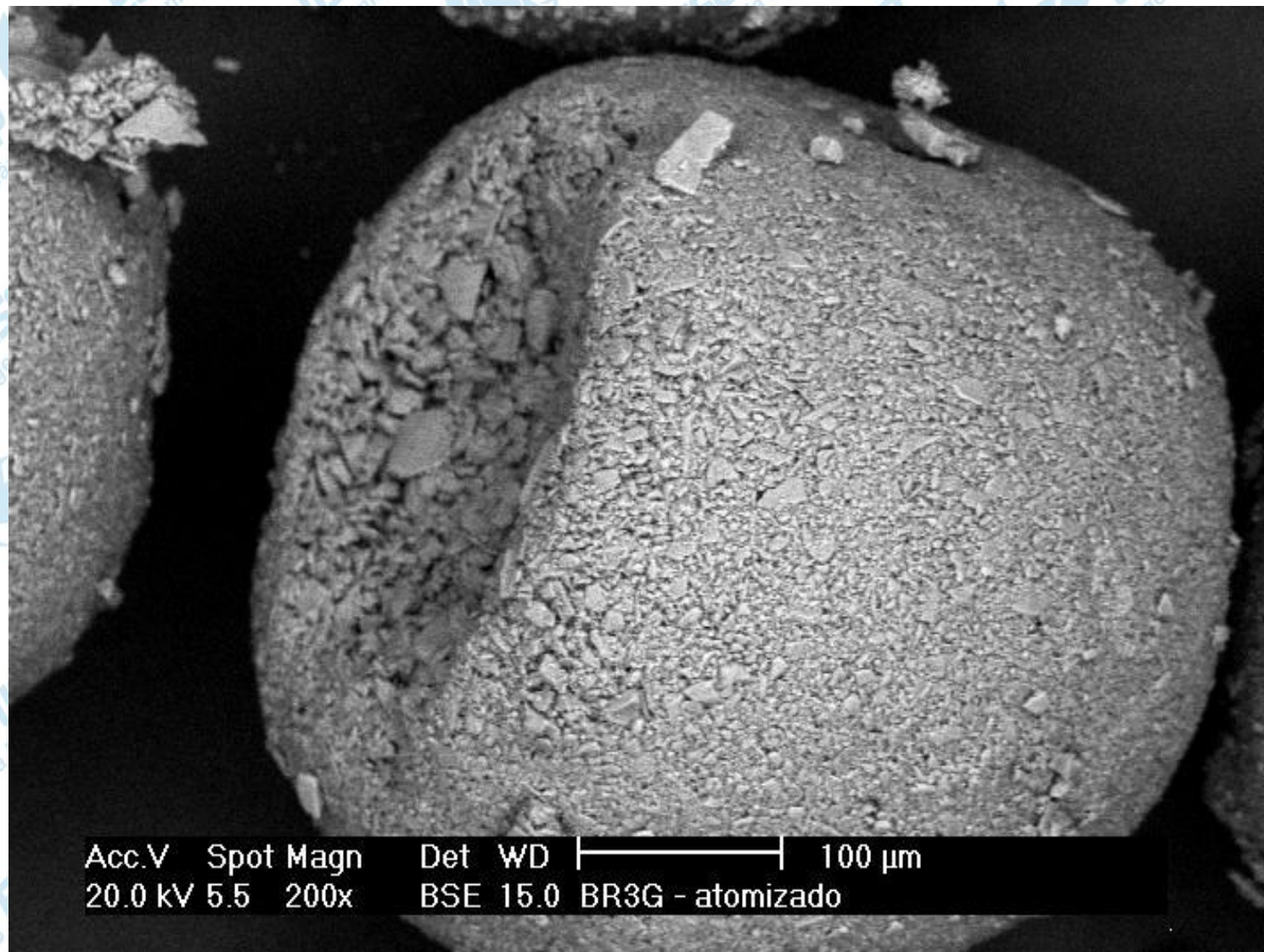
Grânulos no *Spray Drier* de pó de Alumina 0,5µm (autor)





Pó spray – Vidro BR3G





Conformação

- ✓ conformação coloidal;
- ✓ prensagem;
- ✓ moldagem plástica.



Conformação coloidal

✓ colagem de barbotina

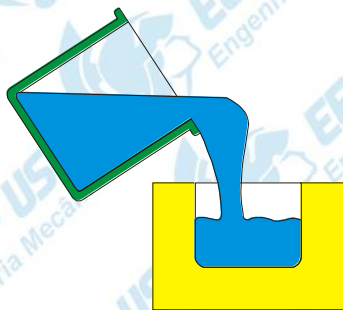
- drain casting,
- solid casting,
- vacuum casting,
- pressure casting,
- centrifugal casting,
- fugitive-mold casting,
- gel casting,
- electrophoretic deposition,...

✓ tape casting

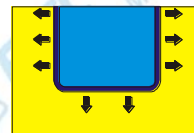
- doctor blade;
- waterfall



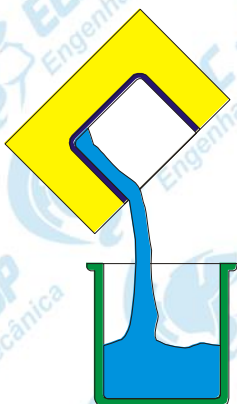
Colagem de barbotina



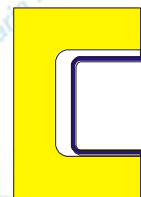
a) Preenchimento do molde com a barbotina.



b) Molde absorvendo a fase líquida, formando o compacto



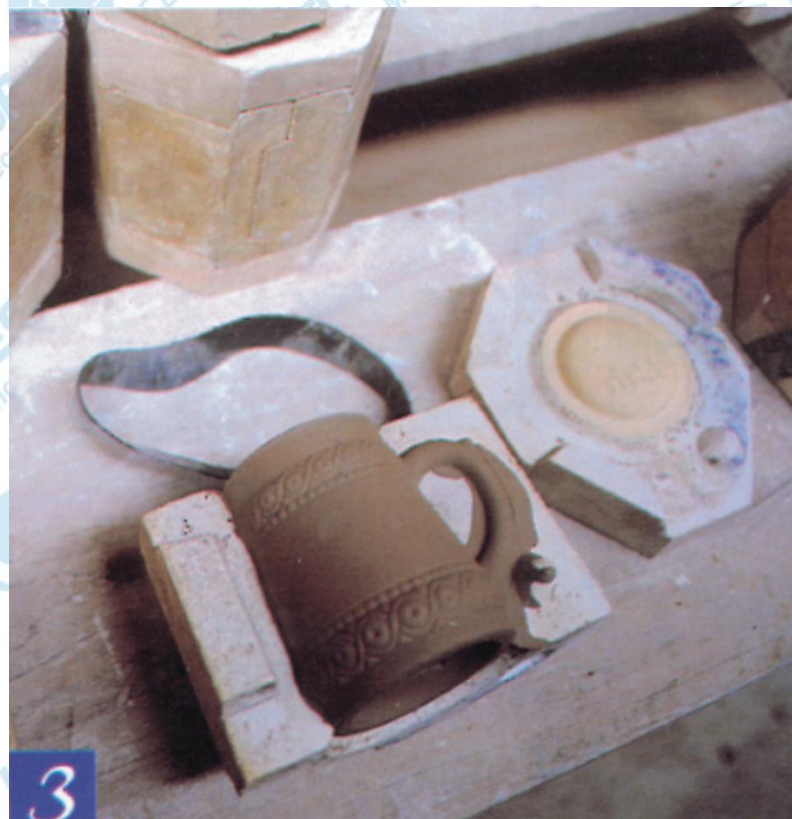
c) Drenagem do excesso de barbotina



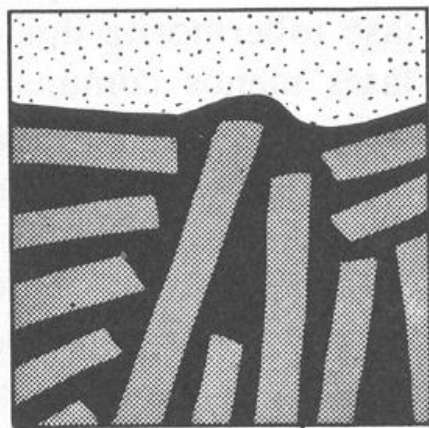
d) Remoção da peça após secagem parcial.



Colagem de barbotina

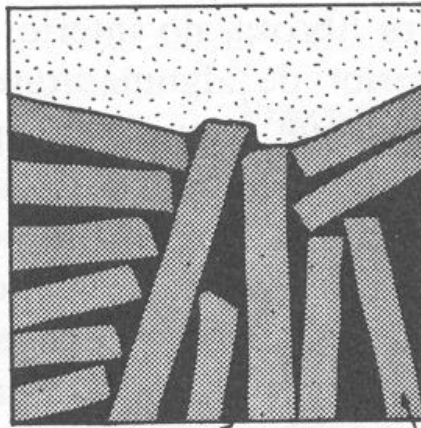


Secagem e aglomeração



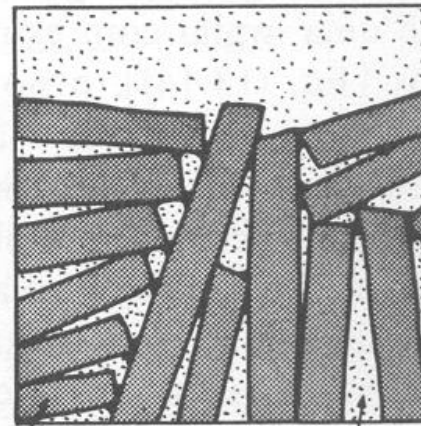
Água interpartículas

(a)



Água dos poros

(b)



Partículas de argila

Seco

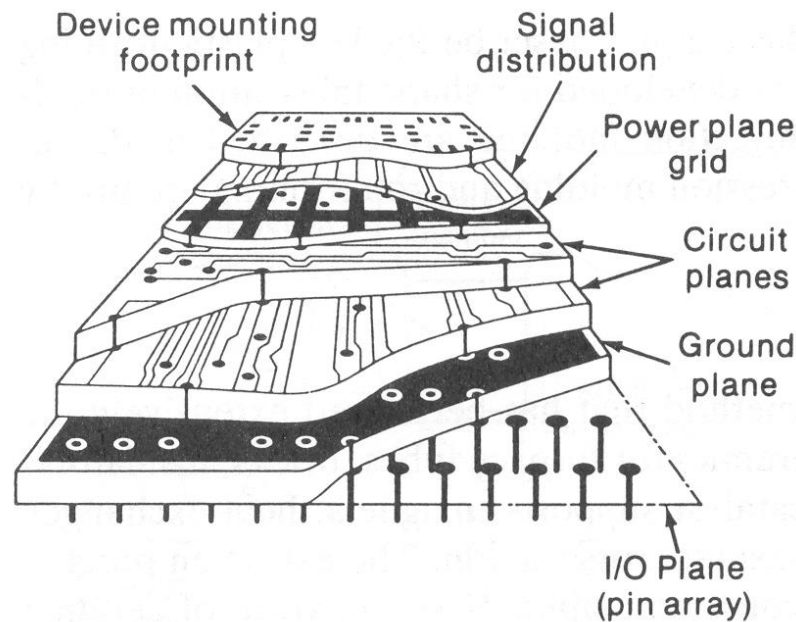
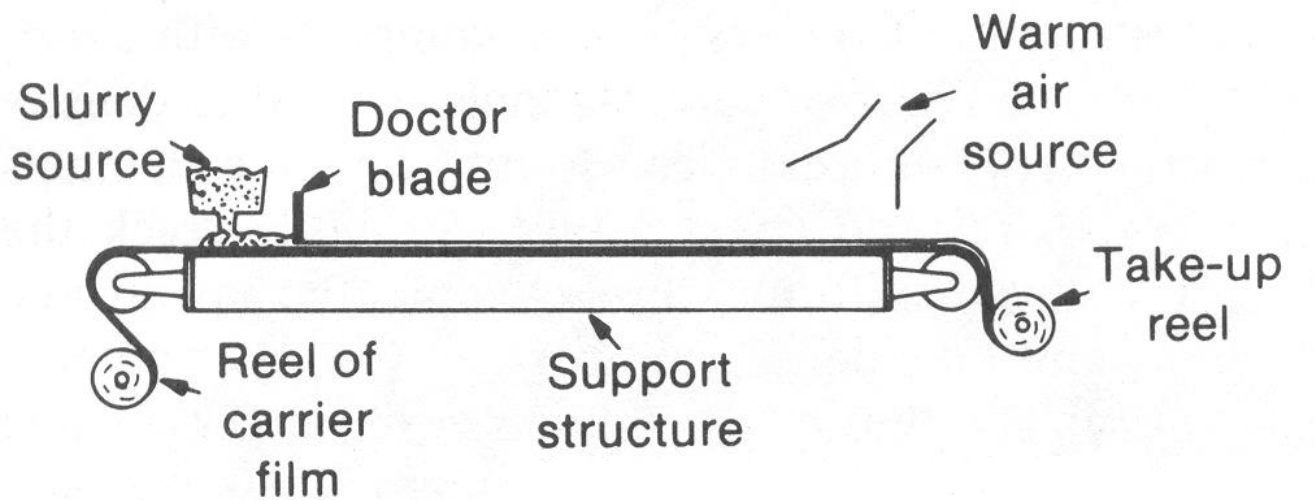
(c) e (d)

✓ Retração de secagem

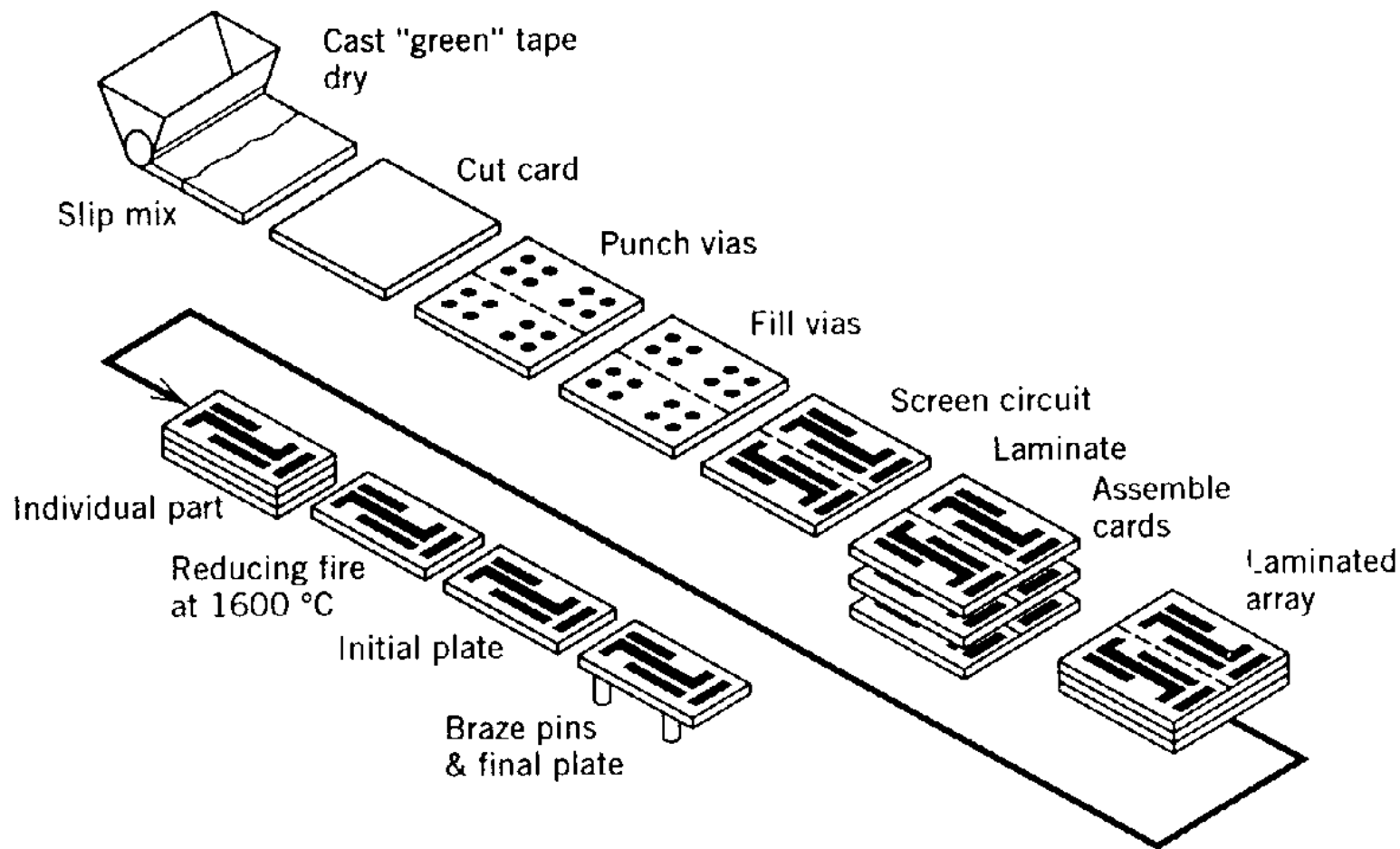
- deformações;
- gradiente de tensões



Tape casting



Multilayers

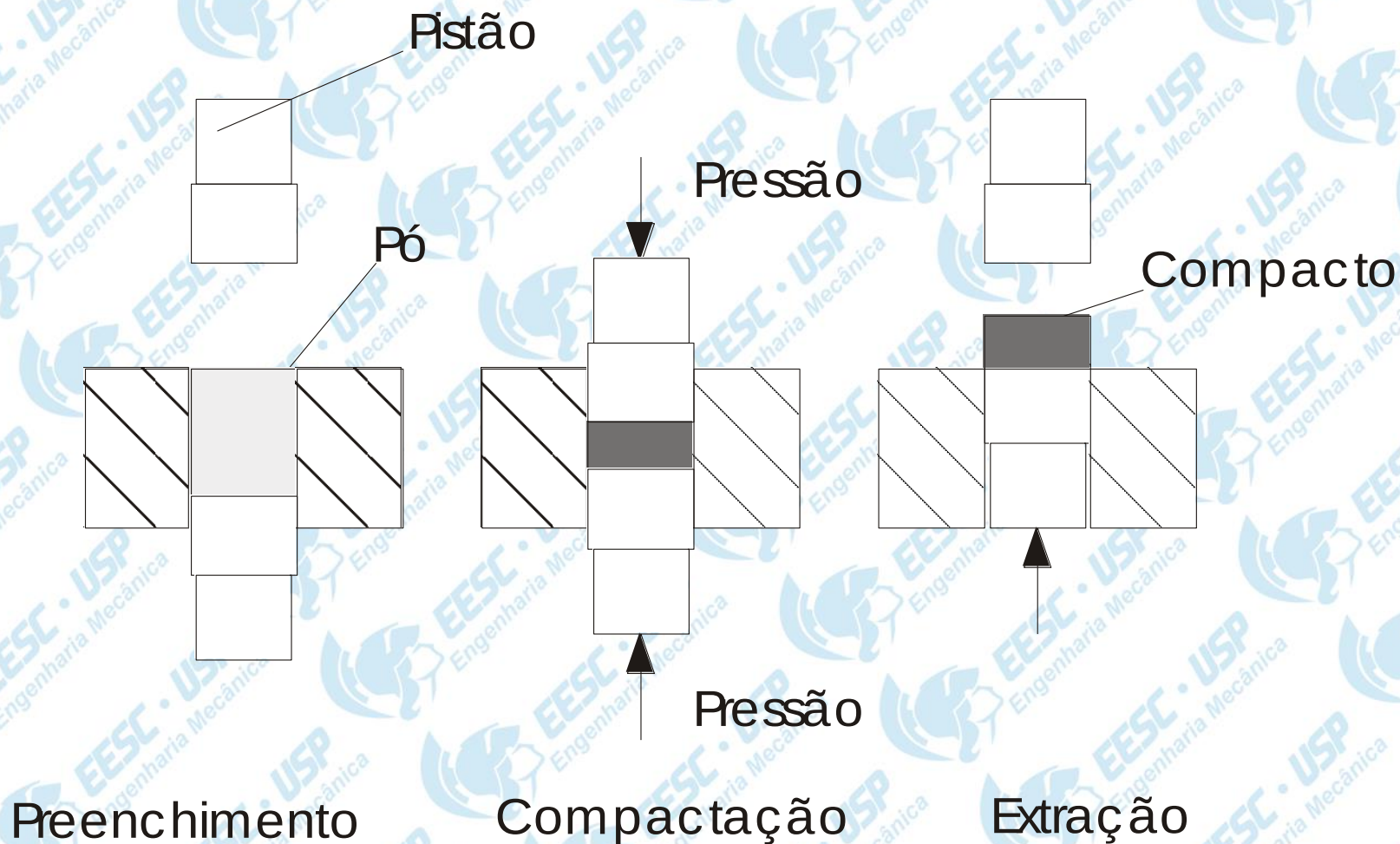


Prensagem

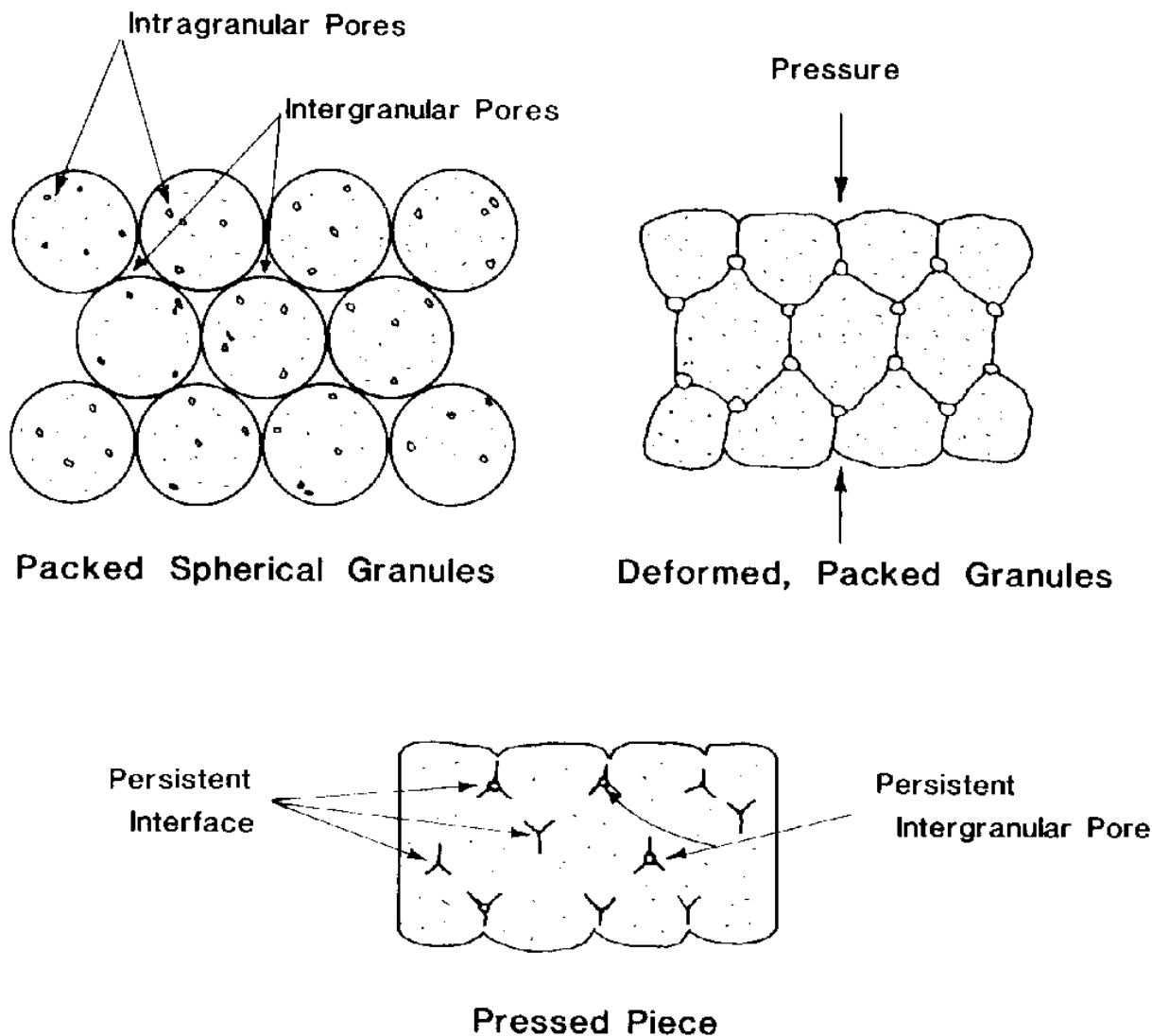
- ✓ Prensagem uniaxial;
 - Dupla ação;
 - Simples ação;
 - Prensagem a quente;
- ✓ Prensagem isostática;
 - Wet bag;
 - Dry bag
- ✓ Prensagem isostática a quente



Prensagem uniaxial



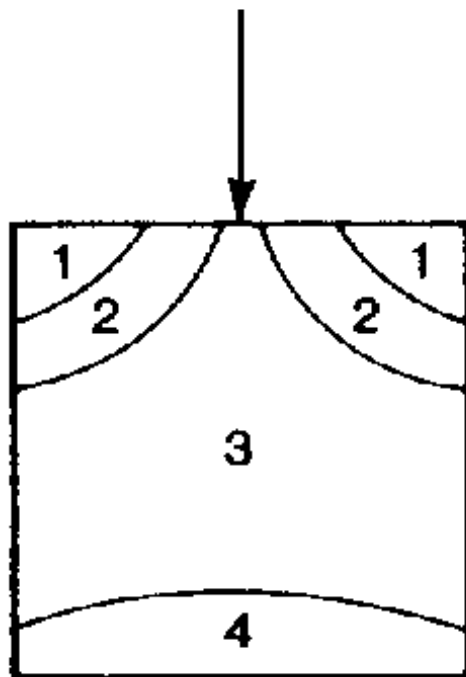
Prensagem e porosidade: esquema



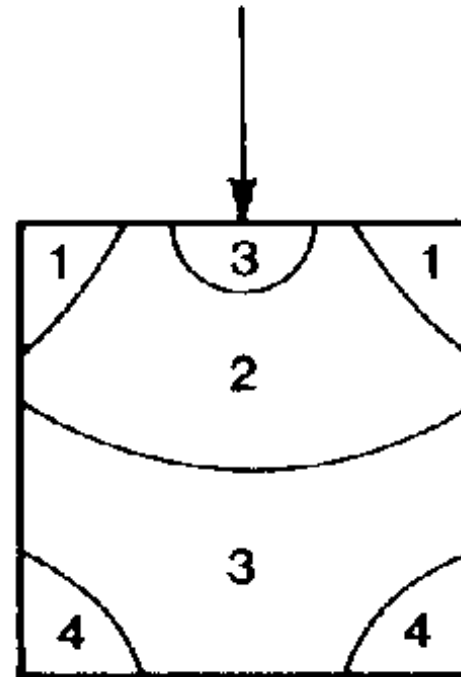
[Reed, 1995:428]



Perfis de pressão e densidade



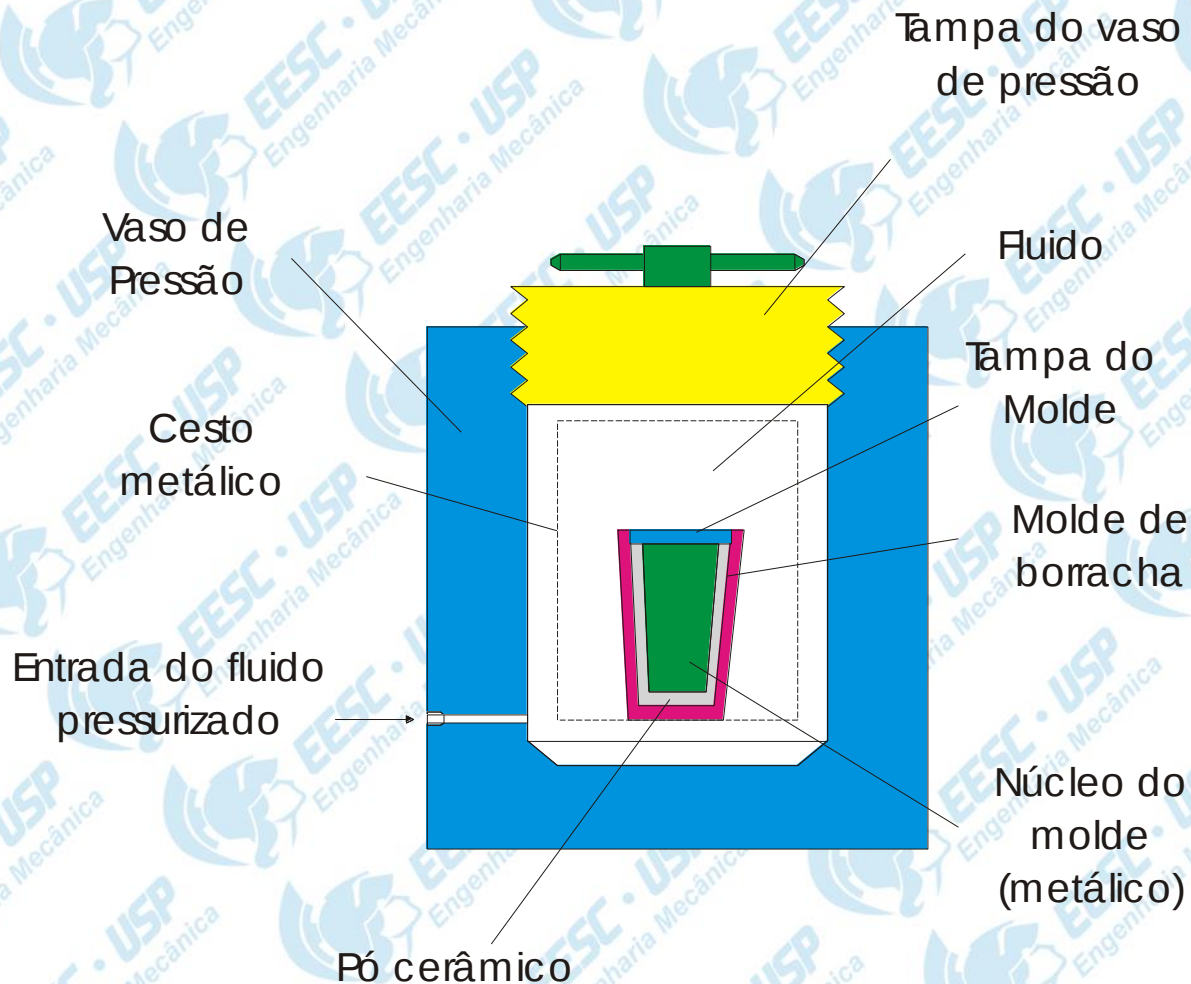
Begin Stage II



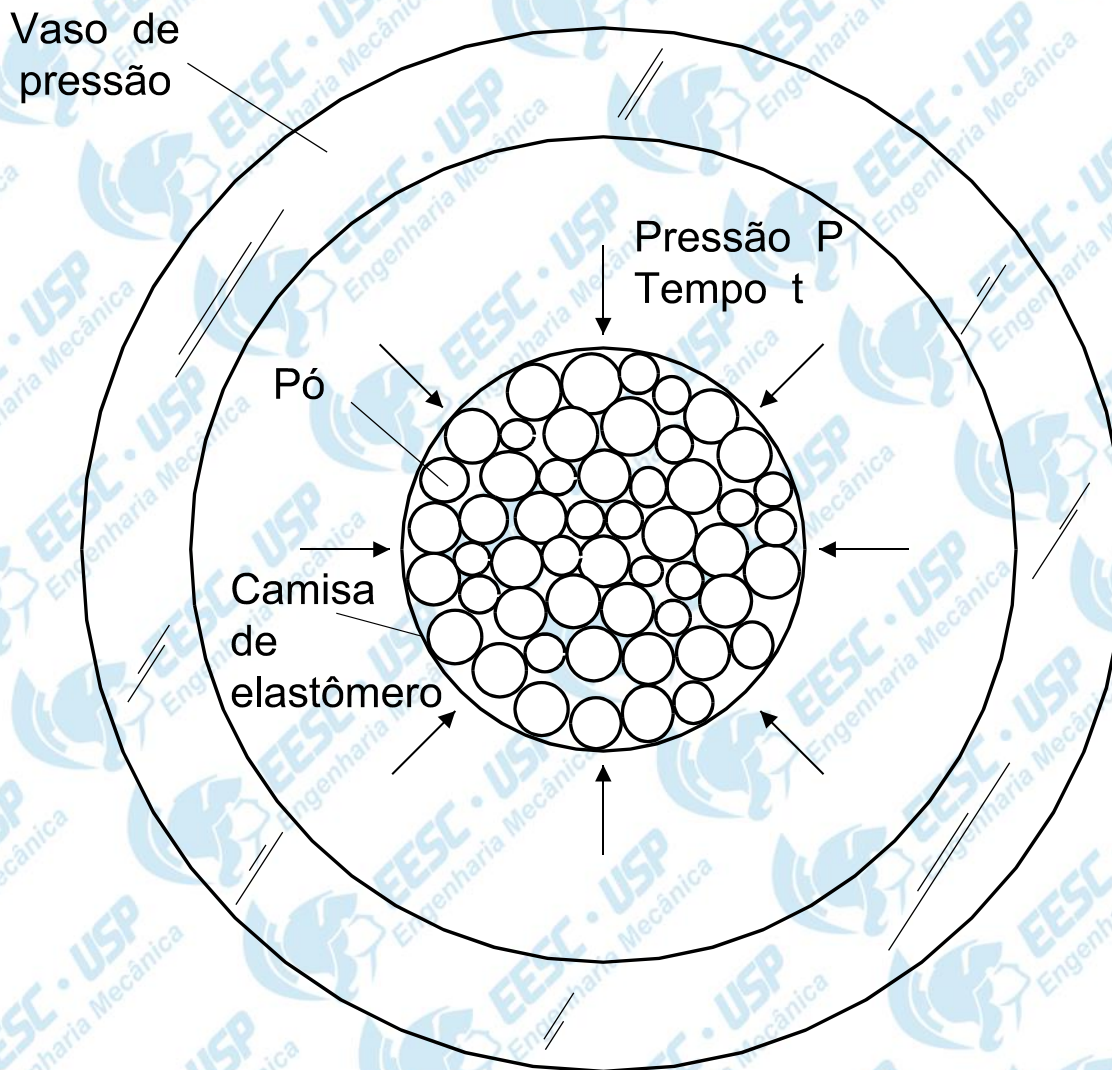
End Stage II



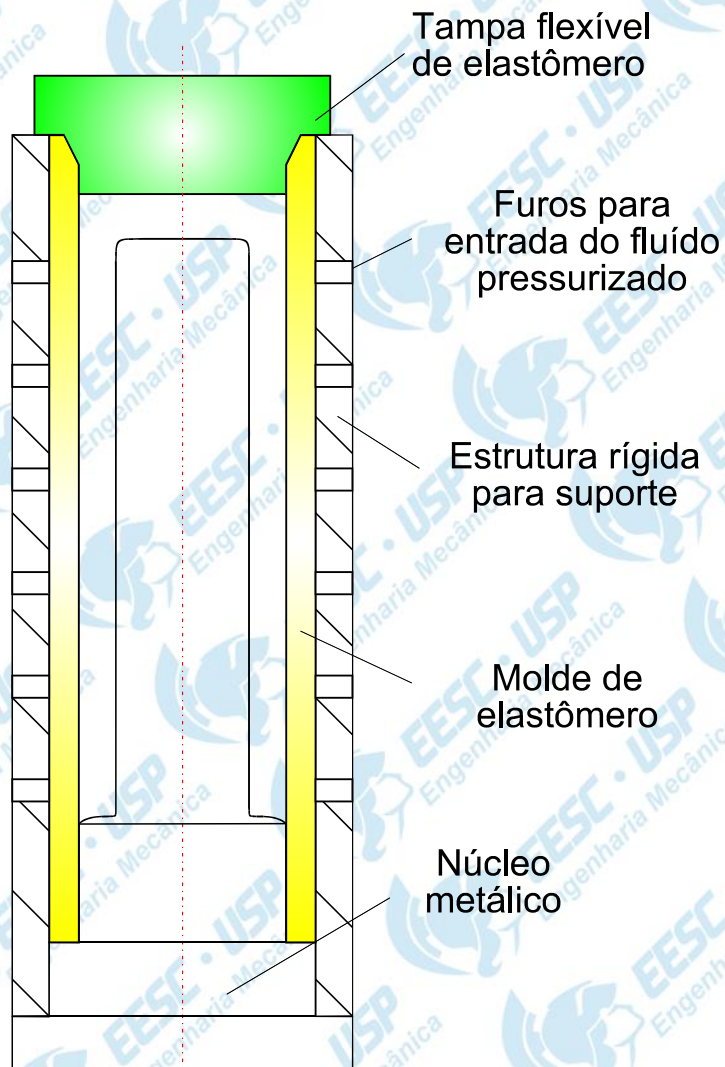
Prensagem isostática – wet bag



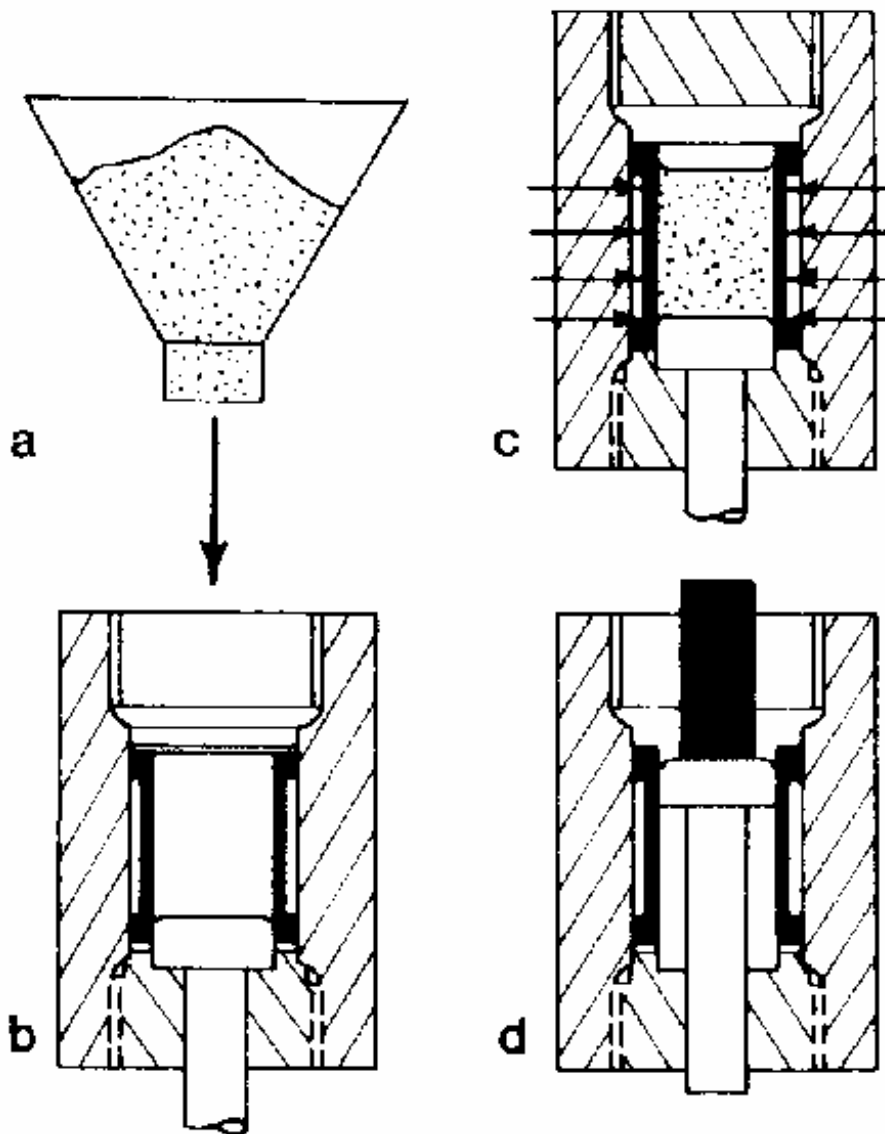
Prensagem isostática



Molde isostático de tubo



Prensagem Isostática: *DRY BAG*



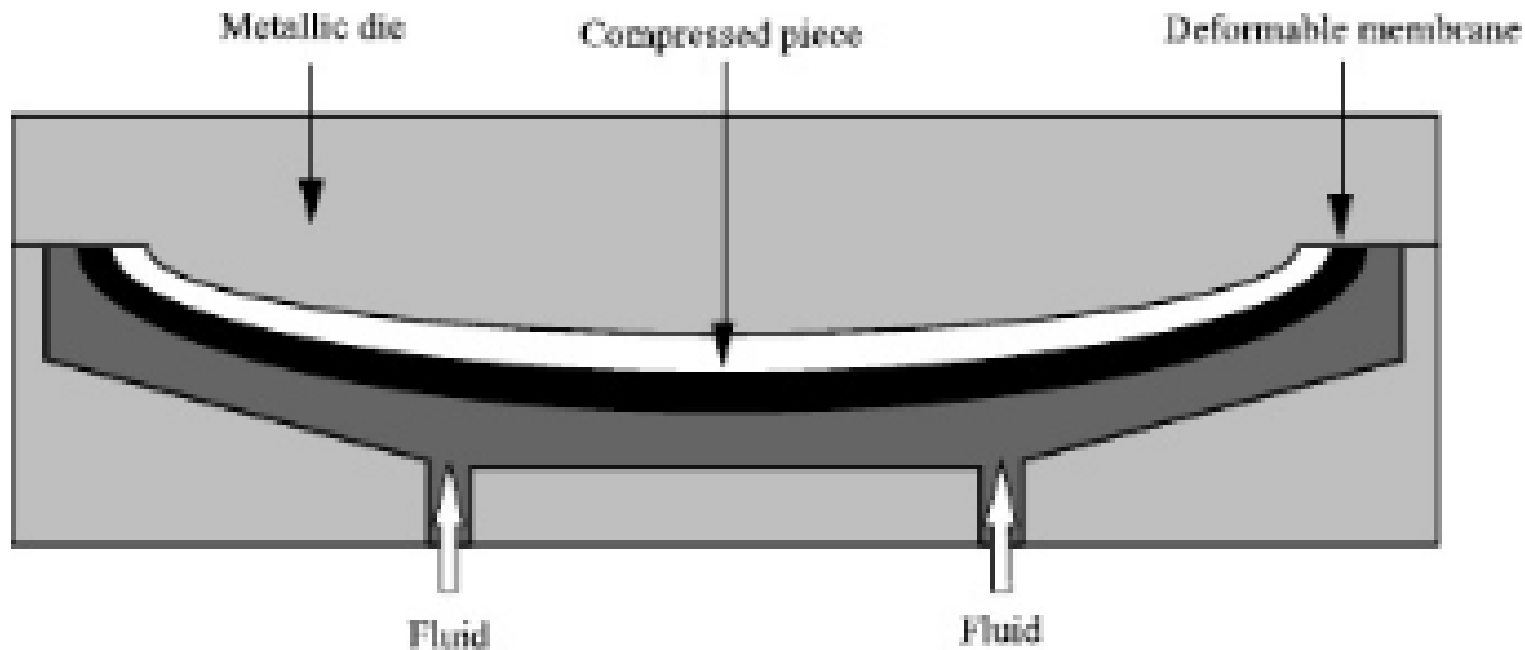


Figure 5.29. Principle of semi-isostatic pressing



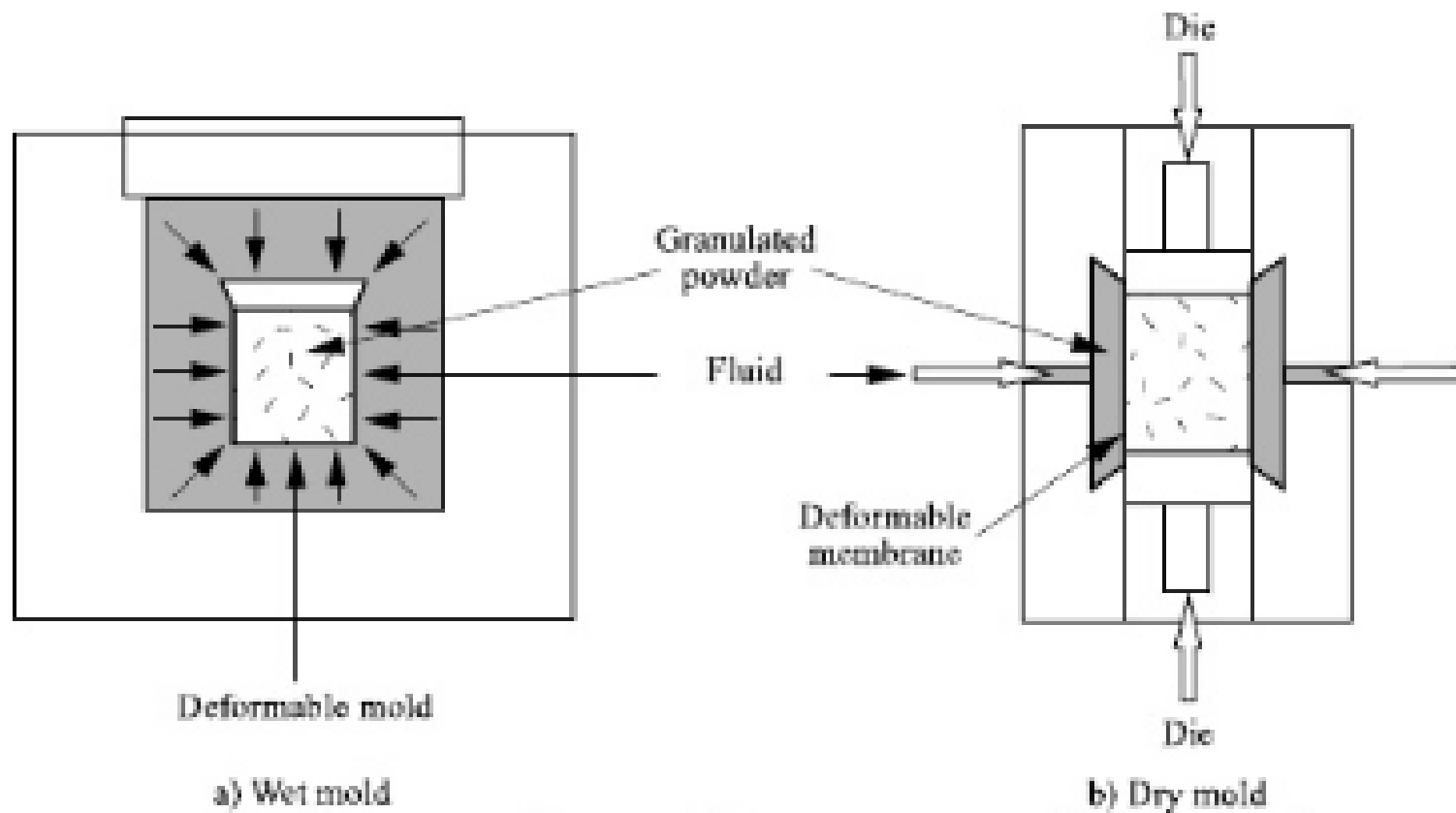


Figure 5.28. Principles of isostatic pressing: a) wet mold, b) dry mold



Moldagem plástica

Este processo inclui a extrusão, a injeção e a compressão.

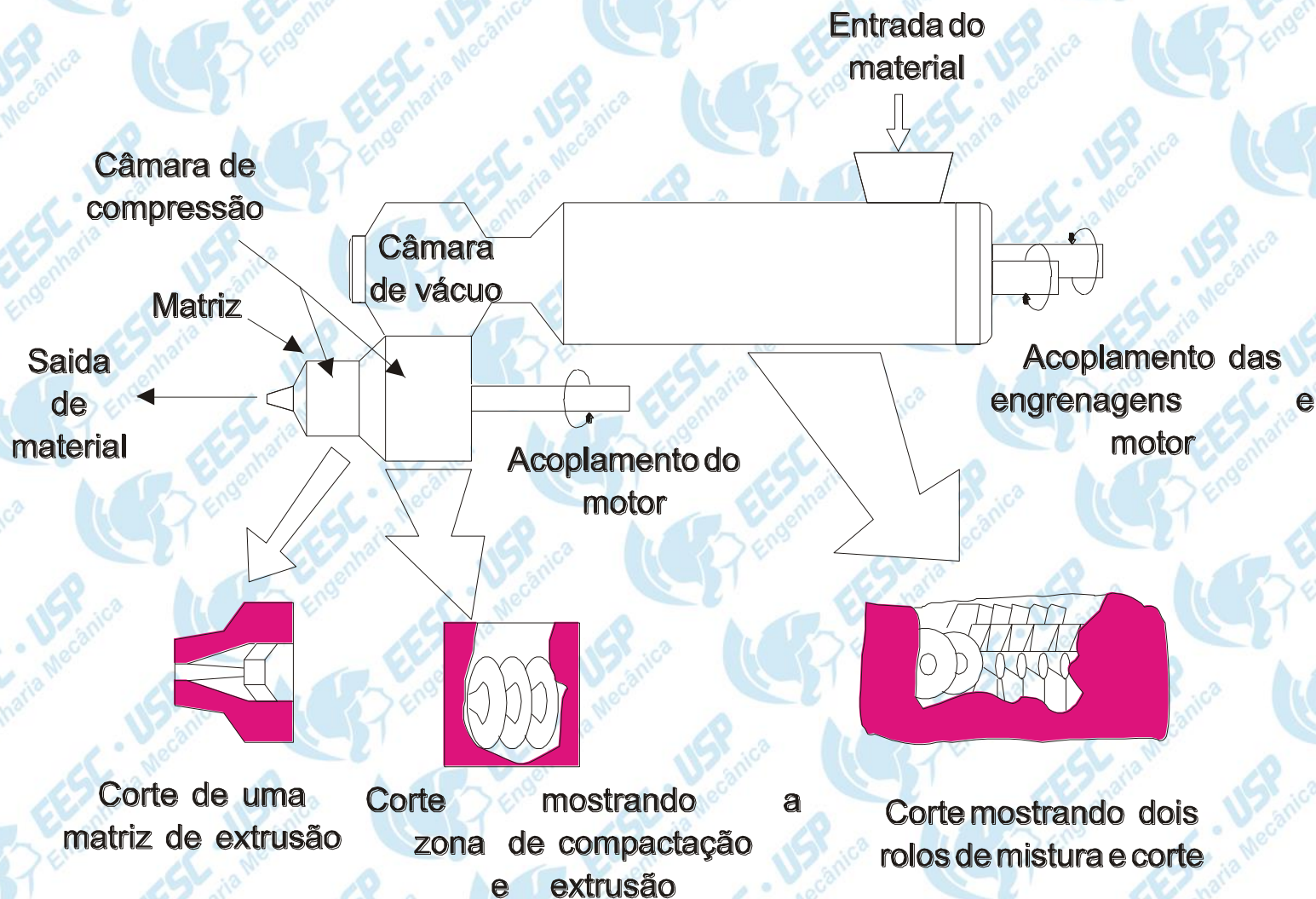
Neles é necessária uma quantidade de veículo orgânico na ordem de 25 a 50% para a obtenção de plasticidade. Em alguns casos pode-se aplicar calor simultaneamente com a pressão.

A maior dificuldade no processo de moldagem plástica é a remoção do material orgânico antes da queima.

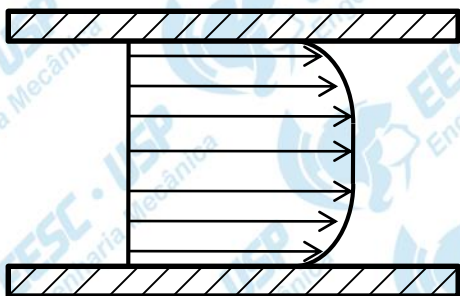
O processo de extrusão é muito aplicado para fabricação de tijolos, tubos, tubos pirométricos, isoladores e outras formas alongadas com seção constante.



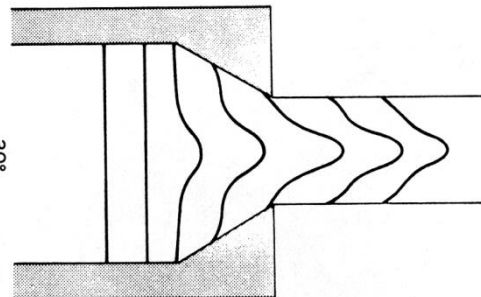
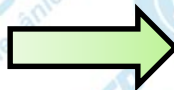
Extrusão



Características

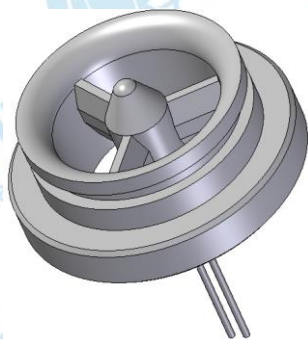


Diferencial de fluxo

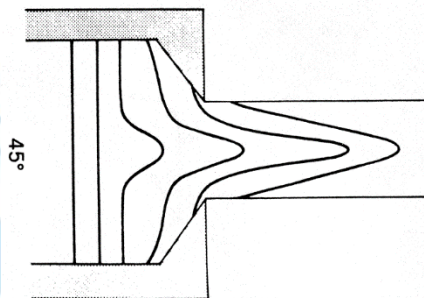


Perfil de velocidade

Recursos



Spider - torpedo

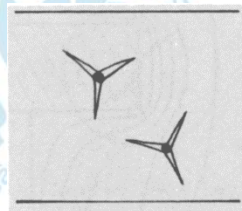
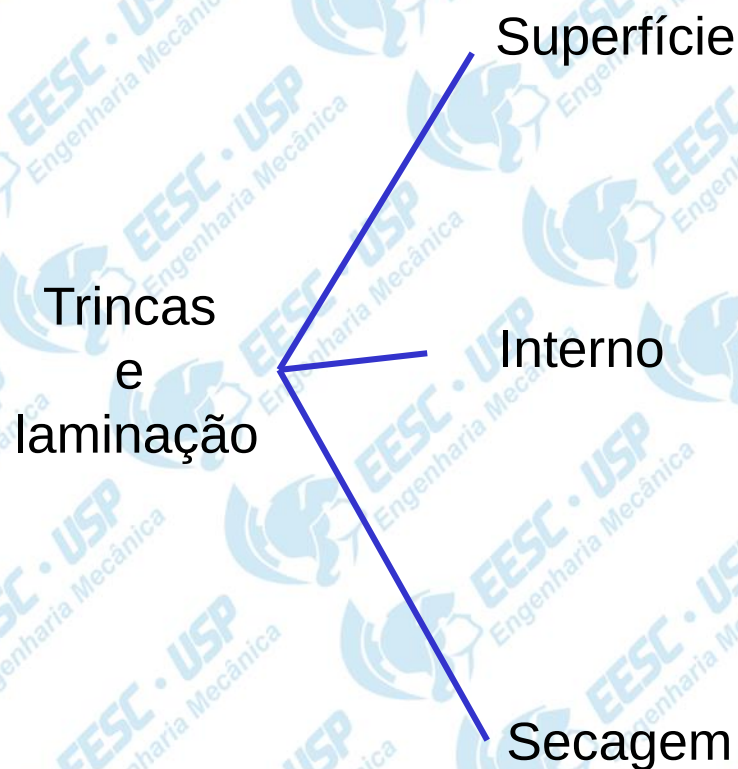


Ângulos de Matriz

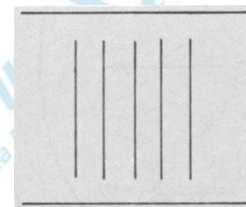


Defeitos

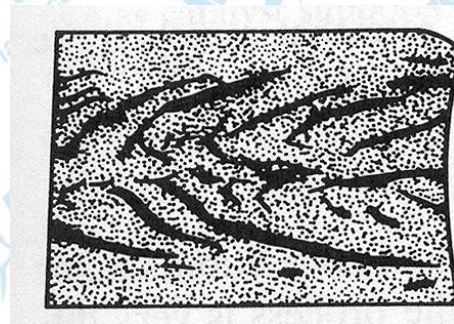
Resistência e Rigidez insuficiente → rupturas e deformações



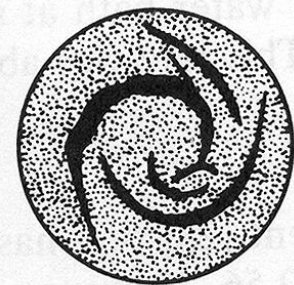
Pés de galinha



Laminação



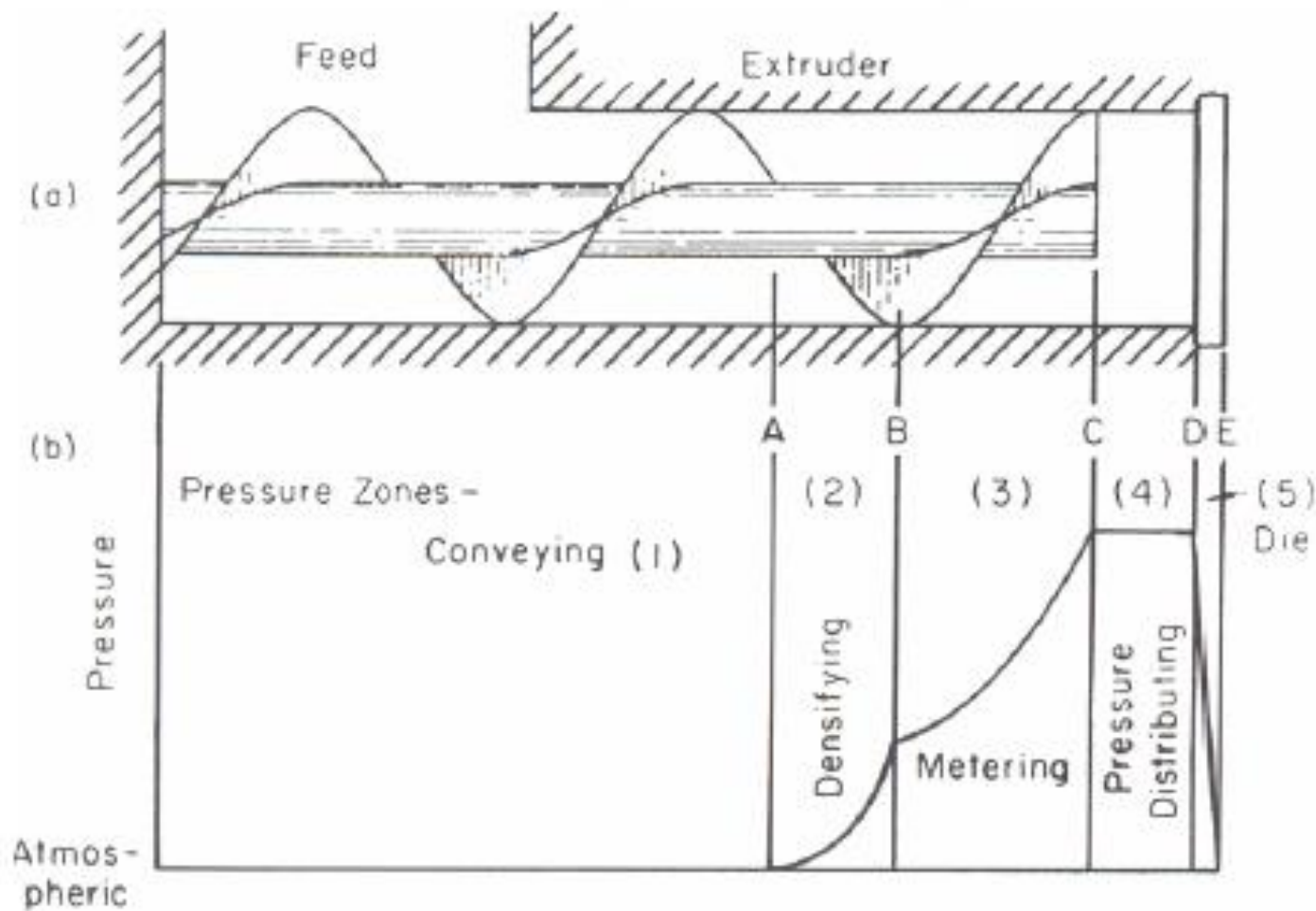
Retração

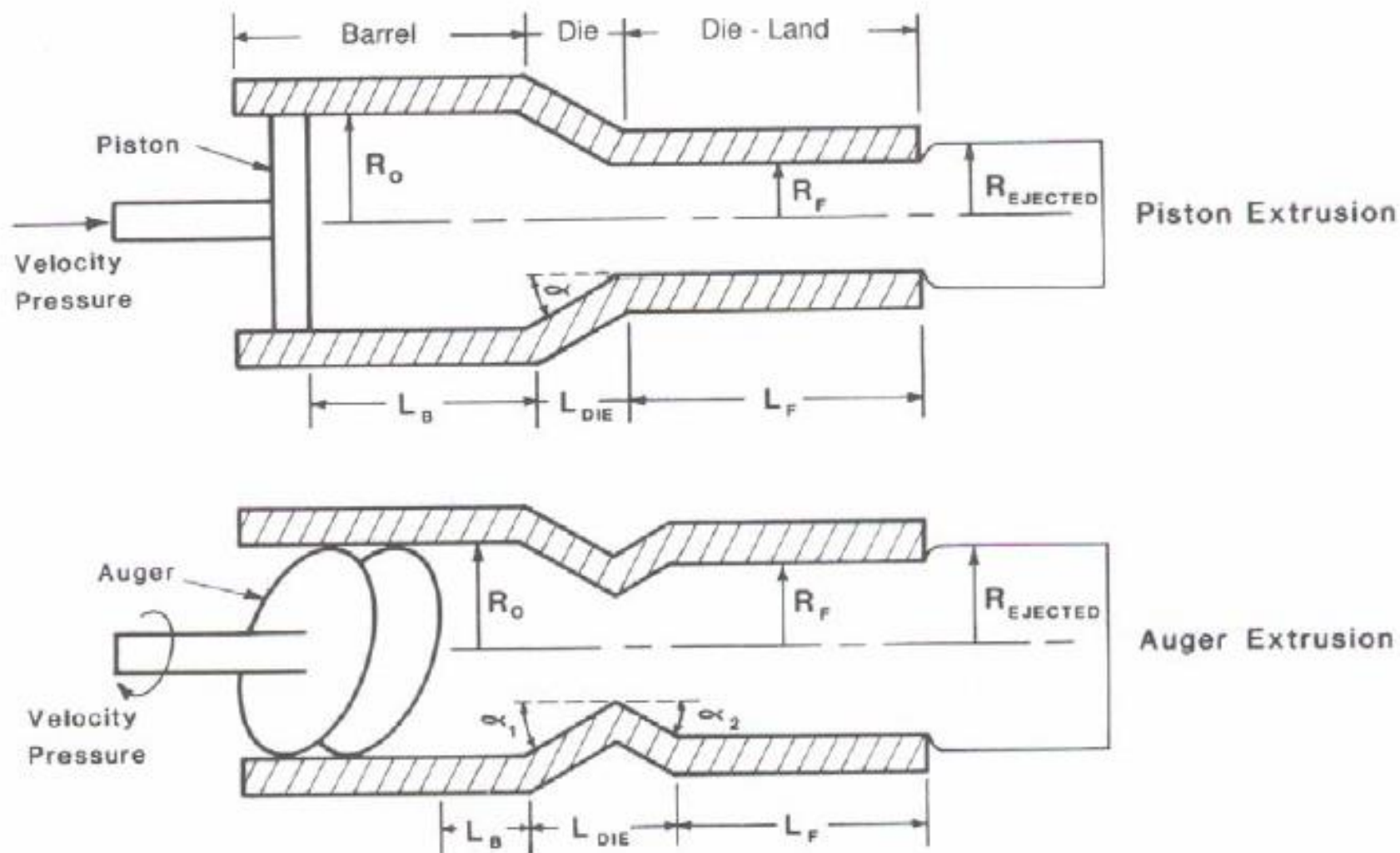


Aprisionamento de gases

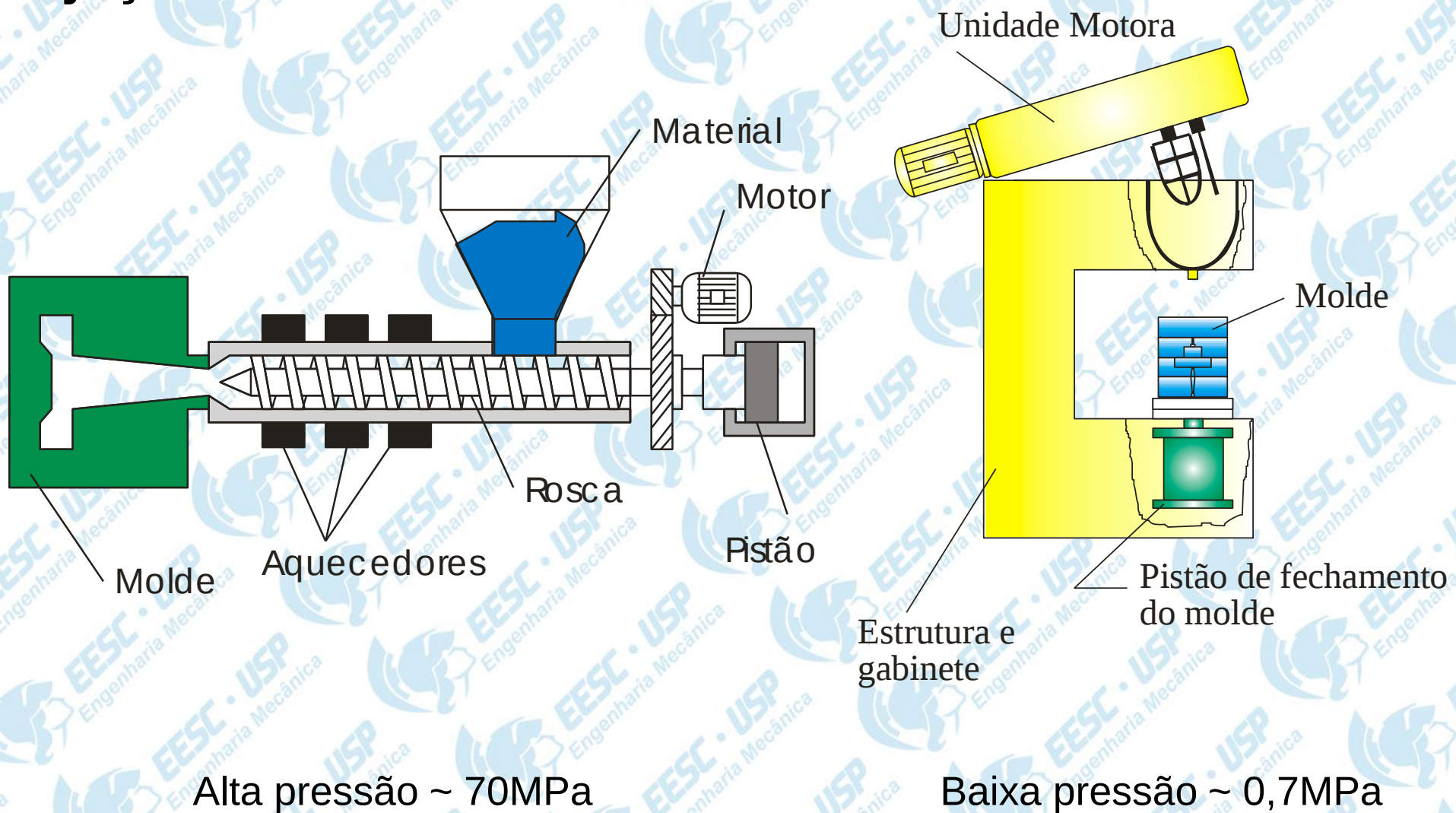
[Reed, 1995:467] [Richerson, 1992: 487]



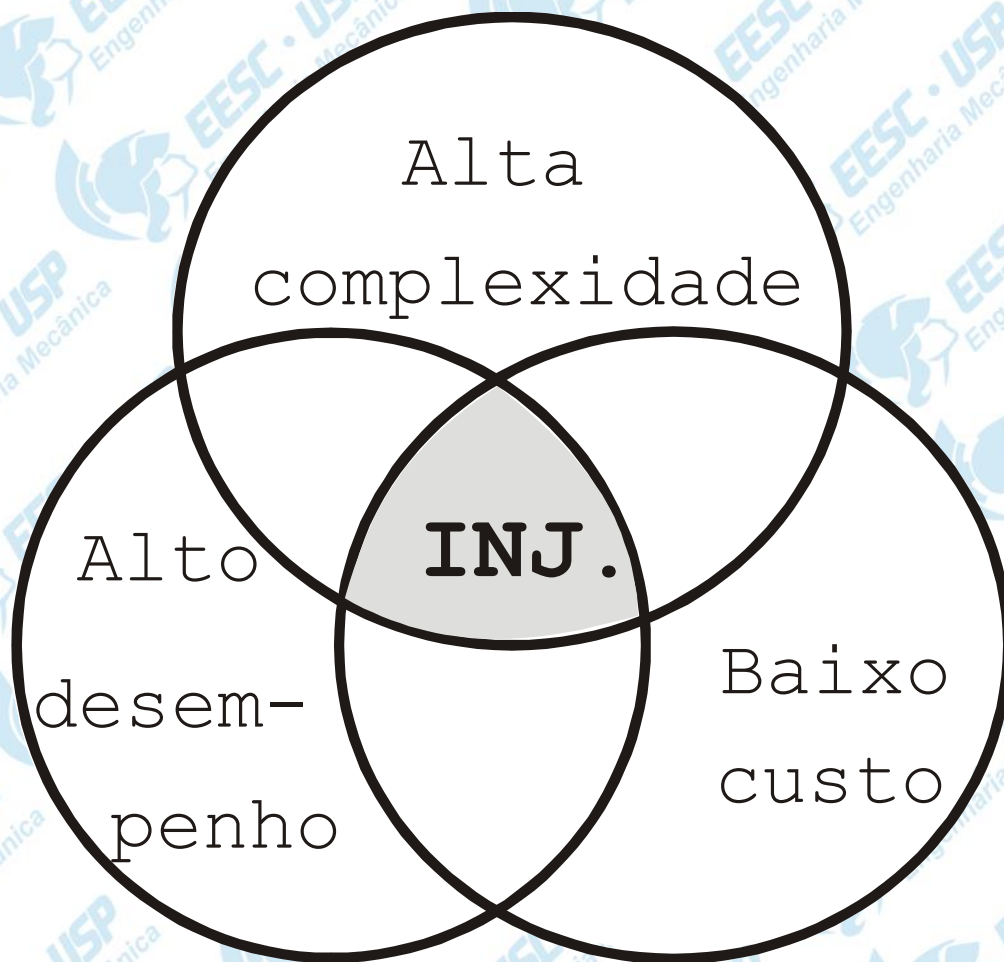


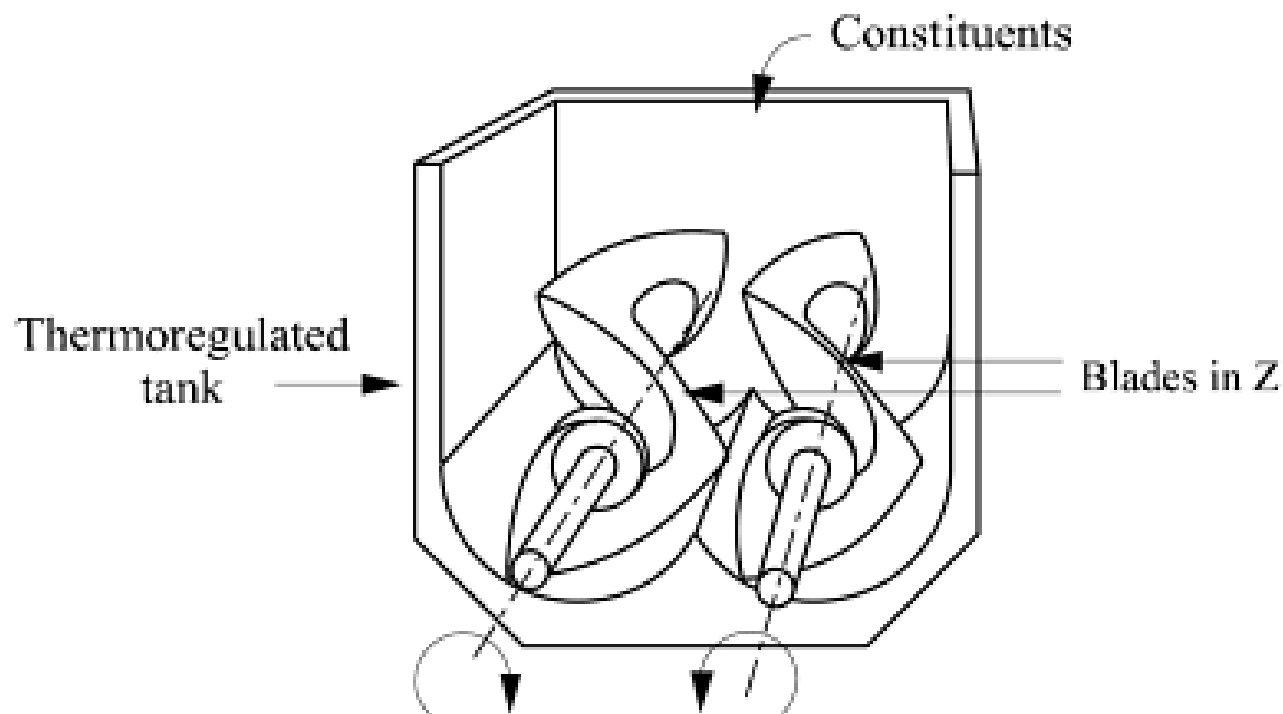


Injeção cerâmica



Injeção cerâmica - compromisso





Usinagem a verde

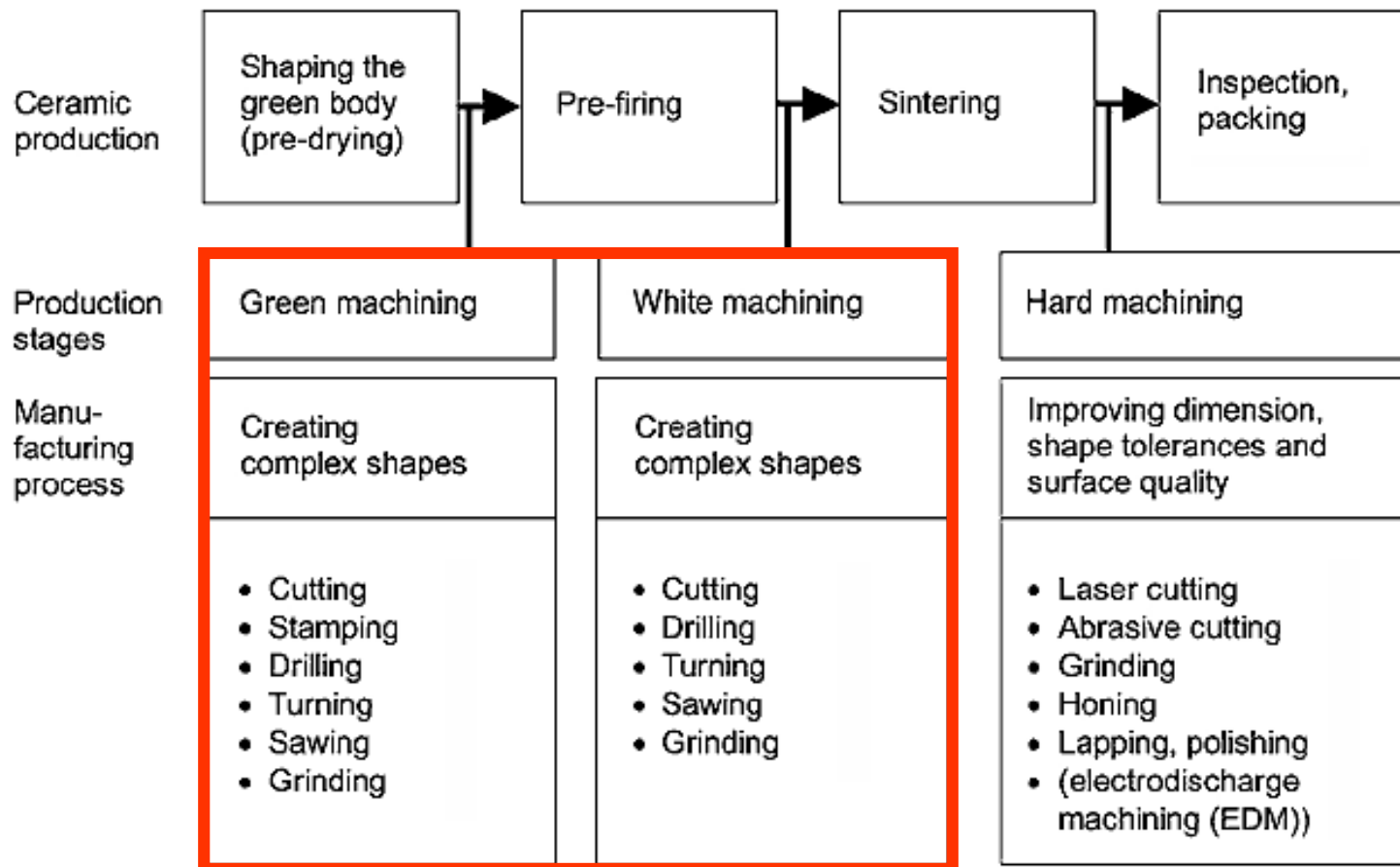
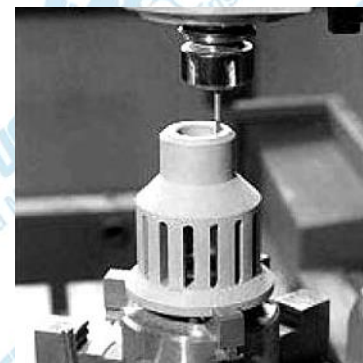


Figure 62: Classification of green, white and hard machining in the production process



Usinagem a verde



http://www.keramverband.de/brevier_engl/4/1/4_1_6.htm



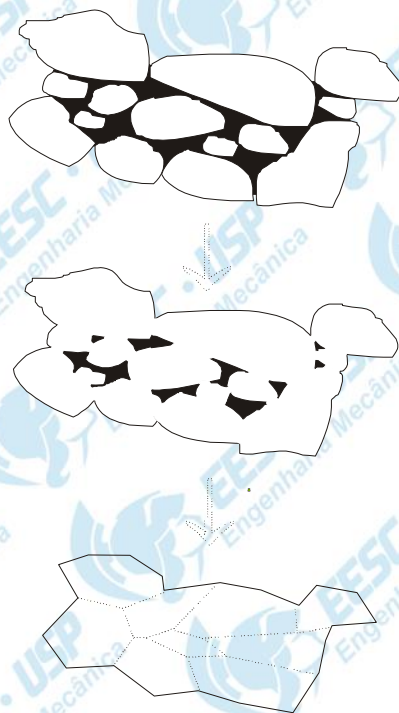
Sinterização



Sinterização (queima)



Cerâmica - sinterização



Mecanismos

Fase-Vapor
Estado Sólido

Fase-Líquida
Líquido-Reativo





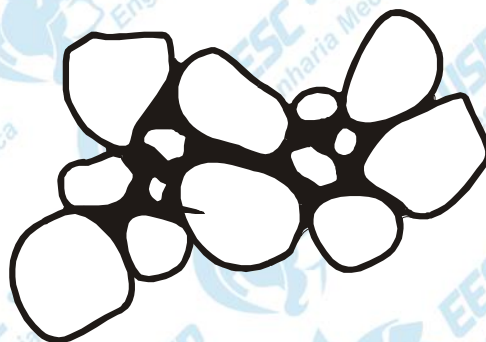
Partícula



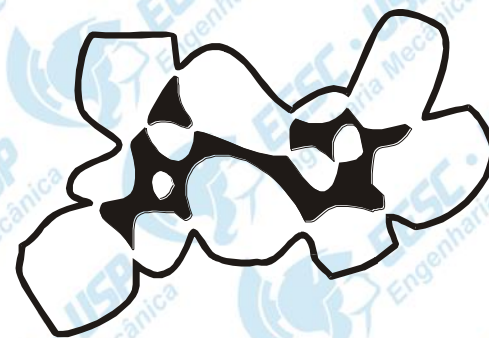
Porosidade



a)



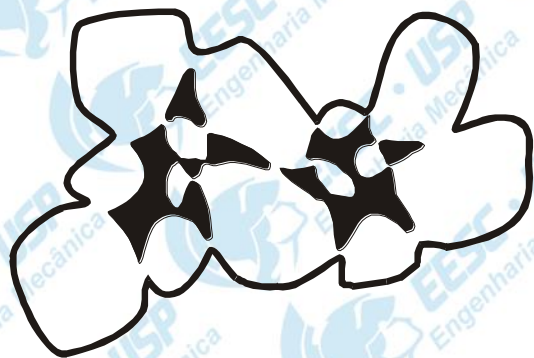
b)



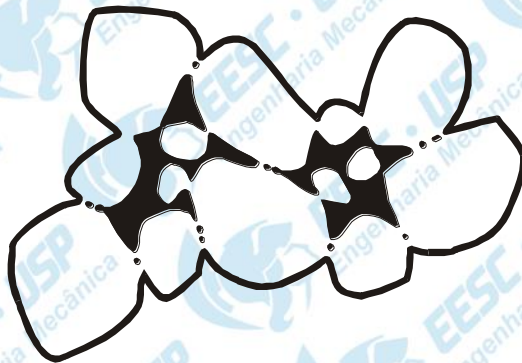
c)



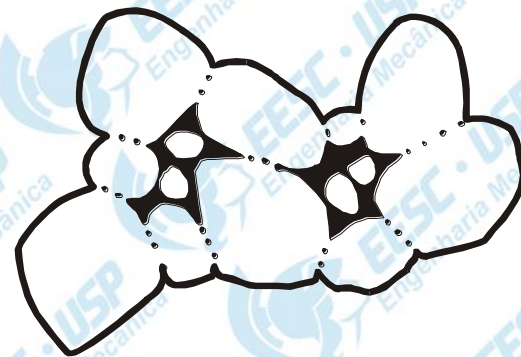
..... Contorno de grão
○ Partícula
▼ Porosidade



(a)

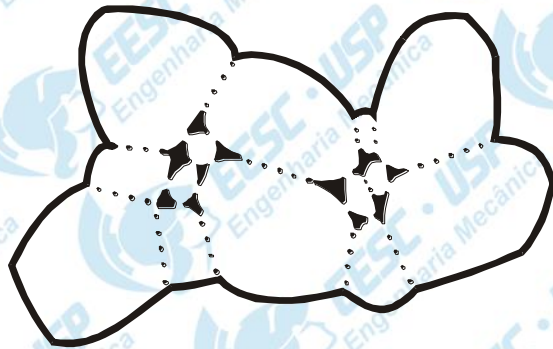


(b)

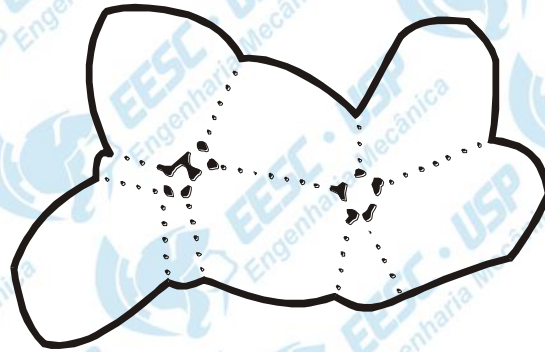


(c)

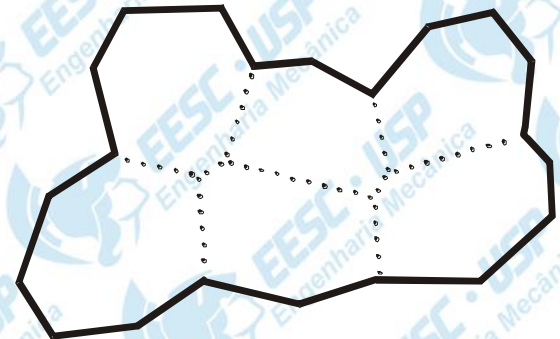




(a)



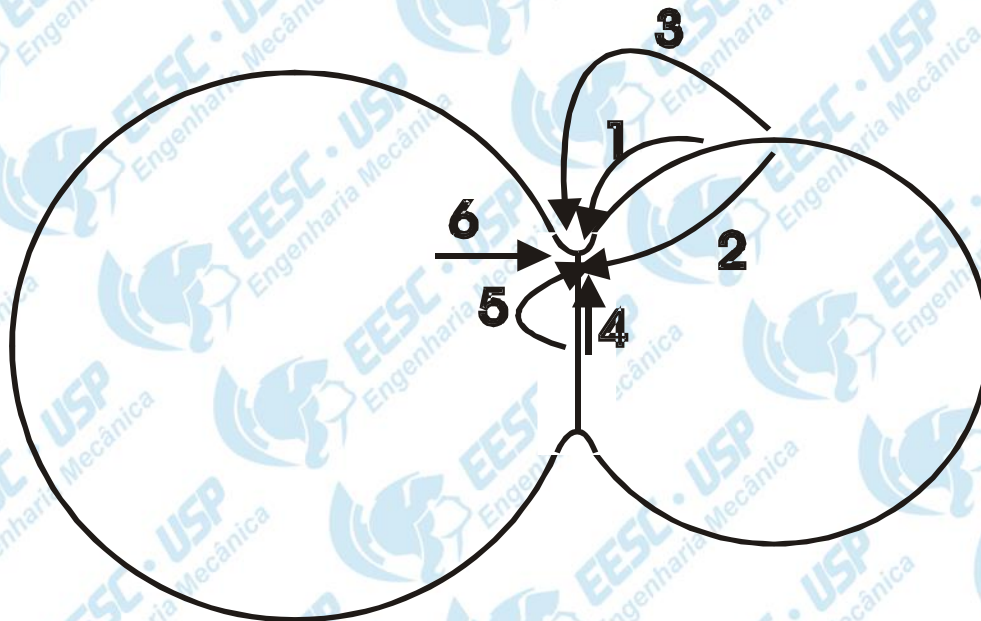
(b)



(c)



Sinterização por fase sólida

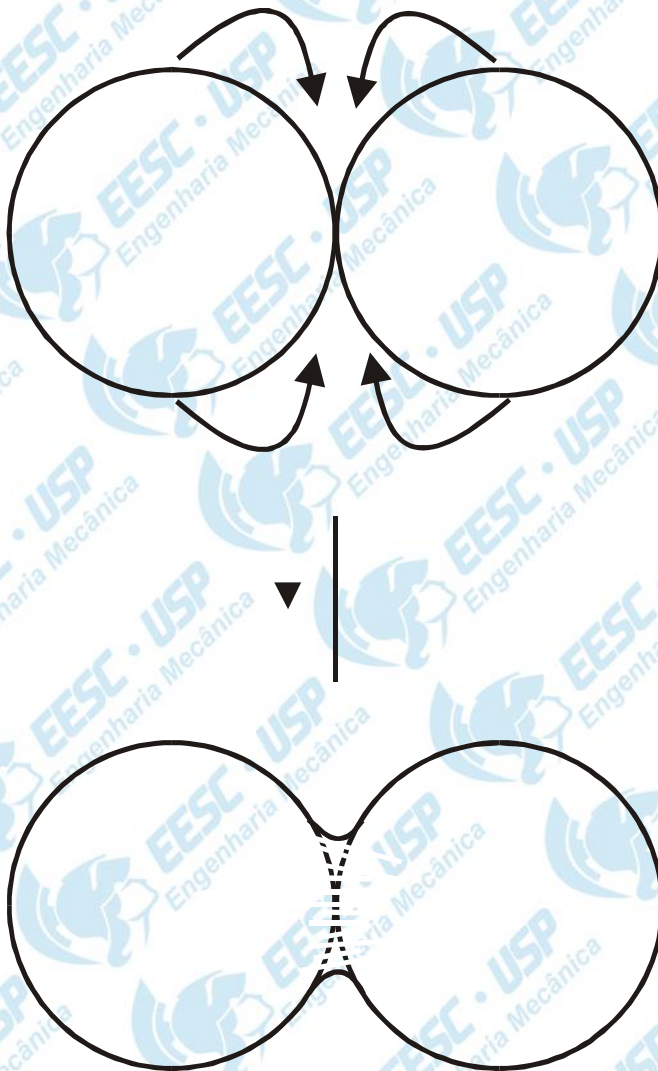


Caminhos

- 1 - Difusão Superficial
- 2 - Difusão na rede
- 3 – Vapor
- 4 - Difusão no contorno
- 5 - Difusão na rede
- 6 - Difusão na rede



Sinterização por fase vapor



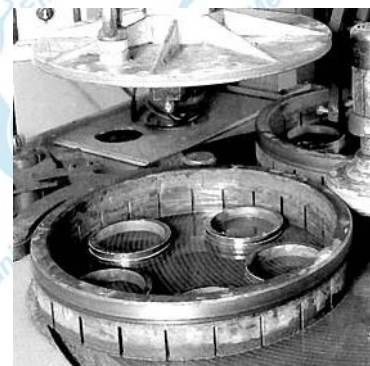
Pós Queima



Acabamento

Methods	Tool material	Goal
Grinding	Mechanically bonded grit, wet; diamond grinding wheel	Coarse or fine machining (e.g., profiles and bearing surfaces), Manufacture of functional surfaces while complying with the required tolerances and surface qualities.
Cutting	Mechanically bonded grit, wet; diamond cutting wheel Diamond grinding wheel	Separation of blanks
Honing	Mechanically loose grit, wet Diamond honing bar	Improving the dimensional precision and surface quality (e.g., sliding surfaces)
Lapping, polishing	Mechanically loose grit, wet Diamond lapping mixture	Improving the dimensional precision and surface quality (e.g., section preparation, sealing surfaces)
Ultrasonic lapping	Mechanically loose grit, wet; diamond lapping mixture.	Drilling, engraving
Water jet cutting	Mechanically loose grit, wet	Cutting
Sandblasting	Mechanically loose grit, dry	Removal of softer areas on the surface; surface roughing
EDM	Electric; copper, tungsten or graphite electrode	Complex shapes, almost only with SISIC
Laser processing	Thermal; CO ₂ laser	Drilling, separating, cutting

Table 7: Possible finishing processes.



Recobrimento

- ✓ Esmaltação;
- ✓ Thermo deposição



Thermo spray

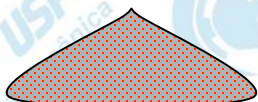
Rod



Wire



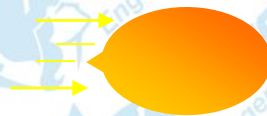
Powder



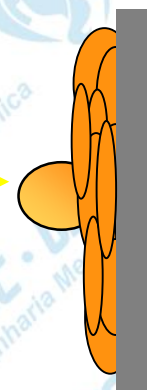
Feedstock Materials



Heat Source



Acceleration



Impact



Splatting & Cooling

Thermal Spray

Combustion

Low Vel.

Flame-Wire

Flame-Rod

Flame-Powder

High Vel.

D-Gun

HVOF

HVAF

HVIF

Plasma

Air [APS]

Low Vel.

High Vel.

Controlled Atmosphere

Vacuum [VPS]

Inert [CAPS]

Underwater [UPS]

Shrouded [SPS]

Wire-Arc/ Arc-Spray

Air

Controlled Atmosphere

Shrouded

Vacuum

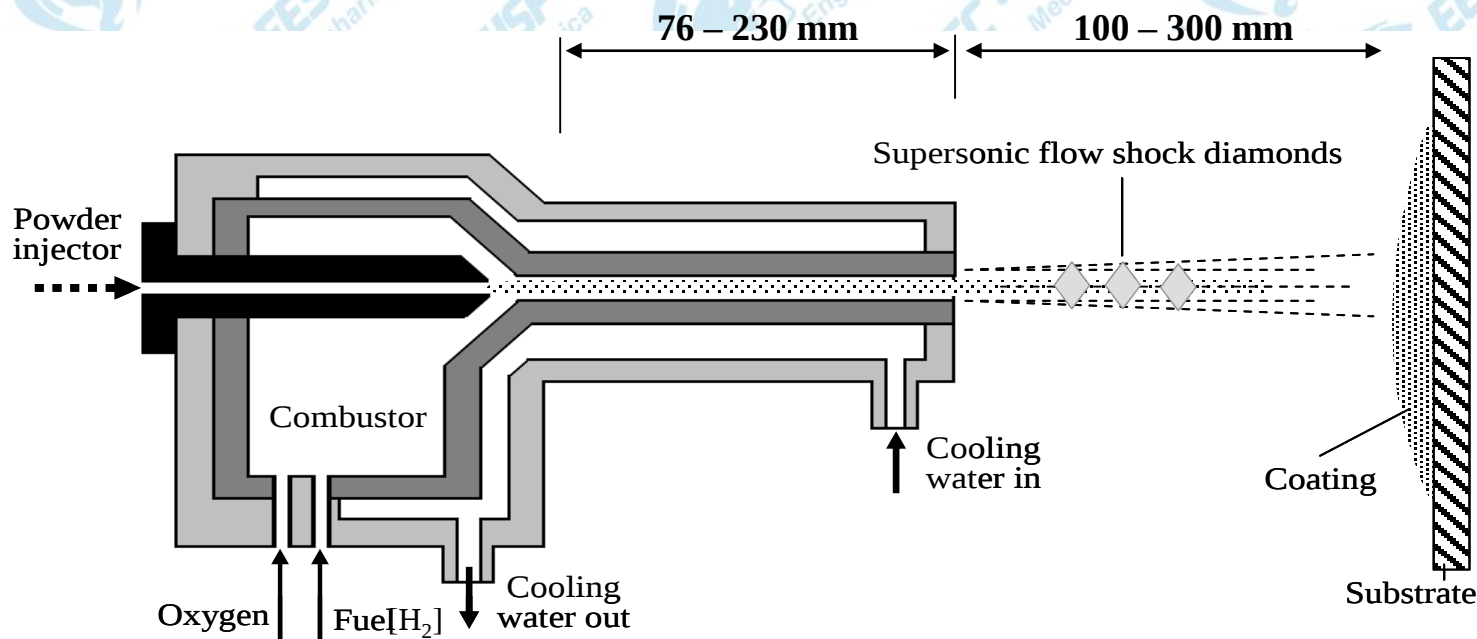
Inert

Cold-Spray

Helium

Nitrogen

HVOF Combustion Spray



Process Characteristics

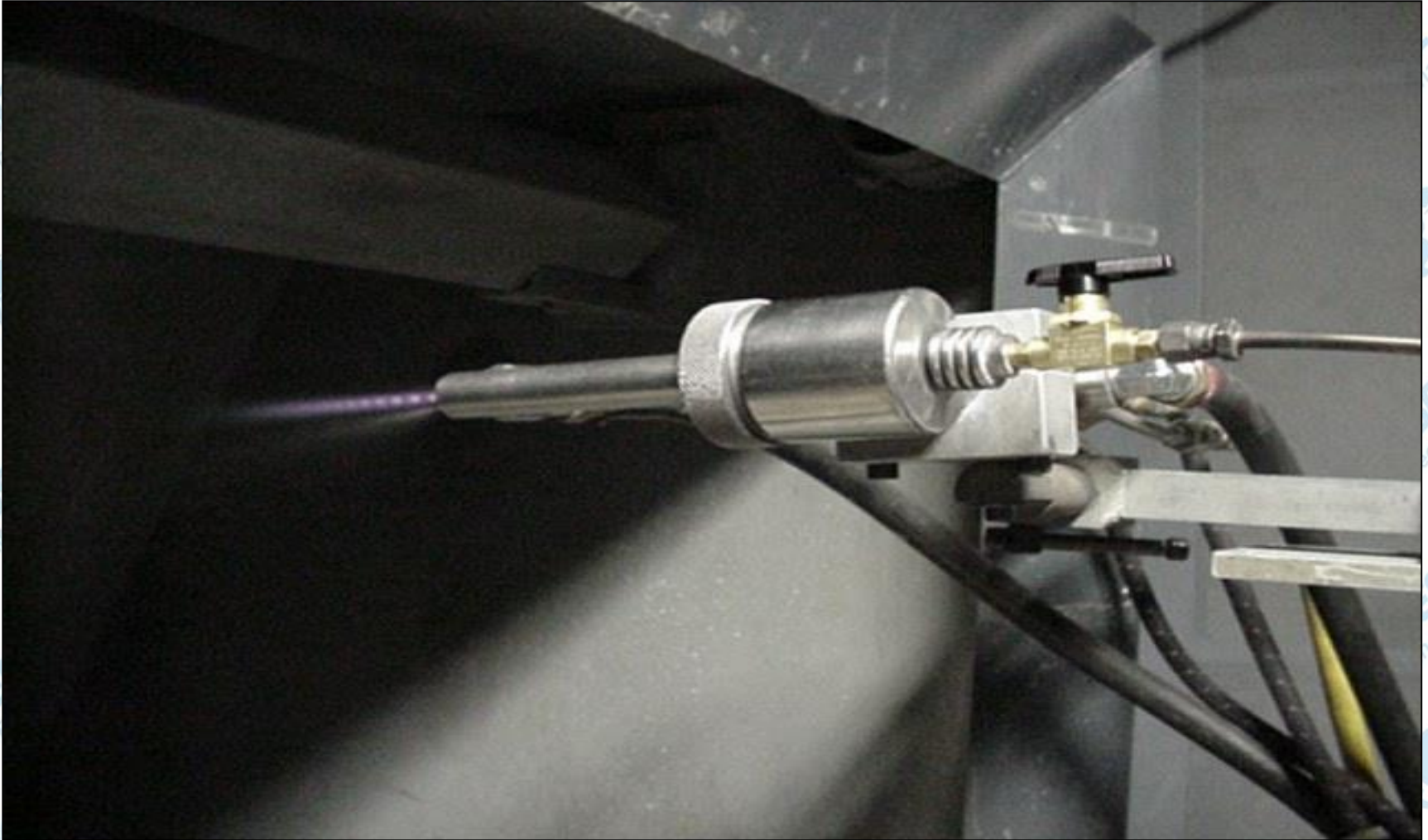
Jet Temperature	Generally $>2,500\text{ }^{\circ}\text{C}$
Jet Speed	Typically $>1,000\text{ m/s}$
Gas Flow Rate	400-1,100 slm
Particle Speed	200-1,000 m/s
Powder Feed Rate	2-50 g/min



HVOF Spraying System... *em operação*



High Velocity Oxy-Fuel (HVOF) Spraying System



Bibliografia

Ceramic materials: processes, properties and applications. Philippe Boch, Jean-Claude Nièpce, Philippe Boch - 2007 - 573 p.

Reed JS (1995) Principles of Ceramics Processing. 2nd ed. Wiley-Interscience, New York, pp 628-633

Richerson, 1992: 487



Prática: formular 1,5kg de Alumina 96%, moer em moinho de bolas por 1 semana, colar cadinhos e navícula

ARGILA SÃO SIMÃO

SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO ppm	MgO %	Na ₂ O ppm	K ₂ O %	TiO ₂ %	P ₂ O ₅ %	Mn O %	PF-% 900°C
49,5	28,5	1,08	730	0,16	750	0,46	0,8	0,05	0,01	18,81
61,33	35,31	1,34	0,09	0,20	0,09	0,57	0,99	0,06	0,01	**

** Multiplicar por 1,23 o total na formulação para compensar a perda ao fogo.

FELDSPATO POTÁSSICO (Ortoclásio) K(AlSi₃O₈)

SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO	MgO	Na ₂ O %	K ₂ O %	PF-% 900°C
65,70	18,7	0,03	traços	traços	750	13,36	0,86

Multiplicar por 1,01 no total da formulação para compensar a perda ao fogo.

ALUMINA CALCINADA 5S-G

Al ₂ O ₃ %	SiO ₂ %	Fe ₂ O ₃ %	Na ₂ O %	CaO %	L.O.I % 110-1100°C	Um-% 110°C
99,70	0,03	0,03	0,07	0,07	0,10	0,06



CAULIM BRANCO COLOIDAL

Granulometria: #325 mesh

Procedência: MINASOLO

Densidade Real: 2,60 g/cm³Densidade Aparente: 2,50 g/cm³

PH: 4,5-5,5

Lote: MCP-325

Data (USP) 12/93

Preço em 02/12/93: CR\$ 112,00 o Kg

Quantidade: 50Kg

Análise Química

SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	Na ₂ O %	K ₂ O %	TiO ₂ %	PF-% 900°C
45,18 46,00	38,76 39,60	0,08 0,45	0,05 0,20	0,19 0,29	traços	13,60 14,00
45,59	39,18	0,27	0,13	0,24	----	14,80
53,38	45,87	0,32	0,15	0,28	----	----**

** Multiplicar por 1,17 o total na formulação para compensar a perda ao fogo.



CAULIM BRANCO COLOIDAL

Granulometria: #325 mesh

Procedência: MINASOLO

Densidade Real: 2,60 g/cm³Densidade Aparente: 2,50 g/cm³

PH: 4,5-5,5

Lote: MCP-325

Data (USP) 12/93

Preço em 02/12/93: CR\$ 112,00 o Kg

Quantidade: 50Kg

Análise Química

SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	Na ₂ O %	K ₂ O %	TiO ₂ %	PF-% 900°C
45,18 46,00	38,76 39,60	0,08 0,45	0,05 0,20	0,19 0,29	traços	13,60 14,00
45,59	39,18	0,27	0,13	0,24	----	14,80
53,38	45,87	0,32	0,15	0,28	----	----**

****** Multiplicar por 1,17 o total na formulação para compensar a perda ao fogo.

