



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA

Escola Politécnica

DCTM - Departamento de Ciência e Tecnologia dos Materiais

ENG 017

Ciência dos Materiais Cerâmicos

UNIDADE I

Introdução, Matérias Primas, Técnicas de Caracterização, Diagrama de Fases, Processamento, Cerâmicas Porosas, Especificação de Cerâmica de Revestimento, Defeitos e Patologias

Prof. Dr. Marcelo Strozi Cilla

marceloscilla@gmail.com

IUPAC		CAS		EINECS		EC		CAS		EINECS		EC	
Symbol	Name	Symbol	Name	Symbol	Name	Symbol	Name	Symbol	Name	Symbol	Name	Symbol	Name
H	Hydrogen	7	Hydrogen	102	Hydrogen	102	Hydrogen	102	Hydrogen	102	Hydrogen	102	Hydrogen
He	Helium	2	Helium	101	Helium	101	Helium	101	Helium	101	Helium	101	Helium
Li	Lithium	3	Lithium	103	Lithium	103	Lithium	103	Lithium	103	Lithium	103	Lithium
Be	Beryllium	4	Beryllium	104	Beryllium	104	Beryllium	104	Beryllium	104	Beryllium	104	Beryllium
B	Boron	5	Boron	105	Boron	105	Boron	105	Boron	105	Boron	105	Boron
C	Carbon	6	Carbon	106	Carbon	106	Carbon	106	Carbon	106	Carbon	106	Carbon
N	Nitrogen	7	Nitrogen	107	Nitrogen	107	Nitrogen	107	Nitrogen	107	Nitrogen	107	Nitrogen
O	Oxygen	8	Oxygen	108	Oxygen	108	Oxygen	108	Oxygen	108	Oxygen	108	Oxygen
F	Fluorine	9	Fluorine	109	Fluorine	109	Fluorine	109	Fluorine	109	Fluorine	109	Fluorine
Ne	Neon	10	Neon	110	Neon	110	Neon	110	Neon	110	Neon	110	Neon
Na	Sodium	11	Sodium	111	Sodium	111	Sodium	111	Sodium	111	Sodium	111	Sodium
Mg	Magnesium	12	Magnesium	112	Magnesium	112	Magnesium	112	Magnesium	112	Magnesium	112	Magnesium
Al	Aluminum	13	Aluminum	113	Aluminum	113	Aluminum	113	Aluminum	113	Aluminum	113	Aluminum
Si	Silicon	14	Silicon	114	Silicon	114	Silicon	114	Silicon	114	Silicon	114	Silicon
P	Phosphorus	15	Phosphorus	115	Phosphorus	115	Phosphorus	115	Phosphorus	115	Phosphorus	115	Phosphorus
S	Sulfur	16	Sulfur	116	Sulfur	116	Sulfur	116	Sulfur	116	Sulfur	116	Sulfur
Cl	Chlorine	17	Chlorine	117	Chlorine	117	Chlorine	117	Chlorine	117	Chlorine	117	Chlorine
Ar	Argon	18	Argon	118	Argon	118	Argon	118	Argon	118	Argon	118	Argon
K	Potassium	19	Potassium	119	Potassium	119	Potassium	119	Potassium	119	Potassium	119	Potassium
Ca	Calcium	20	Calcium	120	Calcium	120	Calcium	120	Calcium	120	Calcium	120	Calcium
Sc	Scandium	21	Scandium	121	Scandium	121	Scandium	121	Scandium	121	Scandium	121	Scandium
Ti	Titanium	22	Titanium	122	Titanium	122	Titanium	122	Titanium	122	Titanium	122	Titanium
V	Vanadium	23	Vanadium	123	Vanadium	123	Vanadium	123	Vanadium	123	Vanadium	123	Vanadium
Cr	Chromium	24	Chromium	124	Chromium	124	Chromium	124	Chromium	124	Chromium	124	Chromium
Mn	Manganese	25	Manganese	125	Manganese	125	Manganese	125	Manganese	125	Manganese	125	Manganese
Fe	Iron	26	Iron	126	Iron	126	Iron	126	Iron	126	Iron	126	Iron
Co	Cobalt	27	Cobalt	127	Cobalt	127	Cobalt	127	Cobalt	127	Cobalt	127	Cobalt
Ni	Nickel	28	Nickel	128	Nickel	128	Nickel	128	Nickel	128	Nickel	128	Nickel
Cu	Copper	29	Copper	129	Copper	129	Copper	129	Copper	129	Copper	129	Copper
Zn	Zinc	30	Zinc	130	Zinc	130	Zinc	130	Zinc	130	Zinc	130	Zinc
Ga	Gallium	31	Gallium	131	Gallium	131	Gallium	131	Gallium	131	Gallium	131	Gallium
Ge	Germanium	32	Germanium	132	Germanium	132	Germanium	132	Germanium	132	Germanium	132	Germanium
As	Arsenic	33	Arsenic	133	Arsenic	133	Arsenic	133	Arsenic	133	Arsenic	133	Arsenic
Se	Selenium	34	Selenium	134	Selenium	134	Selenium	134	Selenium	134	Selenium	134	Selenium
Br	Bromine	35	Bromine	135	Bromine	135	Bromine	135	Bromine	135	Bromine	135	Bromine
Kr	Krypton	36	Krypton	136	Krypton	136	Krypton	136	Krypton	136	Krypton	136	Krypton
Rb	Rubidium	37	Rubidium	137	Rubidium	137	Rubidium	137	Rubidium	137	Rubidium	137	Rubidium
Sr	Strontium	38	Strontium	138	Strontium	138	Strontium	138	Strontium	138	Strontium	138	Strontium
Y	Yttrium	39	Yttrium	139	Yttrium	139	Yttrium	139	Yttrium	139	Yttrium	139	Yttrium
Zr	Zirconium	40	Zirconium	140	Zirconium	140	Zirconium	140	Zirconium	140	Zirconium	140	Zirconium
Nb	Niobium	41	Niobium	141	Niobium	141	Niobium	141	Niobium	141	Niobium	141	Niobium
Mo	Molybdenum	42	Molybdenum	142	Molybdenum	142	Molybdenum	142	Molybdenum	142	Molybdenum	142	Molybdenum
Tc	Technetium	43	Technetium	143	Technetium	143	Technetium	143	Technetium	143	Technetium	143	Technetium
Ru	Ruthenium	44	Ruthenium	144	Ruthenium	144	Ruthenium	144	Ruthenium	144	Ruthenium	144	Ruthenium
Rh	Rhodium	45	Rhodium	145	Rhodium	145	Rhodium	145	Rhodium	145	Rhodium	145	Rhodium
Pd	Palladium	46	Palladium	146	Palladium	146	Palladium	146	Palladium	146	Palladium	146	Palladium
Ag	Silver	47	Silver	147	Silver	147	Silver	147	Silver	147	Silver	147	Silver
Cd	Cadmium	48	Cadmium	148	Cadmium	148	Cadmium	148	Cadmium	148	Cadmium	148	Cadmium
In	Indium	49	Indium	149	Indium	149	Indium	149	Indium	149	Indium	149	Indium
Sn	Tin	50	Tin	150	Tin	150	Tin	150	Tin	150	Tin	150	Tin
Sb	Antimony	51	Antimony	151	Antimony	151	Antimony	151	Antimony	151	Antimony	151	Antimony
Te	Tellurium	52	Tellurium	152	Tellurium	152	Tellurium	152	Tellurium	152	Tellurium	152	Tellurium
I	Iodine	53	Iodine	153	Iodine	153	Iodine	153	Iodine	153	Iodine	153	Iodine
Xe	Xenon	54	Xenon	154	Xenon	154	Xenon	154	Xenon	154	Xenon	154	Xenon
Ba	Barium	56	Barium	155	Barium	155	Barium	155	Barium	155	Barium	155	Barium
La	Lanthanum	57	Lanthanum	156	Lanthanum	156	Lanthanum	156	Lanthanum	156	Lanthanum	156	Lanthanum
Ce	Cerium	58	Cerium	157	Cerium	157	Cerium	157	Cerium	157	Cerium	157	Cerium
Pr	Praseodymium	59	Praseodymium	158	Praseodymium	158	Praseodymium	158	Praseodymium	158	Praseodymium	158	Praseodymium
Nd	Niodymium	60	Niodymium	159	Niodymium	159	Niodymium	159	Niodymium	159	Niodymium	159	Niodymium
Pm	Promethium	61	Promethium	160	Promethium	160	Promethium	160	Promethium	160	Promethium	160	Promethium
Sm	Samarium	62	Samarium	161	Samarium	161	Samarium	161	Samarium	161	Samarium	161	Samarium
Eu	Europium	63	Europium	162	Europium	162	Europium	162	Europium	162	Europium	162	Europium
Gd	Gadolinium	64	Gadolinium	163	Gadolinium	163	Gadolinium	163	Gadolinium	163	Gadolinium	163	Gadolinium
Tb	Terbium	65	Terbium	164	Terbium	164	Terbium	164	Terbium	164	Terbium	164	Terbium
Dy	Dysprosium	66	Dysprosium	165	Dysprosium	165	Dysprosium	165	Dysprosium	165	Dysprosium	165	Dysprosium
Ho	Holmium	67	Holmium	166	Holmium	166	Holmium	166	Holmium	166	Holmium	166	Holmium
Er	Erbium	68	Erbium	167	Erbium	167	Erbium	167	Erbium	167	Erbium	167	Erbium
Tm	Thulium	69	Thulium	168	Thulium	168	Thulium	168	Thulium	168	Thulium	168	Thulium
Yb	Ytterbium	70	Ytterbium	169	Ytterbium	169	Ytterbium	169	Ytterbium	169	Ytterbium	169	Ytterbium
Lu	Lutetium	71	Lutetium	170	Lutetium	170	Lutetium	170	Lutetium	170	Lutetium	170	Lutetium
Hf	Hafnium	72	Hafnium	171	Hafnium	171	Hafnium	171	Hafnium	171	Hafnium	171	Hafnium
Ta	Tantalum	73	Tantalum	172	Tantalum	172	Tantalum	172	Tantalum	172	Tantalum	172	Tantalum
W	Tungsten	74	Tungsten	173	Tungsten	173	Tungsten	173	Tungsten	173	Tungsten	173	Tungsten
Re	Rhenium	75	Rhenium	174	Rhenium	174	Rhenium	174	Rhenium	174	Rhenium	174	Rhenium
Os	Osmium	76	Osmium	175	Osmium	175	Osmium	175	Osmium	175	Osmium	175	Osmium
Ir	Iridium	77	Iridium	176	Iridium	176	Iridium	176	Iridium	176	Iridium	176	Iridium
Pt	Platinum	78	Platinum	177	Platinum	177	Platinum	177	Platinum	177	Platinum	177	Platinum
Au	Gold	79	Gold	178	Gold	178	Gold	178	Gold	178	Gold	178	Gold
Hg	Mercury	80	Mercury	179	Mercury	179	Mercury	179	Mercury	179	Mercury	179	Mercury
Tl	Thallium	81	Thallium	180	Thallium	180	Thallium	180	Thallium	180	Thallium	180	Thallium
Pb	Lead	82	Lead	181	Lead	181	Lead	181	Lead	181	Lead	181	Lead
Bi	Bismuth	83	Bismuth	182	Bismuth	182	Bismuth	182	Bismuth	182	Bismuth	182	Bismuth
Po	Polonium	84	Polonium	183	Polonium	183	Polonium	183	Polonium	183	Polonium	183	Polonium
At	Astatine	85	Astatine	184	Astatine	184	Astatine	184	Astatine	184	Astatine	184	Astatine
Rn	Radon	86	Radon	185	Radon	185	Radon	185	Radon	185	Radon	185	Radon
Fr	Francium	87	Francium	186	Francium	186	Francium	186	Francium	186	Francium	186	Francium
Ra	Radium	88	Radium	187	Radium	187	Radium	187	Radium	187	Radium	187	Radium
Ac	Actinium	89	Actinium	188	Actinium	188	Actinium	188	Actinium	188	Actinium	188	Actinium
Th	Thorium	90	Thorium	189	Thorium	189	Thorium	189	Thorium	189	Thorium	189	Thorium
Pa	Protactinium	91	Protactinium	190	Protactinium	190	Protactinium	190	Protactinium	190	Protactinium	190	Protactinium
U	Uranium	92	Uranium	191	Uranium	191	Uranium	191	Uranium	191	Uranium	191	Uranium
Np	Neptunium	93	Neptunium	192	Neptunium	192	Neptunium	192	Neptunium	192	Neptunium	192	Neptunium
Pu	Plutonium	94	Plutonium	193	Plutonium	193	Plutonium	193	Plutonium	193	Plutonium	193	Plutonium
Am	Americium	95	Americium	194	Americium	194	Americium	194	Americium	194	Americium	194	Americium

● Calendário Oficial

- **Curso: 68 horas (34 dias de aulas)**
- **Horário: Ter e Qui, 10:40 - 12:30h;**
- **Faltas permitidas (25%): 17 (8 dias);**
- **4 Avaliações (provas + apresentação + relatório de aula prática);**
- **2^a Chamada: Assunto da avaliação perdida.**

Avaliações

- Unidade I

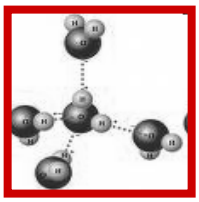
Prova (80,0)

Trabalho: Apresentação (2,0)

- Unidade III

Prova (8,0)

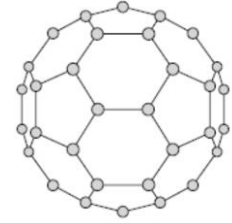
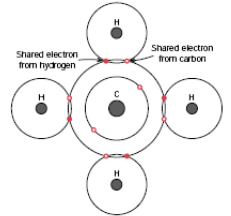
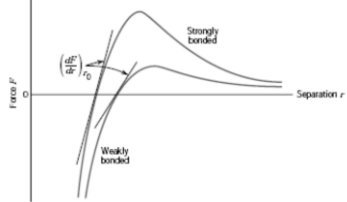
Relatório da Aula Experimental (2,0)



Relatório e Seminário

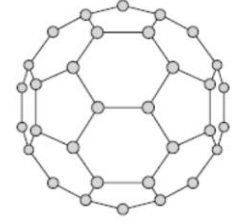
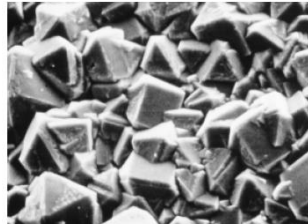
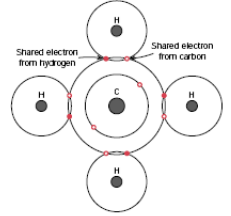
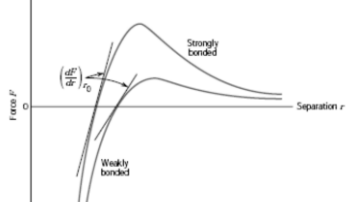
- Grupo de “até” 4 pessoas
- Seminários: Classificação de materiais cerâmicos segundo a ABCeram.
- Aula Experimental: Ligantes álcali ativados
- Mesmos grupos para atividade de laboratório.

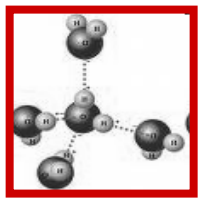
Key		Metal		Nonmetal		Metalloid		Hydrogen																																																													
Key		Metal		Nonmetal		Metalloid		Hydrogen																																																													
Key		Metal		Nonmetal		Metalloid		Hydrogen																																																													
1	H	2	He	3	Li	4	Be	5	B	6	C	7	N	8	O	9	F	10	Ne																																																		
11	Na	12	Mg	13	Al	14	Si	15	P	16	S	17	Cl	18	Ar	19	K	20	Ca	21	Sc	22	Ti	23	V	24	Cr	25	Mn	26	Fe	27	Co	28	Ni	29	Cu	30	Zn	31	Ga	32	Ge	33	As	34	Se	35	Br	36	Kr																		
37	Rb	38	Sr	39	Y	40	Zr	41	Nb	42	Mo	43	Tc	44	Ru	45	Rh	46	Pd	47	Ag	48	Cd	49	In	50	Sn	51	Sb	52	Te	53	I	54	Xe	55	Cs	56	Ba	57	La	58	Ce	59	Pr	60	Nd	61	Pm	62	Sm	63	Eu	64	Gd	65	Tb	66	Dy	67	Ho	68	Er	69	Tm	70	Yb	71	Lu
72	Hf	73	Ta	74	W	75	Re	76	Os	77	Ir	78	Pt	79	Au	80	Hg	81	Tl	82	Pb	83	Bi	84	Po	85	At	86	Rn	87	Fr	88	Ra	89	Ac	90	Th	91	Pa	92	U	93	Np	94	Pu	95	Am	96	Cm	97	Bk	98	Cf	99	Es	100	Fm	101	Md	102	No	103	Lr						



Introdução

Key		Metal		Nonmetal		Metalloid		Hydrogen																																																													
Key		Metal		Nonmetal		Metalloid		Hydrogen																																																													
Key		Metal		Nonmetal		Metalloid		Hydrogen																																																													
1	H	2	He	3	Li	4	Be	5	B	6	C	7	N	8	O	9	F	10	Ne																																																		
11	Na	12	Mg	13	Al	14	Si	15	P	16	S	17	Cl	18	Ar	19	K	20	Ca	21	Sc	22	Ti	23	V	24	Cr	25	Mn	26	Fe	27	Co	28	Ni	29	Cu	30	Zn	31	Ga	32	Ge	33	As	34	Se	35	Br	36	Kr																		
37	Rb	38	Sr	39	Y	40	Zr	41	Nb	42	Mo	43	Tc	44	Ru	45	Rh	46	Pd	47	Ag	48	Cd	49	In	50	Sn	51	Sb	52	Te	53	I	54	Xe	55	Cs	56	Ba	57	La	58	Ce	59	Pr	60	Nd	61	Pm	62	Sm	63	Eu	64	Gd	65	Tb	66	Dy	67	Ho	68	Er	69	Tm	70	Yb	71	Lu
72	Hf	73	Ta	74	W	75	Re	76	Os	77	Ir	78	Pt	79	Au	80	Hg	81	Tl	82	Pb	83	Bi	84	Po	85	At	86	Rn	87	Fr	88	Ra	89	Ac	90	Th	91	Pa	92	U	93	Np	94	Pu	95	Am	96	Cm	97	Bk	98	Cf	99	Es	100	Fm	101	Md	102	No	103	Lr						

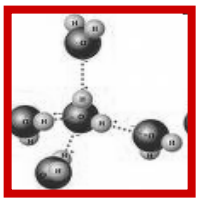




Classificação - ABC

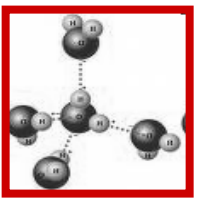


- 1) **Cerâmica Vermelha;**
- 2) **Materiais de Revestimento (Placas);**
- 3) **Cerâmica Branca;**
- 4) **Materiais Refratários;**
- 5) **Isolantes Térmicos;**
- 6) **Fritas e Corantes;**
- 7) **Abrasivos;**
- 8) **Cerâmica de Alta Tecnologia (Avançada);**
- 9) **Vidro, Cimento e Cal.**



Introdução

- **Cerâmicas:**
 - Uma combinação de elementos metálicos e não-metálicos;
 - Exemplos: silicatos, óxidos, nitretos e carbetos;
 - Isolantes de calor e eletricidade;
 - Resistentes à altas temperaturas e à ambientes agressivos;
 - Duras e frágeis;
 - Incluem os vidros inorgânicos, cimento Portland,...



Introdução

- Cerâmicas:

Key

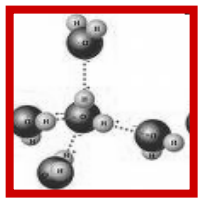
- Atomic number
- Symbol
- Atomic weight

Metal
 Nonmetal
 Intermediate

Vidros (Green arrow pointing to Si, Ge, Sn, Pb)

Mais importantes (Blue arrow pointing to N, O, P, S, Cl, Br, I, At)

IA																	0	
1 H 1.0080																	2 He 4.0026	
3 Li 6.939	4 Be 9.0122																	10 Ne 20.183
11 Na 22.990	12 Mg 24.312	IIIB	IVB	VB	VIB	VIIIB	VIII			IB	IIB	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	18 Ar 39.948	
19 K 39.102	20 Ca 40.08	21 Sc 44.956	22 Ti 47.90	23 V 50.942	24 Cr 51.996	25 Mn 54.938	26 Fe 55.847	27 Co 58.933	28 Ni 58.71	29 Cu 63.54	30 Zn 65.37	31 Ga 69.72	32 Ge 72.59	33 As 74.922	34 Se 78.96	35 Br 79.91	36 Kr 83.80	
37 Rb 85.47	38 Sr 87.62	39 Y 88.91	40 Zr 91.22	41 Nb 92.91	42 Mo 95.94	43 Tc (99)	44 Ru 101.07	45 Rh 102.91	46 Pd 106.4	47 Ag 107.87	48 Cd 112.40	49 In 114.82	50 Sn 118.69	51 Sb 121.75	52 Te 127.60	53 I 126.90	54 Xe 131.30	
55 Cs 132.91	56 Ba 137.34	Rare earth series	72 Hf 178.49	73 Ta 180.95	74 W 183.85	75 Re 186.2	76 Os 190.2	77 Ir 192.2	78 Pt 195.09	79 Au 196.97	80 Hg 200.59	81 Tl 204.37	82 Pb 207.19	83 Bi 208.98	84 Po (210)	85 At (210)	86 Rn (222)	
87 Fr (223)	88 Ra (226)	Actinide series																
Rare earth series		57 La 138.91	58 Ce 140.12	59 Pr 140.91	60 Nd 144.24	61 Pm (145)	62 Sm 150.35	63 Eu 151.96	64 Gd 157.25	65 Tb 158.92	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93	68 Er 167.26	69 Tm 168.93	70 Yb 173.04	71 Lu 174.97		
Actinide series		89 Ac (227)	90 Th 232.04	91 Pa (231)	92 U 238.03	93 Np (237)	94 Pu (242)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (249)	99 Es (254)	100 Fm (253)	101 Md (256)	102 No (254)	103 Lw (257)		



Introdução

- Cerâmicas:**

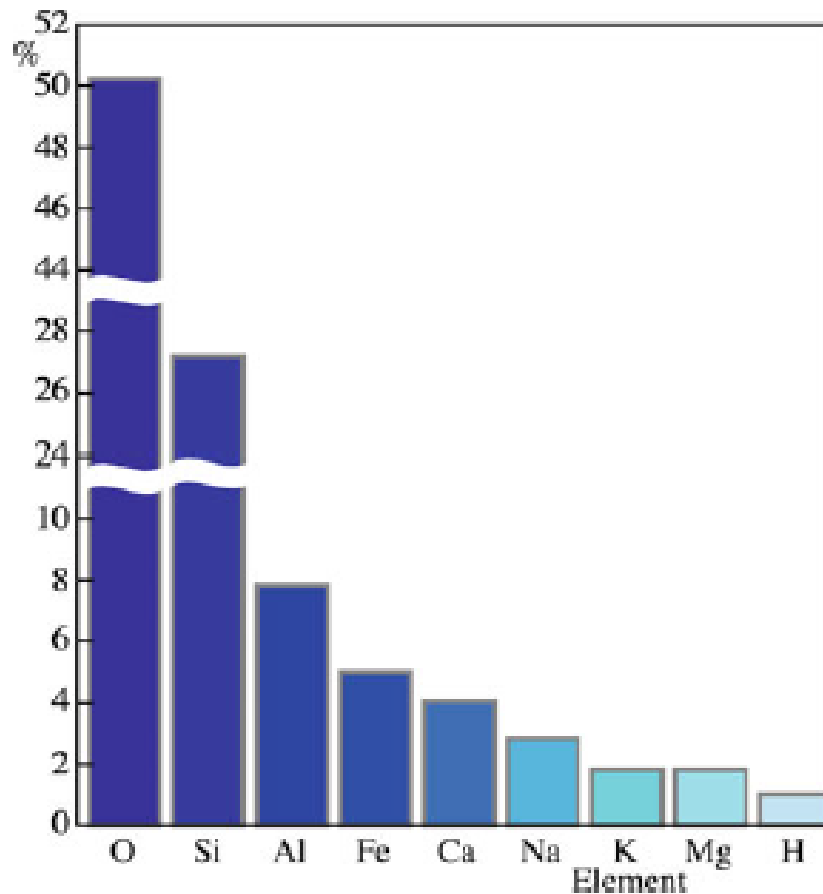
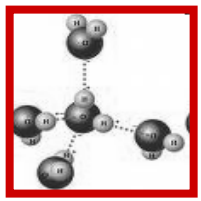


TABLE 2.1 Bond Strengths with Oxygen

<i>Bond</i>	<i>Strength (kJ/mol)</i>
Ti-O	674
Al-O	582
Si-O	464
Ca-O	423
Mn ⁺² -O	389
Fe ⁺² -O	389
Mg-O	377

FIGURE 2.5. Abundance of common elements in the earth's crust.



Introdução

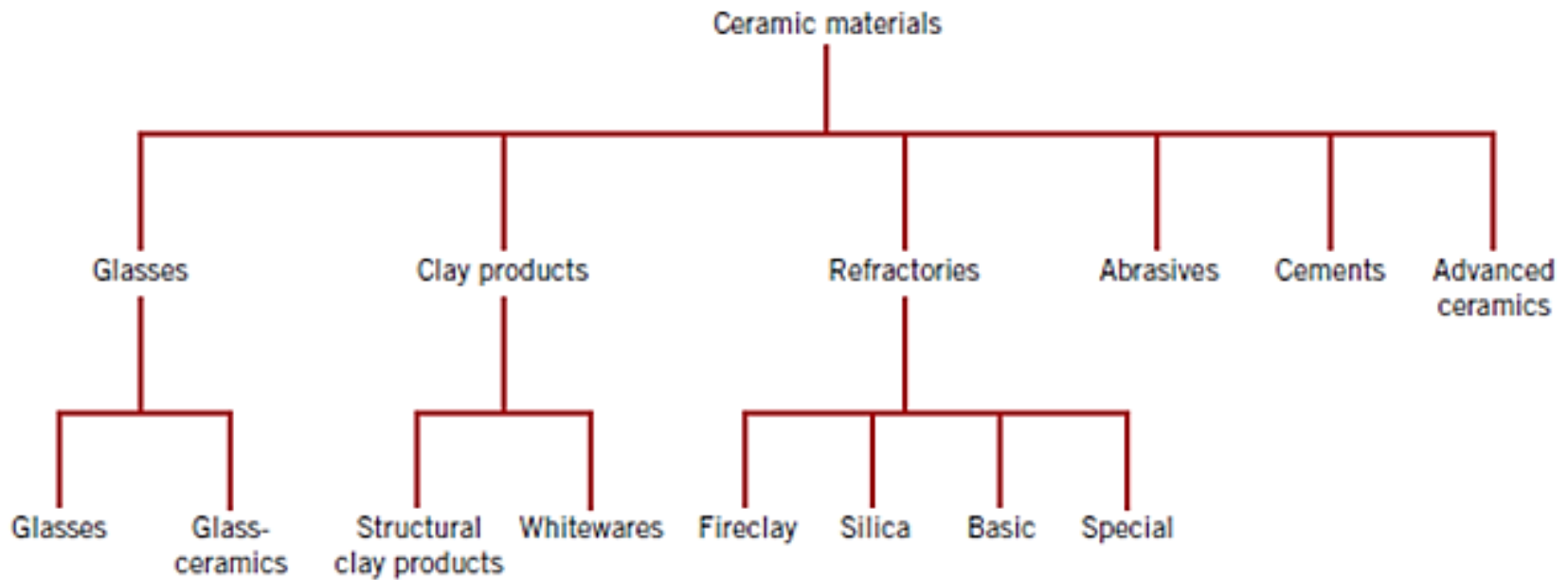
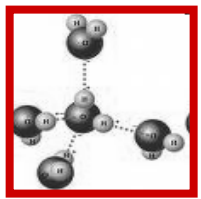


Figure 13.1 Classification of ceramic materials on the basis of application.



Introdução

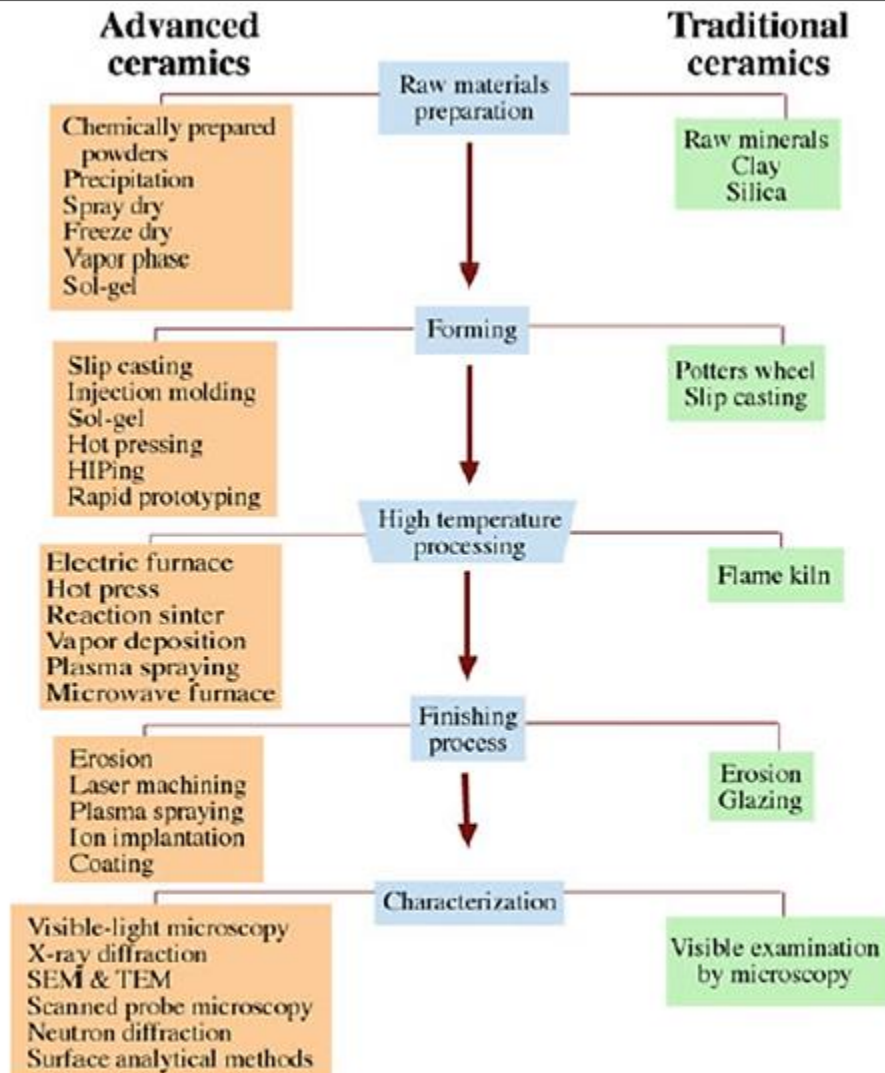
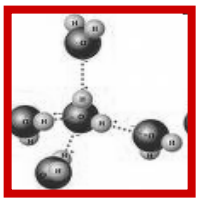


FIGURE 1.1. Comparison of various aspects of traditional and advanced ceramics.

Key		Metal		Nonmetal		Metalloid	
Color		Atomic number		Atomic weight		Atomic weight	
1	H	1	H	1	H	1	H
2	He	2	He	2	He	2	He
3	Li	3	Li	3	Li	3	Li
4	Be	4	Be	4	Be	4	Be
5	B	5	B	5	B	5	B
6	C	6	C	6	C	6	C
7	N	7	N	7	N	7	N
8	O	8	O	8	O	8	O
9	F	9	F	9	F	9	F
10	Ne	10	Ne	10	Ne	10	Ne
11	Na	11	Na	11	Na	11	Na
12	Mg	12	Mg	12	Mg	12	Mg
13	Al	13	Al	13	Al	13	Al
14	Si	14	Si	14	Si	14	Si
15	P	15	P	15	P	15	P
16	S	16	S	16	S	16	S
17	Cl	17	Cl	17	Cl	17	Cl
18	Ar	18	Ar	18	Ar	18	Ar
19	K	19	K	19	K	19	K
20	Ca	20	Ca	20	Ca	20	Ca
21	Sc	21	Sc	21	Sc	21	Sc
22	Ti	22	Ti	22	Ti	22	Ti
23	V	23	V	23	V	23	V
24	Cr	24	Cr	24	Cr	24	Cr
25	Mn	25	Mn	25	Mn	25	Mn
26	Fe	26	Fe	26	Fe	26	Fe
27	Co	27	Co	27	Co	27	Co
28	Ni	28	Ni	28	Ni	28	Ni
29	Cu	29	Cu	29	Cu	29	Cu
30	Zn	30	Zn	30	Zn	30	Zn
31	Ga	31	Ga	31	Ga	31	Ga
32	Ge	32	Ge	32	Ge	32	Ge
33	As	33	As	33	As	33	As
34	Se	34	Se	34	Se	34	Se
35	Br	35	Br	35	Br	35	Br
36	Kr	36	Kr	36	Kr	36	Kr
37	Rb	37	Rb	37	Rb	37	Rb
38	Sr	38	Sr	38	Sr	38	Sr
39	Y	39	Y	39	Y	39	Y
40	Zr	40	Zr	40	Zr	40	Zr
41	Nb	41	Nb	41	Nb	41	Nb
42	Mo	42	Mo	42	Mo	42	Mo
43	Tc	43	Tc	43	Tc	43	Tc
44	Ru	44	Ru	44	Ru	44	Ru
45	Rh	45	Rh	45	Rh	45	Rh
46	Pd	46	Pd	46	Pd	46	Pd
47	Ag	47	Ag	47	Ag	47	Ag
48	Cd	48	Cd	48	Cd	48	Cd
49	In	49	In	49	In	49	In
50	Sn	50	Sn	50	Sn	50	Sn
51	Pb	51	Pb	51	Pb	51	Pb
52	Bi	52	Bi	52	Bi	52	Bi
53	Po	53	Po	53	Po	53	Po
54	At	54	At	54	At	54	At
55	Tl	55	Tl	55	Tl	55	Tl
56	Pb	56	Pb	56	Pb	56	Pb
57	Bi	57	Bi	57	Bi	57	Bi
58	Po	58	Po	58	Po	58	Po
59	At	59	At	59	At	59	At
60	Tl	60	Tl	60	Tl	60	Tl
61	Pb	61	Pb	61	Pb	61	Pb
62	Bi	62	Bi	62	Bi	62	Bi
63	Po	63	Po	63	Po	63	Po
64	At	64	At	64	At	64	At
65	Tl	65	Tl	65	Tl	65	Tl
66	Pb	66	Pb	66	Pb	66	Pb
67	Bi	67	Bi	67	Bi	67	Bi
68	Po	68	Po	68	Po	68	Po
69	At	69	At	69	At	69	At
70	Tl	70	Tl	70	Tl	70	Tl
71	Pb	71	Pb	71	Pb	71	Pb
72	Bi	72	Bi	72	Bi	72	Bi
73	Po	73	Po	73	Po	73	Po
74	At	74	At	74	At	74	At
75	Tl	75	Tl	75	Tl	75	Tl
76	Pb	76	Pb	76	Pb	76	Pb
77	Bi	77	Bi	77	Bi	77	Bi
78	Po	78	Po	78	Po	78	Po
79	At	79	At	79	At	79	At
80	Tl	80	Tl	80	Tl	80	Tl
81	Pb	81	Pb	81	Pb	81	Pb
82	Bi	82	Bi	82	Bi	82	Bi
83	Po	83	Po	83	Po	83	Po
84	At	84	At	84	At	84	At
85	Tl	85	Tl	85	Tl	85	Tl
86	Pb	86	Pb	86	Pb	86	Pb
87	Bi	87	Bi	87	Bi	87	Bi
88	Po	88	Po	88	Po	88	Po
89	At	89	At	89	At	89	At
90	Tl	90	Tl	90	Tl	90	Tl
91	Pb	91	Pb	91	Pb	91	Pb
92	Bi	92	Bi	92	Bi	92	Bi
93	Po	93	Po	93	Po	93	Po
94	At	94	At	94	At	94	At
95	Tl	95	Tl	95	Tl	95	Tl
96	Pb	96	Pb	96	Pb	96	Pb
97	Bi	97	Bi	97	Bi	97	Bi
98	Po	98	Po	98	Po	98	Po
99	At	99	At	99	At	99	At
100	Tl	100	Tl	100	Tl	100	Tl
101	Pb	101	Pb	101	Pb	101	Pb
102	Bi	102	Bi	102	Bi	102	Bi
103	Po	103	Po	103	Po	103	Po
104	At	104	At	104	At	104	At
105	Tl	105	Tl	105	Tl	105	Tl
106	Pb	106	Pb	106	Pb	106	Pb
107	Bi	107	Bi	107	Bi	107	Bi
108	Po	108	Po	108	Po	108	Po
109	At	109	At	109	At	109	At
110	Tl	110	Tl	110	Tl	110	Tl
111	Pb	111	Pb	111	Pb	111	Pb
112	Bi	112	Bi	112	Bi	112	Bi
113	Po	113	Po	113	Po	113	Po
114	At	114	At	114	At	114	At
115	Tl	115	Tl	115	Tl	115	Tl
116	Pb	116	Pb	116	Pb	116	Pb
117	Bi	117	Bi	117	Bi	117	Bi
118	Po	118	Po	118	Po	118	Po
119	At	119	At	119	At	119	At
120	Tl	120	Tl	120	Tl	120	Tl
121	Pb	121	Pb	121	Pb	121	Pb
122	Bi	122	Bi	122	Bi	122	Bi
123	Po	123	Po	123	Po	123	Po
124	At	124	At	124	At	124	At
125	Tl	125	Tl	125	Tl	125	Tl
126	Pb	126	Pb	126	Pb	126	Pb
127	Bi	127	Bi	127	Bi	127	Bi
128	Po	128	Po	128	Po	128	Po
129	At	129	At	129	At	129	At
130	Tl	130	Tl	130	Tl	130	Tl
131	Pb	131	Pb	131	Pb	131	Pb
132	Bi	132	Bi	132	Bi	132	Bi
133	Po	133	Po	133	Po	133	Po
134	At	134	At	134	At	134	At
135	Tl	135	Tl	135	Tl	135	Tl
136	Pb	136	Pb	136	Pb	136	Pb
137	Bi	137	Bi	137	Bi	137	Bi
138	Po	138	Po	138	Po	138	Po
139	At	139	At	139	At	139	At
140	Tl	140	Tl	140	Tl	140	Tl
141	Pb	141	Pb	141	Pb	141	Pb
142	Bi	142	Bi	142	Bi	142	Bi
143	Po	143	Po	143	Po	143	Po
144	At	144	At	144	At	144	At
145	Tl	145	Tl	145	Tl	145	Tl
146	Pb	146	Pb	146	Pb	146	Pb
147	Bi	147	Bi	147	Bi	147	Bi
148	Po	148	Po	148	Po	148	Po
149	At	149	At	149	At	149	At
150	Tl	150	Tl	150	Tl	150	Tl
151	Pb	151	Pb	151	Pb	151	Pb
152	Bi	152	Bi	152	Bi	152	Bi
153	Po	153	Po	153	Po	153	Po
154	At	154	At	154	At	154	At
155	Tl	155	Tl	155	Tl	155	Tl
156	Pb	156	Pb	156	Pb	156	Pb
157	Bi	157	Bi	157	Bi	157	Bi
158	Po	158	Po	158	Po	158	Po
159	At	159	At	159	At	159	At
160	Tl	160	Tl	160	Tl	160	Tl
161	Pb	161	Pb	161	Pb	161	Pb
162	Bi	162	Bi	162	Bi	162	Bi
163	Po	163	Po	163	Po	163	Po
164	At	164	At	164	At	164	At
165	Tl	165	Tl	165	Tl	165	Tl
166	Pb	166	Pb	166	Pb	166	Pb
167	Bi	167	Bi	167	Bi	167	Bi
168	Po	168	Po	168	Po	168	Po
169	At	169	At	169	At	169	At
170	Tl	170	Tl	170	Tl	170	Tl
171	Pb	171	Pb	171	Pb	171	Pb
172	Bi	172	Bi	172	Bi	172	Bi
173	Po	173	Po	173	Po	173	Po
174	At	174	At	174	At	174	At
175	Tl	175	Tl	175	Tl	175	Tl
176	Pb	176	Pb	176	Pb	176	Pb
177	Bi	177	Bi	177	Bi	177	Bi
178	Po	178	Po	178	Po	178	Po
179	At	179	At	179	At	179	At
180	Tl	180	Tl	180	Tl	180	Tl
181	Pb	181	Pb	181	Pb	181	Pb
182	Bi	182	Bi	182	Bi	182	Bi
183	Po	183	Po	183	Po	183	Po
184	At	184	At	184	At	184	At
185	Tl	185	Tl	185	Tl	185	Tl
186	Pb	186	Pb	186	Pb	186	Pb
187	Bi	187	Bi	187	Bi	187	Bi
188	Po	188	Po	188	Po	188	Po
189	At	189	At	189	At	189	At
190	Tl	190	Tl	190	Tl	190</	



Introdução

- **Matérias primas**

- **Naturais**

- Utilizadas como extraídas da natureza ou que foram submetidas a algum tratamento físico para eliminação de impurezas indesejáveis, ou seja, sem alterar a composição química e mineralógica dos componentes principais.

- **Sintéticas**

- São aquelas que foram submetidas a um tratamento térmico, que pode ser calcinação, sinterização, fusão etc. e as produzidas por processos químicos.



Matérias Primas (MP)

- **MP naturais**

- **Agalmatolito**
- **Andalusita**
- **Argila**
- **Bauxito**
- **Calcita**
- **Caulim**
- **Cianita**
- **Cromita**
- **Dolomita**
- **Feldspato**
- **Filitos Cerâmicos**
- **Grafita**
- **Magnesita**
- **Pirofilita**
- **Quartzo**
- **Silimanita**
- **Talco**
- **Wollastonita**
- **Zirconita**



Matérias Primas (MP)

- **Argila**

- Material natural, de textura terrosa e granulação fina;
- Constituída de argilominerais, podendo conter outros minerais que não são argilominerais (quartzo, mica, pirita, hematita, etc), matéria orgânica e outras impurezas.
- Argilominerais: dão plasticidade, resistência mecânica a úmido, retração linear de secagem, compactação, reologia de suspensões aquosas;
- Explicam sua grande variedade de aplicações tecnológicas



Matérias Primas (MP)

- **Argila**

- **Aplicações**

- Quase todos segmentos das cerâmicas tradicionais → total ou parcial composição das massas

- **Mais adequados:**

 - Produtos de cerâmica vermelha

 - Materiais refratários

 - Cerâmica branca

 - Materiais de revestimento



Matérias Primas (MP)

- **Caulim**

- Formado por caulinita, sendo um dos seis minerais mais abundantes do topo da crosta terrestre;
- Cor branca ou quase branca, devido ao baixo teor de ferro;
- Pode ser utilizado para adição ou substituição das argilas plásticas
- Aplicações:

Indústria de papel e na composição das pastas cerâmicas, materiais refratários, plásticos, tintas, adesivos, cimentos, inseticidas, catalisadores, gesso, auxiliares de filtração, detergentes e abrasivos, etc.



Matérias Primas (MP)

- **Materiais Fundentes**

- Materiais com elevado teor de álcalis (K_2O e Na_2O) que, quando presentes em uma composição cerâmica, reduzem a temperatura de queima e a porosidade do produto;

Feldspato e o filito → fundentes mais tradicionais

- Condições importantes para produtos de cerâmica vermelha, cerâmica branca e materiais de revestimento:

Abaixam o custo

Reduzem a absorção de água

Aumentam a resistência mecânica



Matérias Primas (MP)

- **Feldspato**

- Série de aluminossilicatos alcalinos ou alcalinos terrosos;

- Mistura em diversas proporções de aluminossilicatos de potássio, de sódio, de cálcio, de lítio e de bário e de césio;

Temperatura de fusão baixa (geradores de “massa vítrea” nas massas cerâmicas e nos vidrados)

- Aplicações: Fabricação de vidro, fritas, esmaltes (vidrados), placas cerâmicas, isoladores elétricos de porcelana, louça de mesa e louça sanitária.



Matérias Primas (MP)

- **Quartzo**

- Uma das formas cristalinas da sílica (SiO_2), além da cristobalita e a tridimita;
- É estável abaixo de $870\text{ }^\circ\text{C}$, apresentando-se em variedades cristalinas como quartzo hialino, ametista, quartzo leitoso, esfumaçado, etc.;
- Depósitos de quartzo: seixos, cascalhos, arenitos e quartzitos;
- Areia → Composta por quartzo.

É o produto da deposição dos resíduos de desagregação, apresentando partículas de dimensões de 2 a $0,06\text{ mm}$



Matérias Primas (MP)

- **Quartzo**

- Arenito → rocha formada pela compactação de sedimentos arenosos e quartzito;

- Cristobalita e a tridimita → raras na natureza

Podem ser obtidas pelo tratamento térmico do quartzo, em temperaturas elevadas e sob condições especiais

- **Aplicações**

Cerâmica branca e de materiais de revestimento, isolantes térmicos, vidros, esmaltes e materiais refratários





Matérias Primas (MP)

- **MP sintéticas**

- Alumina
- Alumina Calcificada para Cerâmica
- Alumina Eletrofundida Marrom
- Alumina Eletrofundida Branca
- Alumina Tabular
- Carбето de Silício
- Cimento Aluminoso
- Espinélio
- Magnésia
- Mulita Sintética
- Mulita - Zircônia
- Óxido de Zinco
- Sílica Ativa
- Nitreto de silício



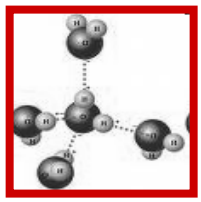
Técnicas de Caracterização

TABLE 10.1 Summary of Tools for Ceramics Using Chemical Characteristics

<i>Chemical characteristic</i>	<i>Characterization tool</i>
Composition	X-ray diffraction (XRD) X-ray fluorescence (XRF) Neutron activation analysis (NAA) Mass spectrometry (Mass Spec)
Elemental distribution/local chemistry	Scanning electron microscope (SEM) with X-ray energy dispersive spectroscopy (XEDS) Electron probe microanalysis (EPMA) Transmission electron microscopy (TEM) with XEDS TEM with electron energy-loss spectroscopy (EELS)
Surface/interface chemistry	X-ray photoelectron spectroscopy (XPS, ESCA) Auger electron spectroscopy (AES) Secondary ion mass spectroscopy (SIMS) Rutherford backscattering spectrometry (RBS) Ultraviolet photoelectron spectroscopy (UPS) Infrared (IR) spectroscopy Raman spectroscopy
Phase changes (e.g., decomposition and dehydration)	Thermomechanical analysis (TMA) Thermogravimetric analysis (TGA) Differential thermal analysis (DTA) Differential scanning calorimetry (DSC) Mass Spec (MS) In situ XRD

TABLE 10.2 Summary of Tools for Ceramics Using Physical Characteristics

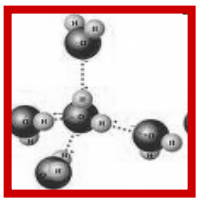
<i>Physical characteristic</i>	<i>Characterization tool</i>
Surface area/porosity (see Chapter 20)	Small angle neutron scattering (SANS) Small angle X-ray scattering (SAXS) Mercury porosimetry
Density homogeneity	VLM SEM X-ray radiography/CT scan Ultrasonography Die penetration
Particle/grain size, distribution, morphology, texture	VLM and quantitative stereology SEM and quantitative stereology Electron backscattering spectroscopy (EBSD) TEM XRD
Phase identification/molecular structure	XRD EBSD FTIR Raman spectroscopy EXAFS
	Neutron diffraction Mössbauer spectroscopy Nuclear magnetic resonance (NMR)
Phase transitions (e.g., structural transformations)	DTA DSC TMA In situ XRD



Introdução

Materials





Conceitos Gerais

Partículas monodispersas: composto de partículas de tamanho semelhantes

Partículas polidispersas: partículas de vários tamanhos (caso real).

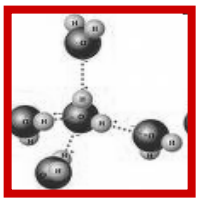
- Ensaio de um sistema polidisperso: medida da probabilidade que uma dada partícula escolhida ao acaso tenha um determinado tamanho. Então o tamanho de partícula medido está associado com sua frequência de ocorrência.

- Quando os dados obtidos são divididos em grupos de partículas com a mesma faixa de tamanho, cada grupo incluirá uma certa percentagem das partículas medidas.

- Tipos de sólidos: quanto ao tamanho e massa específica

homogêneo: mesmo tamanho, forma e massa específica

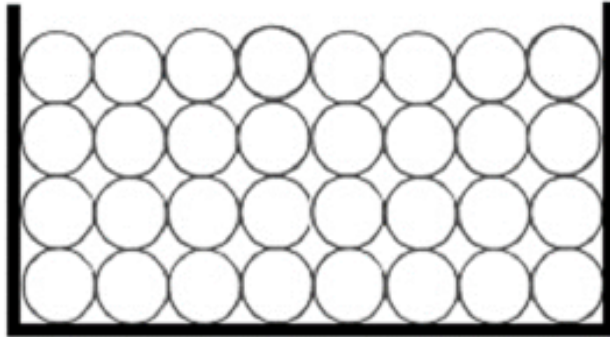
heterogêneo: ampla faixa de tamanho, forma e massa específica



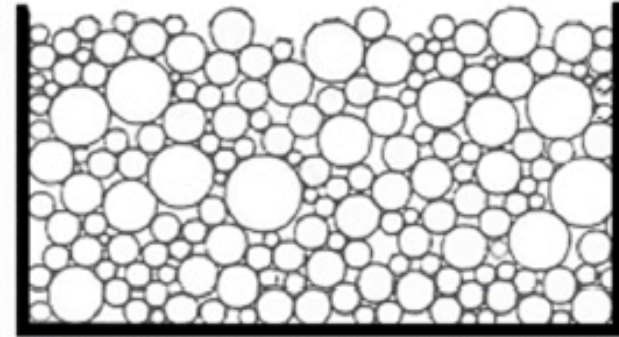
Conceitos Gerais

Empacotamento

Como as partículas dos pós empacotam ?

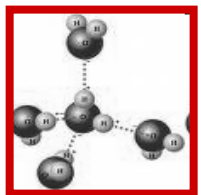


(a)



(b)

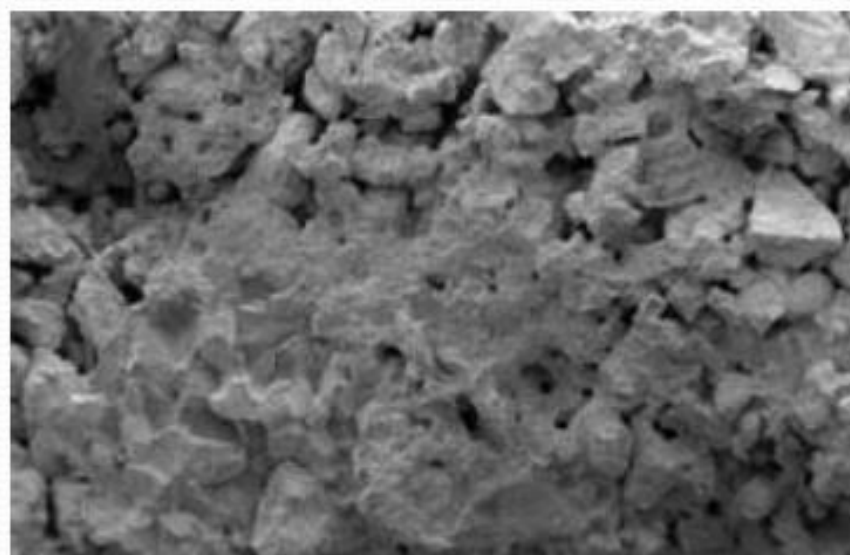
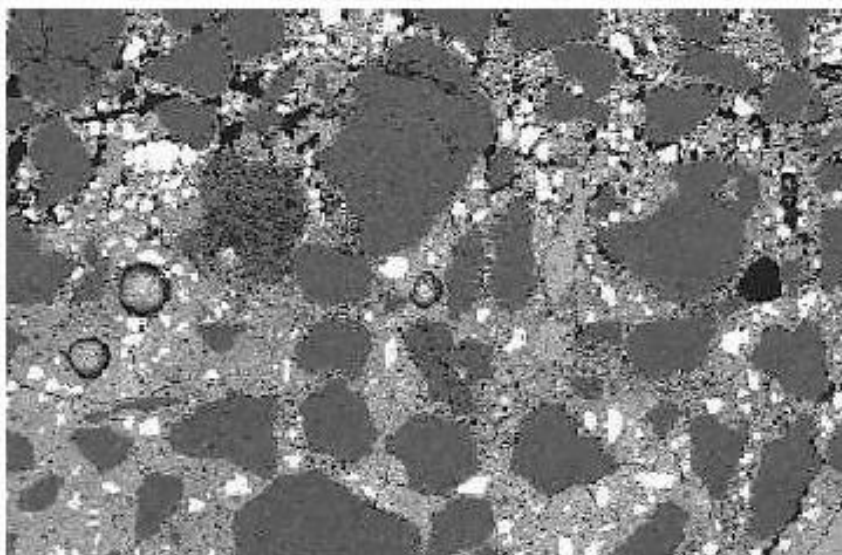
Empacotamento de partículas: (a) homogêneas, (b) com diferentes tamanhos

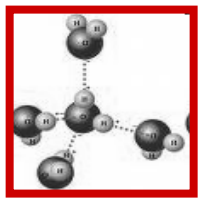


Conceitos Gerais

Importância do Empacotamento:

Agregados (escala milimétrica)

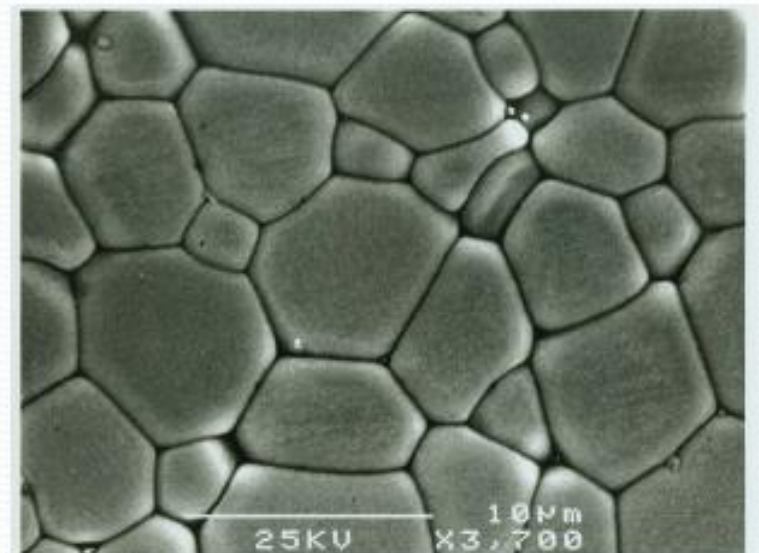
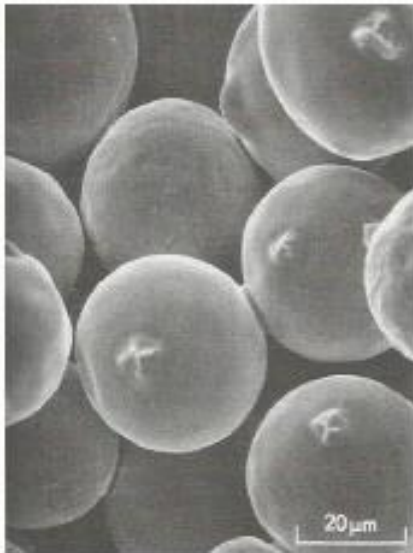


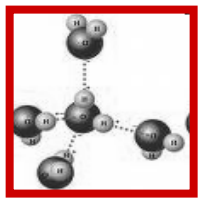


Conceitos Gerais

Importância do Empacotamento:

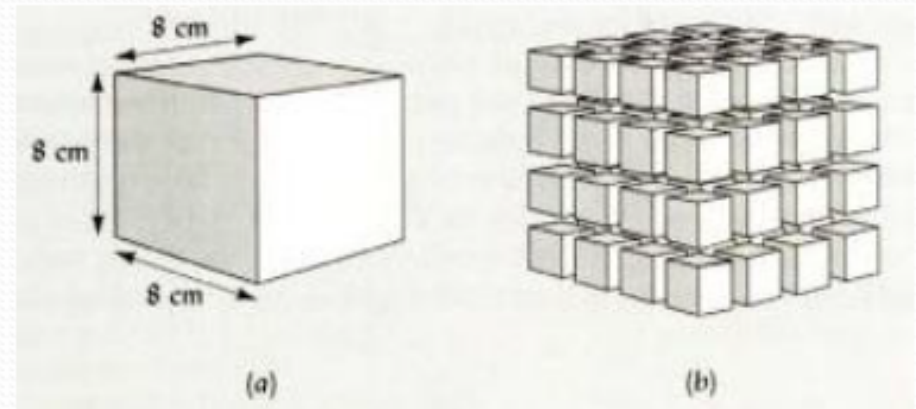
Partículas (escala sub-micrométrica)



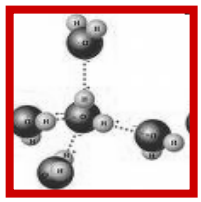


Caracterização Física

Área Superficial:



Relação entre a área superficial de um cubo de massa conhecida e o tamanho de suas partículas. No cubo maior (a) cada lado possui 64 cm^2 de área superficial. O cubo tem seis lados, com área superficial total de 384 cm^2 ($6 \text{ lados} \times 64 \text{ cm}^2$). Se o mesmo cubo fosse dividido em cubos menores (b) de modo que cada um tenha 2 cm de lado, o mesmo material será agora representado por 64 cubos pequenos ($4 \times 4 \times 4$). Cada lado do cubo pequeno terá 4 cm^2 (2×2) de área superficial, resultando em 24 cm^2 de área superficial ($6 \text{ lados} \times 4 \text{ cm}^2$). A área superficial total será de 1536 cm^2 ($24 \text{ cm}^2 \times 64 \text{ cubos}$).



Caracterização Física

Área Superficial:

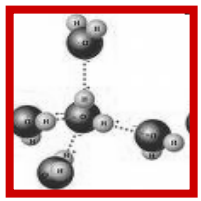
A área da superfície ou área superficial é a quantidade total de espaço ocupada por todas as superfícies de um objeto (material). Ela é a soma da área de todas as superfícies do objeto (material).

Área Superficial Específica:

A área superficial específica é a medida da área da superfície do material por unidade de peso.

Importância:

Entendimento dos fenômenos físico-químicos que estão relacionados com a área superficial específica das partículas sólidas.

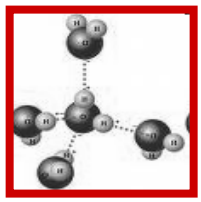


Caracterização Física

Exemplo: Fragmentos de Clinker



Número de Cubos		Comprimento do Lado	Área Superficial Específica
1		1 cm	6 cm ² /g
10 ³		1 mm	60 cm ² /g
10 ⁶		0.1 mm	600 cm ² /g
10 ⁹		0.01 mm	6.000 cm ² /g
10 ¹²		1 μm	60.000 cm ² /g
10 ¹⁵	colóide	0.1 μm	600.000 cm ² /g

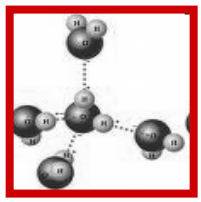


Caracterização Física

Área Superficial:

Fatores de Interferência:

- Alguns fatores determinantes para a área específica, que é a soma total da área superficial de um sólido (denso ou poroso) ou um sistema particulado, por unidade de massa:
 - Porosidade
 - Rugosidade
 - Forma (sólido ou partículas)
 - Distribuição dos tamanhos (sólido ou partículas)
- Para a determinação da área superficial existem duas técnicas principais:
 - ✓ Método de Adsorção Gasosa → Direta e Científica
B.E.T. - **B**runauer, **E**mmett, **T**eller
 - ✓ Método de Permeabilidade ao Ar → Indireta e Comparativa
Método de Blaine



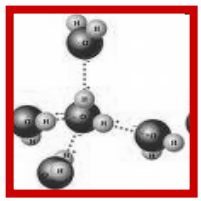
Caracterização Física

Técnicas de Caracterização Física

- Área Superficial:

Método de Adsorção Gasosa

B.E.T. - **B**runauer, **E**mmett, **T**eller



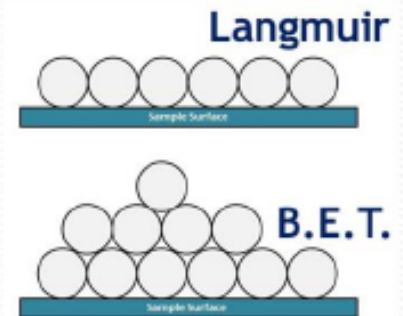
Caracterização Física

- O método BET introduz o conceito de adsorção física (forças de interação molecular fracas entre o adsorbato - moléculas de gás - e adsorvente) de multicamadas segundo três hipóteses adicionais:

- As moléculas de gás irão adsorver fisicamente na superfície sólida em camadas infinitamente.
- As diferentes camadas de adsorção não interagem entre si.
- A teoria se aplica a todas as camadas de adsorção.

Uma monocamada de moléculas de gás em torno de um sólido é a base conceitual para esse modelo de adsorção.

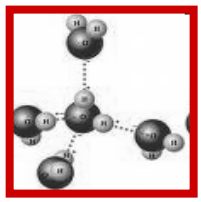
A superfície é recoberta por infinitas camadas moleculares superpostas.



- N_2 : Fácil de obter na forma pura e boa interação com a maioria dos compostos.

- Medidas: realizadas em temperatura de nitrogênio líquido para se obter valores detectáveis de adsorção.

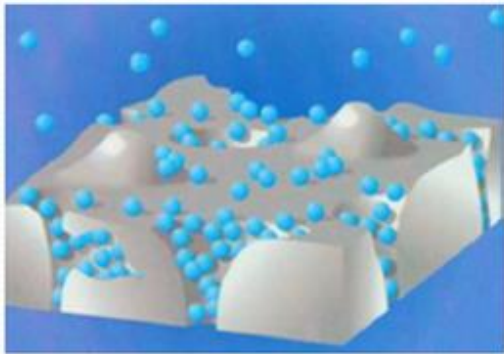
- Influência da reatividade (sítios livres para adsorção) e finura.

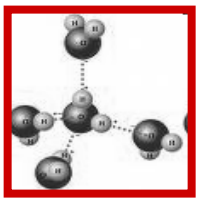


Caracterização Física

Parâmetros:

- Quantidade mínima de amostra: 0,5 mg.
- Calibração: Gás Helio.
- Desgaseificação (vácuo e temperatura) e após imersão em nitrogênio líquido.

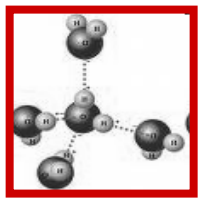




Caracterização Física

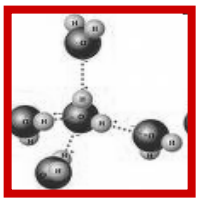
Fatores que Afetam a Área Superficial de um Sólido:

- O tamanho das partículas: quanto menor o tamanho das partículas maior a área superficial disponível.
- Formato das partículas: por exemplo, partículas cúbicas de mesmo peso que partículas esféricas terão área superficial (S) maior ($S_{\text{cubo}} / S_{\text{esfera}} = 2r_{\text{esfera}} / l_{\text{cubo}}$).
- Distribuição de tamanho e forma dos poros: de modo geral, a presença de poros em um sólido aumenta a sua área superficial. Assim como para o tamanho das partículas, quanto maior a quantidade de poros pequenos sobre a superfície maior será a área superficial.



Caracterização Física





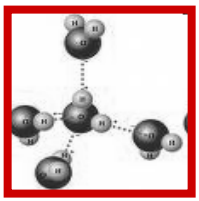
Caracterização Física

Técnicas de Caracterização Física

- Área Superficial:

Método de Permeabilidade ao Ar

Método de Blaine



Caracterização Física

Teoria:

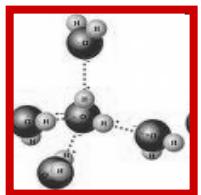
Por meio deste método, a área superficial específica é obtida a partir da medida da permeabilidade do material, isto é, do tempo gasto para um certo volume de ar, sob dada pressão, atravessar o material.

A amostra é introduzida na célula do equipamento, acoplada no topo de um tubo em U preenchido parcialmente com óleo. Desloca-se a coluna de óleo até o topo de um dos lados do tubo e, operando-se uma válvula, permite-se que essa coluna desloque-se gravitacionalmente, o que faz passar um fluxo de ar pela célula.

O tempo de deslocamento é cronometrado, e esse tempo é diretamente proporcional à área superficial específica.

Uma equação matemática reúne os parâmetros para a determinação da área superficial específica.





Caracterização Física

Aplicação:

Na Engenharia Civil

CIMENTO PORTLAND DETERMINAÇÃO DA FINURA PELO MÉTODO DE PERMEABILIDADE AO AR (MÉTODO DE BLAINE)

MATERIAIS / EQUIPAMENTOS:

- Permeabilímetro de Blaine;	- Termômetro;
- Balança com precisão de 0,001g;	- Recipiente para pequenas massas;
- Cronômetro;	- Espátula e funil

NORMA
BRASILEIRA

ABNT NBR
16372

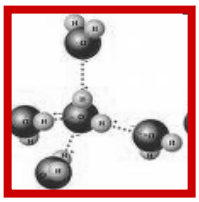
Primeira edição
12.05.2015

Válida a partir de
12.08.2015

Cimento Portland e outros materiais em pó
— Determinação da finura pelo método de
permeabilidade ao ar (método de Blaine)

Portland cement and other powdered materials — Determination of fineness
by the air permeability method (Blaine method)





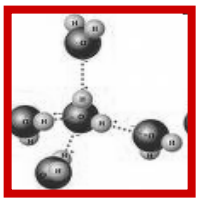
Caracterização Física

Técnicas de Caracterização Física

- Massa Específica (densidade)

Massa Específica Real

Massa Específica Aparente



Caracterização Física

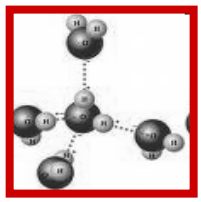
Massa Específica ou Densidade

As propriedades das substâncias podem ser classificadas como intensivas e extensivas.

As propriedades intensivas não dependem do tamanho da amostra, enquanto as propriedades extensivas dependem do tamanho da amostra.

A densidade de uma substância é uma propriedade intensiva, obtida pela razão entre duas propriedades extensivas (Atkins e Jones, 2001).

Esta grandeza é definida como a razão entre a massa de uma determinada substância, que, no processamento do material, pode ser uma amostra de rocha, minério ou mineral, e o seu volume (Atkins e Jones, 2001).



Caracterização Física

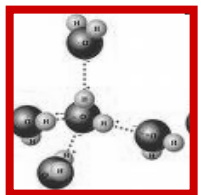
Massa Específica

Massa específica de uma substância é a razão entre a massa de uma porção compacta dessa substância e o volume ocupado por ela.



A massa específica de uma substância (μ) não é necessariamente igual à densidade (d) de um corpo formado totalmente dessa substância.

Elas são diferentes quando o corpo não é maciço: se o corpo possui em seu interior espaços vazios, ele ocupa um volume bem maior do que ocuparia se fosse composto.



Caracterização Física

Massa Específica Real ou Densidade Real

Massa específica: Dependente da estrutura química (metálica, cristalina, vítrea, organização molecular) e da eficiência de empacotamento.

Determinação Comum:

Picnometria

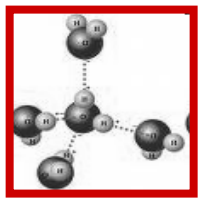


Frasco de Chapman

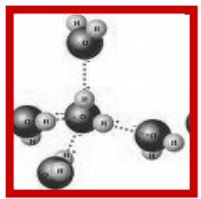


Picnometria a Hélio:





Caracterização Física



Caracterização Física

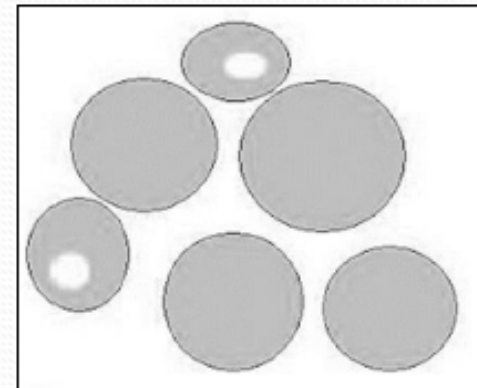
Massa Unitária

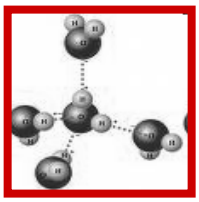
É a razão entre a massa de um material lançado em um recipiente e o volume deste recipiente.

O método de ensaio é executado pela NBR 7251 para agregados e nesse caso a massa unitária tem grande importância na tecnologia, pois é por meio dela, que se podem transformar as composições das argamassas e concretos dadas em peso para o volume e vice-versa.

A massa unitária de um material é a sua densidade (massa / volume) com todos os espaços vazios, ou seja, esses espaços vazios são os "vãos" entre um grão e outro (agregados) e seus espaços internamente (poros fechados e abertos, permeáveis).

Pode-se dizer que a massa unitária é a massa "real" do agregado, pois engloba todos os espaços existentes (internamente e externamente)





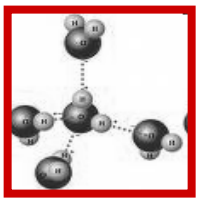
Caracterização Física

Porosidade:

Porosidade Aberta

Porosidade Fechada

É a fração de espaços vazios. É a relação entre o volume ocupado pelos poros e/ou vazios e o volume total da amostra



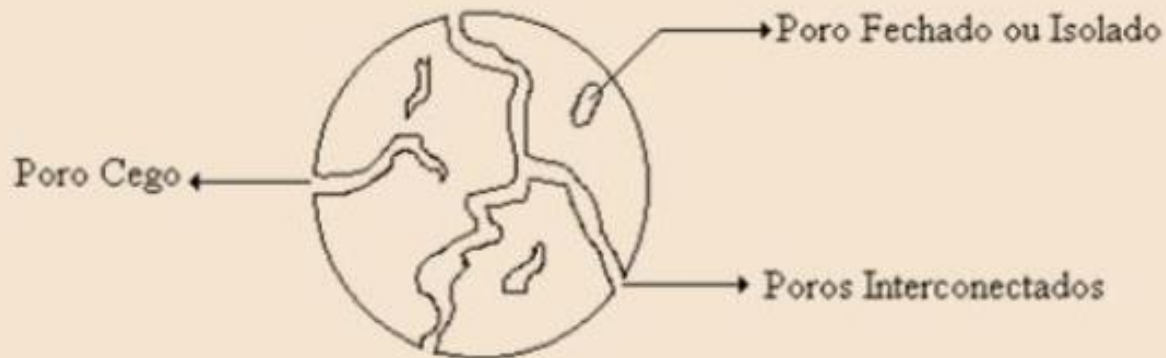
Caracterização Física

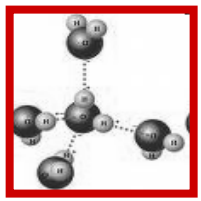
Porosidade:

Aberta: permeável e/ou penetrável

Fechada: isolada e/ou não acessível

Tipos de Poros: poros interconectado ou efetivo e poros isolados (fechados) ou não-interconectados. Existem ainda os poros cegos ou “dead-end”, que são interconectados apenas por um lado.





Caracterização Física

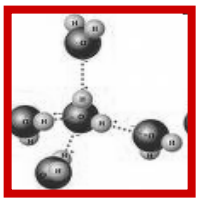
Classificação dos poros conforme o tamanho (Allen, 1997):

- **Macroporos** - têm amplitude superior a 50 nm;
- **Mesoporos** - amplitude de 2 a 50 nm;
- **Microporos** - amplitude de 0,6 a 2 nm,
- **Ultramicroporos** - têm amplitude menor que 0,6 nm.

O valor da porosidade total de um material é a razão entre todos os poros (abertos e fechados) em relação ao volume do material.

O valor da porosidade aparente de um material é a razão dos poros abertos (interconectados e acessíveis) e a porosidade total do material.

A porosidade pode variar desde próximo a zero (materiais altamente densificados, por exemplo, metais, rochas vulvânicas, cerâmicas especiais) até quase à unidade (filtros fibrosos, isolantes térmicos, *scaffolds*)



Caracterização Física

Métodos da Intrusão de Mercúrio ou Porosimetria de Hg

Em síntese o volume da amostra é determinado pela imersão no material no mercúrio (baixa pressão). O líquido não penetra nos poros, pois não ocorre o molhamento do material pelo mercúrio. Impõe-se pressão alta na câmara de contenção (amostra+mercúrio) forçando o mercúrio nos poros.

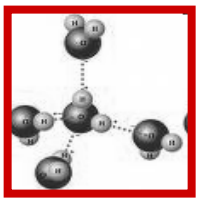
O porosímetro mede a porosidade e a distribuição de tamanhos de poros da amostra.

Utiliza-se de uma equação matemática para a determinação do diâmetro de poro.

A equação considera que todos os poros são cilíndricos e que eles se esvaziam completamente quando a pressão é reduzida a zero.

Os dados obtidos em um porosímetro de intrusão de mercúrio são:

- Volume acumulado de poros versus diâmetro de poro
- Diâmetro médio de poros
- Porosidade média
- Densidade real e aparente do material



Caracterização Física

Porosimetria de Mercúrio

O método de porosimetria de mercúrio para a determinação de tamanhos de poros abertos em sólidos porosos, baseia-se na não molhabilidade destes sólidos pelo mercúrio, devido a um balanço de suas energias superficiais. Em decorrência deste fato, torna-se necessário aplicar pressão para forçar a entrada de mercúrio no interior dos poros do material, que devem ser previamente submetidos a vácuo para a retirada do ar existente.

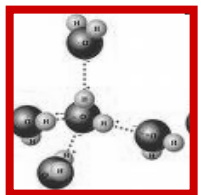
O raio do poro pode então ser relacionado à pressão necessária para preenchê-lo. Neste caso, o raio de intrusão (R_i) é calculado a partir da pressão aplicada (P_{ap}), supondo o poro cilíndrico, pela equação de Washburn:

$$R_i = \frac{-2\gamma_{LV} \cdot \cos\omega}{P_{ap}}$$

onde:

γ_{LV} : energia de interface mercúrio-ar

ω : ângulo de contato entre o mercúrio e a amostra.

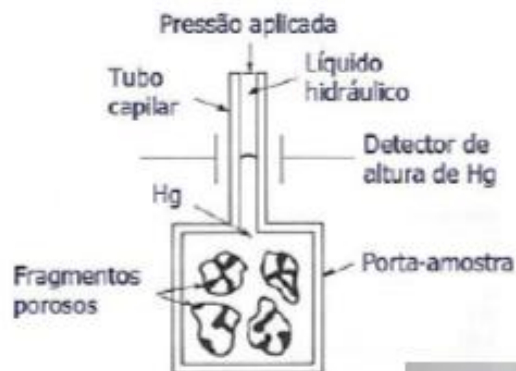
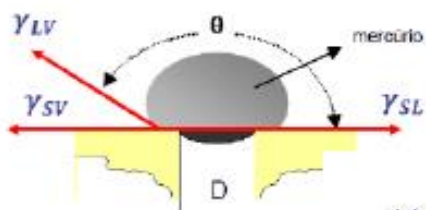


Caracterização Física

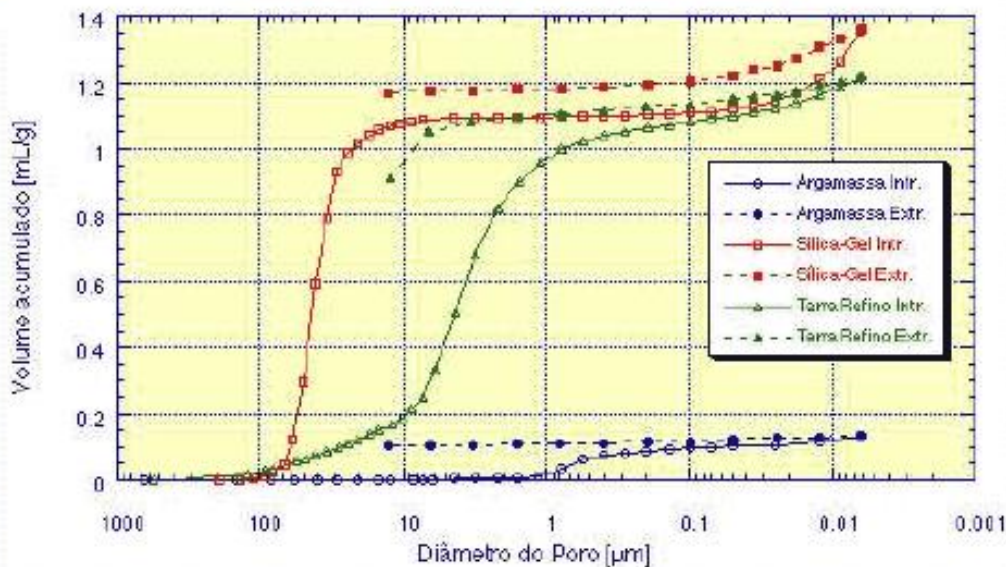
Porosimetria de Mercúrio – Princípios Físicos da Técnica

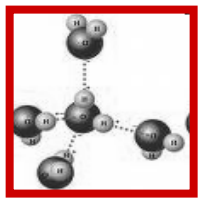
Hg utilizado como líquido de intrusão:

- não molha a maioria dos materiais;
- apresenta alta tensão superficial;
- baixa reatividade química à T_{ambiente} .



Distribuição de Poros de diferentes materiais





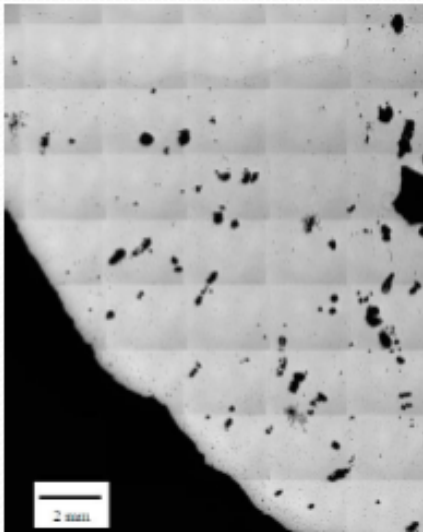
Caracterização Física

Porosidade por Imagens

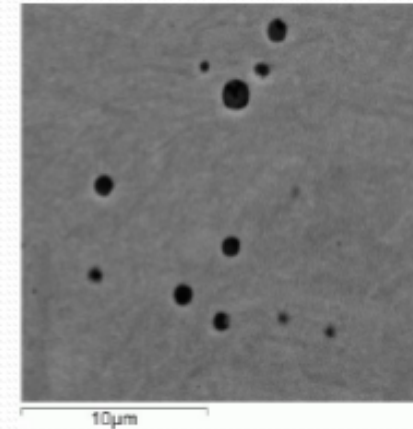
- Microscopia Óptica (MO)
- Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

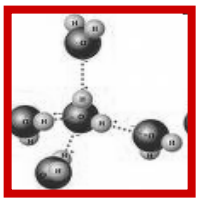
Processamento e Análise Digital de Imagens
(ex: Programa AxioVision)

Óptico



MEV

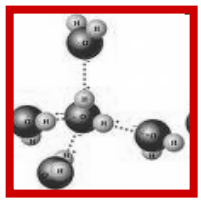




Caracterização Física

Técnicas de Caracterização Física

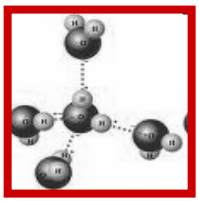
- Tamanho de Partículas
- Tamanho Médio
- Distribuição de Tamanhos
 - Distribuição por Massa
 - Distribuição por Frequência
- Morfologia



Caracterização Física

Tamanho de Partículas - Conceitos gerais:

- Partícula = unidade discreta de uma porção de matéria com dimensões muito pequenas.
- Aglomerado = conjunto de partículas ligadas por forças fracas (eletrostáticas, Van der Waals).
- Agregado = conjunto de partículas ligadas por forças fortes (ligações primárias).
- Grânulos = conjunto de partículas ligadas por forças fracas propiciadas intencionalmente (ligantes).
- Flocos = conjunto de partículas ligadas por forças fracas em um meio fluido (suspensão).
- Colóides = partículas muito pequenas menores que as que podem ser vistas a olho nú menores que $0,5 \mu\text{m}$.



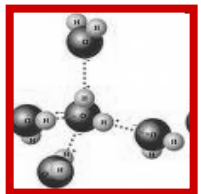
Caracterização Física

Tamanho de Partículas – Diâmetro Equivalente

Somente para as esferas, o tamanho de uma partícula pode ser representada por um único parâmetro, por exemplo, seu diâmetro.

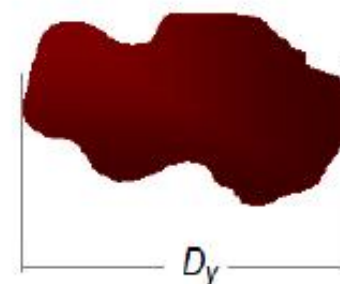
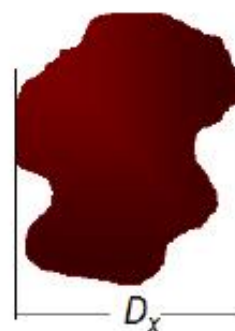
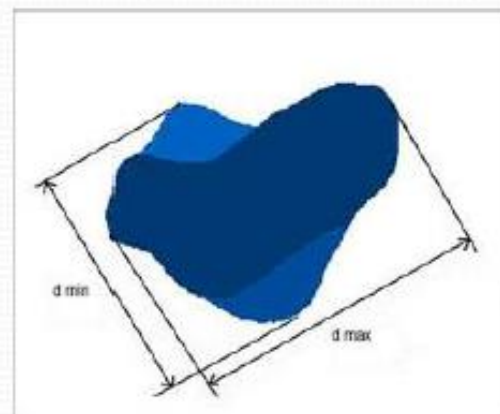


Diâmetro	Definição
Volumétrico (d_v)	Diâmetro da esfera com o mesmo volume que a partícula
Superficial (d_s)	Diâmetro da esfera com a mesma área superficial que a partícula
Peneira (d_p)	Tamanho equivalente da menor abertura através da qual a partícula passa
Stokes (d_{st})	Diâmetro da esfera com a mesma velocidade de sedimentação que a partícula
Área projetada (d_s)	Diâmetro do círculo com a mesma área projetada que a partícula



Caracterização Física

Tamanho de Partículas – Modelos



Diâmetros de Feret:

Diâmetro mínimo de Feret =

D_x

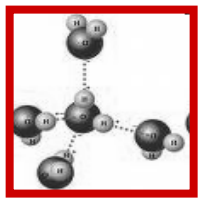
Diâmetro máximo de Feret =

D_y

Diâmetro médio de Feret =

$D_{médio}$

$$D_{médio} = \frac{D_x + D_y}{2}$$



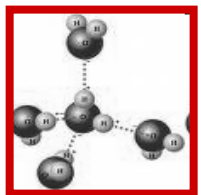
Caracterização Física

Tamanho de Partículas – Técnicas de Medição

A determinação de valores exatos de tamanho de partícula é importante difícil medida.

Como cada técnica de análise é baseada em princípios físicos diferentes os resultados obtidos podem ser diferentes.

Técnica	Diâmetro	Distribuição	Observações
Peneiramento	d_p	Massa	Bloqueio, razão de aspecto
Sedimentação	d_{st}	Massa	Aglomeração, partículas esféricas
Difração a laser	d_a	Volume	Interação luz-partícula (<1 μm), partículas esféricas
Microscopia com análise de imagem	d_a	Número	Arranjo de partículas, amostragem

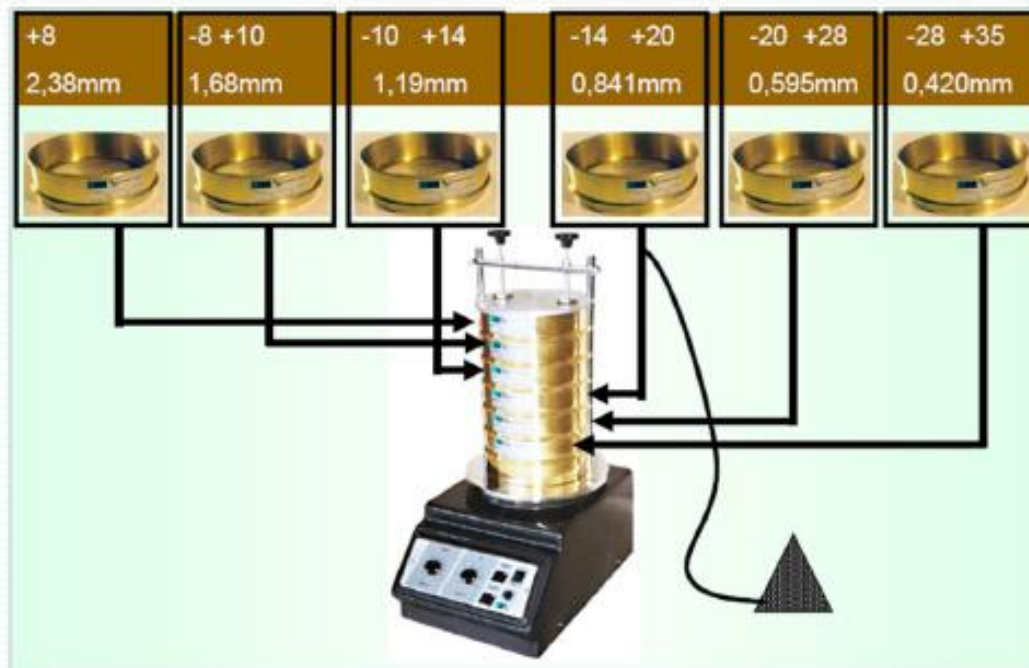


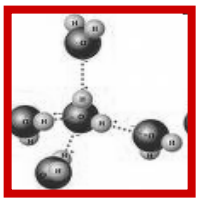
Caracterização Física

Análise Granulométrica

Série Fina	ASTM ASA USS	TYLER MESH	Aberturas em milímetros	Aberturas em polegadas
4	4	4	4,76	0,187
6	6	6	3,36	0,132
8	8	8	2,38	0,0937
12		10	1,68	0,0661
16		14	1,19	0,0469
20		20	0,84	0,0331
30		28	0,59	0,0232
40		35	0,42	0,0165
50		48	0,297	0,0117
70		65	0,210	0,0083
100		100	0,149	0,0059
140		150	0,105	0,0041
200		200	0,074	0,0029
270		270	0,053	0,0021
400		400	0,037	0,0015
		625	0,020	0,0008
		1250	0,010	0,0004
		2500	0,005	0,0002

Peneiramento: é o método clássico de se obter uma análise granulométrica. As peneiras (padronizadas) são agrupadas em uma ordem decrescente de mesh, de baixo para cima, ou em ordem crescente de diâmetro de peneira.





Caracterização Física

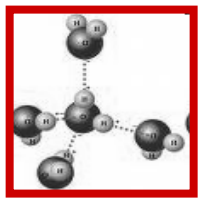
Distribuição do Tamanho de Partículas

Difração a laser:

Técnica amplamente utilizada para determinação do tamanho de partículas para materiais que vão desde centenas de nanômetros a vários milímetros de tamanho.

Princípio: medição da variação angular na intensidade da luz difundida à medida que um feixe de laser interage com as partículas dispersas da amostra.

- Partículas grandes: dispersão da luz em pequenos ângulos em relação ao feixe de laser;
- Partículas pequenas: dispersão da luz em ângulos grandes.

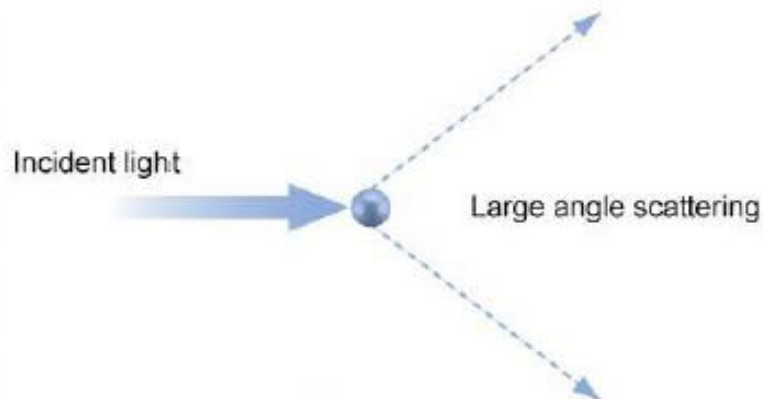


Caracterização Física

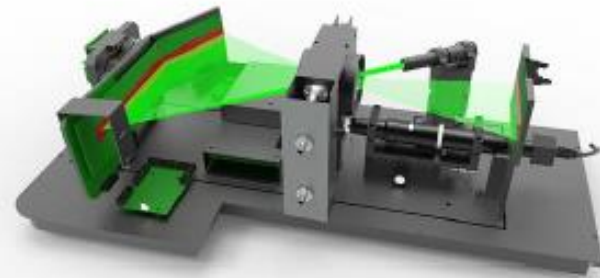
Distribuição do Tamanho de Partículas

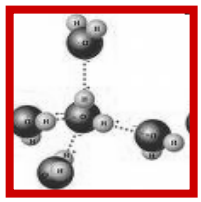
Difração a laser:

Analisa Tamanho e Distribuição de Partículas de 0.01 μm a 3.500 μm .



Espalhamento de luz de partículas pequenas e grandes.



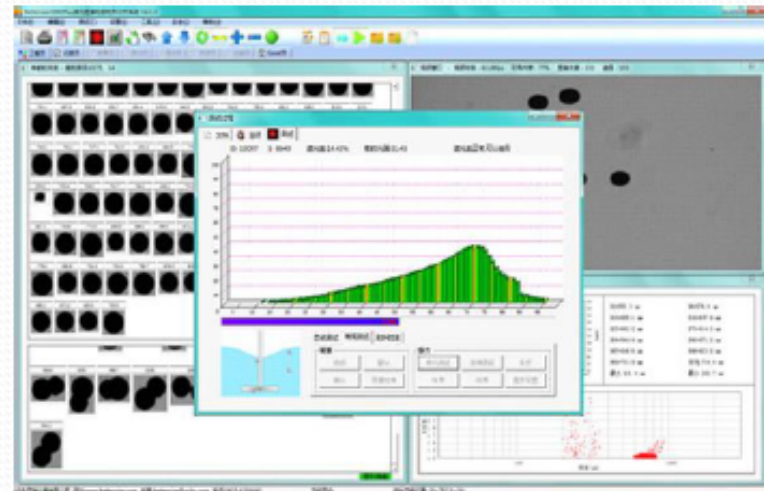


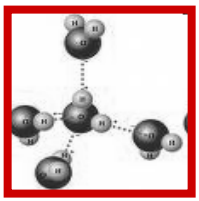
Caracterização Física

Distribuição do Tamanho de Partículas

Difração a laser:

- Os dados sobre a intensidade da dispersão angular são então analisados para calcular o tamanho das partículas responsáveis por criar o padrão de dispersão, com base na teoria de difusão da luz. O tamanho das partículas é indicado como o diâmetro de uma esfera de volume equivalente.
- A técnica não mede partículas individuais. Através de transformações matemáticas complexas (transformada de Fourier inversa), calcula-se uma estatística de distribuição de tamanho dessa população de partículas.
- Se o modo da distribuição é abaixo de $1\ \mu\text{m}$, aparelhos baseados em sedimentação são mais indicados.





Caracterização Física

Distribuição do Tamanho de Partículas

Sedimentação:

É um processo de separação em que a mistura de um sólido suspenso num líquido é deixada em repouso ou adicionada continuamente em uma unidade de sedimentação. A fase mais densa deposita-se (separa-se) no fundo do recipiente.

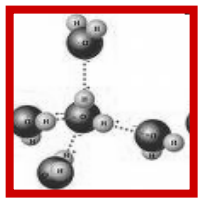
Lei de Stokes: a velocidade de sedimentação de uma partícula esférica é proporcional ao quadrado do diâmetro da partícula.

$$V = \frac{h}{t} = D^2 \frac{(\rho_p^2 - \rho_L^2)g}{18\mu}$$

Diagram illustrating the variables in the Stokes' Law equation:

- V : Velocidade da partícula
- h : Distância de queda percorrida no tempo t
- t : Tempo
- D : Diâmetro da partícula (\emptyset esférico equivalente)
- ρ_p : Densidade da partícula
- ρ_L : Densidade do meio líquido
- g : Constante gravitacional
- μ : Viscosidade do meio líquido





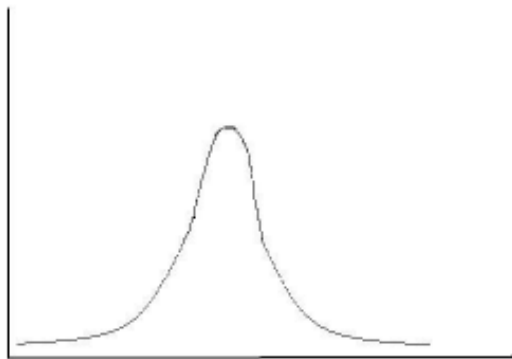
Caracterização Física

Distribuição do Tamanho de Partículas

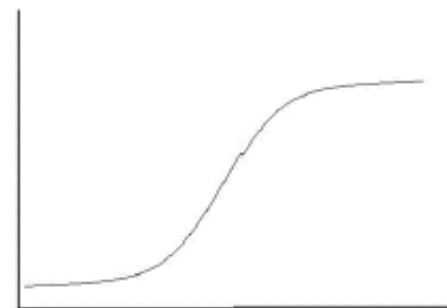
Sedimentação:

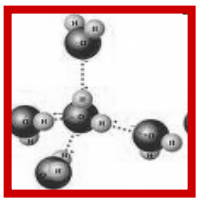
- Equipamento Sedigraph: baseia-se na velocidade de sedimentação da(s) partícula(s) em meio líquido. Faixa de tamanho de partículas: 1 a 100 μm .
- O tempo de análise depende da faixa granulométrica que vai ser analisada, isto é, quanto menor a partícula, maior será o tempo para a mesma sedimentar.

Distribuição da frequência (ou probabilidade) de partículas em função do seu tamanho



Distribuição da frequência cumulativa de partículas em função do seu tamanho





Caracterização Física

Distribuição do Tamanho de Partículas

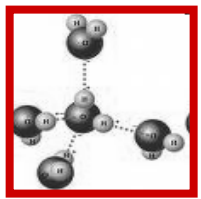
Sedimentação – Equipamento Sedigraph

Procedimento:

Preparação da suspensão em agitação magnética, transporte para uma célula onde ocorrerá a sedimentação das partículas. Na primeira etapa da análise, o sedigraph mede a transmitância de RX através da suspensão da amostra em movimento, sem sedimentação - relacionada à concentração total de partículas presentes.

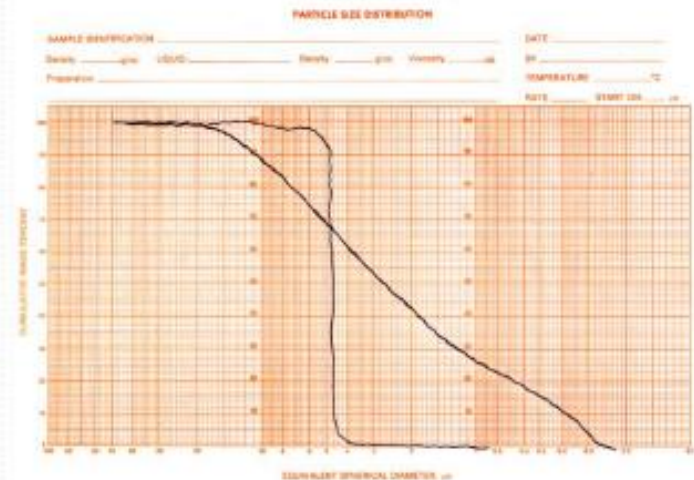
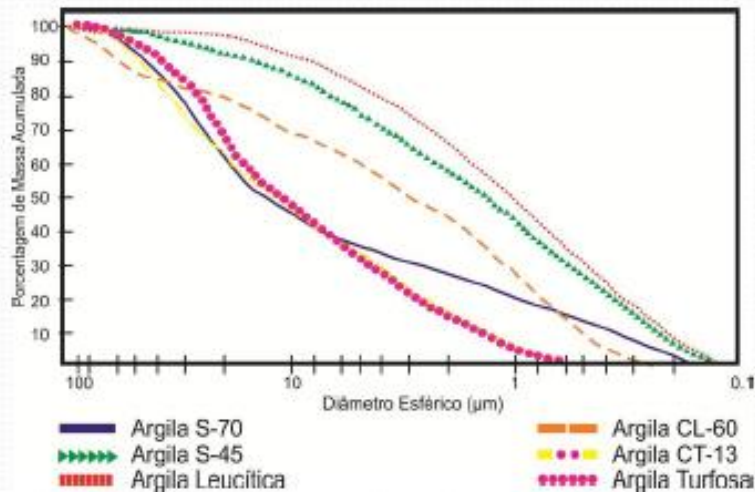
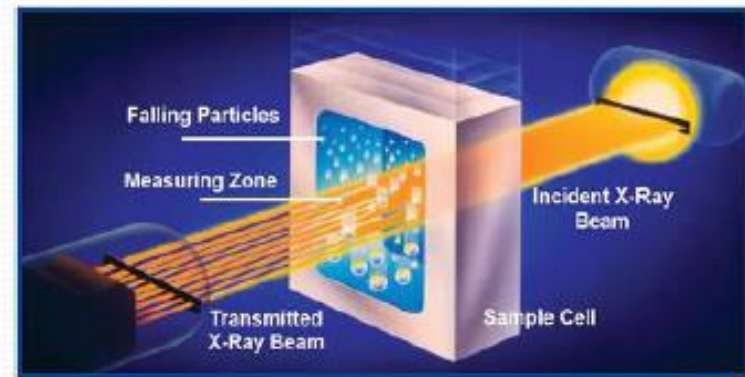
Em seguida a sedimentação começa a ocorrer. A transmitância de raios X é, então, medida novamente nas diferentes posições na cela (medidas em relação ao topo da mesma) e nos tempos pré-selecionados com base na lei de Stokes (medidos a partir do momento em que a circulação da suspensão de amostra foi interrompida).

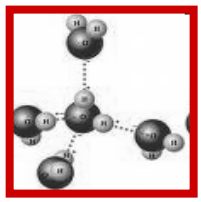
As transmitâncias assim obtidas se relacionam à concentração de partículas com o exato diâmetro correspondente à distância e ao tempo de queda em que foram medidas.



Caracterização Física

Distribuição do Tamanho de Partículas Sedimentação – Equipamento Sedigraph

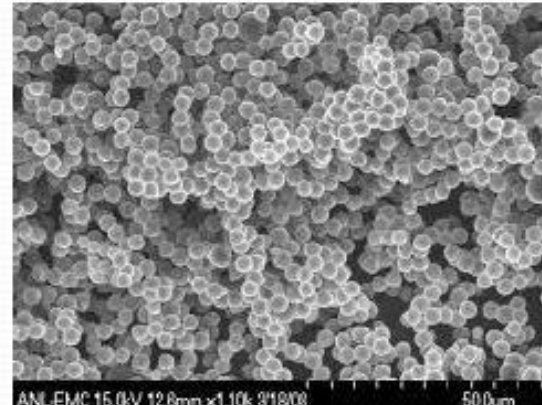
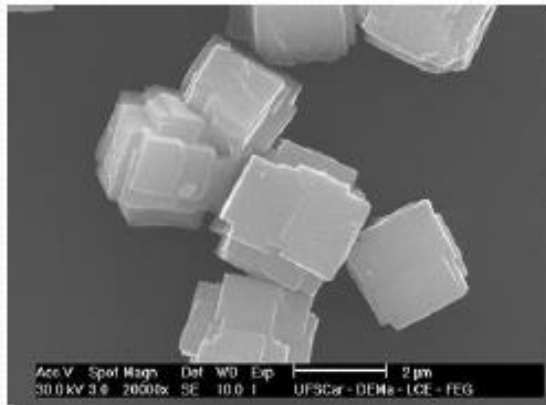
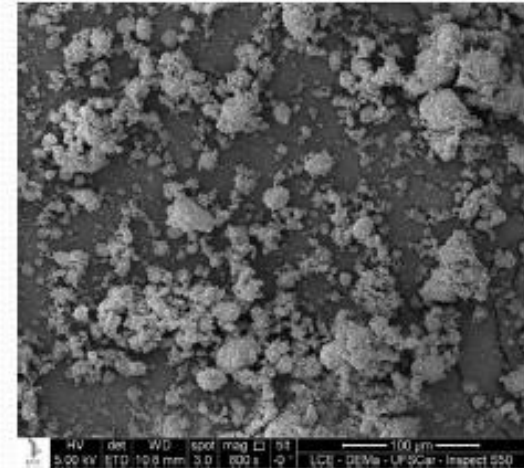
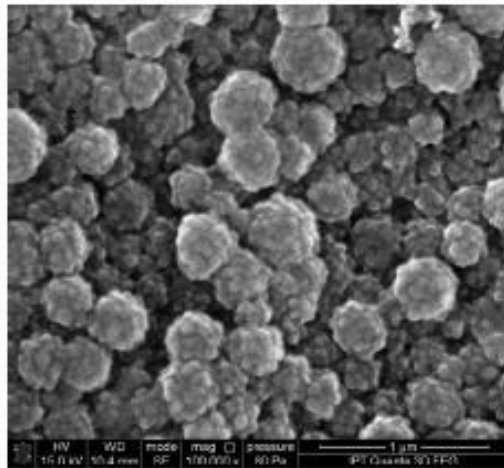




Caracterização Física

Microscopia – Tratamento Digital

Tamanho – Forma – Distribuição (partículas e poros)

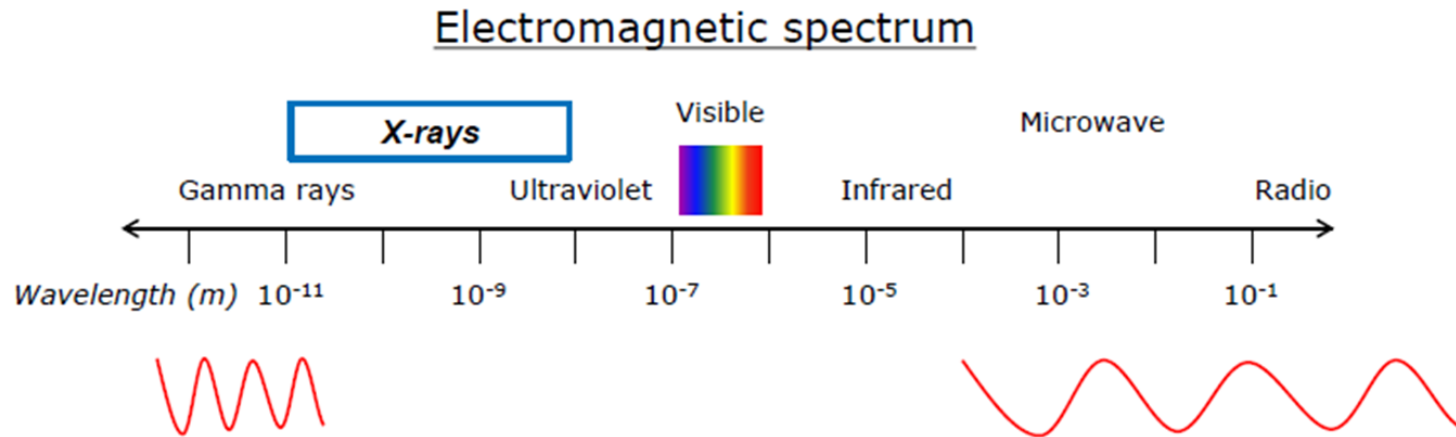




Análise Mineralógica

- **Difração de raios X (DRX)**

- É uma das principais técnicas de caracterização da microestrutura de materiais cristalinos: investigação da ordem atômica e estrutura cristalina.



Os comprimentos de onda dos raios-X são da mesma magnitude que as distâncias atômicas.

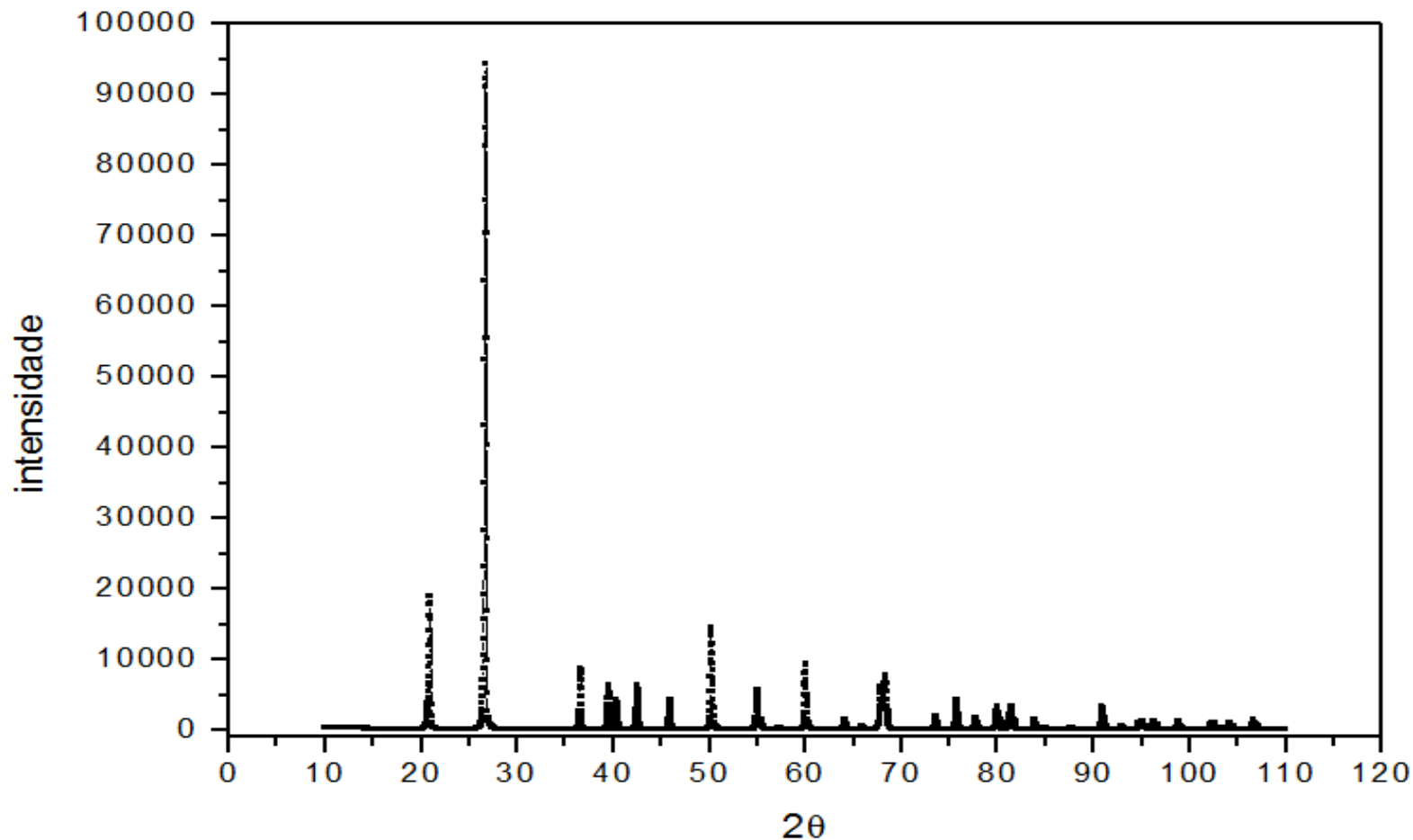
Para análise de raios-X, comprimentos de onda entre 0,1 e 2,5 Å são usados.

$$1 \text{ nm} = 10 \text{ \AA} = 10^{-9} \text{ m}$$



Análise Mineralógica

- DRX



Difratograma padrão da sílica (quartz SiO₂)



Análise Mineralógica

- DRX

Ficha cristalográfica da sílica (quartzo SiO₂), fornecida pelo JCPDS-ICDD

33-1161

JCPDS-ICDD Copyright 1992

QM=*

SiO₂

silicon oxide

Quartz, syn

Rad: CuK₁ Lambda: 1.540598 Filter: Mono. d-sp: Diff.
Cutoff: Int: Diffractometer I/Icor: 3.6
Ref: Natl. Bur. Stand. (U.S.) Monogr. 25, 18 61 (1981)

Sys: Hexagonal S.G.: P3221 (154)
a: 4.9133(2) b: c: 5.4053(4) A: C: 1.1001
A: B: C: Z: 3 mp:
Ref: Ibid.

Dx: 2.65 Dm: 2.66 SS/FOM: F30=77(.013,31)

ea: nwb: 1.544, ey: 1.553, sign: + 2V:
Ref: Swanson, Fuyat, Natl. Bur. Stand. (U.S.), Circ. 539, 3 24 (1954)

33-1161

JCPDS-ICDD Copyright 1992

QM=*

Color: Colorless

Pattern at 25 C. Sample from the Glass Section at NBS, Gaithersburg, Maryland, USA, ground single-crystals of optical quality. Pattern reviewed by J. Holzer and G. McCarthy, North Dakota State University, Fargo, North Dakota, USA, JCPDS Grant-in-Aid Report (1990). Agrees well with experimental and calculated patterns. O₂Si type. Quartz group. Also called: silica. silicon used as internal standard. PSC: hp9. To replace 5-490. Plus 6 reflections to 0.9089. Mwt: 60.08. Volume[CD]: 113.00.

Strong lines: 3.34/X 4.26/2 1.82/1 1.54/1 2.46/1 2.28/1 1.37/1 1.38/1

Análise Mineralógica

- DRX

Ficha cristalográfica da sílica (quartzo SiO_2), fornecida pelo JCPDS-ICDD

2-theta	Int.	h k l	2-theta	Int.	h k l
20.850	22	1 0 0	67.748	6	2 1 2
26.651	100	1 0 1	68.128	7	2 0 3
36.541	8	1 1 0	68.321	8	3 0 1
39.455	8	1 0 2	73.460	2	1 0 4
40.283	4	1 1 1	75.668	2	3 0 2
42.464	6	2 0 0	77.660	1	2 2 0
45.808	4	2 0 1	79.875	2	2 1 3
50.139	14	1 1 2	80.044	1	2 2 1
50.610	<1	0 0 3	81.145	3	1 1 4
54.867	4	2 0 2	81.470	3	3 1 0
55.327	2	1 0 3	83.818	1	3 1 1
57.236	<1	2 1 0	84.969	<1	2 0 4
59.947	9	2 1 1	87.461	<1	3 0 3
63.999	1	1 1 3	90.855	2	3 1 2
65.759	<1	3 0 0	92.819	<1	4 0 0

33-1161

JCPDS-ICDD Copyright 1992

QM=*

39 reflections in pattern. Page 2 of 2. Radiation= 1.54056

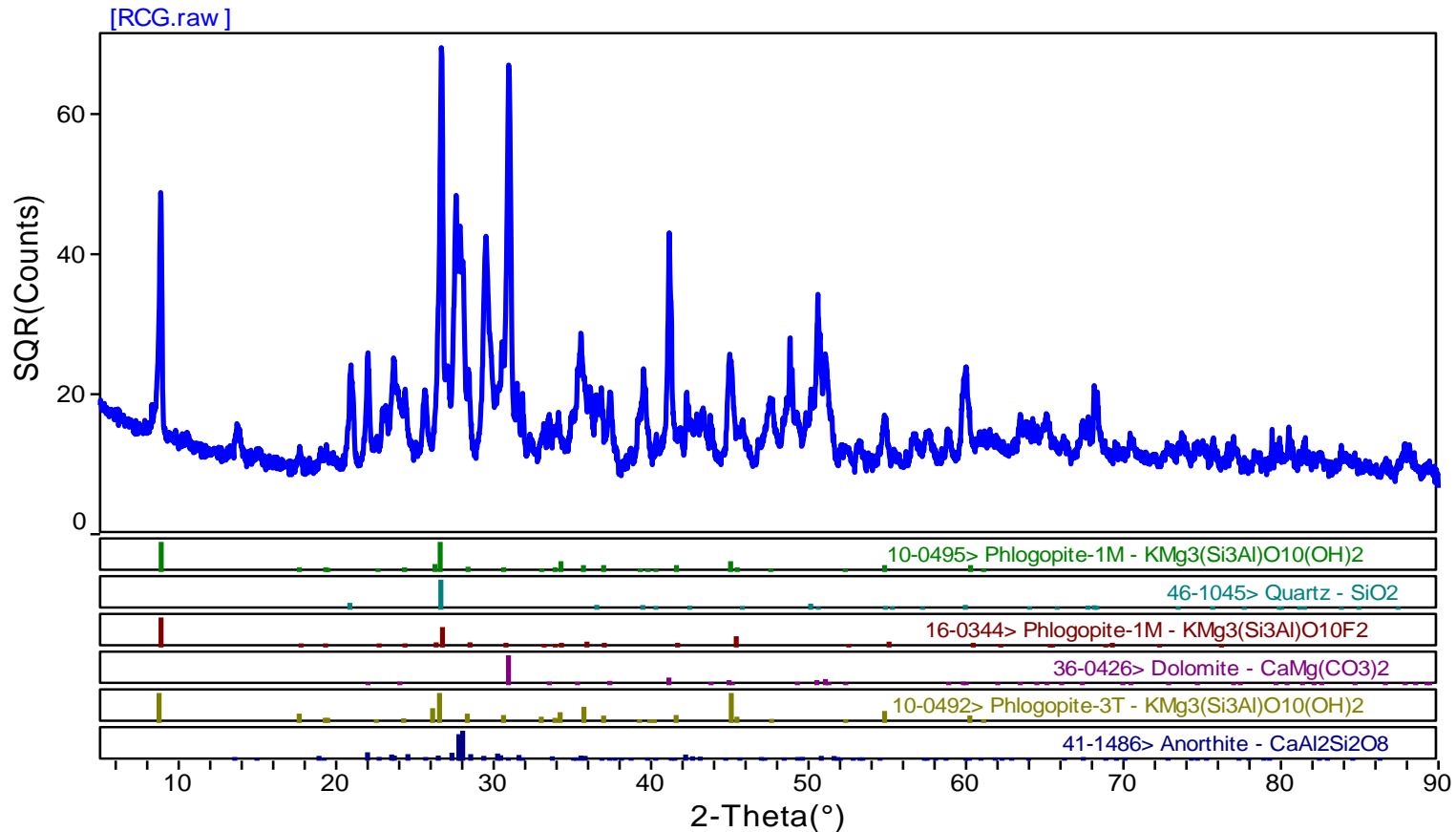
2-theta	Int.	h k l	2-theta	Int.	h k l
94.662	1	1 0 5			
95.115	<1	4 0 1			
96.223	<1	2 1 4			
98.734	1	2 2 3			
102.195	1	4 0 2			
102.556	1	3 1 3			
103.880	<1	3 0 4			
104.195	1	3 2 0			
106.141	<1	2 0 5			



Análise Mineralógica

- DRX

Resíduo de Corte de Mármore e Granito e os prováveis compostos existentes.



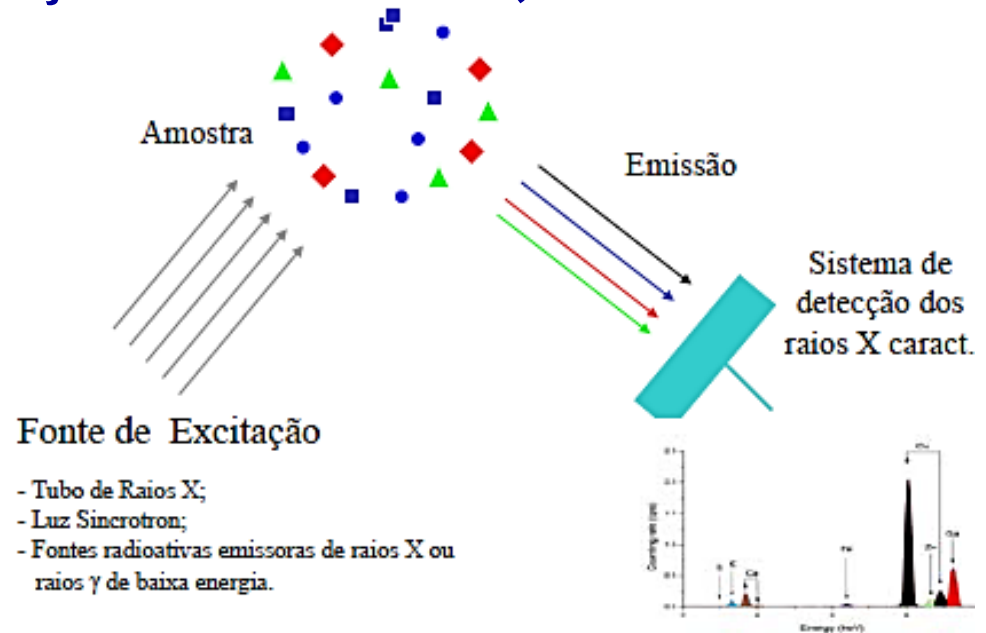


Análise Química

- **Espectrometria de fluorescência de raios X (FRX)**

- É o método usual para caracterizar quimicamente os materiais. Baseia-se no princípio de que a absorção de raios X por parte do material provoca a excitação dos átomos que emite radiação secundária, denominada fluorescência de raios X.

Esquema de excitação-amostra-deteccção

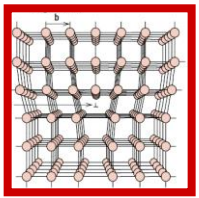




Análise Química

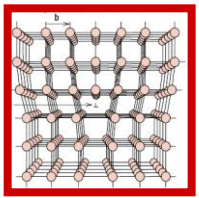
- Espectrometria de fluorescência de raios X (FRX)

A Espectrometria de fluorescência de raios-X é uma técnica não destrutiva que permite identificar os elementos presentes em uma amostra (**análise qualitativa**) assim como estabelecer a proporção (concentração) em que cada elemento se encontra presente na amostra (**análise quantitativa**).



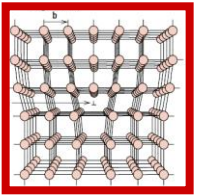
Técnicas de Análises Térmicas

Análises Térmicas abrangem um grupo de técnicas nas quais uma propriedade física ou química de uma substância, ou de seus produtos de reação, é monitorada em função da temperatura ou tempo, enquanto a temperatura da amostra, sob uma atmosfera específica, é submetida a uma programação controlada.

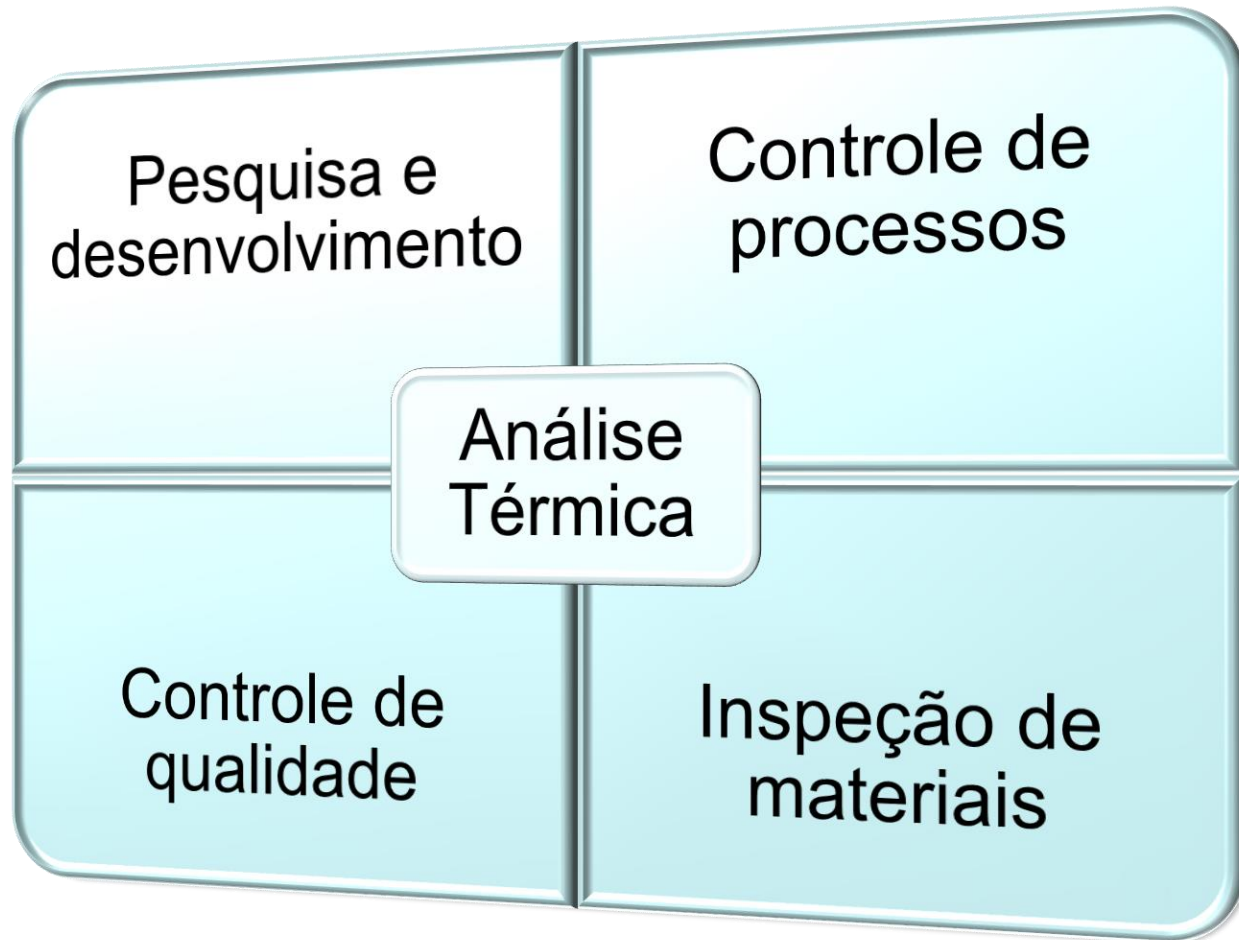


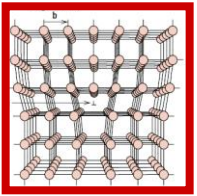
Técnicas de Análises Térmicas

Técnicas	Princípio
Análise Termogravimétrica (TGA)	Massa monitorada durante aquecimento/resfriamento
Análise Térmica Diferencial (DTA)	Temperatura diferencial devido a reações endo/exotérmicas
Calorimetria de Varredura Diferencial (DSC)	Mudança de entalpia devido a reações
Dilatometria	Expansão ou retração durante aquecimento/resfriamento



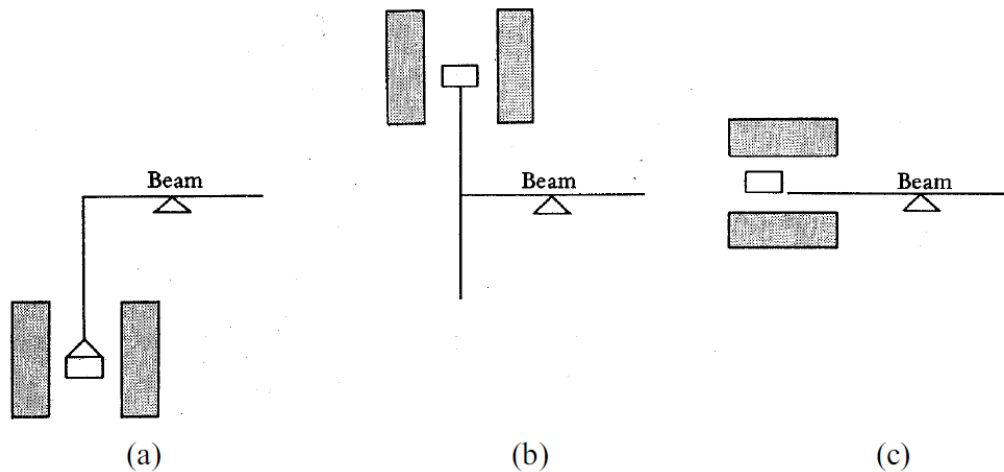
Técnicas de Análises Térmicas





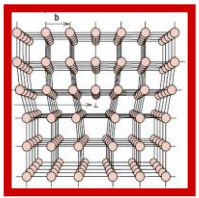
Termogravimetria (TG)

- Técnica utilizada para medir as variações de massa de uma amostra durante o aquecimento (ou resfriamento);
- Evaporação, sublimação, decomposição, oxidação, redução e adsorção de gás;
- Uso de termobalança.



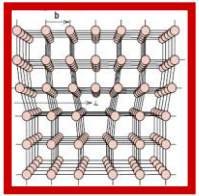
Classificação dos tipos de termobalanças. (a) Suspensa; (b) Balança de topo; (c)

Horizontal



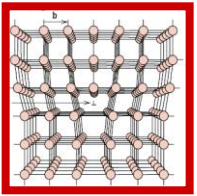
Termogravimetria (TG)

- **Aplicações da TG**
- **Determinação da umidade e volatilidade;**
- **Estudo da desidratação e da higroscopicidade;**
- **Reações no estado sólido que liberam produtos voláteis;**
- **Taxas de evaporação e sublimação;**
- **Calcinação de minerais;**



Termogravimetria (TG)

- **Aplicações da TG**
- **Corrosão de materiais em várias atmosferas;**
- **Degradação térmica oxidativa de materiais poliméricos;**
- **Decomposição térmica ou pirólise de materiais orgânicos, inorgânicos e biológicos.**



Termogravimetria (TG)

Curvas tipo (i): Este tipo de curva é característico de uma amostra que não apresenta variações de massa no ciclo térmico aplicado.

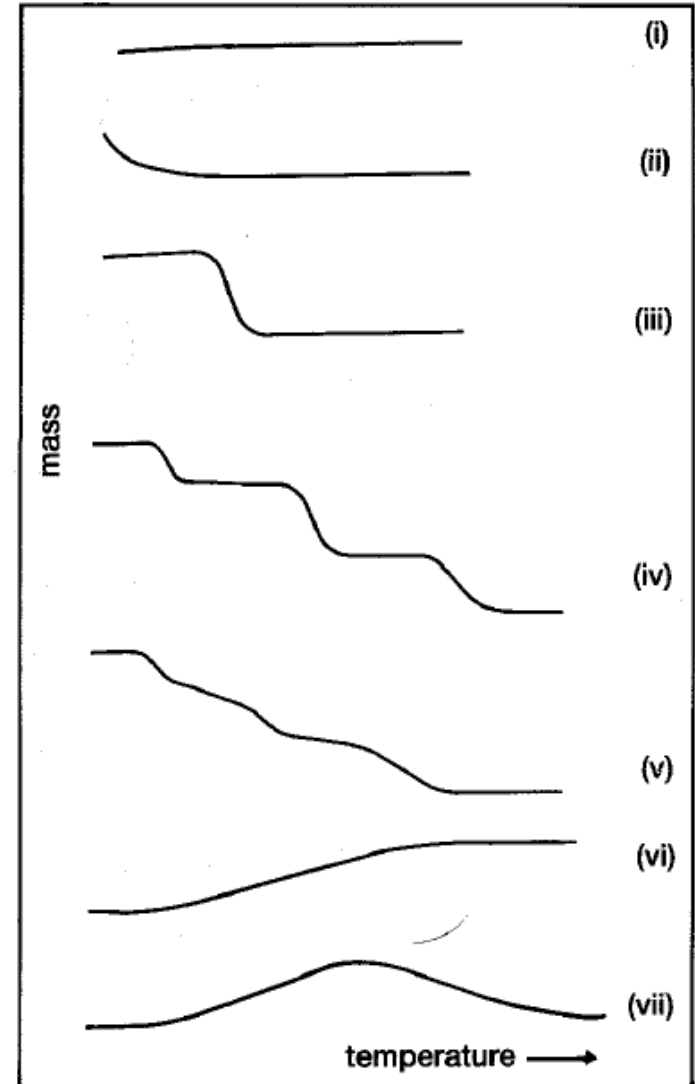
Curvas tipo (ii): A rápida perda inicial de massa é em muitos casos associada à perda de umidade da amostra ou à dessorção de gases.

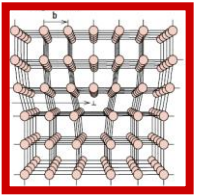
Curvas tipo (iii): Esta curva representa a decomposição de uma amostra em um único estágio.

Curvas tipo (iv) e (v): Estas curvas apresentam estágios múltiplos de decomposição. Entretanto nas curvas do tipo (iv) pode-se determinar as temperaturas limite de estabilidade dos reagentes. Curvas do tipo (v) tendem a apresentar um comportamento mais próximo do tipo (iv) quando a amostra é submetida a menores velocidades de aquecimento (resfriamento).

Curvas tipo (vi): Curva típica de ganho de massa. Como por exemplo: oxidação de metais.

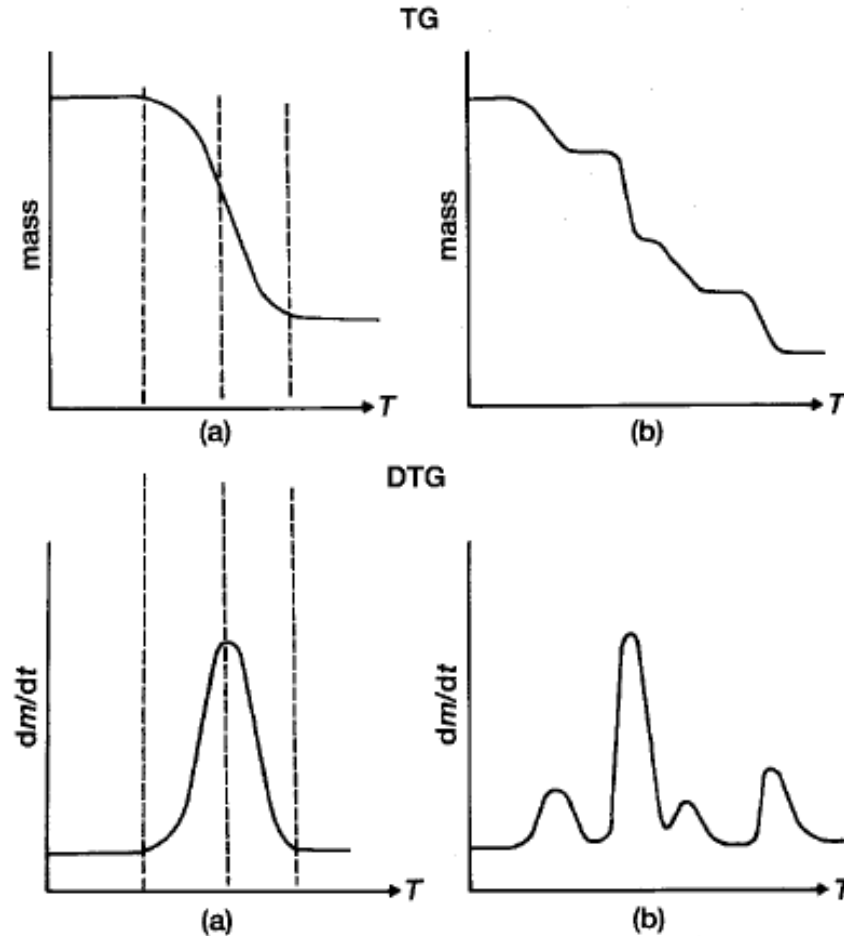
Curvas tipo (vii): Este tipo de curva é muito difícil de ser observado. Um exemplo é a oxidação da prata e posterior decomposição, a altas temperaturas, do óxido formado.



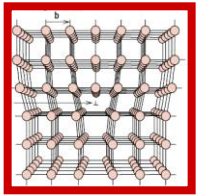


Termogravimetria (TG)

- Análise mais eficiente: DTG (dm/dt).

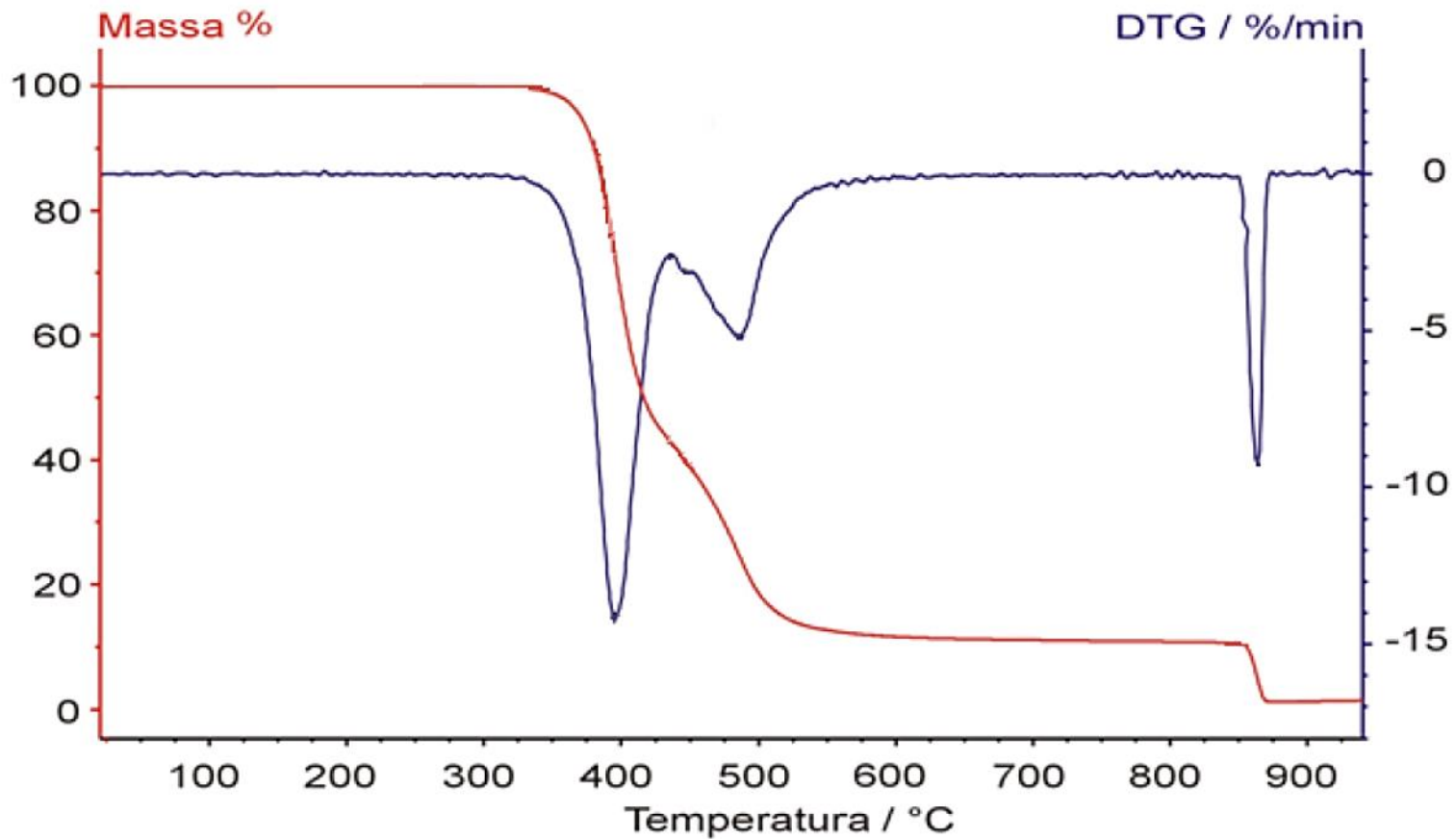


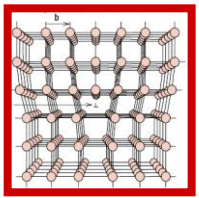
Comparação entre as curvas TG e DTG.



Termogravimetria (TG)

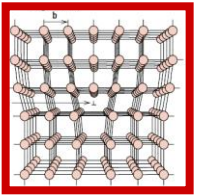
- Análise mais eficiente: DTG (dm/dt).





Análise Térmica Diferencial (DTA)

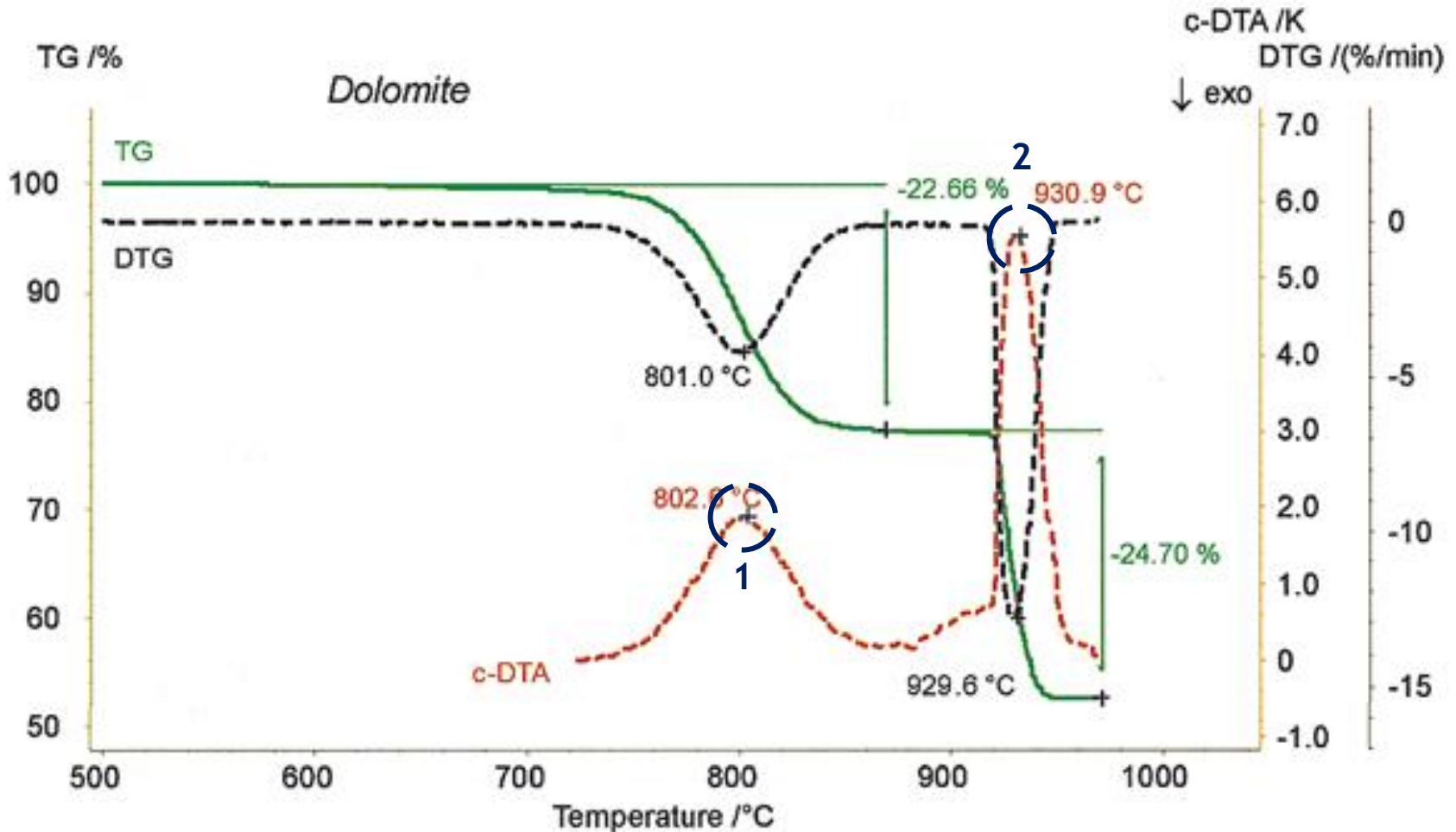
- A análise térmica diferencial (DTA) é uma técnica térmica de medição contínua das temperaturas da amostra e de um material de referência termicamente inerte, à medida que ambos vão sendo aquecidos ou resfriados em um forno.
- Estas medições de temperatura são diferenciais, pois registra-se a diferença entre a temperatura da referência (T_r), e a da amostra (T_a), ou seja: ($T_r - T_a = \Delta T$), em função da temperatura ou do tempo, dado que o aquecimento ou resfriamento são sempre feitos em ritmo linear ($dT/dt = Cte$).

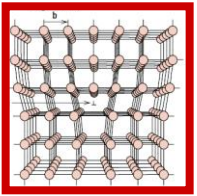


Análise Térmica Diferencial (DTA)

Decomposição da dolomita (1): $(CaMg(CO_3)_2) \rightarrow CaCO_3 + MgO + CO_2 \uparrow$

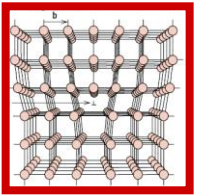
Decomposição da calcita (2): $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2 \uparrow$





Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

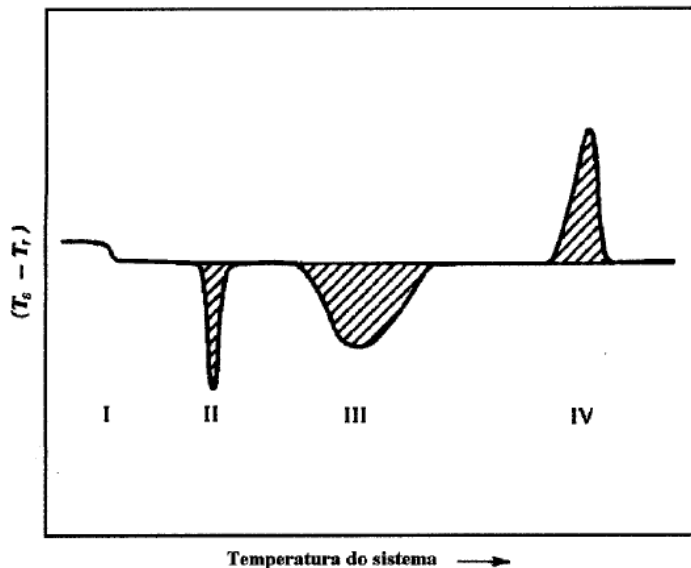
- Calorimetria exploratória diferencial (DSC) é uma técnica na qual mede-se a diferença de energia fornecida a substância e a um material referência, em função da temperatura enquanto a substância e o material referência são submetidos a uma programação controlada de temperatura.
- Os eventos térmicos são representados como desvios da linha de base.



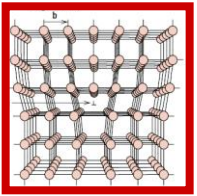
Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

• Material de Referência

- Não apresentar nenhum evento térmico na faixa de temperaturas estudadas;
- Não reagir com o cadinho e com os termopares;
- A condutividade e a capacidade térmica da amostra e da referência devem ser semelhantes.

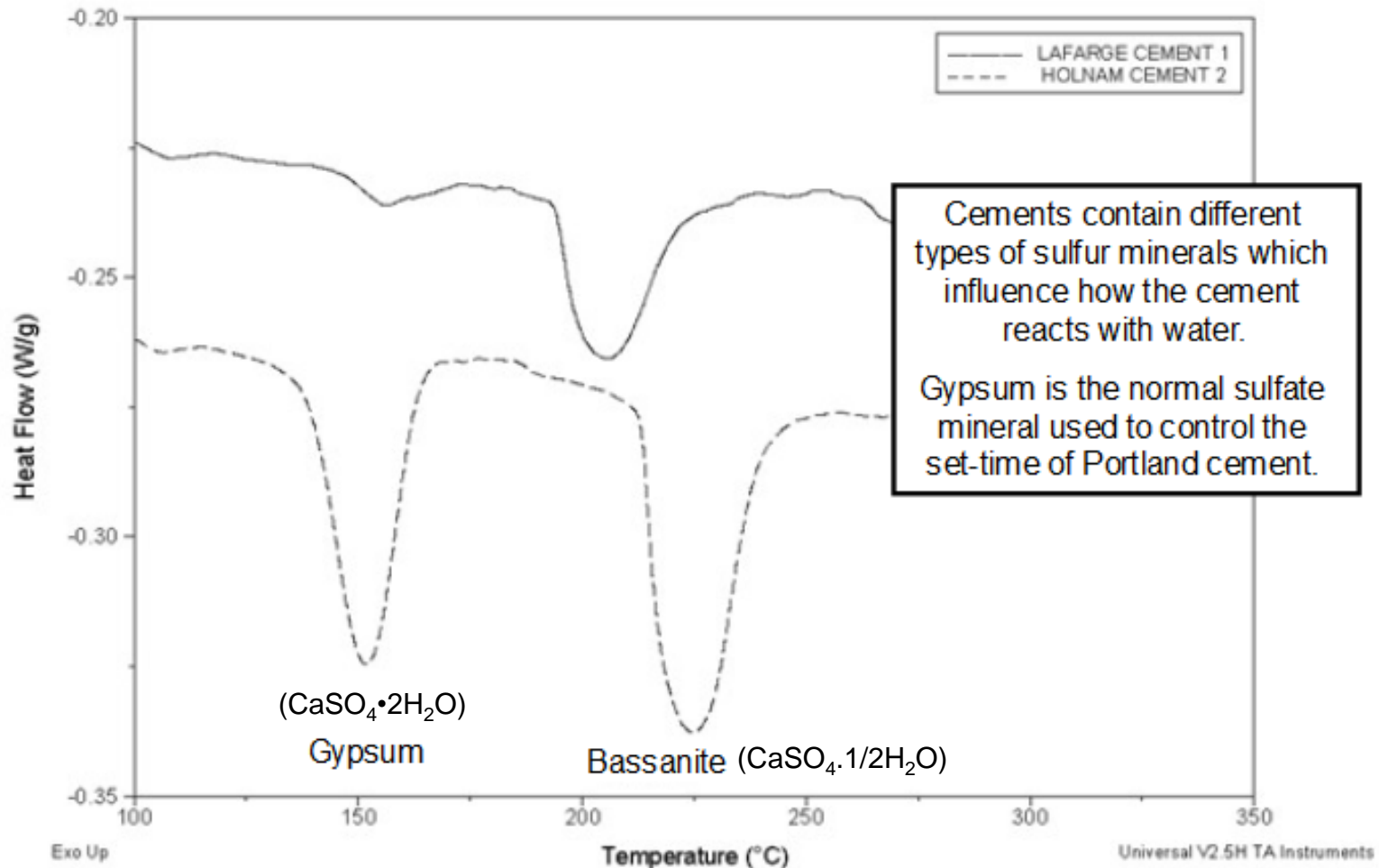


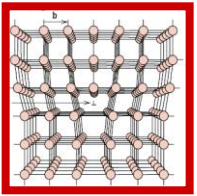
- (I) Transformação de Segunda ordem;
- (II) Reação endotérmica a uma T específica (fusão);
- (III) Reação endotérmica em uma faixa de temperaturas;
- (IV) Reação exotérmica



Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

Differential Scanning Calorimetry (DSC) of Portland Cement





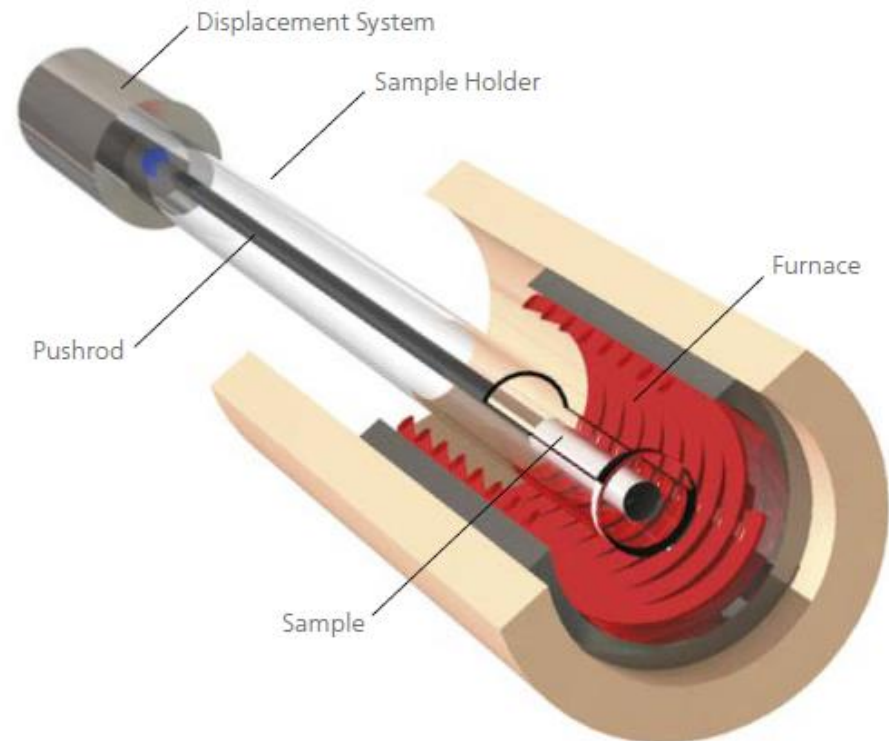
Dilatometria

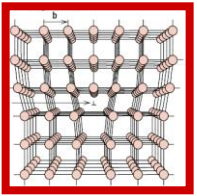
- Baseia-se na expansão de sólidos causadas um aumento da amplitude de vibração dos átomos em torno da separação interatômica de equilíbrio.

Pushrod dilatometry is a method for determining dimensional changes versus temperature or time while the sample undergoes a controlled temperature program. The degree of expansion divided by the change in temperature is called the material's coefficient of expansion (α).

$$\alpha = \frac{1}{L_0} \left(\frac{\Delta L}{\Delta T} \right)$$

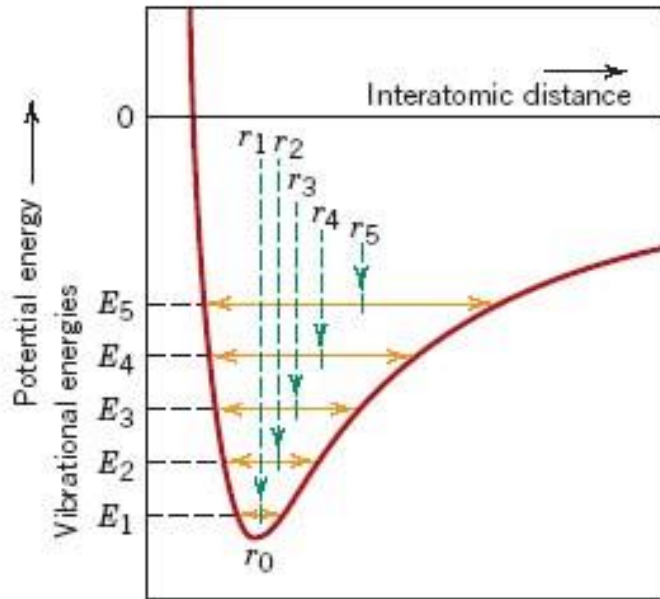
α coefficient of expansion
 L_0 initial sample length
 ΔT change in temperature
 ΔL change in length



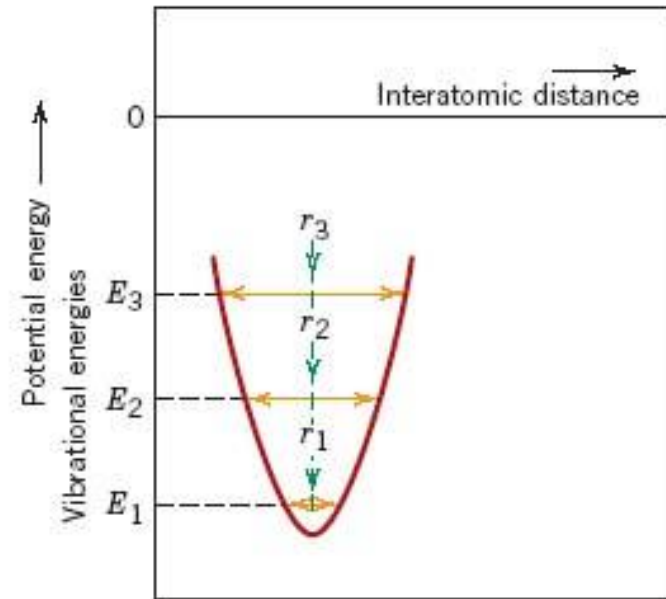


Dilatometria

- **Expansão Térmica (Escala Atômica)**



(a)



(b)

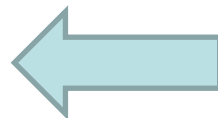
Aumento de energia



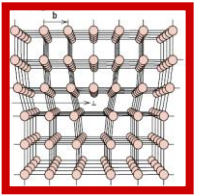
Aumento da vibração
(Potencial assimétrico)



Dilatação

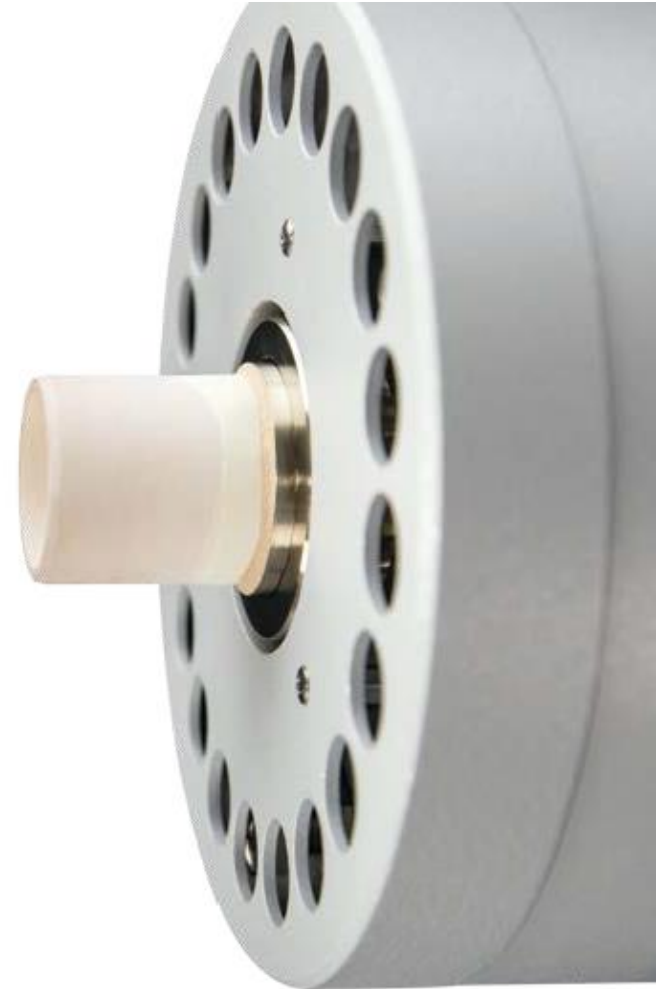


Aumento da distância interatômica

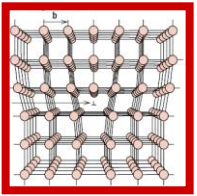


Dilatometria

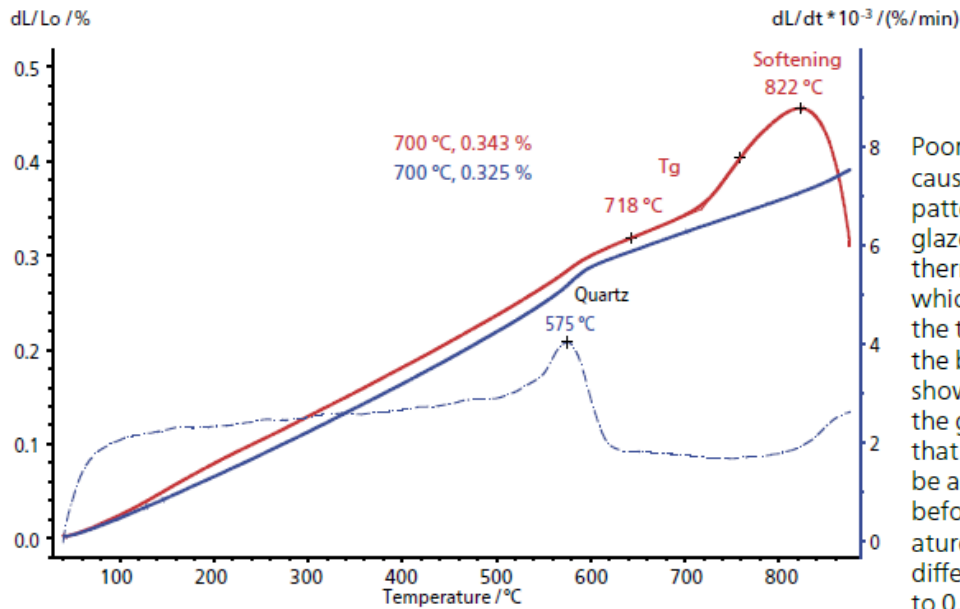
O conjunto formado pela haste e pelo tubo carregador tem como características um baixo coeficiente de expansão térmica e alto ponto de fusão.



Para tal são utilizados normalmente sílica fundida, grafite e alumina.

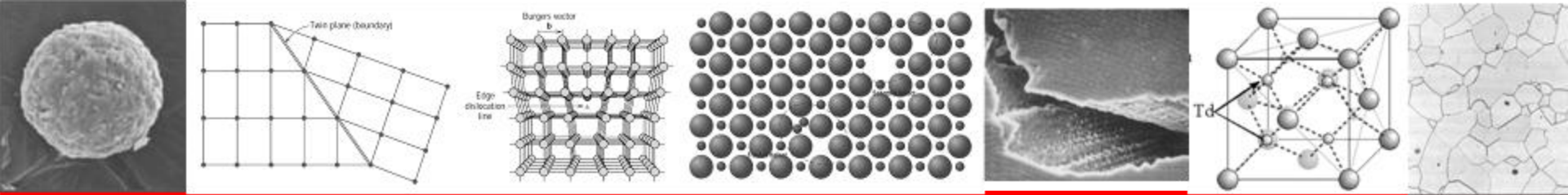


Dilatometria

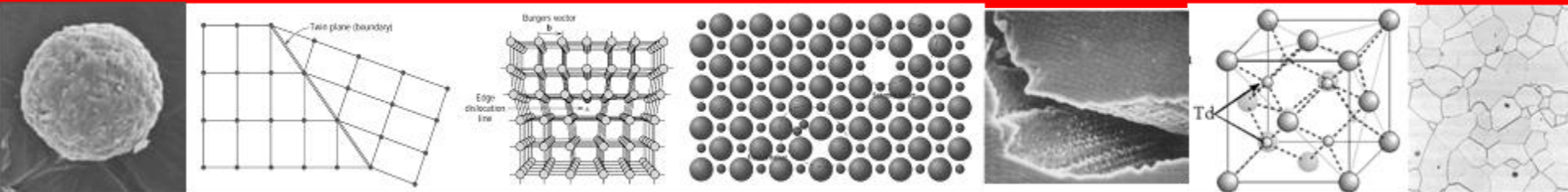


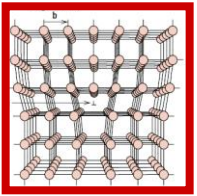
Poor glaze/body fit is the main cause of crazing (spider web pattern of cracks penetrating the glaze). This effect is caused by, e.g., thermal expansion mis-match which can be avoided by adjusting the thermal expansion behavior of the body and the glaze. This plot shows the expansion behavior of the glaze (red curve) compared to that of the body to which it should be applied. At 700°C – shortly before the glass transition temperature of the glaze at 718°C – the difference in expansion amounts to 0.02%. Softening of the glaze occurs at 822°C. The higher expansion of the glaze could lead to unwanted tensile stress during cooling which is proportional to the thermal expansion.

Comparison of the thermal expansion of a glaze and the body on which it should be held. $\alpha \rightarrow \beta$ -transition of quartz is detected at 575°C, shown here in the 1st derivate of the body (blue dotted curve). Measurement condition: heating rate 5 K/min, air atmosphere.



Diagramas de Equilíbrio de Fases





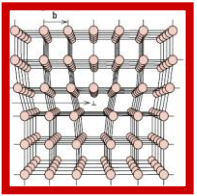
Introdução

- **Por que estudar Diagramas de Fases?**

- Os diagramas de fases (também chamados de diagrama de equilíbrio) relacionam temperatura, composição química e quantidade das fases em equilíbrio;

Um diagrama de fases é um “mapa” que mostra quais fases são as mais estáveis nas diferentes composições, temperaturas e pressão.

- A microestrutura dos materiais pode ser relacionada diretamente com o diagrama de fases;
- Existe uma relação direta entre as propriedades dos materiais e as suas microestruturas.



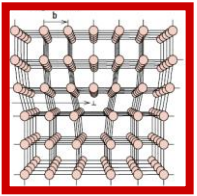
Introdução

- **Importância**

Conhecendo as fases pode-se estimar o tipo de microestrutura presente, e daí as propriedades e aplicações.

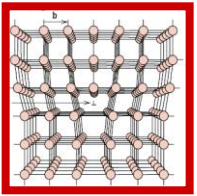
FASES PRESENTES
COMPOSIÇÃO DAS FASES
PROPORÇÃO DAS FASES





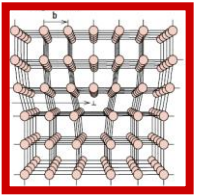
Introdução

- **Definições e conceitos básicos**
 - **Componente:** constituinte químico (elemento ou composto) que compõem um material.
 - **Sistema:** série de possíveis composições com os mesmos componentes.
 - **Solução sólida:** átomos de soluto adicionados ao solvente sem que a estrutura cristalina deste último se altere.



Introdução

- **Definições e conceitos básicos**
 - Fase: porção homogênea de um sistema com características químicas e físicas uniformes.
 - Microestrutura: característica estrutural de um sistema, com influência direta sobre as propriedades físicas.



Introdução

- **Equilíbrio**

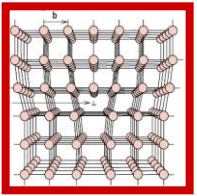
- **Em termos “macroscópicos”**

- Um sistema está em equilíbrio quando suas características não mudam com o tempo, e tende a permanecer nas condições em que se encontra indefinidamente, a não ser que seja perturbado externamente.

- **Em termos termodinâmicos**

- 1) Um sistema está em equilíbrio quando sua energia livre é mínima, consideradas as condições de temperatura, pressão e composição em que ele se encontra.

- 2) Variações dessas condições resultam numa alteração da energia livre, e o sistema pode espontaneamente se alterar para um outro estado de equilíbrio (no qual a energia livre seja mínima para as novas condições de T, P e composição).



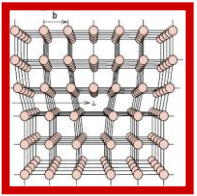
Termodinâmica

- Como a estabilidade de Fases ou Equilíbrio pode ser medida?
- A estabilidade pode ser medida por meio da Termodinâmica. Para transformações em temperatura e pressão constantes, a estabilidade relativa de um sistema é definida pela Energia Livre de Gibbs (G), conforme equação:

$$G = H - TS$$

Onde:

- H é a entalpia,
- T é a temperatura absoluta,
- S é a entropia.

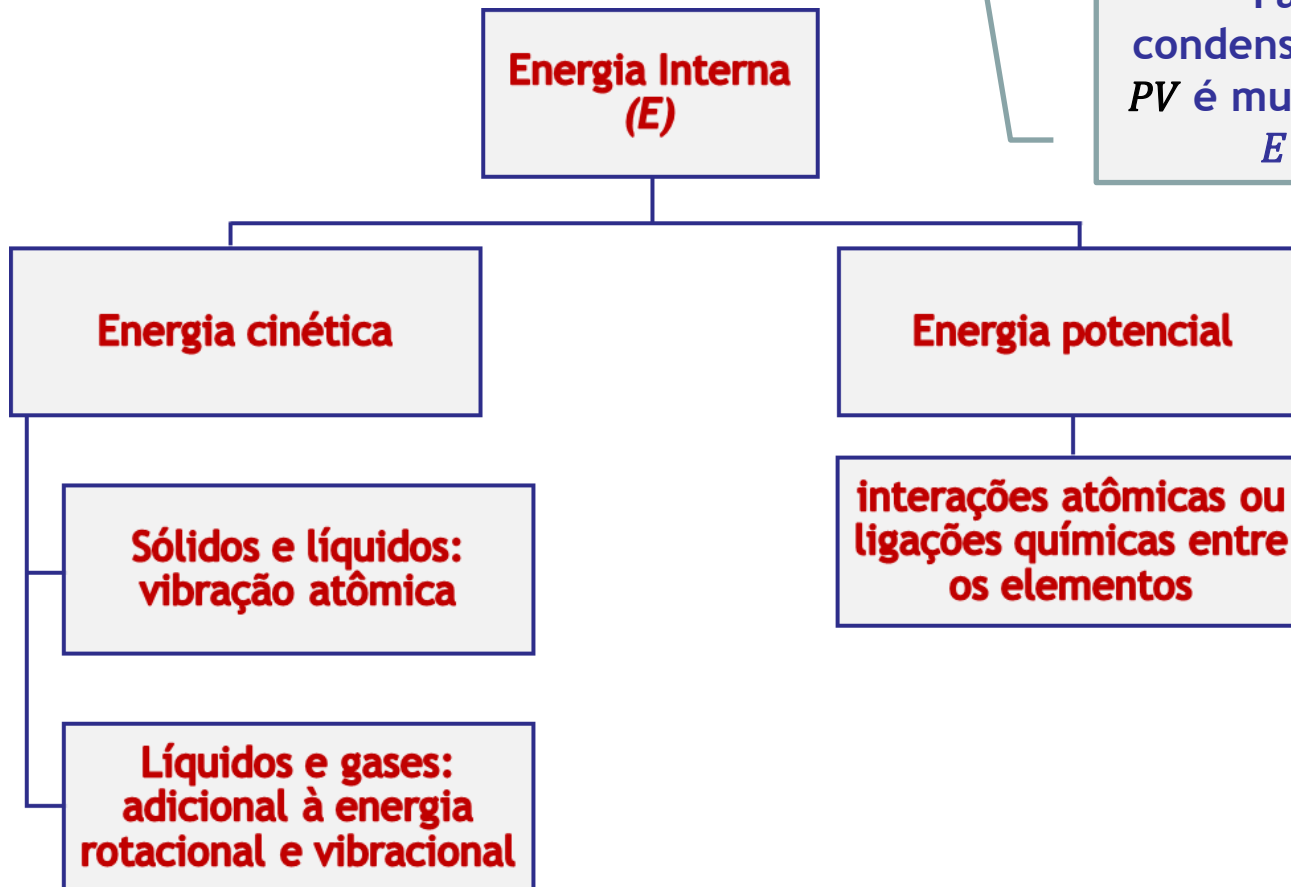


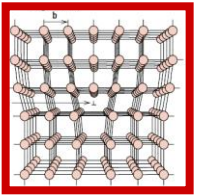
Termodinâmica

- A entalpia (**H**) é uma medida do conteúdo de calor do sistema e é dada por:

$$H = E + PV$$

Para fases condensadas, o termo PV é muito menor que $E \therefore H \sim E$.

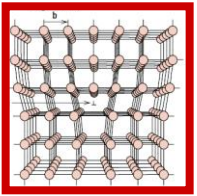




Termodinâmica

- Como a estabilidade de Fases ou Equilíbrio pode ser medida?
- Um sistema é dito em equilíbrio, quando este é o estado mais estável, ou seja, não há tendência de mudança de equilíbrio em um tempo infinitamente grande.
- Para temperatura e pressão constantes, um sistema fechado (uma composição fixa) estará em equilíbrio estável se tiver o menor valor possível de Energia Livre de Gibbs, ou em termos matemáticos:

$$dG = 0$$

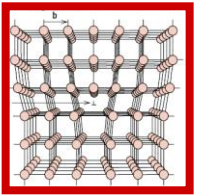


Termodinâmica

- Como a estabilidade de Fases ou Equilíbrio pode ser medida?
- Da equação $G=H-TS$, pode-se concluir que o estado de maior estabilidade será aquele que apresentar o melhor compromisso entre entalpia e entropia.

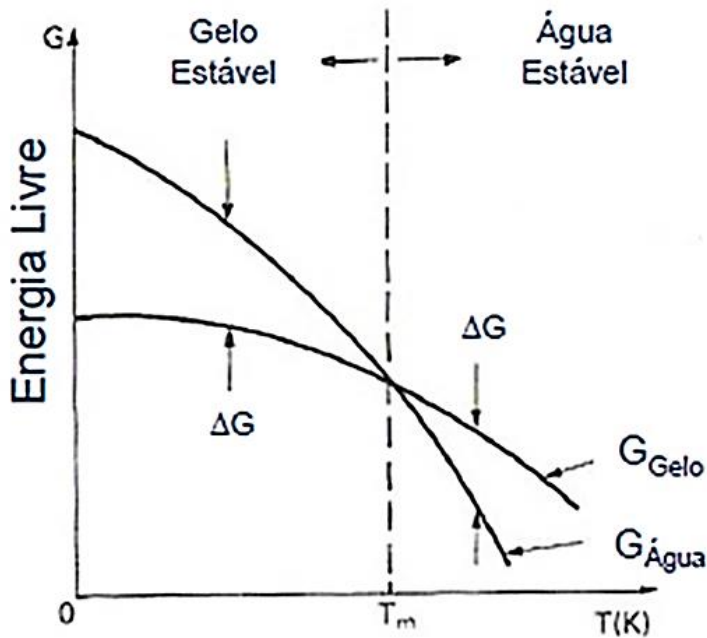
Por exemplo:

- em baixas temperaturas, as fases sólidas são as mais estáveis, pois apresentam ligações atômicas fortes e, então, as menores energias internas (entalpias).
- em altas temperaturas, as fases líquidas e gasosas são as mais estáveis, pois o termo predominante é o $-TS$ e, desta forma, são as fases com maior liberdade de movimentação atômica as mais estáveis.

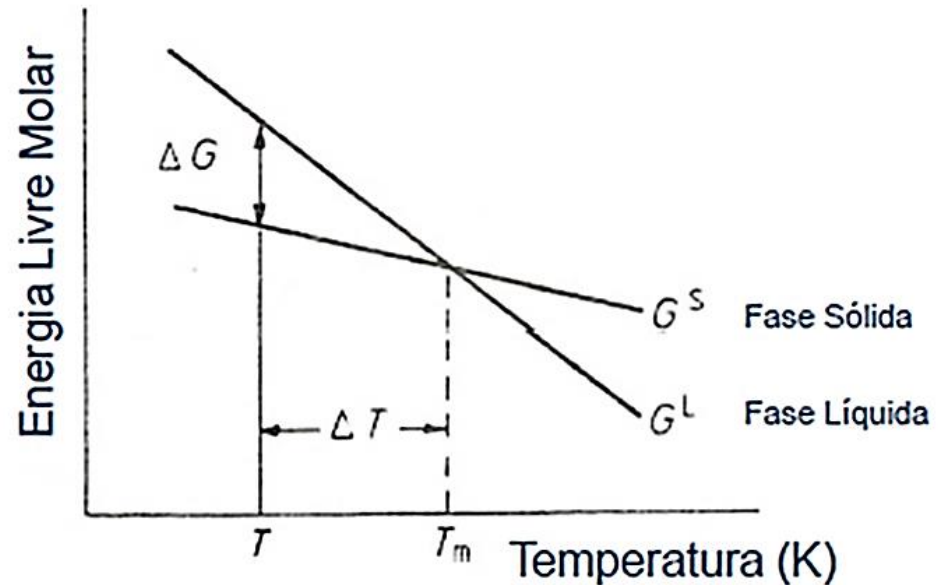


Termodinâmica

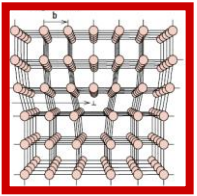
- Energia livre de Gibbs (G) equilíbrio metaestável
- As curvas mostram que a Energia Livre (G) das fases diminui com a temperatura, mostrando a importância do termo $-TS$.



Curvas de Energia Livre de Gibbs - Água



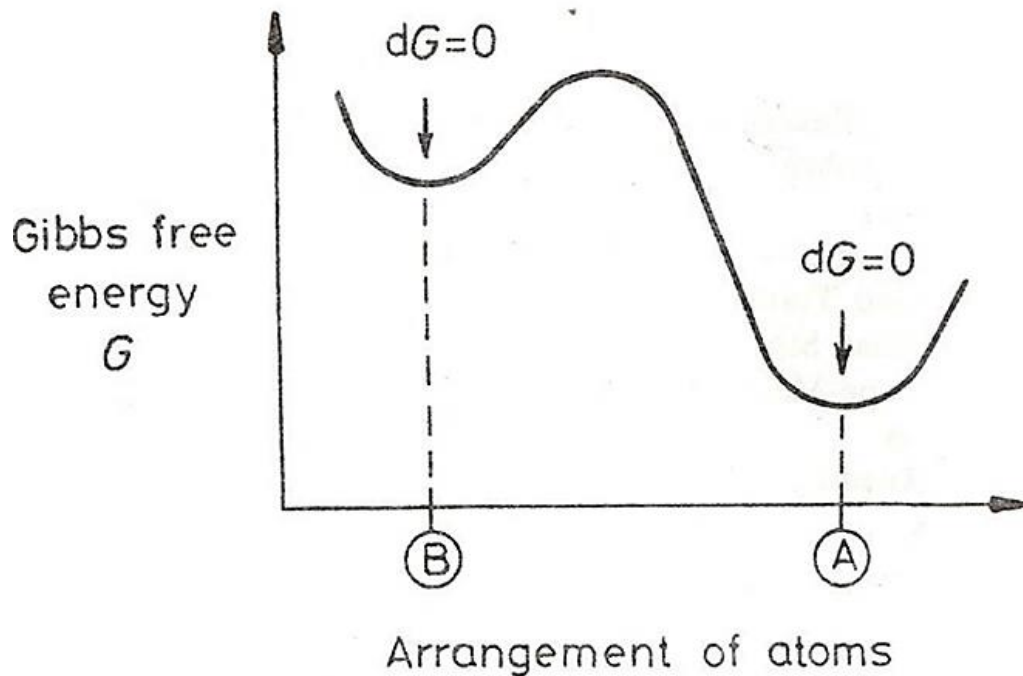
Curvas de Energia Livre de Gibbs - Metal Puro



Termodinâmica

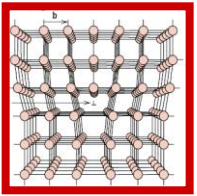
- **Equilíbrio metaestável**

- Uma fase pode apresentar equilíbrio local, que difere do estado de equilíbrio estável ou de maior equilíbrio termodinâmico. Neste caso, dizemos que a fase está em **Equilíbrio metaestável**.



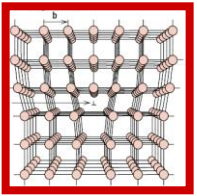
Quando um sistema em equilíbrio metaestável, passar por flutuações térmicas que possam fornecer energia ao sistema, ele rapidamente rearranja e passa ao estado de equilíbrio estável.

$$dG_A < dG_B$$



Termodinâmica

- **Velocidade das transformações**
 - Apesar da termodinâmica determinar a estabilidade das fases de um metal ou liga, a velocidade com que as transformações ocorrem, depende da físico-química ou da **Cinética das Transformações**.
 - Em geral, depende da barreira energética de ativação necessária para iniciar a transformação ou elevação de energia necessária para ir de B para A.

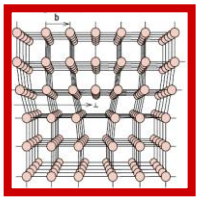


Regra das fases de Gibbs

- Através de considerações termodinâmicas, Gibbs deduziu uma relação entre o **número de fases (P)** que podem coexistir em equilíbrio em um dado sistema, o **número mínimo de componentes (C)** que podem ser usados para formar o sistema e os grau de liberdade ou número de variáveis externas que podem ser controladas sem alterar o equilíbrio (F) e (N) o número de variáveis que não estão relacionados à composição (p. ex. , temperatura e pressão). A relação é apresentada sob a forma da equação:

$$P + F = C + N$$

, que é conhecida como Regra das Fases de Gibbs



Diagramas Unários

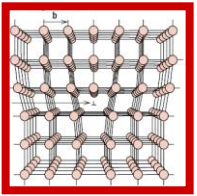
Inorgânicos que apresentam polimorfismo, quer reversíveis (deslocativos) ou irreversíveis (desruptivos), tais como a sílica e a zircônia.

Exemplos:

SiO_2 (quartzo de baixa temperatura, alta temperatura, tridimita e cristobalita)

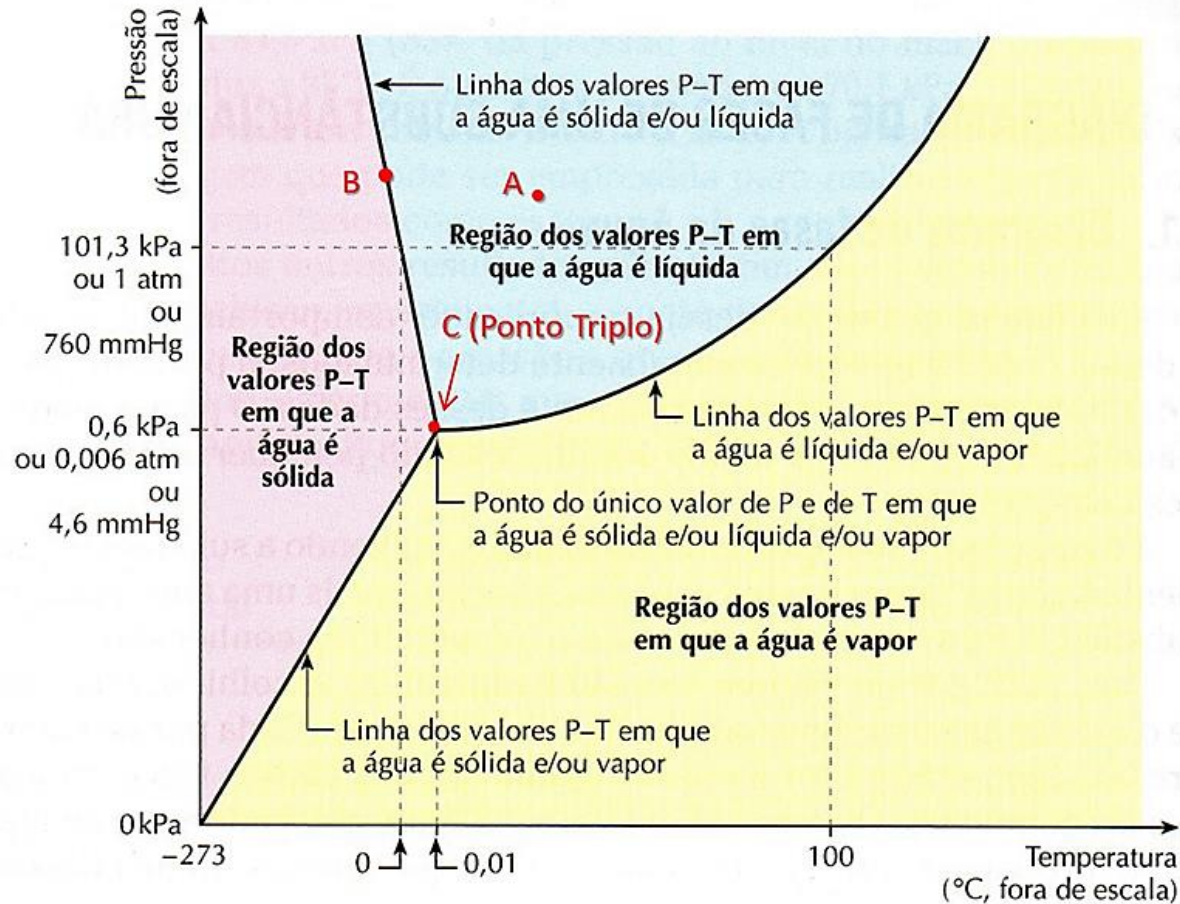
ZrO_2 (cúbica, tetragonal e monoclínica)

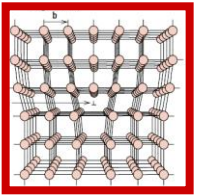
H_2O (sólido, líquido, vapor)



Sistema unário

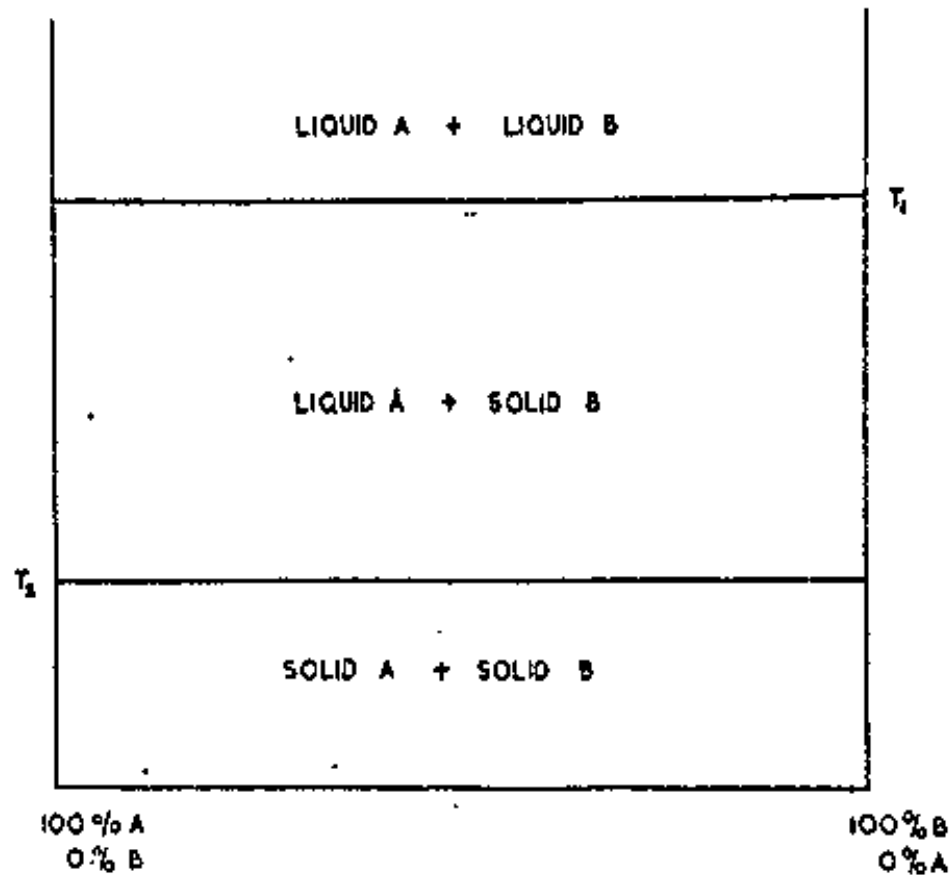
- Uma substância pura como a água pode existir nas fases sólida, líquida e gasosa, dependendo das condições de temperatura e pressão.

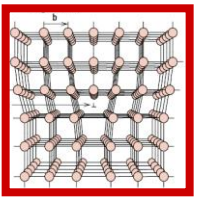




Diagramas Binários

1° Componentes imiscíveis nos estados líq. e sól.





Diagramas Binários

2° Componentes miscíveis no estado líq. e imiscíveis no estado sól.

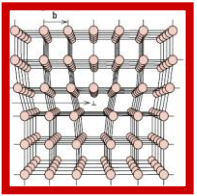
Van't Hoff (1903): 1 mol de uma substância adicionada a 100 g de uma substância pura, abaixa o ponto de fusão da substância pura de:

$$\Delta T = 0,02 \frac{T_f^2}{L} \text{ (se não houver formação de solução sólida)}$$

onde,

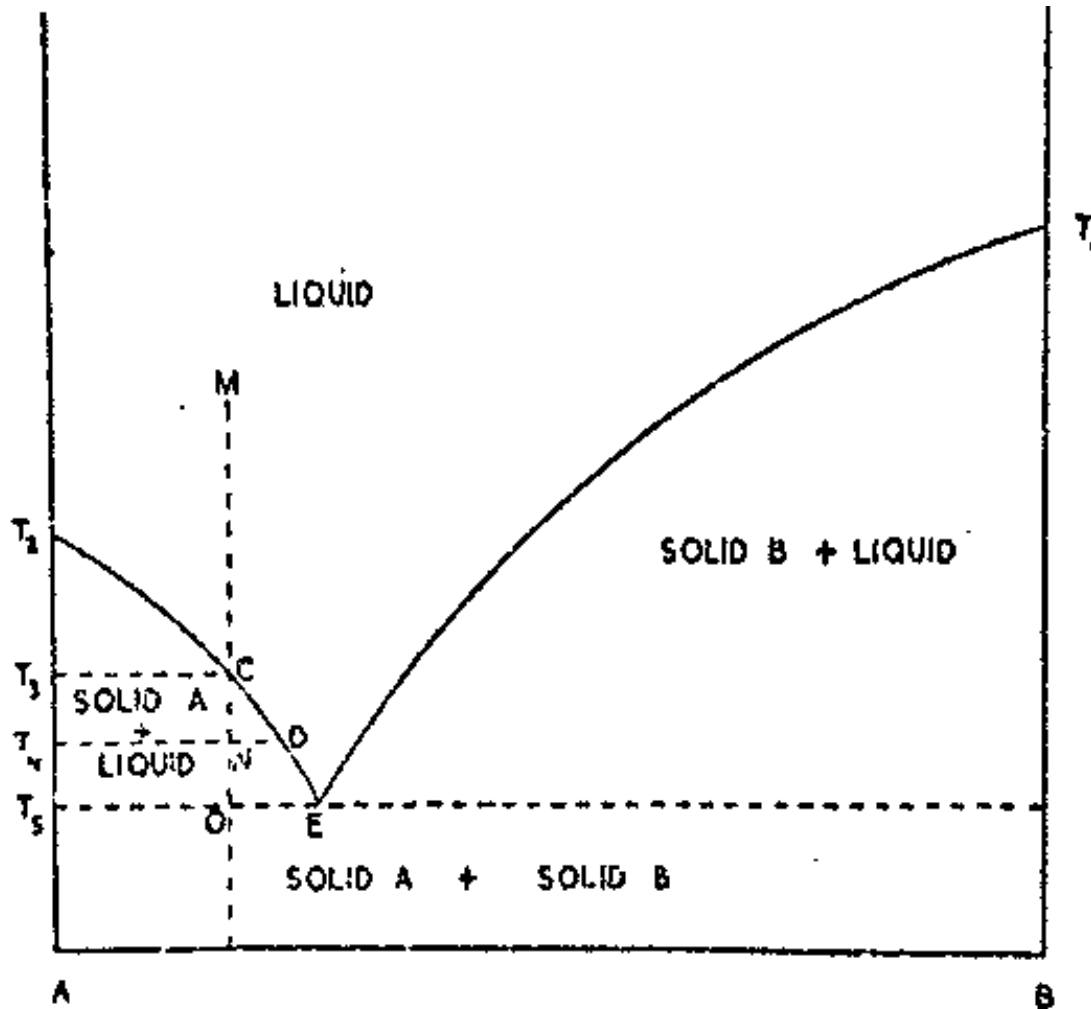
T_f = temperatura de fusão da substância pura

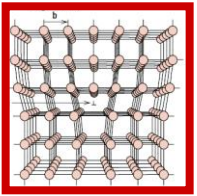
L = calor latente de fusão da substância aditiva



Diagramas Binários

2° Componentes miscíveis no estado líq. e imiscíveis no estado sól.

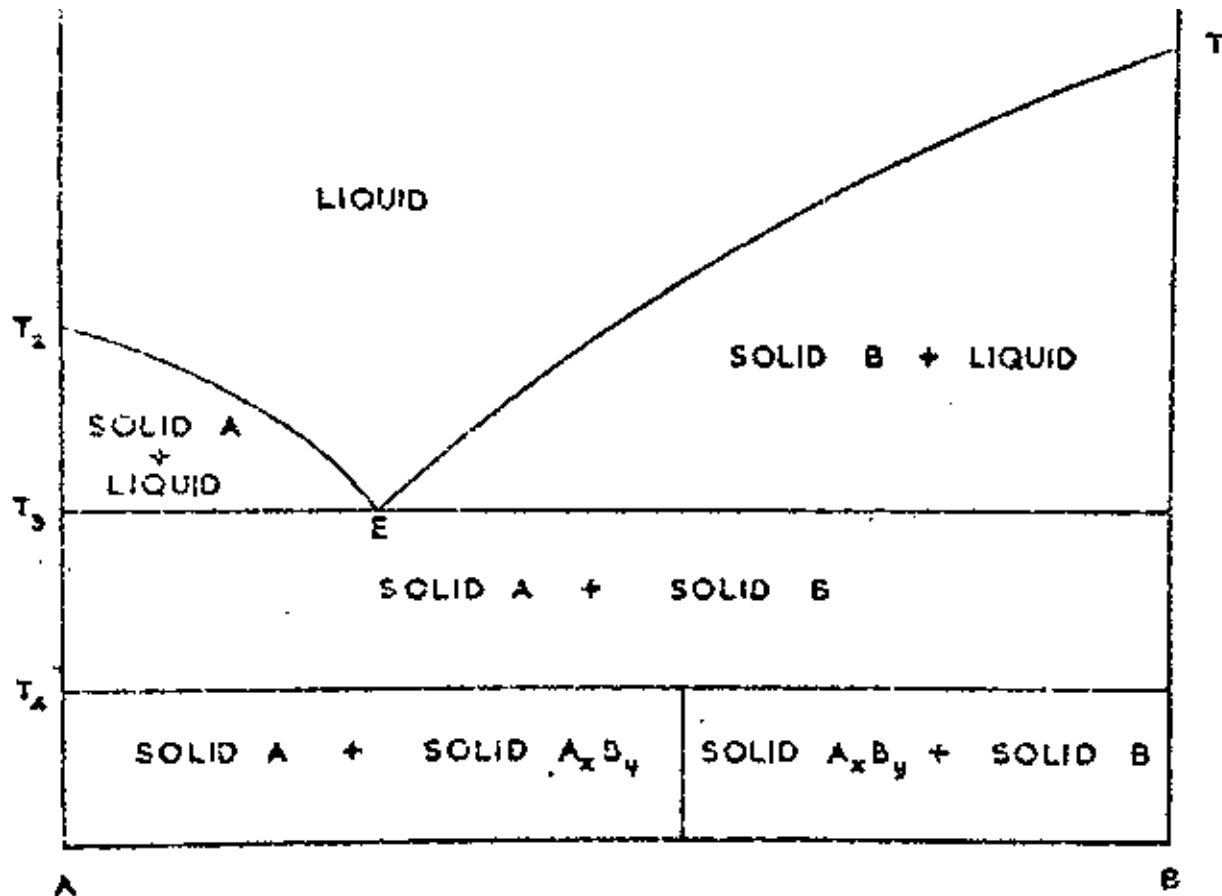


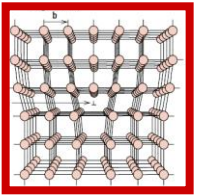


Diagramas Binários

3° Formação de composto:

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

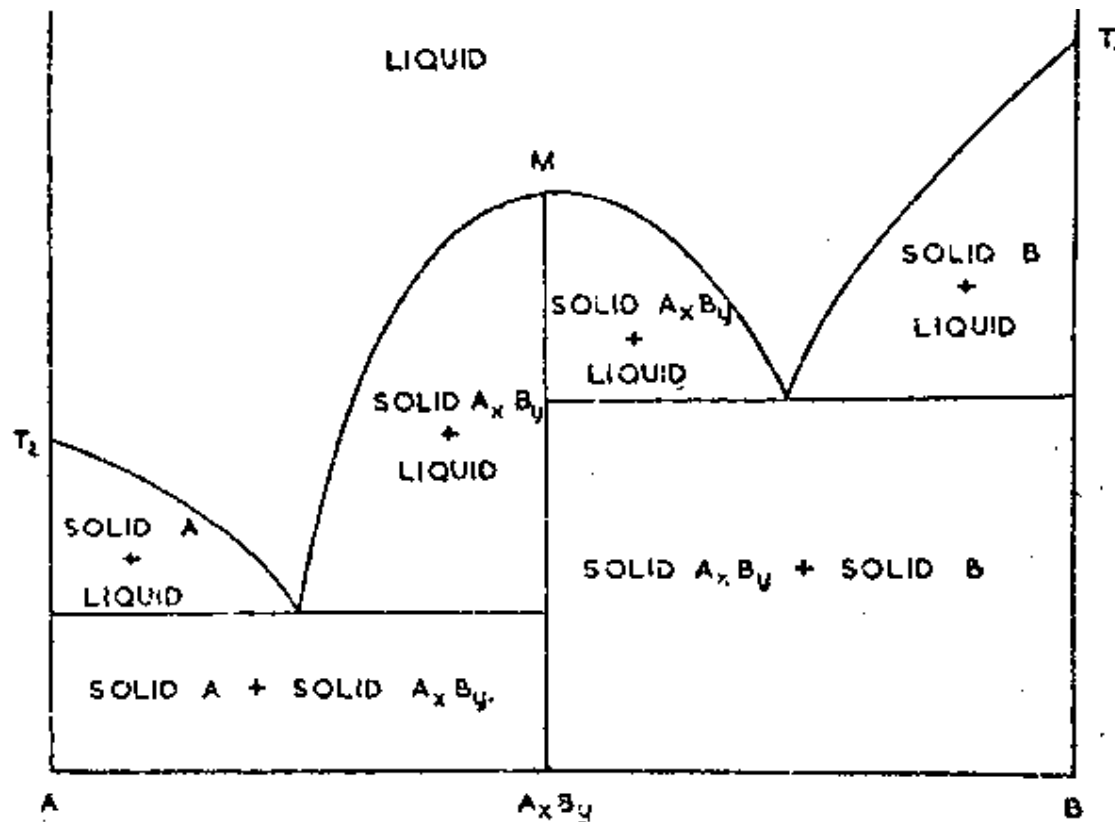


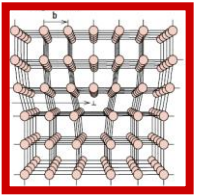


Diagramas Binários

3° Formação de composto:

b) Composto A_xB_y é estável em qualquer temperatura e funde-se congruentemente (sól. de mesma composição do líq.)

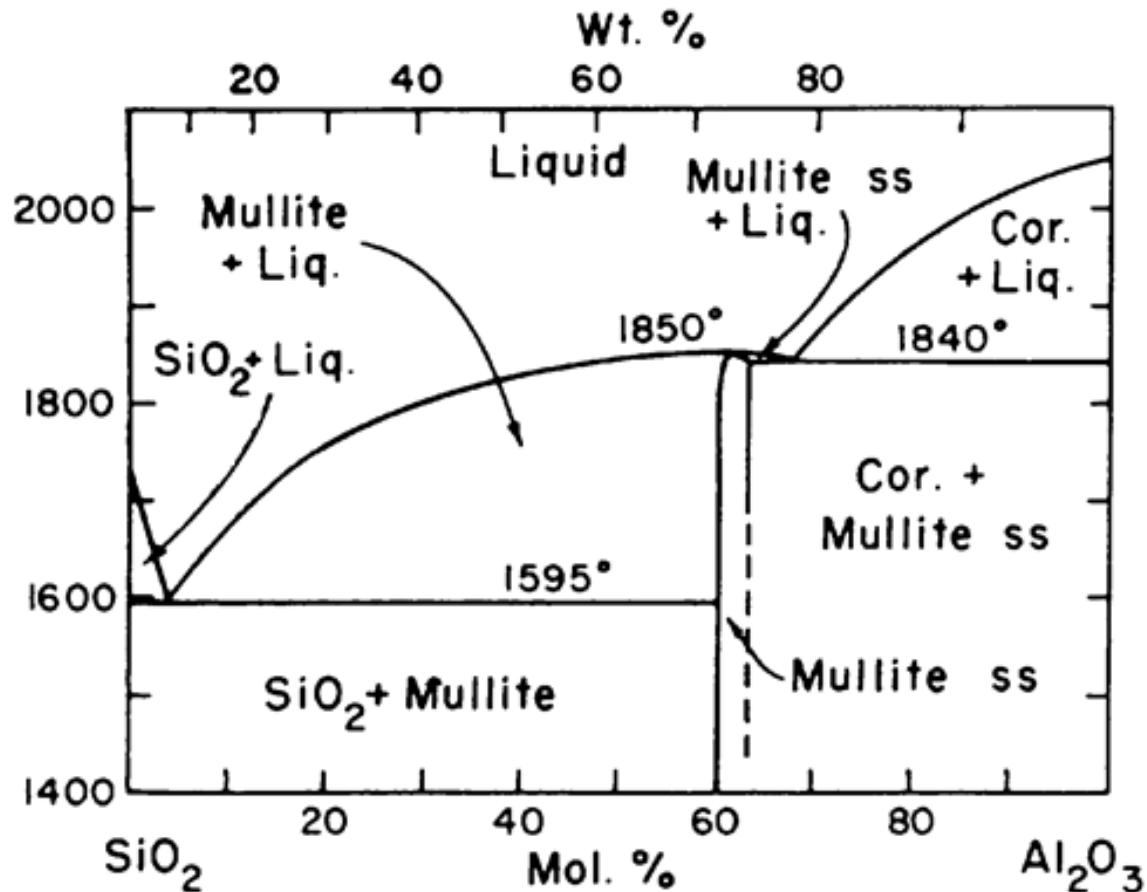


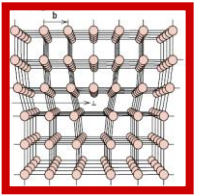


Diagramas Binários

3° Formação de composto:

b) Composto $AxBy$ é estável em qualquer temperatura e funde-se congruentemente (sól. de mesma composição do líq.) – **Aplicação**

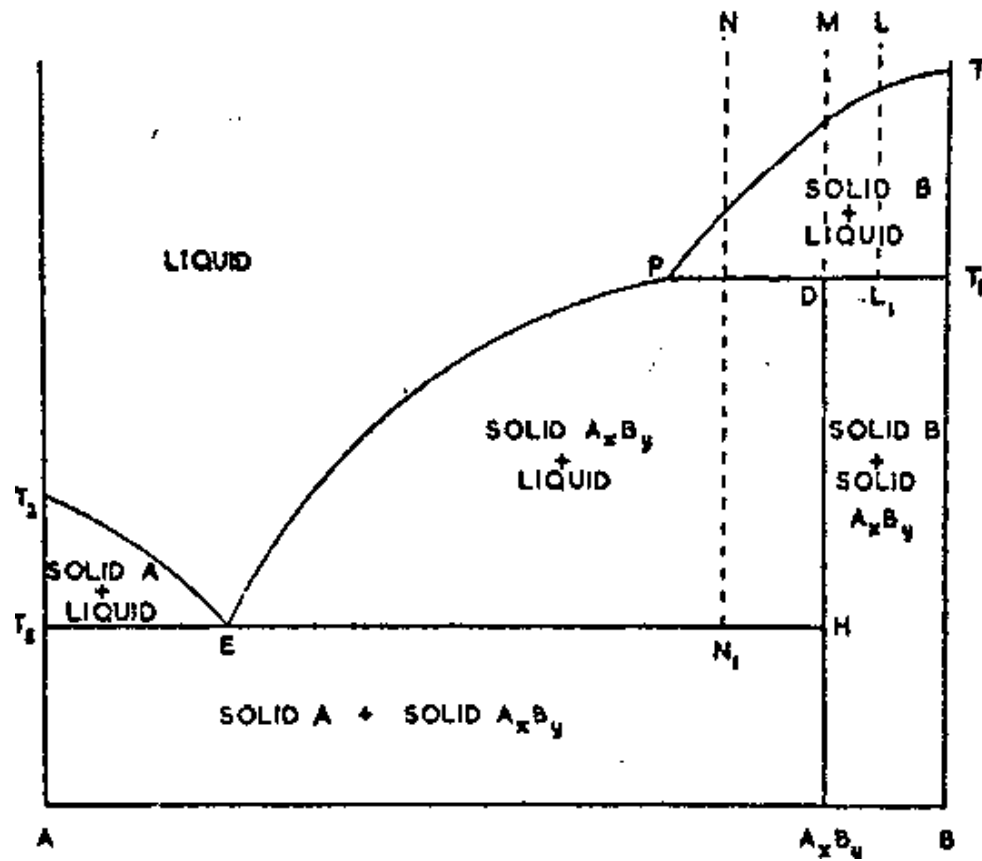


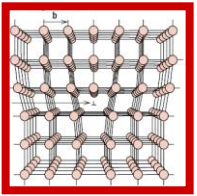


Diagramas Binários

3° Formação de composto:

c) Composto se decompõe acima de T_e ($T > T_e$) = fusão incongruente



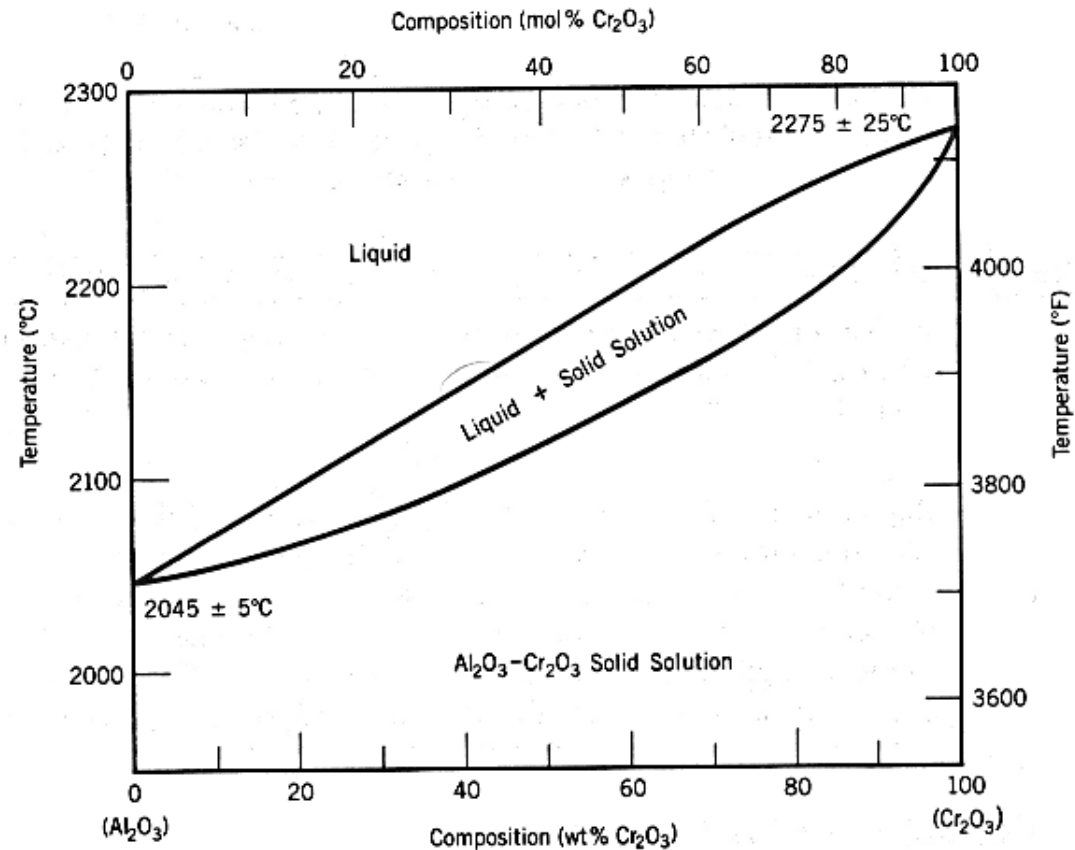


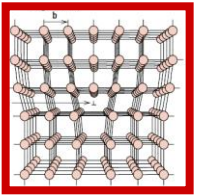
Diagramas Binários

4° Componentes mutuamente solúveis nos estados sól. e líq.

a) Miscibilidade total

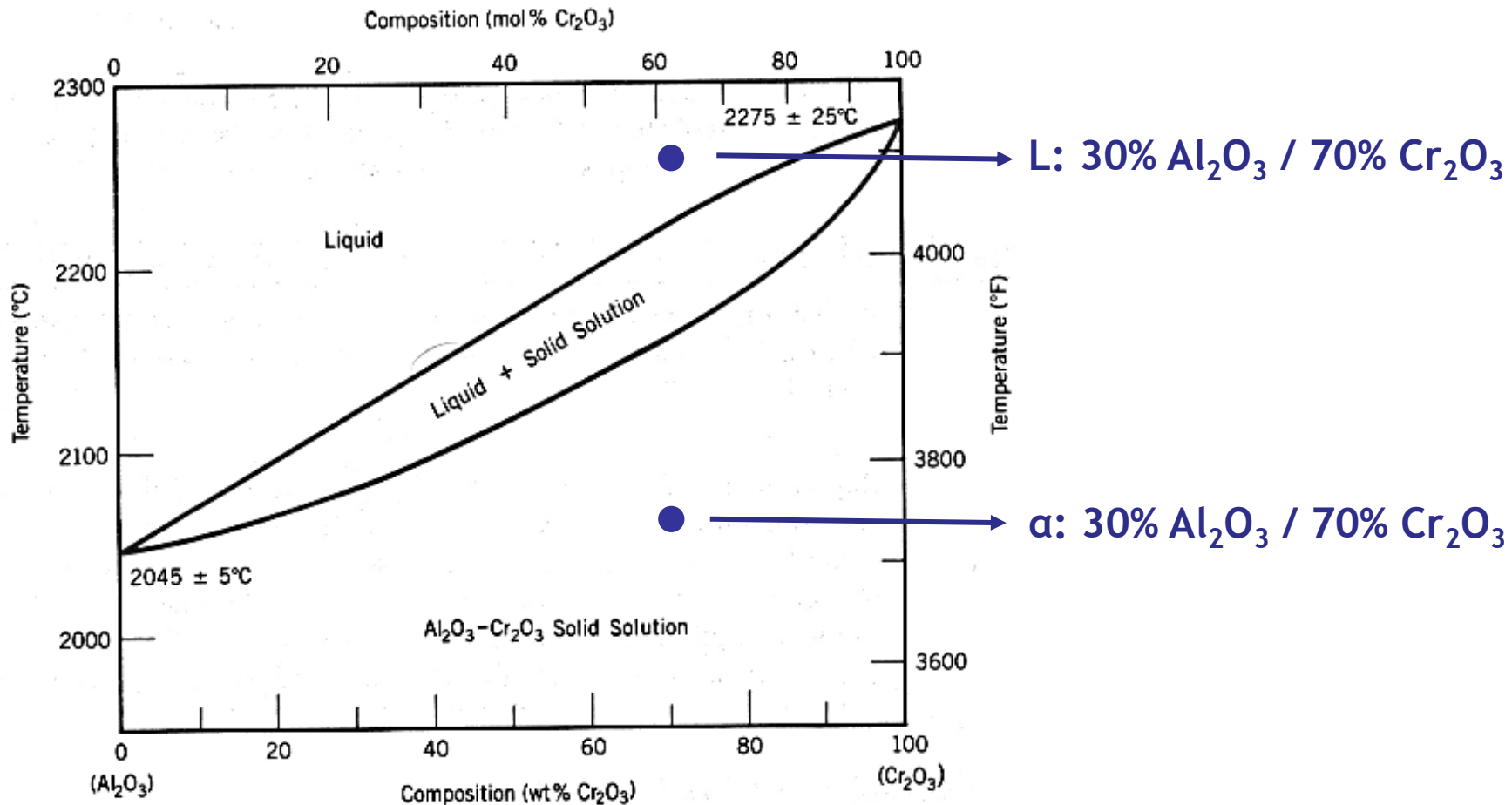
- A leitura de diagramas isomorfos é feita primeiramente definindo o par composição-temperatura desejado. Esse par define um ponto no diagrama.

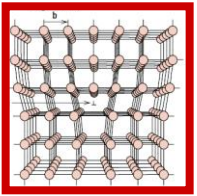




Diagramas Binários

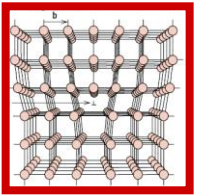
- Se o ponto desejado estiver num campo onde somente existe uma fase, a composição já está definida, e a fase é a indicada no campo do diagrama.





Diagramas Binários

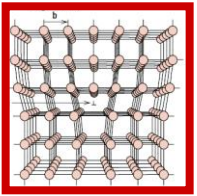
- Se o ponto estiver numa região onde existem duas fases em equilíbrio, a determinação da composição das fases presentes é possível traçando-se um segmento de reta horizontal que passa pelo ponto e atinge as duas linhas que delimitam o campo de duas fases (linhas *liquidus* e *solidus*).
- As composições das fases líquida e sólida são dadas pelas intersecções deste segmento de reta e as respectivas linhas de contorno (Linhas de amarração).



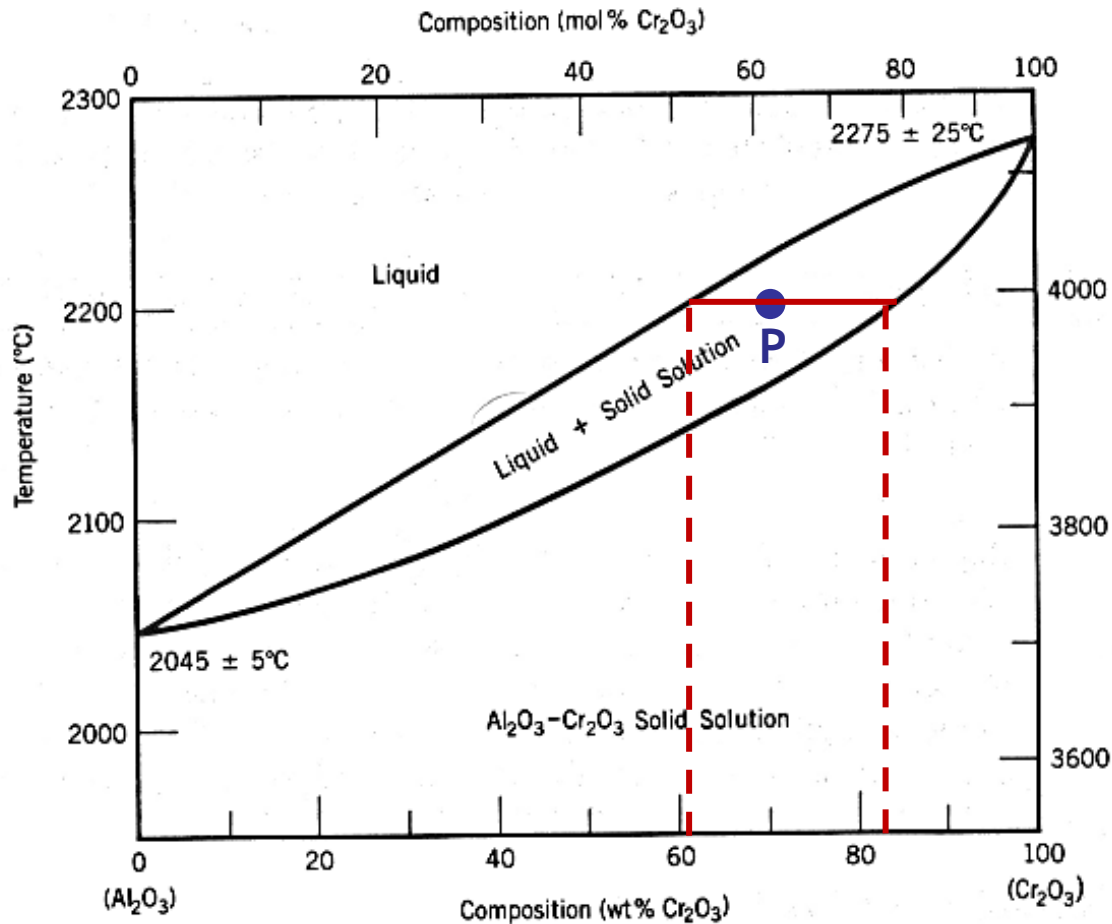
Diagramas Binários

Para o ponto B, deve-se traçar uma linha horizontal, a linha de amarração, na temperatura desejada e determinar a intersecção desta reta com as fronteiras entre as fases.

- 1) Determina-se as intersecções da linha de amarração com as fronteiras entre ambas as fases.
- 2) Desenha-se linhas verticais dos pontos de intersecção até o eixo horizontal, onde a composição em cada uma das respectivas fases pode ser lida.



Diagramas Binários

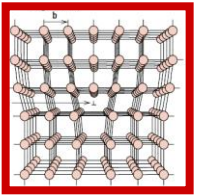


Ponto P



L: 39% Al₂O₃ / 61% Cr₂O₃

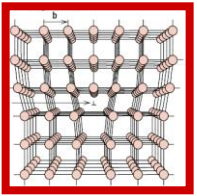
α: 18% Al₂O₃ / 82% Cr₂O₃



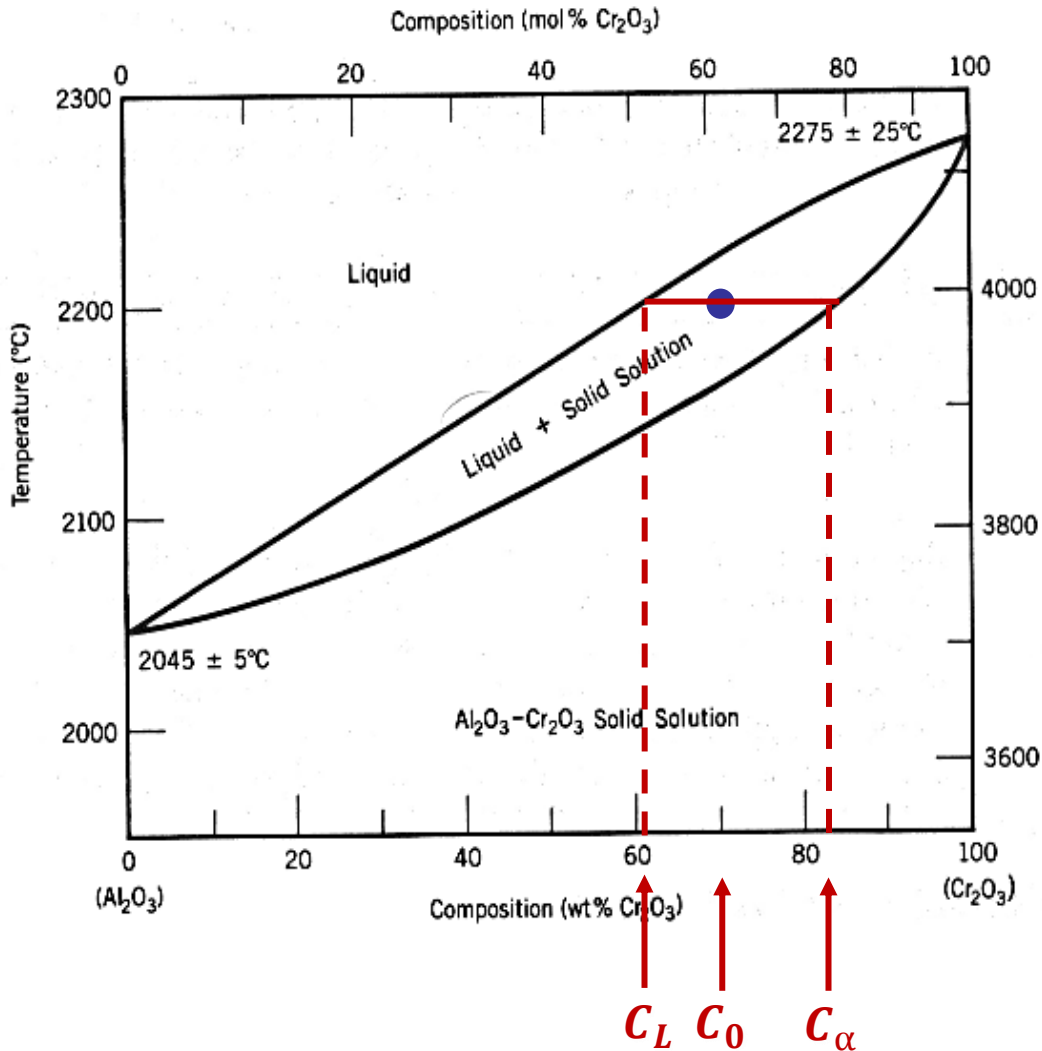
Regra da Alavanca

- É usada para se determinar as proporções das fases em equilíbrio em um campo de duas fases.

Vamos considerar novamente o exemplo anterior (ponto P do diagrama $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Cr}_2\text{O}_3$). Tomando-se como C_0 a composição global ao longo da linha de amarração, e como W_L e W_α as frações mássicas, respetivamente das fases líquido e α , temos:



Regra da Alavanca

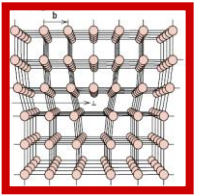


Para o líquido L:

$$W_L = \frac{C_{\alpha} - C_0}{C_{\alpha} - C_L} = \frac{82,0 - 70,0}{82,0 - 61,0} = 0,6$$

Da mesma forma, para a fase α :

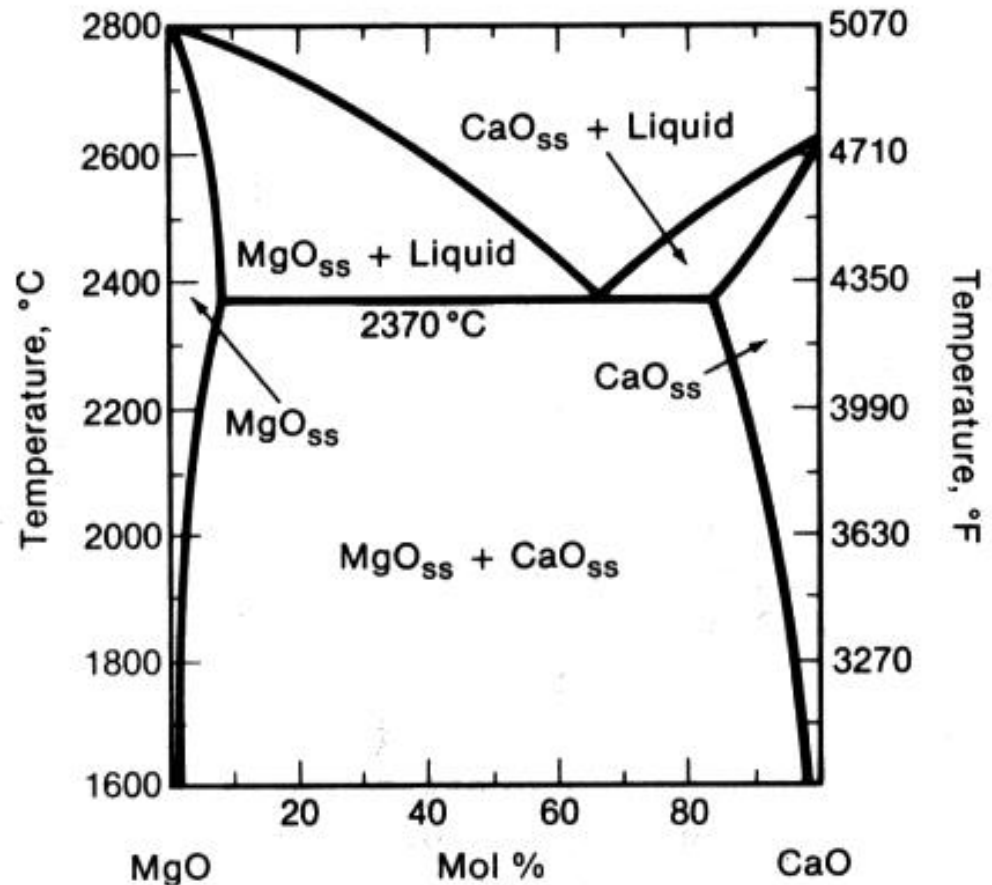
$$W_{\alpha} = \frac{C_0 - C_L}{C_{\alpha} - C_L} = \frac{70,0 - 61,0}{82,0 - 61,0} = 0,4$$

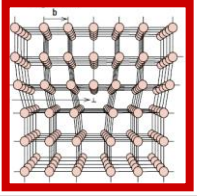


Diagramas Binários

4° Componentes mutuamente solúveis nos estados sól. e líq.

b) Miscibilidade parcial





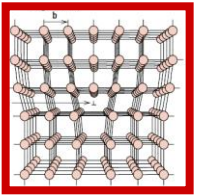
Importante

Linhas de Amarração

Composição
das fases

Proporção
de cada fase

Regra da Alavanca



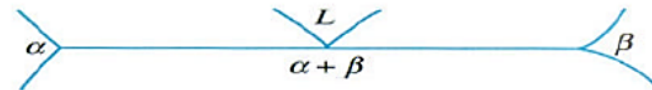
Sistemas Binários

- Três fases em equilíbrio

- Em um sistema binário, quando 3 fases estão em equilíbrio, o número de graus de liberdade F é zero. Assim, o equilíbrio é invariante, ou seja, o equilíbrio entre 3 fases ocorre em uma determinada temperatura e as composições das 3 fases são fixas.

As principais reações, em sistemas binários envolvendo 3 fases são:

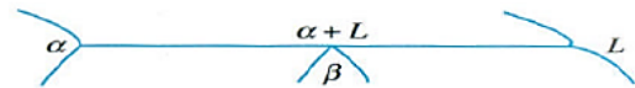
Eutética: $L \rightarrow \alpha + \beta$



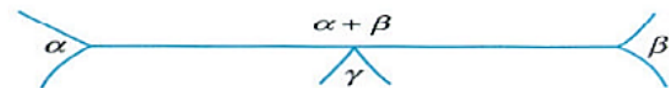
Eutetóide: $\gamma \rightarrow \alpha + \beta$

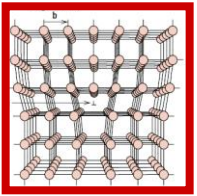


Peritética: $L + \alpha \rightarrow \beta$



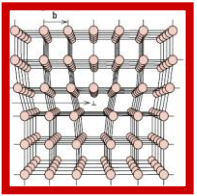
Peritetóide: $\alpha + \beta \rightarrow \gamma$



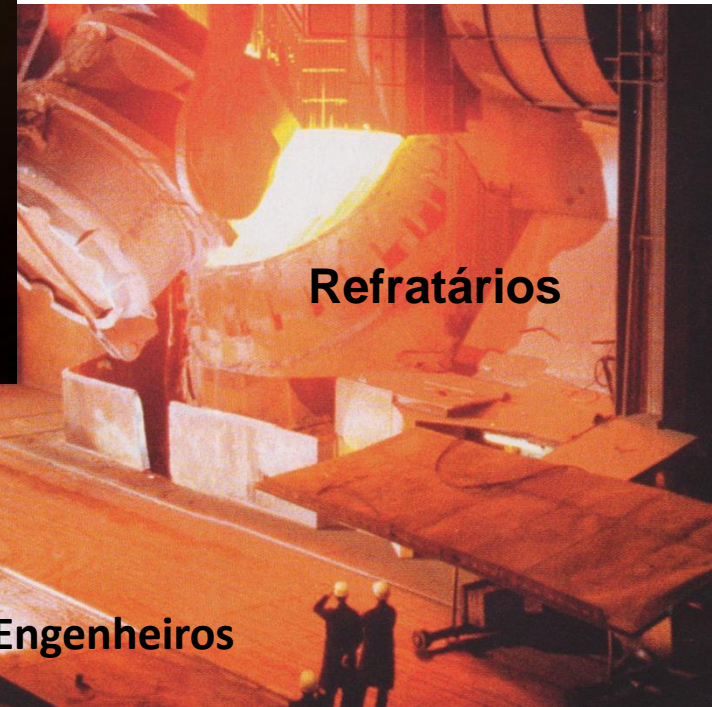


Cerâmicas

- **Pode-se determinar:**
 - T fusão de cada composto puro;
 - Influência na T fusão quando dois compostos são misturados;
 - A presença ou não e o grau de soluções sólidas ;
 - Interações de dois compostos formando outros compostos (ex: $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 \longrightarrow 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$);
 - T onde ocorre troca de estrutura cristalina - polimorfismo;
 - A quantidade e a composição das fases para determinada temperatura e composição;
 - Determinar parâmetros e variáveis para a sinterização.

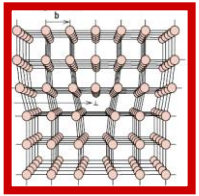


Panelas de Aço fundido



Refratários

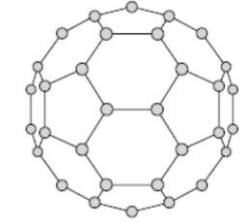
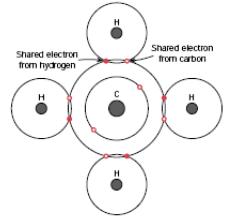
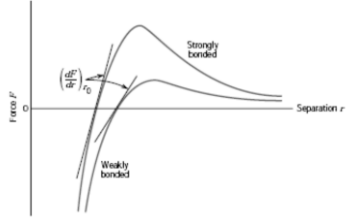
Engenheiros



Forno de Cimento

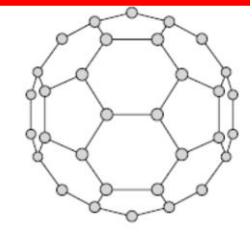
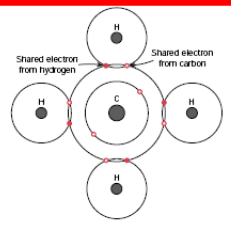
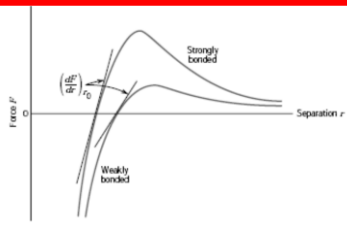


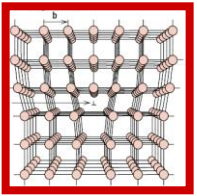
Key		Metal		Nonmetal		Metalloid	
Atomic number		Atomic weight		Atomic weight		Atomic weight	
1	H	1.008		2	He	4.003	
3	Li	6.941		4	Be	9.012	
5	B	10.811		6	C	12.011	
7	N	14.007		8	O	15.999	
9	F	18.998		10	Ne	20.180	
11	Na	22.990		12	Mg	24.305	
13	Al	26.982		14	Si	28.086	
15	P	30.974		16	S	32.065	
17	Cl	35.453		18	Ar	39.948	
19	K	39.098		20	Ca	40.078	
21	Sc	44.956		22	Ti	47.88	
23	V	50.942		24	Cr	51.996	
25	Mn	54.938		26	Fe	55.845	
27	Co	58.933		28	Ni	58.693	
29	Cu	63.546		30	Zn	65.38	
31	Ga	69.723		32	Ge	72.64	
33	As	74.922		34	Se	78.96	
35	Br	79.904		36	Kr	83.80	
37	Rb	85.468		38	Sr	87.62	
39	Y	88.906		40	Zr	91.224	
41	Nb	92.906		42	Ni	95.906	
43	Mo	95.94		44	Ru	101.07	
45	Tc	98.906		46	Rh	102.91	
47	Pd	106.42		48	Pd	106.91	
49	Ag	107.87		50	Cd	112.41	
51	Cs	132.91		52	Ba	137.33	
53	Bi	158.91		54	Xe	131.29	
55	La	138.91		56	Pr	140.91	
57	Ce	140.91		58	Nd	144.24	
59	Pr	140.91		60	Sm	150.36	
61	Eu	151.96		62	Gd	157.25	
63	Gd	157.25		64	Tb	158.93	
65	Tb	158.93		66	Dy	162.50	
67	Dy	162.50		68	Ho	164.93	
69	Er	167.26		70	Yb	173.05	
71	Lu	174.96		72	Hf	178.49	
73	Hf	178.49		74	Ta	180.95	
75	Ta	180.95		76	W	183.84	
77	Re	186.21		78	Os	190.23	
79	Ir	192.22		80	Pt	195.08	
81	Au	196.97		82	Hg	200.59	
83	Hg	200.59		84	Po	209	
85	At	210		86	Rn	222	
87	Fr	223		88	Ra	226	
89	Ra	226		90	Ac	227	
91	Ac	227		92	Th	232.04	
93	Pa	231.04		94	U	238.03	
95	Th	232.04		96	Np	237.05	
97	Pa	231.04		98	Pu	244.06	
99	U	238.03		100	Am	243.06	
101	Np	237.05		102	Cm	247.07	
103	Am	243.06		104	Bk	247.07	
105	Cm	247.07		106	Cf	251.08	
107	Bk	247.07		108	Es	252.08	
109	Cf	251.08		110	Fm	253.08	
111	Es	252.08		112	Mt	263.10	
113	Fm	253.08		114	Lr	260.11	
115	Mt	263.10		116	Uu	289	
117	Lr	260.11		118	Uu	289	
119	Uu	289		120	Uu	289	



Diagramas Ternários

Key		Metal		Nonmetal		Metalloid	
Atomic number		Atomic weight		Atomic weight		Atomic weight	
1	H	1.008		2	He	4.003	
3	Li	6.941		4	Be	9.012	
5	B	10.811		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	
17	Cl	35.453		18	Ar	39.948	
19	K	39.098		20	Ca	40.078	
21	Sc	44.956		22	Ti	47.88	
23	V	50.942		24	Cr	51.996	
25	Mn	54.938		26	Fe	55.845	
27	Co	58.933		28	Ni	58.693	
29	Cu	63.546		30	Zn	65.38	
31	Ga	69.723		32	Ge	72.64	
33	As	74.922		34	Se	78.96	
35	Br	79.904		36	Kr	83.80	
37	Rb	85.468		38	Sr	87.62	
39	Y	88.906		40	Zr	91.224	
41	Nb	92.906		42	Ni	95.906	
43	Mo	95.94		44	Ru	101.07	
45	Tc	98.906		46	Rh	102.91	
47	Pd	106.42		48	Pd	106.91	
49	Ag	107.87		50	Cd	112.41	
51	Cs	132.91		52	Ba	137.33	
53	Bi	158.91		54	Xe	131.29	
55	La	138.91		56	Pr	140.91	
57	Ce	140.91		58	Nd	144.24	
59	Pr	140.91		60	Sm	150.36	
61	Eu	151.96		62	Gd	157.25	
63	Gd	157.25		64	Tb	158.93	
65	Tb	158.93		66	Dy	162.50	
67	Dy	162.50		68	Ho	164.93	
69	Er	167.26		70	Yb	173.05	
71	Lu	174.96		72	Hf	178.49	
73	Hf	178.49		74	Ta	180.95	
75	Ta	180.95		76	W	183.84	
77	Re	186.21		78	Os	190.23	
79	Ir	192.22		80	Pt	195.08	
81	Au	196.97		82	Hg	200.59	
83	Hg	200.59		84	Po	209	
85	At	210		86	Rn	222	
87	Fr	223		88	Ra	226	
89	Ra	226		90	Ac	227	
91	Ac	227		92	Th	232.04	
93	Pa	231.04		94	U	238.03	
95	Th	232.04		96	Np	237.05	
97	Pa	231.04		98	Pu	244.06	
99	U	238.03		100	Am	243.06	
101	Np	237.05		102	Cm	247.07	
103	Am	243.06		104	Bk	247.07	
105	Cm	247.07		106	Cf	251.08	
107	Bk	247.07		108	Es	252.08	
109	Cf	251.08		110	Fm	253.08	
111	Es	252.08		112	Mt	263.10	
113	Fm	253.08		114	Lr	260.11	
115	Mt	263.10		116	Uu	289	
117	Lr	260.11		118	Uu	289	
119	Uu	289		120	Uu	289	





Diagramas Ternários

- **Noções básicas:**

- Número de componentes $C = 3$ (Gibbs), que podem ser:

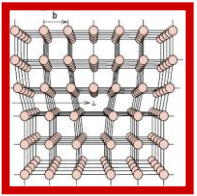
- três matérias primas, três óxidos, três fases cerâmicas

- Representado por um triângulo equilátero onde cada vértice representa 100% de um componente puro e pode ser expresso

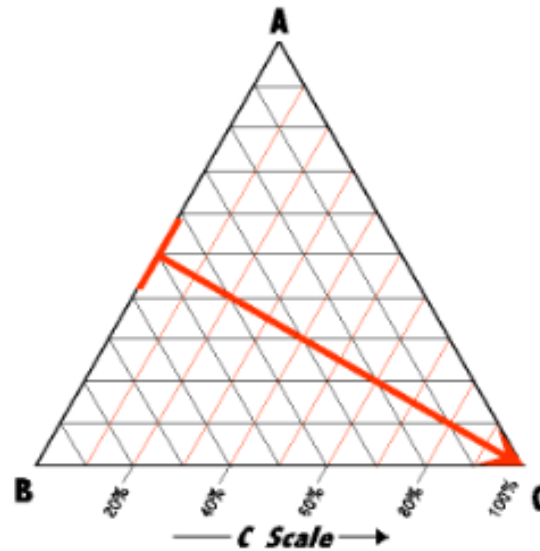
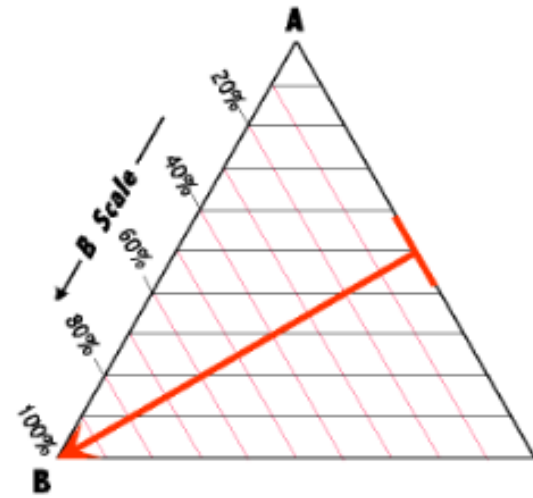
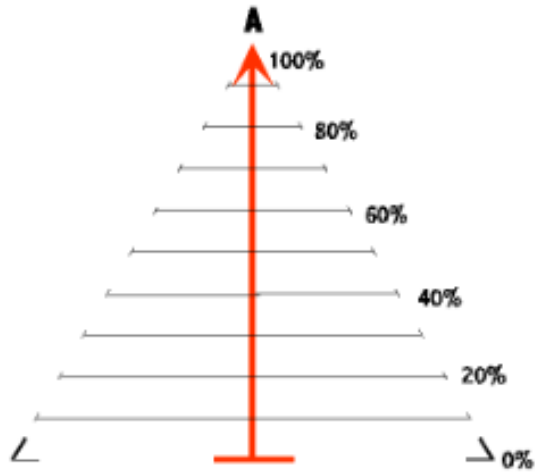
- em %molar ou % em peso.

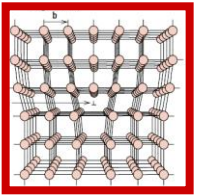
A composição de um sistema ternário fica definida quando temos a fração molar (fração mássica) dos componentes.

$$X_a + X_b + X_c = 1$$



Diagramas Ternários

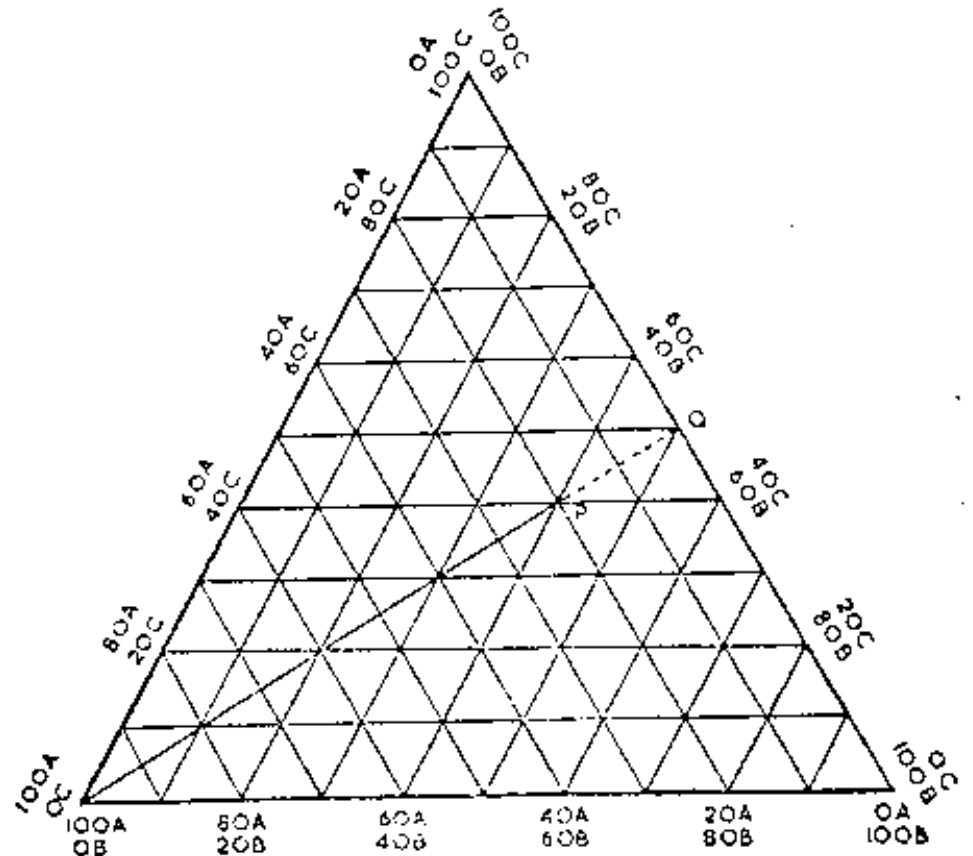




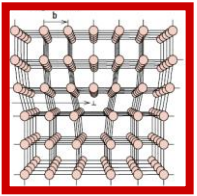
Diagramas Ternários

Se quantidades de um componente são progressivamente adicionadas ou subtraídas de uma mistura ternária e os outros dois componentes são mantidos numa razão constante, a mudança da composição ternária segue uma linha reta.

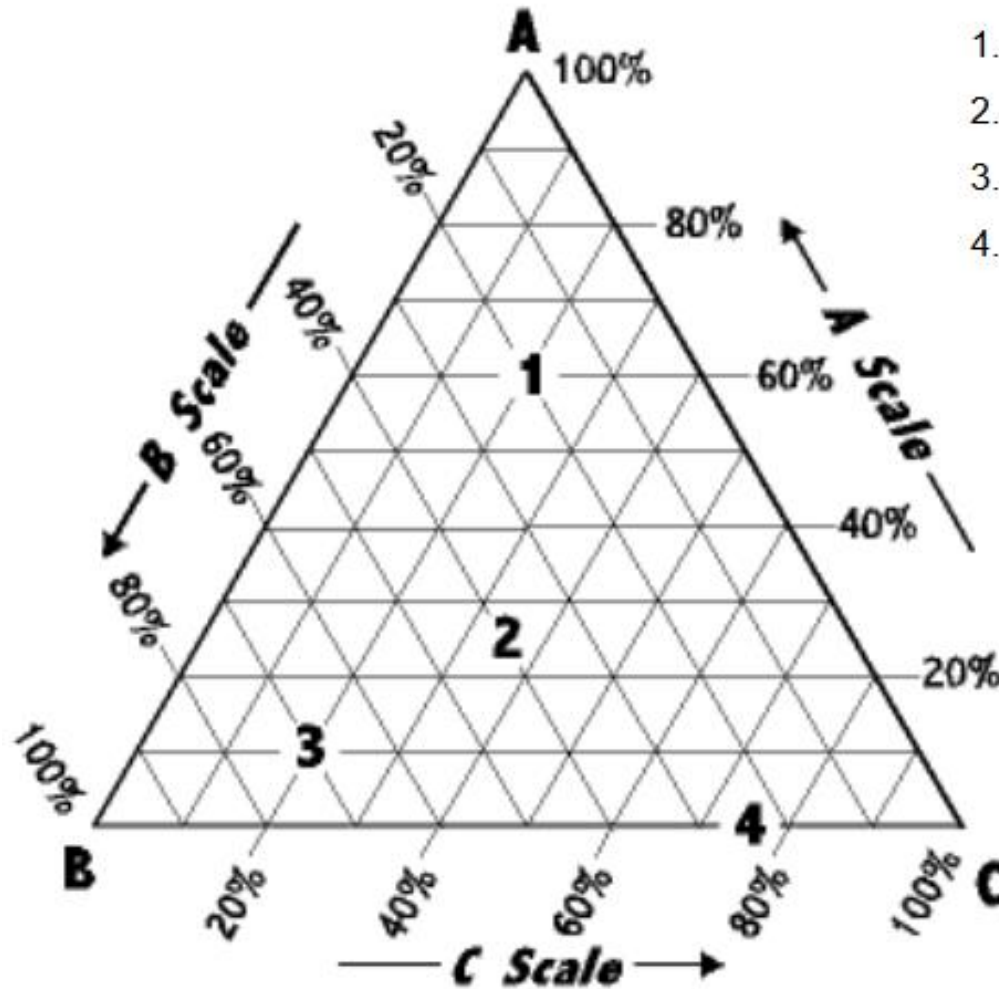
Ponto P: 20% A
40% B
40% C



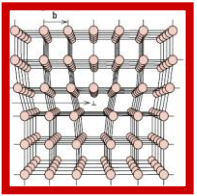
BASE GEOMÉTRICA



Diagramas Ternários



1. 60% A | 20% B | 20% C = 100%
2. 25% A | 40% B | 35% C = 100%
3. 10% A | 70% B | 20% C = 100%
4. 0.0% A | 25% B | 75% C = 100%



Diagramas Ternários

BASE MATEMÁTICA

Mistura **M** = 70% A + 20% B + 10% C

Mistura **N** = 40% A + 10% B + 50% C

Se foram misturadas uma parte de **M** com três partes de **N**, isto é, **25% M + 75% N**, a mistura resultante terá a composição:

$$0,25 \times 70\% A + 0,75 \times 40\% A = 47,5\% A$$

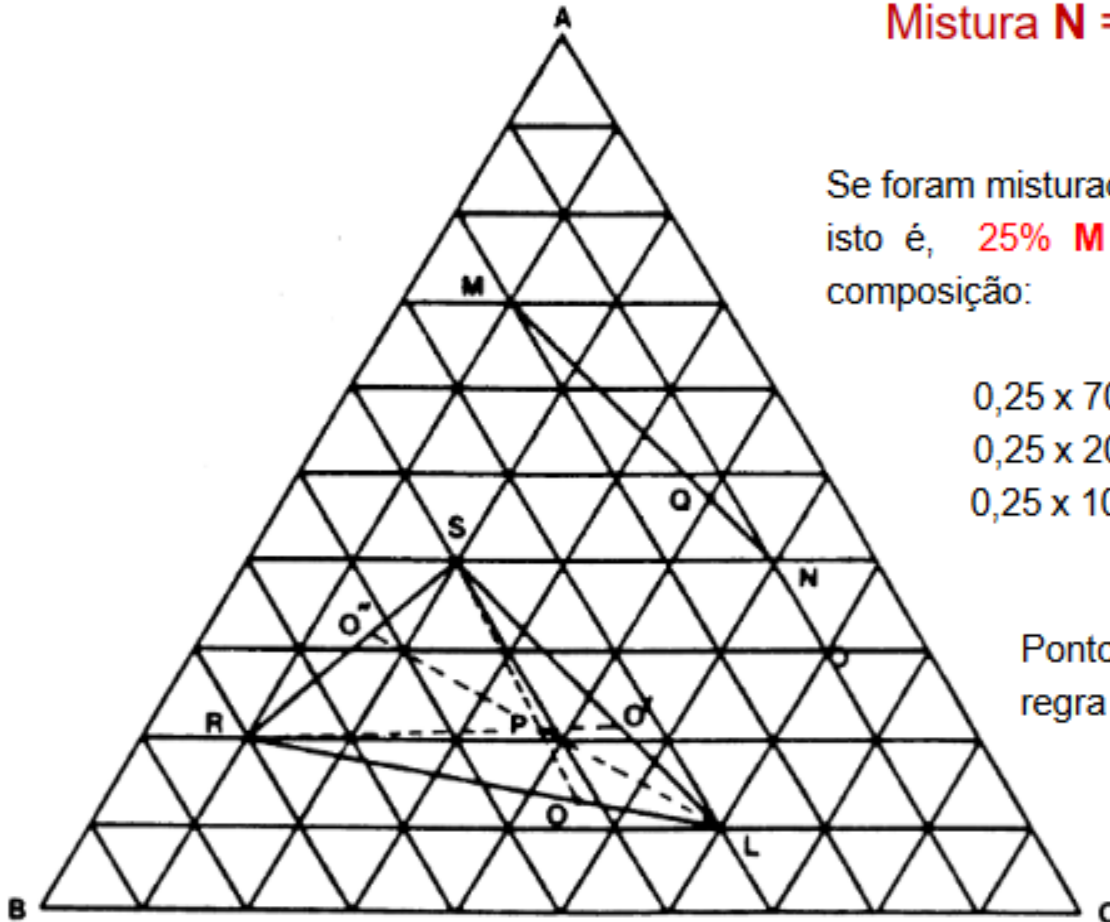
$$0,25 \times 20\% B + 0,75 \times 10\% B = 12,5\% B$$

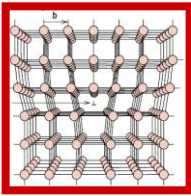
$$0,25 \times 10\% C + 0,75 \times 50\% C = 40,0\% C$$

Ponto **Q**, sobre o segmento **MN**. Aplicando a regra da alavanca a esse segmento, tem-se:

$$\% M = (QN/MN) \times 100 = 25\%$$

$$\% N = (MQ/MN) \times 100 = 75\%$$





Diagramas Ternários

Mistura **R** = 20% **A** + 70% **B** + 10% **C**

Mistura **S** = 40% **A** + 40% **B** + 20% **C**

Mistura **L** = 10% **A** + 30% **B** + 60% **C**

Se se misturarem duas partes de **R** com três partes de **S** e cinco partes de **L**, isto é, 20% **R** + 30% **S** + 50% **L**, a mistura resultante terá a composição:

$$0,20 \times 20\% \text{ A} + 0,30 \times 40\% \text{ A} + 0,50 \times 10\% \text{ A} = 21\% \text{ A}$$

$$0,20 \times 70\% \text{ B} + 0,30 \times 40\% \text{ B} + 0,50 \times 30\% \text{ B} = 41\% \text{ B}$$

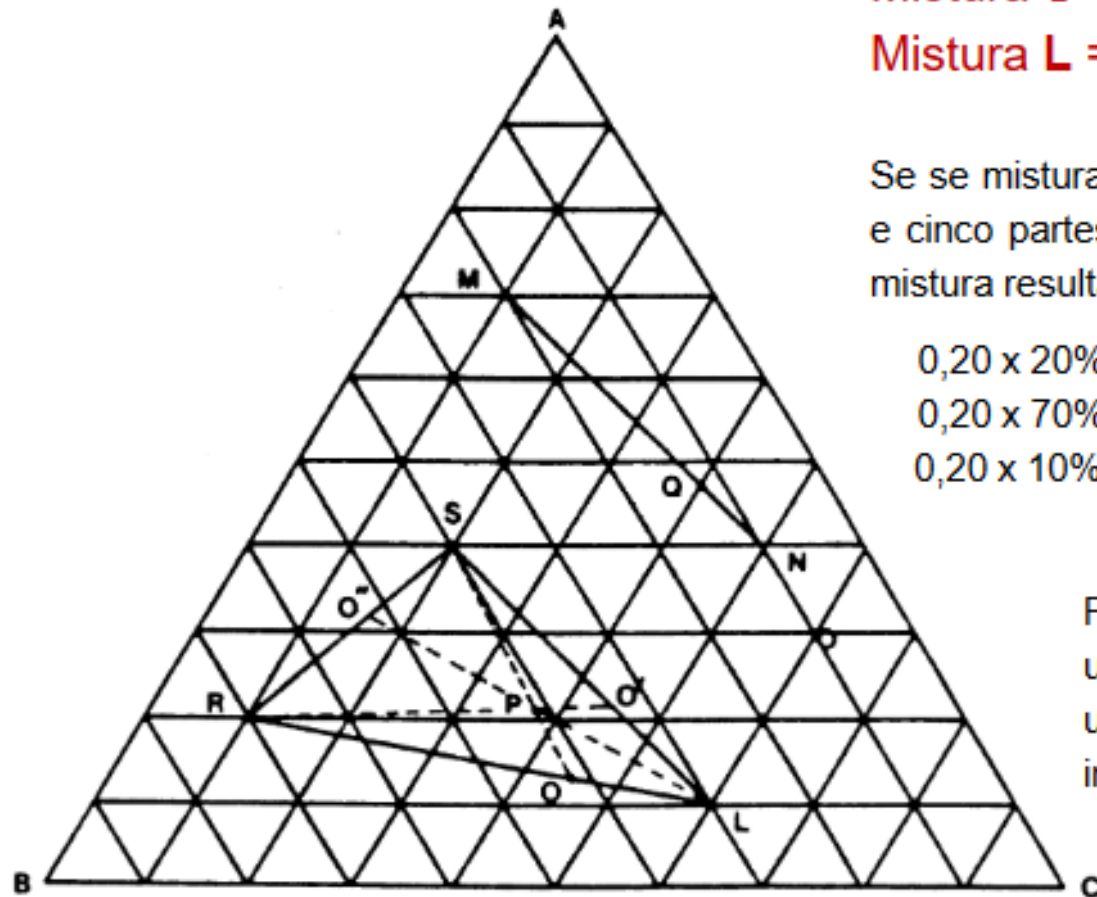
$$0,20 \times 10\% \text{ C} + 0,30 \times 20\% \text{ C} + 0,50 \times 60\% \text{ C} = 38\% \text{ C}$$

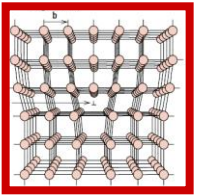
Pode-se calcular as proporções de **R**, **S** e **L** usando três alavancas lineares independentes, unindo cada um dos vértices ao ponto **P** até interceptar o lado oposto, tal que:

$$\% \text{ S} = (PO/SO) \times 100 = 30\%$$

$$\% \text{ R} = (PO'/RO') \times 100 = 20\%$$

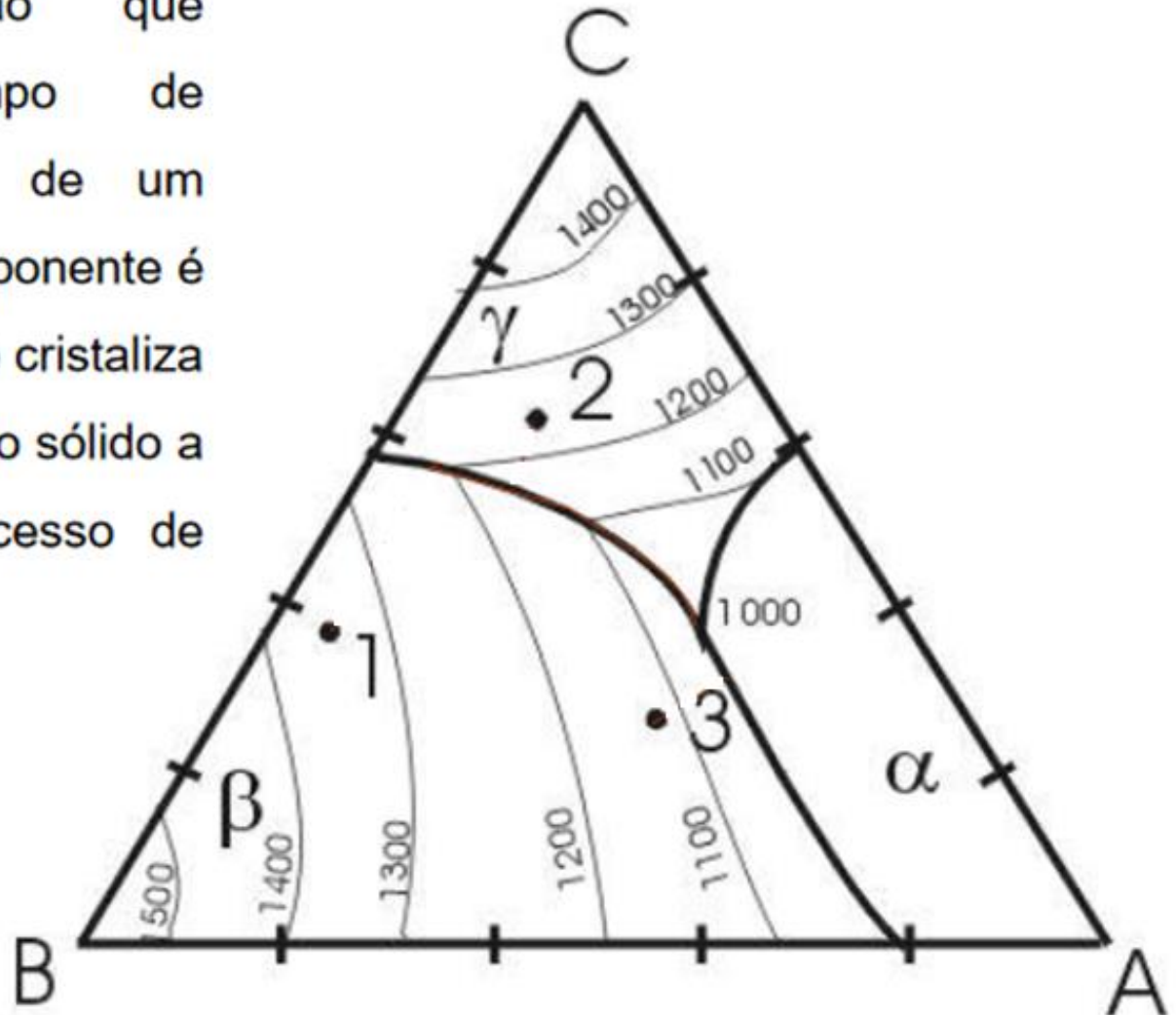
$$\% \text{ L} = (PO''/LO'') \times 100 = 50\%$$

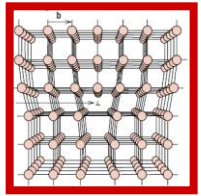




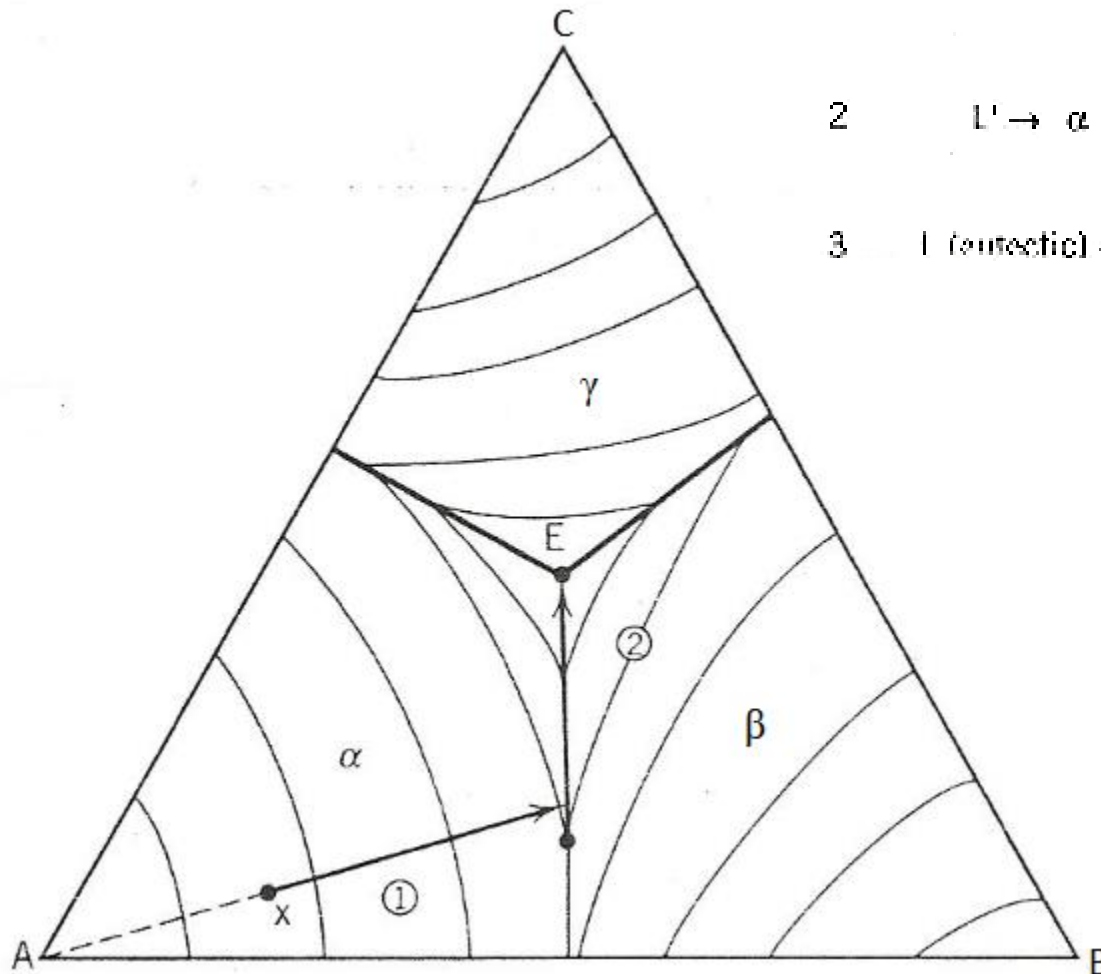
Diagramas Ternários

Qualquer composição que pertença ao campo de cristalização primária de um componente, esse componente é o primeiro sólido que se cristaliza a partir do líquido (último sólido a desaparecer num processo de fusão).

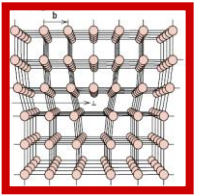




Diagramas Ternários

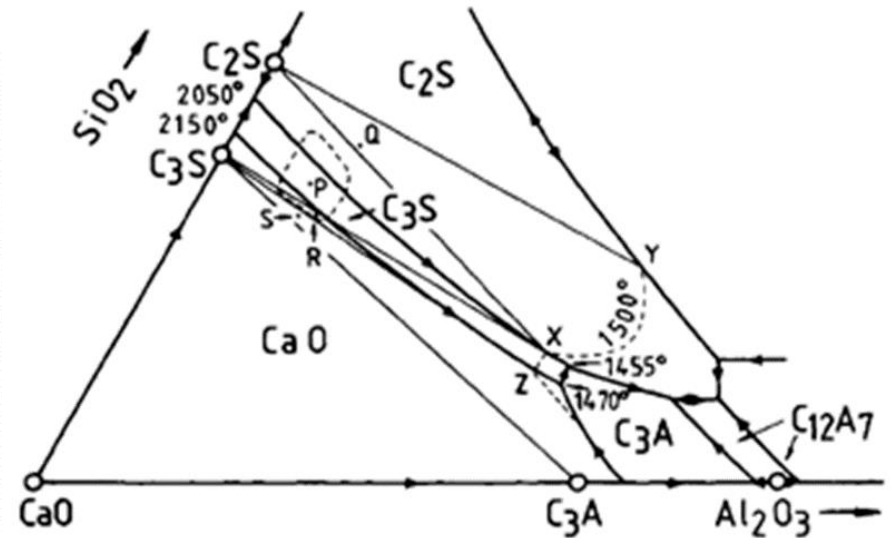
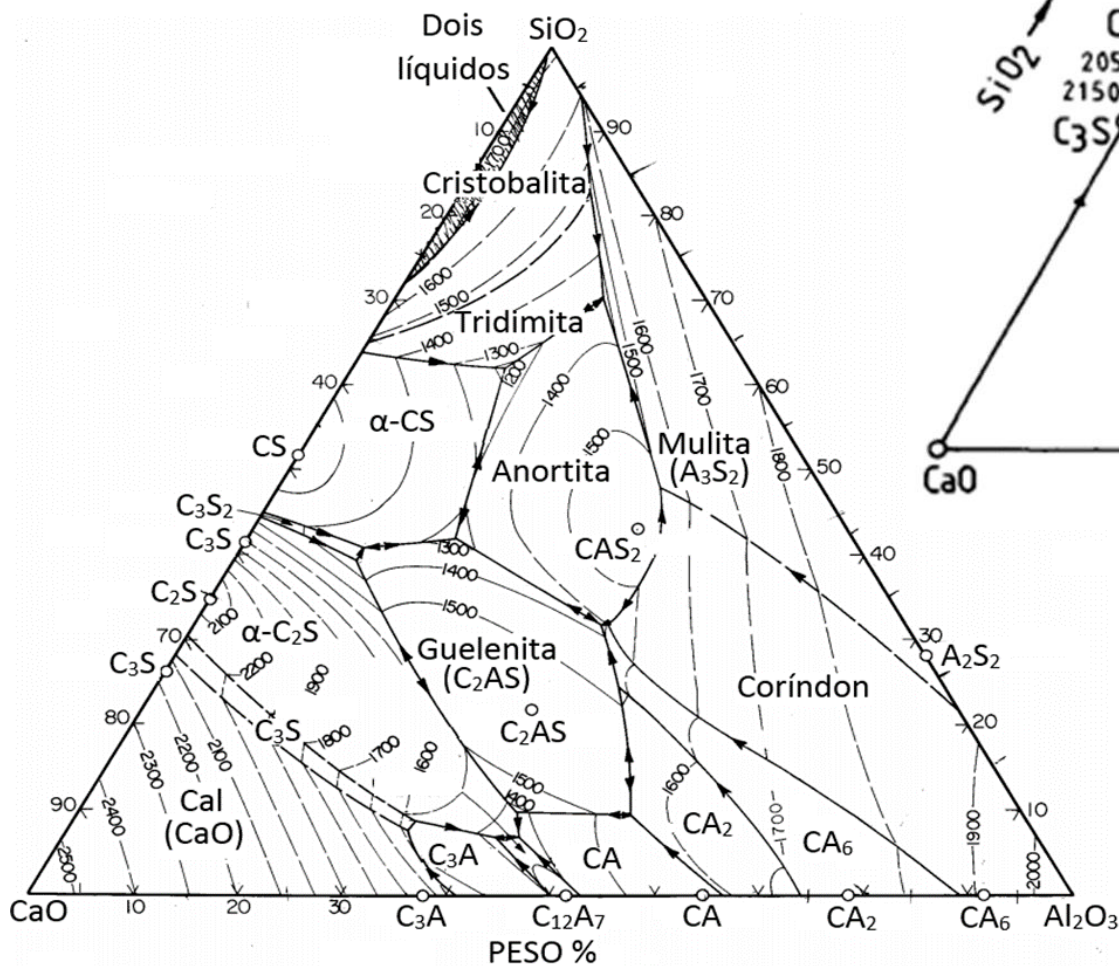


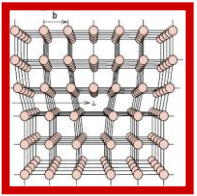
<u>Path</u>	<u>Reaction</u>	<u>Schematic microstructure</u>
1	$L \rightarrow \alpha + L'$	
2	$L' \rightarrow \alpha + \beta + L''$	
3	$L \text{ (eutectic)} \rightarrow \alpha + \beta + \gamma$	



Diagramas Ternários

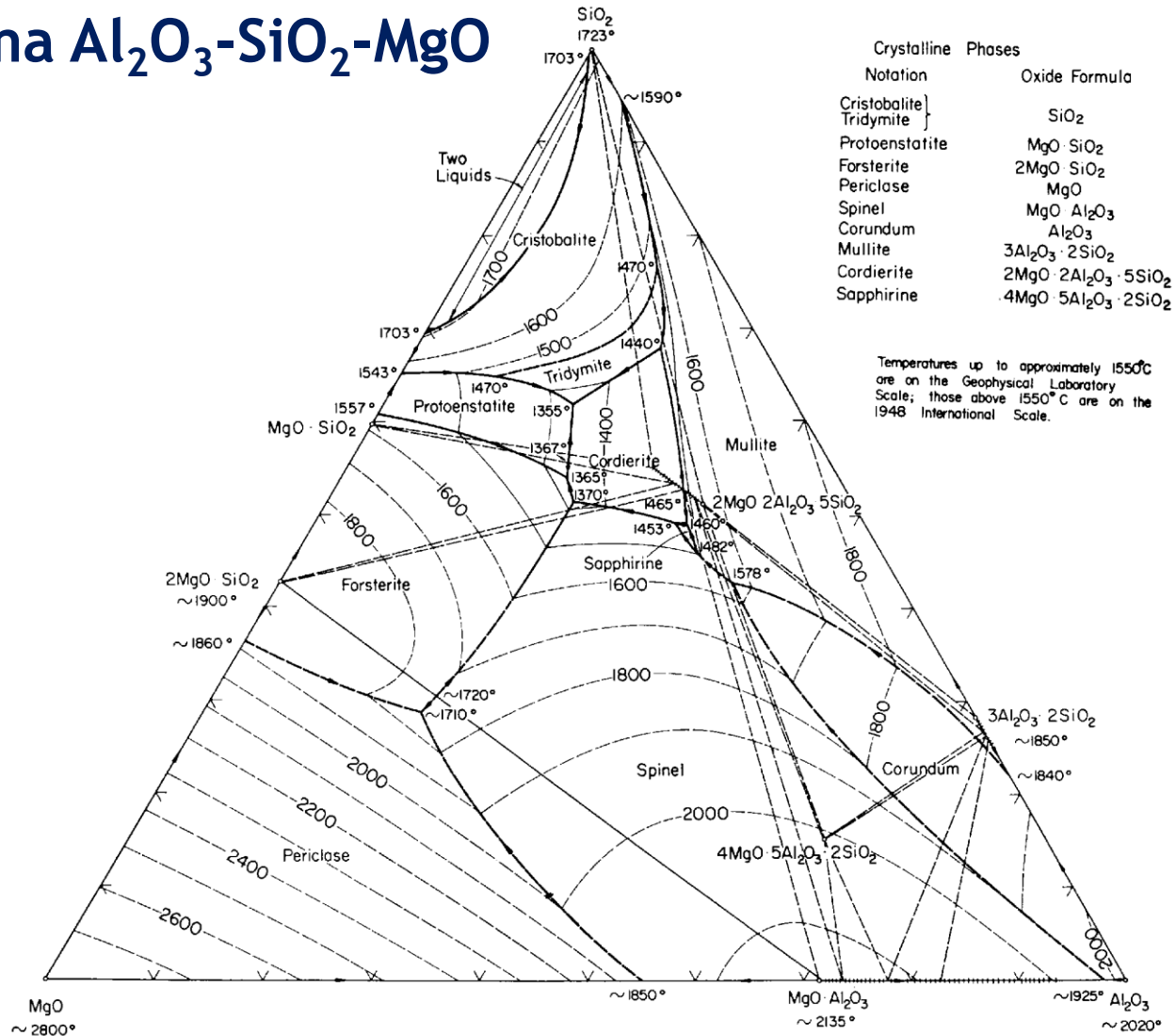
Sistema $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-CaO}$

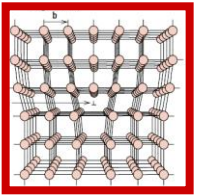




Diagramas Ternários

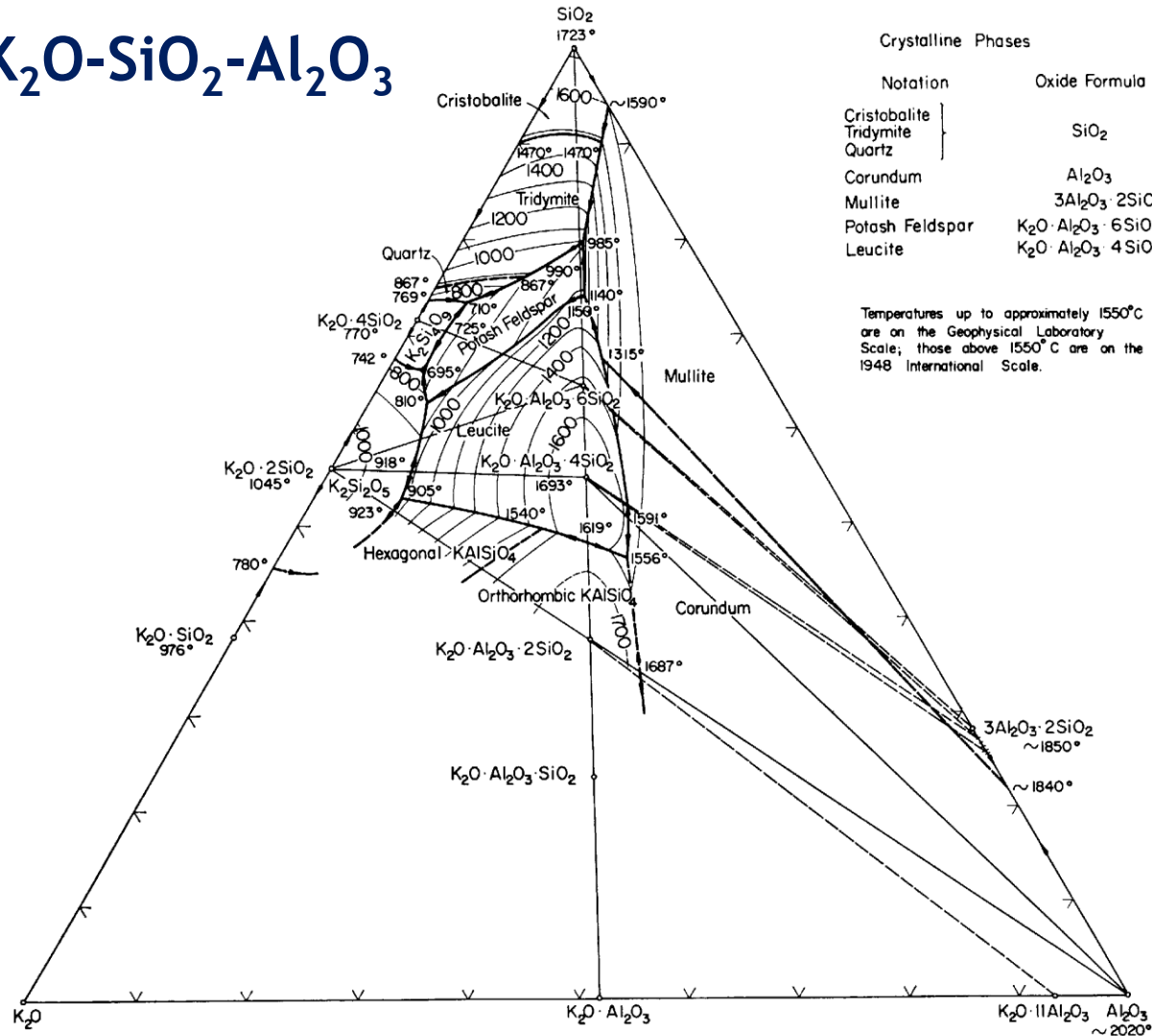
Sistema $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-MgO}$

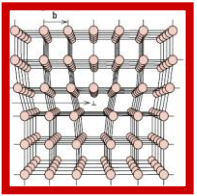




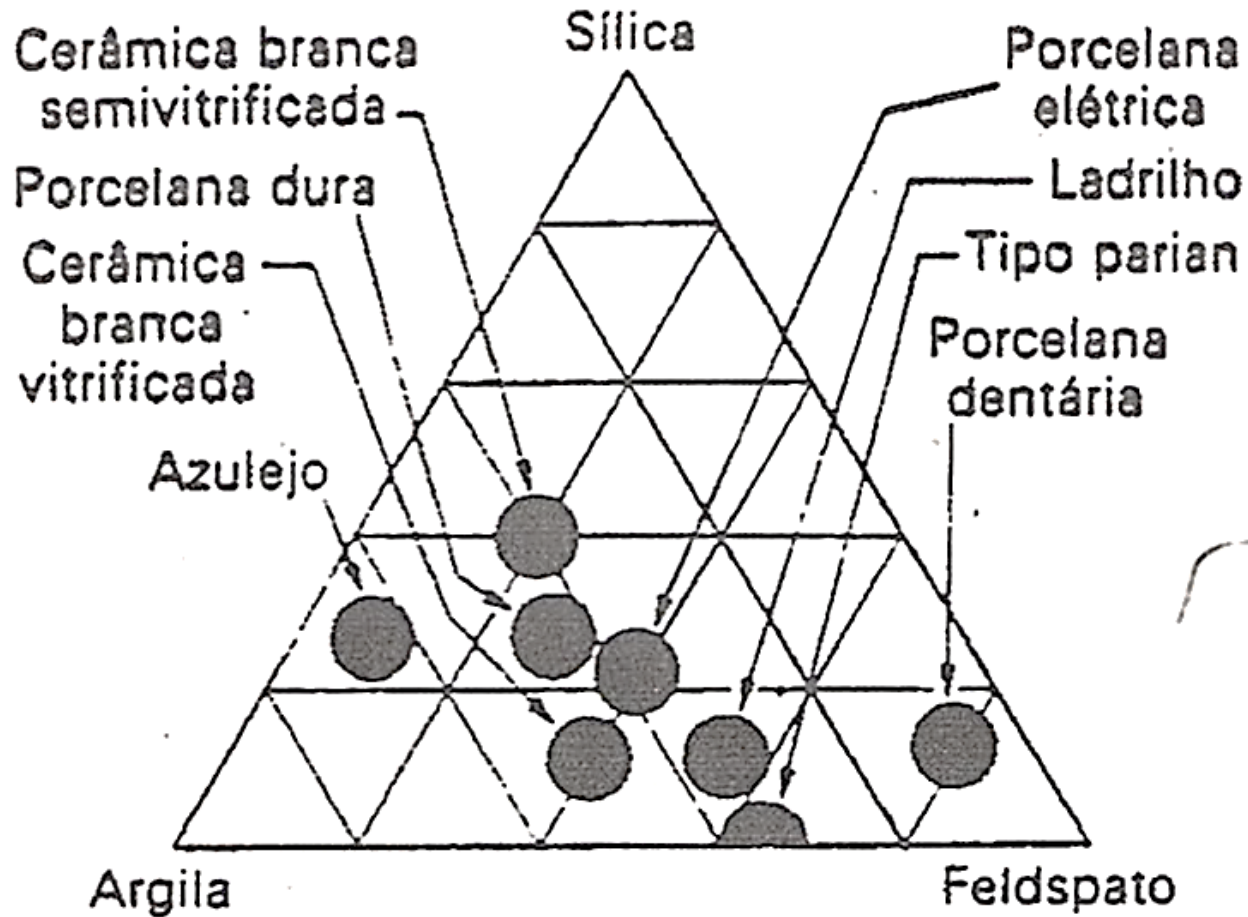
Diagramas Ternários

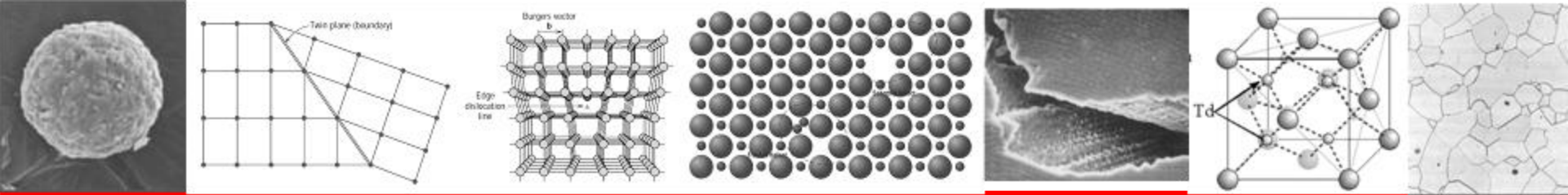
Sistema $K_2O-SiO_2-Al_2O_3$



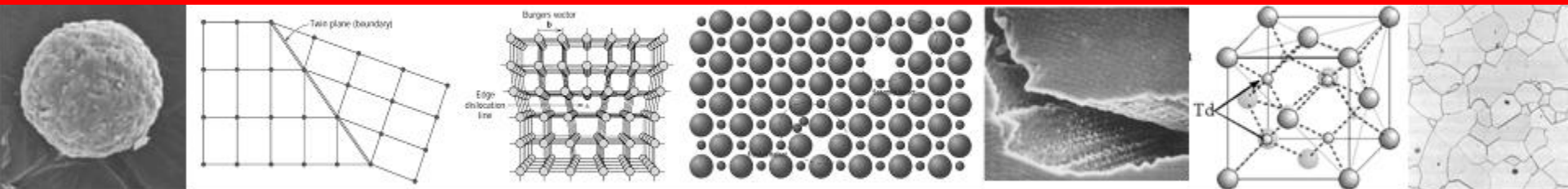


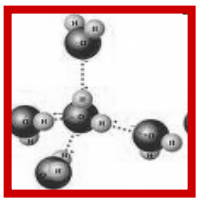
Triaxial Cerâmico



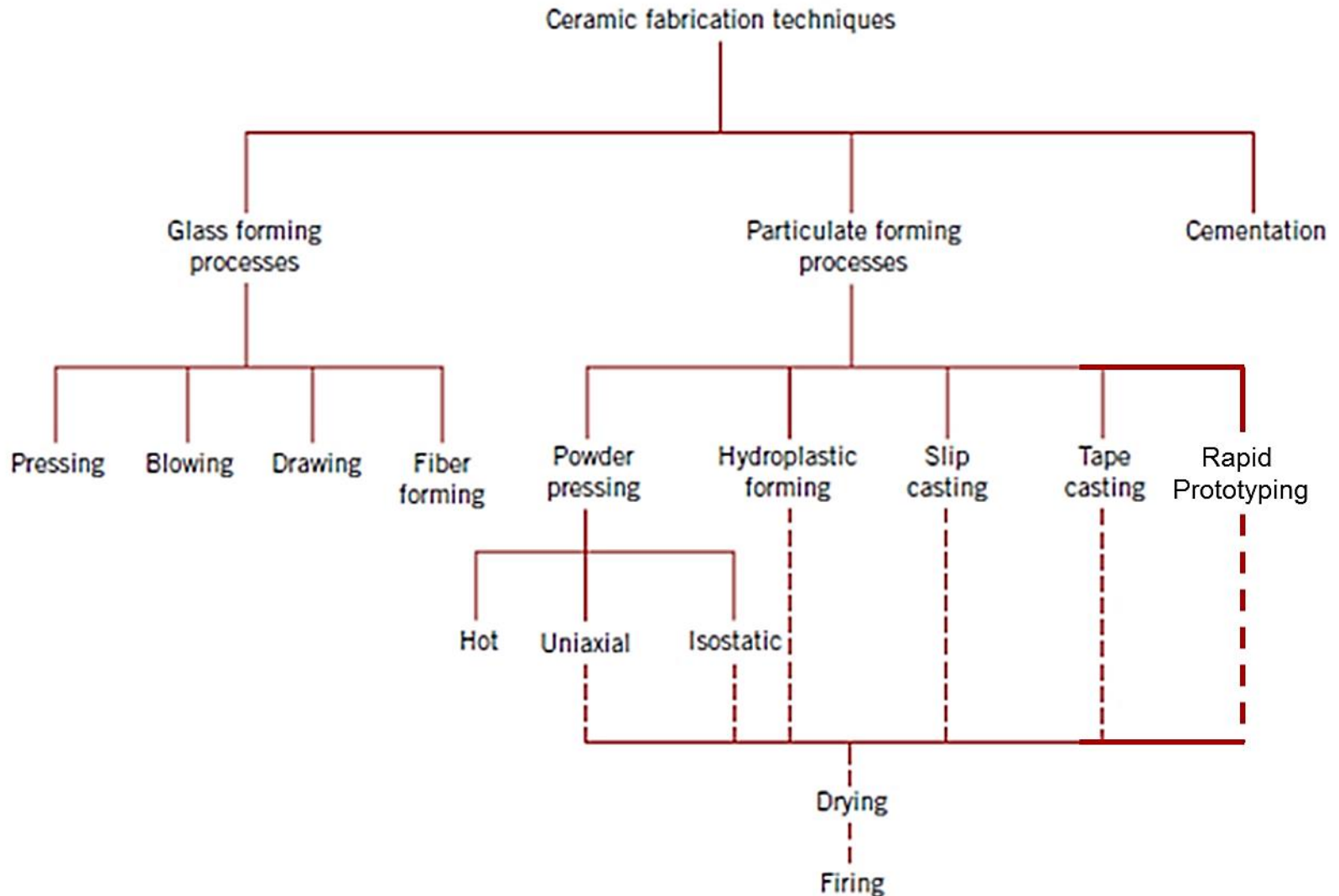


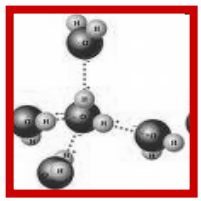
Processamento Cerâmico





Processamento Cerâmico





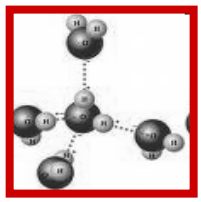
Processamento Cerâmico

- **Parâmetros de escolha:**

- Forma do produto final; Custo; Aplicação do produto final; Produtividade; Reprodutibilidade dimensional.

TABLE 23.1 Various Shaping Methods for Ceramic Components

<i>Shaping method</i>	<i>Type of feed material</i>	<i>Type of shape</i>
Dry pressing	Free-flowing granules	Small and simple
Isostatic pressing	Fragile granules	Larger and more intricate
Extrusion	Plastic mass using a viscous polymer solution	Elongated with constant cross section
Injection molding	Organic liquid binder giving fluidity when hot	Complex
Slip casting	Free-flowing cream	Mainly hollow



Processamento Cerâmico



Grão de trigo



Grão de milho



Grão de soja

Cominuição (Moagem)



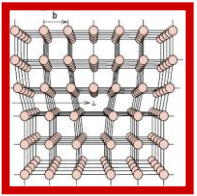
Farinha de trigo



Farinha de milho (fubá)

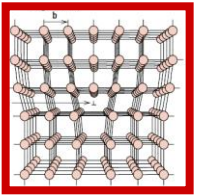


Farinha de soja



Processamento Cerâmico

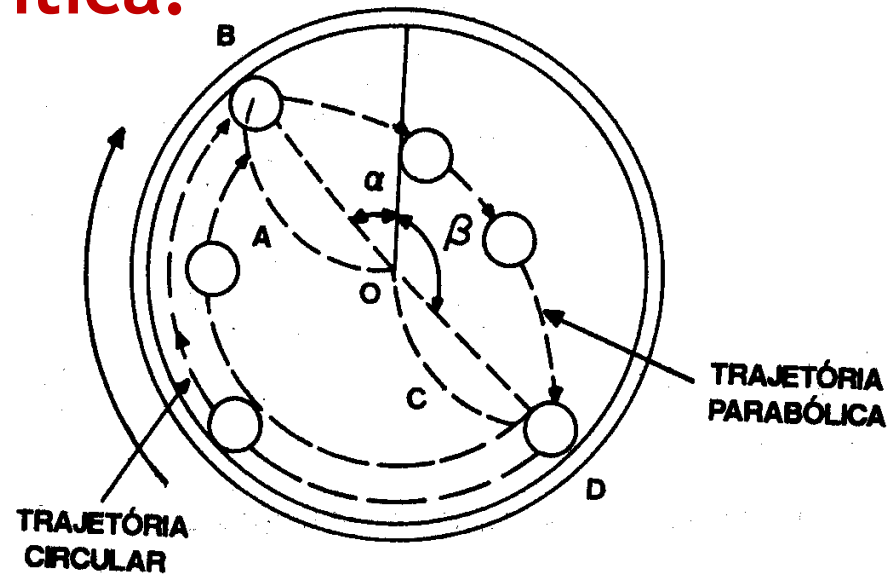
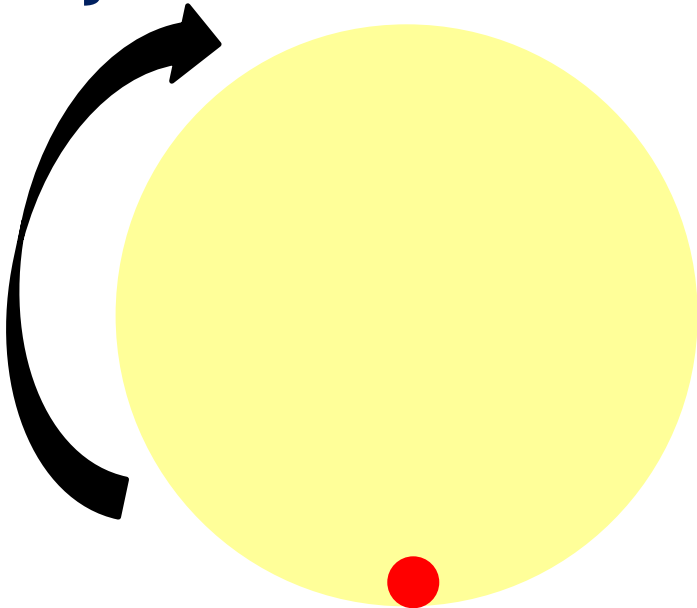
- A moagem é o último estágio do processo de cominuição. Neste estágio as partículas são reduzidas, pela combinação de impacto, compressão, abrasão e atrito, a um tamanho adequado à liberação do mineral, geralmente, a ser concentrado nos processos subsequentes.
- É a área da fragmentação que requer maiores investimentos, maior gasto de energia e é considerada uma operação importante para o bom desempenho de uma instalação de tratamento.



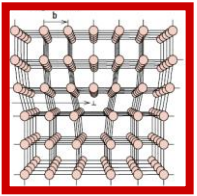
Processamento Cerâmico

O Conceito da Velocidade Crítica:

Enquanto a força centrífuga for maior que a força da gravidade, as bolas permanecem em trajetória circular.



Quando o componente da força da gravidade for maior que esta, as bolas abandonam a trajetória circular e passam a seguir uma trajetória parabólica.



Processamento Cerâmico

O Conceito da Velocidade Crítica:

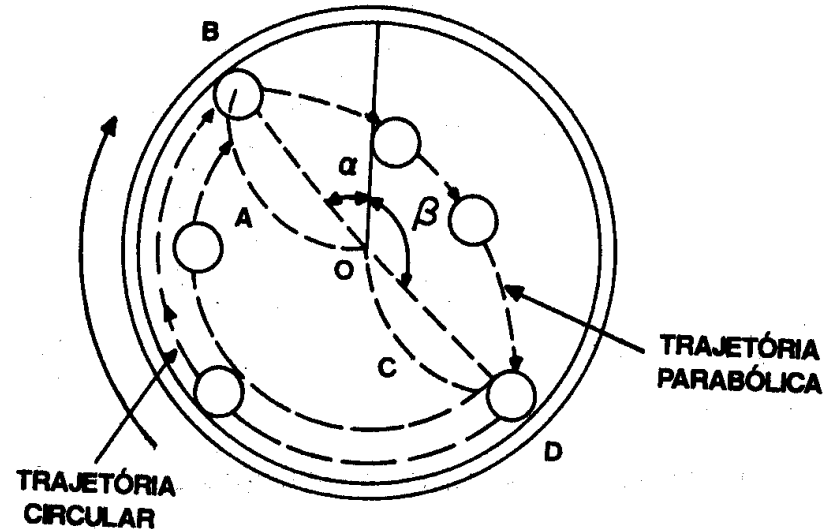
Há, entretanto, um momento em que as duas forças se igualam e é o início da queda da bola. Neste momento tem-se:

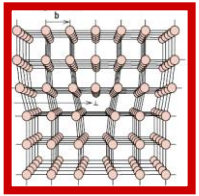
$$F_c = F \cos \alpha$$

Sendo:

F_c : força centrífuga

$F \cos \alpha$: componente da gravidade

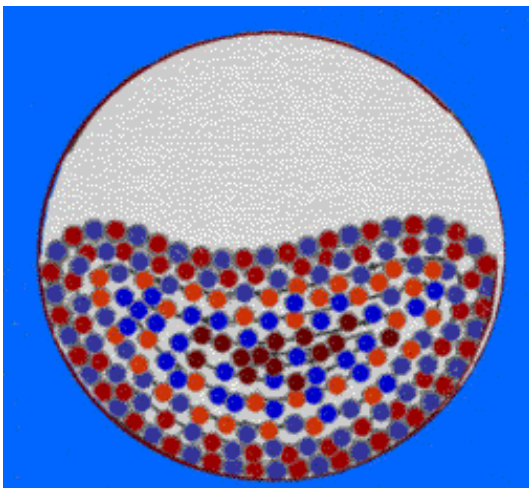




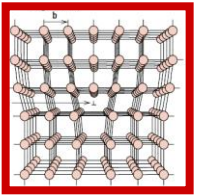
Processamento Cerâmico

Regimes de Operação do Moinho

A velocidade, o fator de enchimento e mais outros fatores determinam o regime de operação do moinho.



Catarata	Cascata
Alta Velocidade	Baixa Velocidade
Fragmentação por Impacto	Fragmentação por Abrasão e Atrito
Bolas Maiores	Bolas Menores
Baixo Fator de Enchimento	Alto Fator de Enchimento
Adequado para Moagem de Material Grosso	Adequado para a Obtenção de Granulometria Fina
Evita a Produção de Finos	



Processamento Cerâmico

Atomizador

Droplet sizes in the range 10 to $>100 \mu\text{m}$ can be produced.

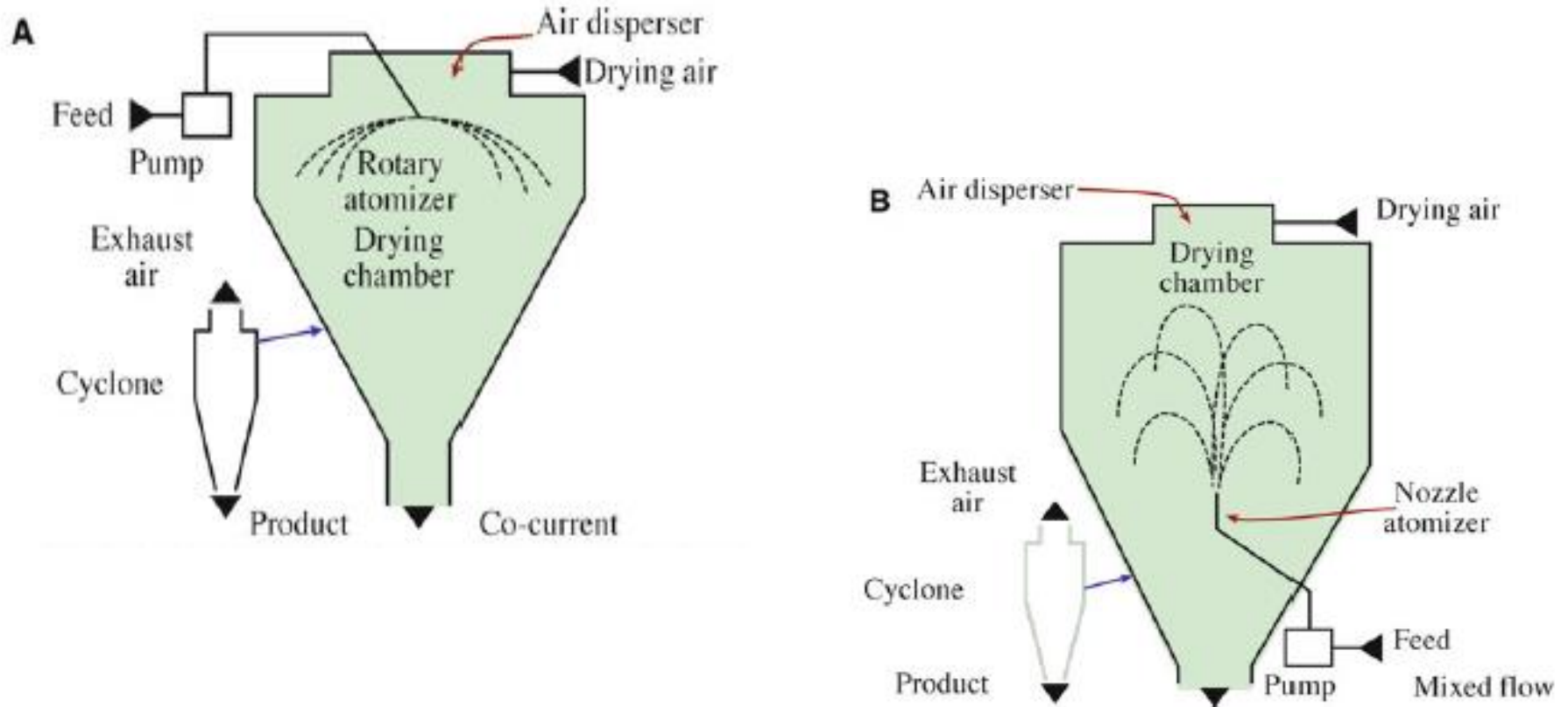
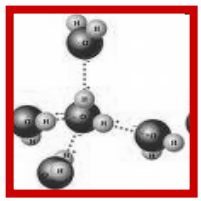


FIGURE 20.3. Spray dryers. (A) Centrifugal atomizer with co-current air flow. (B) Nozzle atomizer using mixed-flow conditions.

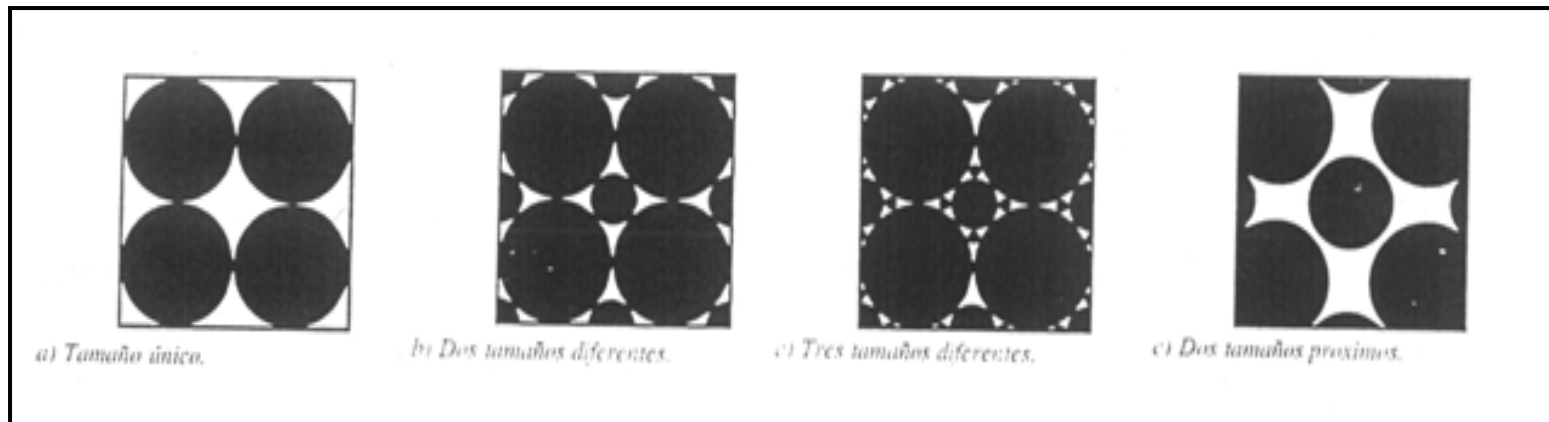


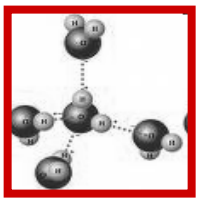
Processamento Cerâmico

• Granulometria das Partículas

- Modificação da distribuição de tamanho de partículas → distintas compacidades das peças conformadas;

Parâmetro importante → misturas que gerem uma alta compacidade → Relação de tamanhos



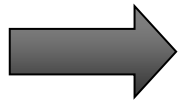


Processamento Cerâmico

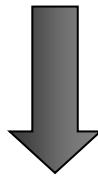
• Granulometria das Partículas

- Modificação da distribuição de tamanho de partículas → distintas compacidades das peças conformadas;

Parâmetro importante



misturas que gerem uma alta compacidade



Relação de tamanhos

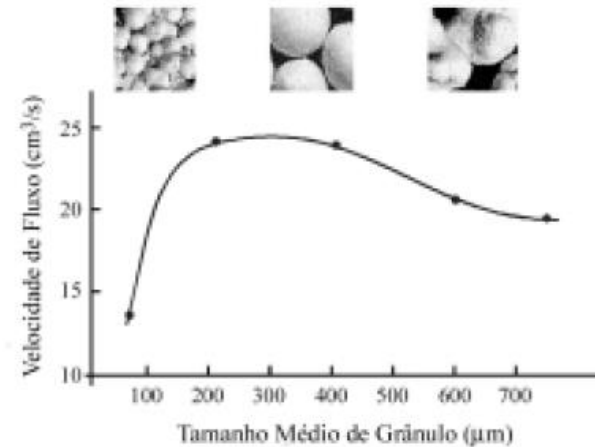


Figura 5. Relação entre a fluidez e o tamanho de grânulo.

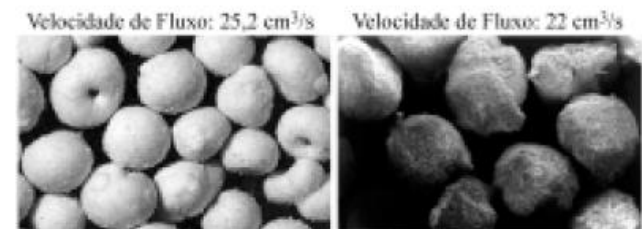
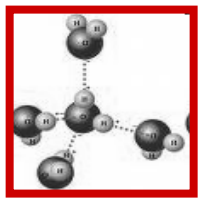


Figura 6. Efeito da textura superficial do grânulo sobre a velocidade de fluxo da massa.



Principais Processos

- **Tipos.**

- **Prensagem;**

- Uniaxial**

- Isostática**

- A quente**

- **Conformação Plástica;**

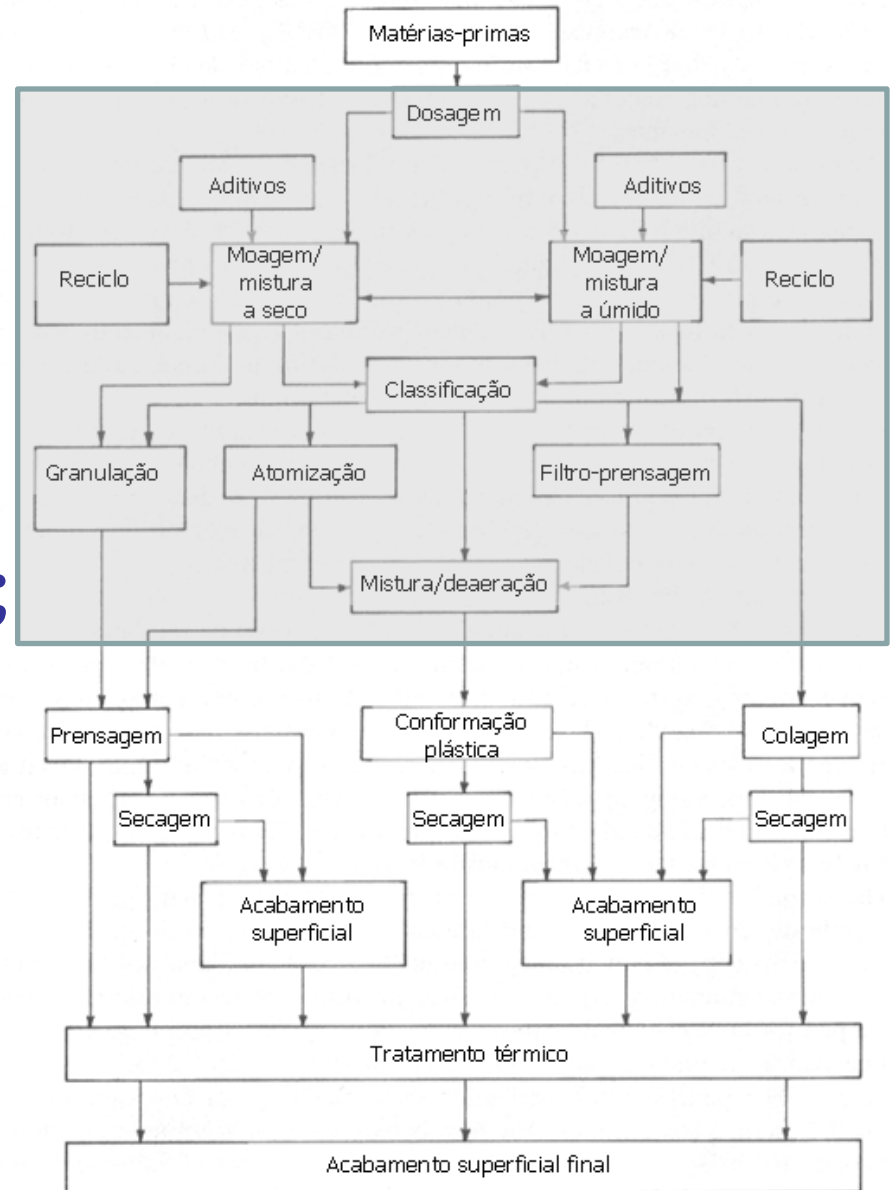
- Injeção**

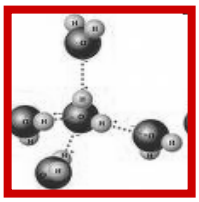
- Extrusão**

- **Colagem.**

- Barbotina**

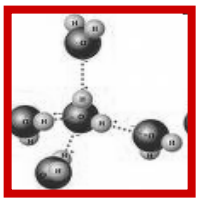
- Fita**





Prensagem

- **Análogo cerâmico à metalurgia do pó;**
 - Uma massa pulverizada, contendo uma pequena quantidade de água ou outro aglutinante é compactada na forma desejada por aplicação de pressão.
- **Três procedimentos básicos:**
 - Prensagem uniaxial;
 - Prensagem isostática;
 - Prensagem a quente.



Prensagem

- **Uniaxial e Isostática:**

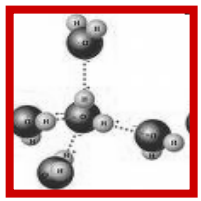
- 1) **Conformação;**

- 2) **Sinterização.**

Coalescência das partículas de pó em uma massa densa (redução da porosidade e melhoria da integridade mecânica).

- **Isostática a quente:**

- 1) **Prensagem + Tratamento Térmico simultâneos**



Prensagem Uniaxial

- A mistura é prensada uniaxialmente num molde com a forma desejada;

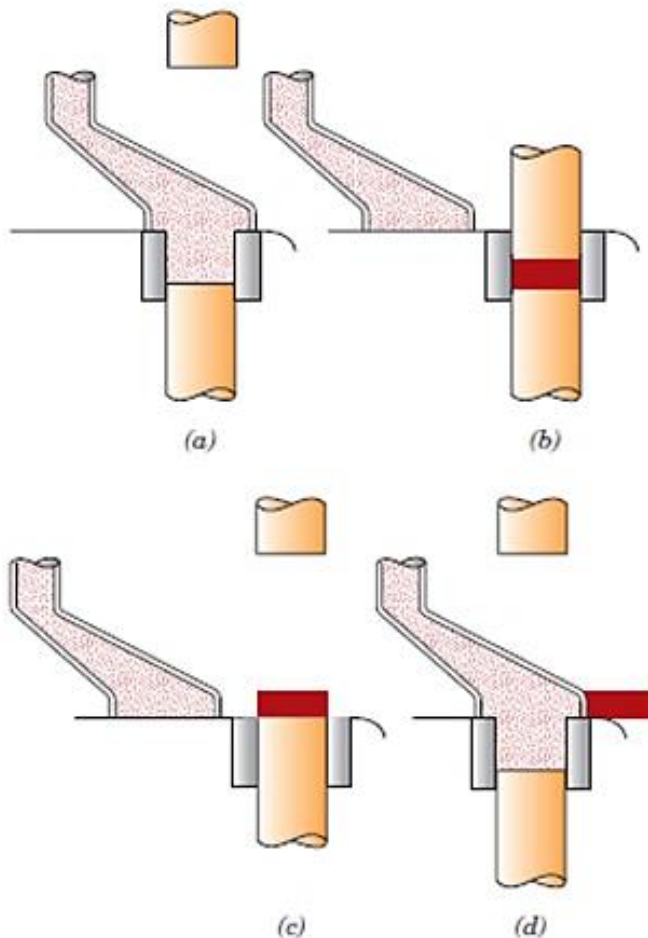
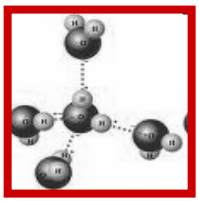


Figure 13.15 Schematic representation of the steps in uniaxial powder pressing. (a) The die cavity is filled with powder. (b) The powder is compacted by means of pressure applied to the top die. (c) The compacted piece is ejected by rising action of the bottom punch. (d) The fill shoe pushes away the compacted piece, and the fill step is repeated. (From W. D. Kingery, Editor, *Ceramic Fabrication Processes*, MIT Press. Copyright © 1958 by the Massachusetts Institute of Technology.)

- Atuação do êmbolo em apenas um sentido;



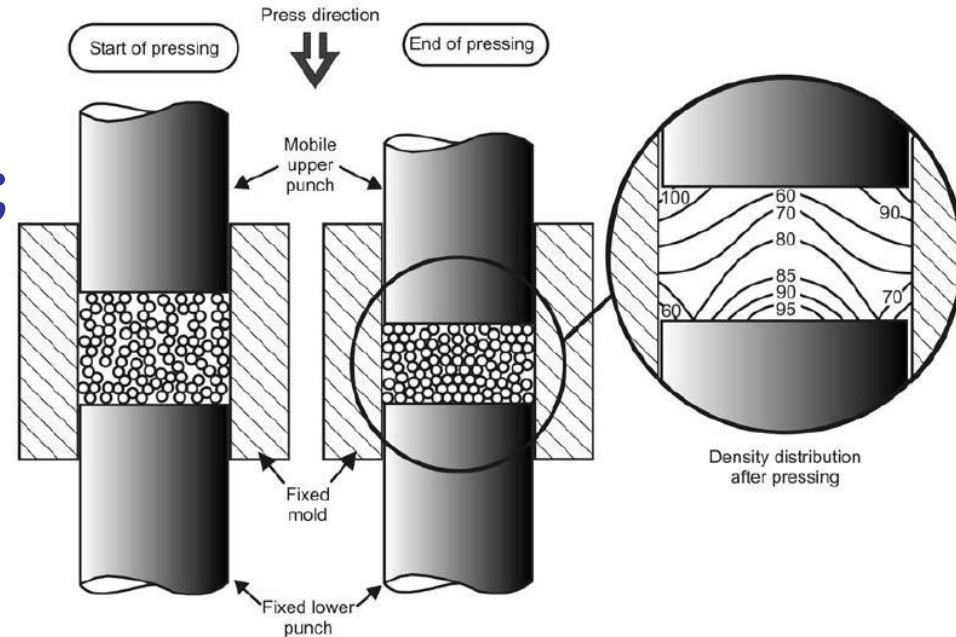
Prensagem Uniaxial

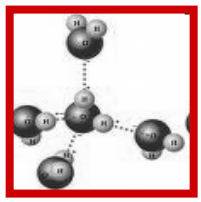
- **Vantagens:**

- Baixo Custo;
- Elevada produtividade;
- Elevada densidade;
- Precisão dimensional.

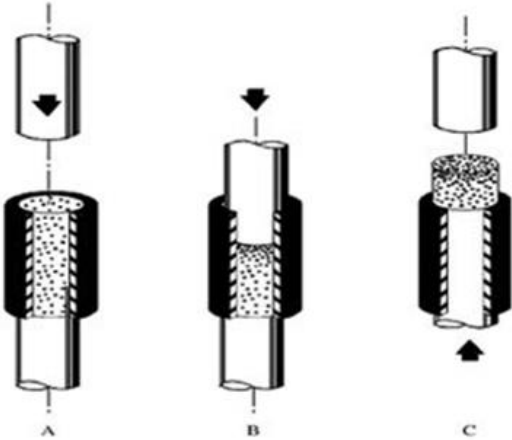
- **Desvantagens:**

- Restrita a formas simples;
- Variação de densidade, devido ao atrito partícula-partícula e partícula-parede do molde.



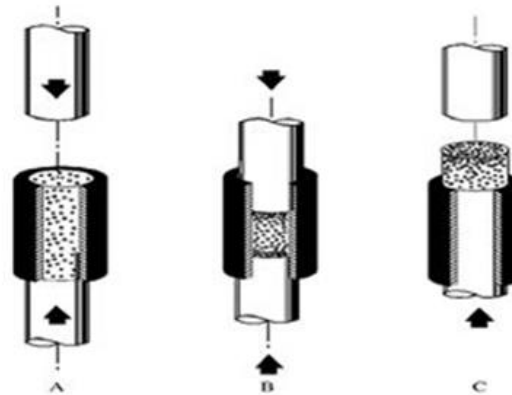


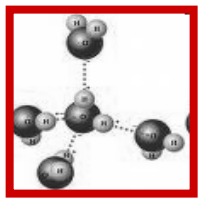
Prensagem Uniaxial



- Simple ação – peças de geometria simples e de espessura reduzida.

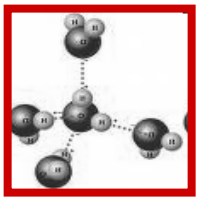
• Dupla ação - espessura da peça é muito grande para o emprego da técnica de ação simples.



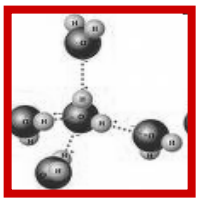


Prensagem Uniaxial



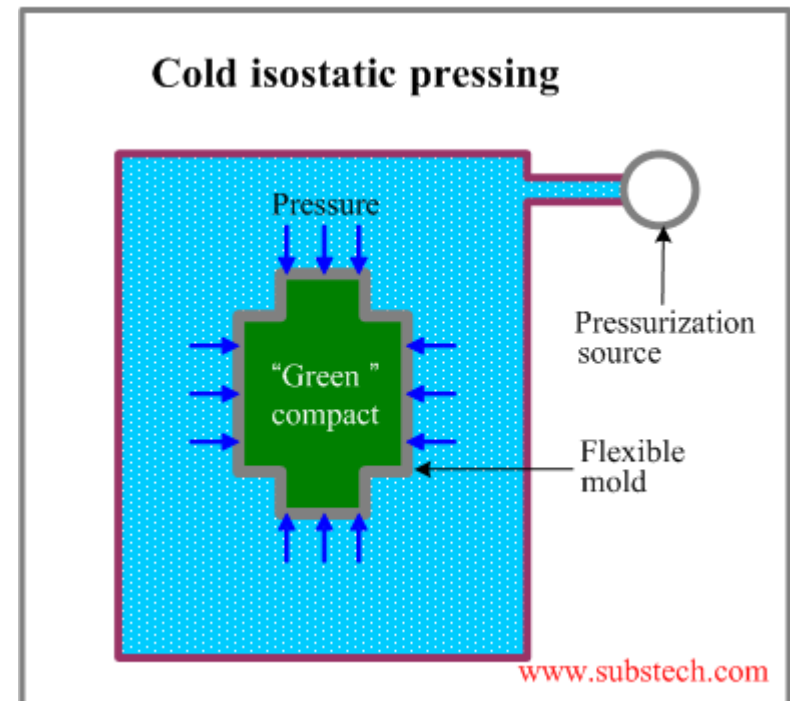


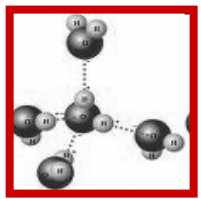
Prensagem Uniaxial



Prensagem Isostática

- O material é colocado num molde flexível (geralmente borracha) dentro de uma câmara com um fluido hidráulico ao qual é aplicado uma pressão isostática;
- A pressão aplicada compacta uniformemente o pó em todas as direções.





Prensagem Isostática

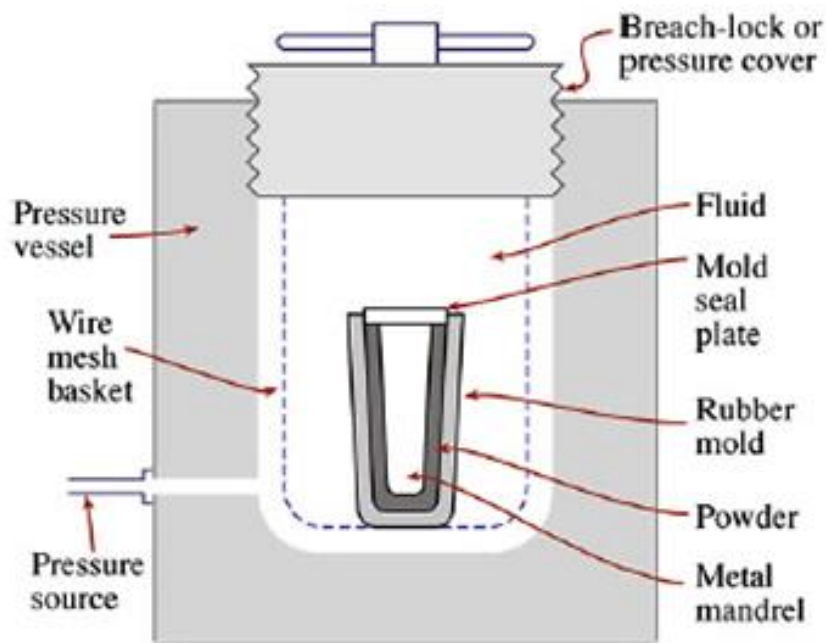


FIGURE 23.3. Wet-bag isostatic pressing system.

- Molde úmido

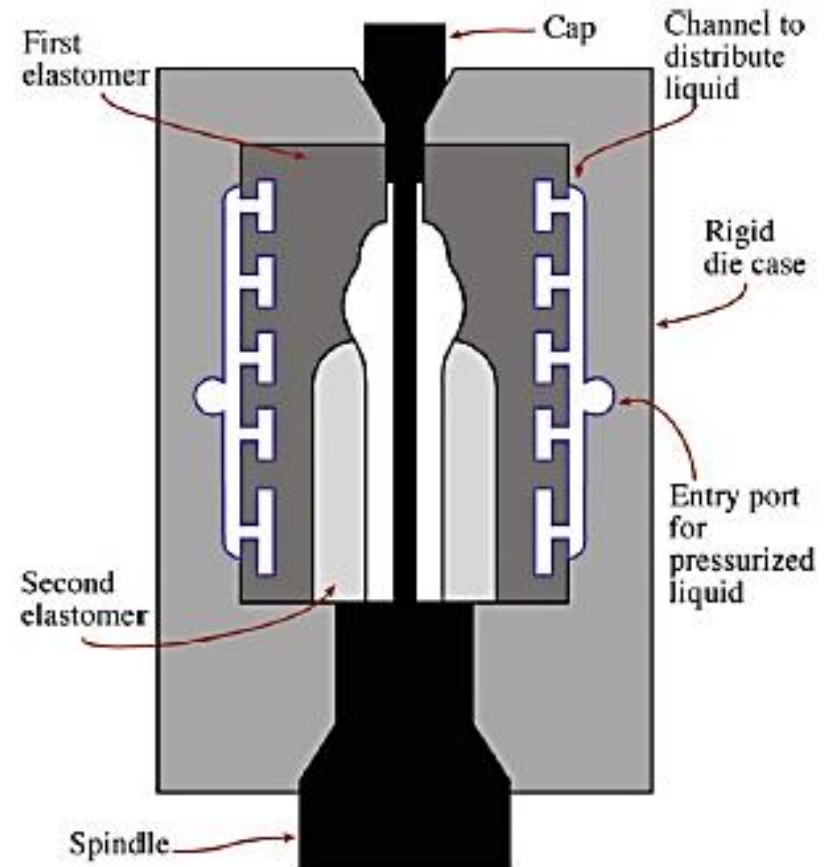
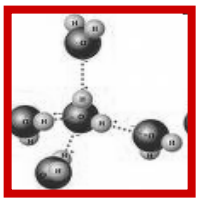


FIGURE 23.4. A die for dry-bag isostatic pressing of a spark plug insulator.

- Molde seco



Prensagem Isostática

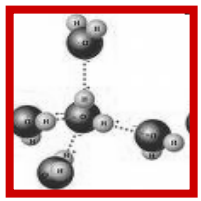
- **Vantagens:**

- Possibilidade de formas mais complexas.

- **Desvantagens:**

- Menor produtividade;

- Custo mais elevado.



Prensagem Isostática

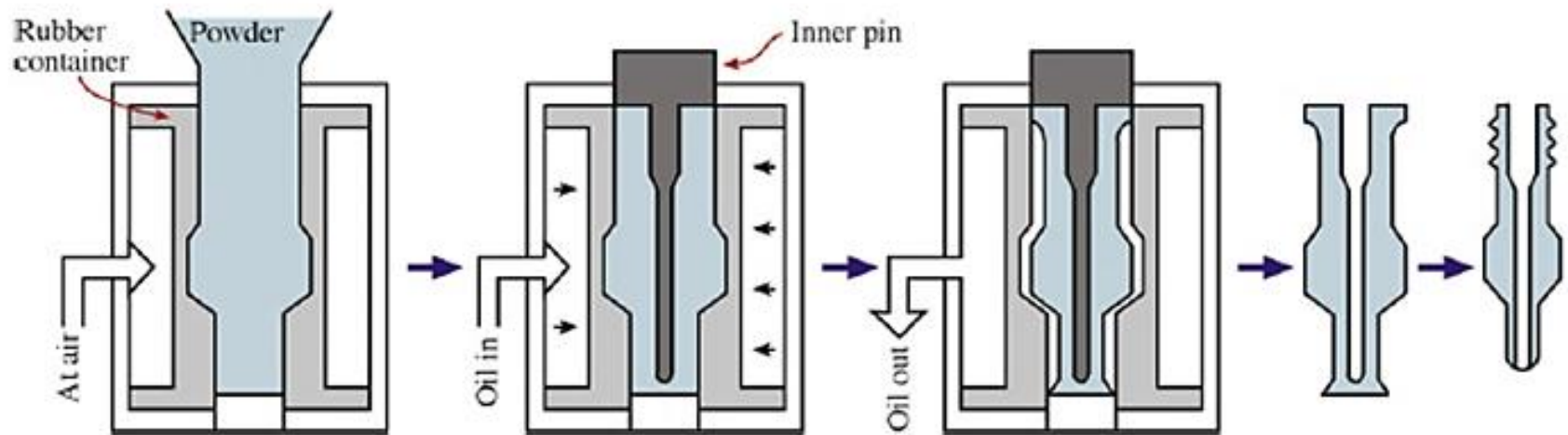
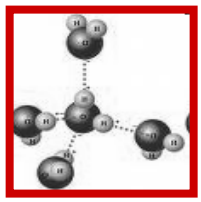
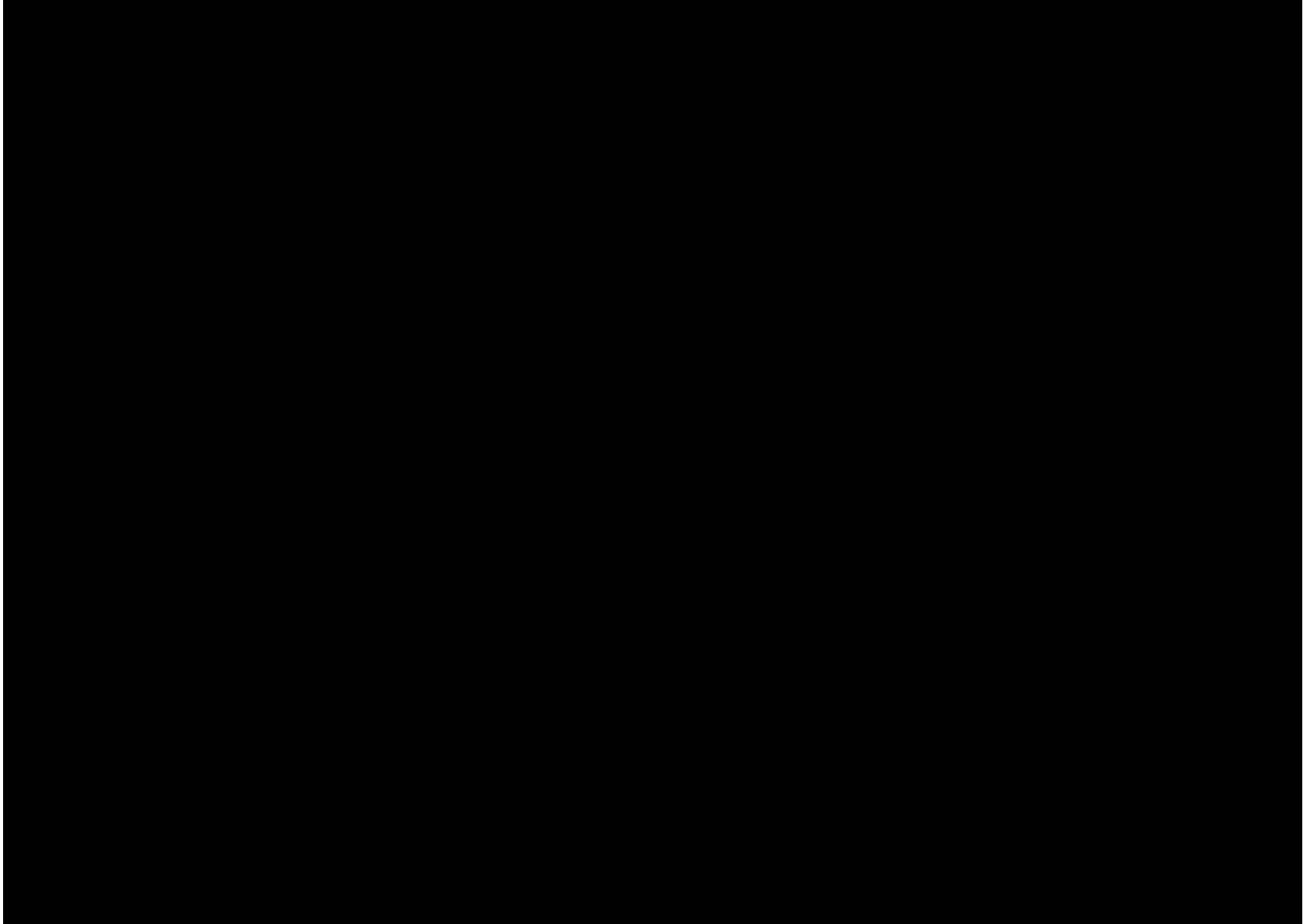
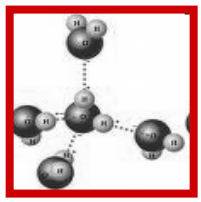


FIGURE 23.5. Making spark plugs. Hydrostatic pressure is applied by pumping oil around the rubber container, which is part of the press and thus easily removed.



Prensagem Isostática





Prensagem a Quente

- Pressão uniaxial (ou isostática) e temperatura são aplicadas simultaneamente. Logo, se realiza a compactação e a sinterização ao mesmo tempo.

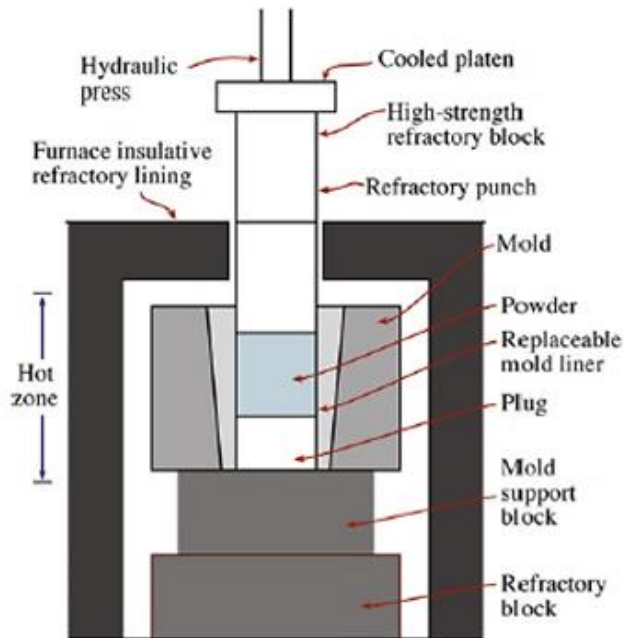


FIGURE 23.2. Essential elements of a hot press.

- Uniaxial

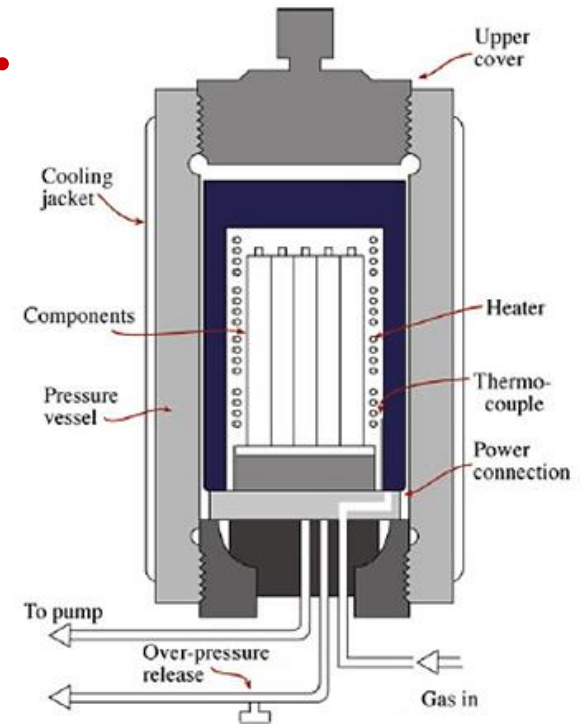
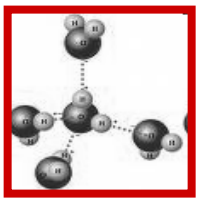


FIGURE 23.6. Hot isostatic pressing apparatus.

- Isostática



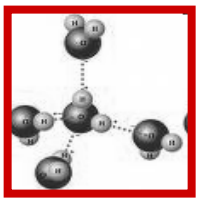
Prensagem a Quente

- **Vantagens:**

- Obtêm-se massas específicas elevadas sem que haja um crescimento de grão apreciável.

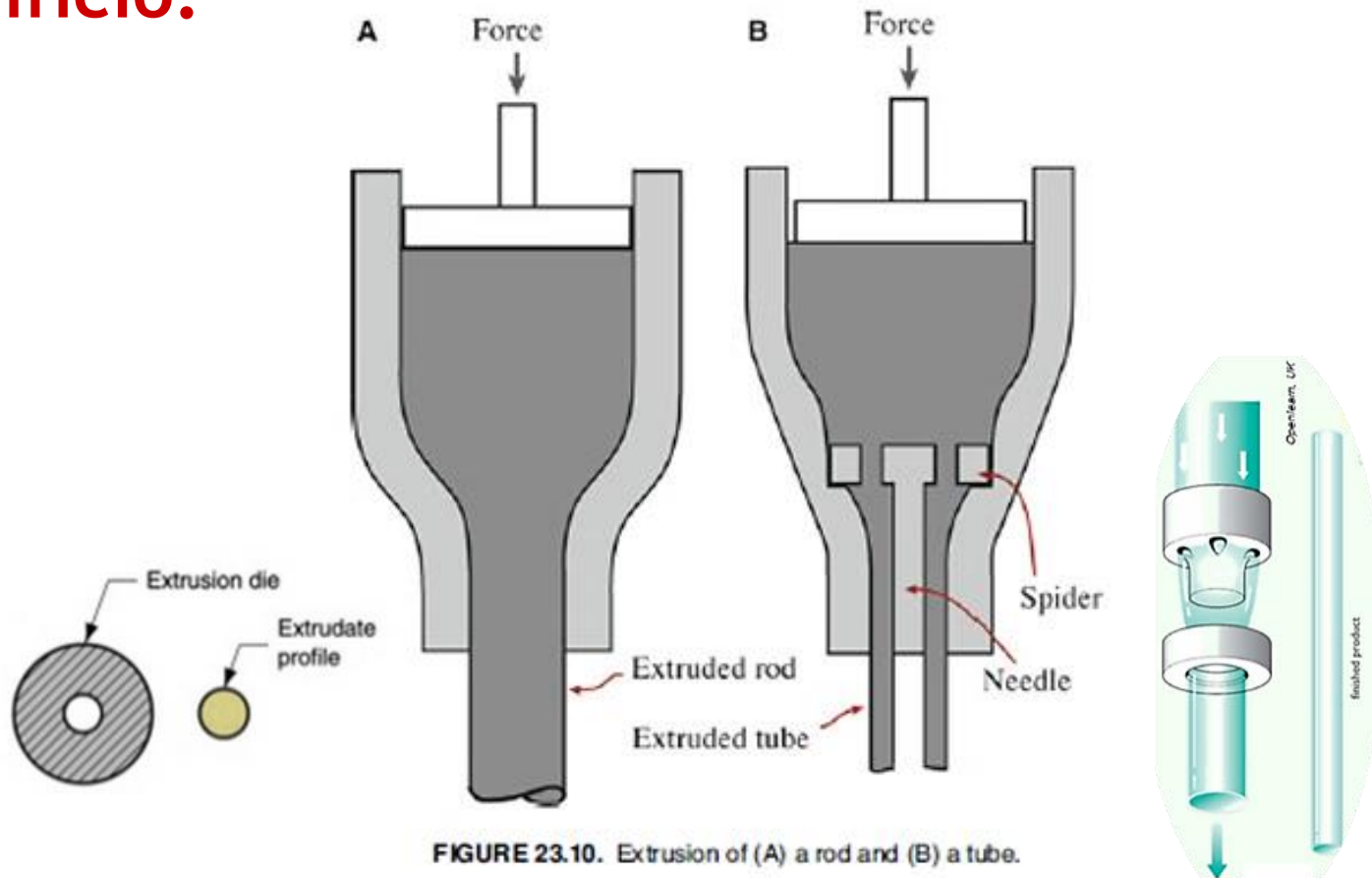
- **Desvantagens:**

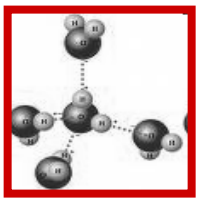
- Menor produtividade;
- Moldes e equipamentos são caros.



Extrusão

- Tem origem na metalurgia, no qual um pedaço de metal é pressionado contra um orifício.



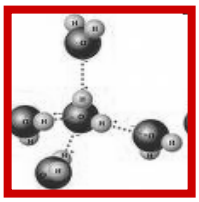


Extrusão

- O material a ser extrudado é uma massa feita com o pó cerâmico e um ligante;
- Às vezes, são adicionados lubrificantes e detergentes;
- Compostos cerâmicos que já contenham argilas (plásticas) não necessitam de aditivos.

TABLE 23.3 Examples of Compositions of Extruded Bodies

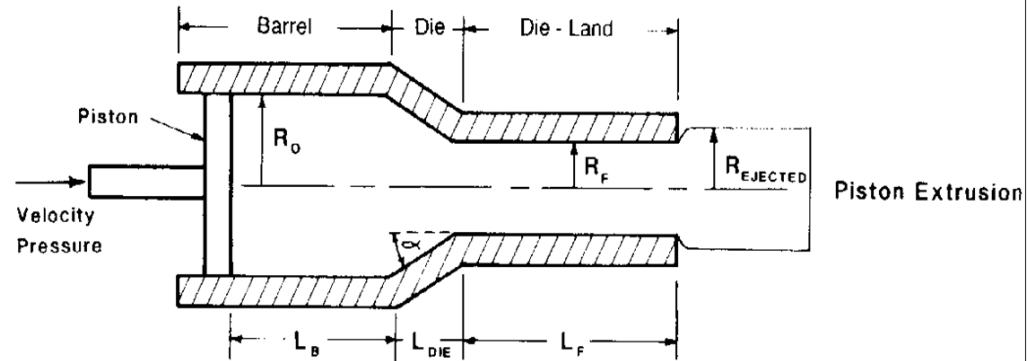
<i>Refractory alumina</i>	<i>vol%</i>	<i>High alumina</i>	<i>vol%</i>	<i>Electrical Porcelain</i>	<i>vol%</i>
Alumina (<20 μm)	50	Alumina (<20 μm)	46	Quartz (<44 μm)	16
Hydroxyethyl cellulose	6	Ball clay	4	Feldspar (<44 μm)	16
Water	44	Methylcellulose	2	Kaolin	16
AlCl ₃	<1	Water	48	Ball clay	16
(pH >8.5)		MgCl ₂	<1	Water	36
				CaCl ₂	<1



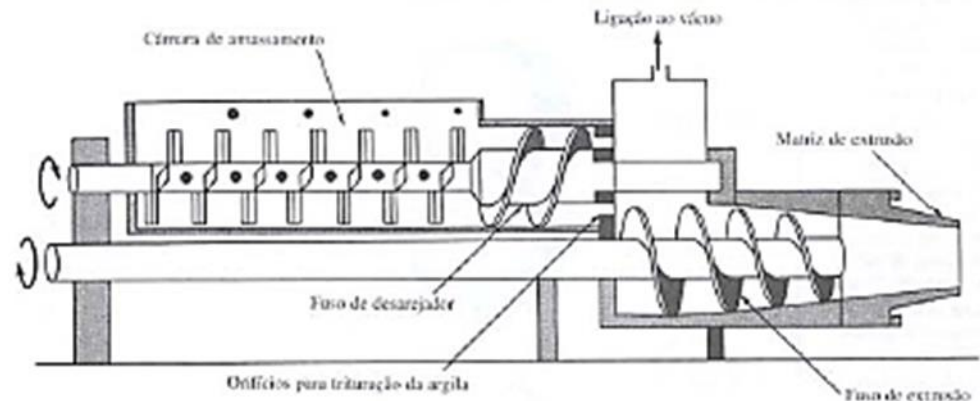
Extrusão

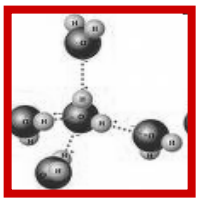
- Tipos de Extrusoras:

- Extrusora de pistão



- Extrusora de rosca

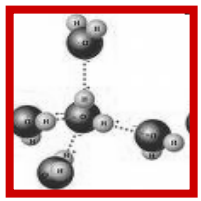




Extrusão

- **Vantagens:**

- Produção de peças com seções transversais contínuas, e em larga escala;
- Seções complexas podem ser extrudadas (estruturas tipo colmeias);
- Custo operacional relativamente baixo;
- Aplicável a cerâmicas de diferentes composições, argilas, óxidas ou não óxidas (carbeto e nitreto).



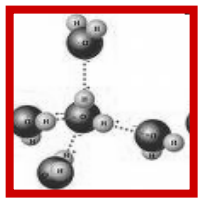
Extrusão

- **Desvantagens:**

- Limitações de forma, onde apenas peças de seções transversais constantes podem ser produzidas;

- Elevados custos de instalação.





Extrusão

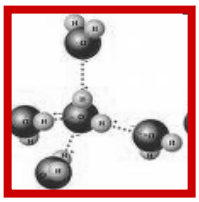
DNA da CONSTRUÇÃO

Como é Feito o Bloco Cerâmico?



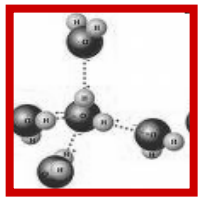
Cerâmica
Incargel





Injeção

- Método comum quando se deseja produzir peças com formas complexas e pequena tolerância dimensional;
- A mistura de pó cerâmico e aditivos poliméricos é aquecida até adquirir comportamento viscoso, passando por uma pré-compactação para reduzir a porosidade e, após isso, é injetada em um molde;
- Desvantagens:
 - Elevado custo dos Aditivos;
 - Problemas de secagem.



Injeção

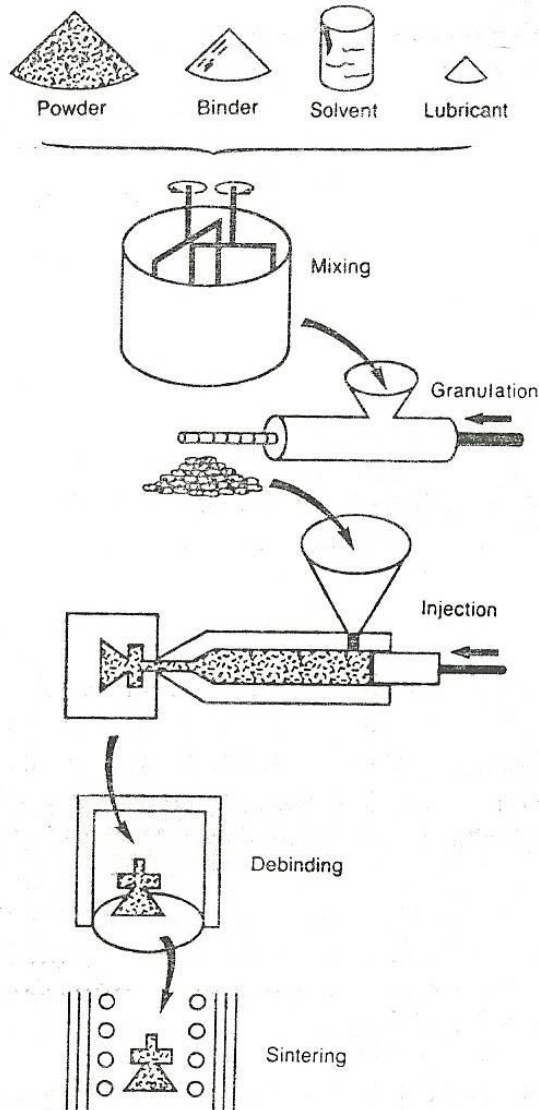


TABLE 23.4 Additives for Injection Molding of SiC

Function	Example	Quantity (wt%)	Volatilization temperature (°C)
Thermoplastic resin	Ethyl cellulose	9–17	200–400
	Polyethylene		
	Polyethylene glycol		
Wax or high-temperature volatilizing oil	Paraffin	2.0–3.5	150–190
	Mineral oils		
Low-temperature volatilizing hydrocarbon or oil	Vegetable oils	4.5–8.5	50–150
	Animal oils		
	Vegetable oils		
Lubricant or mold release	Fatty acids	1–3	
	Fatty alcohols		
	Fatty esters		
Thermosetting resin	Epoxy		Gives carbon 450–1,000
	Polyphenylene		
	Phenol formaldehyde		

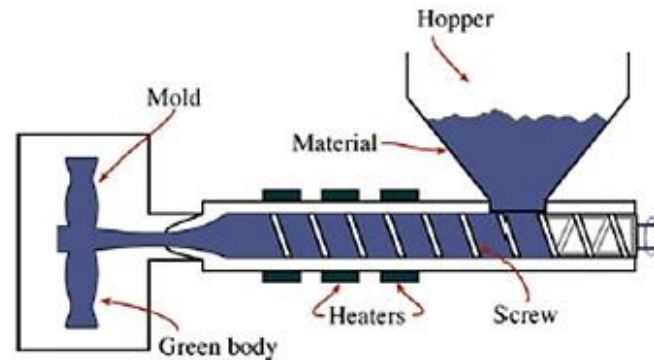
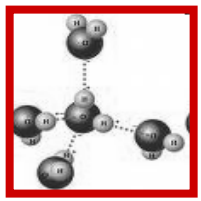
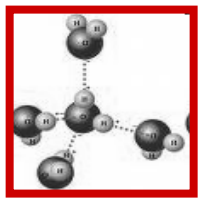


FIGURE 23.12. Cross-sectional side view of a screw-type machine.



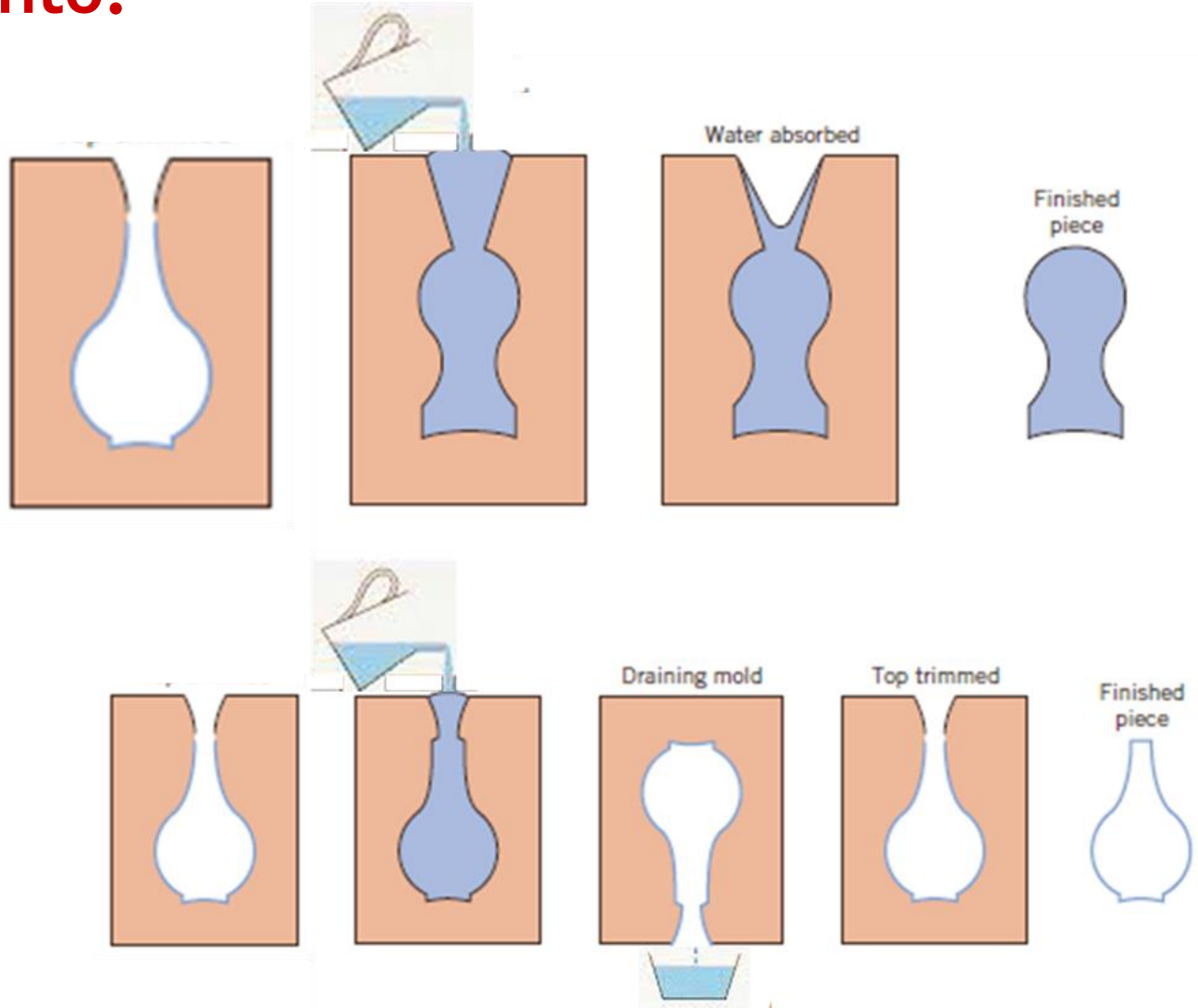
Colagem de Barbotina

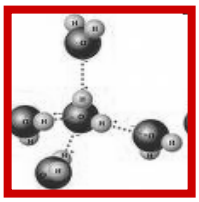
- Também conhecida como fundição em suspensão;
- Utilizam-se moldes porosos;
 - Moldes normalmente são de gesso.
- Usa-se uma mistura de água e pós chamada de BARBOTINA (a água é absorvida pelo molde).
 - Convencional;
 - Sob pressão;
 - Sob vácuo;
 - Centrífuga (moldes giram).



Colagem de Barbotina

- Procedimento:





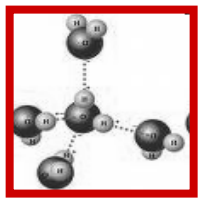
Colagem de Barbotina

- **Vantagens:**

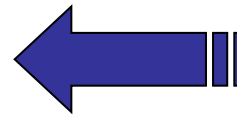
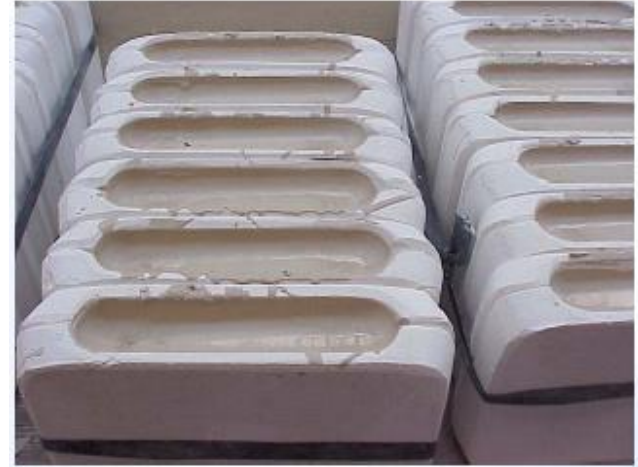
- Produtos com formas complexas;
- Baixo custo de instalação e operacional;
- Processo simples.

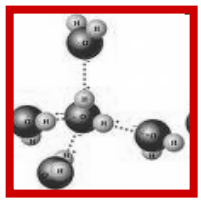
- **Desvantagens:**

- Baixa produtividade;
- Necessidade de grandes áreas para secagem.



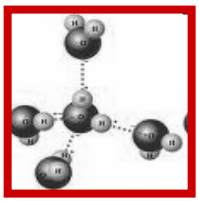
Colagem de Barbotina





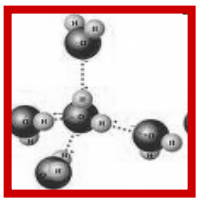
Colagem de Barbotina





Colagem de Fita

- Também chamada de fundição em fita;
 - Lâminas finas de uma fita flexível são produzidas por um processo de fundição;
 - Uma barbotina cerâmica é espalhada em uma superfície móvel de teflon, celofane ou acetato de celulose;
 - A espessura é controlada por uma lâmina (*Doctor blade*).
- A fita é flexível pela presença do ligante, podendo ser enrolada em bobinas antes de ir para a sinterização.



Colagem de Fita

- Utilizados em substratos cerâmicos para componentes eletrônicos e circuitos integrados.

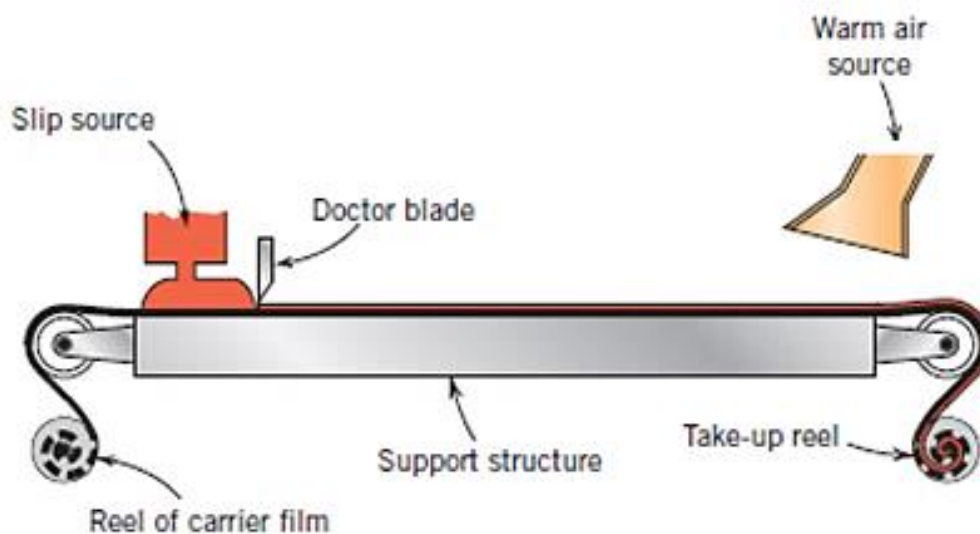
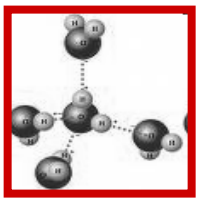


Figure 13.18 Schematic diagram showing the tape-casting process using a doctor blade. (From D. W. Richerson, *Modern Ceramic Engineering*, 2nd edition, Marcel Dekker, Inc., NY, 1992. Reprinted from *Modern Ceramic Engineering*, 2nd edition, p. 472 by courtesy of Marcel Dekker, Inc.)



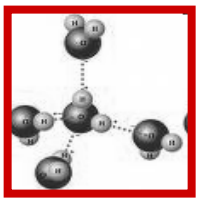
Colagem de Fita

- **Vantagens:**

- Produção de papéis finos, flexíveis e de elevada área superficial;
- Elevada produtividade.

- **Desvantagem:**

- É necessário rigoroso controle para evitar defeitos, pois os produtos são utilizados em sofisticadas aplicações.



Manufatura aditiva

- Processo relativamente novo para a produção de componentes cerâmicos;
- Existem várias técnicas de PR, porém todas são baseadas no uso de um computador que controla o processo de conformação a partir de um programa CAD.

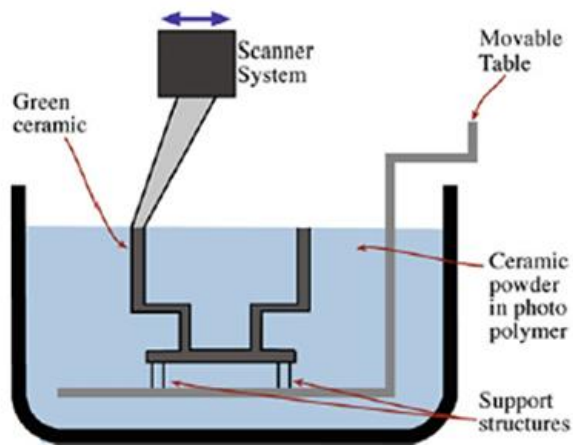


FIGURE 23.13. Stereolithography (SLA) solid free-form fabrication (SFF) process.

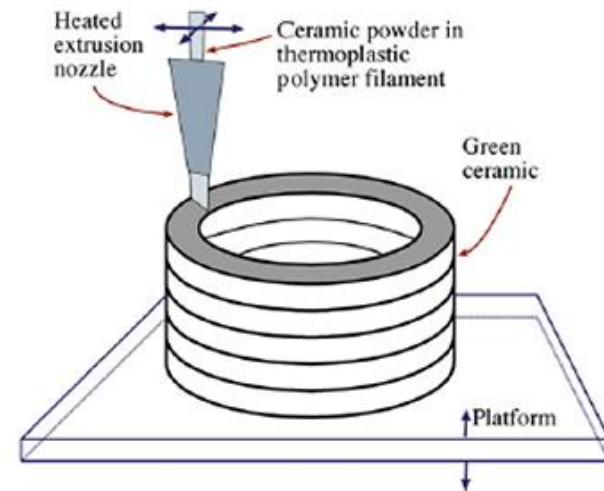
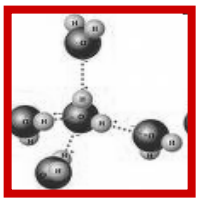


FIGURE 23.14. Fused deposition (FD) SFF process.



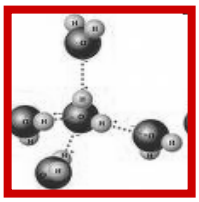
Manufatura aditiva

O que é impressão 3D?

Definição Técnica

Processo de conformação de materiais a partir de um modelo digital, usualmente camada sobre camada (manufatura aditiva), de maneira oposta às metodologias de manufatura subtrativa.

Certo...mas em português por favor

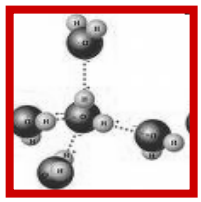


Manufatura aditiva

Começando pela impressão 2D

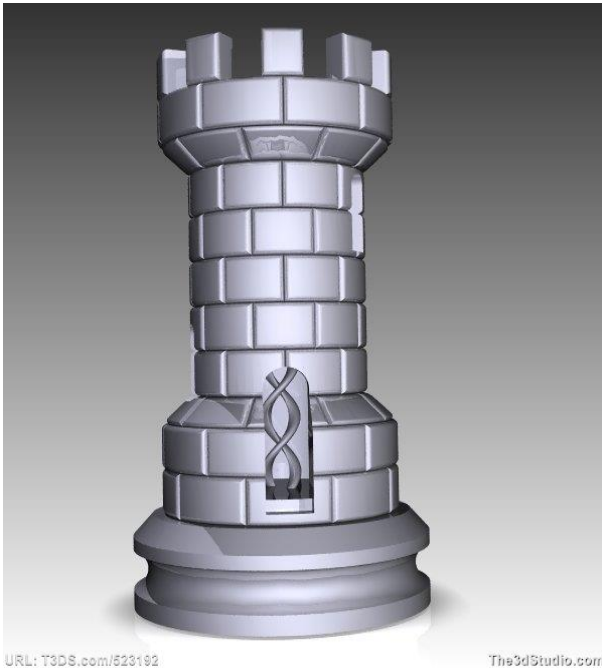


Digital para físico

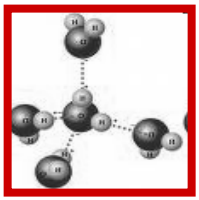


Manufatura aditiva

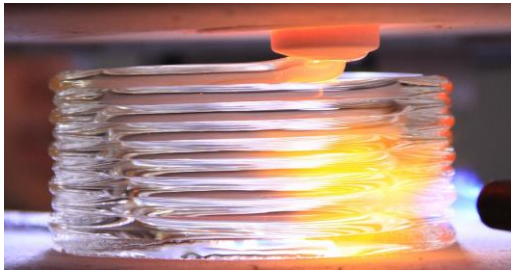
Agora, a impressão 3D



Digital para físico




Manufatura aditiva



Consumer Technology Association

News Policy Events Research & S

Overview Press Releases Blog Annual Publications From Our CEO Promotional Opportunities

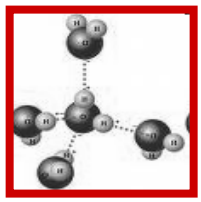


NEWS > 13

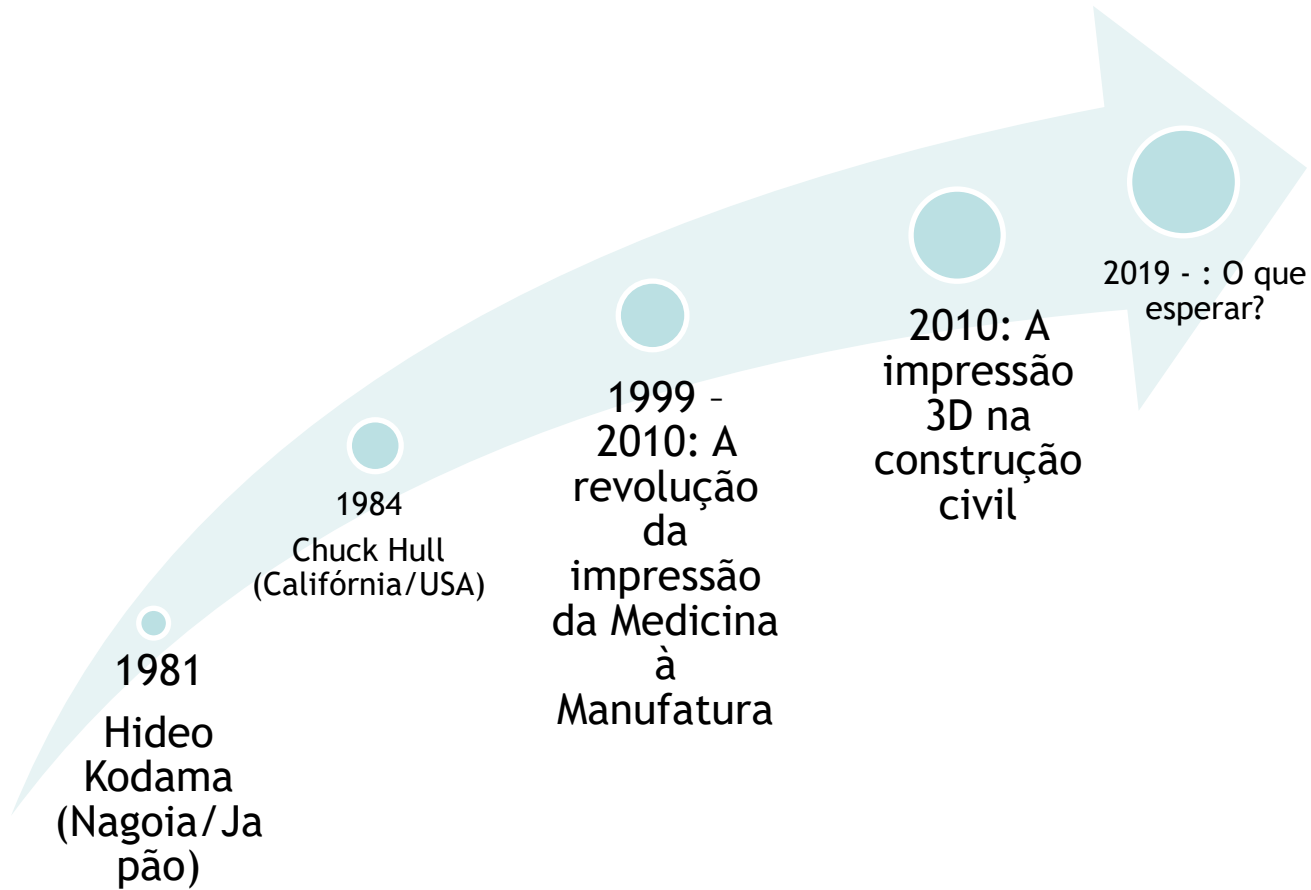
3D-Printed Foods

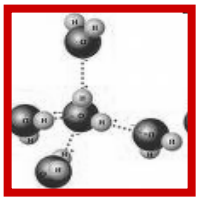
May 17, 2019
Open Meals recently presented an assortment of 3D-printed sushi.





Manufatura aditiva





Manufatura aditiva

Marketplace Latin America

El Salvador may host 3D-printed home community

by Sara Ashley O'Brien @saraashleyo

March 19, 2018 4:13 PM ET



Watch this home be 3D printed

El Salvador may be the first country to have a community of 3D-printed homes.

SmartAsset Paid Partner

NextAdvisor Paid Partner

THE WALL STREET JOURNAL

Home World U.S. Politics Economy Business Tech Markets Opinion Life & Arts Real Estate



China Faces Limited Options to Retaliate to Latest U.S. Threat



Lapse of Nuclear Treaty Throws Doubt on Future of Arms Control



Cuban Migrants Are Thwarted in Mexico by New Asylum Rules



Gov Dis

CHINA REAL TIME REPORT

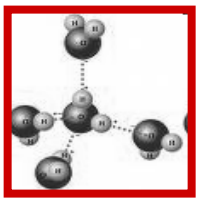
How a Chinese Company Built 10 Homes in 24 Hours

Apr 15, 2014 7:21 pm HKT

0 RESPONSES

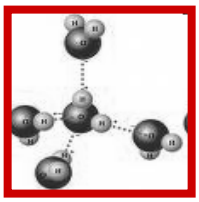


A house is constructed using a 3-D printing process. See more photos of the 3-D homes being constructed. WINSUN NEW MATERIALS



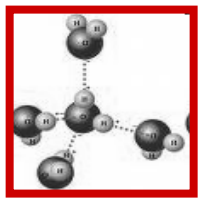
Manufatura aditiva

- **Vantagens da impressão 3D na construção civil:**
 - **Liberdade de criação;**
 - **Autonomia e economia na construção;**
 - **Maior previsibilidade e rapidez;**
 - **Sustentabilidade;**
 - **Propriedades especiais.**



Manufatura aditiva

- **Desafios para a expansão da impressão 3D na construção civil:**
 - Preço ainda não acessível;
 - Controle dos materiais;
 - Processos tradicionais;
 - Normatização;
 - Regulamentação.

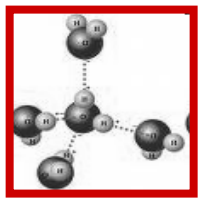


Manufatura aditiva

APIS COR

Mashable

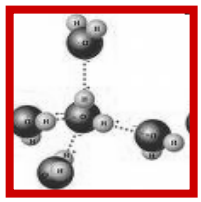




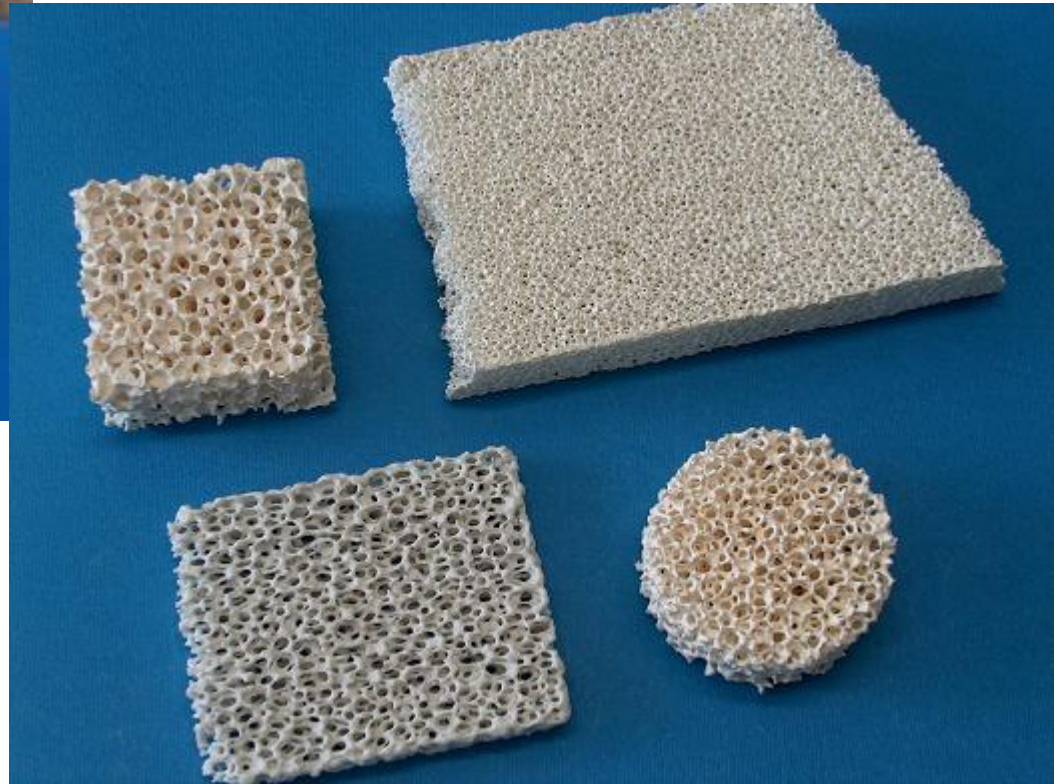
Comparação

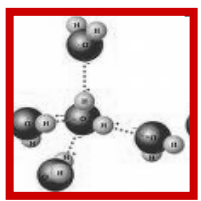
Método	Descrição	Vantagens	Limitações
Prensagem	Pó preparado é comprimido sobre um molde sob uma alta pressão	Apropriado para tamanho e complexidade limitados	Tamanhos grandes e complexos
Extrusão	Pó é misturado com o ligante para formar uma massa plástica e pressionada através da boquilha	Alta produtividade e baixo custo de manutenção	Seção transversal uniforme
Injeção	Mistura de pó e ligante é injetado num molde retirado após endurecimento	Produtos com formatos complexos, excelente controle dimensional	Dificuldade de eliminação do ligante
Colagem	Barbotina vertida em molde poroso assumindo seu formato após a absorção da água pelo molde	Peças grandes e complexas	Processo lento





Cerâmicas Porosas



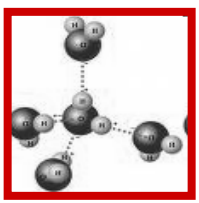


Cerâmicas Porosas

Conjunto único de propriedades

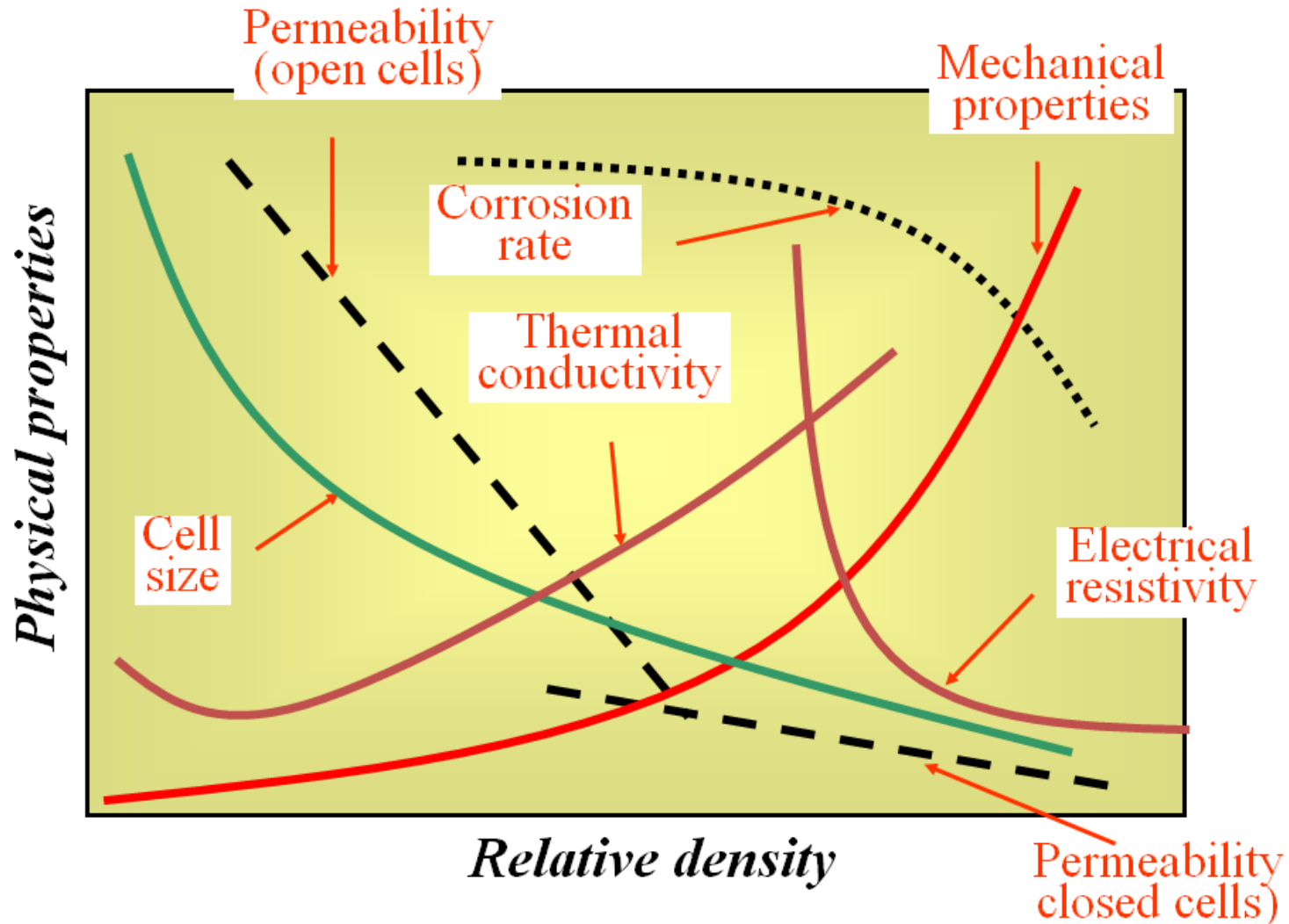
- **Baixa:** densidade, condutividade térmica, constante dielétrica, massa térmica.
- **Alta:** área superficial (geométrica), resistência ao choque térmico, permeabilidade (células conectadas), resistência específica, estabilidade dimensional, ...

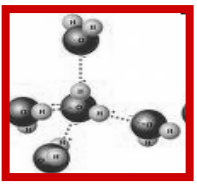




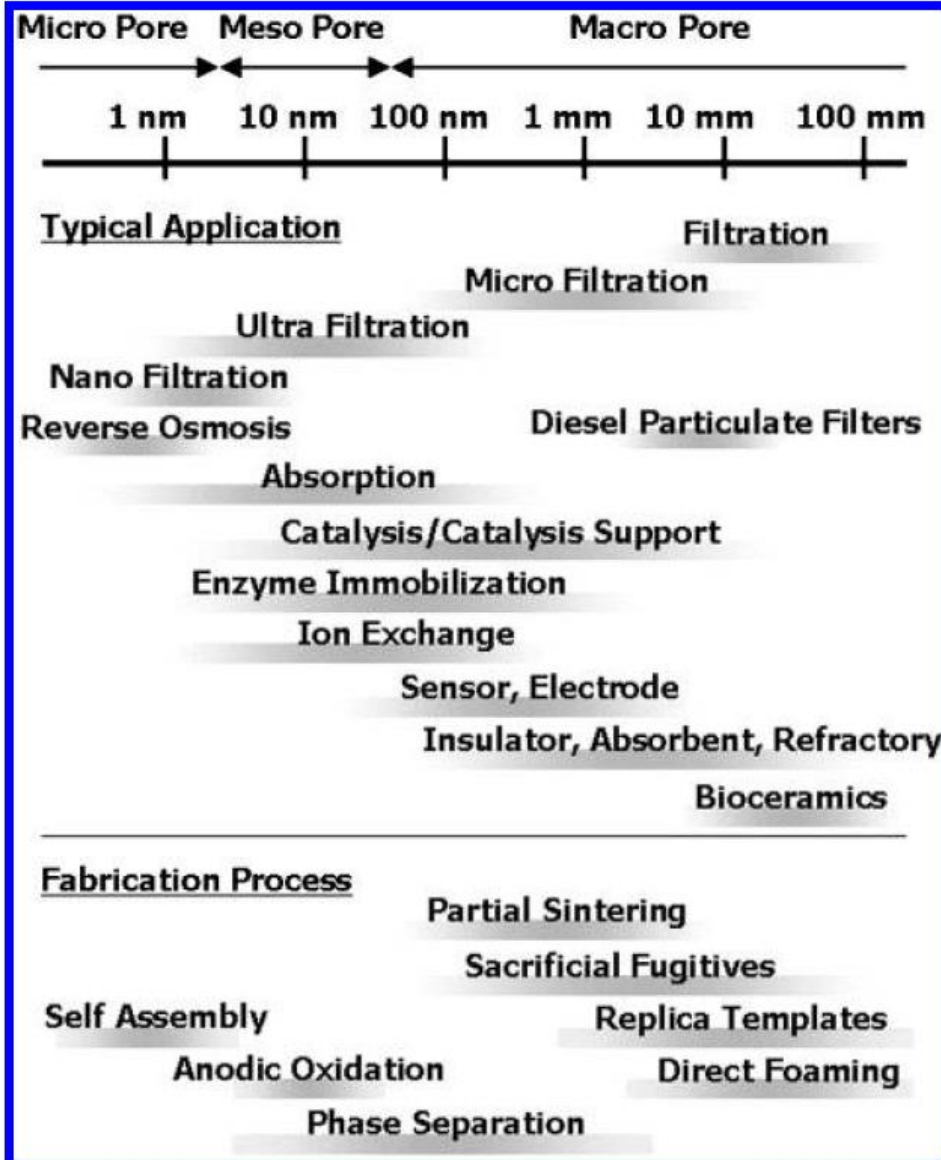
Cerâmicas Porosas

Variação contínua das propriedades

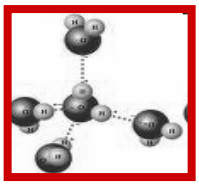




Cerâmicas Porosas

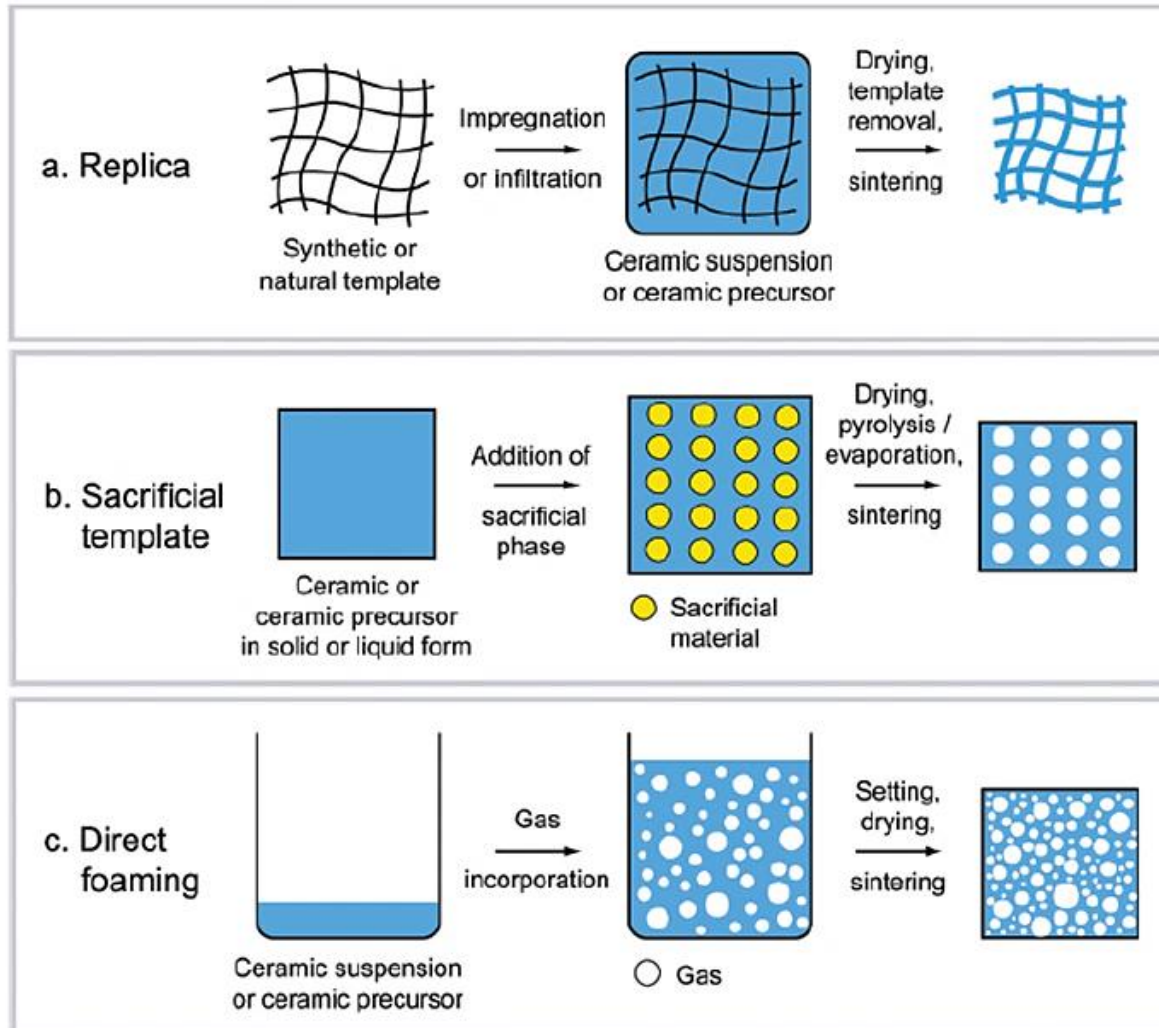


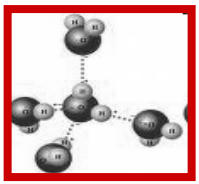
Classificação dos materiais porosos em função do tamanho de poros e aplicações típicas e processos de fabricação correspondentes.



Cerâmicas Porosas

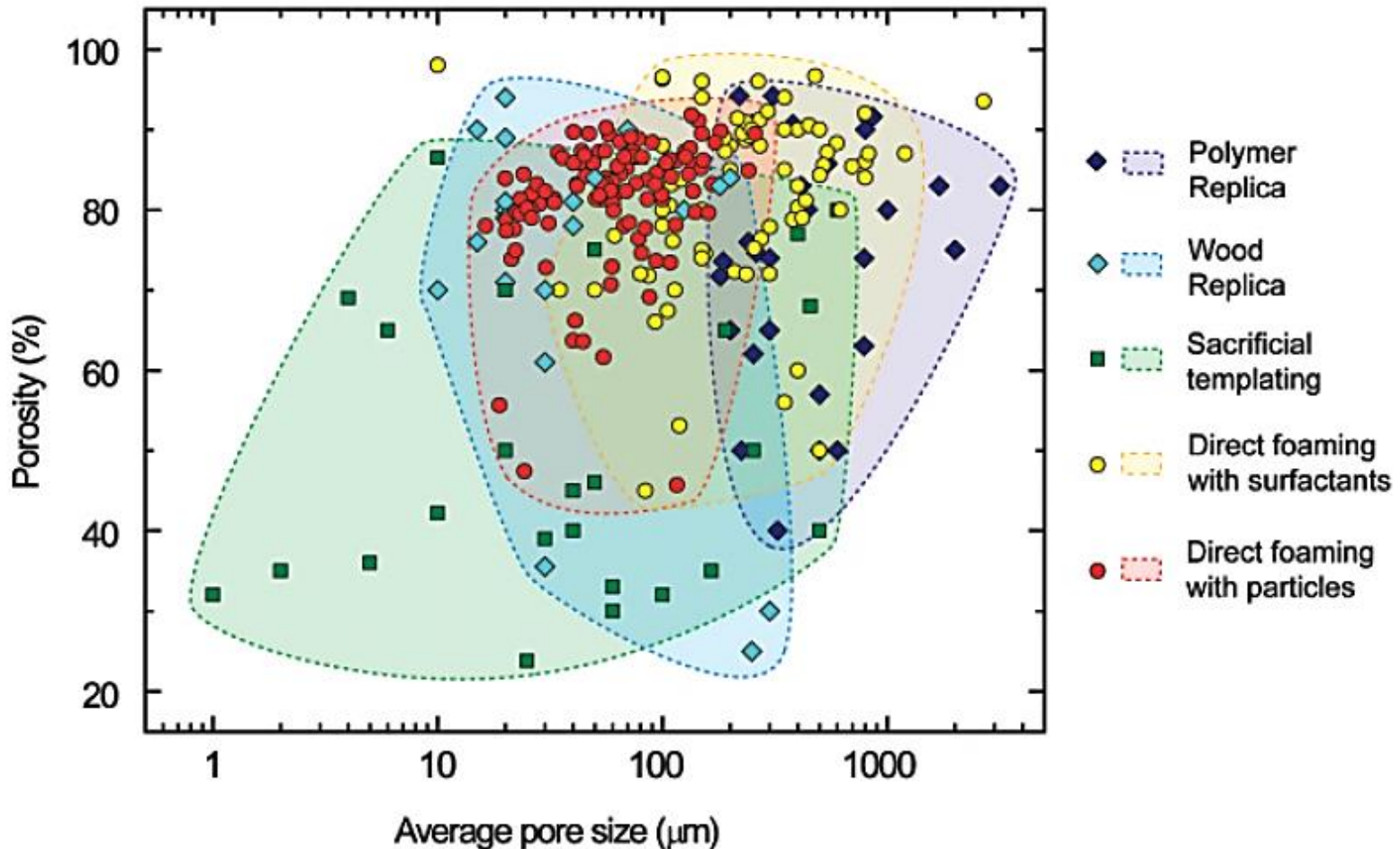
Métodos de fabricação de cerâmicas porosas

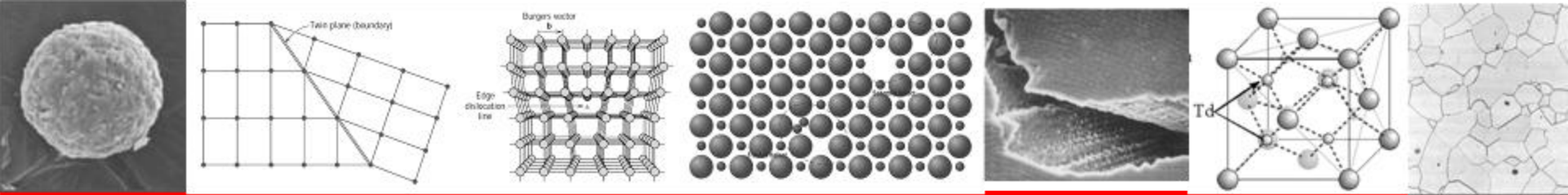




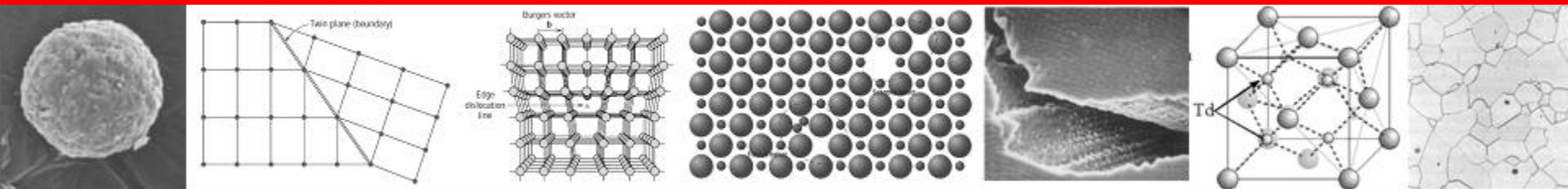
Cerâmicas Porosas

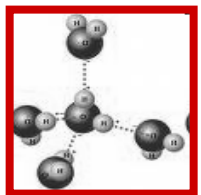
Tamanho e distribuição de tamanho de poros em função da rota de fabricação





Especificação Cerâmica





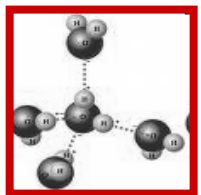
Introdução



PRODUÇÃO MUNDIAL

TOP MANUFACTURING COUNTRIES							
COUNTRY	2012 (Sq.m Mill.)	2013 (Sq.m Mill.)	2014 (Sq.m Mill.)	2015 (Sq.m Mill.)	2016 (Sq.m Mill.)	% on 2016 world production	% var. 16/15
1. CHINA	5,200	5,700	6,000	5,970	6,495	49.7%	8.8%
2. INDIA	691	750	825	850	955	7.3%	12.4%
3. BRAZIL	866	871	903	899	792	6.1%	-11.9%
4. SPAIN	404	420	425	440	492	3.8%	11.8%
5. VIETNAM	290	300	360	440	485	3.7%	10.2%
6. ITALY	367	363	382	395	416	3.2%	5.3%
7. INDONESIA	360	390	420	370	360	2.8%	-2.7%
8. IRAN	500	500	410	300	340	2.6%	13.3%
9. TURKEY	280	340	315	320	330	2.5%	3.1%
10. MEXICO	231	230	230	245	267	2.0%	9.0%
TOTAL	9,189	9,864	10,270	10,229	10,932	83.7%	6.9%
TOTAL WORLD	11,226	11,961	12,377	12,357	13,056	100.0%	5.7%

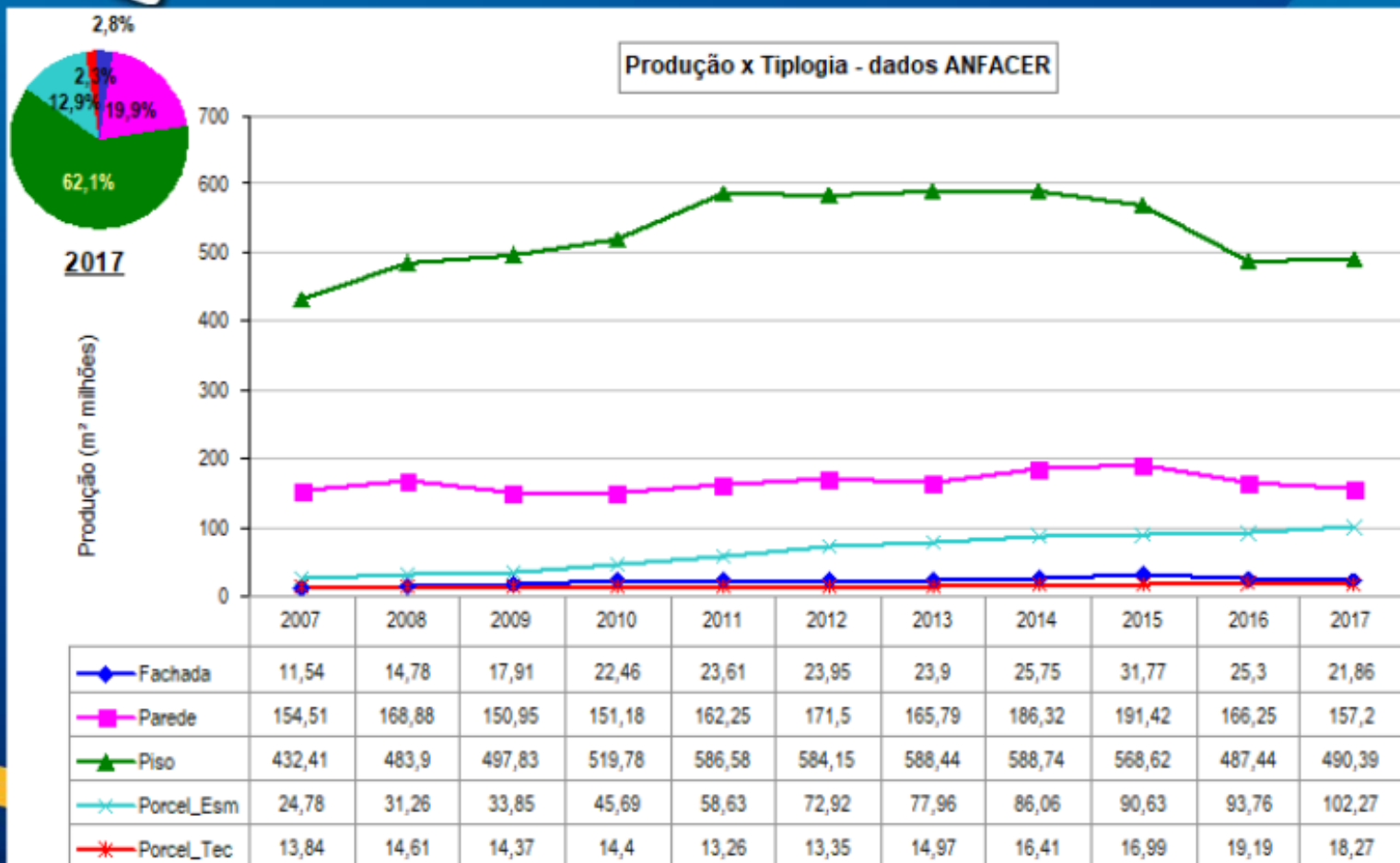
Source / Fonte: Acimac Research dept. "World production and consumption of ceramic tiles", 5th edition 2017

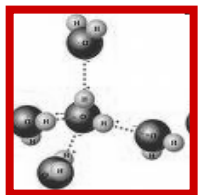


Introdução



PRODUÇÃO BRASILEIRA TIPOLOGIA

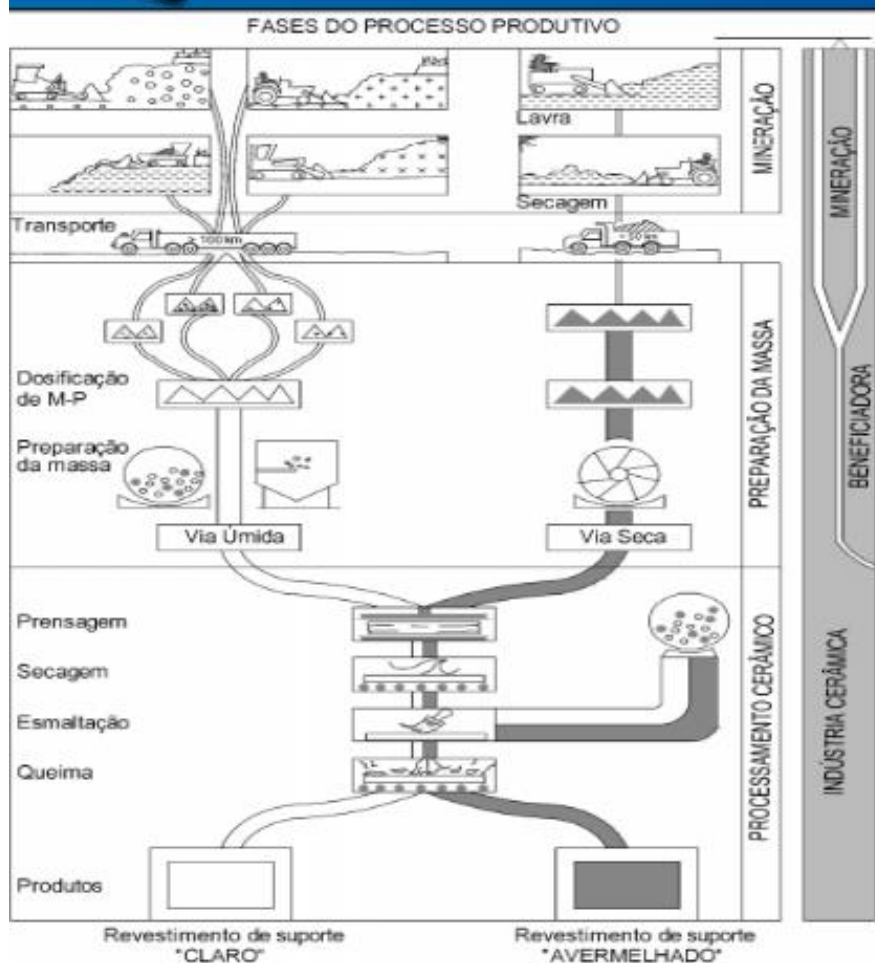




Introdução

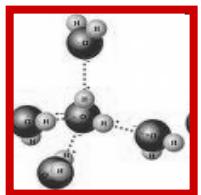


VIA SECA & VIA ÚMIDA



Etapas do processo produtivo:

- ✓ Exploração da jazida
- ✓ Armazenamento e estocagem das matérias-primas
- ✓ Preparação da massa
- ✓ Prensagem
- ✓ Secagem
- ✓ Esmaltação
- ✓ Queima
- ✓ Seleção e classificação
- ✓ Embalagem



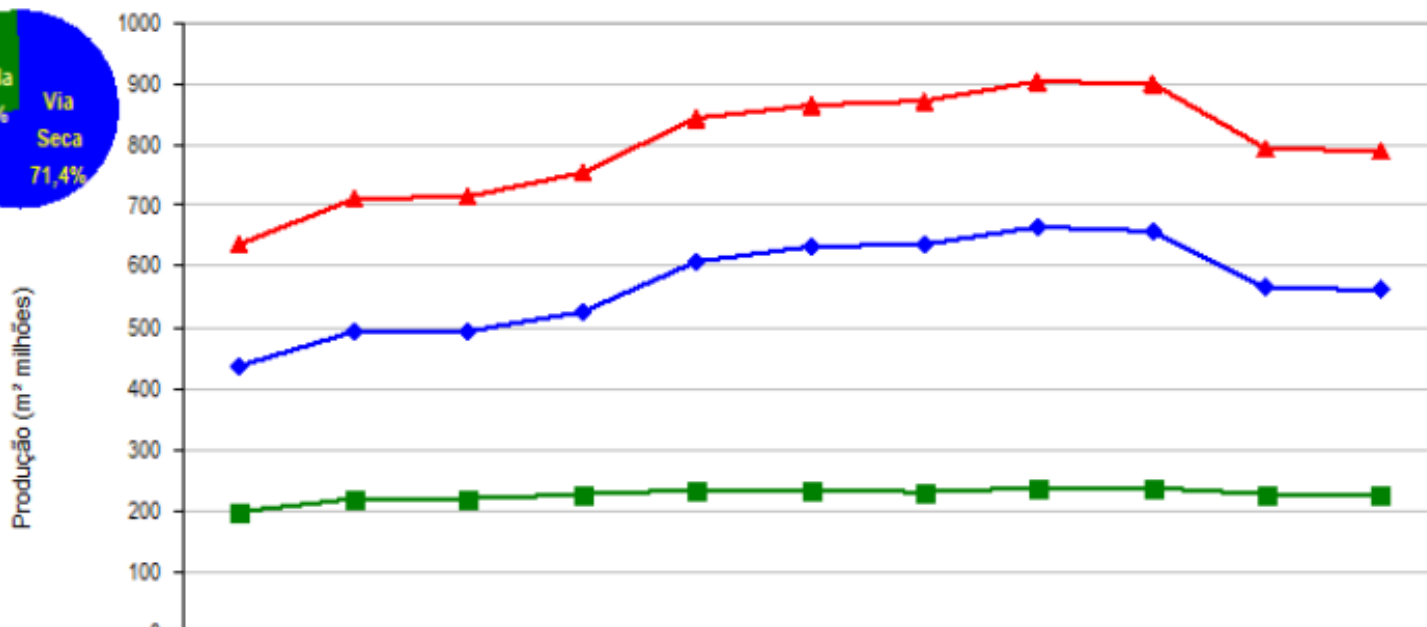
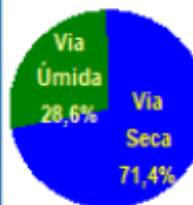
Introdução



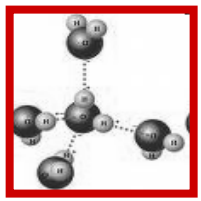
PRODUÇÃO BRASILEIRA

2017

Produção x Tipo Produtivo (Via) - dados ANFACER

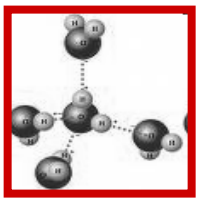


	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
—◆— Via Seca	437,1	494,5	495,4	525,2	609,7	632,4	638,3	663,8	659,8	564,3	563,9
—■— Via Úmida	200	219	219,5	228,3	234,6	233,5	232,8	239,4	239,6	227,7	226,1
—▲— TOTAL	637,1	713,4	714,9	753,5	844,3	865,9	871,1	903,3	899,4	791,9	790



Introdução

- **Dentre os diversos ambientes que utilizem revestimentos cerâmicos (residencial ou industrial; seco ou úmido; interno ou externo; piso, parede ou fachada), deve-se escolher o revestimento que melhor se adequa ao respectivo ambiente;**
 - absorção de água;
 - coeficiente de atrito;
 - resistência à abrasão;
 - resistência química;
 - resistência a manchas;
 - dentre outros.



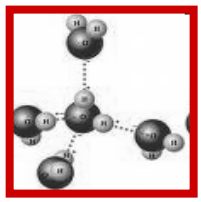
Normatização

O QUÊ SÃO AS NORMAS ?

São padrões, modelos ou regras, que fixam as características exigíveis para fabricação, marcação, declarações e catálogos, recebimento, inspeção, amostragem, ensaios opcionais complementares, métodos de ensaios e aceitação do produtos/serviços.

PARA O QUE SERVEM?

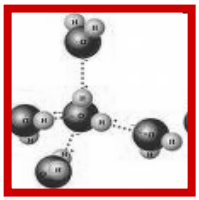
Servem para informar o consumidor sobre as características técnicas do produto adquirido, bem como, assegurar a qualidade do mesmo.



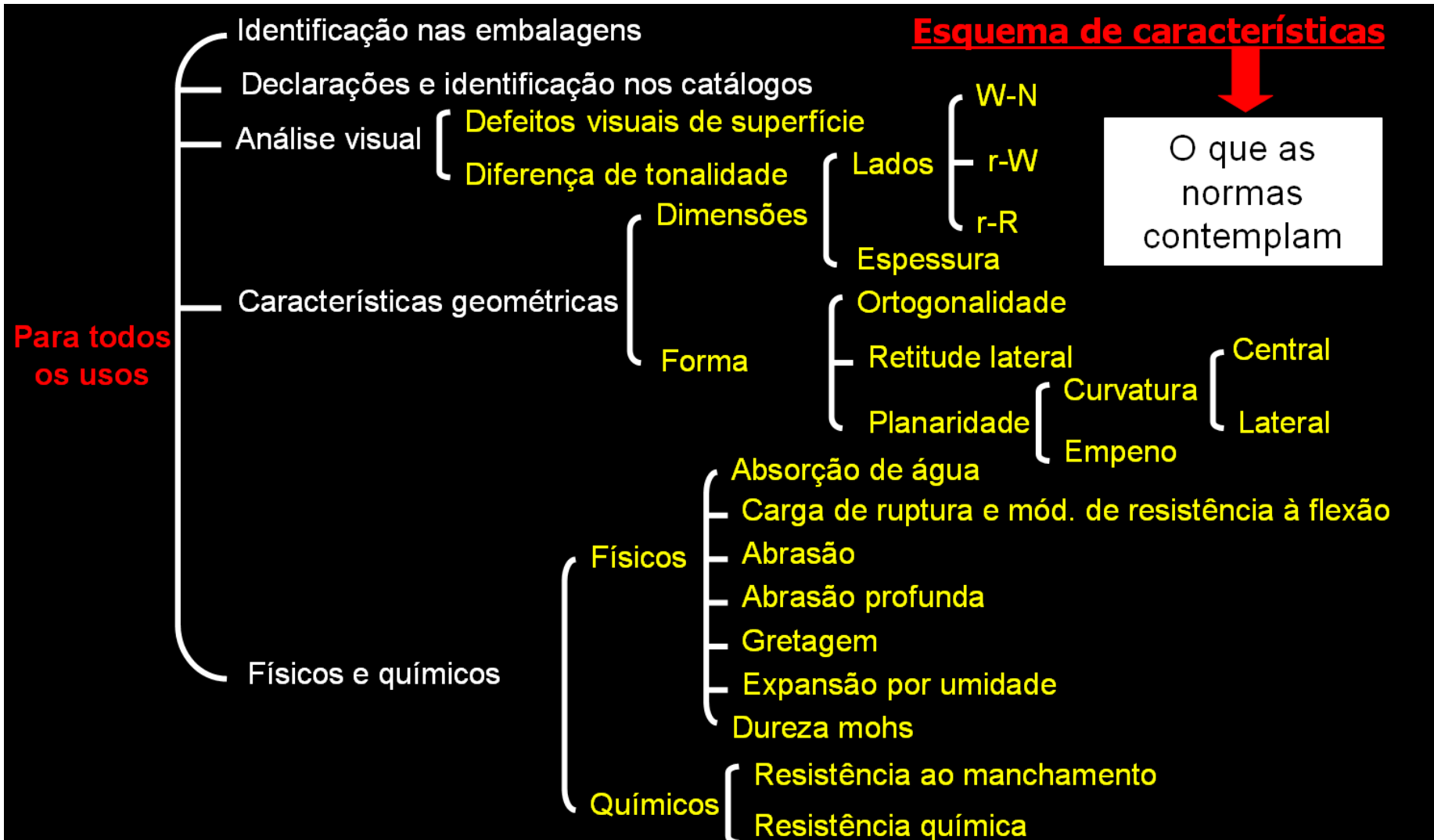
Normatização

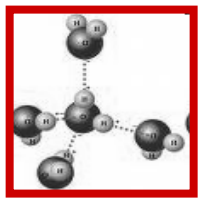
- **As Normas para Revestimentos Cerâmicos estão agrupadas em quatro conjuntos:**
 - **NBR 13816 - Terminologia;**
 - **NBR 13817 - Classificação;**
 - **NBR 13818 - Especificação e métodos de ensaio;**
 - **NBR 15463 - Porcelanato.**

Estas normas foram baseadas nas normas **ISO 10545-1 a 17** e **ISO 13006**, que contemplam os mesmos aspectos das Normas Brasileiras.



Normatização





Normatização

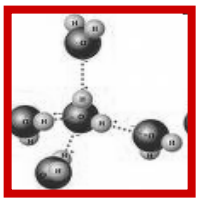
Para usos específicos

Físicos

- Resistência ao congelamento (usos em regiões frias)
- Dilatação térmica (usos em lareiras e assemelhados)
- Choque térmico (usos em lareiras e assemelhados)
- Atrito (piso)
- Resistência ao impacto (piso)

Químicos

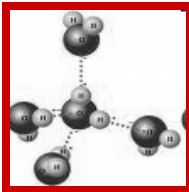
- Resistência química industrial (usos antiácidos) – Alta concentração
- Determinação da ausência de chumbo e cádmio (usos em contato com alimentos)



Classificação

- **Segundo o acabamento superficial**
 - Os esmaltados (GL - glazed);
 - Os não-esmaltados (UGL - unglazed).

- **Segundo o método de fabricação**
 - Extrudada ou marombada (código A);
 - Prensada (código B);
 - Outros processos (código C).



Norma

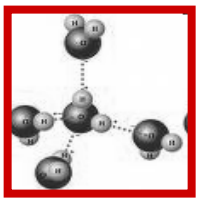
• Exemplo

BIIB:

B - prensada

IIb - semi-poroso

Características das placas cerâmicas para revestimento						
Grupo de absorção BIIB (prensado)			6% < Abs ≤ 10%			
Características geométricas e visuais		Unidades	Superfície S do produto cm ²			
			S ≤ 90	90 < S ≤ 190	190 < S ≤ 410	S > 410
Desvio de W em relação a N modulares		mm	2 - 5	2 - 5	2 - 5	2 - 5
Desvio de W em relação a N não modulares		mm	5	5	5	5
		%	±2	±2	±2	±2
Desvio de r em relação a W		%	±1,2	±1,0	±0,75	±0,6
Desvio de r em relação a R			±0,75	±0,5	±0,5	±0,5
Espessura: Desvio de e em relação a e _w			±10,0	±10,0	±5	±5
Retitude dos lados			±0,75	±0,5	±0,5	±0,5
Ortogonalidade			±1,0	±0,6	±0,6	±0,6
Curvatura central			±1,0	±0,5	±0,5	±0,5
Curvatura lateral			±1,0	±0,5	±0,5	±0,5
Empeno			±1,0	±0,5	±0,5	±0,5
Aspecto superficial			≥ 95			
Diferença de tonalidade			Por acordo			
Características físicas		Unidades	Limites			
Absorção de água		Média	6 < Abs ≤ 10			
		Individual (máx.)	11			
Módulo de resistência à flexão		Média	≥ 18			
		Individual (mín.)	16			
Carga de ruptura		e ≥ 7,5 mm	N			
		e < 7,5 mm	N			
Resistência à abrasão profunda (não esmaltados)		mm ³	≤ 540			
Expansão por umidade		mm/m	Por acordo			
Dilatação térmica linear			Por acordo			
Resistência ao choque térmico			Por acordo			
Resistência ao gretamento			Não gretar			
Coeficiente de atrito			A declarar			
Resistência à abrasão superficial (pisos esmaltados)			A declarar			
Dureza Mohs			Por acordo			
Resistência ao congelamento			Por acordo			
Resistência ao impacto			Por acordo			
Características químicas			Esmaltado	Não esmaltado		
Resistência ao manchamento			≥ classe 3	A declarar		
Cádmio e chumbo solúveis			Por acordo			
Resistência aos agentes químicos			Esmaltado	Não esmaltado		
Usos domésticos e para tratamento em piscinas			≥ classe GB	≥ classe UB		
Ácidos e álcalis de baixa concentração			A declarar	A declarar		
Ácidos e álcalis de alta concentração			A declarar	A declarar		



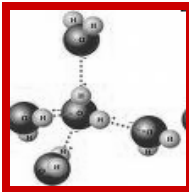
Normatização

ANEXOS (NBR 13818) – Letras (A, B, C...)

Organização

- **Aparelhagens**
- **Preparação dos corpos-de-prova**
- **Procedimentos**
- **Expressão dos resultados**
- **Relatórios de ensaio**

Seleção dos anexos mais relevantes



Norma

Exemplo

BIIB:

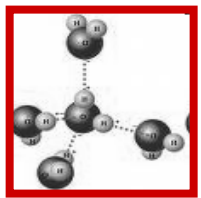
Características das placas cerâmicas para revestimento

Grupo de absorção BIIB (prensado)

6% < Abs ≤ 10%

Características geométricas e visuais		Unidades	Superfície S do produto cm ²			
			S ≤ 90	90 < S ≤ 190	190 < S ≤ 410	S > 410
Desvio de W em relação a N modulares		mm	2 - 5	2 - 5	2 - 5	2 - 5
Desvio de W em relação a N não modulares		mm	5	5	5	5
		%	±2	±2	±2	±2
Desvio de r em relação a W		%	±1,2	±1,0	±0,75	±0,6
Desvio de r em relação a R			±0,75	±0,5	±0,5	±0,5
Espessura: Desvio de e em relação a e _w			±10,0	±10,0	±5	±5
Retitude dos lados			±0,75	±0,5	±0,5	±0,5
Ortogonalidade			±1,0	±0,6	±0,6	±0,6
Curvatura central			±1,0	±0,5	±0,5	±0,5
Curvatura lateral			±1,0	±0,5	±0,5	±0,5
Empeno			±1,0	±0,5	±0,5	±0,5
Aspecto superficial			≥ 95			
Diferença de tonalidade			Por acordo			
Características físicas		Unidades	Limites			
Absorção de água	Média	%	6 < Abs ≤ 10			
	Individual (máx.)	%	11			
Módulo de resistência à flexão	Média	MPa	≥ 18			
	Individual (mín.)	MPa	16			
Carga de ruptura	e ≥ 7,5 mm	N	≥ 800			
	e < 7,5 mm	N	≥ 500			
Resistência à abrasão profunda (não esmaltados)		mm ³	≤ 540			
Expansão por umidade		mm/m	Por acordo			
Dilatação térmica linear			Por acordo			
Resistência ao choque térmico			Por acordo			
Resistência ao gretamento			Não gretar			
Coeficiente de atrito			A declarar			
Resistência à abrasão superficial (pisos esmaltados)			A declarar			
Dureza Mohs			Por acordo			
Resistência ao congelamento			Por acordo			
Resistência ao impacto			Por acordo			
Características químicas			Esmaltado	Não esmaltado		
Resistência ao manchamento			≥ classe 3	A declarar		
Cádmio e chumbo solúveis			Por acordo			
Resistência aos agentes químicos			Esmaltado	Não esmaltado		
Usos domésticos e para tratamento em piscinas			≥ classe GB	≥ classe UB		
Ácidos e álcalis de baixa concentração			A declarar	A declarar		
Ácidos e álcalis de alta concentração			A declarar	A declarar		

Anexo S

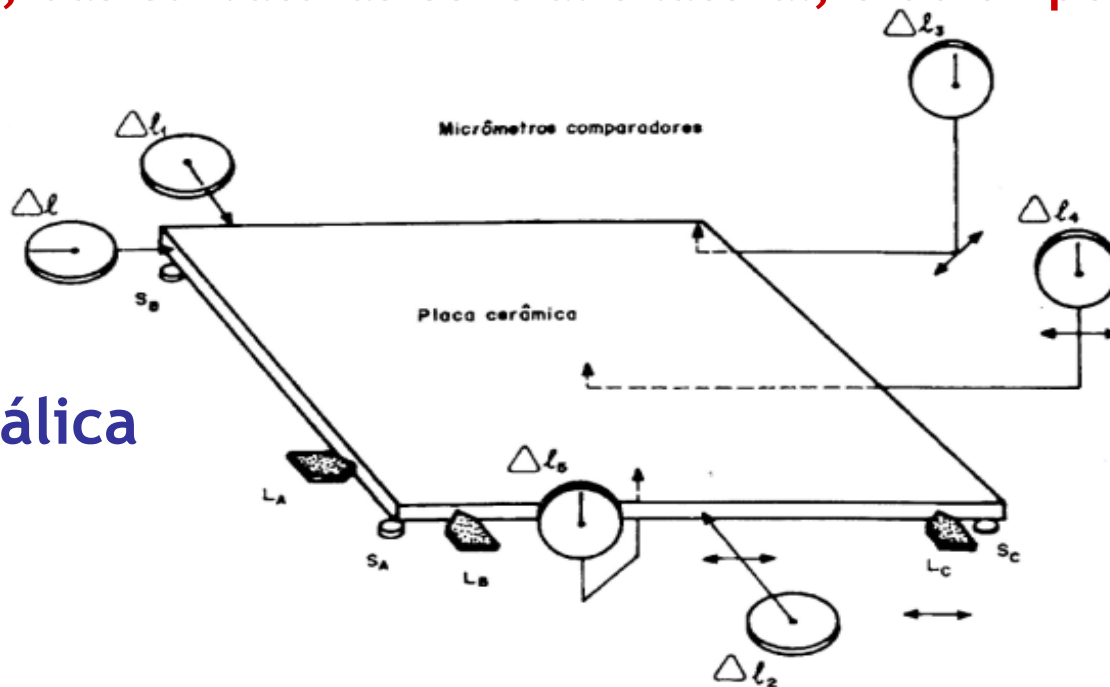


Normatização

ANEXO S (NBR 13818) - Determinação das dimensões, da retitude e ortogonalidade dos lados, das curvaturas central e lateral, e do empeno

Aparelhagem

- Micrômetros
- Placa-padrão metálica



Localização dos micrômetros comparadores e sua relação com a característica medida

Δl - Variação dimensional dos lados

Δl_1 - Ortogonalidade dos lados

Δl_2 - Empeno

Δl_3 - Curvatura central

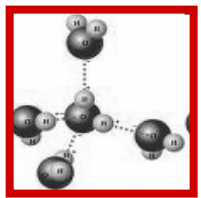
Δl_4 - Curvatura lateral

Δl_5 - Retitude dos lados

S_A, S_B, S_C - Apolos

L_A, L_B, L_C - Encostos

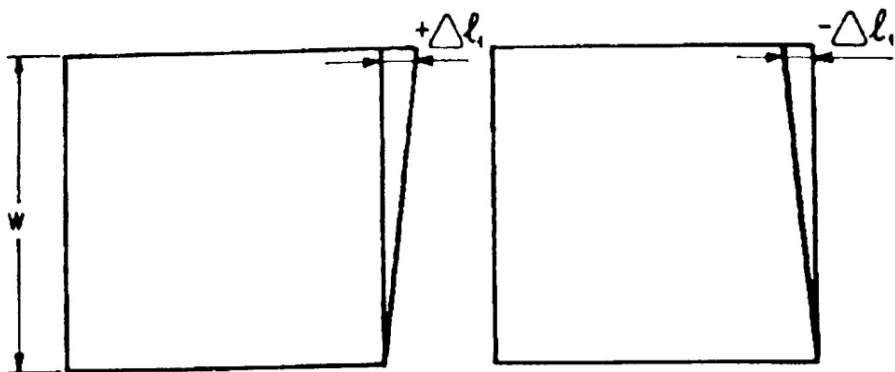
Variação dimensional



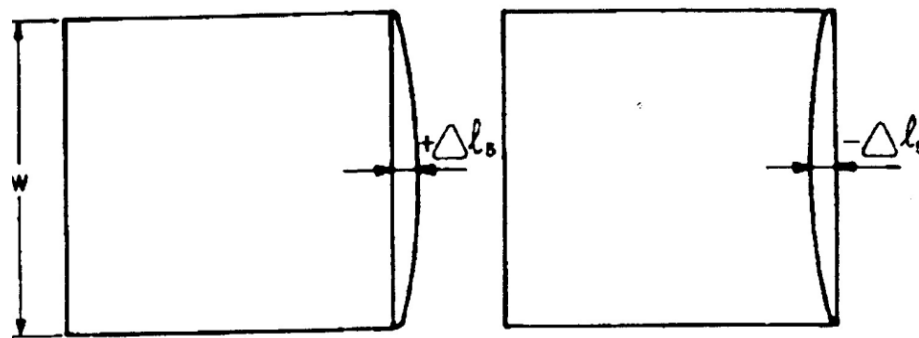
Normatização

ANEXO S (NBR 13818) – Determinação das dimensões, da retitude e ortogonalidade dos lados, das curvaturas central e lateral, e do empeno

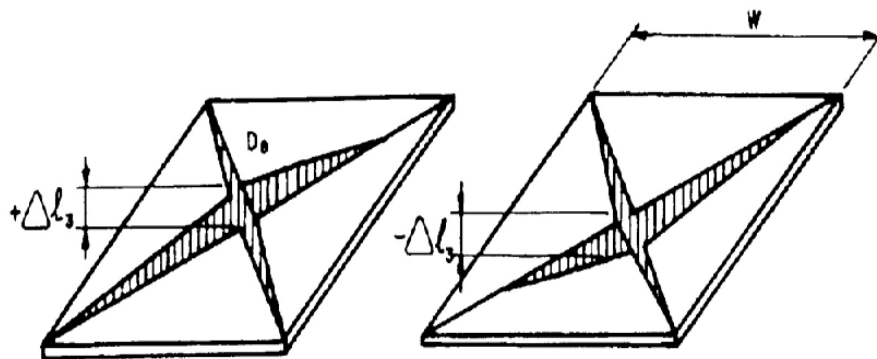
Medidas



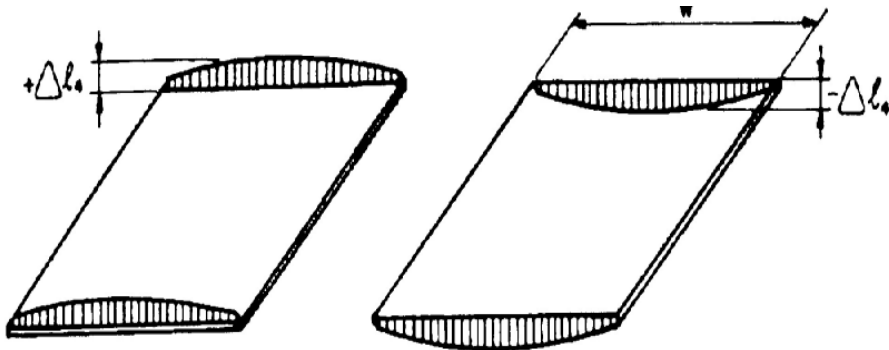
a) Ortogonalidade dos lados



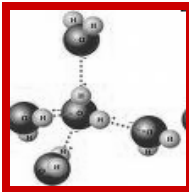
b) Retitude dos lados



c) Curvatura central



d) Curvatura lateral



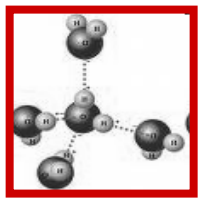
Norma

• Exemplo

BIIB:

Características das placas cerâmicas para revestimento					
Grupo de absorção BIIB (prensado)			6% < Abs ≤ 10%		
Características geométricas e visuais	Unidades	Superfície S do produto cm ²			
		S ≤ 90	90 < S ≤ 190	190 < S ≤ 410	S > 410
Desvio de W em relação a N modulares	mm	2 - 5	2 - 5	2 - 5	2 - 5
Desvio de W em relação a N não modulares	mm	5	5	5	5
	%	±2	±2	±2	±2
Desvio de r em relação a W	%	±1,2	±1,0	±0,75	±0,6
Desvio de r em relação a R		±0,75	±0,5	±0,5	±0,5
Espessura: Desvio de e em relação a e _w		±10,0	±10,0	±5	±5
Retitude dos lados		±0,75	±0,5	±0,5	±0,5
Ortogonalidade		±1,0	±0,6	±0,6	±0,6
Curvatura central		±1,0	±0,5	±0,5	±0,5
Curvatura lateral		±1,0	±0,5	±0,5	±0,5
Empeno		±1,0	±0,5	±0,5	±0,5
Aspecto superficial		≥ 95			
Diferença de tonalidade		Por acordo			
Características físicas		Unidades	Limites		
Absorção de água	Média	%	6 < Abs ≤ 10		
	Individual (máx.)	%	11		
Módulo de resistência à flexão	Média	MPa	≥ 18		
	Individual (mín.)	MPa	16		
Carga de ruptura	e ≥ 7,5 mm	N	≥ 800		
	e < 7,5 mm	N	≥ 500		
Resistência à abrasão profunda (não esmaltados)		mm ³	≤ 540		
Expansão por umidade		mm/m	Por acordo		
Dilatação térmica linear			Por acordo		
Resistência ao choque térmico			Por acordo		
Resistência ao gretamento			Não gretar		
Coeficiente de atrito			A declarar		
Resistência à abrasão superficial (pisos esmaltados)			A declarar		
Dureza Mohs			Por acordo		
Resistência ao congelamento			Por acordo		
Resistência ao impacto			Por acordo		
Características químicas			Esmaltado	Não esmaltado	
Resistência ao manchamento			≥ classe 3	A declarar	
Cádmio e chumbo solúveis			Por acordo		
Resistência aos agentes químicos			Esmaltado	Não esmaltado	
Usos domésticos e para tratamento em piscinas			≥ classe GB	≥ classe UB	
Ácidos e álcalis de baixa concentração			A declarar	A declarar	

Anexo A



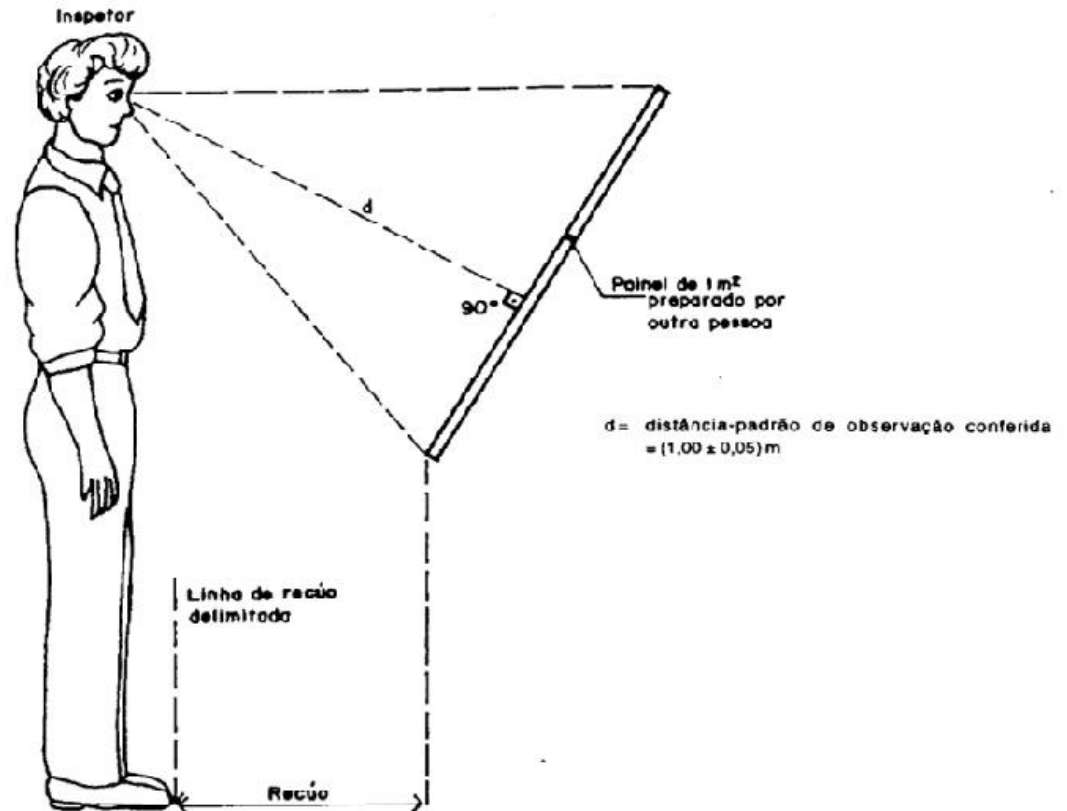
Normatização

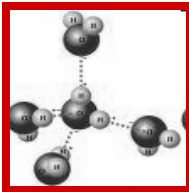
ANEXO A (NBR 13818) – Análise visual do aspecto superficial

Aparelhagem

- Lâmpada com temperatura de cor de 6000 K a 6500 K
- Luxímetro (equip. que mede a intensidade da luz)
- Cavalete para apoio das placas, com capacidade para o painel

Identificação da presença de defeitos





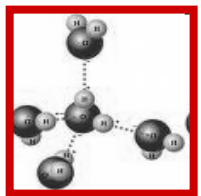
Norma

• Exemplo

BIIB:

Características das placas cerâmicas para revestimento					
Grupo de absorção BIIB (prensado)			6% < Abs ≤ 10%		
Características geométricas e visuais	Unidades	Superfície S do produto cm ²			
		S ≤ 90	90 < S ≤ 190	190 < S ≤ 410	S > 410
Desvio de W em relação a N modulares	mm	2 - 5	2 - 5	2 - 5	2 - 5
Desvio de W em relação a N não modulares	mm	5	5	5	5
	%	±2	±2	±2	±2
Desvio de r em relação a W	%	±1,2	±1,0	±0,75	±0,6
Desvio de r em relação a R		±0,75	±0,5	±0,5	±0,5
Espessura: Desvio de e em relação a e _w		±10,0	±10,0	±5	±5
Retitude dos lados		±0,75	±0,5	±0,5	±0,5
Ortogonalidade		±1,0	±0,6	±0,6	±0,6
Curvatura central		±1,0	±0,5	±0,5	±0,5
Curvatura lateral		±1,0	±0,5	±0,5	±0,5
Empeno		±1,0	±0,5	±0,5	±0,5
Aspecto superficial		≥ 95			
Diferença de tonalidade		Por acordo			
Características físicas		Unidades	Limites		
Absorção de água	Média	%	6 < Abs ≤ 10		
	Individual (máx.)	%	11		
Módulo de resistência à flexão	Média	MPa	≥ 18		
	Individual (mín.)	MPa	16		
Carga de ruptura	e ≥ 7,5 mm	N	≥ 800		
	e < 7,5 mm	N	≥ 500		
Resistência à abrasão profunda (não esmaltados)	mm ³	≤ 540			
Expansão por umidade	mm/m	Por acordo			
Dilatação térmica linear		Por acordo			
Resistência ao choque térmico		Por acordo			
Resistência ao gretamento		Não gretar			
Coeficiente de atrito		A declarar			
Resistência à abrasão superficial (pisos esmaltados)		A declarar			
Dureza Mohs		Por acordo			
Resistência ao congelamento		Por acordo			
Resistência ao impacto		Por acordo			
Características químicas		Esmaltado	Não esmaltado		
Resistência ao manchamento		≥ classe 3	A declarar		
Cádmio e chumbo solúveis		Por acordo			
Resistência aos agentes químicos		Esmaltado	Não esmaltado		
Usos domésticos e para tratamento em piscinas		≥ classe GB	≥ classe UB		
Ácidos e álcalis de baixa concentração		A declarar	A declarar		
Ácidos e álcalis de alta concentração		A declarar	A declarar		

Anexo B

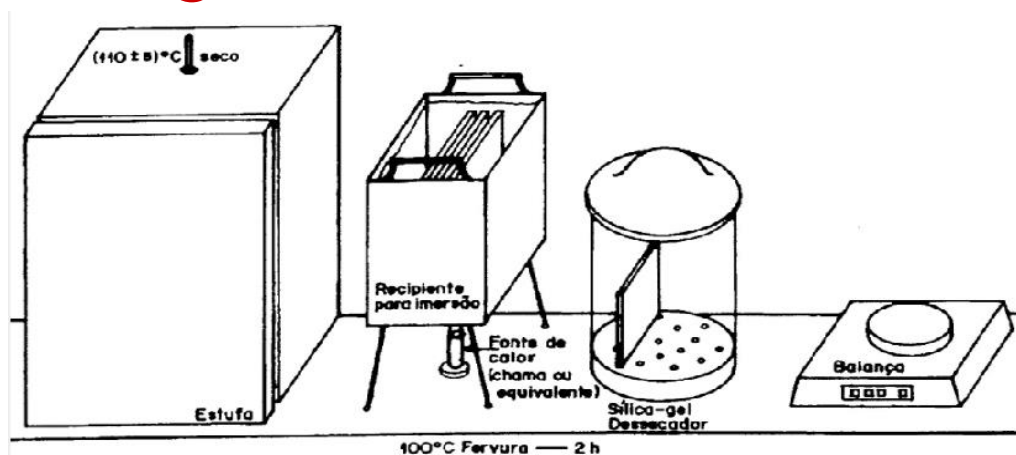


Normatização

ANEXO B (NBR 13818) - Determinação da absorção de água

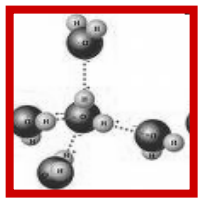
Aparelhagem

- Estufa
- Dessecador
- Recipiente para imersão
- Balança



Procedimento

- Secar / Massa inicial
- Ferver durante 2 horas
- Temp. ambiente
- Massa final
- Cálculo da % absorção



Classificação

- **Classificação por Absorção de Água:**

Tipo de Revestimento	Absorção de Água (%)	Grupo B (prensados)
Grês Porcelanato	$\leq 0,5$	Ia
Grês	0,5 - 3	Ib
Semi-Grês	3 - 6	IIa
Semi-Poroso	6 - 10	IIb
Poroso	> 10	III

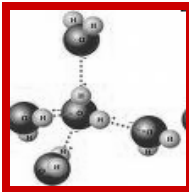
É importante pois interfere em aspectos como o assentamento da peça e também é relacionada a outras características como resistência mecânica.



Classificação

- Nomenclatura x Grupo de absorção x Carga de ruptura.

Nomenclatura Usual	Grupo Iso	Absorção de Água	Carga de Ruptura (N)
Porcelanato	Bla	$a < 0,5\%$	≥ 1300
Grés	BIIb	$0,5 < a < 3\%$	≥ 1100
Semi - Grés	BIIa	$3 < a < 6\%$	≥ 1000
Semiporoso	BIIb	$6 < a < 10\%$	≥ 800
Poroso	BIII	$a > 10\%$	Piso: ≥ 600 Parede: 200 a 400
Azulejo	BIII	$a > 10\%$	Parede: 200 a 400
Azulejo Fino	BIII	$a > 10\%$	Parede: 200 a 400



Norma

• Exemplo

BIIB:

Características das placas cerâmicas para revestimento

Grupo de absorção BIIB (prensado)

6% < Abs ≤ 10%

Características geométricas e visuais

Unidades

Superfície S do produto cm²

	Unidades	Superfície S do produto cm ²			
		S ≤ 90	90 < S ≤ 190	190 < S ≤ 410	S > 410
Desvio de W em relação a N modulares	mm	2 - 5	2 - 5	2 - 5	2 - 5
Desvio de W em relação a N não modulares	mm	5	5	5	5
	%	±2	±2	±2	±2
Desvio de r em relação a W	%	±1,2	±1,0	±0,75	±0,6
Desvio de r em relação a R		±0,75	±0,5	±0,5	±0,5
Espessura: Desvio de e em relação a e _w		±10,0	±10,0	±5	±5
Retitude dos lados		±0,75	±0,5	±0,5	±0,5
Ortogonalidade		±1,0	±0,6	±0,6	±0,6
Curvatura central		±1,0	±0,5	±0,5	±0,5
Curvatura lateral		±1,0	±0,5	±0,5	±0,5
Empeno		±1,0	±0,5	±0,5	±0,5
Aspecto superficial		≥ 95			
Diferença de tonalidade		Por acordo			

Anexo C

Características físicas

Unidades

Limites

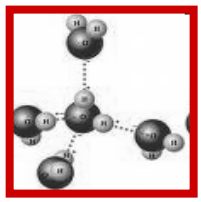
Absorção de água	Média	%	6 < Abs ≤ 10	
	Individual (máx.)	%	11	
Módulo de resistência à flexão	Média	MPa	≥ 18	
	Individual (mín.)	MPa	16	
Carga de ruptura	e ≥ 7,5 mm	N	≥ 800	
	e < 7,5 mm	N	≥ 500	
Resistência à abrasão profunda (não esmaltados)		mm ³	≤ 540	
Expansão por umidade		mm/m	Por acordo	
Dilatação térmica linear			Por acordo	
Resistência ao choque térmico			Por acordo	
Resistência ao gretamento			Não gretar	
Coefficiente de atrito			A declarar	
Resistência à abrasão superficial (pisos esmaltados)			A declarar	
Dureza Mohs			Por acordo	
Resistência ao congelamento			Por acordo	
Resistência ao impacto			Por acordo	

Características químicas

Esmaltado

Não esmaltado

Resistência ao manchamento	≥ classe 3	A declarar
Cádmio e chumbo solúveis	Por acordo	
Resistência aos agentes químicos	Esmaltado	Não esmaltado
Usos domésticos e para tratamento em piscinas	≥ classe GB	≥ classe UB
Ácidos e álcalis de baixa concentração	A declarar	A declarar
Ácidos e álcalis de alta concentração	A declarar	A declarar

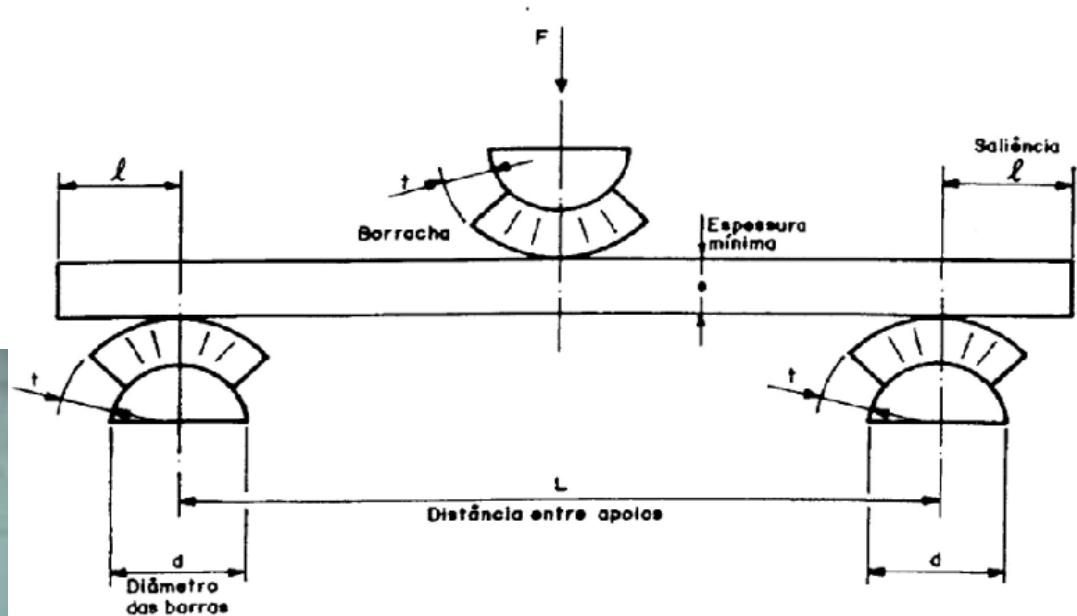


Normatização

ANEXO C (NBR 13818) - Determinação da carga de ruptura e módulo de resistência à flexão

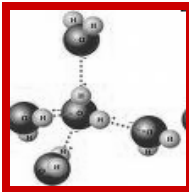
Aparelhagem

- Estufa
- Flexímetro



Força aplicada

Carga de ruptura e MRF



Norma

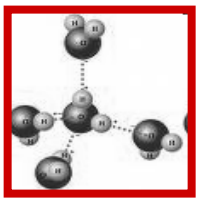
• Exemplo

BIIB:

Características das placas cerâmicas para revestimento					
Grupo de absorção BIIB (prensado)			6% < Abs ≤ 10%		
Características geométricas e visuais	Unidades	Superfície S do produto cm ²			
		S ≤ 90	90 < S ≤ 190	190 < S ≤ 410	S > 410
Desvio de W em relação a N modulares	mm	2 - 5	2 - 5	2 - 5	2 - 5
Desvio de W em relação a N não modulares	mm	5	5	5	5
	%	±2	±2	±2	±2
Desvio de r em relação a W	% rowspan="10">	±1,2	±1,0	±0,75	±0,6
Desvio de r em relação a R		±0,75	±0,5	±0,5	±0,5
Espessura: Desvio de e em relação a e _w		±10,0	±10,0	±5	±5
Retitude dos lados		±0,75	±0,5	±0,5	±0,5
Ortogonalidade		±1,0	±0,6	±0,6	±0,6
Curvatura central		±1,0	±0,5	±0,5	±0,5
Curvatura lateral		±1,0	±0,5	±0,5	±0,5
Empeno		±1,0	±0,5	±0,5	±0,5
Aspecto superficial		≥ 95			
Diferença de tonalidade		Por acordo			
Características físicas		Unidades	Limites		
Absorção de água	Média	%	6 < Abs ≤ 10		
	Individual (máx.)	%	11		
Módulo de resistência à flexão	Média	MPa	≥ 18		
	Individual (mín.)	MPa	16		
Carga de ruptura	e ≥ 7,5 mm	N	≥ 800		
	e < 7,5 mm	N	≥ 500		
Resistência à abrasão profunda (não esmaltada)		mm ³	≤ 540		
Expansão por umidade		mm	Por acordo		
Dilatação térmica linear			Por acordo		
Resistência ao choque térmico			Por acordo		
Resistência ao gretamento			Não gretar		
Coeficiente de atrito			A declarar		
Resistência à abrasão superficial (pisos esmaltados)			A declarar		
Dureza Mohs			Por acordo		
Resistência ao congelamento			Por acordo		
Resistência ao impacto			Por acordo		
Características químicas			Esmaltado	Não esmaltado	
Resistência ao manchamento			≥ classe 3	A declarar	
Cádmio e chumbo solúveis			Por acordo		
Resistência aos agentes químicos			Esmaltado	Não esmaltado	
Usos domésticos e para tratamento em piscinas			≥ classe GB	≥ classe UB	
Ácidos e álcalis de baixa concentração			A declarar	A declarar	
Ácidos e álcalis de alta concentração			A declarar	A declarar	

Anexo D





Normatização

ANEXO D (NBR 13818) - Determinação da resistência à abrasão superficial

Abrasímetro

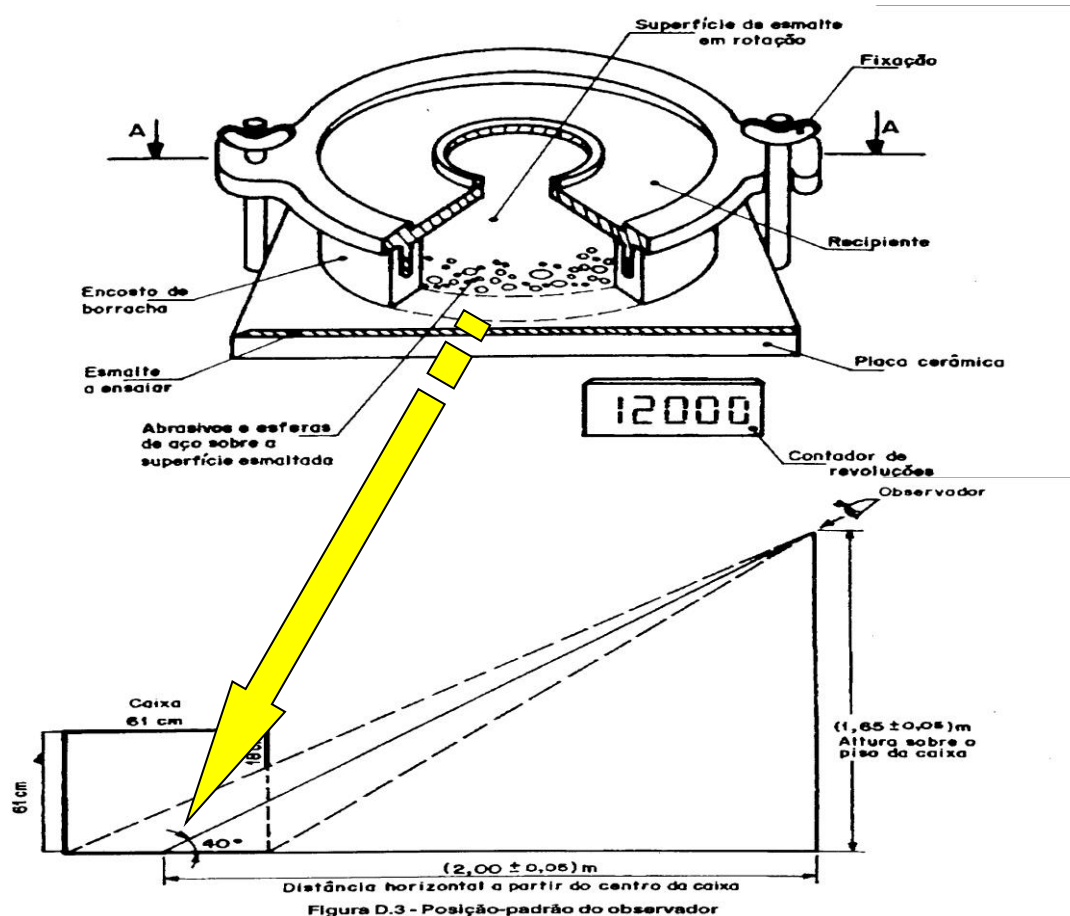


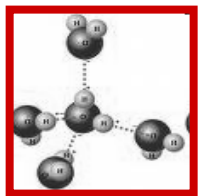
Figura D.3 - Posição-padrão do observador

Dimensões em milímetros

Tabela D.1 - Estágios de abrasão

Estágio de abrasão Número de ciclos para visualização	Classe de abrasão
100	0
150	1
600	2
750, 1 500	3
2 100, 6 000, 12 000	4
> 12 000	5 ¹⁾

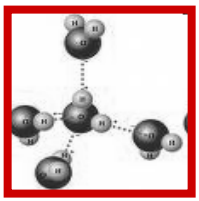
¹⁾ Caso não haja desgaste visual a 12 000 ciclos, bem como caso as manchas não possam ser removidas por qualquer um dos procedimentos listados no anexo G, os pisos devem ser classificados como grupo 4. A classe PEI 5 abrange simultaneamente a resistência à abrasão a 12 000 ciclos e a resistência ao manchamento após a abrasão.



Classificação

- **Abrasão: esmaltados**
 - Escala PEI (Porcelain Enamel Institute)

PEI	Resist. à abrasão	USO
Grupo 0 PEI-0	Baixíssima	não indicado para pisos
Grupo 1 PEI-1	Baixa	ambientes onde se caminha com pés descalços ou chinelos
Grupo 2 PEI-2	Média	ambientes residenciais sem portas para ambientes externos
Grupo 3 PEI-3	Média Alta	ambientes residenciais com portas para ambientes externos
Grupo 4 PEI-4	Alta	ambientes residenciais com tráfego intenso
Grupo 5 PEI-5.	Altíssima e sem encardido	ambientes comerciais, públicos e industriais com alto tráfego



Classificação

- **Abrasão: não-esmaltados**

- **ensaio por abrasão profunda (NBR 13818-E)**

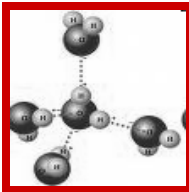
- ⇒ igualdade entre o corpo e a superfície cerâmica;

- ⇒ utilização em alto tráfego;

- ⇒ inversamente proporcional à absorção de água.

Produtos extrudados		Produtos Prensados	
AI	Menor ou igual a 275	Bla	Menor ou igual a 175
		BIIb	Menor ou igual a 175
Alla	Menor ou igual a 393	BIIa	Menor ou igual a 345
Allb	Menor ou igual a 649	BIIb	Menor ou igual a 540
Alll	Menor ou igual a 2365	BIII	-





Norma

• Exemplo

BIIB:

Características das placas cerâmicas para revestimento						
Grupo de absorção BIIB (prensado)			6% < Abs ≤ 10%			
Características geométricas e visuais		Unidades	Superfície S do produto cm ²			
			S ≤ 90	90 < S ≤ 190	190 < S ≤ 410	S > 410
Desvio de W em relação a N modulares		mm	2 - 5	2 - 5	2 - 5	2 - 5
Desvio de W em relação a N não modulares		mm	5	5	5	5
		%	±2	±2	±2	±2
Desvio de r em relação a W		%	±1,2	±1,0	±0,75	±0,6
Desvio de r em relação a R			±0,75	±0,5	±0,5	±0,5
Espessura: Desvio de e em relação a e _w			±10,0	±10,0	±5	±5
Retitude dos lados			±0,75	±0,5	±0,5	±0,5
Ortogonalidade			±1,0	±0,6	±0,6	±0,6
Curvatura central			±1,0	±0,5	±0,5	±0,5
Curvatura lateral			±1,0	±0,5	±0,5	±0,5
Empeno			±1,0	±0,5	±0,5	±0,5
Aspecto superficial			≥ 95			
Diferença de tonalidade			Por acordo			
Características físicas		Unidades	Limites			
Absorção de água	Média	%	6 < Abs ≤ 10			
	Individual (máx.)	%	11			
Módulo de resistência à flexão	Média	MPa	≥ 18			
	Individual (mín.)	MPa	16			
Carga de ruptura	e ≥ 7,5 mm	N	≥ 800			
	e < 7,5 mm	N	≥ 500			
Resistência à abrasão profunda (não esmaltados)		mm ³	≤ 540			
Expansão por umidade		mm/m	Por acordo			
Dilatação térmica linear			Por acordo			
Resistência ao choque térmico			Por acordo			
Resistência ao gretamento			Não gretar			
Coeficiente de atrito			A declarar			
Resistência à abrasão superficial (pisos esmaltados)			A declarar			
Dureza Mohs			Por acordo			
Resistência ao congelamento			Por acordo			
Resistência ao impacto			Por acordo			
Características químicas			Esmaltado	Não esmaltado		
Resistência ao manchamento			≥ classe 3	A declarar		
Cádmio e chumbo solúveis			Por acordo			
Resistência aos agentes químicos			Esmaltado	Não esmaltado		
Usos domésticos e para tratamento em piscinas			≥ classe GB	≥ classe UB		
Ácidos e álcalis de baixa concentração			A declarar	A declarar		
Ácidos e álcalis de alta concentração			A declarar	A declarar		

Anexo G



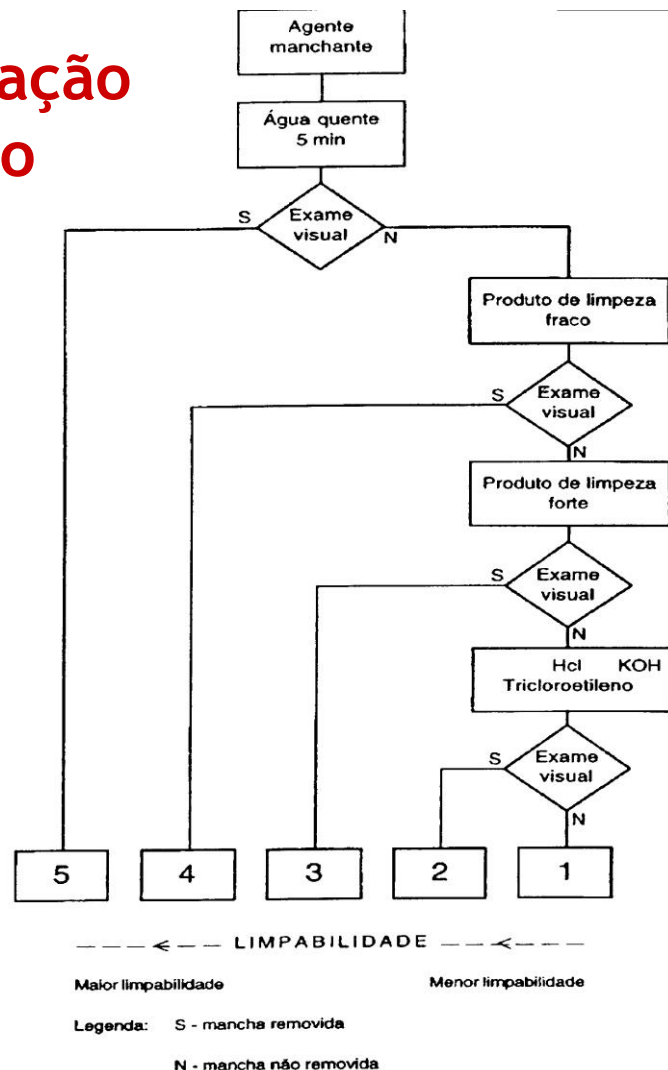


Normatização

ANEXO G (NBR 13818) - Determinação da resistência ao manchamento

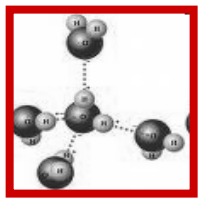
Os agentes manchantes são classificados por apresentarem:

- Ação penetrante (azul de metileno, vermelho de metila e verde-cromo);
- Ação oxidante (iodo);
- Capacidade de formação de película (oleo de oliva).



Ensaio sistemático de resistência às manchas: classes de limpabilidade

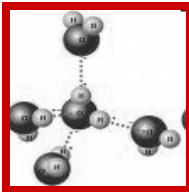
Figura G.1 - Classificação dos resultados do ensaio de resistência ao manchamento



Classificação

- **Classe de resistência a manchas (limpabilidade)**
- **Facilidade de limpeza (NBR 13818-G);**

Classe	Remoção da Mancha
5	Máxima facilidade de remoção - com água quente
4	Removível com produto de limpeza fraco - detergente neutro
3	Removível com produto de limpeza forte - saponáceo
2	Removível com ácido clorídrico, hidróxido de potássio, tricloroetileno
1	Impossibilidade de remoção da mancha



Norma

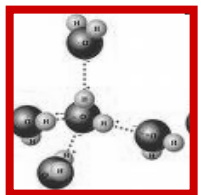
• Exemplo

BIIB:

Características das placas cerâmicas para revestimento					
Grupo de absorção BIIB (prensado)			6% < Abs ≤ 10%		
Características geométricas e visuais	Unidades	Superfície S do produto cm ²			
		S ≤ 90	90 < S ≤ 190	190 < S ≤ 410	S > 410
Desvio de W em relação a N modulares	mm	2 - 5	2 - 5	2 - 5	2 - 5
Desvio de W em relação a N não modulares	mm	5	5	5	5
	%	±2	±2	±2	±2
Desvio de r em relação a W	%	±1,2	±1,0	±0,75	±0,6
Desvio de r em relação a R		±0,75	±0,5	±0,5	±0,5
Espessura: Desvio de e em relação a e _w		±10,0	±10,0	±5	±5
Retitude dos lados		±0,75	±0,5	±0,5	±0,5
Ortogonalidade		±1,0	±0,6	±0,6	±0,6
Curvatura central		±1,0	±0,5	±0,5	±0,5
Curvatura lateral		±1,0	±0,5	±0,5	±0,5
Empeno		±1,0	±0,5	±0,5	±0,5
Aspecto superficial		≥ 95			
Diferença de tonalidade		Por acordo			
Características físicas		Unidades	Limites		
Absorção de água	Média	%	6 < Abs ≤ 10		
	Individual (máx.)	%	11		
Módulo de resistência à flexão	Média	MPa	≥ 18		
	Individual (mín.)	MPa	16		
Carga de ruptura	e ≥ 7,5 mm	N	≥ 800		
	e < 7,5 mm	N	≥ 500		
Resistência à abrasão profunda (não esmaltados)		mm ³	≤ 540		
Expansão por umidade		mm/m	Por acordo		
Dilatação térmica linear			Por acordo		
Resistência ao choque térmico			Por acordo		
Resistência ao gretamento			Não gretar		
Coefficiente de atrito			A declarar		
Resistência à abrasão superficial (pisos esmaltados)			A declarar		
Dureza Mohs			Por acordo		
Resistência ao congelamento			Por acordo		
Resistência ao impacto			Por acordo		
Características químicas			Esmaltado	Não esmaltado	
Resistência ao manchamento			≥ classe 3	A declarar	
Cádmio e chumbo solúveis			Por acordo		
Resistência aos agentes químicos			Esmaltado	Não esmaltado	
Usos domésticos e para tratamento em piscinas			≥ classe GB	≥ classe UB	
Ácidos e álcalis de baixa concentração			A declarar	A declarar	

Anexo H





Normatização

ANEXO H (NBR 13818) - Determinação da resistência ao ataque químico

Tabela H.1 - Tempo previsto de ataque

Classes de reagentes	Agentes agressivos	Tempo de ataque h
Produtos químicos domésticos	Cloreto de amônia, produtos de limpeza	24
Produtos para tratamento de água de piscina	Hipoclorito de sódio	24
Ácido e álcalis de baixa concentração e alta concentração	Ácido cítrico	24
	Ácido clorídrico e hidróxido de potássio	96

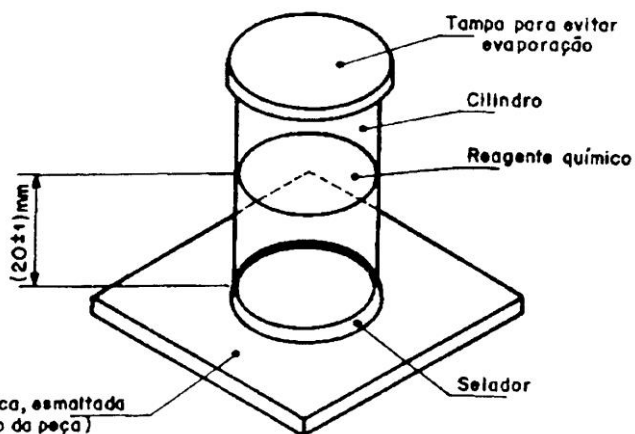
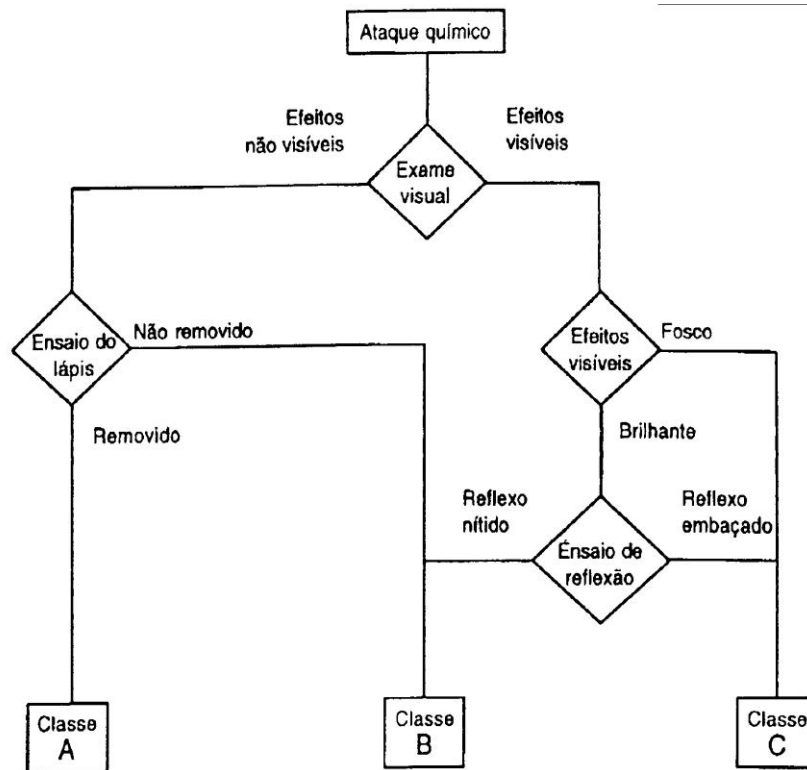


Figura H.1 - Esquema da aparelhagem para o ensaio de resistência ao ataque químico

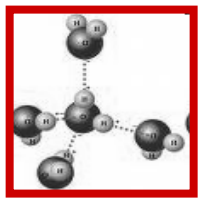


Classe A - Resistência química mais elevada.

Classe B - Resistência química média.

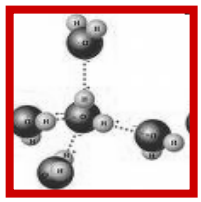
Classe C - Resistência química mais baixa.

Figura H.2 - Procedimento sistemático de classificação



Classificação

- **Classe de resistência química - A, B, C**
- **Capacidade da superfície em manter-se inalterada quando em contato com determinadas substâncias e produtos (NBR 13818-H), tais como:**
 - ⇒ **produtos de uso doméstico comuns;**
 - ⇒ **produtos de limpeza;**
 - ⇒ **ácidos e álcalis.**



Classificação

- **Classe de resistência química - A, B, C**

- **Resistência aos agentes químicos:**

- ⇒ **Classe A - Resistência química elevada;**

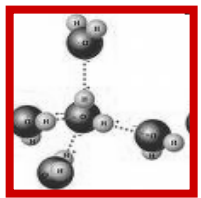
- ⇒ **Classe B - Resistência química média;**

- ⇒ **Classe C - Resistência química baixa.**

- **Resistência química podem ser determinadas para:**

- ⇒ **Produtos domésticos e de piscina;**

- ⇒ **Ácidos e álcalis: baixa concentração - L (low) ou alta concentração - H (high).**

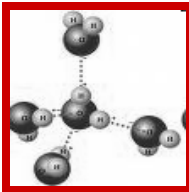


Classificação

- Códigos para a resistência química

Esmaltada (G) ou não esmaltada (U)

TIPOS DE PRODUTOS		NÍVEIS DE RESISTÊNCIA QUÍMICA:		
		Alta	Média	Baixa
PRODUTOS DOMÉSTICOS E DE PISCINA		A	B	C
ÁCIDOS E ÁLCALIS	Alta concentração H	HA	HB	HC
	Baixa concentração L	LA	LB	LC



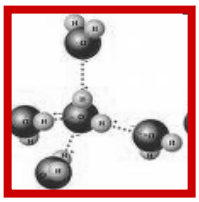
Norma

• Exemplo

BIIB:

Características das placas cerâmicas para revestimento						
Grupo de absorção BIIB (prensado)			6% < Abs ≤ 10%			
Características geométricas e visuais		Unidades	Superfície S do produto cm ²			
			S ≤ 90	90 < S ≤ 190	190 < S ≤ 410	S > 410
Desvio de W em relação a N modulares		mm	2 - 5	2 - 5	2 - 5	2 - 5
Desvio de W em relação a N não modulares		mm	5	5	5	5
		%	±2	±2	±2	±2
Desvio de r em relação a W		%	±1,2	±1,0	±0,75	±0,6
Desvio de r em relação a R			±0,75	±0,5	±0,5	±0,5
Espessura: Desvio de e em relação a e _w			±10,0	±10,0	±5	±5
Retitude dos lados			±0,75	±0,5	±0,5	±0,5
Ortogonalidade			±1,0	±0,6	±0,6	±0,6
Curvatura central			±1,0	±0,5	±0,5	±0,5
Curvatura lateral			±1,0	±0,5	±0,5	±0,5
Empeno			±1,0	±0,5	±0,5	±0,5
Aspecto superficial			≥ 95			
Diferença de tonalidade			Por acordo			
Características físicas		Unidades	Limites			
Absorção de água		Média	6 < Abs ≤ 10			
		Individual (máx.)	11			
Módulo de resistência à flexão		Média	≥ 18			
		Individual (mín.)	16			
Carga de ruptura		e ≥ 7,5 mm	N			
		e < 7,5 mm	N			
Resistência à abrasão profunda (não esmaltados)		mm ³	≤ 540			
Expansão por umidade		mm/m	Por acordo			
Dilatação térmica linear			Por acordo			
Resistência ao choque térmico			Por acordo			
Resistência ao gretamento			Não gretar			
Coeficiente de atrito			A declarar			
Resistência à abrasão superficial (pisos esmaltados)			A declarar			
Dureza Mohs			Por acordo			
Resistência ao congelamento			Por acordo			
Resistência ao impacto			Por acordo			
Características químicas			Esmaltado	Não esmaltado		
Resistência ao manchamento			≥ classe 3	A declarar		
Cádmio e chumbo solúveis			Por acordo			
Resistência aos agentes químicos			Esmaltado	Não esmaltado		
Usos domésticos e para tratamento em piscinas			≥ classe GB	≥ classe UB		
Ácidos e álcalis de baixa concentração			A declarar	A declarar		
Ácidos e álcalis de alta concentração			A declarar	A declarar		

Anexo F



Normatização

ANEXO F (NBR 13818) - Determinação da resistência ao gretamento

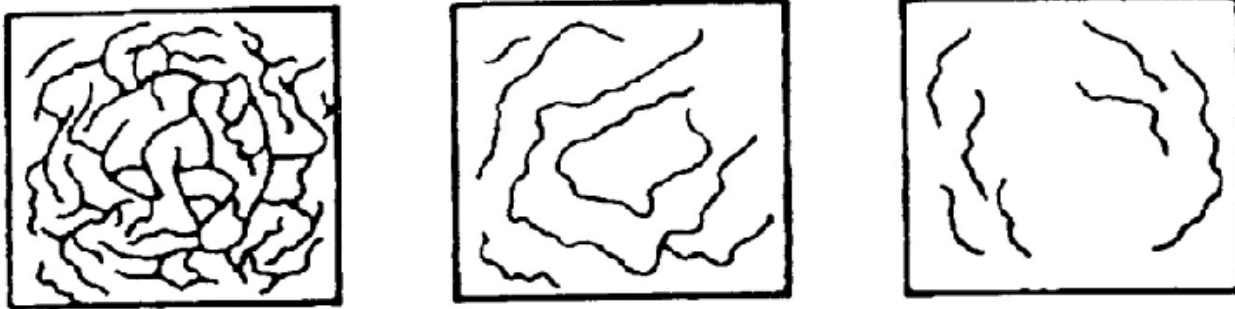


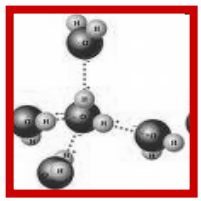
Figura F.1 - Aspectos assumidos pelo gretamento do esmalte cerâmico

Aparelhagem

- Autoclave

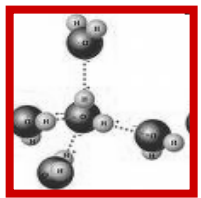
Procedimento

- Hidratação
- Resfriamento
- Teste com o corante (sol. aq. 1% de azul de metileno - evidencia o gretamento)
- Análise visual



Classificação

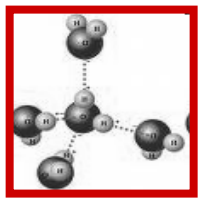
- **Coeficiente de atrito dos pisos (resistência ao escorregamento) - (NBR 13818-N)**
- Segurança do usuário ao caminhar pela superfície;
- Não existem produtos antiderrapantes;
- Rugosidades ou adição de cristais de óxido ou de areia abrasiva;
- Limpabilidade x coeficiente de atrito;
- Novas tecnologias: resistência ao escorregamento por meio de tensão superficial.



Classificação

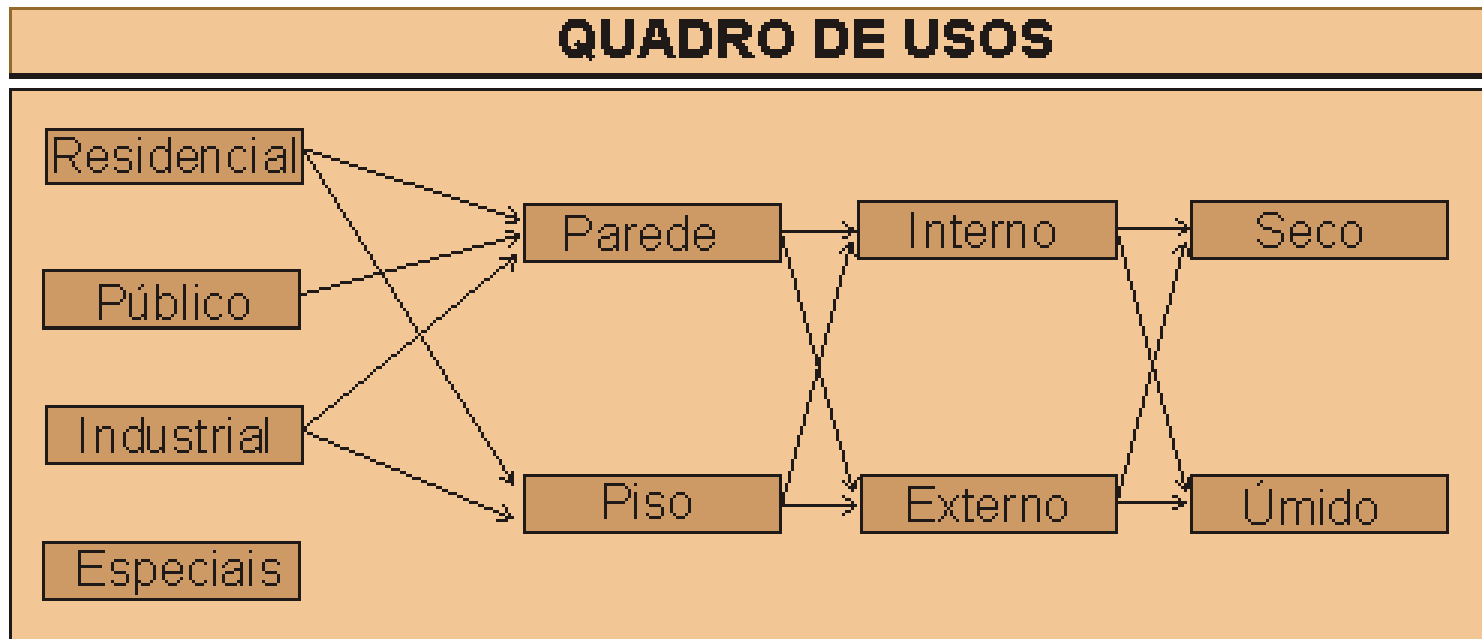
- **Coeficiente de atrito dos pisos (resistência ao escorregamento) - (NBR 13818-N)**

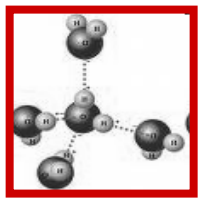
Coeficiente de atrito	
Valor	Indicações
< 0,4	Satisfatório para instalações normais (residenciais).
0,4 a 0,7	Recomendado para uso onde se requer resistência ao escorregamento.
> 0,7	Recomendado para locais onde o risco de escorregamento é muito intenso (áreas externas em aclive ou declive).



Parâmetros de Escolha

- Fator estético;
- Fator custo;
- Fator desempenho técnico.





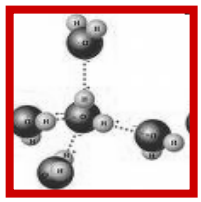
Sugestão de Consulta

- **LIMA L. C. ; SICHIERI E. P.**

“Guia para revestimentos Cerâmicos - versão completa”.

Disponível em:

<http://www.iau.usp.br/pesquisa/grupos/arqtema/ceramica/index.htm#>



Sugestão de Consulta

Guia para Revestimentos Cerâmicos

[Versão Simplificada](#)

[Versão Completa](#)

[Porcelanato-Fachadas](#)

[Créditos](#)

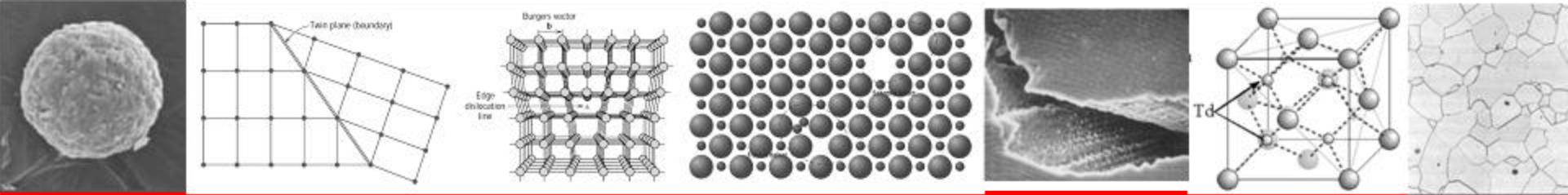
Obs:

Na Versão Completa, a navegação por todos os menús somente é possível com Internet Explorer versão 5.5 ou superior - usar resolução de tela de 1024x768 pixels.

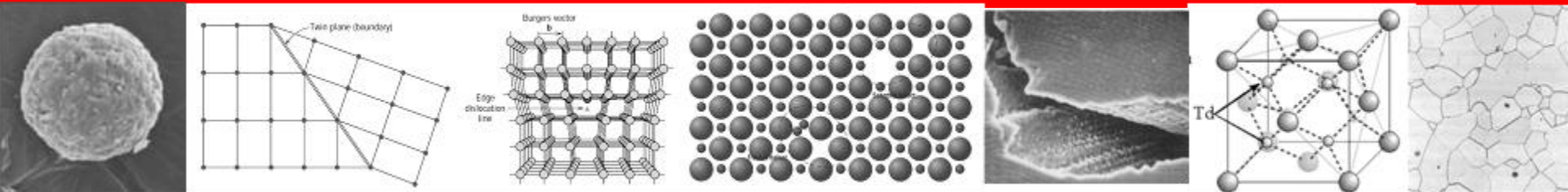


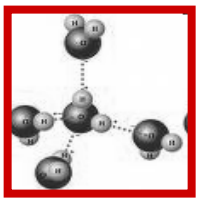
Grupo de Pesquisa ArqTeMa - Arquitetura, Tecnologia e Materiais
Departamento de Arquitetura e Urbanismo
Escola de Engenharia de São Carlos - EESC-USP





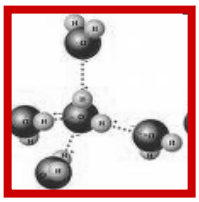
Defeitos e Patologias





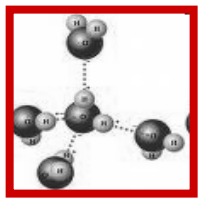
Defeitos e Patologias

"...quase todos os defeitos originados e causados no sistema de edificação e assentamento se refletem no revestimento cerâmico, que é a camada mais exposta de todo o sistema. Muitas vezes aparecem defeitos tais como manchas ou peças que se soltam da parede, peças rachadas, eflorescência etc... Em muitos casos, se fala de defeito de revestimento e não de paredes ou pisos defeituosos, e muitas vezes, é confundido o local onde o defeito se manifesta, com a causa propriamente dita. Isto é um erro de conclusão apressada, atribuindo toda a responsabilidade do defeito ao revestimento cerâmico" (PALMONARI, TIMELINE, 1989)



Defeitos e Patologias

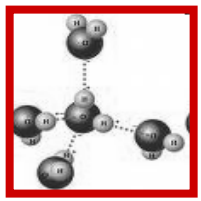
- **Garantia de qualidade e durabilidade**
 - 1) **Qualidade dos materiais utilizados;**
 - 2) **Adequação dos materiais ao tipo de uso;**
 - 3) **Qualidade do planejamento dos serviços;**
 - 4) **Qualidade dos serviços de assentamento;**
 - 5) **Qualidade da manutenção após assentamento.**



Defeitos e Patologias

- **Eflorescência:** é causada pelo excesso de umidade na parede ou contrapiso, com aparecimento de manchas brancas ou escuras na superfície das peças ou entre os rejuntas.

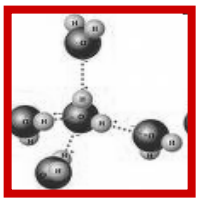




Defeitos e Patologias

- **Destacamento:** são caracterizados pela perda de aderência das placas do substrato: emboço sobre alvenaria ou peças estruturais, ou da argamassa colante. Isso ocorre quando as tensões ultrapassam a capacidade de aderência.





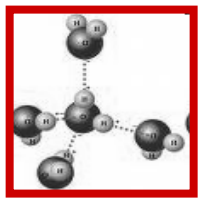
Defeitos e Patologias

- **Expansão por Umidade (EPU)**

- Aumento das dimensões do corpo cerâmico devido à adsorção de água;
- Quando a deformação oriunda da EPU é contida, ocorre a geração de uma tensão, que de acordo com a Lei de Hooke, é diretamente proporcional ao módulo de elasticidade do material e à variação dimensional do material, tal como indicado na equação (A):

$$F = E \cdot d \text{ (A)}$$

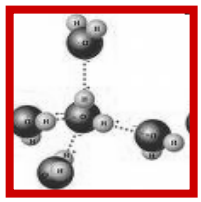
- onde F é a tensão de compressão em MPa, E o módulo de elasticidade da cerâmica em MPa, e d a deformação da cerâmica em cm/cm (EPU).



Defeitos e Patologias

- Expansão por Umidade (EPU)

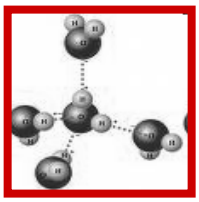




Defeitos e Patologias

- Expansão por Umidade (EPU)



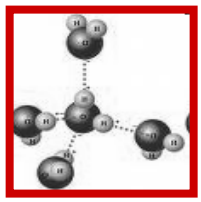


Defeitos e Patologias

- **Expansão por Umidade (EPU)**

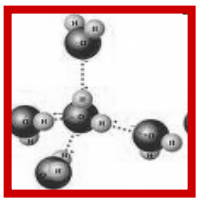
- **Mecanismo:**

- Os minerais que entram na composição das matérias primas dos corpos cerâmicos contêm água de estrutura em suas moléculas. Porém no processo de queima durante a fabricação essa água é volatilizada, e com a continuação do processo de queima (sinterização) ocorre a formação de constituintes amorfos, vítreos e cristalinos.



Defeitos e Patologias

- **Expansão por Umidade (EPU)**
 - **Mecanismo:**
 - Entretanto, logo após o processo de queima e durante meses e anos após a fabricação, ocorrerá a reidratação por adsorção de água, principalmente dos constituintes amorfos e vítreos.
 - A hidratação por adsorção provoca um aumento de volume dos compostos presentes, expandindo o corpo cerâmico.

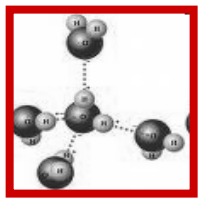


Defeitos e Patologias

- **Expansão por Umidade (EPU)**

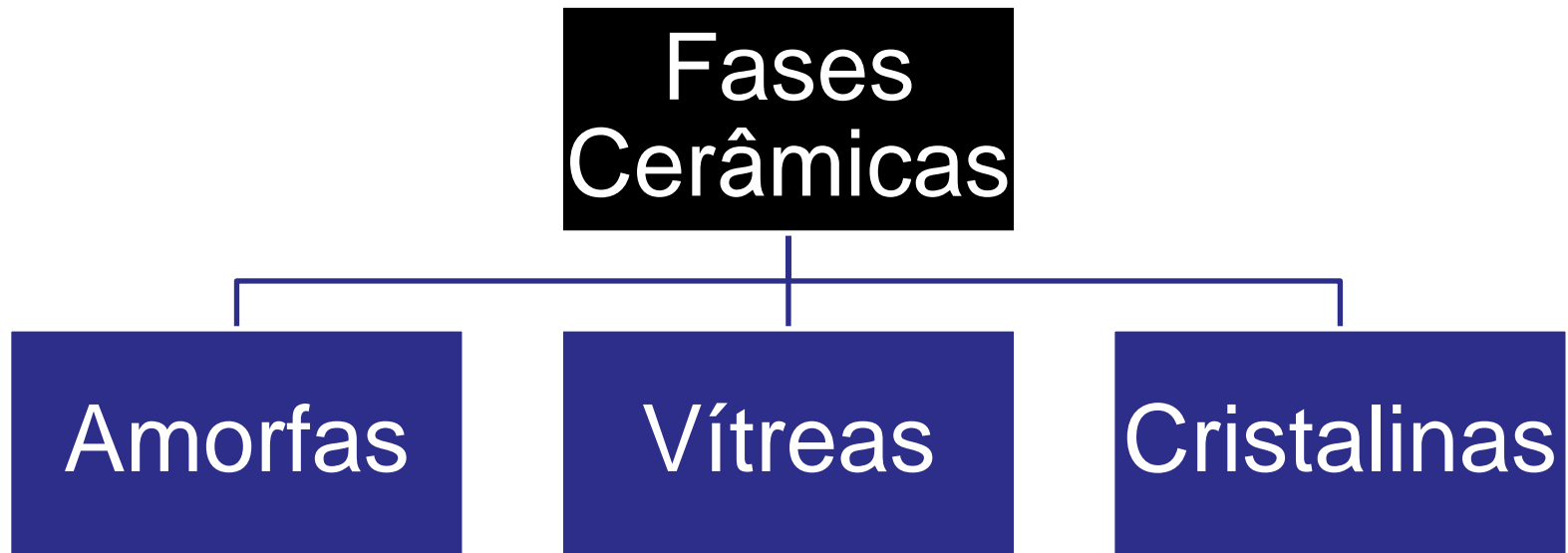
- **Mecanismo:**

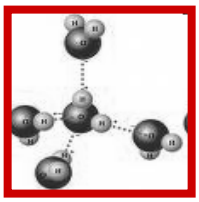
- A adsorção da água ao corpo cerâmico se dá por dois fatores: **devido à porosidade**, ou seja, quanto mais poroso o material, maior será a entrada de água; ou devido à **presença de constituintes amorfos** no material cerâmico. A adsorção de água pela presença de fase amorfa ocorre quando a água é atraída por valências livres do tipo $-Si^+$ e $-Si-O^-$ existentes na superfície dos materiais, formando grupos $Si-O-H$ e $Si-O-H_2O$.



Defeitos e Patologias

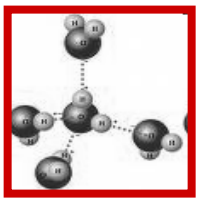
- Expansão por Umidade (EPU)





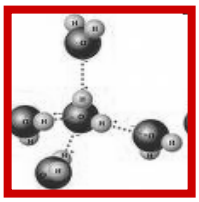
Defeitos e Patologias

- **Expansão por Umidade (EPU)**
- **Fases Cerâmicas**
- **Amorfas:** Resultante da decomposição dos minerais argilosos durante a queima apresentam **alta área superficial específica e elevada energia superficial (reatividade).**



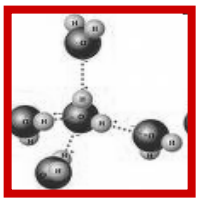
Defeitos e Patologias

- **Expansão por Umidade (EPU)**
- **Fases Cerâmicas**
- **Vítreas:** Provocadas pela fusão parcial (sinterização via fase líquida) dos compostos fundentes (Na_2O e K_2O) presentes nas argilas. Apresentam valores **menores de área superficial específica e energia superficial quando comparadas às fases amorfas**. Porém, quando em contato com umidade desenvolvem uma película superficial que favorece a adsorção. (**não significativo**).



Defeitos e Patologias

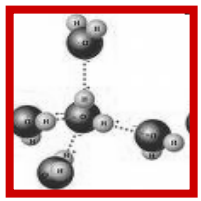
- **Expansão por Umidade (EPU)**
- **Fases Cerâmicas**
- **Cristalinas:** Apresentam **baixos valores de área superficial**, o que contrapõe a “necessidade” das valências livres na superfície (energia de superfície) em interagir com outros elementos. Desse modo, sua capacidade de adsorção de umidade é baixa, e conseqüentemente, **não apresentam EPU.**



Defeitos e Patologias

- **Expansão por Umidade (EPU)**

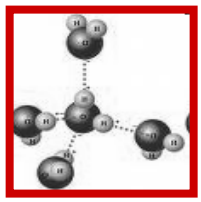
Considerando que a EPU dos materiais cerâmicos pode estar relacionada às características das matérias primas, condições de processamento e **presença de fase amorfa** nos produtos cerâmicos após a queima, é importante entender que a etapa de **sinterização (tempo e temperatura)** de um corpo cerâmico está diretamente ligada com a presença de poros e/ou fase amorfa e, por conseguinte da EPU.



Defeitos e Patologias

- **Gretamento:** Desenvolvimento de fissuras (rompimento do esmalte) de aberturas inferiores a 1 mm que ocorrem na superfície esmaltada das placas de cerâmicas de revestimento com um formato circular, espiral, ou em forma de teia de aranha



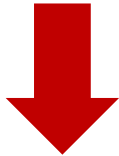


Defeitos e Patologias

Gretamento

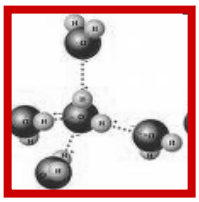
Imediato

Retardado



Ocorre quando o vidro, à temperatura ambiente é tracionado pelo suporte a ponto de ocorrer o aparecimento de trincas, sendo observado logo após a saída do forno ou pouco tempo depois.

Ocorre quando a deformação sofrida pelo biscoito devido à umidade adsorvida (EPU), transforma o esforço de compressão a que estava inicialmente submetido o vidro em um esforço de tração.



Defeitos e Patologias

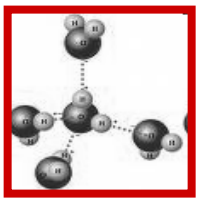
- Resistência ao Impacto

- Fratura X Lascado X Esfolhamento;

Fratura é qualquer fissura que se estende por toda a peça e por toda a sua espessura;

Lascado é mais localizado em pontos ou zonas limitadas da superfície da peça;

Esfolhado consiste na separação de porções de massa da peça, paralelamente ao plano em que está aplicada. Neste caso, a fratura da superfície é relativamente lisa e regular.



Defeitos e Patologias

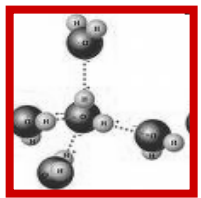
- Resistência ao Impacto

- Causas;

Fratura: incidência de impactos muito fortes, especificação incorreta das placas ou baixa qualidade do assentamento;

Lascamento: maior frequência em revestimentos esmaltados, principalmente quando a camada de esmalte é mais fina;

Esfolhamento: baixa qualidade do material, provocada por falha na fabricação, provavelmente na prensagem defeituosa.



Defeitos e Patologias

Manchamento

Eflorescência



Presença de sais solúveis que podem estar presentes no concreto, na argamassa e no material cerâmico

Bolor



Aparecimento de fungos e algas pode ocorrer na argamassa de rejunte

Mancha d'água



Manchamento abaixo do esmalte (camada de engobe)

Devido ao uso



Ação química, ação penetrante, ação oxidante, formação de película



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA

Escola Politécnica

DCTM - Departamento de Ciência e Tecnologia dos Materiais

ENG 017

Ciência dos Materiais Cerâmicos UNIDADE I

Introdução, Matérias Primas, Técnicas de Caracterização, Diagrama de Fases, Processamento, Cerâmicas Porosas, Especificação de Cerâmica de Revestimento, Defeitos e Patologias

Prof. Dr. Marcelo Strozi Cilla

marceloscilla@gmail.com

IA		IIB										IIB										IIB										IIB										IIB																																																																													
H		Li, Na, K, Rb, Cs, Fr										Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Ra										Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu										Zr, Hf, Ta, Nb, Mo, Tc, Ru, Rh, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, Bi, Po, At, Rn										Th, U, Np, Pu, Am, Cm, Bk, Cf, Es, Fm, Md, No, Lr																																																																													
IIA		IIA										IIA										IIA										IIA										IIA																																																																													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120

