



MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO II

AGLOMERANTES

- Cimento Portland: noções de fabricação; composição potencial; especificações; tipos e ensaios.
- Aglomerantes compostos: cimentos pozolânicos e metalúrgicos. Especificações e propriedades.

História do Cimento Portland

Smeaton (construiu farol em 1756 a partir da calcinação de calcáreos contendo argila)

Vicat (publicou estudos em 1818, França)

Aspdin, em 1824, recebeu patente do Rei George IV, da Inglaterra.

Cimento Portland:

- Cimento hidráulico produzido pela moagem de clínqueres constituídos essencialmente por silicatos de cálcio hidráulicos e uma pequena quantidade de uma ou mais formas de sulfato de cálcio (ASTM C150 / NBR 5732).

Fabricação do Cimento Portland

Clínquer (*clinker*):

são nódulos de 5 a 25 mm de diâmetro de material sinterizado que é produzido quando uma mistura de matérias primas de composição pré-determinada é aquecida em altas temperaturas.

“cozimento à altas temperaturas”



CALCÁRIO

+



FILITO, QUARTZITO, MAGNETITA

=



CLÍNQUER

+



GESSO

=

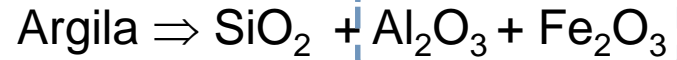
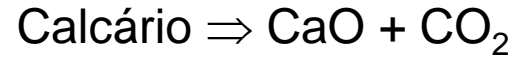
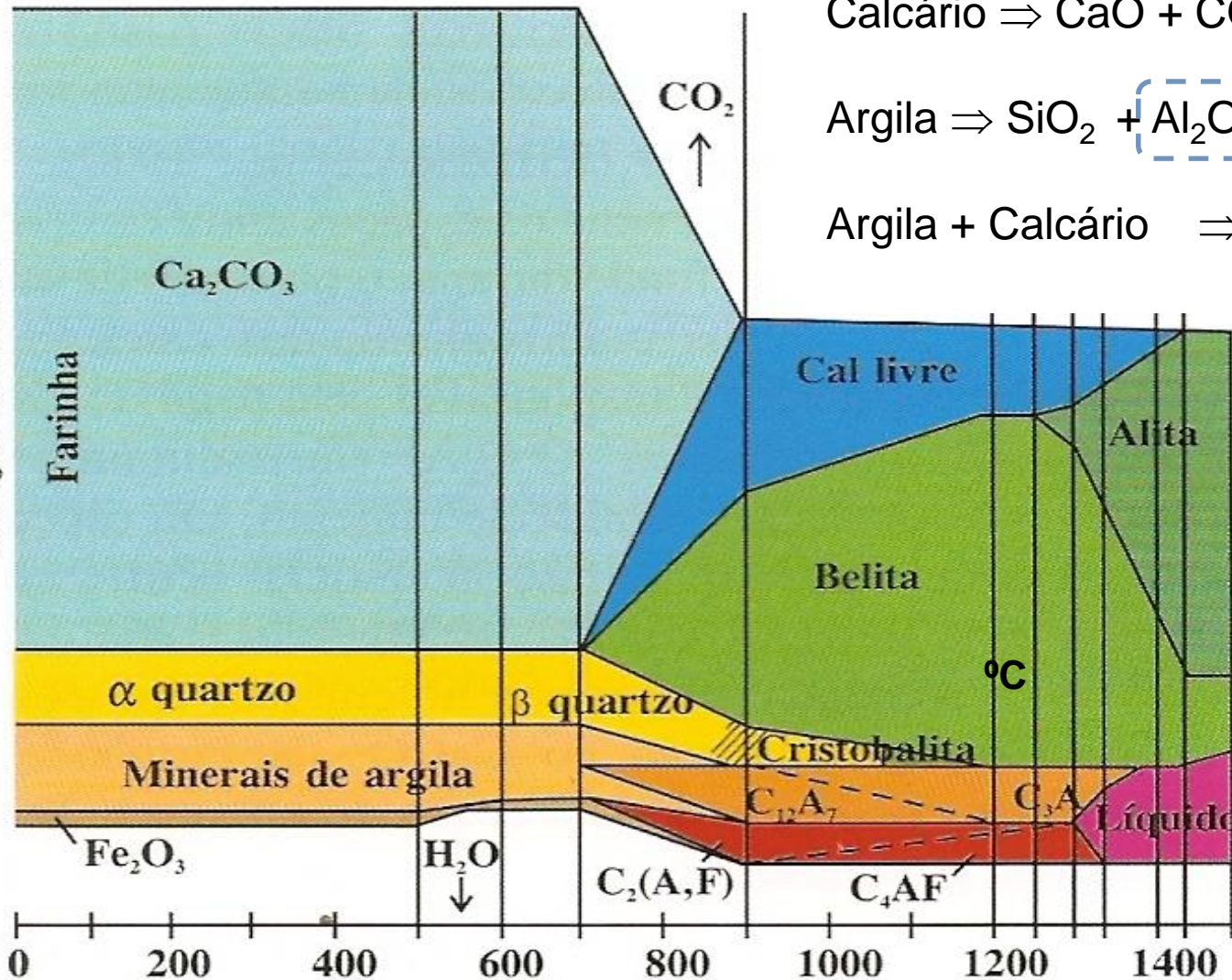


CIMENTO



Mineralogia do Clínquer Portland

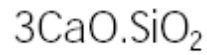
Relação de massa



- 3CaO. SiO₂
- 2CaO. SiO₂
- 3CaO. Al₂O₃
- 4CaO. Al₂O₃.Fe₂O₃

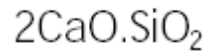
Efeito mineralizante
(facilitam) a formação
dos silicatos

Mineralogia do Clínquer Portland



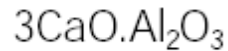
Silicato tricálcico

= (C_3S) 18 a 66% no cimento **Alita**



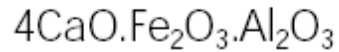
Silicato dicálcico

= (C_2S) 11 a 53% no cimento **Belita**



Aluminato tricálcico

= (C_3A) 05 a 20% no cimento



Ferro aluminato tetracálcico

= (C_4AF) 04 a 14% no cimento

Na Química dos cimentos:

CaO (Óxido de Cálcio) \Rightarrow C

SiO_2 (Dióxido de Silício) \Rightarrow S

Al_2O_3 (Trióxido de Alumínio) \Rightarrow A

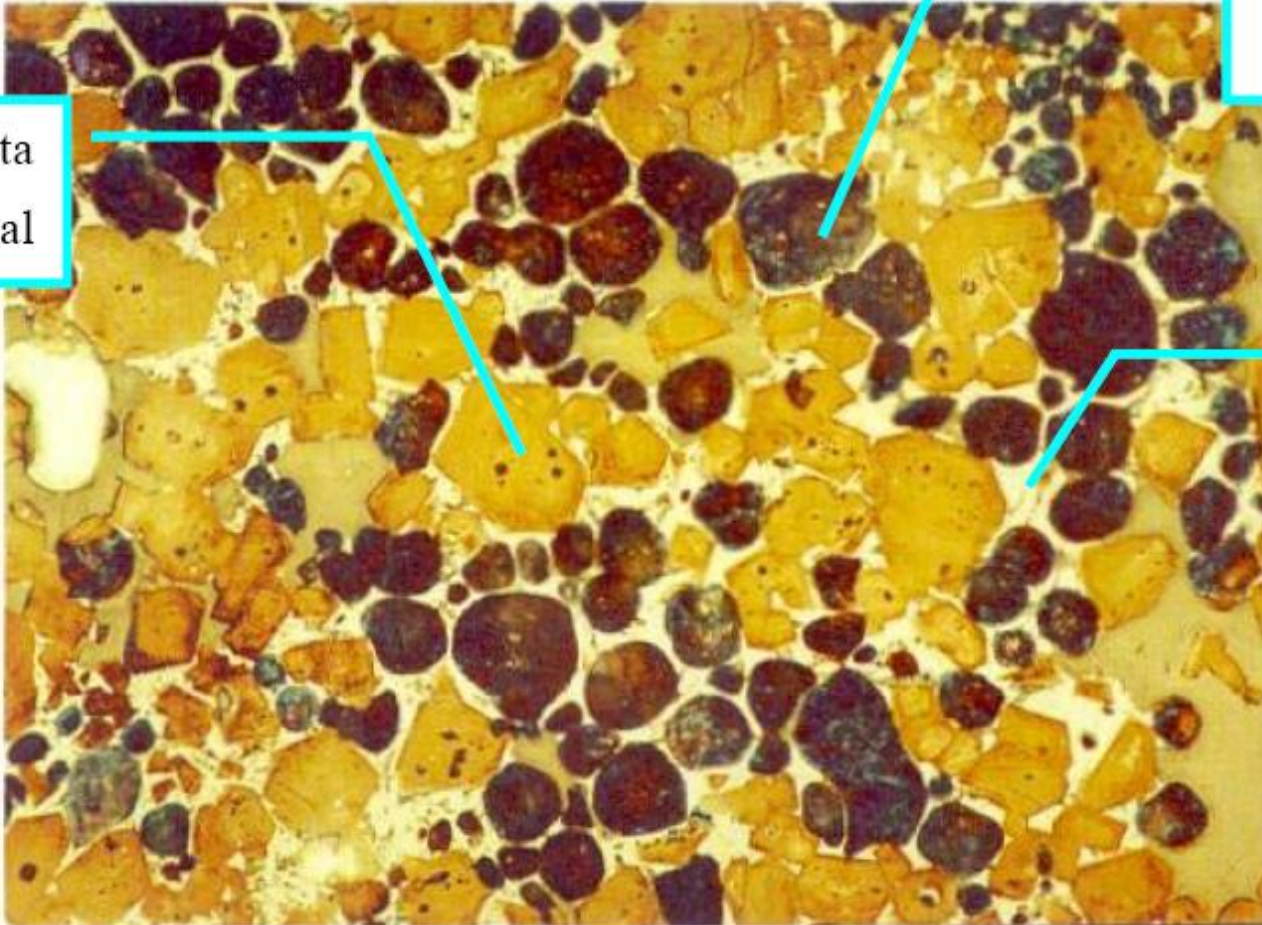
Fe_2O_3 (Dióxido de Ferro) \Rightarrow F

Clínquer Portland

C3S \equiv Alita
 \approx Hexagonal

C2S \equiv Belita
 \approx Circular

C4AF
+
C3A



Micrografia ótica, luz refletida, do clínquer do cimento Portland não hidratado

Clínquer Portland - Composição química:

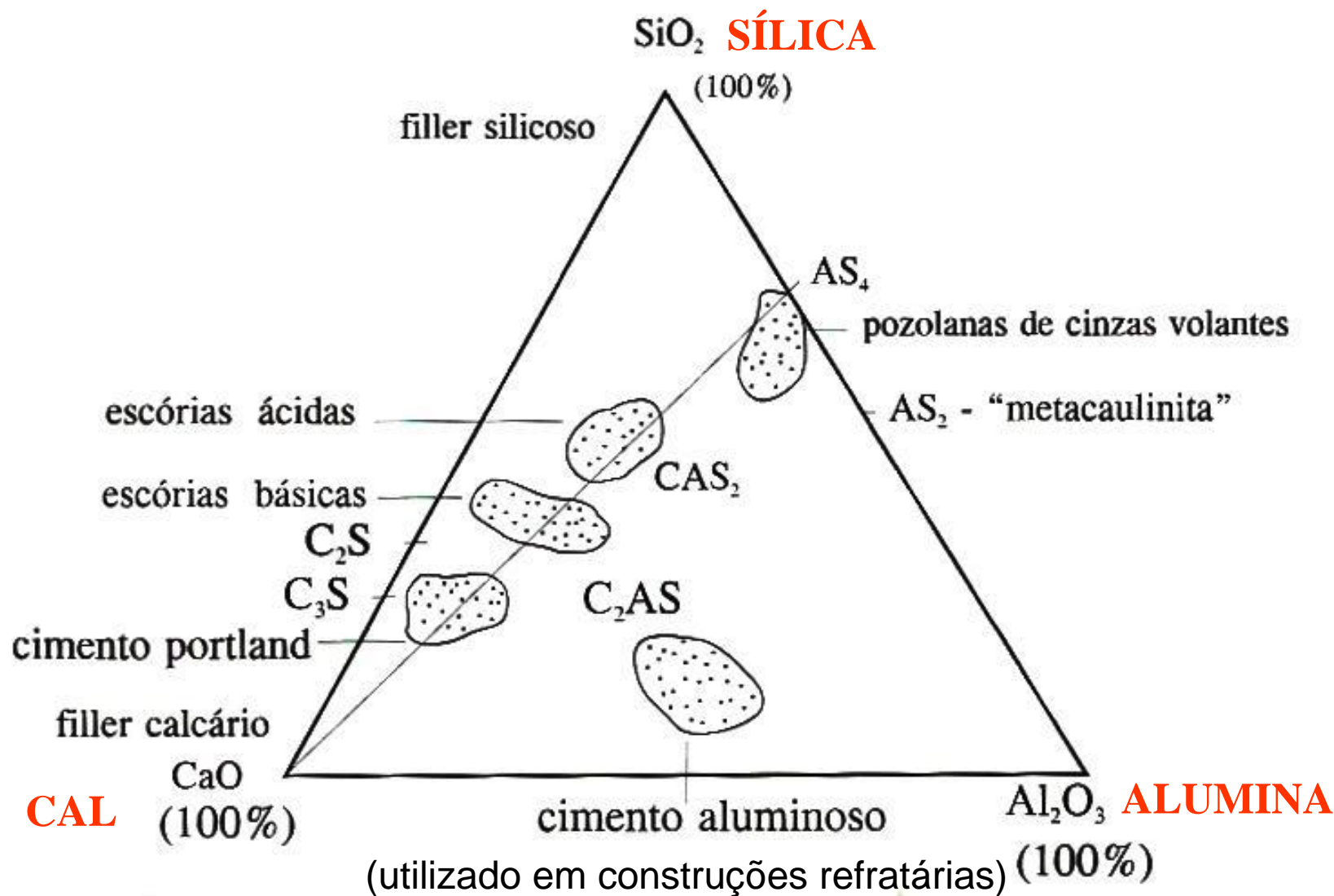
COMPONENTE	CALCÁRIO I	CALCÁRIO II	CALCÁRIO III
CaO	47,82	52,46	49,80
SiO ₂	6,00	3,76	6,75
Al ₂ O ₃	1,83	1,10	0,71
Fe ₂ O ₃	0,92	0,66	1,47
MgO	2,08	1,23	1,48
K ₂ O	0,40	0,18	0,10
Na ₂ O	0,06	0,22	0,12
SO ₃	0,37	0,01	1,10
P.F.	40,52	40,38	38,55
TOTAL	100,00	100,00	100,00

sistema ternário:







COMPONENTE	ARGILA I	ARGILA II	ARGILA III	(areia)
SiO ₂	63,45	67,29	52,30	85,67
Al ₂ O ₃	16,70	8,97	24,70	9,02
Fe ₂ O ₃	8,81	4,28	8,20	2,38
CaO	0,35	7,27	4,40	2,40
K ₂ O	2,85	1,2	0,80	0,51
Na ₂ O	0,12	1,51	0,00	0,01
P.F.	5,35	7,19	10,40	***
Outros	2,01	2,29	0,00	0,01
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00

Cimento Portland - Composição química: sistema ternário $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$



Hidratação do Cimento

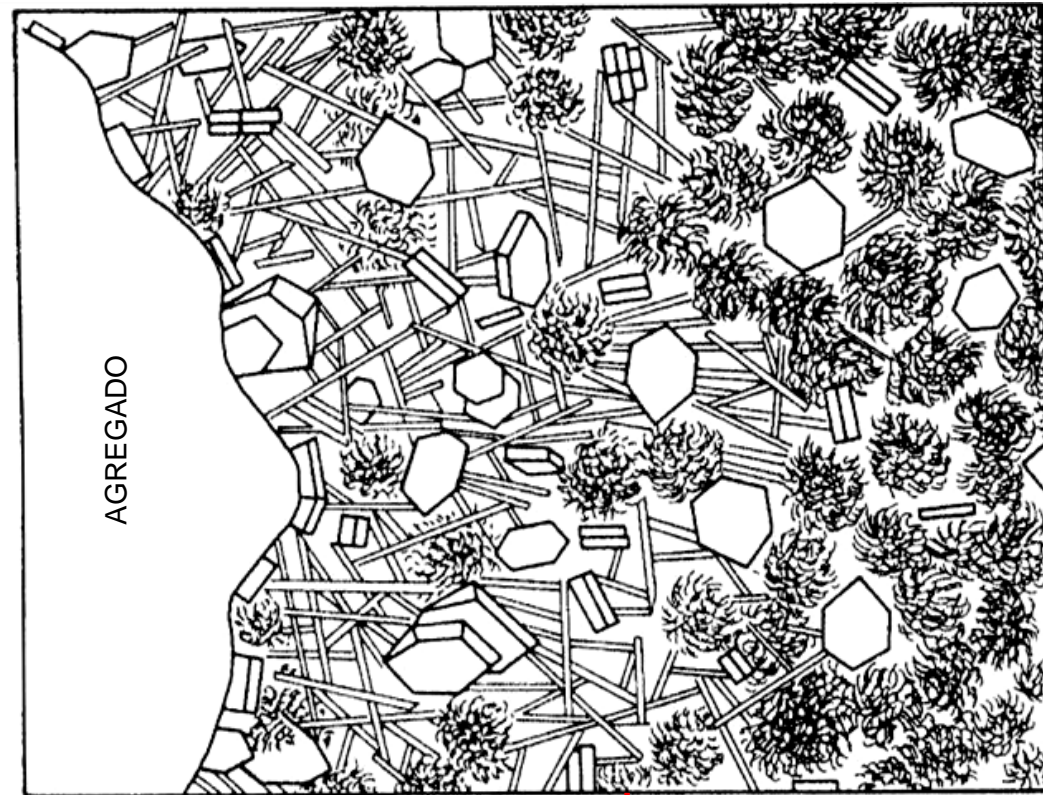
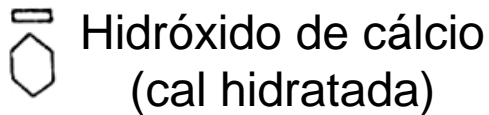
- Hidratação dos silicatos  gel silicatos de cálcio hidratados (CSH), apresentando grande áreas de superfície, e por isso gerando intensas forças de Van der Waals e conferindo resistência mecânica à pasta
- Hidratação dos aluminatos  sem o gesso, se torna uma reação imediata com grande liberação de calor, formando hidratos cristalinos
⇒ responsável pela pega
- Hidratação do gesso  muito solúvel em água, retarda a tendência à pega rápida do clínquer Portland
- Finura dos grãos  mais fino o cimento, mas rápida a hidratação;
45 μ m ⇒ hidratação lenta
70 μ m ⇒ nunca hidratará completamente

Hidratação dos Silicatos

Hidratação dos silicatos



Família de silicatos de cálcio hidratados

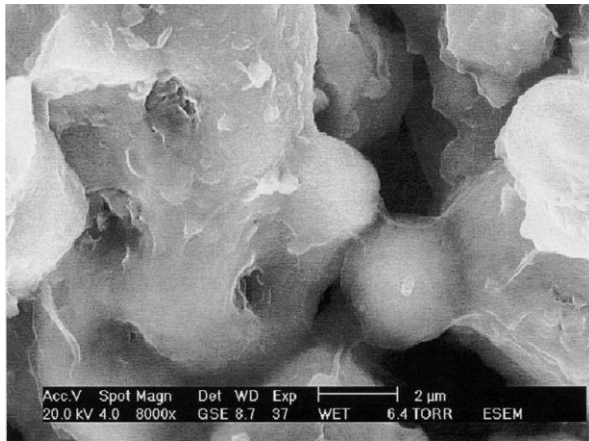


Zona de transição | matriz cimentícia

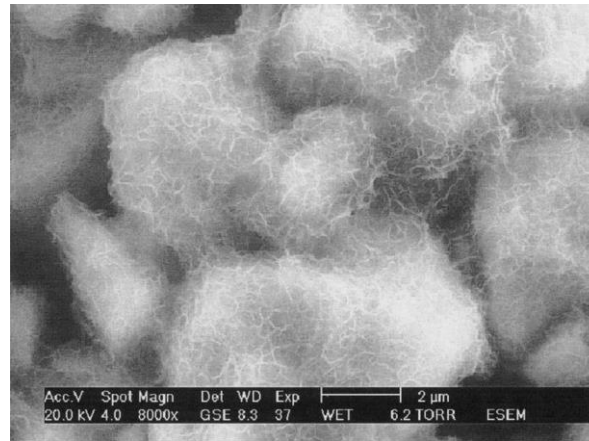
Os cristais de **CH** são **maciços**.

Os cristais **CSH** são pouco cristalinos e apresentam uma morfologia **fibrosa**.

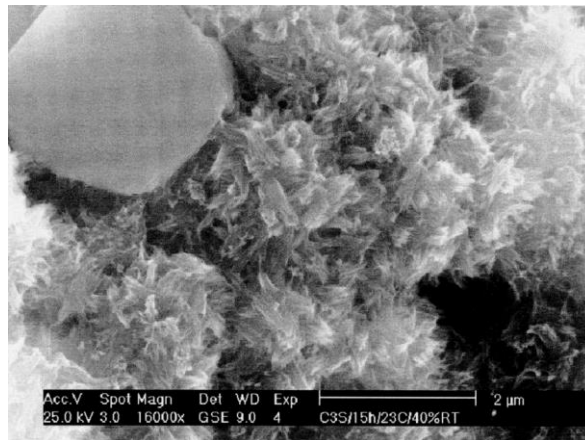
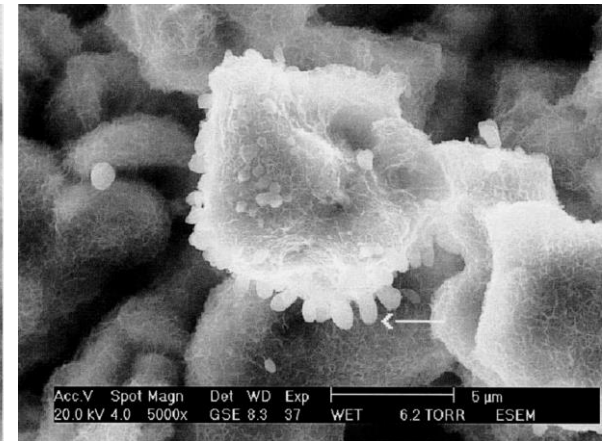
Hidratação do $C_3S \Rightarrow CSH$



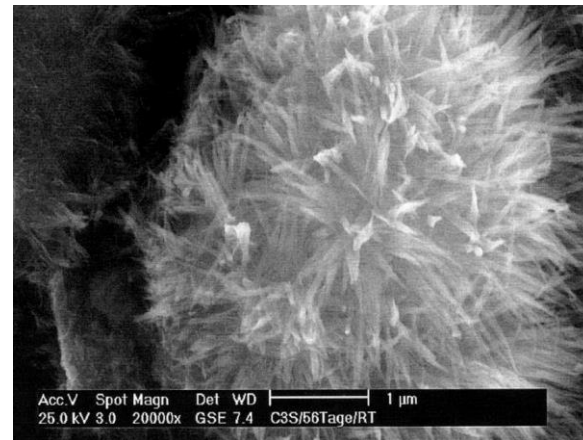
5 min



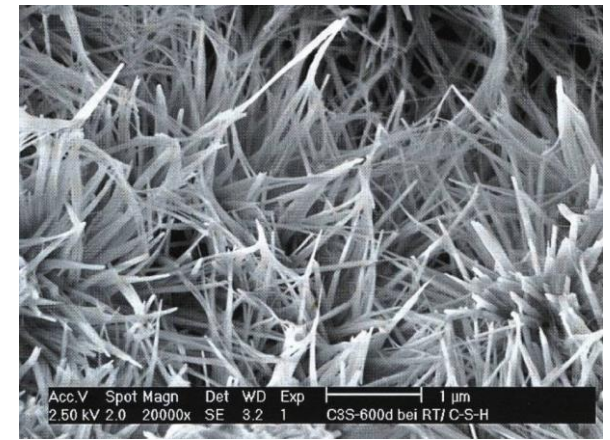
140 min



15 h

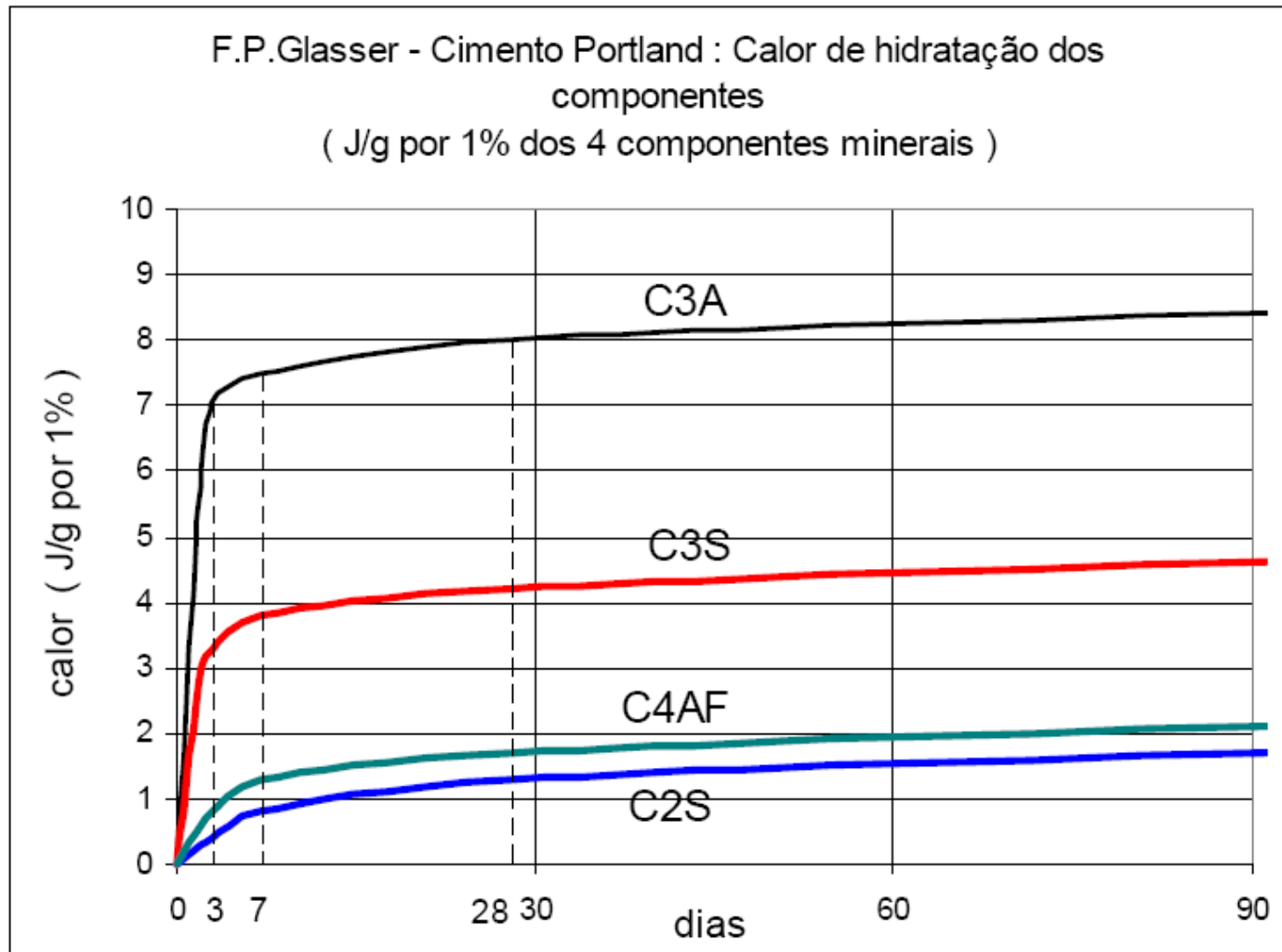


56 dias



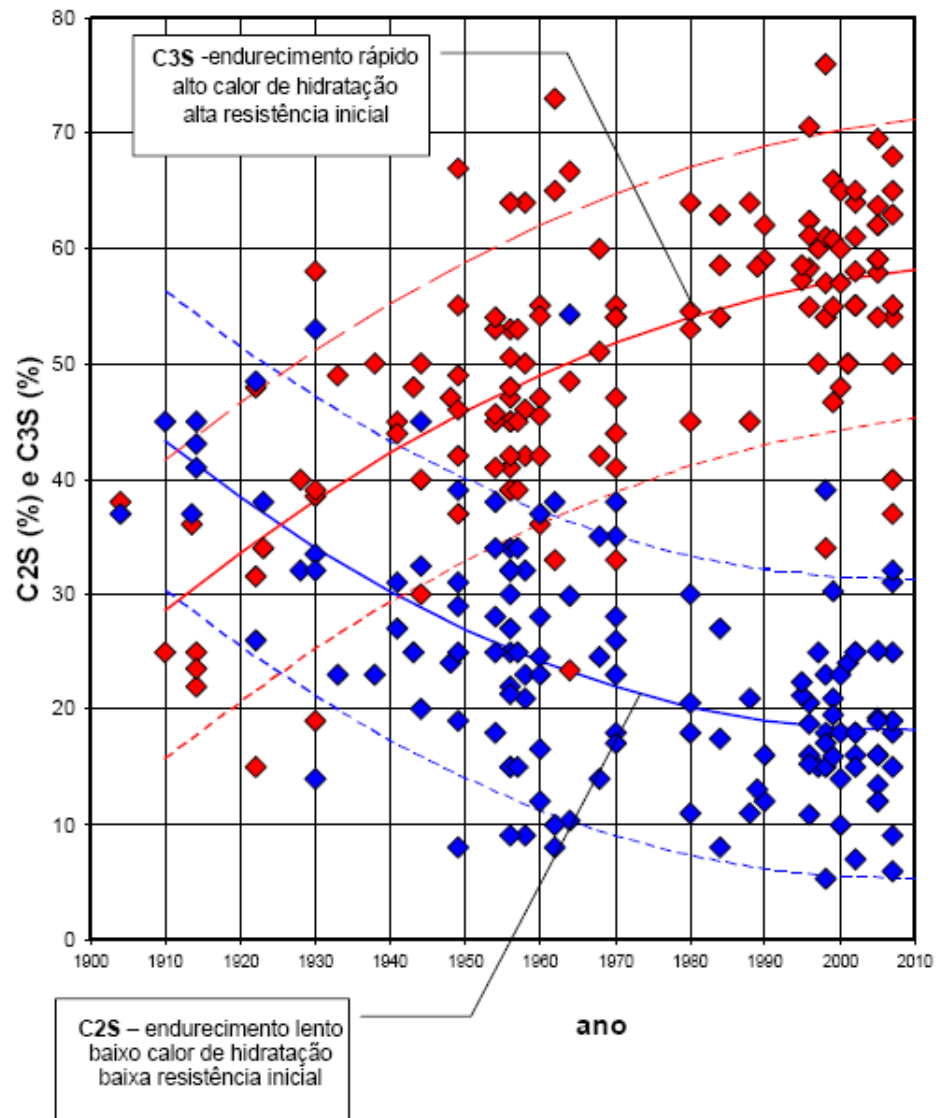
20 meses

Calor de hidratação

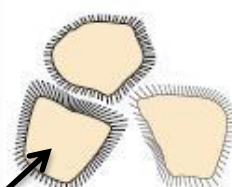

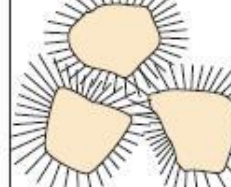
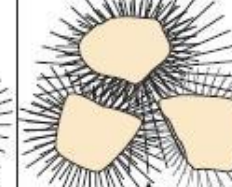


- Quanto maior o teor de C3S e de C3A, maior o calor de hidratação do cimento.

Cimento Portland Comum: evolução do teor de C2S e C3S no tempo



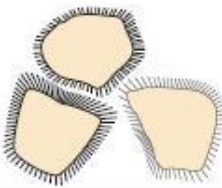
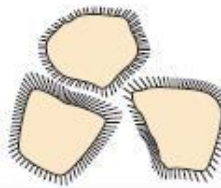
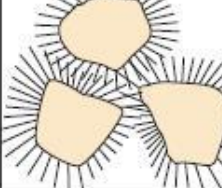
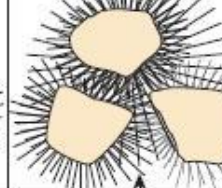
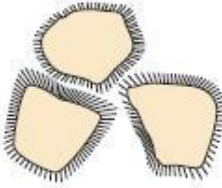
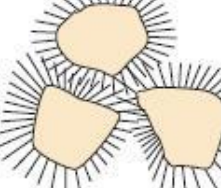
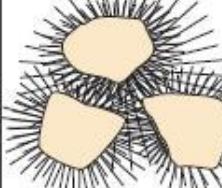
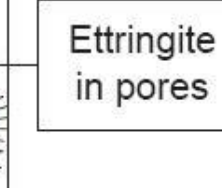
Hidratação do C_3A na presença de gesso

Reactivity of C_3A in Clinker	Availability of sulfate in solution	Hydration Age			
		< 10 min	10 - 45 min	1 - 2 hours	2 - 4 hours
Low	Low	trabalhável 	trabalhável 	menos trabalh. 	pega normal 

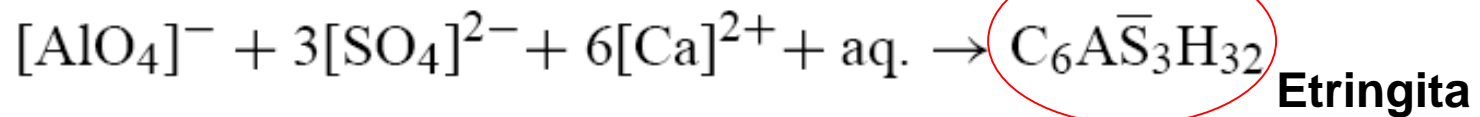
grão de cimento

- Quando as concentrações disponíveis de íons aluminato e sulfato para a fase aquosa são baixas, a pasta de cimento permanecerá trabalhável por cerca de 45 minutos;
- Então ela começará a enrigecer logo que os espaços ocupados pela água começarem a ser preenchidos com cristais de etringita;
- A maioria dos cimentos Portland conhecidos como de pega normal pertencem a essa categoria;
- A pasta se torna menos trabalhável entre 1 e 2h após a adição de água e pode começar a endurecer em 2 a 3h.

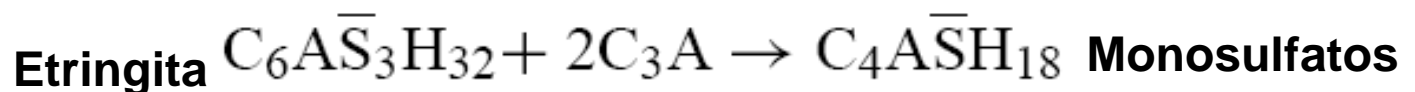
Hidratação do C₃A na presença de gesso

Reactivity of C ₃ A in Clinker	Availability of sulfate in solution	Hydration Age			
		< 10 min	10 - 45 min	1 - 2 hours	2 - 4 hours
Low	Low	trabalhável 	trabalhável 	menos trabalh. 	pega normal 
High	High	workable 	less workable 	normal set 	

Hidratação do C₃A na presença de gesso:

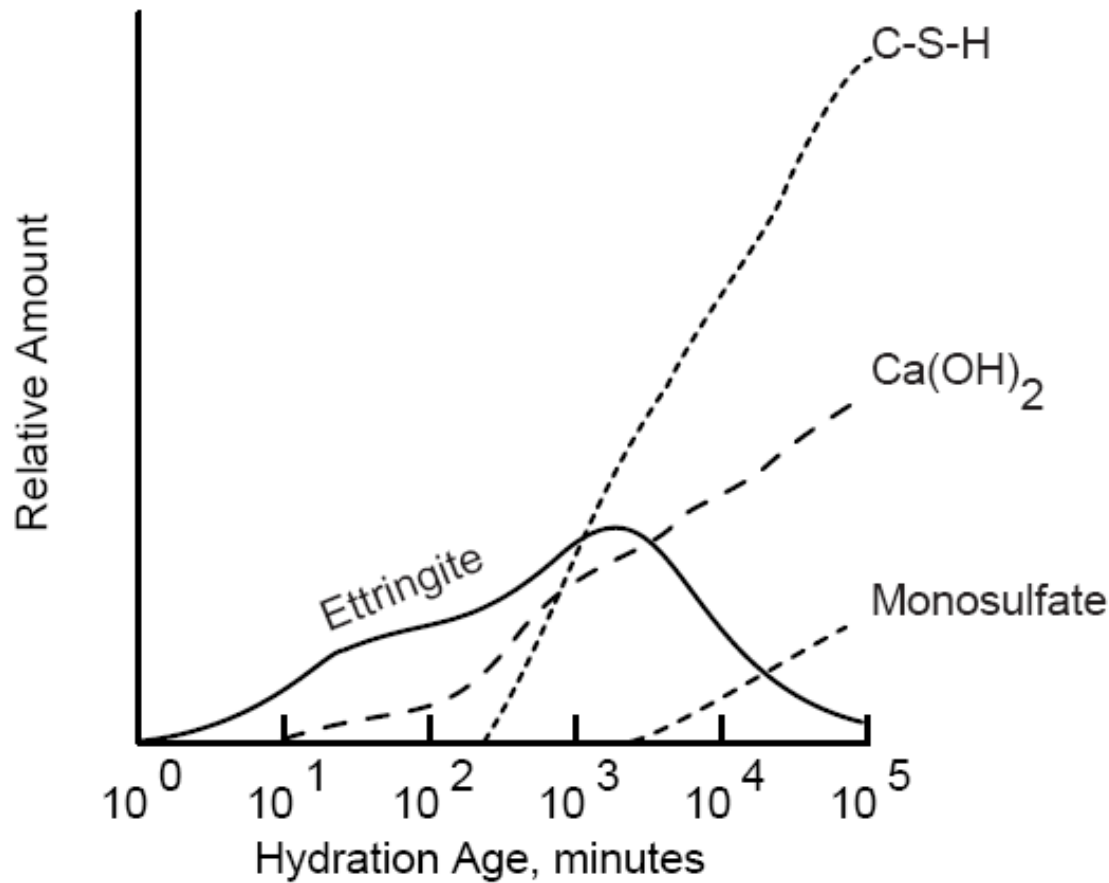


Conversão final em monossulfatos:

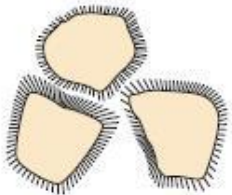
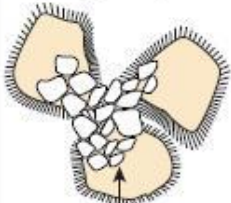
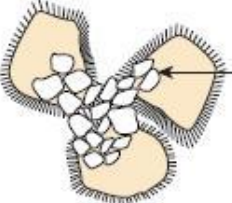


Hidratação e Pega

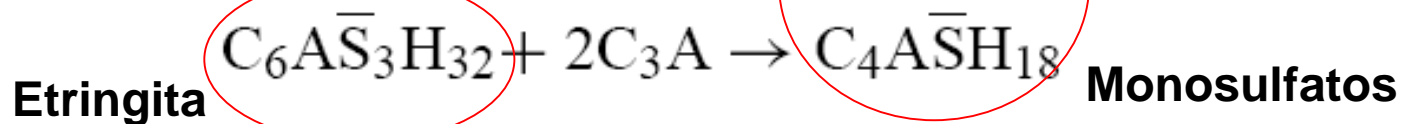
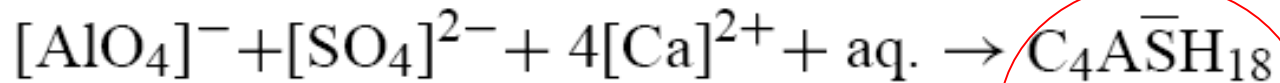
Curvas características da formação de produtos de hidratação em uma pasta de Cimento Portland Comum



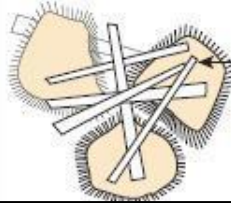
Pega rápida e pega instantânea

Reactivity of C ₃ A in Clinker	Availability of sulfate in solution	Hydration Age			
		< 10 min	10 - 45 min	1 - 2 hours	2 - 4 hours
High	Low	workable 	pega rápida 		
High	None or very low	pega instantânea 		C_4AH_{19} and $C_4A\bar{S}H_{18}$ in pores	pouca resistência final

Hidratação do C₃A na presença de pouco gesso: conversão direta em monossulfatos:



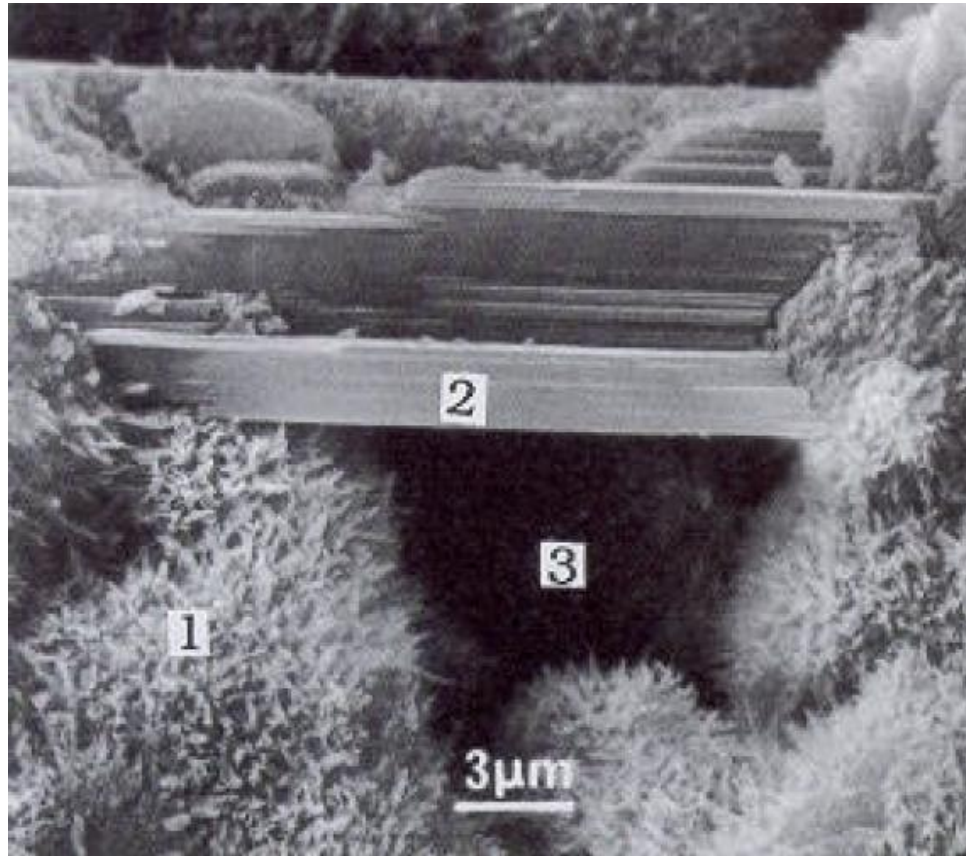
Hidratação e Pega

Reactivity of C_3A in Clinker	Availability of sulfate in solution	Hydration Age			
		< 10 min	10 - 45 min	1 - 2 hours	2 - 4 hours
Low	High	falsa pega 	cristalização de agulhas de gipsista nos poros		

Quando o C_3A do cimento é de baixa reatividade, como é o caso do cimento parcialmente hidratado ou cimentos carbonatados que tenham sido armazenados de forma inadequada, e ao mesmo tempo uma grande quantidade de gesso está presente no cimento, a solução irá conter uma baixa concentração de íons aluminato mas irá rapidamente tornar-se supersaturada com relação aos íons de cálcio e sulfato.

Esta situação vai levar à rápida formação de grandes cristais de gesso, com uma correspondente perda de consistência. O fenômeno, chamado de **falsa pega**, não está associado à grande despreendimento de calor e pode ser sanado através de vigorosa mistura da pasta de cimento com ou sem adição de água.

Hidratação e Pega

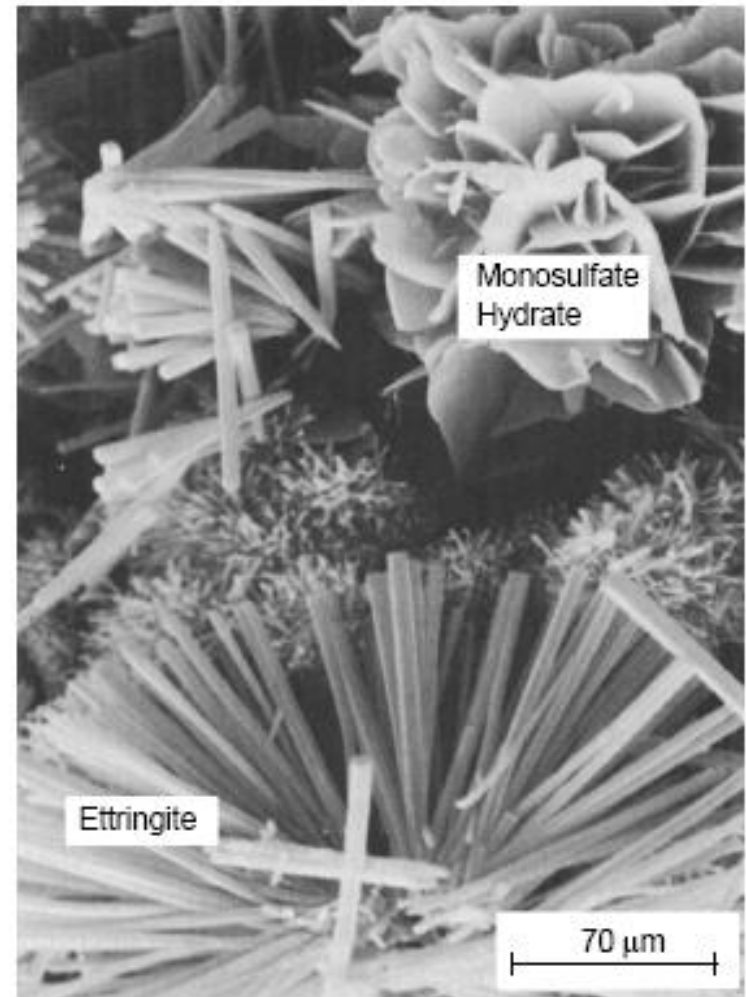


1) C-S-H

2) Gipsita

“Falsa Pega”

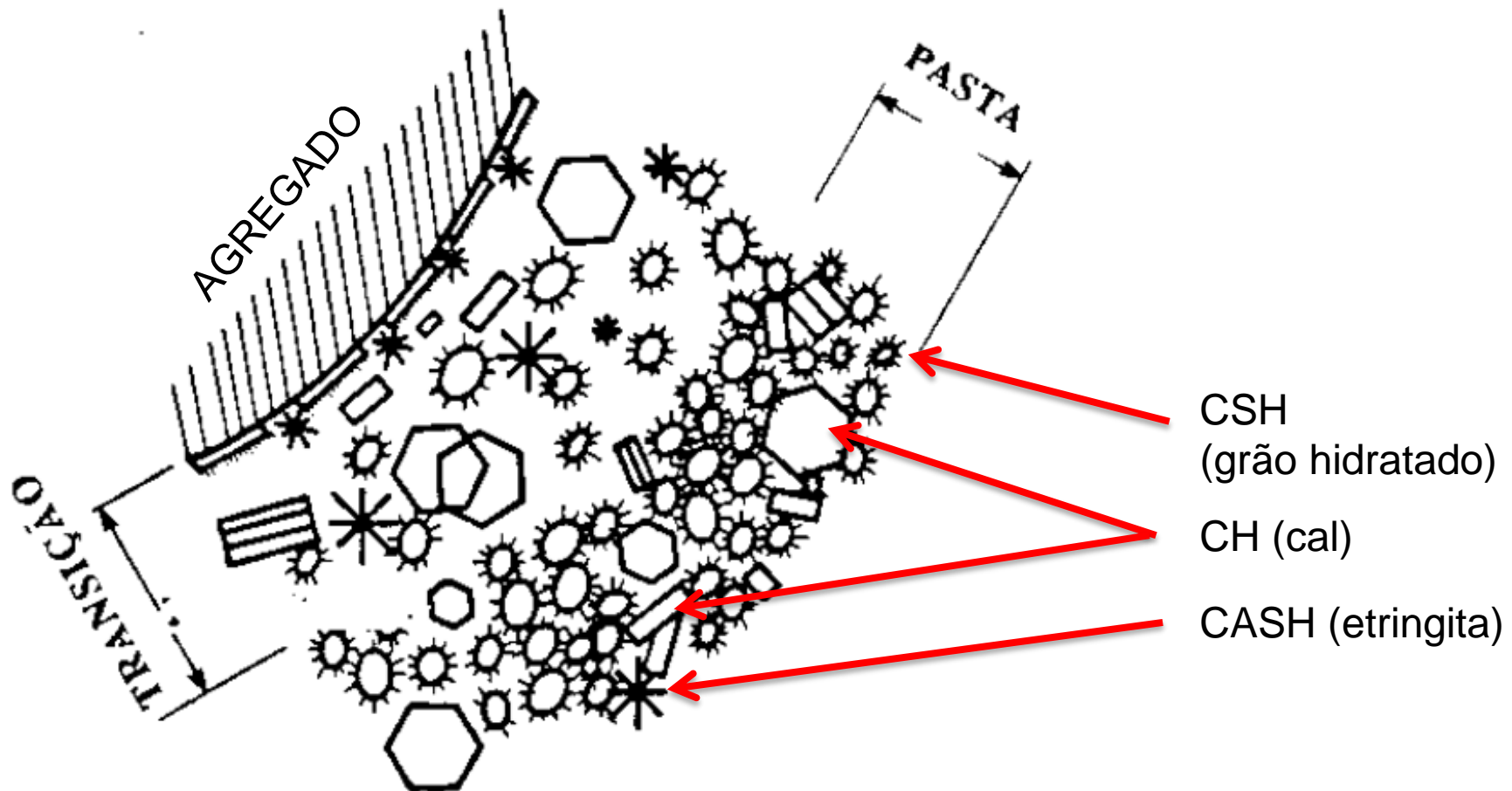
3) Vazio capilar



Ettringita e Monosulfato

Interface entre agregado e pasta de cimento

Efeitos de superfície, propiciam pasta com maior relação água-cimento na zona de transição

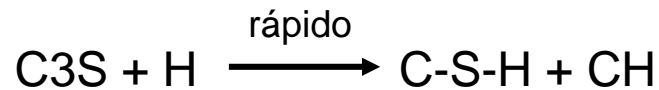


A reação pozolânica e sua importância

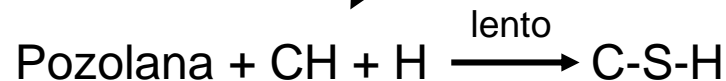
Origem: argamassa romana, obtida a partir do uso de cinzas vulcânicas oriundas da localidade italiana de **Pozzuoli**, nas imediações do Vesúvio.

Embora no início se referisse somente ao material encontrado perto de Pozzuoli, o termo passou a ser aplicado a outros depósitos de cinza vulcânica. Mais tarde, pozolana ou material pozolânico foi usado para designar qualquer material que possua propriedades similares às cinzas de Pozzuoli, indiferente de sua origem geológica.

Cimento Portland:

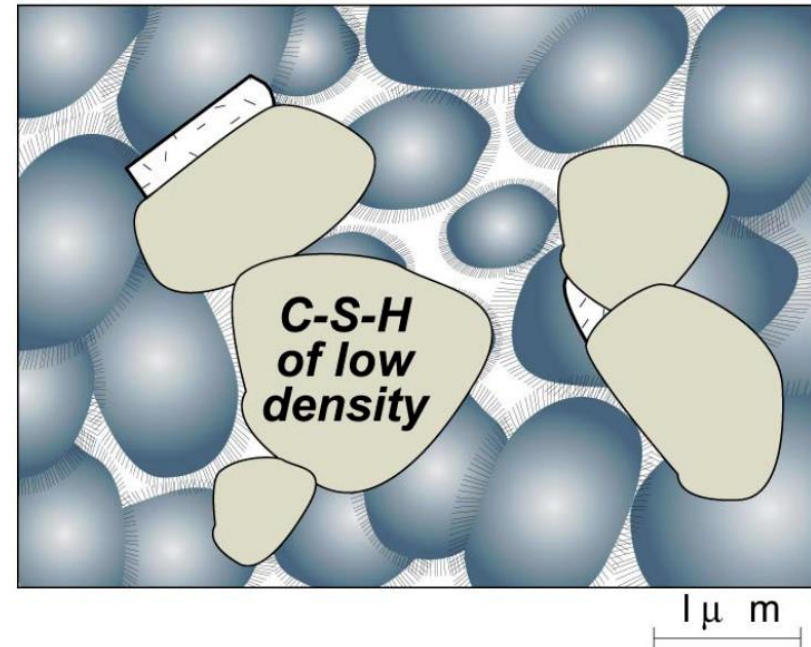
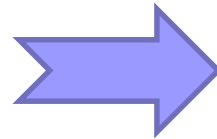
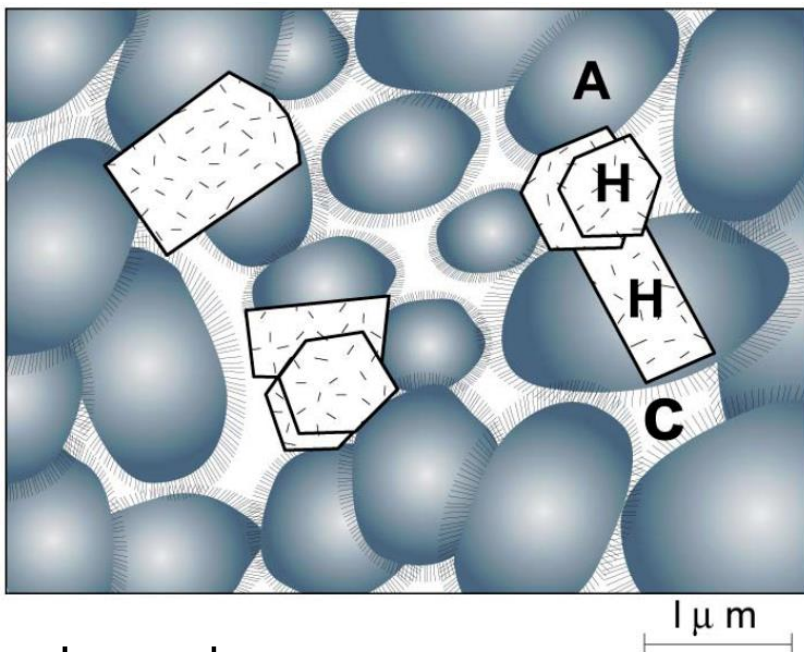


Cimento Portland Pozolânico:



Atividade Pozolânica

Formação de produtos da hidratação secundários, tendendo a **preencher os vazios capilares** com material de baixa densidade, ou **substituir os grandes cristais de CH** orientados por numerosos cristais pequenos não orientados,



Legenda:

A – CSH

H – cristais: CH, CAH, CASH

C – vazios

Materiais **Pozolânicos** (NBR 11172:1990)

São **materiais silicosos** ou **sílico-aluminosos** que possuem pouca ou nenhuma atividade aglomerante, mas que, quando **finamente moídos** e na presença de água, **fixam o hidróxido de cálcio** à temperatura ambiente, formando compostos com propriedades hidráulicas.

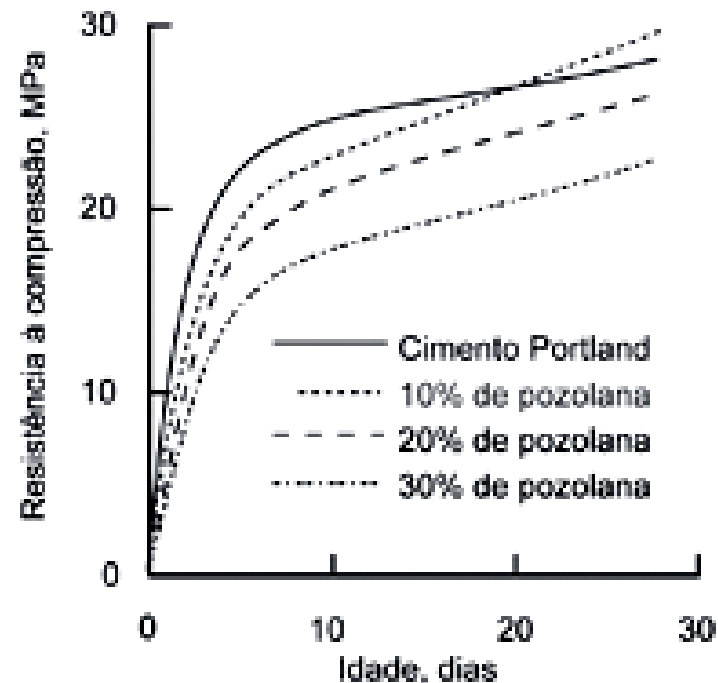
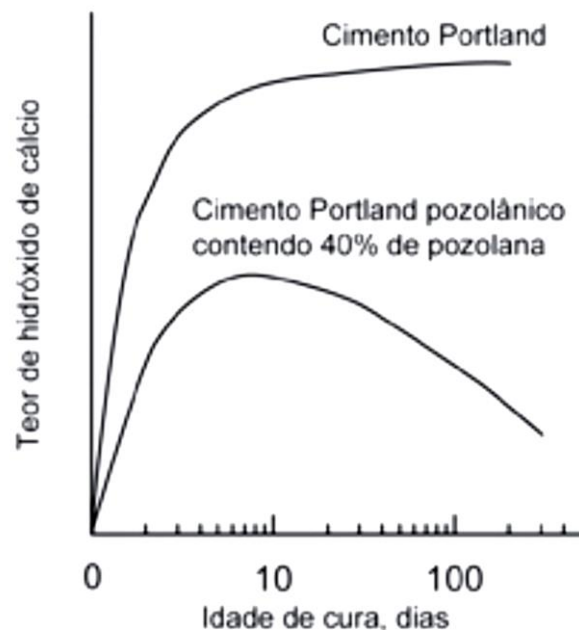
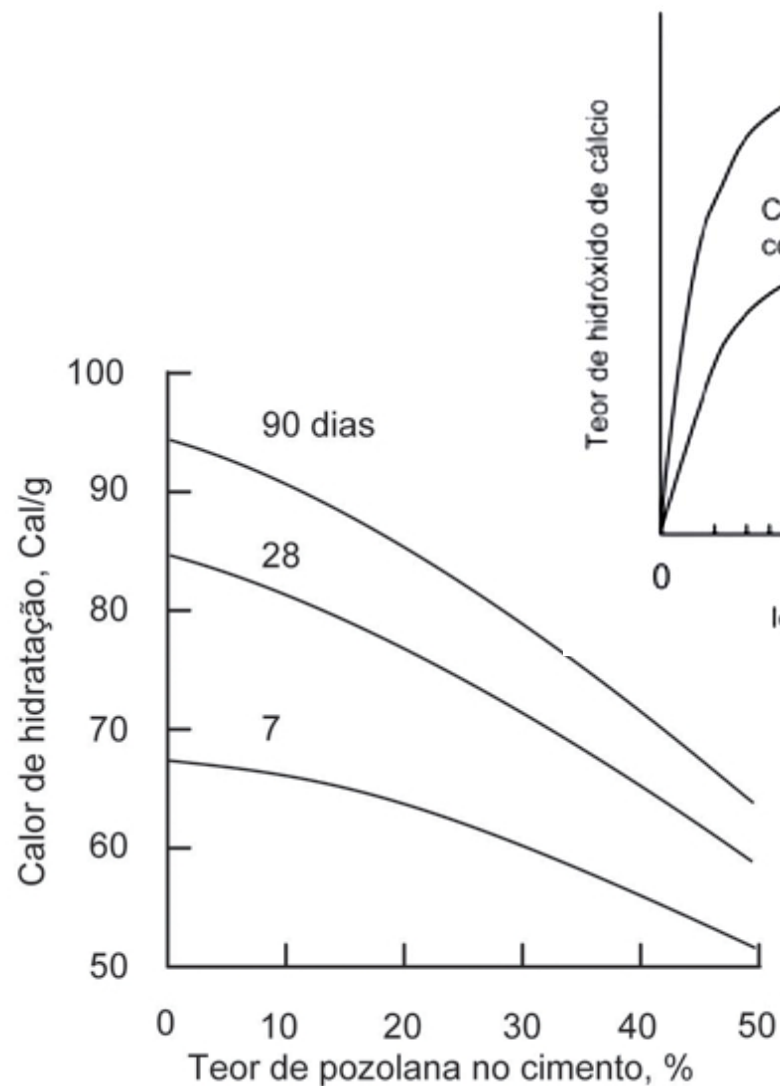
Pozolanas naturais

Material pozolânico de origem ígnea ou sedimentar, geralmente ácido, isto é, rico em materiais silicosos.

Pozolanas artificiais

Material pozolânico proveniente de tratamento térmico de determinadas argilas ou subprodutos industriais com atividades pozolânicas. Consideram-se como pozolanas artificiais as **argilas calcinadas**, cinzas volantes e outros materiais não tradicionais, tais como: escórias siderúrgicas ácidas, microssílicas, rejeito sílico-aluminoso de craqueamento do petróleo; cinzas silicosas de resíduos de alguns vegetais e de **rejeitos de carvão mineral**.

Materiais Pozolânicos: calor de hidratação, teor de CH e resistência a compressão



Escórias de alto-forno

As escórias de alto-forno são obtidas durante a produção de ferro-gusa nas indústrias siderúrgicas e se assemelham aos **grãos de areia**.

Antigamente, as escórias de alto-forno eram consideradas como um material sem maior utilidade, até ser descoberto que elas também tinham a propriedade de **ligante hidráulico** muito resistente, ou seja, que reagem em presença de água, desenvolvendo características aglomerantes de forma muito semelhante à do clínquer.

Essa descoberta tornou possível adicionar a escória de alto-forno à moagem do clínquer com gesso, guardadas certas proporções, e obter como resultado um tipo de cimento que, além de atender plenamente aos usos mais comuns, apresenta melhoria de algumas propriedades, como **maior durabilidade e maior resistência final**.

Contudo, as reações de hidratação das escórias são tão lentas que limitariam sua aplicação prática se agentes ativadores, químicos e físicos, não acelerassem o processo de hidratação.

A **cal** liberada durante a hidratação do clínquer é o principal ativador químico da escória quando esta é adicionada ao cimento, ao passo que a ativação física é conseguida pelo aumento da **finura** quando a escória é moída separada ou conjuntamente com o clínquer.

Tipos de Cimento Portland










SIGLAS	CP I	CP II	CP III	CP IV	CP V-ARI
TIPO	Cimento Comum	Cimento Composto	Cimento de Alto Forno	Cimento de Pozolana	Cimento de Alta Resist. Inicial
OBS:	-	$C_3A < 8\%$ $C_3A + C_3S < 58\%$	+ escória granulada de alto forno (35 a 70%)	Pozolana: 15 a 50% $C_3A < 7\%$ $C_3A + C_3S < 42\%$ ↓ calor de hidratação	mínimo de resistência à compressão aos 7 dias de idade, ou seja, 34,0 MPa.

Tipos de Cimento Portland

CP I	Cimento Portland comum
CP I-S	Cimento Portland comum com adição
CP II-E	Cimento Portland composto com escória de alto-forno
CP II-Z	Cimento Portland composto com pozolana
CP II-F	Cimento Portland composto com fíler
CP III	Cimento Portland de alto-forno
CP IV	Cimento Portland pozolânico
CP V-ARI	Cimento Portland alta resistência inicial
CP V-ARI RS	Cimento Portland de alta resistência inicial resistente a sulfatos

Tipos de Cimento Portland: composição

COMPOSIÇÃO

Tipo	Classes Resist. (MPa)	Composição (%)				Norma Brasileira
		Clínquer + Gesso	Escória Alto-forno	Pozolana	Fíler	
 CP I	25 32 40	100		0		NBR 5732
 CPI-S		95-99		1-5		
 CP II-E	25 32 40	56-94	6-34	0	0-10	NBR 11578
 CP II-Z	25 32 40	76-94	0	6-14	0-10	
 CP II-F	25 32 40	90-94	0	0	6-10	
 CP III	25 32 40	25-65	35-70	0	0-5	NBR 5735
 CP IV	25 32 40	45-85	0	15-50	0-5	NBR 5736
 CP V-ARI	-	95-100	0	0	0-5	NBR 5733
 CP V-ARI RS	-	*	*	*	0-5	NBR 5737

* CP V-ARI RS admite adição de escória ou material pozolânico, porém a NBR-5737 (Cimentos Portland resistentes a sulfatos) não fixa limites.

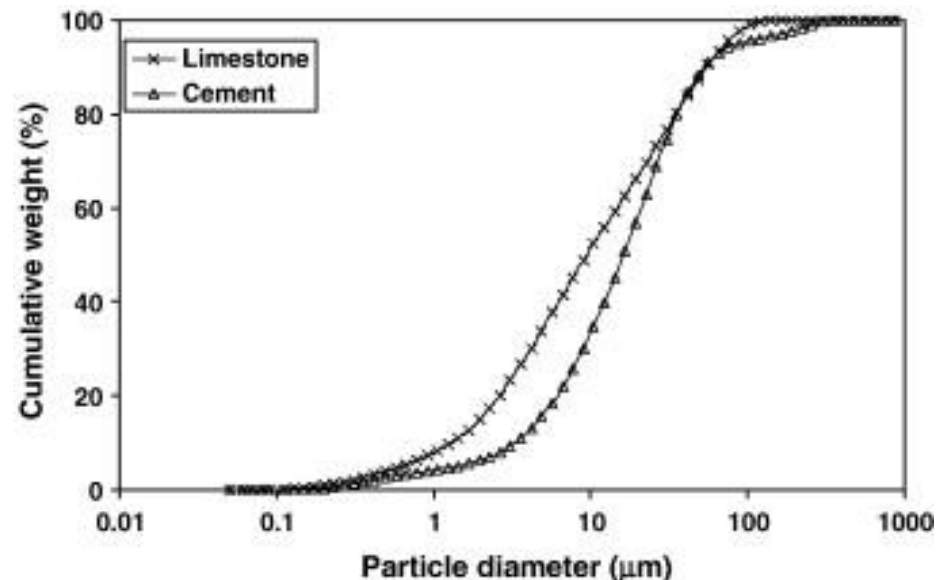
Cimento Portland Composto com fíler: **CP II-F**

NBR 11578: Cimento Portland com teor de **6 a 10% de materiais carbonáticos**

Materiais carbonáticos: rochas moídas apresentando carbonato de cálcio em sua constituição;

torna os concretos e argamassas mais **trabalháveis**, porque as partículas desses materiais moídos têm dimensões adequadas para se alojar **entre os grãos** ou partículas dos demais componentes do cimento, funcionando como “**lubrificante**”.

Granulometria

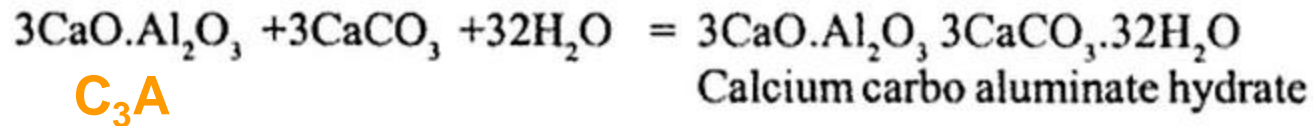


Ref: Phase distribution and microstructural changes of self-compacting cement paste at elevated temperature, Ye *et al.*, 2007.

Cimento Portland Composto com fíler: **CP II-F**

Formação do Carboaluminato de Cálcio:

na presença de C_3A , o filler calcáreo formaria o carboaluminato de cálcio hidratado, mais resistente que o C_3A
⇒ hipótese atualmente rejeitada



“The fact that limestone powder does not participate in the chemical reaction can be confirmed both from thermal analysis and BSE image analysis. However, limestone powder acts as an **accelerator during early cement hydration.**”

“O filler atua como nucleador para precipitação de fases hidratadas”

Cimento Portland Composto com fíler: **CP II-F**

Resistência a sulfatos:

“a low proportion of limestone filler - LF (<10%) causes **no significant changes** in sulfate resistance of parent portland cement, while a large proportion (>15%) may worsen sulfate performance.”

Ref: Sulfate attack on cementitious materials containing limestone filler — A review, Irassar, E.F., 2009.

Resistência do concreto:

“ An analysis based on Powers’ model has suggested that many currently produced **low w/cm concretes** offer a viable opportunity for limestone replacement of cement, at replacement levels well above the current 5% allowed for in the ASTM C 150 specification. Experimental results indicate compressive strength **decreases on the order of 7%** for a replacement level of 10% and on the order of 12% for a 20% replacement level. If critical to performance (specifications), these strength losses could be **compensated for by a slight reclusion in w/cm** for the concretes containing the limestone filler.

Ref: Limestone filler conserve cement — Part I, Bentz, Irassar, Bucher, Weiss, 2009.

Cimento Portland: Classes de Resistência

Os cimentos Portland são definidos nas três classes apresentadas na Tabela 5, segundo a resistência à compressão obtida aos 28 dias de idade, conforme método descrito na NBR 7215.

Tabela 5 - Classe de resistência do cimento Portland composto

Classe de resistência	Resistência à compressão aos 28 dias de idade (MPa)	
	Limite inferior	Limite superior
25	25,0	42,0
32	32,0	49,0
40	40,0	-

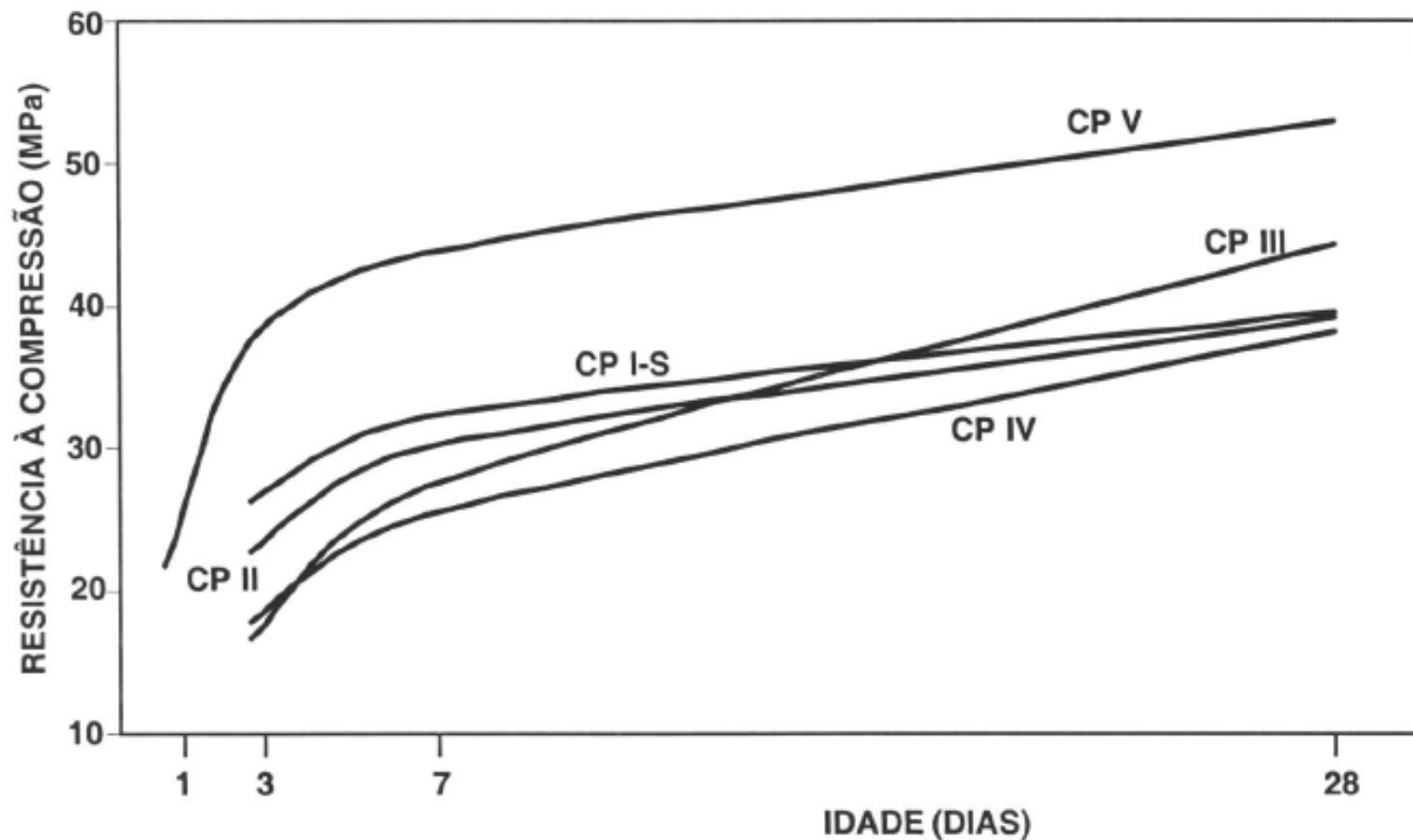
As resistências à compressão devem ser objeto de um controle estatístico, dentro da hipótese de uma distribuição gaussiana, assegurando-se os limites indicados na Tabela 5, com **97% de probabilidade**, isto é, a probabilidade do limite inferior não ser atingido é de 3%, assim como do limite superior ser superado é, também, de 3%.

Cimento Portland: **Classes de Resistência**

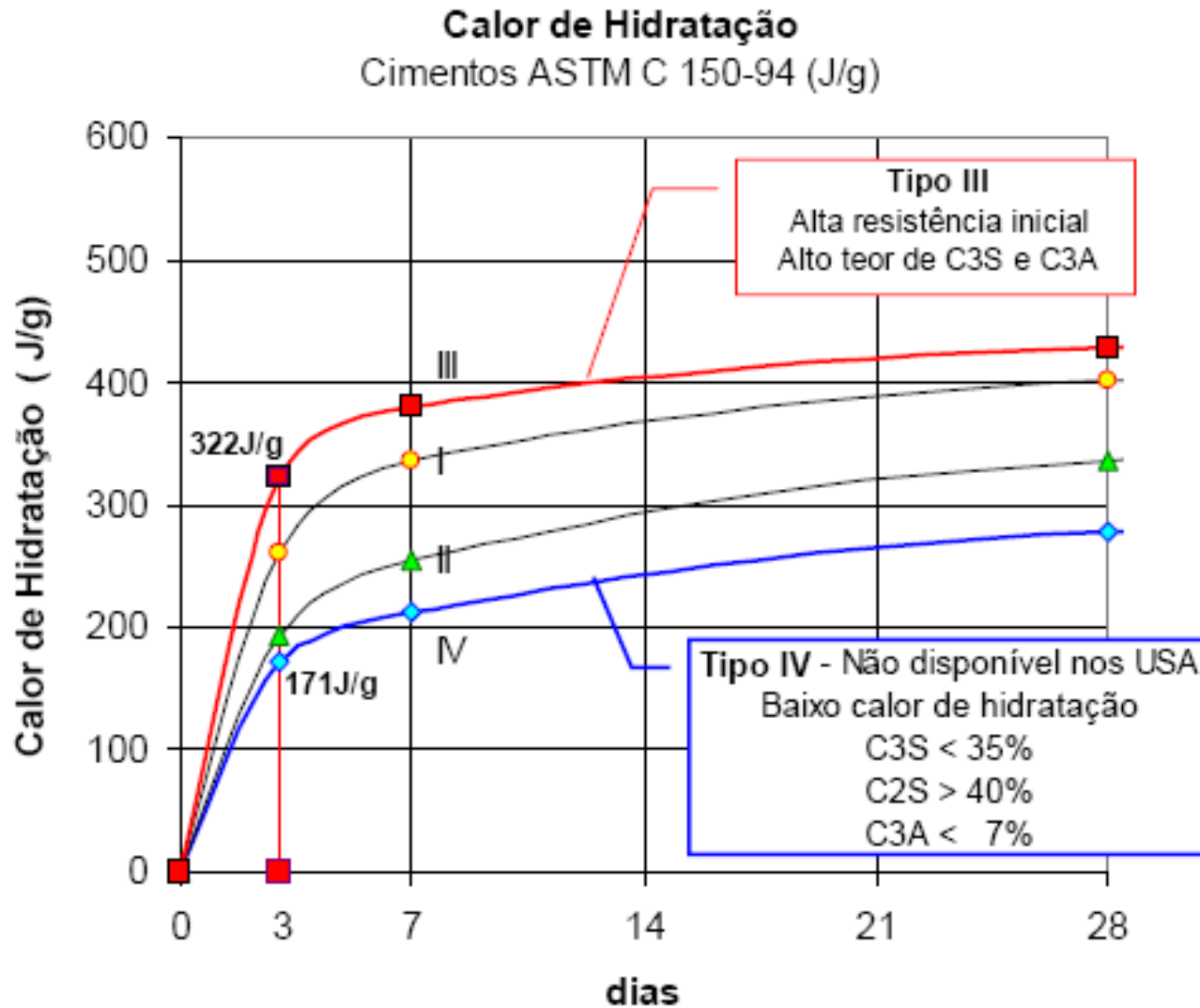
NBR 7215:

- Corpos-de-prova cilíndricos de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura
- Argamassa composta de uma parte de cimento, três de areia normalizada, em massa, e com relação água/cimento de 0,48.
- A argamassa é preparada por meio de um misturador mecânico e compactada em um molde por um procedimento normalizado.
- O certificado de ensaio deve consignar quatro resistências relativas a 04 CP, a resistência média e o desvio relativo máximo, em cada idade.
- O desvio relativo máximo não pode ser superior a 6%.
- O resultado final, em cada idade, é a resistência média.

Tipos de Cimento Portland: resistência a compressão



Tipos de Cimento Portland x Calor de Hidratação
























































































Propriedade	Tipo de cimento portland						
	Comum e Composto	Alto-Forno	Pozolânico	Alta Resistência Inicial	Resistente aos Sulfatos	Branco Estrutural	Baixo Calor de Hidratação
Resistência à compressão	Padrão	Menor nos primeiros dias e maior no final da cura	Menor nos primeiros dias e maior no final da cura	Muito maior nos primeiros dias	Padrão	Padrão	Menor nos primeiros dias e padrão no final da cura
Calor gerado na reação de hidratação	Padrão	Menor	Menor	Maior	Padrão	Maior	Menor
Impermeabilidade	Padrão	Maior	Maior	Padrão	Padrão	Padrão	Padrão
Resistência aos agentes agressivos (água do mar e esgotos)	Padrão	Maior	Maior	Menor	Maior	Menor	Maior
Durabilidade	Padrão	Maior	Maior	Padrão	Maior	Padrão	Maior

Tipos de Cimento Portland: aplicações

 **IDEAL**

 **NEUTRO**

 **NÃO RECOMENDADO**

APLICAÇÕES	TIPO E CLASSE DO CIMENTO				
	CP II-F-32	CP II-Z-32	CP IV-32	CP V-ARI	CP V-ARI-RS
Argamassa armada					
Argamassa de assentamento e revestimento					
Argamassa e concretos para meios agressivos					
Concreto auto-adensável					
Concreto com agregados reativos					
Concreto magro para passeios e revestimentos					
Concreto massa					
Concreto p/ desforma rápida, cura aspersão ou química					
Concreto para desforma rápida, cura térmica					
Concreto protendido pós-tensionado					
Concreto protendido pré-tensionado					
Concreto simples ou armado					
Elementos pré-moldados, cura acelerada					
Elementos pré-moldados, cura convencional					
Pavimentos de concreto simples ou armado					
Pisos industriais de concreto					
Solo - cimento					

Propriedades do Cimento Portland

Propriedades do Cimento

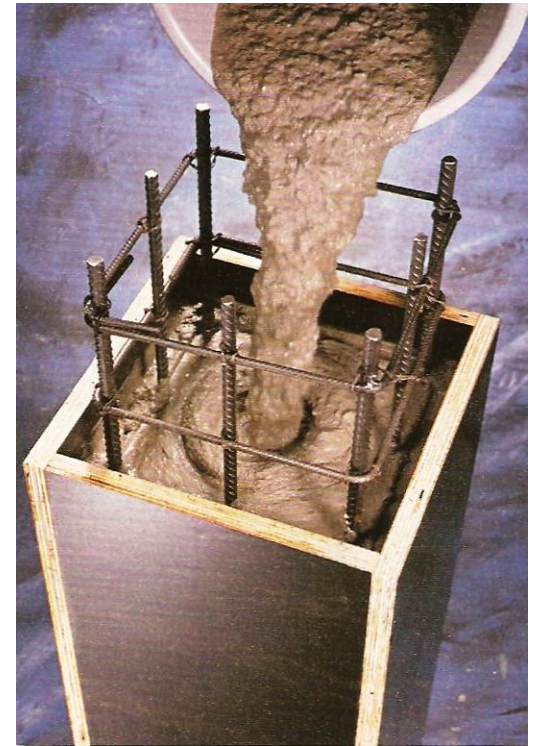
- Massa específica
- Finura
- Pega

Implicações desejáveis para o Concreto Fresco

- Trabalhabilidade

Implicações desejáveis para o Concreto Endurecido

- Resistência mecânica
- Durabilidade
- Baixa permeabilidade
- Reduzida retração



Propriedades do Cimento Portland

Finura

O processo de hidratação do cimento inicia-se pela superfície das partículas e, assim, a área específica do material constitui um importante parâmetro desse processo.

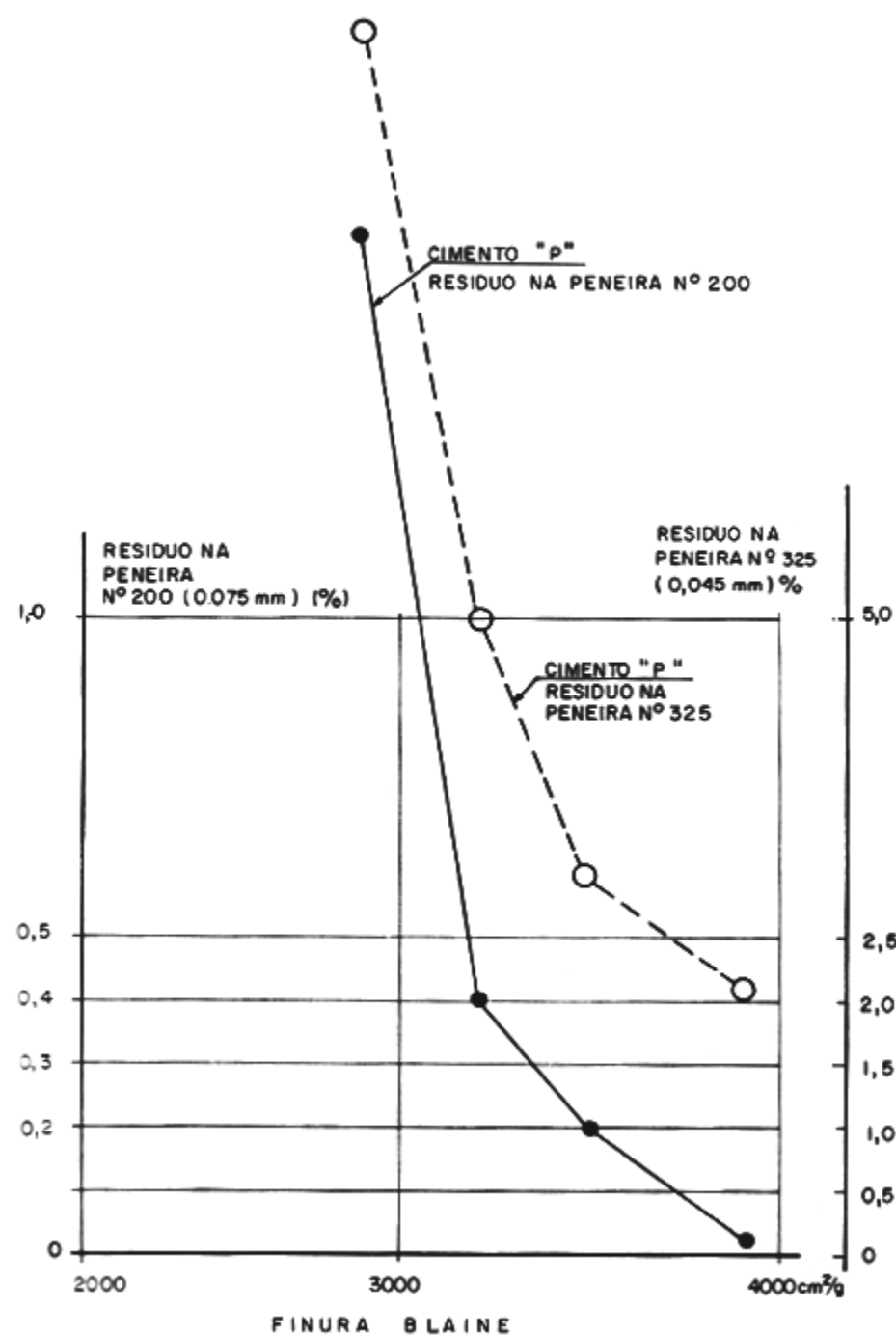
Quanto **mais fino** estiver o cimento,
maior será a velocidade de hidratação e,
consequentemente, **maior o calor gerado**.

- Área específica Blaine: método de permeabilidade padrão;
- Peneiramento pela peneira #200 ($75\mu\text{m} = 0,075\text{mm}$)

Finura Blaine x peneira #200

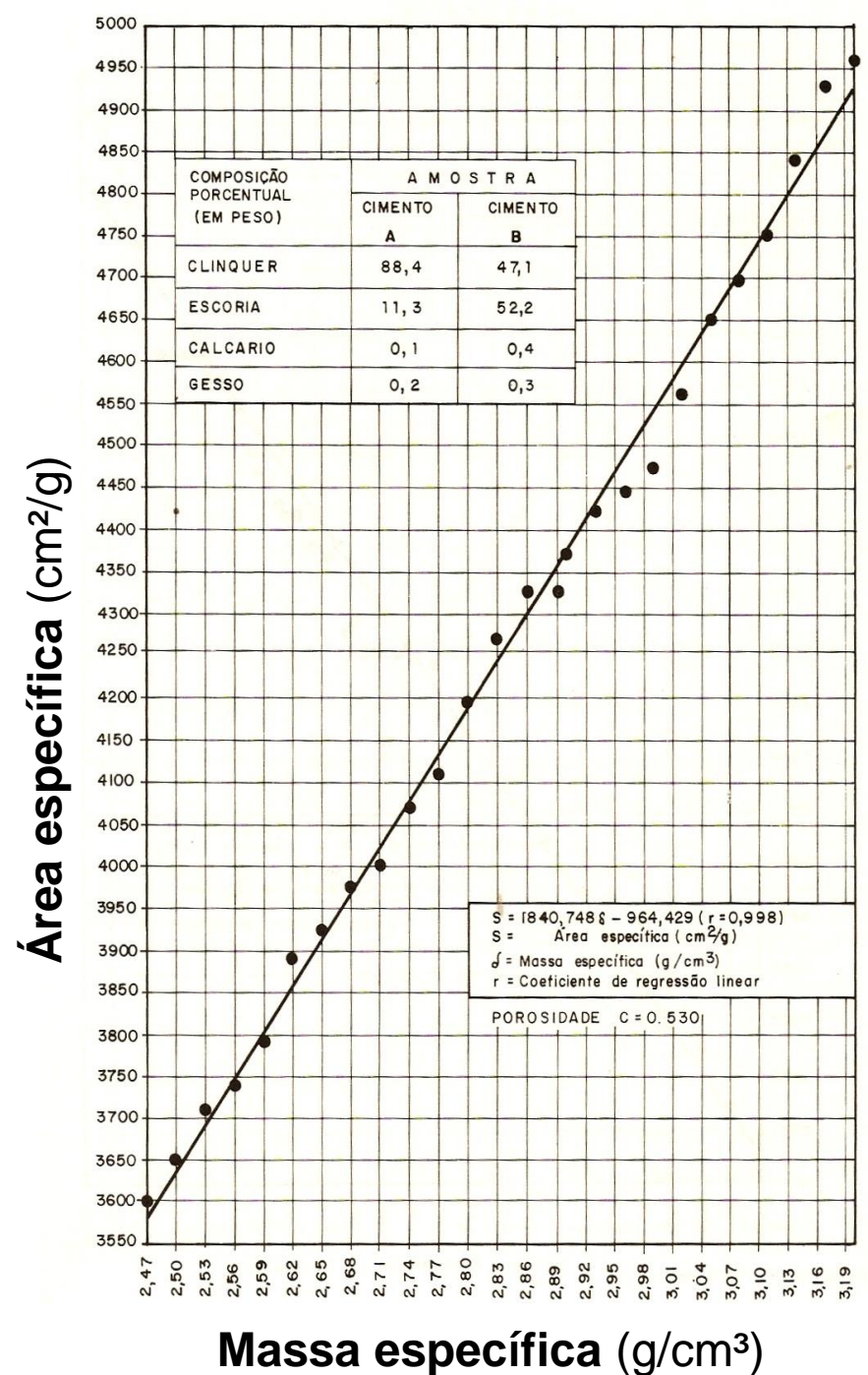
Correlação entre Finura Blaine e o retido na peneira #200

> FINURA \Rightarrow < retido na peneira



Finura x massa específica

Varição da Finura Blaine (área específica – cm^2/s) em função da massa específica.



Propriedades do Cimento Portland

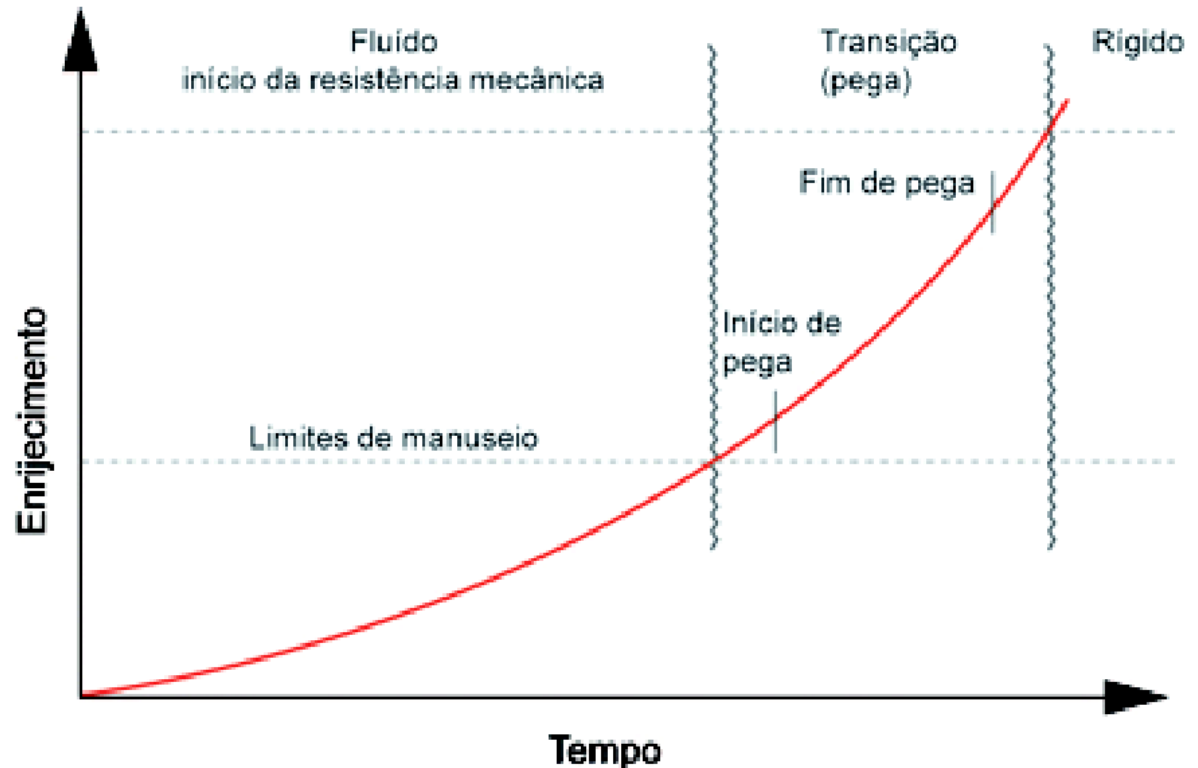
Pega: solidificação da pasta plástica de cimento

Início de pega:

ponto em que a pasta se torna não-trabalhável

Fim de pega:

pasta solidificada e rígida



Enrijecimento: perda de consistência da pasta plástica devida à perda gradual da água livre por ocasião da reação de hidratação. Associado com o fenômeno de perda de abatimento no concreto.

Ensaio de Início e Fim de Pega

NBR NM 65:2003 - Determinação do tempo de pega

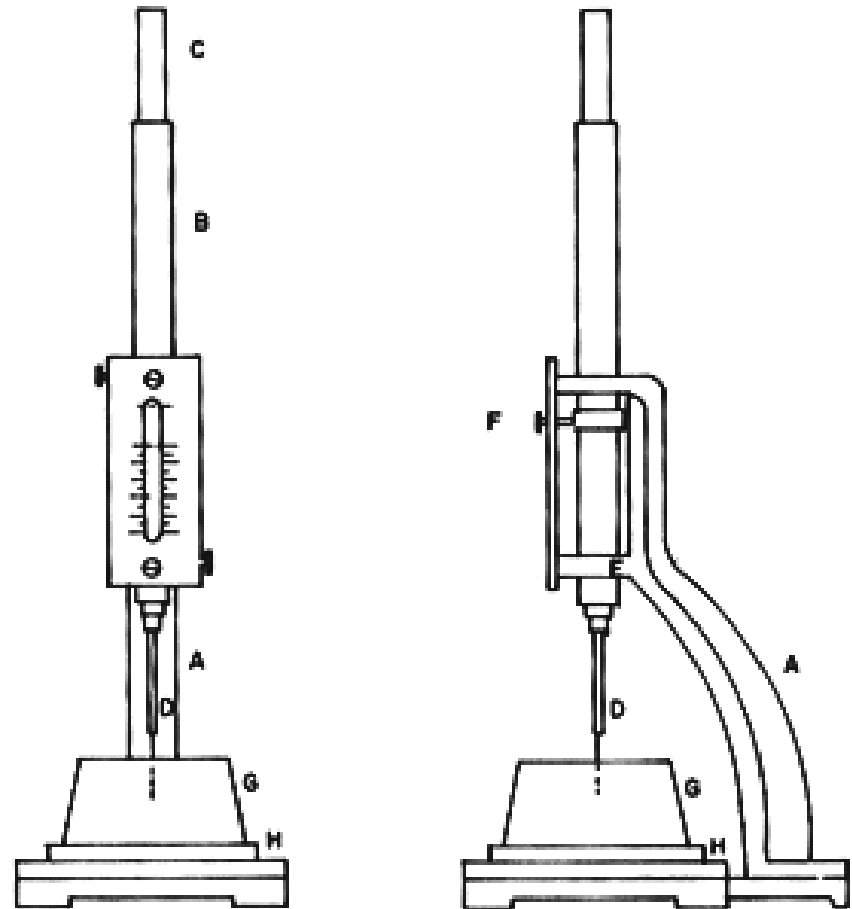
Quase universalmente os tempos de início e fim de pega são determinados pelo **aparelho de Vicat**, que mede a resistência de uma pasta de cimento de consistência padrão à penetração de uma agulha de 1mm de diâmetro sob uma carga total de 300g.

Início da pega:

a agulha penetra na pasta de cimento penetra na pasta até uma distância de (4 ± 1) mm da placa base.

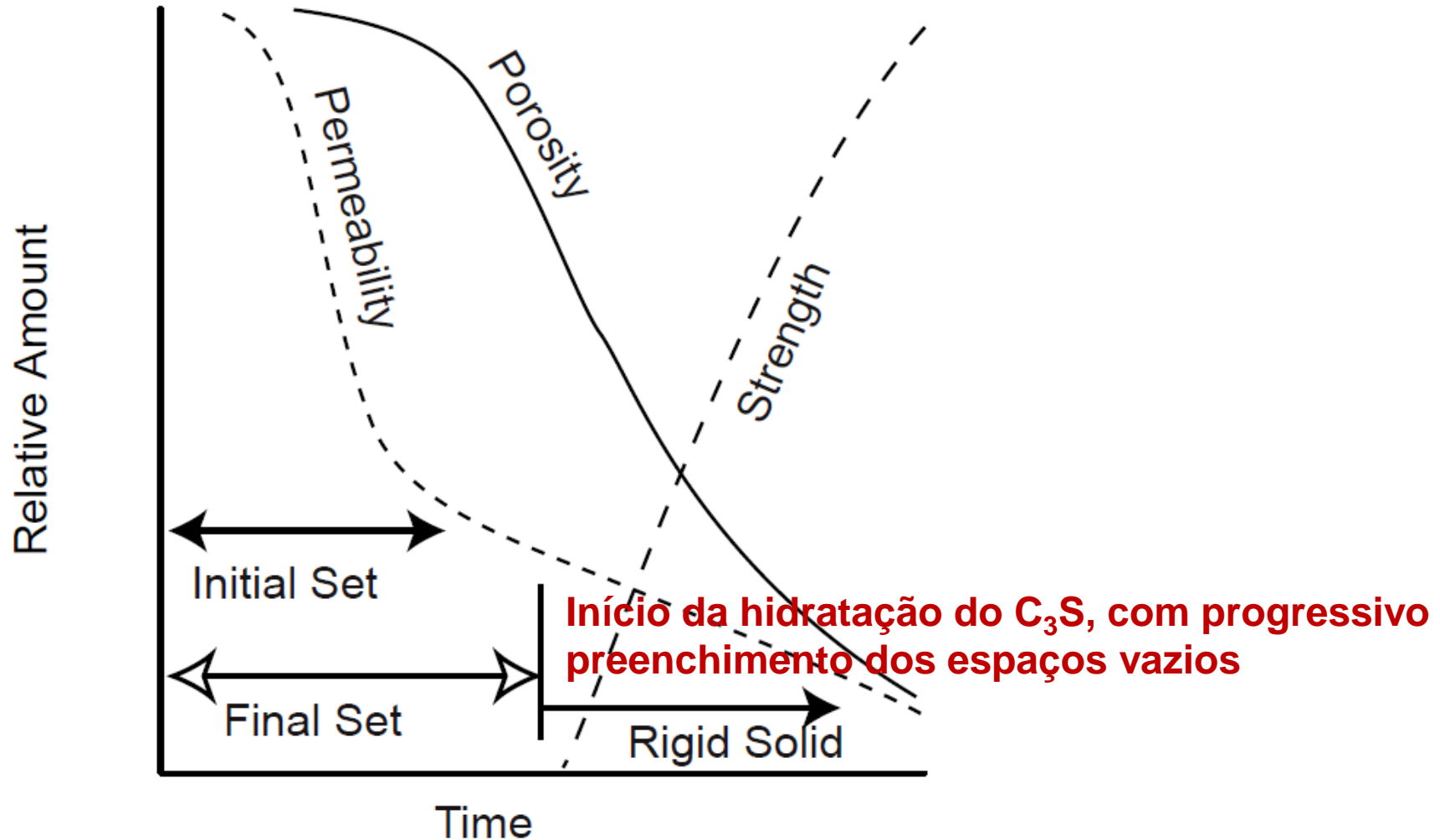
Fim da pega:

a agulha penetra 0,5 mm na pasta, fazendo uma impressão na superfície da pasta, mas não penetra.












Aparelho e agulha de Vicat

O Fim da Pega (set)



Tipos de Cimento Portland: finura e pega

EXIGÊNCIAS FÍSICAS

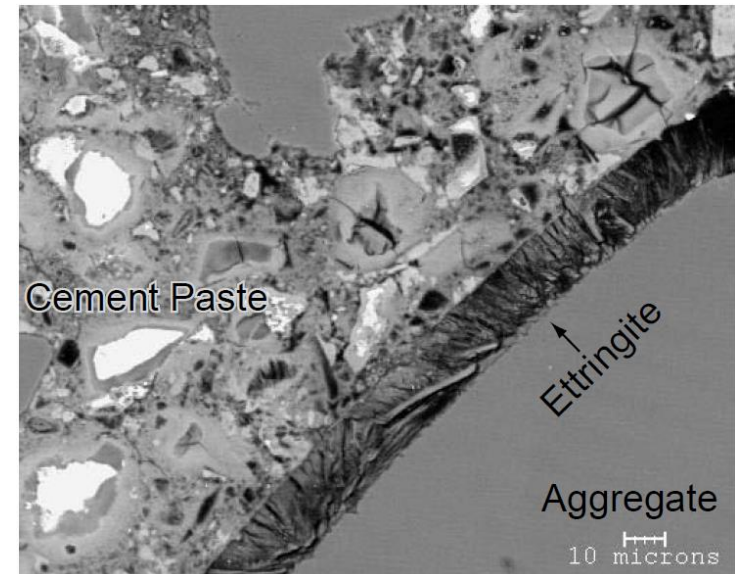
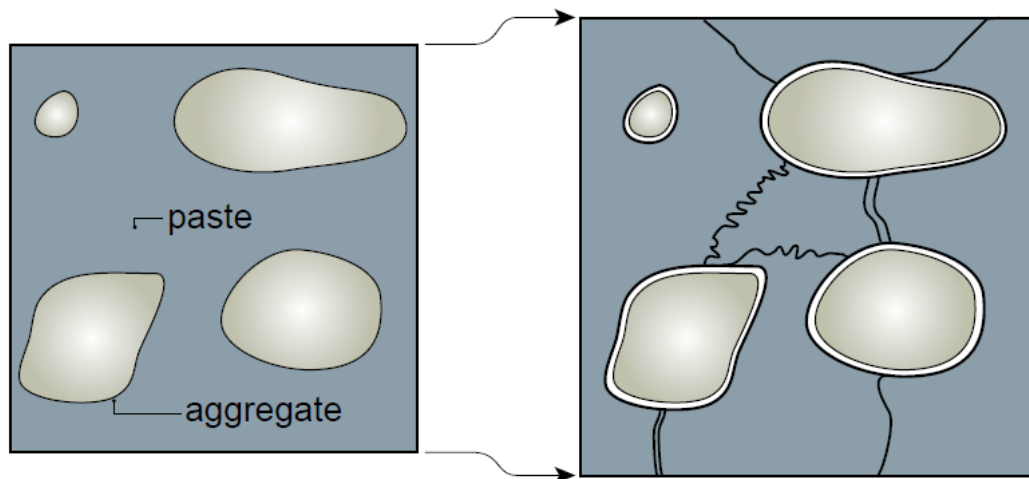
Tipos		Finura		Tempo de pega	
		# 200 (75 um)	Blaine (cm ² /g)	Início (h)	Fim (h)
	CP I	≤ 12,0	≥ 2400	≥ 1	≤ 10
	CP I-S	≤ 12,0 ≤ 10,0	≥ 2600 ≥ 2800		
	CP II-E	≤ 12,0 ≤ 12,0 ≤ 10,0	≥ 2400	≥ 1	≤ 10
	CP II-Z		≥ 2600		
	CP II-F		≥ 2800		
	CP III	≤ 8,0	-	≥ 1	≤ 12
	CP IV	≤ 8,0	-	≥ 1	≤ 12
	CP V-ARI	≤ 6,0	≥ 3000	≥ 1	≤ 10
	CP V-ARI RS	≤ 6,0	≥ 3000	≥ 1	≤ 10

Tipos de Cimento Portland: resistência à compressão

Tipos	Resistência à compressão			
	1 Dia (MPa)	3 Dias (MPa)	7 Dias (MPa)	28 Dias (MPa)
CP I	-	≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0
CP I-S		≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0
		≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 40,0
CP II-E	-	≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0
CP II-Z		≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0
CP II-F		≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 40,0
CP III	-	≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0
		≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0
		≥ 12,0	≥ 23,0	≥ 40,0
CP IV	-	≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0
		≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0
CP V-ARI	≥ 14,0	≥ 24,0	≥ 34,0	-
CP V-ARI RS	≥ 11,0	≥ 24,0	≥ 34,0	-

Cimento Portland Resistente a Sulfatos

Todos os sulfatos são potencialmente danosos ao concreto, reagindo com a pasta de cimento hidratado. No ataque, os íons sulfatos reagem principalmente com o hidróxido de cálcio Ca(OH)_2 e o aluminato tri-cálcico C_3A , originando **nova etringita (etringita tardia)** e outros cristais.



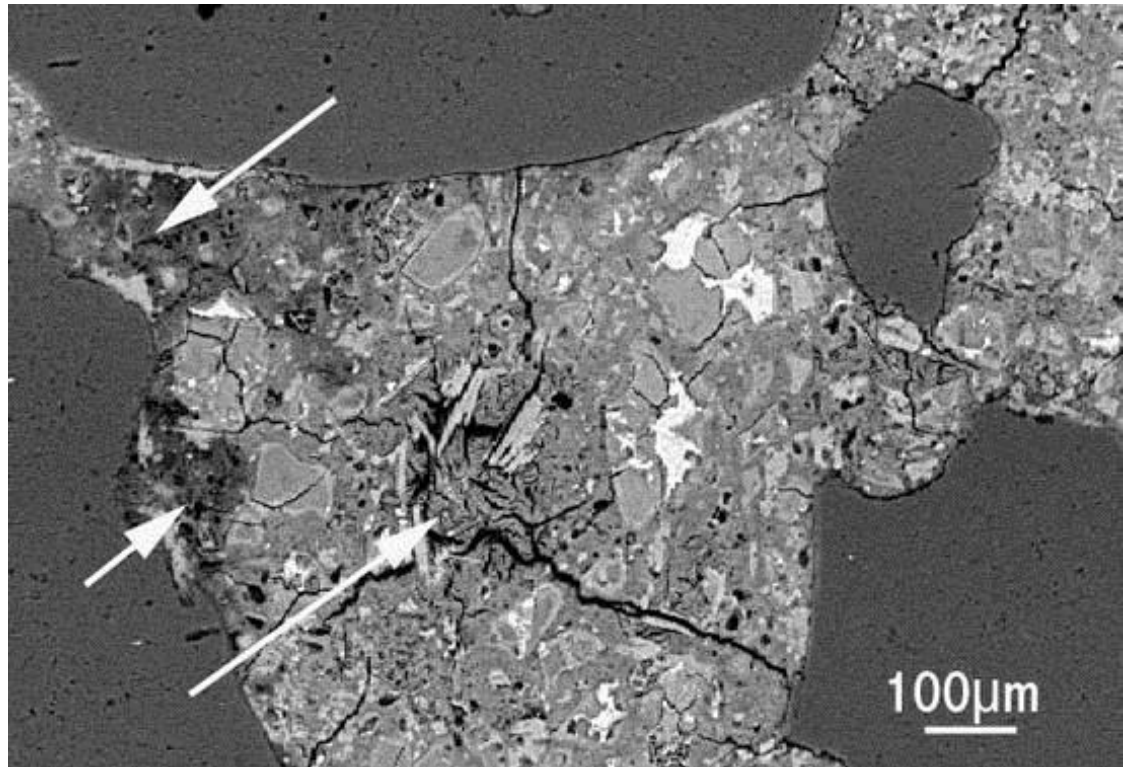
Expansão na pasta causada pela formação de etringita tardia originando fissuras na pasta e na interface pasta-agregado.

Cimento Portland Resistente a Sulfatos

O ataque produzido por sulfatos é devido a sua **ação expansiva**, que pode gerar tensões capazes de **fissurá-lo**.

Quando o concreto fissura, sua **permeabilidade** aumenta e a água agressiva penetra mais facilmente em seu interior, acelerando portanto, o processo de deterioração.

Estabelecida a fissuração, a **deterioração** do concreto ocorre então por **erosão** ou perda de constituintes sólidos da massa.



Cimento Portland Resistente a Sulfatos

Os sulfatos podem ter origem nos materiais que o compõe o concreto ou no contato do concreto com os solos ou águas ricas com este agente.

Os sulfatos podem estar na **água de amassamento**, nos **agregados** ou **no próprio cimento**. Os sulfatos podem penetrar desde o exterior por difusão iônica ou por sucção capilar

A presença de sulfatos solúveis, principalmente aqueles de sódio, cálcio e magnésio, é comum em áreas de operação de minas e indústrias químicas. Sódio e cálcio são os sulfatos mais comuns nos solos, águas e processos industriais. Sulfatos de magnésio são mais raros, porém mais destrutivos.

Os **cimentos portland resistentes aos sulfatos** são aqueles - como o próprio nome diz - que têm a propriedade de oferecer resistência aos meios agressivos sulfatados, tais como os encontrados nas redes de esgotos de águas servidas ou industriais, na água do mar e em alguns tipos de solos.

Cimento Portland CP - RS

De acordo com a norma NBR 5737, quaisquer um dos cinco tipos básicos (CP I, CP II, CP III, CP IV e CP V-ARI) podem ser considerados resistentes aos sulfatos, desde que obedecem a pelo menos uma das seguintes condições:

- teor de aluminato tricálcico (**C3A**) do clínquer e teor de adições carbonáticas de, no máximo, 8% e 5% em massa, respectivamente.
- cimentos do tipo **alto-forno** que contiverem entre 60% e 70% de escória granulada de alto-forno, em massa.
- cimentos do tipo **pozolânico** que contiverem entre 25% e 40% de material pozolânico, em massa.
- cimento que tiverem antecedentes de resultados de ensaios de longa duração ou de obras que comprovem resistência aos sulfatos.

Observações sobre ambientes agressivos

ACI Building Code 318 (Estruturas submetidas à exposição da água do mar):

- Teor máximo de 8% de C3A \Rightarrow fator água cimento: $\leq 0,5$
- Teor máximo de 10% de C3A \Rightarrow fator água cimento: $\leq 0,4$

Condições de exposição em função da agressividade	Sulfato solúvel no solo (SO ₄) % em massa	Sulfato solúvel (SO ₄) presente na água ppm	a/C _{máximo}	f _{ck} , mínimo (agregado normal ou leve) MPa
Fraca	0,00 a 0,10	0 a 150	--	--
Moderada**	0,10 a 0,20	150 a 1 500	0,50	35
Severa***	Acima de 0,20	Acima de 1500	0,45	40

*Baixa relação água/cimento ou elevada resistência podem ser necessárias para a obtenção de baixa permeabilidade do concreto ou proteção contra a corrosão da armadura ou proteção a processos de congelamento e degelo.

**Água do mar.

***Para condições severas de agressividade, devem ser obrigatoriamente usados cimentos resistentes a sulfatos (NBR 5737).

Cimento Portland Branco - CPB

O **cimento portland branco** é um tipo de cimento que se diferencia dos demais pela coloração. A cor branca é conseguida a partir de matérias-primas com baixos teores de óxidos de ferro e manganês e por condições especiais durante a fabricação, especialmente com relação ao resfriamento e à moagem do produto.

No Brasil o cimento portland branco é regulamentado pela norma NBR 12989, sendo classificado em dois subtipos: *cimento portland branco **estrutural*** e *cimento portland branco **não estrutural***.

Cimento portland branco estrutural é aplicado em concretos brancos para fins arquitetônicos, possuindo as classes de resistência 25, 32 e 40, similares às dos outros tipos de cimento.

Já o cimento portland branco não estrutural não tem indicação de classe e é aplicado, por exemplo, no rejuntamento de azulejos e na fabricação de ladrilhos hidráulicos, isto é, em aplicações não estruturais, sendo esse aspecto ressaltado na sacaria para evitar uso indevido por parte do consumidor.

Cimento Portland Branco - CPB

Tipo de cimento portland	Código de identificação (sigla + classe)	Composição (% em massa)		Norma Brasileira
		Clínquer branco + gesso	Material carbonático	
Branco estrutural	CPB-25 CPB-32 CPB-40	100-75	0-25	NBR 12989
Branco não estrutural	CPB	74-50	26-50	

Cimentos Portland de Baixo Calor de Hidratação

O aumento da temperatura no interior de grandes estruturas de concreto devido ao calor desenvolvido durante a hidratação do cimento pode levar ao aparecimento de fissuras de origem térmica, que podem ser evitadas se forem usados cimentos com taxas lentas de evolução de calor, os chamados *cimentos portland de baixo calor de hidratação*.

Os cimentos portland de baixo calor de hidratação, de acordo com a NBR 13116, são aqueles que geram até 260 J/g e até 300 J/g aos 3 dias e 7 dias de hidratação, respectivamente, e podem ser qualquer um dos tipos básicos. O ensaio é executado de acordo com a norma NBR 12006 - Determinação do Calor de Hidratação pelo Método da Garrafa de Langavant.

IDENTIFICAÇÃO: Acréscimo do sufixo BC ao tipo original

Exigência (baixo desprendimento de calor):

< 260 J/g aos 3 dias

< 300 J/g aos 7 dias

Cimento para Poços Petrolíferos - CPP

Constitui um tipo de cimento portland de aplicação bastante específica, qual seja a cimentação de poços petrolíferos. O consumo desse tipo de cimento é pouco expressivo quando comparado ao dos outros tipos de cimentos normalizados no País. O *cimento para poços petrolíferos (CPP)* é regulamentado pela NBR 9831 e na sua composição não se observam outros componentes além do clínquer e do gesso para retardar o tempo de pega.

No processo de fabricação do cimento para poços petrolíferos são tomadas precauções para garantir que o produto conserve as propriedades reológicas (plasticidade) necessárias nas condições de pressão e temperatura elevadas presentes a grandes profundidades, durante a aplicação nos poços petrolíferos.

Consumo relativo

PRODUÇÃO

• COMUM	(CP-I)	1,2%
• COMPOSTO	(CP-II)	75,8%
• ALTO-FORNO	(CP-III)	8,1%
• POZOLÂNICO	(CP-IV)	7,6%
• BRANCO	(CPB)	< 0,1%
• ARI	(CP-V)	7,3%

FONTE : SNIC /2003

Armazenagem

O cimento é embalado em sacos de **papel kraft** de múltiplas folhas. Trata-se de uma embalagem usada no mundo inteiro, para proteger o cimento da umidade e do manuseio no transporte, ao menor preço para o consumidor.

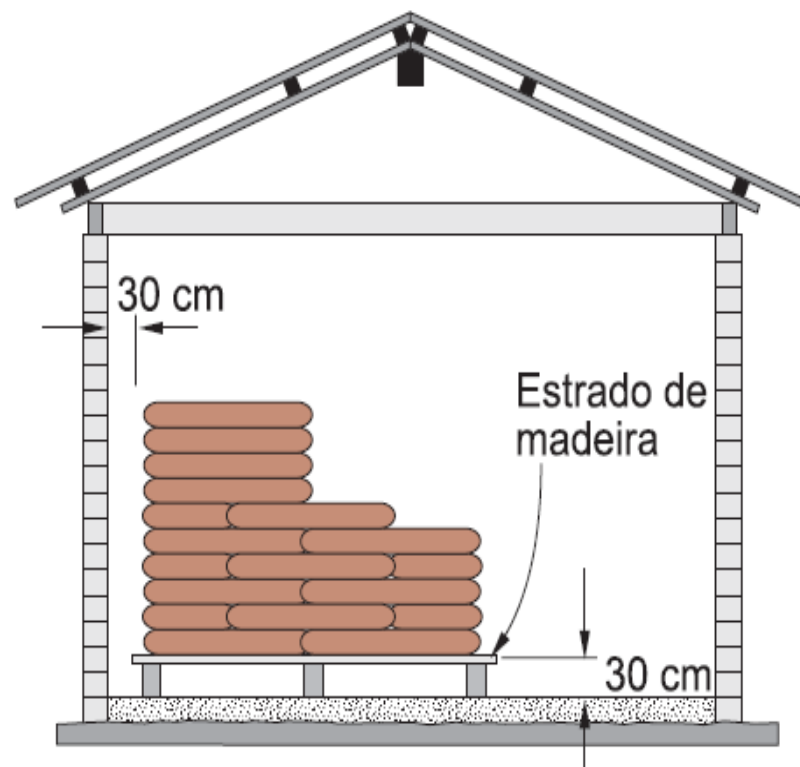
Além disso, o saco de papel é o único que permite o enchimento com material ainda bastante aquecido, por ensacadeiras automáticas, imprescindíveis ao atendimento do fluxo de produção (ao contrário de outros tipos de embalagem já testados, como a de plástico). Mas, o saco de papel protege pouco o cimento nele contido da **ação direta da água**.

“o cimento, *bem estocado*, é próprio para uso por três meses, no máximo, a partir da data de sua fabricação.”

IDEAL: no máximo 60 dias

Armazenagem

Tomados todos os cuidados na estocagem adequada do cimento para alongar ao máximo sua vida útil, ainda assim alguns sacos de cimento podem se estragar.



Às vezes, o *empedramento* é apenas superficial. Se esses sacos forem tombados sobre uma superfície dura e voltarem a se afofar, ou se for possível esfarelar os torrões neles contidos entre os dedos, o cimento desses sacos ainda se prestará ao uso normal. Caso contrário, ainda se pode tentar aproveitar parte do cimento, peneirando-o. O pó que passa numa peneira de malha de 5 mm (peneira de feijão) pode ser utilizado em aplicações de menor responsabilidade, tais como pisos, contrapisos e calçadas, mas não deve ser utilizado em peças estruturais, já que sua resistência ficou comprometida, pois parte desse cimento já teve iniciado o processo de hidratação.