

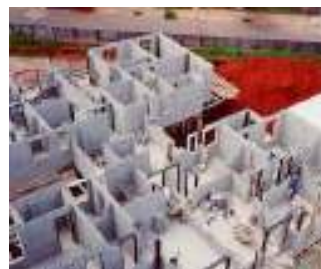
*concreto de
cimento Portland*



ZEA1045 Construções Rurais

Prof. João Adriano Rossignolo

concreto



concreto



concreto



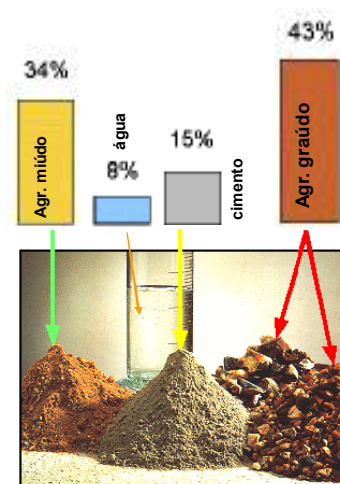
concreto



infra estrutura urbana
túneis
ornamentos

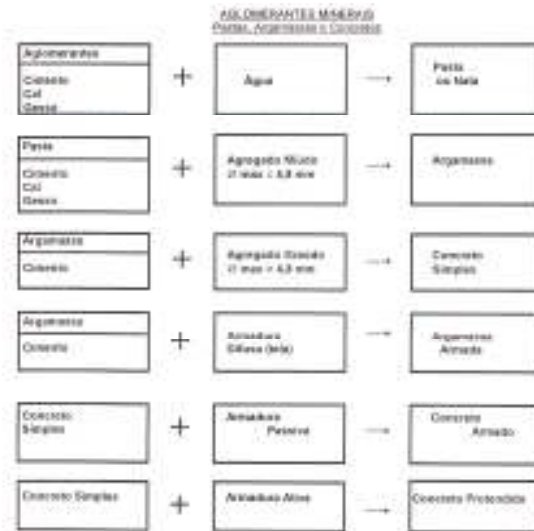
concreto de cimento Portland

cimento Portland
agregados
água
aditivos
adições



aglomerantes: cimento Portland

nomenclatura



concreto



concreto de cimento Portland

Propriedades:

Trabalhabilidade

Resistência à compressão

Resistência à tração

Módulo de deformação

Retração

Durabilidade

cimento Portland e adições minerais

SAP0652 – Tecnologia das Construções I
Prof. Eduvaldo P. Sichieri
Prof. João A. Rossignolo



*estrutura
da aula*



Cimento Portland

- *Definição*
- *Clinker*
- *Hidratação*
- *Propriedades*
- *Adições*
- *Microestrutura*
- *Tipos*
- *Aplicações*

Cimento Portland - Tipos

a) Cimento Portland Comum (EB 1/NBR 5732)

- CP I - Cimento Portland comum
- CP I S - Cimento Portland Comum com Adição

b) Cimento Portland Composto (EB 2138/NBR 11578)

- CP II E - Cimento Portland Composto com Escória
- CP II Z - Cimento Portland Composto com Pozolana
- CP II F - Cimento Portland Composto com Filler

c) Cimento Portland de Alto Forno - CP III (EB 208/NBR 5735)

d) Cimento Portland Pozolânico - CP IV - (EB 758/NBR 5736)

e) Cimento Portland de Alta Resistência Inicial - CP V ARI (EB 2/NBR 5733)

f) Cimento Portland Resistente a Sulfatos - (EB 903/NBR 5737)

São designados pela sigla original de seu tipo acrescida de "RS"

g) Cimento Portland Branco (Projeto de Norma 18:101.01-008/91)

CPB (Cimento Portland Branco - Estrutural e Não Estrutural)

Cimento



clinker

+

adições

➔ *clinker*

Cimento Portland – clinker

CIMENTO PORTLAND - Aglomerante hidráulico constituído em sua maior parte de silicatos e aluminatos, obtido pela clinquerização da mistura de proporções adequadas de calcário e argila.



Cimento Portland – Produção

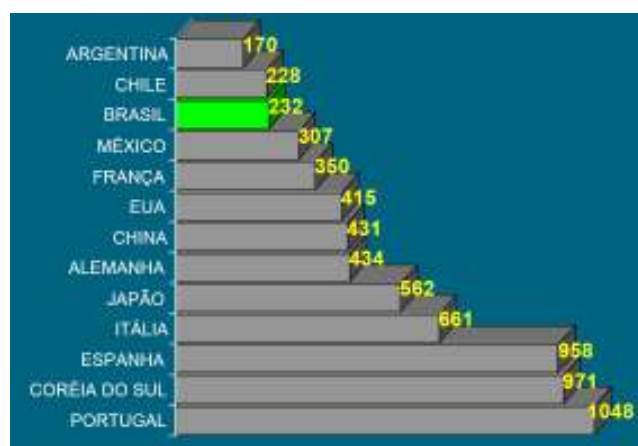
Produção do clinker:

- Demanda alta quantidade de energia
- Gera CO₂ na proporção 1:1

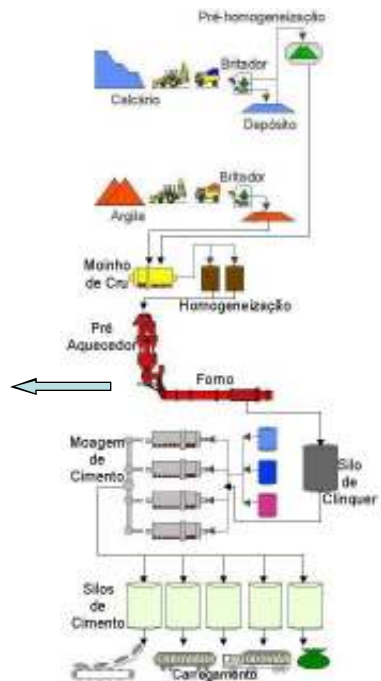
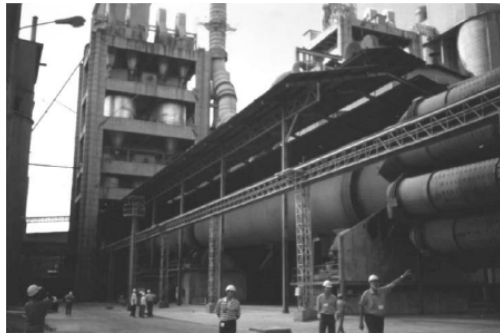
*Motivação para uso de adições em substituição ao clínquer



Cimento Portland – Produção



Cimento Portland – Fabricação



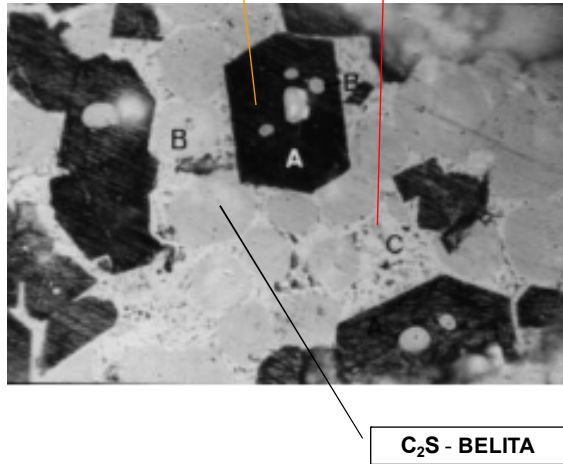
Cimento Portland – Clínquer

C_3S	- $3CaO.SiO_2$	Silicato tricálcico
C_2S	- $2CaO.SiO_2$	Silicato dicálcico
C_3A	- $3CaO.Al_2O_3$	Aluminato de cálcio
C_4AF	- $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$	Ferro aluminato de cálcio

Elementos menores no clínquer

- MgO
 - cristalino (periclásio)
 - expansão lenta
- CaO
 - falha na formulação
 - expansivo
- Na_2O e K_2O
 - álcalis
 - 0,3 a 1,5%
 - reação álcali agregado
 - Eflorescências
- Sulfatos (SO_3)
 - combustível

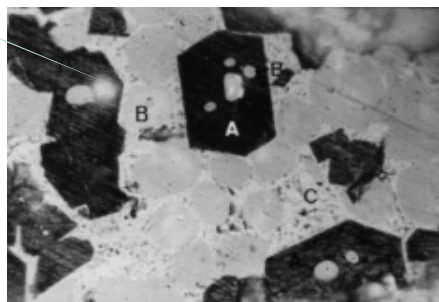
Cimento Portland – Clinker



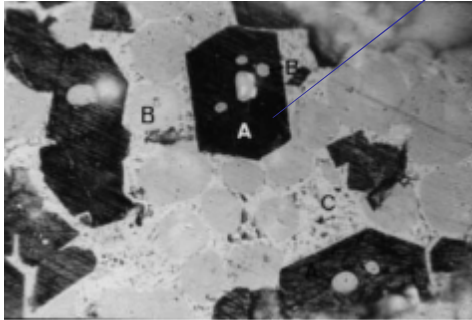
Cimento Portland – Clinker

C₂S - A hidratação ocorre lentamente, apresenta um desprendimento de calor baixo é responsável pela resistência mecânica nas idades mais avançadas.

BELITA

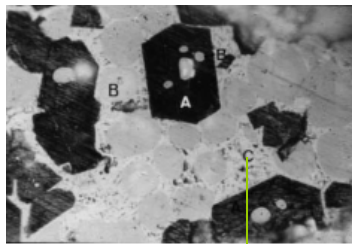


Cimento Portland – Clinker



C₃S - A hidratação inicia-se em poucas horas, apresenta um desprendimento de calor médio e é o maior responsável pela resistência mecânica nas primeiras idades.
ALITA

Cimento Portland – Clinker



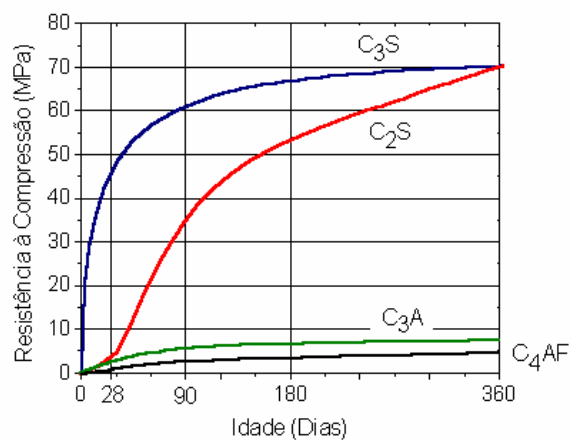
C₃A - Hidratação extremamente rápida, cristalizando em poucos minutos, contribuindo especialmente para **resistência mecânica ao primeiro dia**; apresenta um desprendimento de calor elevado, mas não incrementa a resistência nas idades posteriores. O aluminato de cálcio, quando presente em forma cristalina, é o responsável pela rapidez da **pega**, com a adição de sulfato de cálcio, o tempo de hidratação é controlado.

C₄AF - hidratação rápida, porém não tão intensa quanto o C₃A; apresenta um desprendimento de calor médio, contribui muito pouco (ou nada) para a resistência mecânica nas primeiras idades. (Não aparece no cimento branco)

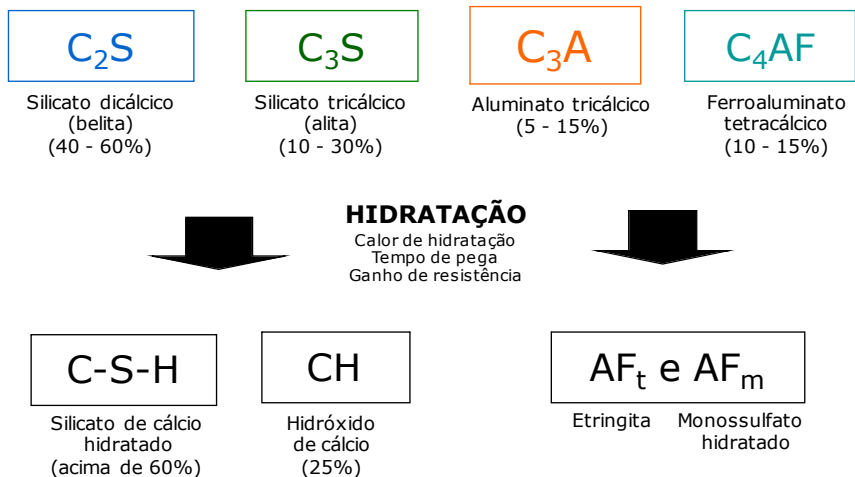
Cimento Portland – Clinquer

	Teor (%)	Taxa de Hidratação	Contribuição para		
			Resistência inicial	Resistência final	Calor de Hidratação
C ₃ S	50 - 70	Alta	Alta	Baixa	Alta
C ₂ S	15 - 30	Baixa	Baixa	Alta	Baixa
C ₃ A	5 - 10	Alta	Alta	Baixa	Alta
C ₄ AF	5 - 10	Moderada	Baixa	Alta	Baixa

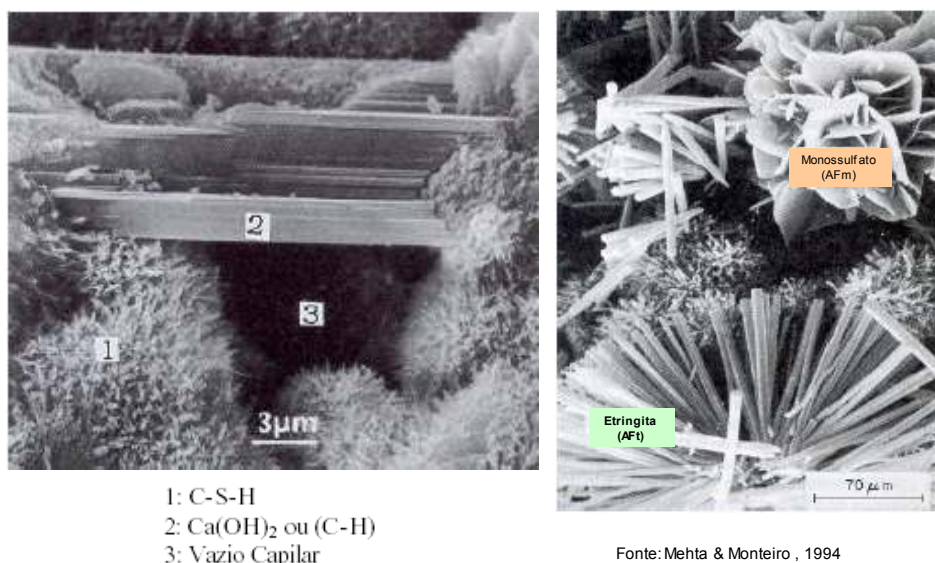
Cimento Portland - Hidratação



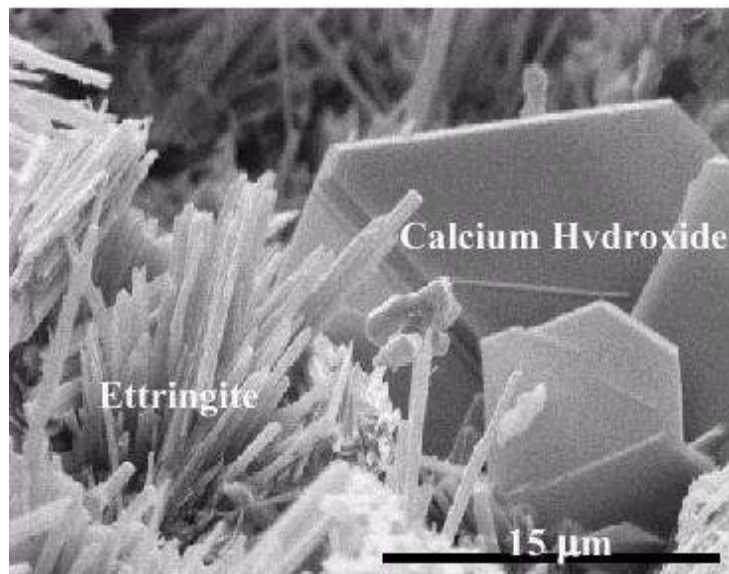
Cimento Portland - Hidratação



Cimento Portland - Hidratação

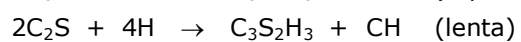
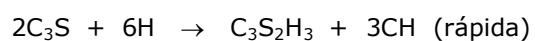


Cimento Portland - Hidratação

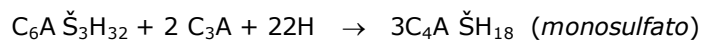
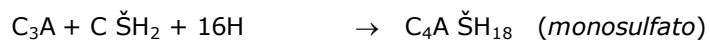


Cimento Portland - Hidratação

Silicatos



Aluminatos



CH → $Ca(OH)_2$ Hidróxido da Cálcio

CSH → Silicato de Cálcio Hidratado

Cimento Portland - propriedades

Tempo de pega
Calor de hidratação
Velocidade de hidratação
Resistência inicial
Resistência final
Finura
Estabilidade química

Cimento Portland – tempo de pega

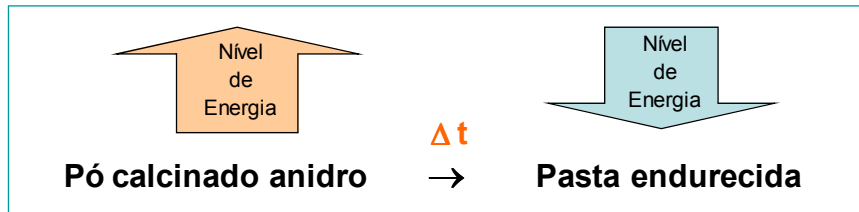
Fatores influenciam o tempo de pega:

Composição química do clínquer
Grau de moagem do cimento
Quantidade de água



Aparelho de Vicat

Cimento Portland – Calor de Hidratação



- Total f (*Composição*)
 - C₃A - 866 J / g
 - C₃S - 502 J / g
 - C₄AF - 418 J / g
 - C₂S - 259 J / g
- CP II
 - 50 % em 3 dias
 - 90% em 3 meses
 - 28 dias 300 e 400 J/g
- Variação no tempo
 - f(composição química)
 - f(finura)
- Risco de fissuração

Cimento Portland – Velocidade de Hidratação

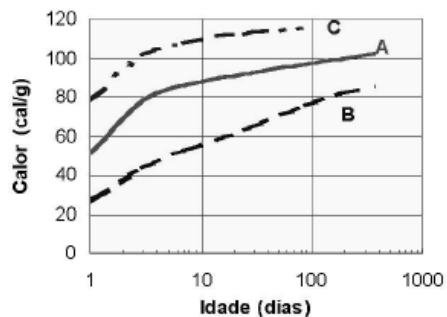
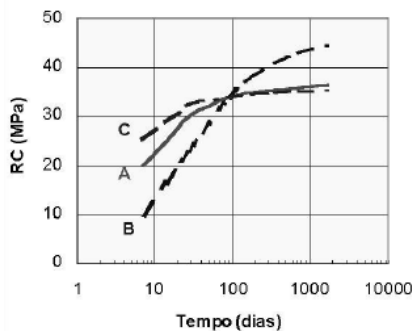
- **Composição química**
 - + C₃S + rápido
 - matérias primas
- **Temperatura**
- **Umidade**
- **Finura (m²/g)**
 - grau de moagem
 - área superficial para reação de hidratação
 - condições de mistura

Ex.: Finura (CIMINAS)

CPIIE32 = 3.400 cm²/g

CPV ARI = 4.600 cm²/g

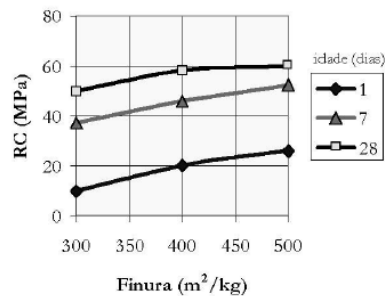
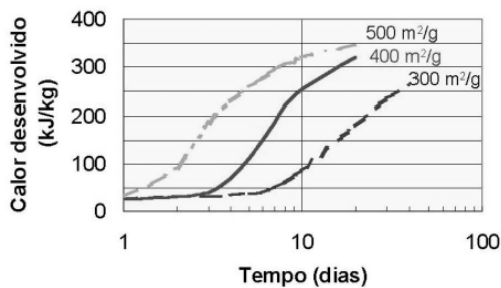
Cimento Portland – Calor de Hidratação e Resistência



	A	B	C
C ₃ S	49	30	56
C ₂ S	25	46	15
C ₃ A	12	5	12
C ₄ AF	8	13	8

Temperatura e finura constantes

Cimento Portland – Tamanho dos grãos (Finura)



Cimento Portland

Estabilidade de volume

Expansões volumétricas
hidratação da cal e da magnésia livres - gesso e C₃A

Resistência aos agentes agressivos

São consideradas águas agressivas ao cimento as águas ácidas (presentes nas atmosferas urbanas e industriais - chuva ácida), águas sulfatadas (solos e esgotos), águas do mar, águas puras, etc.

Reação álcali-agregado

Reações expansivas – álcalis do cimento x agregados reativos

Cimento Portland - Tipos



a) Cimento Portland Comum (EB 1/NBR 5732)

- CP I - Cimento Portland comum
- CP I S - Cimento Portland Comum com Adição

b) Cimento Portland Composto (EB 2138/NBR 11578)

- CP II E - Cimento Portland Composto com Escória
- CP II Z - Cimento Portland Composto com Pozolana
- CP II F - Cimento Portland Composto com Filer

c) Cimento Portland de Alto Forno - CP III (EB 208/NBR 5735)

d) Cimento Portland Pozolânico - CP IV - (EB 758/NBR 5736)



e) Cimento Portland de Alta Resistência Inicial - CP V ARI (EB 2/NBR 5733)

f) Cimento Portland Resistente a Sulfatos - (EB 903/NBR 5737)

São designados pela sigla original de seu tipo acrescida de "RS"

g) Cimento Portland Branco (Projeto de Norma 18:101.01-008/91)

CPB (Cimento Portland Branco - Estrutural e Não Estrutural)

Cimento



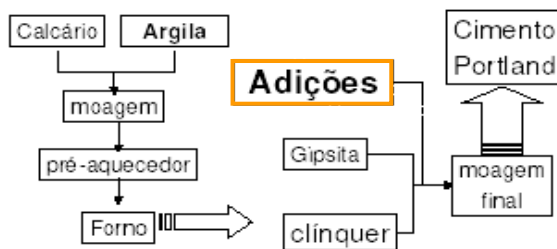
cliquer

+

adições



Cimento Portland - **adições**



Efeito das adições

- Afetam produtos de hidratação
 - durabilidade
 - < permeabilidade
- Resistência
 - Reduz inicial
 - Aumenta a final
- Benefícios ambientais
 - redução da emissão de CO₂
 - evita deposição de resíduos em aterros

Cimento Portland - **adições**



- **Pozolanas**

- Cinzas volantes
- Argilas calcinadas (*metacaulin*)
- Microsílica (*silica ativa*)
- Cinzas vegetais
 - cascas: arroz, castanha de caju, ...
 - Bagaço da cana

- **Escória Granulada de alto forno**

- **Pó ou *filler* calcário**

Cimento Portland - **pozolanas**

Origem do nome: cinzas vulcânicas – cidade italiana Pozzuoli

CH + Ad. Poz → C-S-H

- **Material contendo SiO₂ (predominante)**
 - outros compostos
 - Al₂O₃
 - CaO
 - Fe₂O₃ ...
- **Microestrutura vítrea**
 - energia de cristalização
 - Solúvel em pH elevado
- **Pozolana natural**
 - cinzas de vulcões
 - Pozzuoli - Nápoles
 - Cimento Romano
 - cal + cinza
- **Argilas calcinadas**
 - meta-caolinita
- **Resíduos industriais**
 - cinzas volantes
 - resíduos cerâmicas
- **Cinzas vegetais**

Cimento Portland - pozolanas

Mais aplicadas no Brasil:

Sílica ativa: resíduo indústria ferro-silício (microsílica)

Metacaulin: argila calcinada

Cinzas volantes

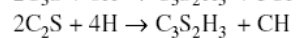
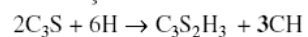
Pozolanas naturais

Cinzas vegetais: casca de arroz,, bagaço de cana, CCCC,...

*** Concreto de alto desempenho**

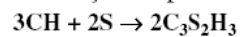
Cimento Portland - pozolanas

- Hidratação do cimento



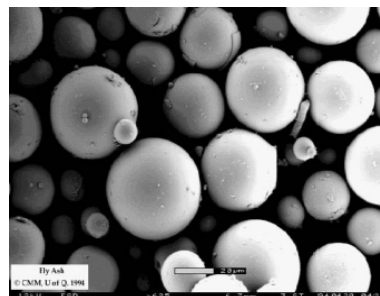
– pH do meio aquoso > 12.5

- Hidratação da pozolana



– Redução do teor de CH

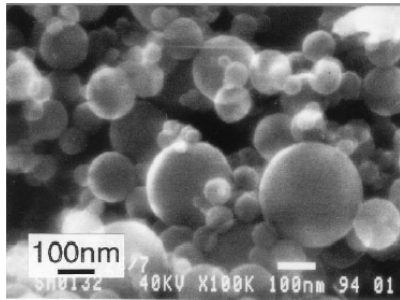
– < solubilidade do cimento



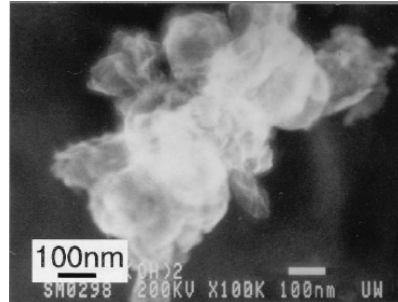
Cinza volante
(resíduo)

Produto Final : CSH

Cimento Portland - pozolanas



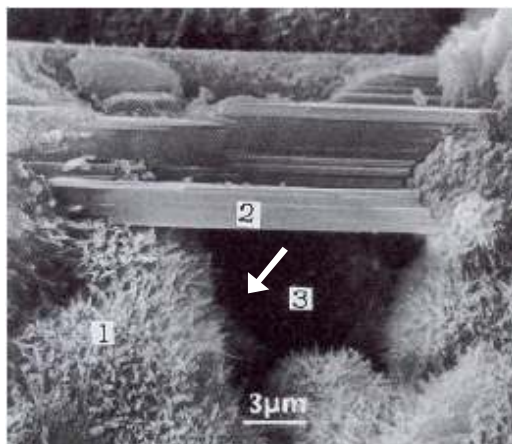
Silica ativa
(resíduo)



CSH
(Silica ativa + CH)

Fonte: D.R.G. Mitchell, et al. 1998 (CCR)

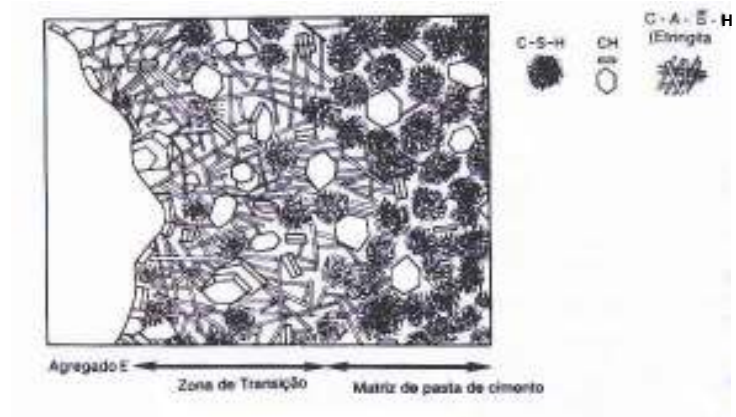
Cimento Portland - pozolanas



- 1: C-S-H
- 2: Ca(OH)₂ ou (C-H)
- 3: Vazio Capilar

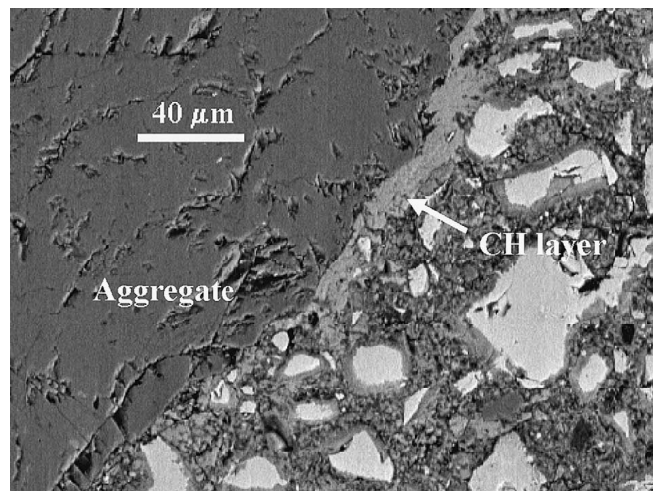
Cimento Portland - pozolanas

Interface Agregado-Matriz



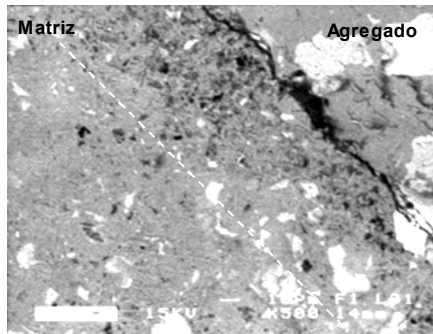
Cimento Portland - pozolanas

Interface Agregado-Matriz

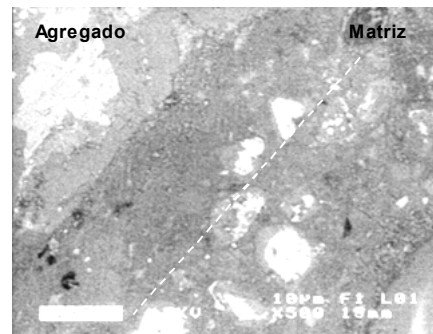


Cimento Portland - **pozolanas**

Interface Agregado-Matriz



Sem Sílica Ativa



Com Sílica Ativa

Fonte: Rossignolo, 2004

Cimento Portland - **escória de alto forno**

- Alto forno
 - minério
 - FeO @ferro gusa
 - Si, Al, @escória
 - cal virgem
 - CaO @escória
 - coque
 - C @CO₂
- Composição similar ao cimento
 - menos CaO
- Produção brasileira 7,5 M t/ano
- Região sudeste

Hidratação da escória

- C-S-H
- Reduz moderadamente o teor de CH livre

Cimento Portland – escória de alto forno

	Escória Básica	Clinker Portland
CaO	40 - 45	66
SiO ₂	30 - 35	22
Al ₂ O ₃	11 - 18	5
MgO	2,5 - 9	-
Fe ₂ O ₃	0 - 2	3
FeO	0 - 2	-
S	0,5 - 1,5	-
CaO/SiO ₂ média	1,31	3

Cimento Portland - adições

- pó ou *filler* calcário



*Cimento
Portland*

Cimento Portland - Tipos

Classificação

CP XXX RR

Cimento
Portland

Composição

Resistência
(Mpa)

Adições

25 **32** 40

ex: CP II E 32

Cimento Portland - Tipos

a) Cimento Portland Comum (EB 1/NBR 5732)

- CP I - Cimento Portland comum
- CP I S - Cimento Portland Comum com Adição

b) Cimento Portland Composto (EB 2138/NBR 11578)

- CP II E - Cimento Portland Composto com Escória
- CP II Z - Cimento Portland Composto com Pozolana
- CP II F - Cimento Portland Composto com Filler

c) Cimento Portland de Alto Forno - CP III (EB 208/NBR 5735)

d) Cimento Portland Pozolânico - CP IV - (EB 758/NBR 5736)

e) Cimento Portland de Alta Resistência Inicial - CP V ARI (EB 2/NBR 5733)

f) Cimento Portland Resistente a Sulfatos - (EB 903/NBR 5737)

São designados pela sigla original de seu tipo acrescida de "RS"

g) Cimento Portland Branco (Projeto de Norma 18:101.01-008/91)

CPB (Cimento Portland Branco - Estrutural e Não Estrutural)

Cimento	Classe	Resistência à compressão aos 28 dias de idade (MPa)	
		Limite inferior	Limite Superior
CP I	25	25,0	42,0
CP I S	32 40	32,0 40,0	49,0 --:--
CP II E	25	25,0	42,0
CP II Z	32	32,0	49,0
CP II F	40	40,0	--:--
CP III	25 32 40	25,0 32,0 40,0	42,0 49,0 --:--
CP IV	25 32	25,0 32,0	42,0 49,0
CPB-E (Estrutural)	25 32 40	25,0 32,0 40,0	42,0 49,0 --:--
CP V ARI		Resistência à compressão aos 7 dias de idade	
		Limite inferior	Limite Superior
		34,0	--:--

Cimento Portland - Tipos

PERFIL DA PRODUÇÃO EM 2004

• Comum	(CP I)	2,0%
• Composto	(CP II)	69,2%
• Alto-forno	(CP III)	15,0%
• Pozolânico	(CP IV)	8,1%
• Branco	(CP B)	< 0,1%
• ARI	(CP V-ARI)	5,7%
Total		100%

Cimento Portland - Tipos

CIMENTO PORTLAND COMUM - CP I e CP I S Classes: 25, 32 e 40

Sigla	Clinker + Sulfato de Cálcio	Escória Granulada	Material Pozolânico	Material Carbonático ¹
CP I	100		0	
CP I S	99 - 95		1 - 5	
NOTA ⁽¹⁾ : mínimo de 85% de CaCO ₃				

Cimento Portland - Tipos

CIMENTO PORTLAND COMPOSTO - CP II Classes 25, 32 e 40

Sigla	Clinker + Sulfato de Cálcio	Escória Granulada ²	Material Pozolânico ³	Material Carbonático ⁴
CP II E	94 - 56	6 - 34	-----	0 - 10
CP II Z	94 - 76	-----	6 - 14	0 - 10
CP II F	94 - 90	-----	-----	6 - 10
NOTAS: (2) e (3) - A determinação do teor é facultativa (4) mínimo de 85% de CaCO ₃ - determinação facultada				

Cimento Portland - Tipos

CIMENTO PORTLAND DE ALTO FORNO - CP III

Classes: 25, 32 e 40

Sigla	Clínquer + Sulfato de Cálcio	Escória Granulada ⁷	Material Carbonático ⁸
CP III	60 - 25	35 - 70	0 - 5

NOTAS: (7) - Quando entre 60% e 70% o cimento é considerado resistente aos sulfatos - a determinação do teor é facultativa
(8) mínimo de 85% de CaCO₃

Cimento Portland - Tipos

CIMENTO PORTLAND POZOLÂNICO - CP IV

Classes: 25 e 32

Sigla	Clínquer + Sulfato de Cálcio	Material Pozolânico ⁵	Material Carbonático ⁶
CP IV	85 - 45	15 - 50	0 - 5

NOTAS: (5) - Quando entre 25% e 40% o cimento é considerado resistente aos sulfatos
(6) mínimo de 85% de CaCO₃

Cimento Portland - Tipos

CIMENTO PORTLAND DE ALTA RESISTÊNCIA INICIAL

CP VARI

Sigla	Clínquer + sulfato de cálcio	Material Carbonático ⁹
CP VARI	100 - 95	0 - 5

Nota: (9) - mínimo de 85% de CaCO₃

Cimento Portland - Tipos

CIMENTO PORTLAND BRANCO

CPB - Estrutural e Não Estrutural

Denominação	Clínquer + sulfato de cálcio	Material Carbonático
CPB - Estr.	100 - 75	0 - 25
CPB - Não Estr.	74 - 50	26 - 50

Cimento Portland - Tipos

CIMENTO PORTLAND RESISTENTE A SULFATOS

São aqueles que:

- tiverem teores de C_3A do clínquer e de adições carbonáticas iguais ou inferiores a 8% e 5% (em massa do aglomerante total), respectivamente;
- tiverem antecedentes de ensaios de longa duração ou de obras que comprovem resistência a sulfatos;
- os Portland de alto forno que contiverem entre 60% e 70% de escória granulada e os Portland pozolânicos com 25% a 40% de material pozolânico.

Cimento Portland - Tipos

Influência	Tipo de Cimento					
	Comum e composto	Alto-forno	Pozolânico	ARI	RS	Branco estrutural
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
Calor de hidratação	Padrão	Menor	Menor	Maior	Padrão	Maior
Permeabilidade	Padrão	Menor	Menor	Padrão	Padrão	Padrão
Resistência a agentes agressivos	Padrão	Maior	Maior	Menor	Maior	Menor

Cimento Portland - Tipos

