



Materiais de Construção

Aglomerantes

Aglomerantes

- **CIMENTO**

- Material pulverulento de cor acinzentada, resultante da queima do calcário, argila e posterior adição de gesso.



Aglomerantes

■ Matérias-primas para Produção do Cimento

- O Cimento portland depende, principalmente, para sua fabricação, dos seguintes produtos minerais:
- Calcário;
- Argila e
- Gesso.



Aglomerantes

■ CALCÁRIO

- O calcário é o carbonato de cálcio (CaCO_3) que se apresenta na natureza com impurezas como óxidos de magnésio (MgO).
- Carbonato de cálcio puro ou calcita, sob ação do calor, decompõe-se do seguinte modo:

CaCO_3
100%



CaO + CO_2
56% 44%



Aglomerantes

■ ARGILA

- A argila empregada na fabricação do cimento é essencialmente constituída de um silicato de alumínio hidratado, geralmente contendo ferro e outros minerais, em memores proporções. A argila fornece os óxidos SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 necessários ao processo de fabricação do cimento.



Aglomerantes

■ GESSO

- O gesso é o produto de adição final no processo de fabricação do cimento portland, com o fim de regular o tempo de pega por ocasião das reações de hidratação. É encontrado sob as formas de gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), hemidrato ou bassanita ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) e anidrita (CaSO_4).



Aglomerantes

- **Fabricação do Cimento Portland**
 - **preparo e dosagem da mistura crua;**
 - **homogeneização;**
 - **cliquerização;**
 - **esfriamento;**
 - **adições finais e moagem; e**
 - **ensacamento.**

Aglomerantes

■ Preparo da *mistura crua*

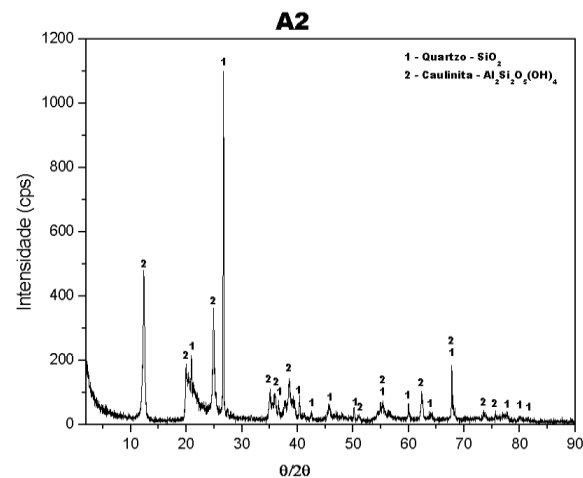
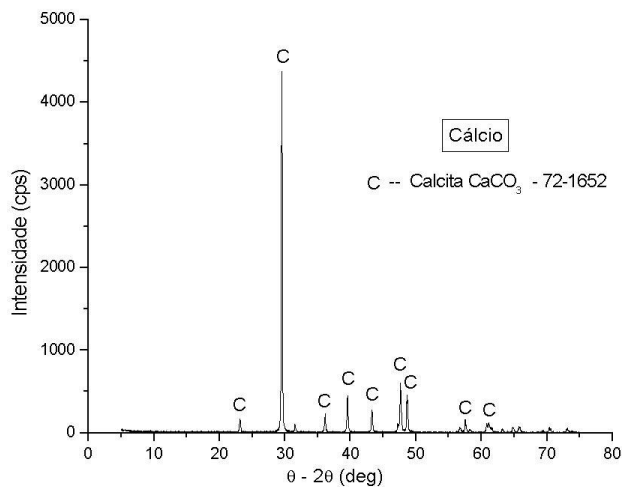
- *Calcário e as argilas, em proporções predeterminadas, são enviadas ao moinho de cru (moinho de bolas, de barras, de rolos) onde se processa o início da mistura íntima das matérias-primas e, ao mesmo tempo, a sua pulverização, de modo a reduzir o diâmetro das partículas a 0,050 mm, em média.*
- *A moagem, conforme se trate de via úmida ou seca, é feita com ou sem presença de água.*



Aglomerantes

■ Dosagem da *mistura crua*

- *A determinação da porcentagem de cada matéria-prima na mistura crua depende essencialmente da composição química das matéria-primas e da composição que se deseja obter para o cimento portland, quando terminado o processo de fabricação.*



Group: Po_Vac_oxido_2canais

Sample: Amostra-A2

Layer Info	Analyte	Result
1 Layer1		
1 Layer Layer1		5.000 um
1 Elem. C3H6		100.000 %

B Base		
2 Elem. Al2O3		46.906 %
2 Elem. SiO2		46.898 %
2 Elem. Fe2O3		1.979 %
2 Elem. TiO2		1.245 %
2 Elem. Na2O		0.972 %
2 Elem. CaO		0.513 %
2 Elem. MgO		0.489 %
2 Elem. K2O		0.363 %
2 Elem. SO3		0.261 %
2 Elem. V2O5		0.183 %
2 Elem. ZrO2		0.076 %
2 Elem. Cr2O3		0.052 %
2 Elem. CuO		0.024 %
2 Elem. ZnO		0.016 %
2 Elem. SrO		0.012 %
2 Elem. NbO		0.011 %

Aglomerantes

- São numerosos os métodos de controle da composição química da mistura crua, sendo os métodos seguintes as mais empregados:
 - Módulo hidráulico (*Michaelis*)
 - Módulo de sílica
 - Módulo de alumina-ferro

Aglomerantes

- **Homogeneização**

- A matéria-prima devidamente dosada e reduzida a pó muito fino, após a moagem, deve ter a sua homogeneidade assegurada da melhor forma possível.

Aglomerantes

- **Processo de fabricação por via úmida**

- A matéria-prima é moída com água e sai dos moinhos sob a forma de uma pasta contendo geralmente de 30 a 40% de água, e é bombeada para grandes tanques cilíndricos, onde se processa durante várias horas a operação de homogeneização.

■ Processo de fabricação por via seca

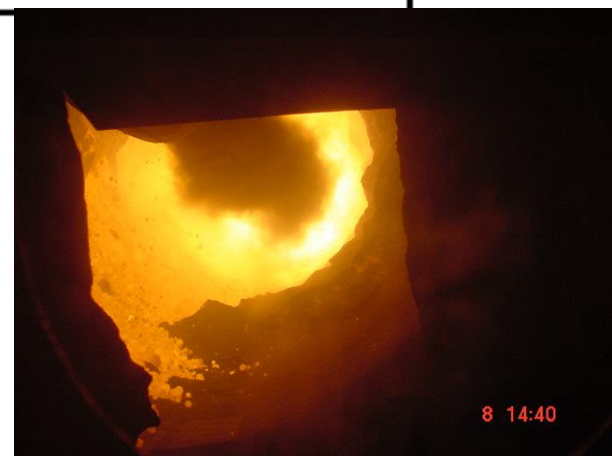
- A matéria-prima sai do moinho já misturada, pulverizada e seca.
- Normalmente os moinhos de cru do sistema por via seca trabalham com temperaturas elevadas (300 - 400°C) no seu interior, o que permite secá-la (menos de 1 % de umidade).




Clinquerização

QUADRO 2

Temperatura	Processo	Reação
Até 100°C	Evaporação da água livre	endotérmica
500°C e acima	Desidroxilação dos minerais argilosos	
900°C e acima	Cristalização dos argilo-minerais decompostos	
900°C e acima	Decomposição do carbonato	
900°C a 1200°C	Reação do CaO com os silico-aluminatos	
1250°C a 1280°C	Início de formação da fase vítrea	
Acima de 1280°C	Formação de vidro e dos compostos do cimento (clinkerização)	




- 
- No processo por via úmida, todo o processamento termo-químico necessário à produção do clínquer se dá no forno rotativo.
 - No processo por via seca, até temperatura da ordem de 900°C a 1000°C, o processamento da mistura crua se dá em intercambiadores de calor do tipo ciclone ou de contra-corrente. O processamento restante realiza-se no forno, de comprimento reduzido, que recebe a mistura já na referida temperatura.




- **Esfriamento**

- No forno, como resultado do tratamento sofrido, a matéria-prima transforma-se em clínquer. Na saída, o material apresenta-se na forma de bolas de diâmetro máximo variável entre 1cm a 3cm. As bolas que constituem o clínquer saem do forno a uma temperatura da ordem de 1200°C a 1300°C, pois há um início de abaixamento de temperatura, na fase final, ainda no interior do forno.

- 
- O clínquer sai do forno e passa ao equipamento esfriador, que pode ser de vários tipos. Sua finalidade é reduzir a temperatura, mais ou menos rapidamente, pela passagem de uma corrente de ar frio no clínquer. Dependendo da instalação, na saída do esfriador o clínquer apresenta-se com temperatura entre 50°C e 70°C, em média.
 - O clínquer, após o esfriamento, é transportado e estocado em depósitos.

■ **Adições Finais**

- O cimento portland de alta resistência inicial – NBR 5733 (EB-2) - , o cimento portland branco, o cimento portland de moderada resistência aos sulfatos e moderado calor de hidratação (MRS), e o cimento portland de alta resistência a sulfatos (ARS) – NBR 5737 (EB-903) – não recebem outros aditivos, a não ser o gesso.
- O cimento portland de alto forno – NBR 5735 (EB-208) -, além de gesso, recebe 25 a 65% de escória básica granulada de alto forno.

- 
- O cimento portland pozolânico – NBR 5736 (EB – 758) – recebe, além do gesso, a adição de material pozolânico (cinza volante, argila calcinada ou pozolana natural), nos seguintes teores: de 10 a 40% para o tipo 250 e de 10 a 30% para o tipo 320.
 - para o cimento portland comum – NBR 5732 (EB-1) – é permitida a adição de escória granulada de alto forno num teor de até 10% de massa total do aglomerante.

- O clínquer portland e seus aditivos passam ao moinho para a moagem final, onde se assegura ao produto a finura conveniente, de acordo com as normas.



■ Ensacamento

- O cimento portland resultante da moagem do clínquer, com os aditivos permitidos, é transportado mecânica e pneumáticamente para os silos de cimento a granel, onde é estocado.
- Após os ensaios finais de qualidade do cimento estocado, ele é enviado aos silos para a operação de ensacamento, operação feita em máquinas especiais que automaticamente enchem os sacos e os soltam assim que atingem o peso especificado de 50 Kg.



■ CLÍNQUER PORTLAND E SEUS COMPOSTOS ANIDROS



- No interior do forno de produção de cimento, a sílica, a alumina, o óxido de ferro e a cal reagem dando origem ao clínquer, cujos compostos principais são os seguintes:

- – silicato tricálcico $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ $(\text{C}_3\text{S})^*$
- – silicato dicálcico $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ $(\text{C}_2\text{S})^*$
- – aluminato tricálcico $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ $(\text{C}_3\text{A})^*$
- – ferroaluminato tetracálcico $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ $(\text{C}_4\text{AF})^*$

- Todos esses compostos têm a propriedade de reagir em presença da água, por hidrólise, dando origem, então, a compostos hidratados.

- O esfriamento brusco do clínquer se destina, sobretudo, a impedir a formação de periclásio, pois os cristais de periclásio do cimento portland poderão transformar-se em $Mg(OH)_2$ (hidróxido de magnésio ou brucita), quando o concreto que os contenha seja empregado em obras sujeitas à presença de umidade.

Aglomerantes

■ Hidratação do Cimento Portland

- As questões técnicas relacionadas com a hidratação do cimento portland são extremamente complexas. Há, entretanto, alguns aspectos gerais que permitem que se forme uma idéia global da questão, encarada do ponto de vista de cristalização e das reações químicas.

■ **Cristalização**

- Os compostos anidros do cimento portland reagem com água (hidrólise), dando origem a compostos hidratados de duas categorias:
 - a) compostos cristalinos hidratados; e,
 - b) gel.

■ Formação do Gel

- Entrando em contato com a água, começa, no fim de algum tempo, a apresentar, em sua superfície, sinais de atividade química, pelo aparecimento de cristais que vão crescendo lentamente e pela formação de uma substância gelatinosa que o envolve, ou seja o gel. O gel que se forma inicialmente possui uma porcentagem muito elevada de água e é designada por gel instável (o gel é uma gelatina, sendo o gel instável uma gelatina muito mole).

■ Compostos Cristalinos

- Para se desenvolverem, necessitam de água, que ao cabo de pouco tempo é inteiramente transformada em gel. O processo de desenvolvimento dos cristais se faz retirando a água do gel instável, que à medida que vai perdendo água, transforma-se em gel estável e torna-se responsável, em grande parte, pelas propriedades mecânicas de resistência das pastas hidratadas

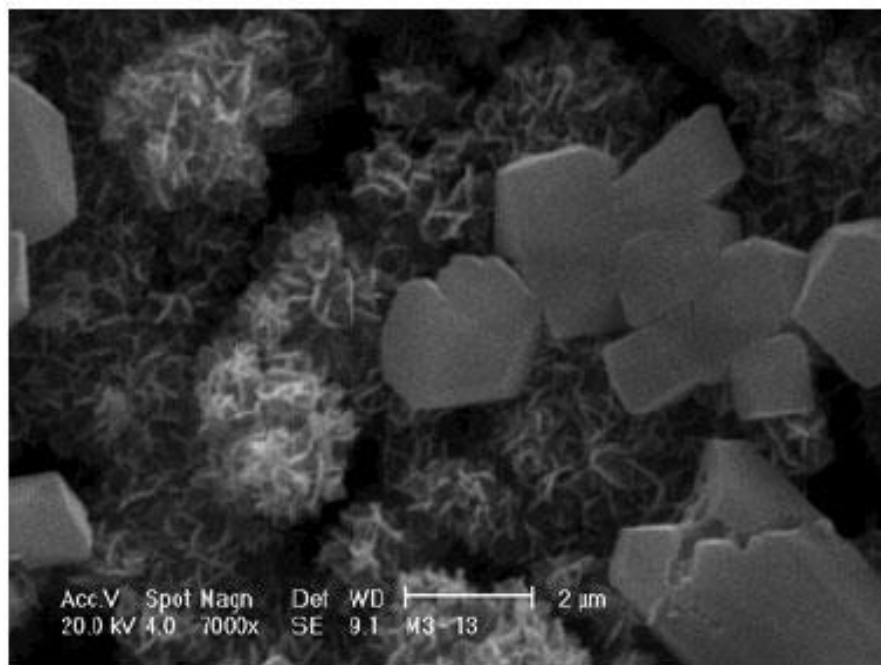


Figura 12: Detalhe da ferrita de cálcio hidratada mostrada na Figura 11.

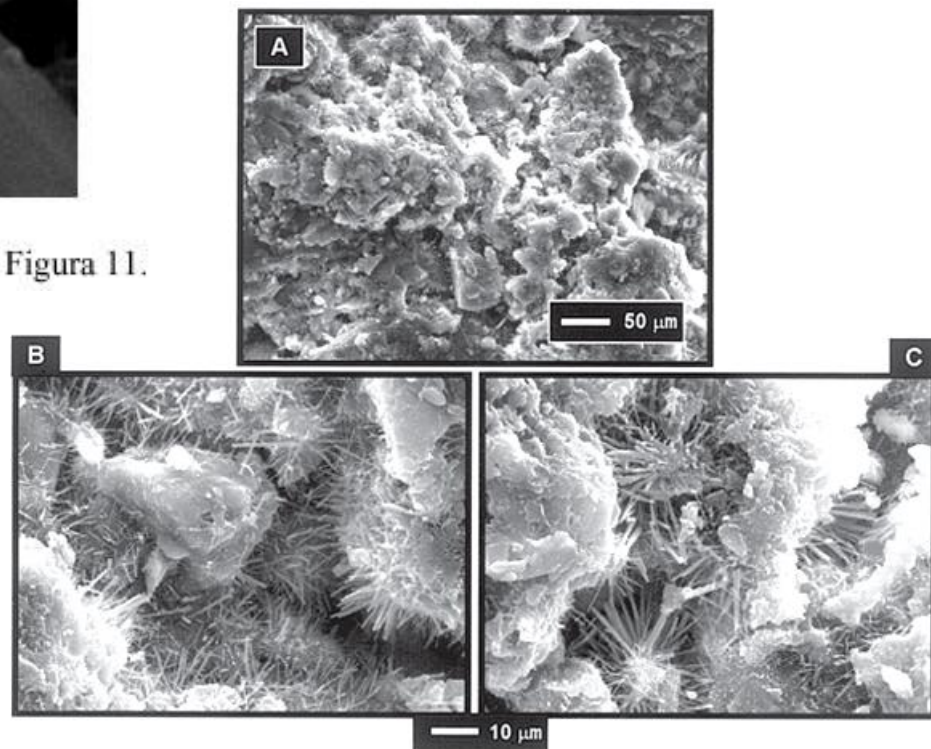


Figura 6: Micrografias do concreto modificado com 1% em peso de pilha zinco-carvão, após 28 d de cura a 23 °C e umidade acima de 95%. A) Aspecto geral da amostra (1.000X); B) e C) Detalhes das agulhas (5.000X).
 [Figure 6: Micrographs of modified concrete with 1 wt.% of zinc-coal addition, after 28 d of aging in 95% relative humidity and 23 °C. A) General aspect (1,000X); B) and C) Needle details (5,000X).]

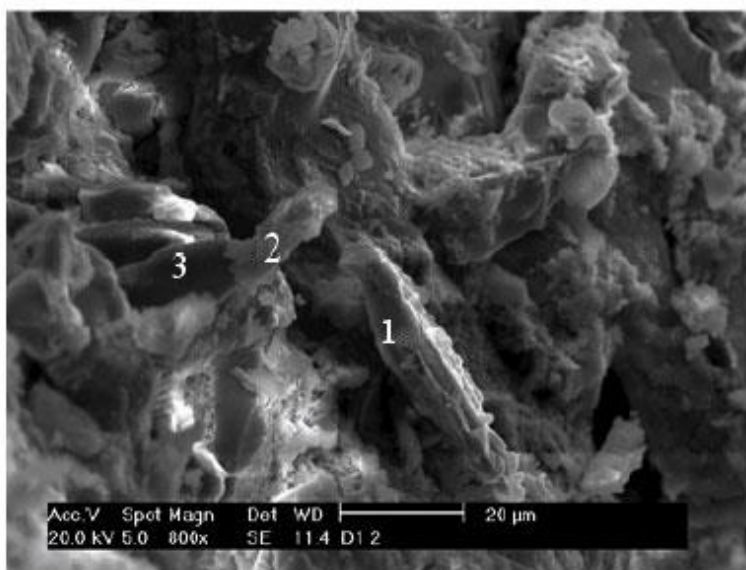


Figura 3: Silicato dicálcico (1) e (3) e silicato tricálcico (2), presentes na amostra de escória LD.

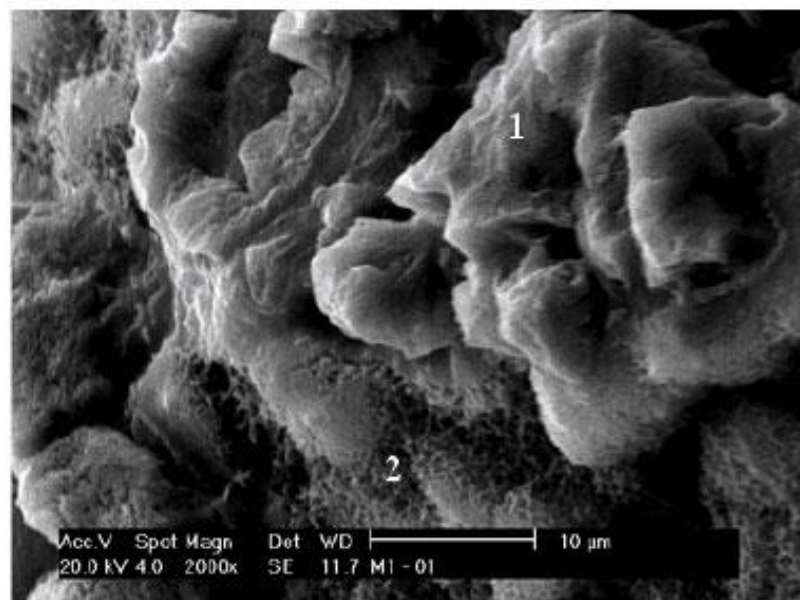


Figura 7: Silicato de cálcio hidratado (1) e (2), presente na amostra de escória EAF.

- **Hidratação dos principais compostos do cimento.**

Tempo	C ₃ A	C ₃ S	C ₂ S
3 horas	4,35	1,68	-
1 dia	-	2,25	0,28
3 dias	5,68	-	-
7 dias	-	4,32	0,62
28 dias	5,68	4,44	0,83
5 meses	-	-	3,5

- profundidade alcançada pela hidratação em microns com o tempo

- A inspeção do Quadro acima evidencia que a resistência do cimento portland:
 - a) até os 3 dias – é assegurada pela hidratação dos aluminatos e silicatos tricálcicos;
 - b) até os 7 dias – praticamente pelo aumento da hidratação de C_3S ;
 - c) até os 28 dias – continua a hidratação do C_3S responsável pelo aumento de resistência, com pequena contribuição do C_2S ; e,
 - d) acima de 28 dias – o aumento de resistência passa a ser devido à hidratação de C_2S .

- 
- Aplicações de cada tipo de Cimento

Cimento

CPI	Concreto em geral sem exposição ao sulfato.
CPII Z - pozolânico	obras civis em geral, subterrâneas, marítimas e industriais.
CP II E - escória de alto forno	baixo calor de hidratação. Resistente a sulfatos.
CP II F – Filer, material carbonático	Para aplicações gerais.
CP III AF – Alto Forno	baixo calor de hidratação, assim como alta resistência à expansão devido à reação álcali-agregado, além de ser resistente a sulfatos. obras de concreto-massa.
CP IV – 32 pozolana	obras expostas à ação de água corrente e ambientes agressivos. baixo calor de hidratação.
CP V ARI	resistência inicial elevada e desforma rápida.
CP RS	redes de esgotos de águas servidas ou industriais e água do mar.
CP BC	Baixo calor de hidratação; obras de concreto-massa.
CP B	Branco. Estrutural de 25 a 40 MPa; Não estrutural rejuntas e aplicações sem responsabilidades estruturais.



- **Exigências das Normas**

- As principais exigências, particularmente da NBR 5732 (EB-1/77), que interessam sobretudo ao consumidor de cimento, são a seguir indicadas:

■ Quanto à composição química

■ Perda de fogo

- O ensaio de perda de fogo – NBR 5743 (MB-510) – se faz por diferença de pesagens de amostra de cimento portland elevada à temperatura de 900°C a 1000°C em cadinho de platina. Dessa forma mede-se:
 - a) perda de água de cristalização – o que constitui uma indicação sobre o eventual início de hidratação do cimento;
 - b) perda de CO₂ – se houve início de carbonatação (reação com o CO₂ do ar) ou se existir, misturado no cimento, pó de CaCO₃; e,
 - c) a perda ao fogo é de, no máximo, 4,0% de acordo com a NBR 5732 (EB-1/77).



- **Quanto as características físicas**



- **Finura**

- As dimensões dos grãos do cimento portland podem ser avaliadas por meio de vários ensaios, porém, praticamente, o mais utilizado é o seguinte:
- Por peneiramento – NBR 7215 (ABNT MB-1): a peneira empregada no ensaio é a ABNT 0,075mm (nº 200) e deve satisfazer à norma NBR 5734 (EM-22). A norma indica para o CPC um resíduo máximo de 15% para os tipos 250 e 320, e máximo de 10% para o tipo 400;

■ Resistência a Compressão

- A resistência à compressão é uma das características mais importantes do cimento portland e é determinada em ensaio normal descrito na NBR 7215 (MB-1).
- Os cimentos CPC, AF, POZ, ARS, MRS e ARI devem apresentar, no mínimo, as seguintes resistências:

Aglomerantes

- CPC – Cimento Portland Comum

	Tipo 250		Tipo 320		Tipo 400	
	MPa	Kgf/cm ²	MPa	Kgf/cm ²	MPa	Kgf/cm ²
3 dias	8	80	10	100	14	140
7 dias	15	150	20	200	24	240
28 dias	25	250	32	320	40	400

Aglomerantes

- Cimento Portland de Alto Forno (CP-AF)

	Tipo 250		Tipo 320	
	MPa	Kgf/cm ²	MPa	Kgf/cm ²
3 dias	8	80	10	100
7 dias	15	150	18	180
28 dias	25	250	32	320

Aglomerantes

- Cimento Portland Pozolânico (**CP-Z** ou **CP-POZ**)

	Tipo 250		Tipo 320	
	MPa	Kgf/cm ²	MPa	Kgf/cm ²
3 dias	7	70	10	100
7 dias	15	150	18	180
28 dias	25	250	32	320
90 dias	32	320	40	400

Aglomerantes

- Cimento Portland de Alta Resistência a Sulfatos (**CP-ARS**)
- Cimento Portland de Moderada Resistência a Sulfatos (**CP-MRS**)

	ARS		MRS	
	MPa	Kgf/cm ²	MPa	Kgf/cm ²
3 dias	--	--	7	70
7 dias	10	100	13	130
28 dias	20	200	25	250

Aglomerantes


- Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP-ARI)

	ARI	
	MPa	Kgf/cm ²
3 dias	11	110
7 dias	22	220
28 dias	31	310

Aglomerantes

■ Ensaio de Resistência a Compressão - NBR 7215

- O método compreende a determinação da resistência à compressão de corpos-de-prova cilíndricos de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura.
- O ensaio é feito com argamassa normal, de traço 1:3 e o fator água/cimento em 0,48 para o ensaio normal.
- A colocação da argamassa na forma é feita com o auxílio da espátula, em quatro camadas de alturas aproximadamente iguais, recebendo cada camada 30 golpes uniformes com o soquete normal, homogeneamente distribuídos.

- 
- Esta operação deve ser terminada com a rasadura do topo dos corpos-de-prova, por meio da régua que o operador faz deslizar sobre as bordas da forma em direção normal à régua, dando-lhe também um ligeiro movimento de vaivém na sua direção.

■ Resultados

- **Resistência individual**
- Calcular a resistência à compressão, em megapascals, de cada corpo-de-prova, dividindo a carga de ruptura pela área da seção do corpo-de-prova.
- **Resistência média**
- Calcular a média das resistências individuais, em megapascals, dos quatro corpos-de-prova ensaiados na mesma idade. O resultado deve ser arredondado ao décimo mais próximo.

Tabela A.2 - Quantidades de materiais

Material	Massa para mistura g
Cimento Portland	624 ± 0,4
Água	300 ± 0,2
Areia normal	
- fração grossa	468 ± 0,3
- fração média grossa	468 ± 0,3
- fração média fina	468 ± 0,3
- fração fina	468 ± 0,3

NOTAS

1 Para moldar os quatro corpos-de-prova necessários à determinação da resistência à compressão média para três idades, devem ser realizados dois amassamentos ou misturas.

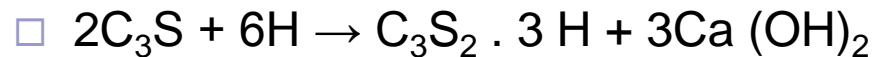
2 Nos cimentos nos quais se controlam mais de três idades, efetuar amassamento extra, obedecendo à mesma quantidade de materiais.



■ Reações químicas

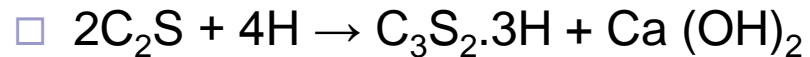
- Os compostos anidros do cimento portland reagem com a água, por hidrólise, dando origem a numerosos compostos hidratados. Em forma abreviada são indicadas algumas das principais reações de hidratação dos compostos do cimento:
- a) O C_3A é o primeiro a reagir, da seguinte forma:
- $C_3A + CaO + 12H_2O \rightarrow Al_2O_3 \cdot 4CaO \cdot 12H_2O$

□ b) O C_3S reage a seguir:



□ dando origem ao silicatos monocálcicos hidratados.

□ c) O C_2S reage muito mais tarde, do seguinte modo:







- Definição dos Tipos de Cimentos





- **Cimento Portland de Alto Forno – NBR 5735 (EB-208/74)**


- O cimento portland de alto forno, de acordo com a NBR 5735 (EB-208), é o aglomerante hidráulico obtido pela moagem de *clínquer portland e escória granulada de alto forno*, com adição eventual de sulfato de cálcio.
- O conteúdo de escória granulada de alto forno deve estar compreendido entre 25% e 65% da massa total.

- 
- O cimento portland de alto forno é de emprego generalizado em obras de concreto simples, concreto armado e protendido. Além disso, considera-se indicado o seu emprego em concreto exposto a águas agressivas com água do mar e sulfatadas, dentro de certos limites.

- 
- ***“O emprego de cimento portland de alto forno em obras marítimas, sobretudo em países tropicais ou sub-tropicais, e em terrenos com águas sulfatadas, é justificado pelo fato de possuírem pequena proporção de aluminato tricálcico e maior proporção de silicatos de cálcio de menor basicidade, que produzem na hidratação menor quantidade de hidróxido de cálcio”.***


- 
- **Cimento Portland Pozolânico - NBR 5736 (EB – 758/74)**
 - O cimento portland pozolânica, de acordo com a NBR 5736 (EB – 758/74), é o aglomerante hidráulico obtido pela moagem da mistura de clínquer portland e pozolana, sem adição durante a moagem de outra substância a não ser uma ou mais formas do sulfato de cálcio.


- 
- De acordo com a seção 3.1 da norma acima citada, o teor de pozolana é de 10% a 40% da massa total do cimento portland pozolânico para o tipo 250 e 10% a 30% da massa total do cimento pozolânico para o tipo 320.

- 
- O cimento portland pozolânico é de emprego generalizado no concreto não havendo contra-indicação quanto ao seu uso, desde que respeitadas as suas peculiaridades, principalmente quanto às menores resistências nos primeiros dias e a necessidade conseqüente de cuidadosa cura.

■ **Cimento Portland Branco**

- O cimento portland branco é um cimento portland comum, produzido com matéria-prima que não apresente coloração prejudicial à sua brancura característica.
- Assim, reduz-se ao mínimo o teor de ferro, sendo evitado o emprego de argilas que contenham ferro e outros elementos como manganês, magnésio, titânio etc.

- 
- Os óxidos de ferro usados na fabricação do cimento são fundentes e, portanto, reduzem a temperatura de clínquerização. No caso dos cimentos brancos, devido a ausência de fundente, a clínquerização se dá a temperaturas mais elevadas, da ordem de 1500 °C, acarretando o emprego, no forno, de refratários de maior custo, além de exigir maior consumo de combustível.

- 
- O cimento portland branco apresenta resistência à compressão elevada, mais seu emprego geralmente visa fins estéticos e como matéria-prima na fabricação de tintas. Guias e sarjetas revestidas de argamassa de cimento branco têm o seu uso indicado no interior de túneis, sub-solo de edifícios etc.