

# **MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO 2**

**Apoio às aulas práticas**

**Joana de Sousa Coutinho  
FEUP  
2002**

## Unidades (algumas!)

MASSA	Quilograma	Kg
FORÇA	Newton	N
	Quilonewton	kN
Tensões	Pascal	Pa
	$10^6$ Megapascal	MPa
	$10^9$ Gigapascal	GPa

$$1 \text{ N} = 0,102 \text{ kgf} (\approx 0.1) \quad 1 \text{ kgf} = 9.8 \text{ N}$$

$$1 \text{ N/mm}^2 = 1 \text{ MPa}$$

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 \approx 1 \times 10^{-5} \text{ kgf/cm}^2$$

$$1 \text{ GPa} \approx 10200 \text{ kgf/cm}^2$$

$$1 \text{ kgf/cm}^2 = 9.8 \times 10^4 \text{ Pa} \approx 10^5 \text{ Pa} \approx 10^{-1} \text{ MPa} \quad (0.098 \text{ MPa})$$

$$1 \text{ Kgf/mm}^2 = 9.8 \text{ N/mm}^2 = 9.8 \text{ MPa} \approx 10 \text{ MPa}$$

$$1 \text{ KN/mm}^2 = 1000 \text{ MPa} = 1 \text{ GPa}$$

Temperatura  $^{\circ}\text{F} \rightarrow ^{\circ}\text{C}$

$$(F - 32) \times \frac{5}{9}$$

$^{\circ}\text{C} \rightarrow ^{\circ}\text{F}$

$$(C \times \frac{9}{5}) + 32$$

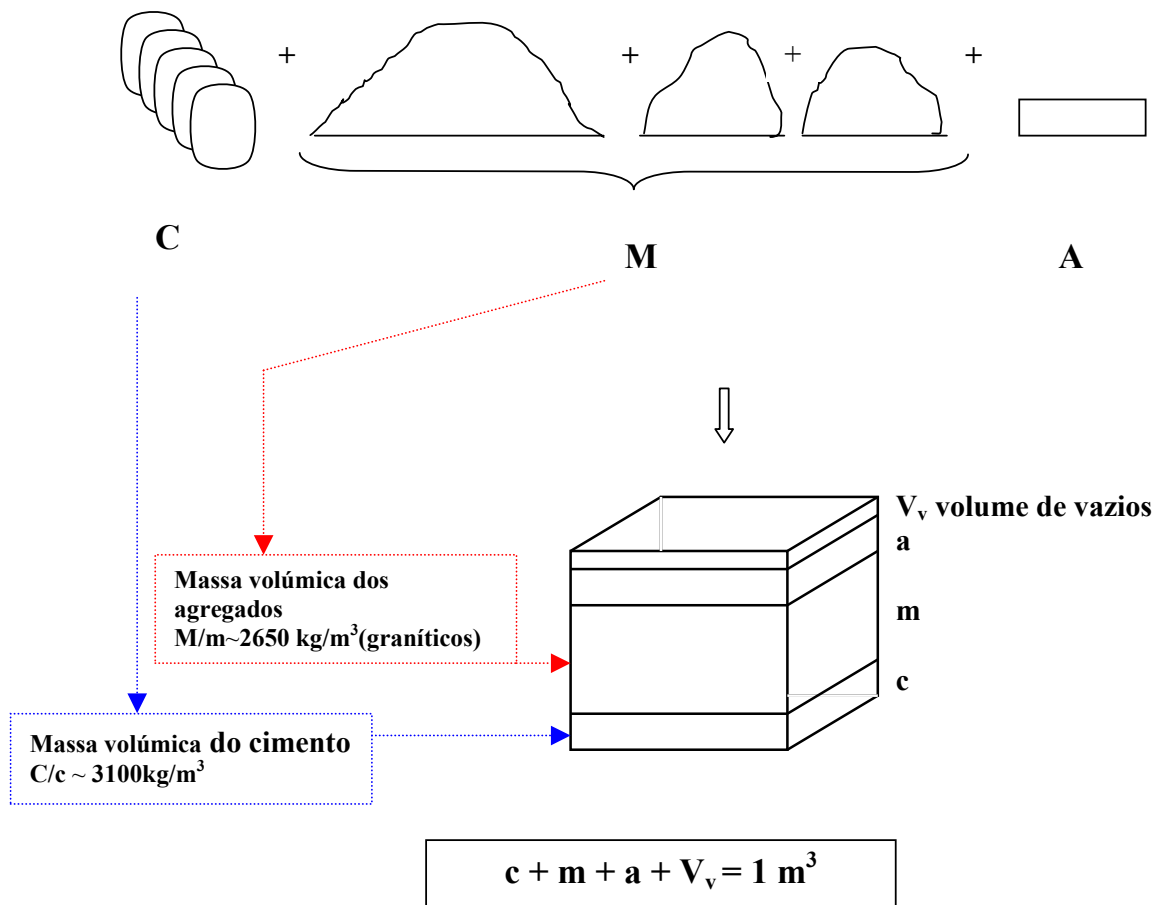
## MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO 2

- Calda de cimento ► Cimento+água (+adjuvantes)
- Argamassa —► Areia+ Cimento+água (+adjuvantes)
- Betão —► Agregado grosso+ Areia+ Cimento+água (+adjuvantes)

### COMPOSIÇÃO DE UM BETÃO

As proporções dos constituintes sólidos de um betão a produzir, vem, em geral, expressas em kg por metro cúbico de betão. Por exemplo:

<p><b>Cimento</b></p> <p><b>Agregados</b></p> <p style="padding-left: 20px;">Areia</p> <p style="padding-left: 20px;">Brita 5/15</p> <p style="padding-left: 20px;">Brita 15/25</p> <p><b>Água</b></p> <p><b>Adjuvante (%C)</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>C=350 kg/m<sup>3</sup></b></p> <p style="padding-left: 20px;"><b>M<sub>1</sub>=750 kg/m<sup>3</sup></b></p> <p style="padding-left: 20px;"><b>M<sub>2</sub>=550 kg/m<sup>3</sup></b></p> <p style="padding-left: 20px;"><b>M<sub>3</sub>=550 kg/m<sup>3</sup></b></p> <p style="padding-left: 20px;"><b>A= 175 litros/ m<sup>3</sup></b></p>	<p>C, M, A – massa</p> <p>c, m, a - volume</p>
---	--	--



# LIGANTES

## TIPOS:

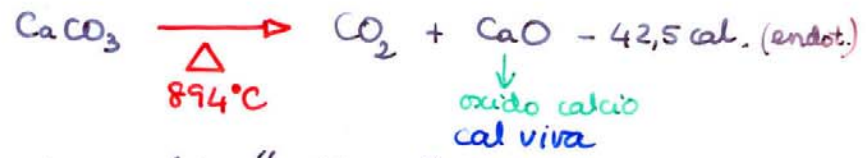
- LIGANTE HIDRAULICO** → É constituída por pós muito finos que amassados com água, formam uma pasta cujo endurecimento se dá apenas pela reação química entre o pó e a água. Ex: CIMENTO PORTLAND  
  - LIGANTE** • esta designação deve-se à propriedade que tem de poder aglomerar aglomerados (areias, gomas etc)
  - HIDRAULICO** • porque além de endurecerem ao ar, também adquirem elevadas resistências debaixo da água.
- LIGANTES AÉREAS** → só endurecem ao ar; CO<sub>2</sub> transforma-os em carbonatos. São os mais antigos e hoje pouco usados (seixix cimento Portland) Ex: gesso, cal apagada.
- LIGANTES: "HIDROCARBONETOS" e RESINAS SINTÉTICAS** → de origem orgânica, em franco desenvolvimento, usam-se em mistura com o cimento e impregnados no betão.

## LIGANTES MAIS USADOS:

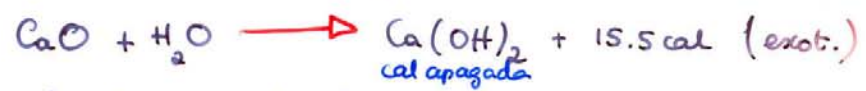
**GESSO** → resulta da desidratação parcial ou total da PEDRA de gesso  $SO_4Ca, 2H_2O$ . Reduzido 'a pó' e amassado com água recupera a água de cristalização endurecendo.

- Característica notável • presa e feita com aumento de volume isto é, tem vantagens para enchimento de moldes. A presa é muito rápida.
- Inconveniente • No nosso clima o gesso não pode ser usado no exterior.

**CAL AÉREA** → Resulta da calcinação de pedra calcária a cerca de 894°C.



Antes de aplicada é necessário "extinguir" a cal, que se faz por imersão ou aspersão com água:



O endurecimento faz-se por recarbonatação ao ar:



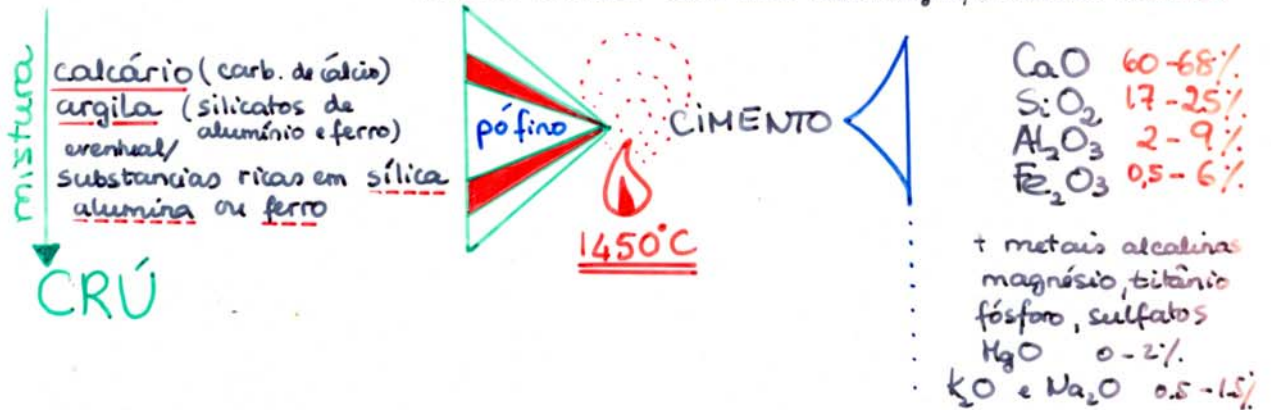
A cal retrai ao secar, levando a uma fissuração. É assim conveniente usar areia, na argamassa.

**CAL HIDRÁULICA** → Resulta do aquecimento a mais de 1000°C de pedra calcária com uma percentagem de argila entre 5 e 20%.

No final da cozedura teremos uma mistura de silicatos e aluminatos de cálcio e cal viva que é necessário extinguir. É necessário extinguir a cal viva (CaO) com a quantidade de água estritamente necessária, para que a água em excesso não hidrate os silicatos e aluminatos.

## CIMENTO:

ligante hidráulico finamente moído que convenientemente amassado com água, forma uma pasta que devido a reacção de hidratação, faz presa, endurece e permanece mecanicamente resistente e estável tanto ao ar como na água, em condições normais.



Teor de CaO reativo + Teor de SiO<sub>2</sub> reativo ≥ 50%

Quadro 1  
Cimentos. Tipos e composição.

Cimentos		Percentagem em massa (%)						Constituintes em percentagem minoritária (%)
		Constituintes principais						
Designação	Tipo	Clinker portland K	Escor.gra. alto-forno S	Pozzolana natural Z	Cinzas volantes C	Filer F		
Cimento portland	I	95 a 100	-	-	-	-	0 a 5	
Cimento portland composto	II (2)	65 a 94	0 a 27	0 a 23	0 a 23	0 a 16	-	
Cimento portland de escona	II-S (2)	65 a 94	6 a 35	-	-	-	0 a 5	
Cimento portland de pozolana	II-Z (2)	72 a 94	-	6 a 28	-	-	0 a 5	
Cimento portland de cinzas volantes	II-C (2)	72 a 94	-	-	6 a 28	-	0 a 5	
Cimento portland de filer	II-F (2)	80 a 94	-	-	-	6 a 20	0 a 5	
Cimento de alto-forno	III (4)	20 a 64	36 a 80	-	-	-	0 a 5	
Cimento pozolânico	IV (2)	≥ 60	-	≤ 40	-	-	0 a 5	

NP 2064

(2001) NP EN 197-1. LINHA DO: Composição, especificação e critérios de conformidade para cimentos correntes

Doco de base (en)

Quadro 1 - Os 27 produtos da família de cimentos correntes

Tipos principais	Notação dos 27 produtos (tipos de cimento corrente)		Composição (percentagem em massa <sup>a</sup> )										Constituintes adicionais minoritários	
			Constituintes principais											
			Clinker K	Escória de alto forno S	Sílica de fumo D <sup>b</sup>	Pozolana		Cinza volante		Xisto cozido T	Calcário			
natural P	natural calcinada Q	silícios a V				calcária W	L	LL						
CEM I	Cimento Portland	CEM I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM II	Cimento Portland de escória	CEM II/A-S	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-S	65-79	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Cimento Portland de sílica de fumo	CEM II/A-D	90-94	-	6-10	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Cimento Portland de pozolana	CEM II/A-P	80-94	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-P	65-79	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/A-Q	80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-Q	65-79	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	0-5
	Cimento Portland de cinza volante	CEM II/A-V	80-94	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-V	65-79	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/A-W	80-94	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-W	65-79	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	0-5
	Cimento Portland de xisto cozido	CEM II/A-T	80-94	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	0-5
		CEM II/B-T	65-79	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	0-5
	Cimento Portland de calcário	CEM II/A-L	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5
		CEM II/B-L	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	0-5
		CEM II/A-LL	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	0-5
		CEM II/B-LL	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	0-5
	Cimento Portland composto <sup>c</sup>	CEM II/A-M	80-94	←----- 6-20 ----->										0-5
CEM II/B-M		65-79	←----- 21-35 ----->										0-5	
CEM III	Cimento de alto forno	CEM III/A	35-64	36-65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM III/B	20-34	66-80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM III/C	5-19	81-95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM IV	Cimento pozolânico <sup>e</sup>	CEM IV/A	65-89	-	<----- 11-35 ----->					-	-	-	0-5	
		CEM IV/B	45-64	-	<----- 36-55 ----->					-	-	-	0-5	
CEM V	Cimento composto <sup>c</sup>	CEM V/A	40-64	18-30	-	<----- 18-30 ----->		-	-	-	-	0-5		
		CEM V/B	20-38	31-50	-	<----- 31-50 ----->		-	-	-	-	0-5		

a Os valores do quadro referem a soma dos constituintes principais e dos adicionais minoritários..

b A incorporação de sílica de fumo é limitada a 10 %.

c Nos cimentos Portland compostos CEM II/A-M e CEM II/B-M, nos cimentos pozolânicos CEM IV/A e CEM IV/B e nos cimentos compostos CEM V/A e CEM V/B os constituintes principais, além do clinker, devem ser declarados na designação do cimento ( por exemplo ver cláusula 8)

# Cimentos

## Aulas práticas

- Determinação da MASSA VOLÚMICA de um cimento E64 (LNEC)  
PRESA NP EN 196-3 (1996)
- Determinação da CONSISTENCIA NORMAL
- Determinação do TEMPO de PRESA
- Determinação da EXPANSIBILIDADE
- Determinação da RESISTENCIA MECÂNICA  
NP EN 196-1 (1996)

# Massa Volúmica E64

MC2

4

João de Jesus Cruz

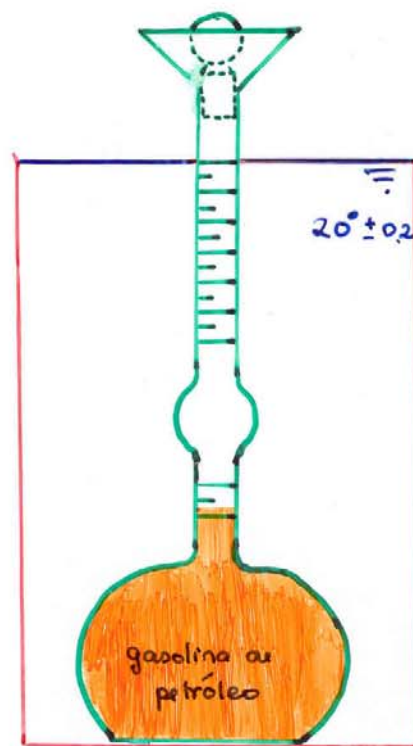
## Massa Volúmica

É medida a massa de uma quantidade definida de cimento e o seu volume a partir do deslocamento de um líquido num VOLUMINÍMETRO apropriado designado incorrectamente por "DENSÍMETRO" de LE CHÂTELIER.

O líquido que se usa é a gasolina ou petróleo. ( $\pm 300 \text{ cm}^3$ )

## Ensaio

1. Seca-se na estufa cerca de 100g do cimento ( $105-110^\circ\text{C}$ ) até massa constante.
2. Tomam-se 65g do cimento ( $m$ ) seco pesado num copo de vidro.
3. Enche-se o voluminómetro (seco na estufa) com o líquido até um nível entre as graduações ZERO e UM. Rolha-se e coloca-se no recipiente com água a  $20 \pm 0.2^\circ\text{C}$ . Aguarda-se que a temperatura de água estabilize.
4. Retira-se o voluminómetro e lê-se o valor correspondente ao nível do líquido com aproximação à meia divisão ( $V_1$ ).
5. Com o funil, introduz-se o cimento com cuidado. Inclina-se ligeiramente o voluminómetro e roda-se alternadamente num sentido e no outro para favorecer a libertação de bolhas de ar aderentes às partículas de cimento. Rolha-se e coloca-se novamente na água.
6. Aguarda-se que a temperatura estabilize, retira-se o voluminómetro e lê-se o valor correspondente ao nível do líquido com aproximação à meia divisão ( $V_2$ ).



regulação térmica para manter temperatura a  $20 \pm 0.2^\circ\text{C}$

## RESULTADO

$$\text{MASSA VOLÚMICA} = \frac{m}{V_2 - V_1}$$

$m$  → massa do provete seco em gramas

$V_1$  → valor correspondente ao volume do líquido em  $\text{cm}^3$

$V_2$  → valor correspondente ao volume do líquido e do provete em  $\text{cm}^3$



202

MC2  
5  
1999

## OBJECTIVO

2020 de Junho Junho

O interesse deste ensaio reside na detecção de existência de material inerte no cimento (adulterado, mal cozido ou ainda, parcialmente hidratado)

A massa volúmica do cimento deve ser superior a  $3.05 \text{ g/cm}^3$ .

De facto as massas volúmicas dos vários componentes do cimento são todas superiores a  $3 \text{ g/cm}^3$ .

A massa volúmica dos componentes hidratados é muito mais baixa. ( $1.73$  a  $2.44 \text{ g/cm}^3$ ) sendo o valor da massa volúmica do cimento completamente hidratado, de  $2.13 \text{ g/cm}^3$ .

CIMENTO  
NÃO HIDRATADO



massas volúmicas  
dos componentes

$> 3 \text{ g/cm}^3$

limite  $3.05 \text{ g/cm}^3$

CIMENTO  
HIDRATADO



massas volúmicas  
dos componentes

$1.73 - 2.44 \text{ g/cm}^3$

(cimento completamente  
hidratado  
 $2.13 \text{ g/cm}^3$ )

# Presas

MC2  
E  
2020 de Junho Curitiba

A presa consiste na passagem do estado líquido ao sólido isto é a **RIGIDIFICAÇÃO** da pasta de cimento.

A presa dá-se devido a um conjunto de reacções da água com os SAIS MINERAIS que compõem o cimento e que dão origem a um novo sistema de compostos hidratados estáveis que cristalizam com hábito acicular emaranhando-se e colando-se uns aos outros, o que confere ao conjunto uma resistência notável.

NORMA PORTUGUESA

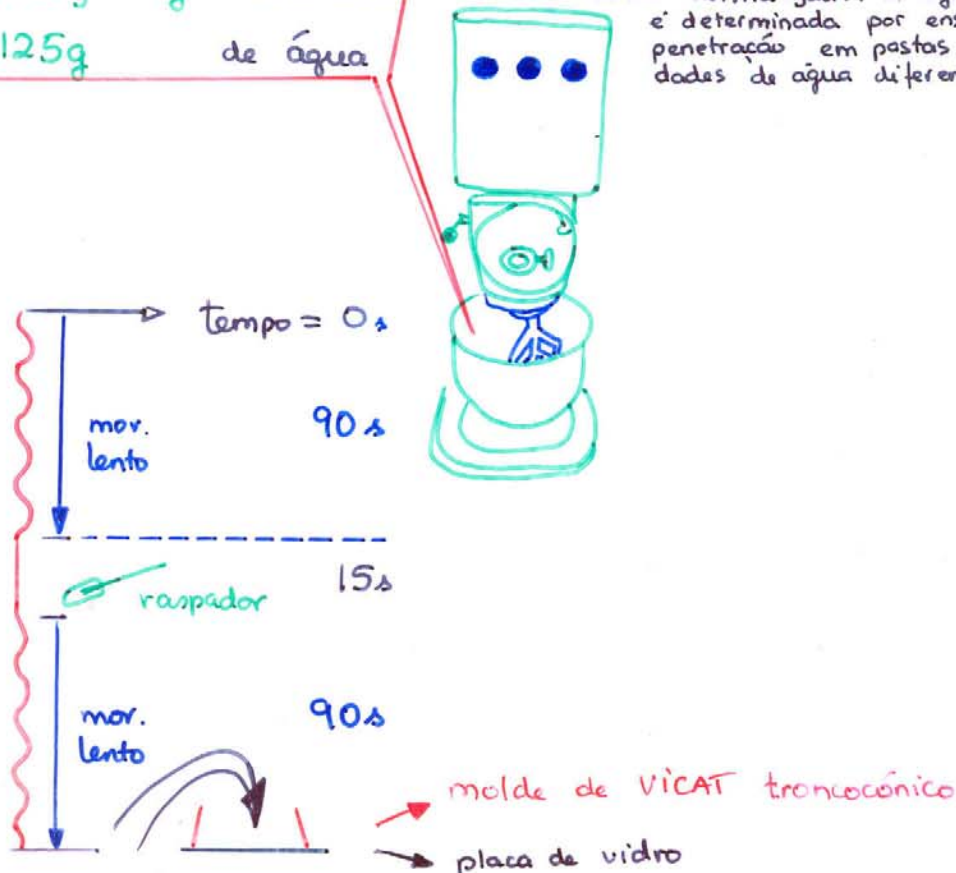
EN 196-3 (1996) METODOS de ENSAIOS de CIMENTOS : Parte 3 : DETERMINAÇÃO do tempo de presa e da expansibilidade.

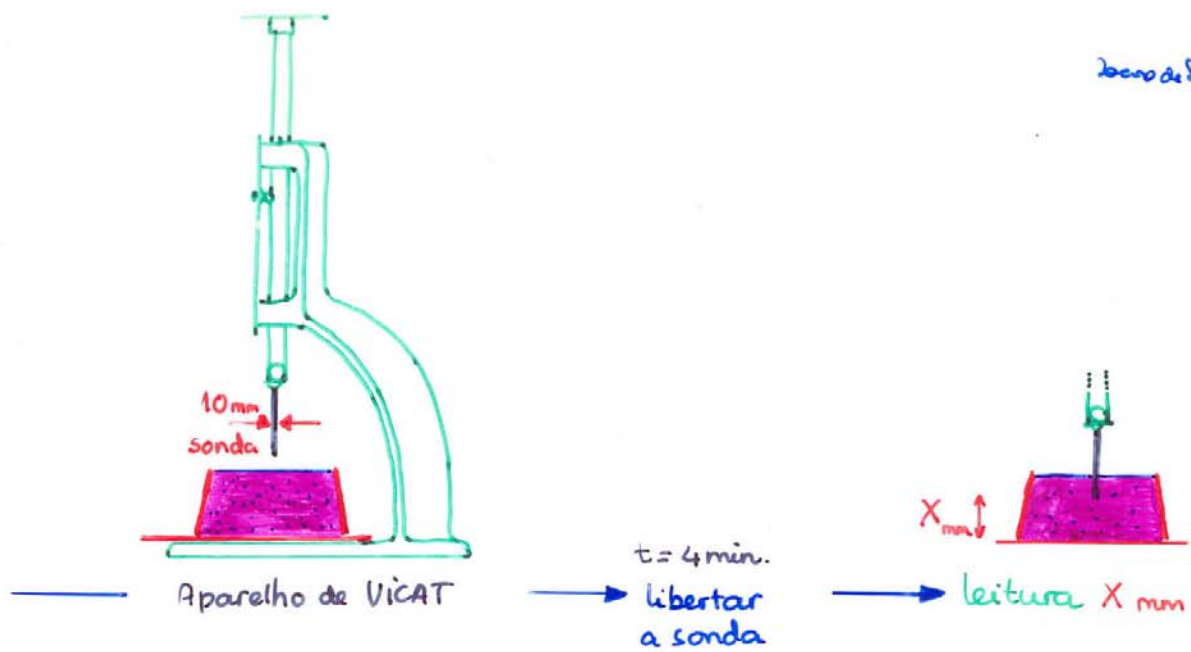
1. DETERMINAÇÃO da CONSISTENCIA NORMAL
2. DETERMINAÇÃO do TEMPO DE PRESA → determinado observando a penetração de uma agulha numa pasta de cimento de consistência normal até ao MOMENTO em que essa penetração atinge determinado valor.
3. DETERMINAÇÃO da EXPANSIBILIDADE → determinada observando a expansão volumica de uma pasta de cimento de consistência normal, indicada pelo movimento relativo de duas agulhas.

## 1. DETERMINAÇÃO da CONSISTENCIA NORMAL

500g ± 1g de cimento  
Por ex. 125g de água

A pasta de cimento de CONSISTENCIA NORMAL oferece uma resistência especificada à penetração de uma sonda normalizada. A água necessária é determinada por ensaios de penetração em pastas com quantidades de água diferentes (tentativas)





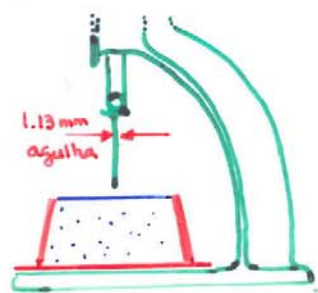
- RESULTADO DESTES ENSAIO:  $X \text{ mm}$  para teor água =  $\frac{\text{água g.}}{\text{cimento g.}}$
- REPETIR o ensaio com pastas de teores de água diferentes até que se encontre uma que conduza a uma distância de  $6 \pm 1 \text{ mm}$  entre a sonda e a placa de base.
- REGISTRAR o TEOR de ÁGUA desta pasta com aproximação de 0,5% como TEOR de ÁGUA PARA AMASSADURA DA PASTA de CONSISTÊNCIA NORMAL.

## 2. DETERMINAÇÃO do TEMPO DE PRESA

Este ensaio deve ser levado a cabo num ambiente a  $20 \pm 1^\circ \text{C}$  e 90% de humidade relativa.

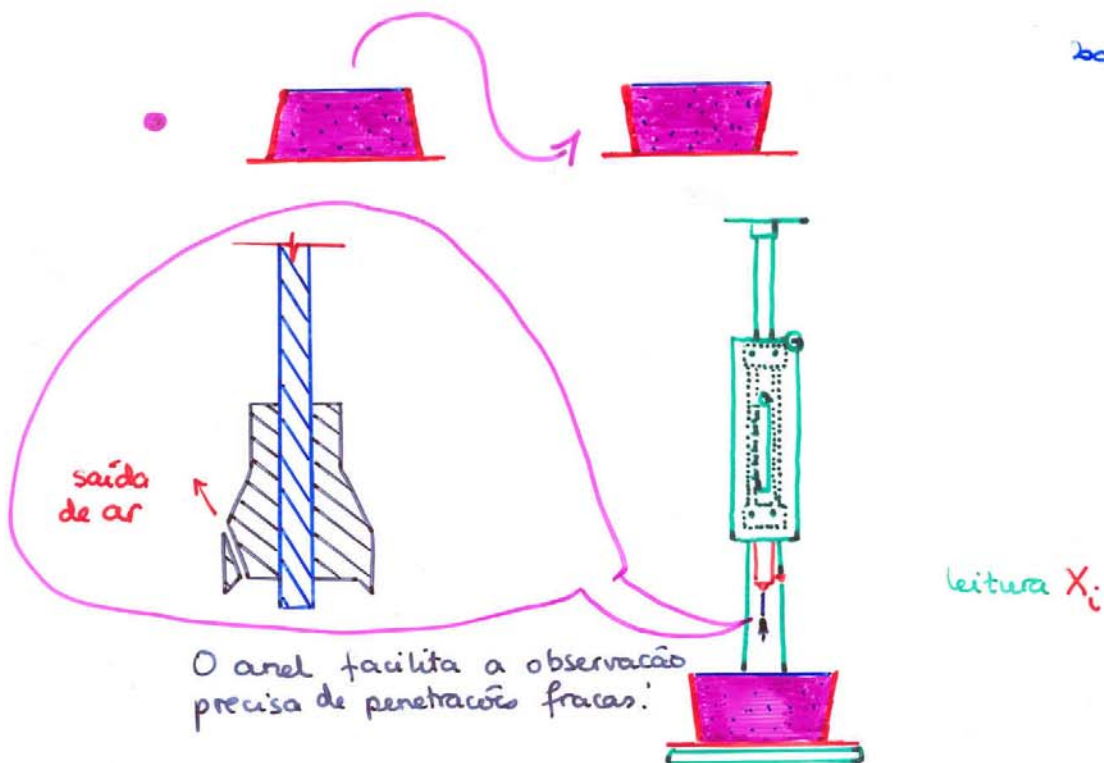
É utilizado o Aparelho de VICAT mas com a AGULHA em vez da SONDA.

- Com o molde cheio com pasta de CONSISTÊNCIA NORMAL



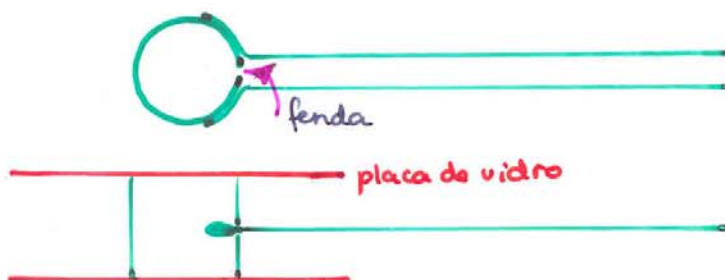
leitura  $X_i$  → Tempo:  $t_i$   
em posições espaçadas (10 mm)  
 $\Delta t \rightsquigarrow 10 \text{ min.}$

- Tempo decorrido (desde  $t=0$ ) até se obter  $X = 4 \pm 1 \text{ mm}$  com aproximação de 5 min; é o TEMPO de PRINCÍPIO DE PRESA.



- $\Delta t \sim 30 \text{ min.}$
- Registrar com a aproximação de 15 min. o TEMPO DECORRIDO a partir do instante zero ao fim do qual a agulha penetra pela primeira vez apenas  $X = 0,5 \text{ mm}$  e esse é o TEMPO de FIM de PRESA, isto é corresponde ao tempo ao fim do qual o ACESSÓRIO AVELAR DEIXA de FAZER UM TRACO NO PROVETE.

### 3. DETERMINAÇÃO DA EXPANSIBILIDADE



APARELHO de LE CHATELIER para determinação da expansão do cimento.

**Ensaio**

O ensaio é feito simultaneamente com 2 provetes.

- Preparar uma pasta de cimento de **CONSISTÊNCIA NORMAL** e encher o molde de Le Chatelier e tapar com placas (e resso)
- **24 h ± 0,5 h** a **20 ± 1°C** com **HR ≥ 98%**.
- Medir o afastamento **A** com aproximação 0,5 mm.
- Aquecer (banho-maria) gradualmente até à ebulição da água em **30 m ± 5 m** e manter em ebulição durante **3 h ± 5 min**.
- Medir o afastamento **B** com aproximação 0,5 mm.
- Deixar arrefecer até **20 ± 2°C**.
- Medir o afastamento **C** com aproximação 0,5 mm.

**RESULTADO**

A media das diferenças **C-A** dá-nos uma medida de expansibilidade

$$C - A \leq 10 \text{ mm (Quadro 2, pg 4, NP 2064 Emenda 1)}$$

O objectivo principal deste ensaio de expansibilidade é avaliar o risco possível de expansão tardia devido à **HIDRATAÇÃO** dos **ÓXIDOS** de **CÁLCIO LIVRES**.

**REPETIÇÃO do ENSAIO:**

Se o cimento fresco não obedece as prescrições de expansibilidade especificadas pode-se ensaiar de novo

espalhando o cimento numa camada de 7 cm durante 7 dias a **20 ± 2°C** e **HR ≥ 65%** e ensaiando de novo.

NP 2064  
Emenda 1

Quadro 2  
Exigências mecânicas e físicas

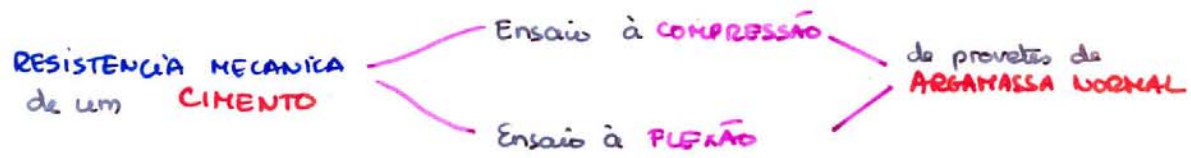
Classes	Resistência à compressão (MPa)			Princípio de presa min	Expansibilidade mm
	Resistência aos primeiros dias		Resistência de referência		
	2 dias	7 dias	28 dias		
32,5 N	—	≥ 16	≥ 32,5 e ≤ 52,5	≥ 75	≤ 10
32,5 R	≥ 10	—	≥ 60		
42,5 N	≥ 10	—	≥ 42,5 e ≤ 62,5	≥ 60	
42,5 R	≥ 20	—	≥ 45		
52,5 N	≥ 20	—			
52,5 R	≥ 30	—			

a verde (emeto)  
NP EN 197-1  
(2001)

JK

# DETERMINAÇÃO da RESISTÊNCIA MECÂNICA NP EN 196-1 (1996)

A determinação da RESISTÊNCIA MECÂNICA dos cimentos é realizada através de ensaios à compressão e à flexão de provetes de ARGAMASSA NORMAL.



## 1. Preparação da ARGAMASSA NORMAL

Os provetes (3 para cada idade em que se pretende determinar a resistência mecânica) são de argamassa normal, preparada com:

1.1. AREIA NORMAL → areia natural, siliciosa, grão arredondado com composição granulométrica definida no quadro:

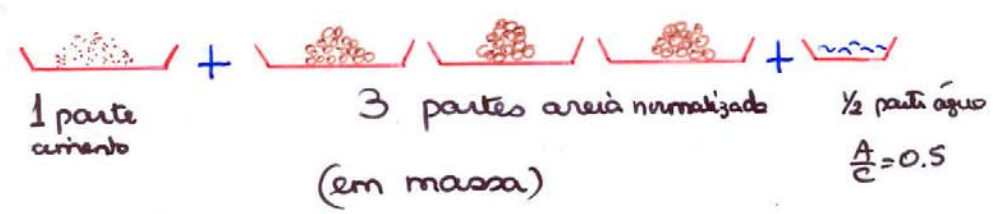
pode ser obtido por moagem

abertura do peneiro	material retido %
2.00	0
1.60	7 ± 5
1.00	33 ± 5
0.50	67 ± 5
0.16	87 ± 5
0.08	99 ± 1

1.2. ÁGUA → deve ser destilada embora para ensaios correntes admite-se a utilização de água potável de distribuição pública.

1.3. CIMENTO → O cimento a ensaiar é passado por um funil com malha de peneiro de 600µm para evitar aglomerados de partículas.

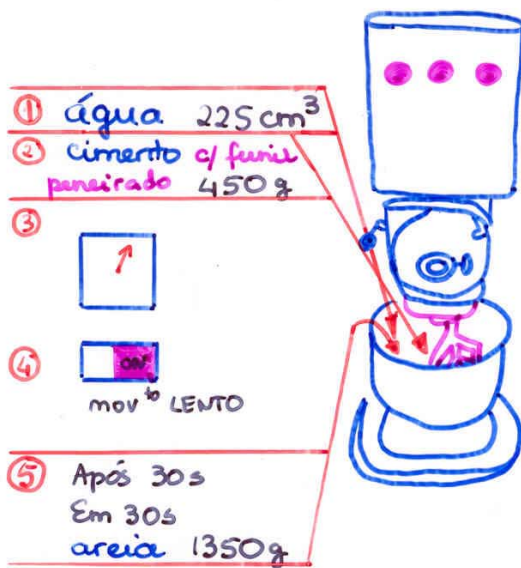
ARGAMASSA NORMAL: (C:3C:0.5C)



## 1.4 PROCEDIMENTO

MC2  
11

2000 de dose 1000h



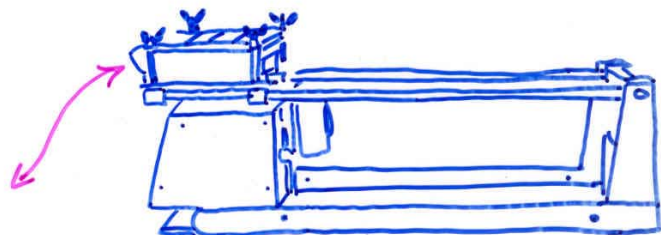
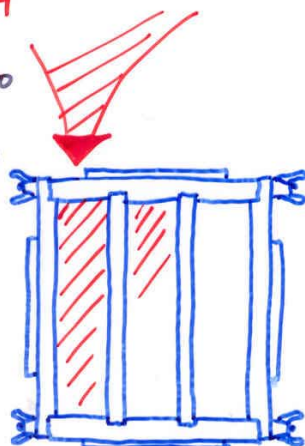
Temperatura 20 ± 2 °C  
Humidade Relativa > 65%

mov<sup>to</sup> lento 140 ± 5 rpm  
mov<sup>to</sup> rápido 285 ± 5 rpm

- ⑥ mov<sup>to</sup> rápido  
30s  
⑦  OFF 15s raspadeira  
⑧ Repouso 75s.  
⑨  ON  
mov<sup>to</sup> rápido  
60s  
⑩ MOLDAGEM IMEDIATA

## 2. MOLDAGEM

- ① Enchimento  
até metade  
da capacidade



- ②  ON 60 choques  
③ Completa-se o enchimento  
④  ON 60 choques  
⑤ Retira-se o molde do aparelho, rasa-se  
e alisa-se. Identificam-se.

### 3. CONDICIONAMENTO

① Imediatamente a seguir cobrir com chapa de vidro (ou aço outro material impermeável)

② Colocar na câmara de condicionamento

Temperatura  $20 \pm 1^\circ\text{C}$   
 Humidade Relativa  $> 90\%$



24 horas - 20 minutos antes do ensaio para ensaios às 24 horas.

20-24 horas para ensaios superiores às 24 horas.

③ Desmoldar com cuidado

④



provetes na posição de moldagem.

⑤  $t \rightarrow$  IDADE dos provetes • desde o instante (zero) em que se adiciona o cimento à água, até ao momento do ensaio.

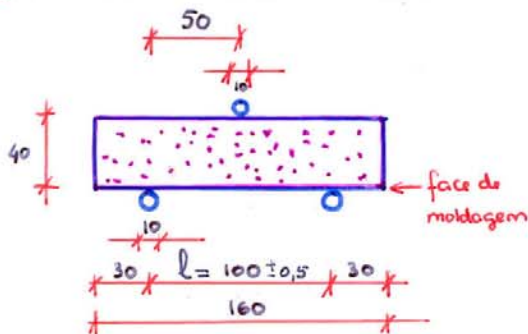
TOLERÂNCIAS  $\rightarrow$   
 $24h \pm 15$  minutos

2 dias	$\rightarrow$	$\pm 30$ minutos
3 dias	$\rightarrow$	$\pm 45$ minutos
7 dias	$\rightarrow$	$\pm 2$ horas
$\geq 28$ dias	$\rightarrow$	$\pm 8$ horas

### 4. Ensaio

Temperatura  $20 \pm 2^\circ\text{C}$   
 Humidade Relativa  $> 65\%$

#### 4.1 Ensaio de FLEXÃO

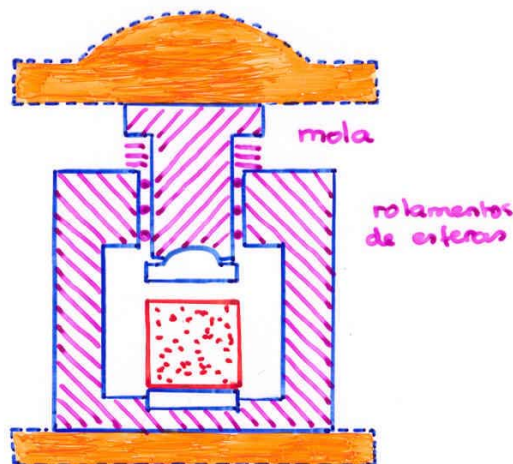


Aplicam-se forças, na máquina, gradualmente crescentes ao ritmo  $50 \pm 10$  N/s, de modo crescente e sem choques até à ROTURA.

Registar a FORÇA de ROTURA (força máxima)



## 4.2 Ensaio de COMPRESSÃO



Realizado imediatamente a seguir ao ensaio de flexão sobre os **meios prismas** dele resultantes.

Depois de fazer descer o prato superior da máquina até estabelecer contacto com a face superior do provete, aplicam-se forças gradualmente crescentes, de modo contínuo e sem choques ao ritmo  $2400 \pm 200$  N/s, até à rotura do provete.

Registar a **FORÇA de ROTURA** (força máxima)

## 5. RESULTADOS

FLEXÃO	Tensão de Rotura por <b>flexão</b> de cada PROVETE MPa $\rightarrow = \frac{1,5 \times F_f \times l}{b^3}$ $F_f$ força rotura por <b>flexão</b>
	Tensão de rotura por flexão correspondente à IDADE $t = \frac{\sum G_i}{3}$
COMPRESSÃO	Tensão de Rotura por <b>compressão</b> MPa $\rightarrow = \frac{F_c}{40 \times 40}$ $F_c$ força de rotura por <b>compressão</b>
	Tensão de rotura por compressão correspondente à IDADE $t = \frac{\sum G_i}{6}$

## ARGAMASSAS

### 1. DEFINIÇÃO → Pedra artificial obtida por mistura de ligante com areia e água.

A reacção do ligante com a água produz a sua **hidratação** formando-se uma pasta que aglomera os grãos de areia e endurece obtendo-se uma massas homogénea → argamassa.

### 2. PROPRIEDADES QUE SE EXIGEM A UMA ARGAMASSA:

- Resistência mecânica (R. compressão, R. desgaste)
- Impermeabilidade
- Aderência
- Constância de volume (durante a presa e endurecimento)
- Resistência química (aos meios agressivos)

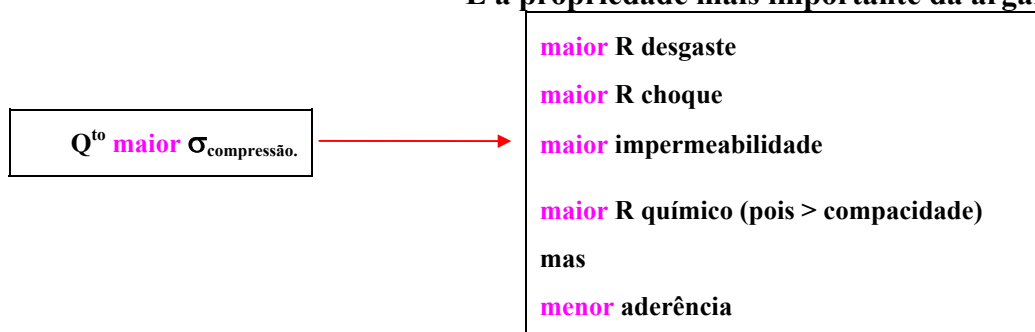
(Estas propriedades são as gerais. Em função da aplicação há que realçar algumas delas)

### 3. APLICAÇÕES

- Argamassas para alvenarias
- Argamassas de assentamento (pedras ou tijolos)
- Argamassa de revestimento (rebocos, regularização)
- Argamassas de impermeabilização (reservatório)
- Pré-fabricação não-pesada: tubos, vigotas
- Blocos de argamassa

### 4. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

É a propriedade mais importante da argamassa.



1. FERET

$$R_t = K_t \left( \frac{c}{1-m} \right)^2$$

(volumes)

- c → volume unitário de cimento
- m → volume unitário de areia
- 1 → volume unitário de argamassa
- R<sub>t</sub> → resistência ao fim de tempo t

Quanto  $> \frac{A}{C} \Rightarrow <$  Resistência à compressão

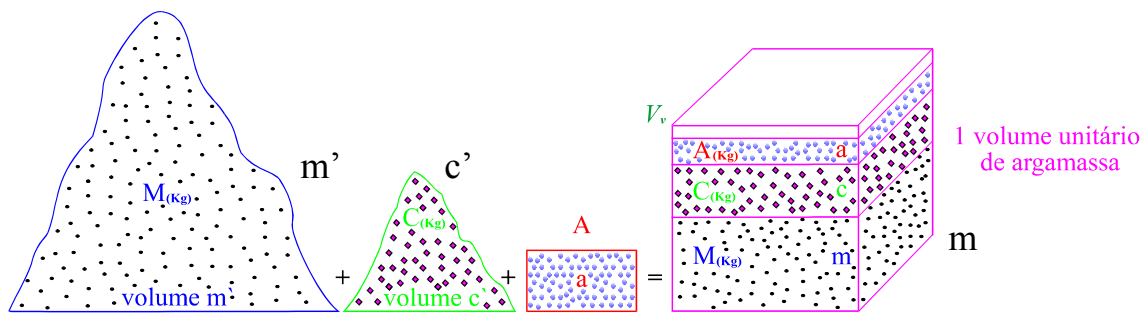
K<sub>t</sub> → factor de proporcionalidade que depende de:

- tempo de ensaio
- tipo ligante
- forma e dimensões do provete
- condições do ensaio

2.

$$c + m + a + v_v = 1$$

V<sub>v</sub> - volume unitário de vazios.



traço peso  $1: \frac{M}{C} : \frac{A}{C}$

baridade

traço volume  $1: \frac{m'}{c'} : \frac{a'}{c'}$

Quanto maior a relação A/C menor é a resistência à compressão.

$$m \neq m' \quad c \neq c'$$

3. BOLOMEY

$$R_t = K' \left[ \left( \frac{\gamma_{arg}}{2,35} \right)^2 \times \frac{C}{A} \right]^{K''}$$

- $\gamma_{arg}$  → massa volúmica da argamassa (t/m<sup>3</sup>)
- K' → constante que depende do tempo de ensaio, forma e dimensões provete, condições de ensaio.
- K'' → (1,2 a 2,0) depende do ligante

CASO USUAL

$$\gamma_{arg} \cong 2,35t / m^3; \quad K'' \text{ (cimento Portland)} \cong 1,5 \quad e$$

então:

$$R_t = K' \left( \frac{C}{A} \right)^{1,5}$$

#### 4. COMPOSIÇÃO DE UMA ARGAMASSA:

		TRAÇO EM PESO	TRAÇO EM VOLUME
1 m <sup>3</sup> argamassa	C (Kg)	ex: 1:3: 0,5	ex: 1: 2,3: 0,575
	M (Kg)	C: M/C: Ag/C	(1 balde cimento)
	Ag (l)	logo	(2,3 baldes areia)
		M = 3C Ag = 0,5C	...
		PESOS	1: m' / c': a / c'

Para converter o traço em volume para **TRAÇO em PESO** usa-se a baridade (massa volúmica aparente)

**Ex:** TRAÇO EM VOLUME (1: m' / c': a / c')

1: 2,3: 0,575

$$\delta_c = \text{baridade} = 1150 \text{ Kg/m}^3$$

$$\delta_m = \text{baridade} = 1500 \text{ Kg/m}^3$$

**Resolução:**

1: 2,3: 0,575

1 x 1.150	2,3 x 1.500	0,575 x 1.000	
peso de 1m <sup>3</sup>	peso de 2,3m <sup>3</sup> areia		
cimento			
$\frac{1 \times 1.150}{1 \times 1.150}$	$\frac{2,3 \times 1.500}{1 \times 1.150}$	$\frac{0,575 \times 1.000}{1 \times 1.150}$	
1	3	0,5	
<b>C</b>	<b>M</b>	<b>Ag</b>	em PESO i.e.   M = 3C Ag = 0,5C

#### 5. QUANTIDADE DE ÁGUA

É a necessária para hidratar o cimento e para conferir trabalhabilidade à argamassa.

QUANTO > C/A → > R<sub>mec</sub> e < trabalhabilidade

Há que compatibilizar estas 2 características.

### FÓRMULA RIGOROSA DE BOLOMEY (ARGAMASSA E BETÃO)

$$Ag = 0,23C + NM \sum_i \frac{p_i}{\sqrt[3]{d_i \times d_{i+1}}} + \left( \frac{0,23}{0,35} \right) p_{<0,2MM} \times M$$

(mm)

$p_i \rightarrow$  percentagem de inerte com diâmetro  $d_i < d < d_{i+1}$

$N \rightarrow$  constante que depende

da forma do material agregado (rolado ou britado)  
consistência da argamassa ou betão

#### ATENÇÃO

Embora designado por método **RIGOROSO**, dada a imprecisão do valor de  $N$  não se deve dispensar uma determinação experimental de  $Ag$  e portanto de  $N$ .

Se a areia se encontra definida em termos de F, M e G:

vem: (simplificando)

$$Ag = 0,23C + NM \left( \frac{p_M}{\sqrt[3]{0,5 \times 2}} + \frac{p_G}{\sqrt[3]{2 \times 5}} \right) + \left( \frac{0,23}{0,35} \right) \cdot p_F \cdot M$$

### 6. RENDIMENTO DE UMA ARGAMASSA

$$\text{RENDIMENTO} = \frac{\text{volume argamassa obtida}}{\text{volume (aparente) de areia usada}}$$

$1m^3$  areia + cimento + água  $\rightarrow$  volume argamassa

$< 1 \rightarrow$  argamassa pobre; dosagem  $C$  é baixa  
 $\approx 1 \rightarrow C \approx 500Kg / m^3$   
 $> 1 \rightarrow$  argamassa rica

A diminuição do volume de argamassa relativamente ao volume inicial de areia é devido ao efeito lubrificante do cimento e água no atrito entre os grãos de areia. (volume APARENTE)

## 7. NOMENCLATURA

	<b>BARIDADE (<math>\delta_c \cong 1150 \text{ Kg/m}^3</math>; <math>\delta_m \cong 1500 \text{ Kg/m}^3</math>)</b>		
	<b>massa volúmica aparente</b>		
	<b>MASSA</b>	<b>VOLUME REAL</b>	<b>VOLUME APARENTE</b>
cimento	<i>C</i>	<i>c</i>	<i>c'</i>
agregado	<i>M</i>	<i>m</i>	<i>m'</i>
água	<i>A</i>	<i>a</i>	<i>(a'=a)</i>
água	<i>W</i>	<i>w</i>	
água	<i>Ag</i>	<i>ag</i>	

$$\gamma_c = \frac{C}{c} \cong 3100 \text{ Kg/m}^3$$

$$\gamma_a = \frac{A}{a} \cong 1000 \text{ Kg/m}^3$$

$$\gamma_m = \frac{M}{m} \cong 2650 \text{ Kg/m}^3$$

<b>MASSA</b>	<b>VOLUME REAL</b>
<b>massa volúmica</b>	

# CALDAS de INJEÇÃO:

1. DEFINIÇÃO Mistura de cimento, possivelmente adjuvantes e grande quantidade de água (A/C até 0.44)
2. APLICAÇÕES
  - injeção de bainhas (cabos de pre-estorço)
  - ancoragens
  - colmatação de fendas em maciços rochosos etc
3. ENSAIOS À CALDA DE INJEÇÃO

EN 445 GROUT FOR PRESTRESSING TENDONS. Test METHODS.

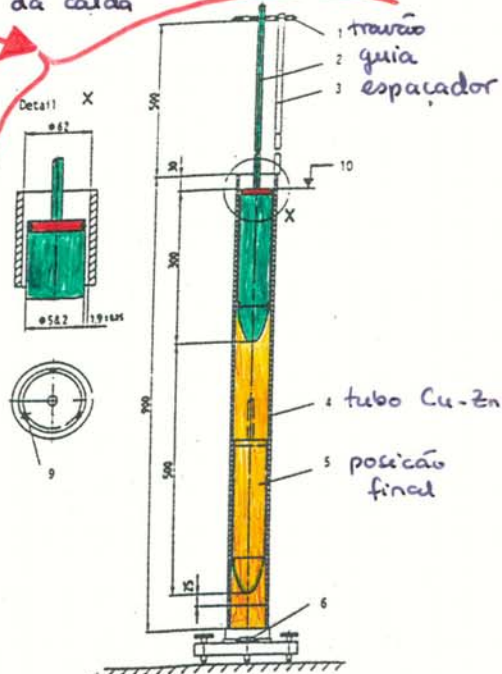
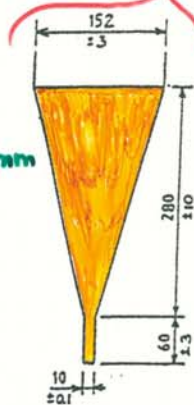
Como complemento: EN 446 → GROUTING PROCEDURES  
EN 447 → Specifications for common grout.

3.1 CONDIÇÕES GERAIS { TEMPERATURA  $20^{\circ} \pm 2^{\circ}C$   
HUMIDADE RELATIVA  $> 65\%$

3.2 TESTE À FLUIDEZ { MÉTODO de IMERSÃO • determinação do tempo de percurso de 30 cm de um peso através da calda num tubo

MÉTODO do CONE • determinação do tempo de escoamento de 1l calda pelo orifício do cone

Sobre o cone: peneiro de #1.5mm

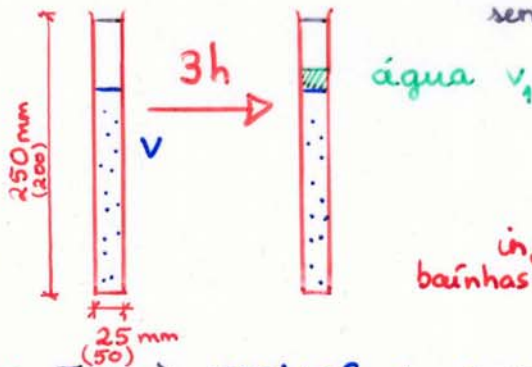


- Tempo de escoamento medido logo a seguir ao fabrico.  $\leq 25s$  (valor)
- 2 valores medidos 30m após. (mantendo agitação entre tubos)  $\leq 25s$
- $\geq 10s$  à saída da bacia

- Teste realizado imediatamente a seguir ao fabrico da calda  $\geq 30s$
- 30 minutos depois (mantendo agitação)  $\leq 80s$
- 3 medidas cada vez, considerando só as duas últimas. Resultado = média
- $\geq 30s$  à saída da bacia

### 3.3 Teste à EXSUDAÇÃO

Medição da quantidade de água exsudada ao fim de certo tempo (3h) sendo impedida a evaporação. MC2  
20



± 100ml se φ 25  
(até ± 150mm) se φ 50

injecção de CALDA NORMAL (EN447)  
bainhas de pré-esforço < 2%

### 3.4 Teste à VARIACÃO de VOLUME

Medição da variação de volume da calda ao fim de 24 horas.



$$\Delta V_{\%} = \frac{h_2 - h}{h} \times 100\%$$

CALDA NORMAL (EN447)

-1% < ΔV < +5%

### Teste à RESISTENCIA À COMPRESSÃO

EN 445

PRISMAS Realizado em 6 meios prismas resultantes do ensaio à flexão.  
ou  
CILINDROS Realizado nos 3 cilindros testados à variação de volume.

CALDA NORMAL (EN 447)

$$\sigma_{28} \geq 30 \text{ MPa}$$

$$\sigma_7 \geq 27 \text{ MPa}$$

REBAP

Em PORTUGAL (REBAP Artigos 169º e 170º)

Em cubos de 10 cm aresta

$$\sigma_7 \geq 17 \text{ MPa}$$



**BETÃO** Material constituído pela mistura devidamente proporcionada de agregados (brita/godo e areia) com um ligante hidráulico, água e eventualmente adjuvantes e/ou adições.

NP - ENV 206

BETÃO. Comportamento, produção e critérios de conformidade.

LNEC E 378 Guia de utilização de ligantes hidráulicos

## CONSTITUINTES

### 1. CIMENTO

De acordo com:

NP 2064 - Cimentos. Definições, comportamento, especificações e critérios de conformidade.

NP 2065 - Cimentos. Condições de fornecimento e recepção

**NP 197-1 Cimentos. Composição, especificações e critérios da conformidade**

**NP 197-2 Cimentos. Avaliação da conformidade**

NP EN 196 (1996 ...) Métodos de ensaio dos cimentos

### 2. AGREGADOS

De acordo com LNEC E 373 Inertes para argamassas e betões

- ➔ resistência (ensaio ao esmagamento, ensaio de desgaste de L.A., etc.)
- ➔ quantidade de agregados } máxima compactidade  
tal que se obtenha } betão trabalhável
- ➔ agregados sem impurezas (argila, sal, matéria orgânica etc.)
- ➔ durabilidade (não devem reagir com o cimento) etc.

### 3. ÁGUA

De acordo com LNEC E 372

- ➔ A água reage quimicamente com o cimento, hidratando-o e
- ➔ assegura a **TRABALHABILIDADE** → *amassadura fácil e colocação em obra sem perigo de segregação.*
- ➔ em regra serve água potável

### 4. ADJUVANTES

LNEC E 374; NP EN 480(1998...)

- ➔ Os adjuvantes conferem ao betão uma qualidade específica
  - Ex: betão usual tem presa ao fim de 3 a 4 horas e por ex.  $\sigma_3 \text{ dias} = 0.45 \sigma_{28}$  Para obter resultados **mais rapidamente** usa-se **ACELERADOR de PRESA**
  - Ex: **transporte** de betão pronto **RETARDADOR de PRESA**
  - IMPERMEABILIZANTE
  - PLASTIFICANTE
  - ETC. ETC.

como as dosagens de aditivos são **muíto pequenas** a mistura tem ser o mais **HOMOGÉNEA** possível.

### 5. ADIÇÕES

cinzas volantes (fly ash), pozolanas, escória granuladas de alto forno (ggbs), fíler calcário, sílica de fumo, metacaulino e cinza de casca de arroz (RHA).

## ESTUDO DA COMPOSIÇÃO do BETÃO

Consiste na escolha de materiais, determinação da percentagem de cada um de modo a obter uma mistura o mais compacta possível mas trabalhável (fácil execução e ausencia de segregação).

# TIPOS de BETÕES

REBAP : **TIPO B** caracterizado pela RESISTÊNCIA MECÂNICA (MPa) no cubo de  $a=20$  cm aos 28 dias.  
Ex B30  
valor característico ( $P \geq 95\%$ ) da tensão de rotura por compressão (MPa)

CLASSE ENV 206	C <sub>12/15</sub>	C <sub>16/20</sub>	C <sub>20/25</sub>	C <sub>25/30</sub>	C <sub>30/37</sub>	C <sub>35/45</sub>	C <sub>40/50</sub>	C <sub>45/55</sub>	C <sub>50/60</sub>
v. característico mínimo de $\sigma_c$ (15)	15	20	25	30	37	45	50	55	60
(16)	12	16	20	25	30	35	40	45	50
(20)	15	20	25	30	35	40	45	50	55
CLASSE REBAP	B15	B20	B25	B30	B35	B40	B45	B50	B55

sem correspondência regulamentar

MP ENV 206

REBAP (ROU até 31/12/15)

## MÉTODOS utilizados na COMPOSIÇÃO do BETÃO

1. **MÉTODOS EXPERIMENTAIS** → sucessivas amassadeiras até se encontrar a composição ideal para o fim a que se destina.

- mais racionais
- mais trabalhosos

Método de GRUN  
Método VALLETTE  
Método de LECLERC DU SABLON

2. **MÉTODOS que empregam TABELAS e ÁBACOS** → são usadas composições pré-estabelecidas com inertes normalizados.

- utilizáveis onde os agregados estão normalizados (mesmas características)

EUA  
INGLATERRA  
ALEMANHA

3. **MÉTODOS baseados em CURVAS de REFERÊNCIA**

→ estas CURVAS de REFERÊNCIA foram deduzidas por via experimental. A compactação será a máxima compatível com as necessidades de trabalhabilidade.

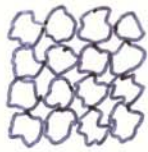
Obriga-se a mistura a ter o maior número possível de pontos de contacto com a curva de referência.

Método de FULLER  
" FULLER - THOMPSON  
" BOLOMBY  
" FAURY

# I MÉTODOS EXPERIMENTAIS

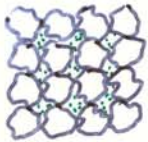
## I.1. MÉTODO DE GRUN

MC2  
23  
2000 de 2000



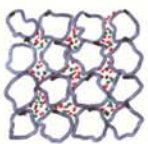
?

Quantidade de BRITA



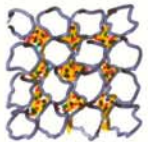
?

Quantidade de AREIA para preencher os vãos da brita.



?

Quantidade de cimento para preencher os vãos da areia.



?

Quantidade de ÁGUA necessária.

## I.1. MÉTODO DE GRUN



Sabemos que

$$\text{baridade} = \sigma = \frac{M}{V}$$

$$\text{massa volúmica} = \gamma = \frac{M}{V_s}$$

$$V = V_s + V_v$$

- V • volume do recipiente
- M • massa do agregado
- $V_s$  • volume real (sólido)
- $V_v$  • volume vãos

$$V_v = V \left( 1 - \frac{\text{baridade}}{\text{m. volúmica}} \right)$$

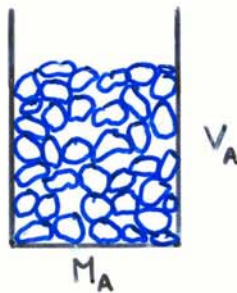
pois  $V_v = ? = V - V_s = V \left( 1 - \frac{V_s}{V} \right) =$   
 $= V \left( 1 - \frac{\frac{M}{\gamma}}{\frac{M}{\sigma}} \right) = V \left( 1 - \frac{\sigma}{\gamma} \right)$

agregados graníticos  
 $\gamma \approx 2650 \text{ kg/m}^3 = 2.65 \text{ kg/litro}$

( $\gamma \gg V_v$  então  $\ll$  baridade)

1º Suponham-se 3 materiais C, B e A de tamanho crescente isto é uma areia uma brita fina uma brita grande com baridades  $\delta_C$   $\delta_B$   $\delta_A$

2º Tomemos do agregado A uma quantidade  $M_A$  e determinemos o seu volume  $V_A$ ,



$$\delta_A (\text{baridade}) = \frac{M_A}{V_A}$$

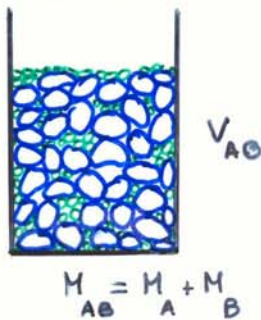
Volume vazios

$$V_{V_A} = V_A \left( 1 - \frac{\delta_A}{2.65} \right)$$

3º O volume ( $V_B$ ) do material B necessário será  $V_B = 1,10 * V_{V_A}$  o necessário para encher os vazios do A mais 10% para envolver os materiais mais graúdos.

⇒ a massa de material B necessária será  $M_B = \delta_B * V_B$

4º Misturam-se as duas porções de materiais de A e B



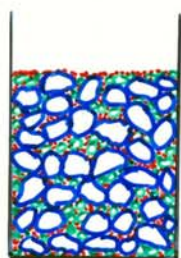
$$\delta_{AB} = \frac{M_A + M_B}{V_{AB}}$$

Volume vazios da mistura

$$V_{V_{AB}} = V_{AB} \left( 1 - \frac{\delta_{AB}}{2.65} \right)$$

5º O volume ( $V_C$ ) do material C necessário será  $V_C = 1,1 * V_{V_{AB}}$  e a massa será  $M_C = \delta_C * V_C$

6° Misturam-se as 3 porções dos materiais A, B e C



$V_{ABC}$

$$\rho_{ABC} = \frac{M_A + M_B + M_C}{V_{ABC}}$$

Volume vazio da mistura

$$V_{V_{ABC}} = V_{ABC} \left( 1 - \frac{\rho_{ABC}}{2.65} \right)$$

$$M_{ABC} = M_A + M_B + M_C$$

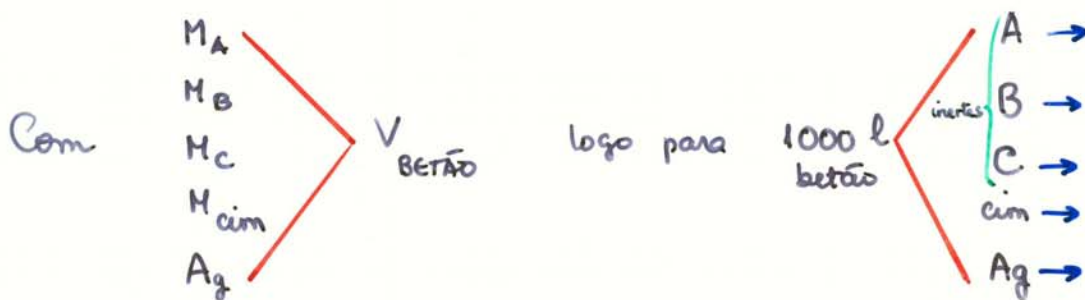
7° O volume necessário de CIMENTO será (\*)

$$V_{\text{cimento}} = 1,1 \cdot V_{V_{ABC}} \Rightarrow M_{\text{cimento}} = \rho_{\text{cimento}} \cdot V_{\text{cimento}}$$

$\downarrow$   
 $\sim 1,15 \text{ kg/dm}^3$

8° Fazer uma amassadura com estas quantidades e juntar água até à trabalhabilidade desejada, medindo no final o VOLUME de BETÃO OBTIDO ( $V_{\text{betão}}$ )

Então:



\* OBSERVAÇÃO Normalmente a dosagem de cimento está fixada  
X kg cimento / m<sup>3</sup> betão

A água pode ser calculada por uma expressão por exemplo

Ex:  $A_g = 165 + 0,2 (X - 300)$

litros

$\downarrow$   
kg de cimento

volume de cimento  $x = \frac{X}{3,1}$

$\uparrow (x)$

$m \cong 1000 - (c + a_g)$

$M = 2,65 \cdot m$

Como já é conhecida a proporção em que intervêm A, B e C.  
isto é  $M_A$ ,  $M_B$  e  $M_C$

Então

$1 \text{ m}^3$ BETÃO	X (massa do cimento)	
	Ag	
	material A	$M_A = M * \frac{M_A}{M_A + M_B + M_C}$
	material B	$M_B = M * \frac{M_B}{M_A + M_B + M_C}$
	material C	$M_C = M * \frac{M_C}{M_A + M_B + M_C}$

NOTA: Uma variante a este método é medir as vagias com água.

ACERTO DE COMPOSIÇÃO:

$$\Delta \text{ag compensa com } \Delta m \rightarrow \Delta M = 2650 \times \Delta m$$

$$\text{para garantir } e + m + \text{ag} + v_v = 1$$

# BETÃO FRESCO

## TRABALHABILIDADE

1. DEFINIÇÃO **TRABALHABILIDADE** → consiste na maior ou menor facilidade de execução do betão ( transporte, colocação, adensamento, acabamento) e a menor ou maior facilidade de segregação durante essas operações.



Não é possível obter um betão o mais compacto possível e que também satisfaça as necessidades de trabalhabilidade.

POIS :

Para aumentar a **COMPACIDADE**

- aumentar dimensão máxima do agregado
- diminuir a quantidade de areia

➔

**TRABALHABILID. INADEQUADA**  
(transporte, colocação em obra)

Para aumentar a **COMPACIDADE**

- reduzir água amassadeira ao mínimo ∴  $A_g = 0,23 C$

➔

**TRABALHABILID. INADEQUADA**  
(amassadeira impossível)

Para aumentar a **TRABALHABILIDADE** e diminuir perigo segregacao

- aumentar o volume de água (em bombagem ⇒ aumentar cimento)
- aumentar a quantidade de areia (finos)
- diminuir a dimensão máxima D

➔

**COMPACIDADE REDUZIDA**  
betão mais poroso  
maior permeabilidade  
menor resistência mecânica