

Ministério da Educação Universidade Federal do Paraná Setor de Tecnologia Departamento de Construção Civil

# Materiais de Construção II (TC-031)

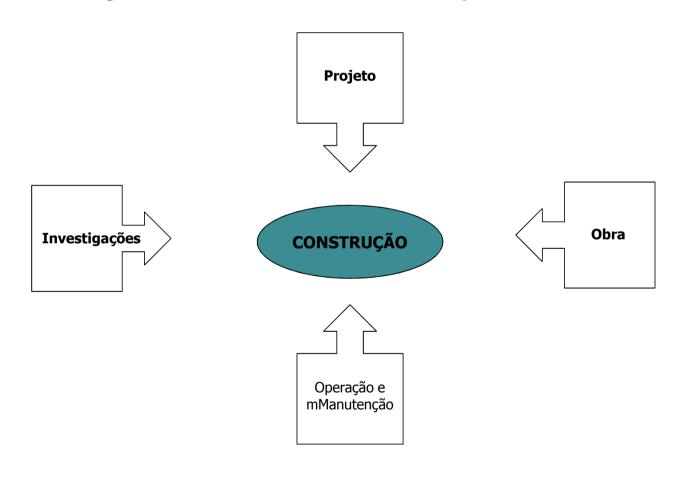
### PROPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO

**Professores** 

José Marques Filho - <u>imarques@ufpr.br</u>
José de Almendra Freitas Jr. - <u>freitasjose@terra.com.br</u>
Marienne do Rocio Maron da Costa - <u>mariennemaron@gmail.com</u>
Laila Valduga Artigas - <u>artigas@ufpr.br</u>



## Engenharia Civil tem Interação Contínua





### **CONCRETO ENDURECIDO**

As estruturas de concreto devem ser dimensionadas e para tal necessita-se de parâmetros de:

- Resistência mecânica
- 2. Deformabilidade: mecânicas, térmicas e fenômenos de retração
- 3. Durabilidade
- 4. Esforços devido ao peso próprio

### Todos baseados em:

- Determinação de parâmetros que possam representar os fenômenos
- Ensaios normalizados, reprodutíveis e seguros

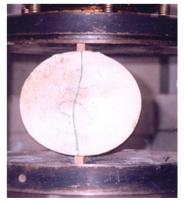


- •Concreto resiste bem à compressão, até 150 MPa
- Resiste mal à tração: 5 a 20% da resistência à compressão
  - Resiste mal ao cisalhamento



# O que é Resistência do Concreto?

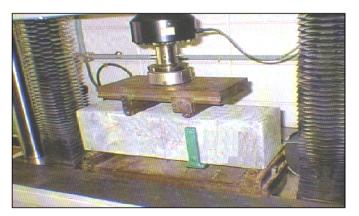




Compressão Diametral (tração)



Compressão (Módulo de Elasticidade)



Tração na Flexão



# Ensaio de Compressão

- Execução muito simples e com custo baixo
- Equipamentos existentes em abundância
- Treinamento de mão de obra não complexo
- Alta produtividade
- Corpos de prova relativamente pequenos e custo baixo
- OUTROS PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA E DEFORMABILIDADE PODEM SER CORRELACIONADOS COM A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO



Resistência a ser especificada para o concreto:

Em todos os projetos convencionais

**—** 

Compressão simples

Módulo de Elasticidade

Tração simples

Tração por compressão diametral

Tração por flexão

Desgaste por abrasão e erosão

Cisalhamento direto

Especificação de densidade

Em projetos especiais





Especificação de densidade

NBR 8953:2015 e NBR 15823-1:2012

Classes conforme a massa específica seca:

Concreto normal (C)

2.000 a 2.800 kg/m<sup>3</sup>

**Concreto leve (CL)** 

inferior a 2.000 kg/m<sup>3</sup>

Concreto pesado ou denso (CD)

superior a 2.800 kg/m<sup>3</sup>

Ensaio de massa específica seca: NBR 9778:2009



### Nota Fiscal de concreto:

EN	VGEMIX	ÉNGEMI RUA PRES BAIRRO: V FONE: (41) CEP: 81630	IDENTE	ER - CI				SAÍDA CNPJ	ENTRADA	147.916 SÉRIE 1  1º VIA DESTINATÁRIO /
TRANSFE	NATUREZA DA OPERAÇÃO TRANSFERÊNCIA PARA UTILIZAÇÃO NA PRESTAÇÃO DE SERVICOS 5.94			INSCR. EST. DO SUBSTITUTO TRIBUTARIO				101.48162-04		REMETENTE DATA LIMITE P/ EMISSÃO 08 / 02 / 2009
ENGEMI ENDEREÇO	IX S/A				BAIRRO/			60.405.44	6/0018-76 CEP	DATA DA EMISSÃO 20/05/2008  DATA SAÍDA / ENTRADA
MUNICÍPIO CURITIBA				FONE / F/	VILA HAUER  NE/FAX (41) 3376-2299 PR		81630-240 INSCRIÇÃO ESTADUAL 101.48162-04		20/05/2008 ASPIA DA SAIDIA 12:59:31	
DADOS DO DOC PROD	PRODUTO  DESCRIÇÃO DOS PRODU	TOS	VOLUME	SIT. TRIB.	UNIDADE	QUANTID	ADE	VALOR UNITA	ARIO V	ALOR TOTAL ALIQUOTA
	AGLOMERANTE - CIMENTO, CP IV - 32 RS BRITA - BRITA 1 BRITA - BRITA 2 AREIA - AREIA DE BRITA AREIA - AREIA, NATURAL FINA ADITIVO - ADITIVO, POLIFUNCIONAL AGUA - AGUA, REDE - ABASTECIMENTO			1518.	KG KG KG KG KG KG	KG 1.903,50 KG 3.105,00 KG 2.056,50 KG 1.966,50 KG 9,35			4.00	
DADOS ADI	DUIRIDOS DE TERCEIROS PARA PREPARO E APLICA O Mª DE	AT 8+-1 CON	Adm	) itida a		ADITIVO		BRITA 1-2 ra é citado (		/ENCIONAL - USO G



# PROPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

# Corpos-de-prova cilíndricos:

Tamanhos usados no Brasil:

•15 x 30 cm ou 10 x 20 cm

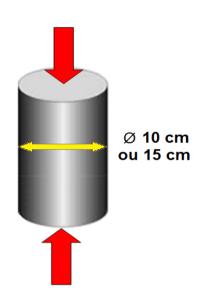
•(25 x 50 cm concretos c/ agregados grandes)

O adensamento pode ser manual ou mecânico.

A desforma em 24 h

A "cura" em câmara úmida ou por imersão (em água com pH adequado), a 25°C até o ensaio.

Ensaio com velocidade controlada até a ruptura.





### RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

PREPARAÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA



ITAMBÉ - Idércio

moldes

CPs protegidos por filme plástico 24 h Câmara úmida até o dia da ruptura



### **MOLDAGEM DOS CPs**



Arquivo: Filmes concreto / Concretex / moldagem CPs



### **ENSAIO DE RUPTURA À COMPRESSÃO**



# Concrete Cylinder Compression ASTM C39

© 2003 Daniel Samborsky Chemical and Biological Engineering Department

Arquivo: /Filmes concreto / Ensaios compressão / Compression testing of concrete



## RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

É a propriedade mais controlada:

- > Facilidade com que é determinada
- > Em geral, relacionada às demais propriedades

Os corpos-de-prova, moldados de diferentes betonadas, de um mesmo concreto (homogêneo), têm resultados com distribuição normal, representada por:

Média e desvio padrão



## RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

É a propriedade mais controlada:

- > Facilidade com que é determinada
- > Em geral, relacionada às demais propriedades

Os corpos-de-prova, moldados de diferentes betonadas, de um mesmo concreto (homogêneo), têm resultados com distribuição normal, representada por:

Média e desvio padrão (Distribuições de Gauss e t de Student)



# NÃO DE FAZ ENSAIOS EM ESTRUTURAS REAIS E SIM SOBRE CORPO DE PROVA

**VARIABILIDADES** 



### **RUÍDOS**

Independem das alterações ou interferências no processo

## MUDANÇA DE PARÂMETROS

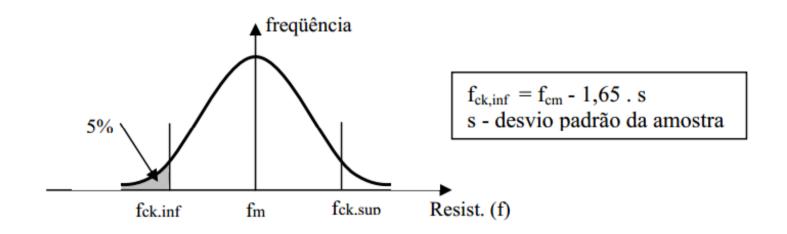
Dependem de alterações colocadas no processo

Permite o estudo dos fatores que interferem nas atividades e processos da Engenharia Civil





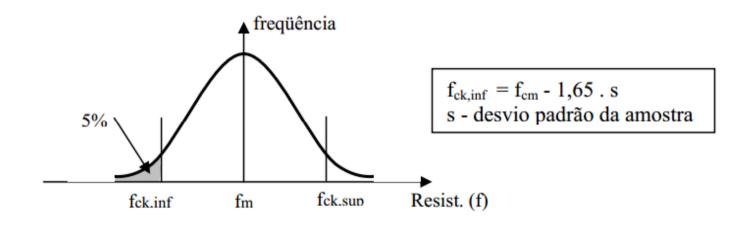
# Resistência Característica



Lembrar que está-se conversando sobre resultados dos ensaios nos corpos de prova e não da estrutura real



# Resistência Característica



E o tempo deve ser levado em conta no processo



# O que é Resistência Característica do Concreto?

É um conceito puramente **Estatístico** 



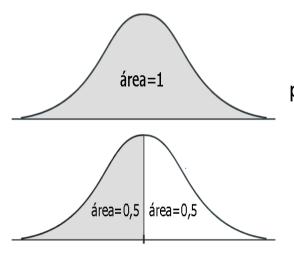
## Difícil compreensão

Depende de ensaios e do tempo



# Distribuição de Gauss

- Tem forma de sino, com área toral sobre a área igual a 100%
- A probabilidade de uma variável assumir um valor entre dois pontos é igual a área sobre o gráfico

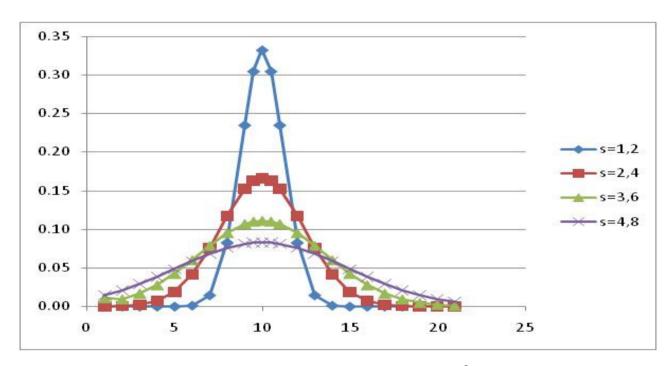


simétrica, com menores

probabilidades nas extremidades



# Distribuição de Gauss



TODOS COM A MESMA MÉDIA

DESVIOS PADRÃO MUDAM A DISTRIBUIÇÃO



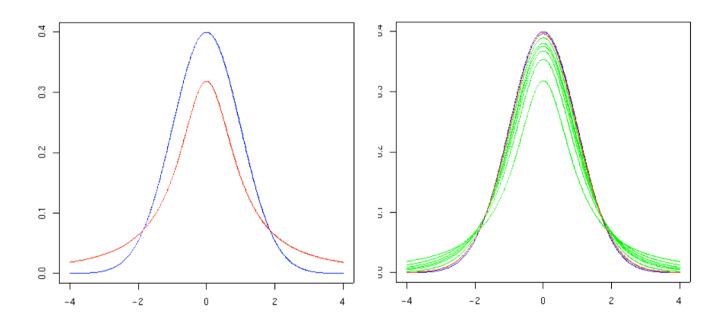
# Distribuição t de Student

$$N \le 30$$

- Pequenas amostras:
- Populações com características normais;
- σ desconhecido;
- Curva simétrica, semelhante à curva da distribuição normal;
- Principal parâmetro p/ a forma da curva: graus de liberdade;
- ↑ grau de liberdade ⇒ Student converge para distribuição normal.



# Distribuição *t* de Student Comparação com a Normal



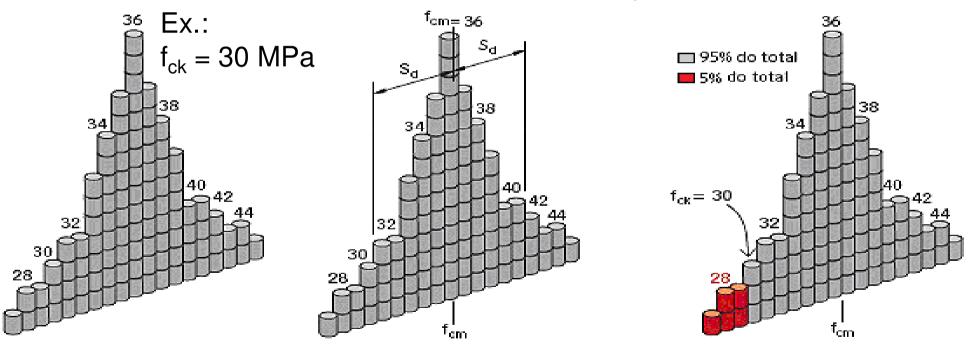
I GRAU DE LIBERDADE (em vermelho, em azul a normal)

30 GRAUS DE LIBERDADE (em vermelho, em azul a normal - coincidem)

# UFPR

### PROPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO

Resistência característica à compressão f<sub>ck</sub>



f<sub>ck</sub> = 95% corpos-de-prova romperão com valor ≥ definido
 f<sub>cm</sub> = média de resistência dos corpos-de-prova



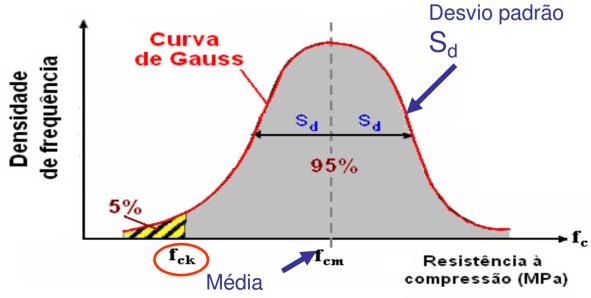
# PROPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Considerada no projeto pelo engenheiro calculista através de um valor característico: f<sub>ck</sub>

O valor do  $f_{ck}$  deve ser superado por 95% ou mais do concreto produzido e lançado na estrutura.

$$f_{ck} = f_{cm} - 1,65 \times S_d$$

$$S_{d} = \sqrt{\left[ \sum (f_{cm} - f_{ci})^{2} / (n - 1) \right]}$$





### RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

O f<sub>ck</sub> também é critério básico atual de classificação dos concretos estruturais pela NBR 8953:2015

Classes de resistência:

- Grupo I: C10 até C50 (de 5 em 5 MPa)
- Grupo II: C55 até C100 (C60 a C100 de 10 em 10 MPa)



NBR 8953:2015 - Classes de resistência do concreto

Os concretos com classe de resistência inferior a C20 não são estruturais.

Classes de resistência									
Grupo I	fck (MPa)	Grupo II	fck (MPa)						
C20	20	C55	55						
C25	25	C60	60						
C30	30	C70	70						
C35	35	C80	80						
C40	40	C90	90						
C45	45	C100	100						
C50	50	-	_						



### **FATORES DETERMINANTES**

### 1) Porosidade

Função das fases componentes (agregados, pasta) e compactação;

Em geral, existe uma relação fundamental inversa entre porosidade e resistência para os materiais sólidos homogêneos.

$$S = S_0 e^{-kp}$$

 $S_0$  = resistência com porosidade zero

P = porosidade

K = constante



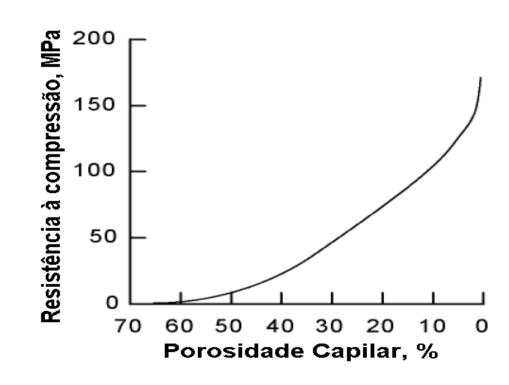
### **FATORES DETERMINANTES**

1) Porosidade

Modelo de Power's:

$$S = S_o (1-p)^3$$

Experimentalmente  $S_0 = 234 \text{ MPa}$ 



(Mehta/Monteiro,2006)



### **FATORES DETERMINANTES**

### 1) Porosidade

Porosidade é uma propriedade de difícil determinação;

O concreto é um material complexo.

A relação entre a porosidade e resistência não pode ser usada de forma corrente.



#### **FATORES DETERMINANTES**

1) Porosidade

De forma prática é controlada pela porosidade da pasta de cimento, que varia com:

- Relação água/cimento, kg/kg (relação a/c)
- Grau de hidratação do cimento: (idade do concreto)
- Grau de compactação (adensamento)



#### **FATORES DETERMINANTES**

## 2) Relação água/cimento

### Lei de Abrams

1918 – Duff Abrams, Universidade de Illinois (EUA)

 $fc = k_1/k_2$ . a/c

 $K_1$ ,  $k_2$ , = constantes da natureza dos materiais

(cimento, agregados, aditivos, adições) e grau de hidratação da pasta

Duff A. Abrams, 1880-1965

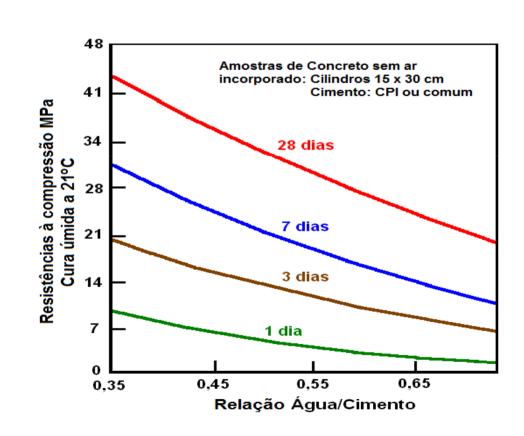


#### **FATORES DETERMINANTES**

## 2) Relação água/cimento

### **LEI DE ABRAMS**:

"Dentro do campo dos concretos plásticos, a resistência aos esforços mecânicos, variam na relação inversa da relação água/cimento" (segue a tendência parabólica)



Duff A. Abrams, 1880-1965

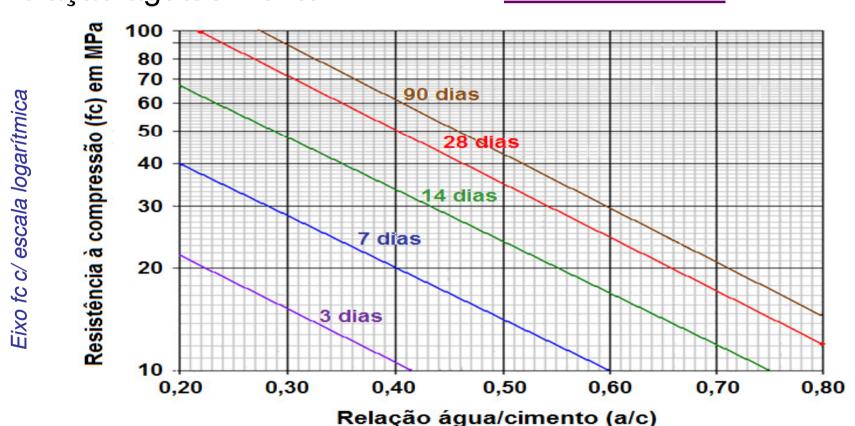
(Mehta/Monteiro, 1994)



**FATORES DETERMINANTES** 

2) Relação água/cimento

**LEI DE ABRAMS:** 



Duff A. Abrams, 1880-1965



### **FATORES DETERMINANTES**

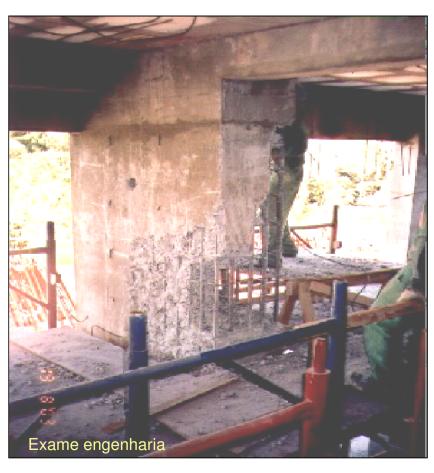
2) Relação água/cimento

Na prática, é definida por:

- Trabalhabilidade do concreto fresco
- Natureza e proporção constituintes
  - > Tipo de cimento, agregados
    - Aditivos e adições

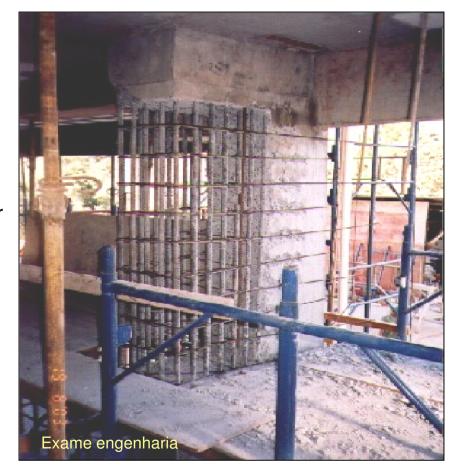


Excesso de água reduz a resistência do concreto



a/c muito maior que o previsto

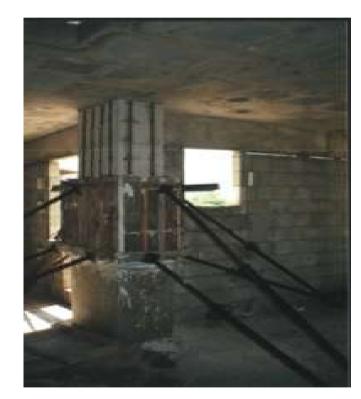
"Substituição" de pilar com concreto prejudicado pelo excesso de água





Excesso de água reduz a resistência do concreto



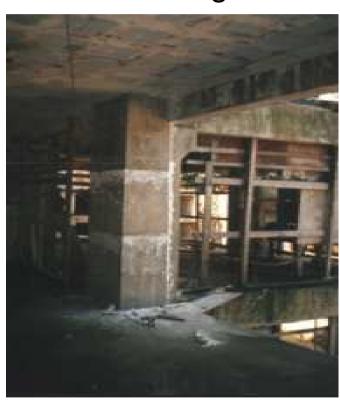


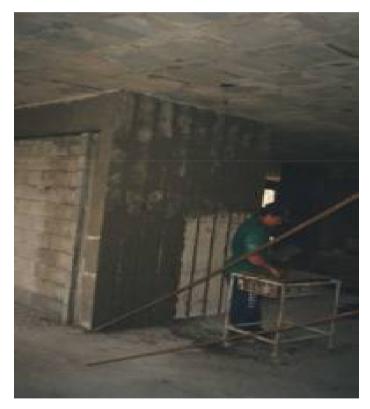


Encamisamento de pilar com concreto fck 30% abaixo do previsto.



Excesso de água reduz a resistência do concreto





Encamisamento de pilar com concreto fck 30% abaixo do previsto.



### **FATORES DETERMINANTES**

3) Grau de hidratação da pasta de cimento

### Varia com:

- Idade do concreto
- Tipo de cimento (mais fino hidrata mais rápido)
- Uso de aditivos (aceleradores, retardadores)
- Adições

Cinzas volantes atrasam ganho de resistência Sílica Ativa aumenta a resistência.



### **FATORES DETERMINANTES**

3) Grau de hidratação da pasta de cimento

### Varia com:

- Condições de cura após produção do concreto:
  - Ambiente de conservação do concreto e
  - Período de exposição nestas condições.

Umidade e temperatura:

Perda de resistência por falta de cura úmida.

(Ideal = U.R.>95%, temp. 20 a 25°C)



### **FATORES DETERMINANTES**

3) Grau de hidratação da pasta de cimento

### Idade do concreto -

## A hidratação do cimento:

- Inicia no contato com a água
- Início da pega (2 a 3 horas) inicia solidificação
- Final da pega (8 a 12 horas) estado sólido
- 28 dias (70 a 80% da resistência final)
- Prossegue endurecendo por muitos meses 1 ano



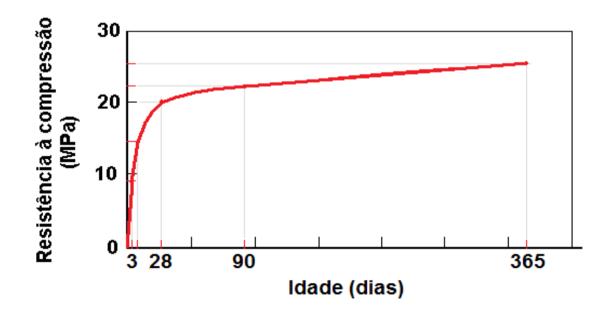
### **FATORES DETERMINANTES**

3) Grau de hidratação da pasta de cimento

Evolução da resistência mecânica sob condições padrão ASTM

IDADE (dias)	f <sub>c</sub> (MPa)	
3	9	
7	14	
28	20	
90	22	
365	25	

(Mehta/Monteiro, 1994)





### **FATORES DETERMINANTES**

3) Grau de hidratação da pasta de cimento Correlações das resistências com as idades (E. Petrucci, 1971)

$f_{c 28 \text{ dias}} = 1,25 \text{ a } 1,50 \text{ x } f_{c 7 \text{ dias}}$		
$f_{c 7 dias} = 1,35 a 1,65 x f_{c 3 dias}$		
$f_{c 28 dias} = 1,70 a 2,50 x f_{c 3 dias}$		
$f_{c 90 dias} = 1,05 a 1,20 x f_{c 28 dias}$		
$f_{c 365 \text{ dias}} = 1,10 \text{ a } 1,35 \text{ x } f_{c 28 \text{ dias}}$		



### FATORES DETERMINANTES

3) Grau de hidratação da pasta de cimento

### Composição química dos cimentos varia:

Mais C<sub>3</sub>S – hidrata mais rápido – maior f<sub>c</sub> aos 28 dias

Mais C<sub>2</sub>S – Maior resistência final

Adição de cinzas volantes retarda o ganho de f<sub>c</sub>

## Finura do cimento:

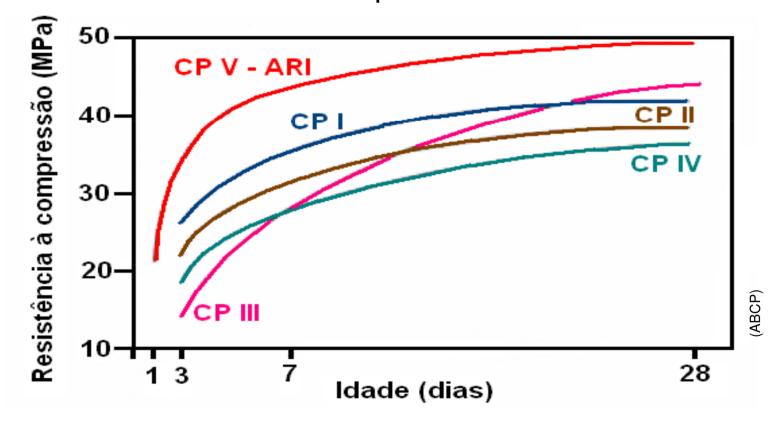
Mais fino = Superfície Específica maior - hidrata mais rápido

CP V – ARI – mais fino, grãos 20% menores



### **FATORES DETERMINANTES**

Resistência x tipos de cimento





### **FATORES DETERMINANTES**

- 4) Condições de ensaio
- Geometria e dimensões dos corpos-de-prova
  - Grau de compactação do C.P.
  - Teor de umidade do concreto
  - Velocidade de aplicação da carga
    - Distribuição de tensões



### **FATORES DETERMINANTES**

4) Condições de ensaio

Efeitos da relação altura/diâmetro do corpo-de-prova Maior a relação diminui o valor obtido.

Coeficiente de correção ao CP 15 x 30 cm f <sub>c</sub> = f <sub>c 15x30</sub> / Coeficiente			
Tipo de CP	Dimensões (cm)	Limites	Valor médio
Cilindro	10 x 20	0,94 a 1,00	0,97
Cilindro	15 x 30	-	1,00
Cilindro	25 x 50	1,00 a 1,10	1,03
Cubo	15 x 15	0,70 a 0,90	0,80

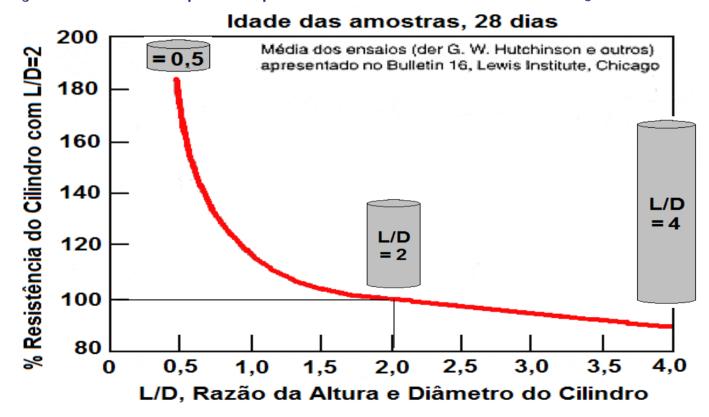
(E.Petrucci, 1971)



### FATORES DETERMINANTES

4) Condições de ensaio

Efeitos da relação L/D do corpo-de-prova cilíndrico - Maior a relação diminui o valor obtido.





### FATORES DETERMINANTES

4) Condições de ensaio

Prensa para ensaio de compressão



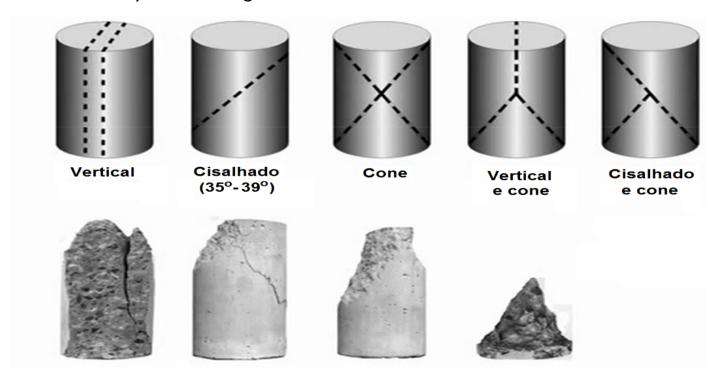
CP em ruptura explosiva de CAR





### **FATORES DETERMINANTES**

4) Condições de ensaio



Aspecto característico da ruptura de corpos-de-prova de concreto.



### **FATORES DETERMINANTES**

4) Condições de ensaio

Distribuição de tensões

## AJUSTE DAS EXTREMIDADES DOS CPs À PRENSA

Necessidade da distribuição uniforme da carga no prato da prensa





Capeamento c/ enxofre (adequado p/ fc <50 MPa)



## **CAPEAMENTO DE CP COM ENXOFRE**



Arquivo: /Filmes concreto / Concretagem / Capeamento CP concreto



**FATORES DETERMINANTES** 

4) Condições de ensaio

Distribuição de tensões

AJUSTE DAS EXTREMIDADES DOS CPs À PRENSA

Necessidade da distribuição uniforme da carga no prato da prensa

Base de aço com "bolachas" de neoprene





(José A. Freitas Jr.)



### **FATORES DETERMINANTES**

4) Condições de ensaio

Distribuição de tensões

# AJUSTE DAS EXTREMIDADES DOS CPs À PRENSA

Necessidade da distribuição uniforme da carga no prato da prensa



CAD/ CAR fc > 50 MPa

Base de aço com areia fina de quartzo sendo selada por parafina



### FATORES DETERMINANTES

4) Condições de ensaio

## AJUSTE DAS EXTREMIDADES DOS CPs À PRENSA

Necessidade da distribuição uniforme da carga no prato da prensa

CAD/CAR fc > 50 MPa

## Distribuição de tensões



Corte e polimento de topo



### **FATORES DETERMINANTES**

4) Condições de ensaio Distribuição de tensões

# AJUSTE DAS EXTREMIDADES DOS CPs À PRENSA

Necessidade da distribuição uniforme da carga no prato da prensa

CAD/ CAR fc > 50 MPa



Retífica de corpo de prova automática

# RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

### **FATORES DETERMINANTES**

## 5) Efeitos do Ar Incorporado

Vazios com ar são incorporados ao concreto devido a:

- Adensamento inadequado (Ar aprisionado)
- Aditivos incorporadores de ar (IAR) (Ar incorporado)

#### Efeitos:

- Aumentam porosidade
- Reduzem resistência
- Melhoram trabalhabilidade sem aumentar o consumo de água.

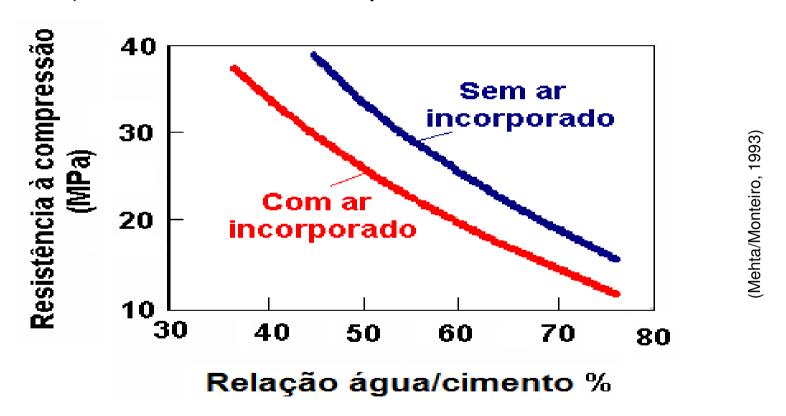


Medição da % de ar



### **FATORES DETERMINANTES**

5) Efeitos do Ar Incorporado



Efeitos do ar incorporado sobre a resistência do concreto.



### **FATORES DETERMINANTES**

6) Como os agregados influenciam

Agregados não "regulam" mas <u>LIMITAM</u> os valores da f<sub>c</sub> Rochas fracas ou agregados leves podem baixar a f<sub>c</sub> <u>Formato dos grãos</u>:

Agregados de formato lamelar

Prejudicam a trabalhabilidade – exigem mais água Se acomodam com mais vazios - exigindo mais pasta

 Superfícies dos grãos muito lisas podem prejudicar a aderência com a pasta.

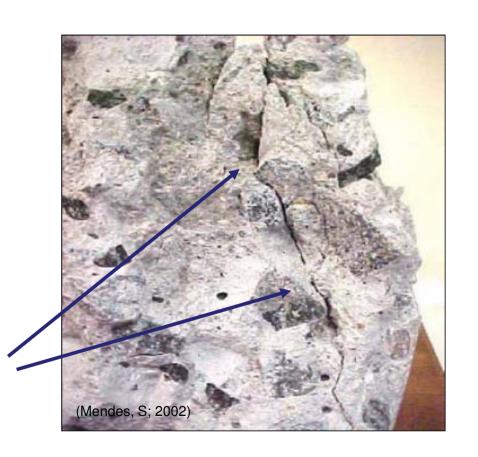


### **FATORES DETERMINANTES**

# Onde ocorre a ruptura:

f<sub>c</sub> baixo: Tendência de ruptura na Zona de Transição (descolamento dos agregados graúdos) e miúdos da pasta.

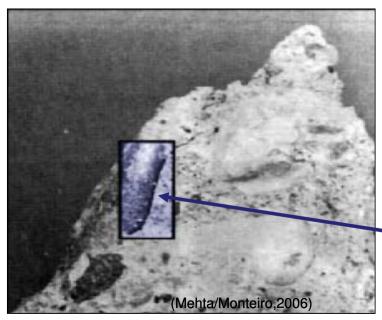
Ruptura na interface pasta/agregado





Onde ocorre a ruptura:

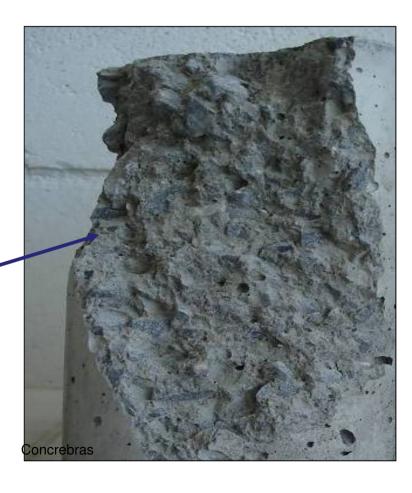
f<sub>c</sub> baixo: Tendência de ruptura na Zona de Transição (descolamento dos agregados graúdos) e miúdos da pasta.



Descolamento dos agregados e ruptura na pasta

Descolamento na zona de transição

# FATORES DETERMINANTES





### **FATORES DETERMINANTES**

Onde ocorre a ruptura:

f<sub>c</sub> alto: Tendência de ruptura dos grãos dos agregados



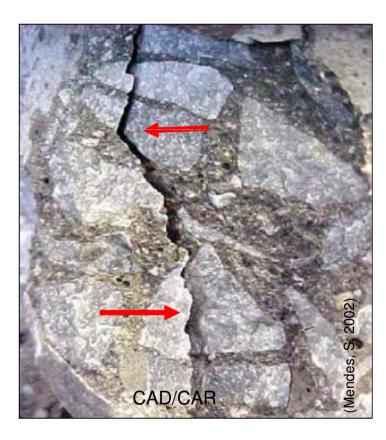
CAD/CAR fck 90 MPa

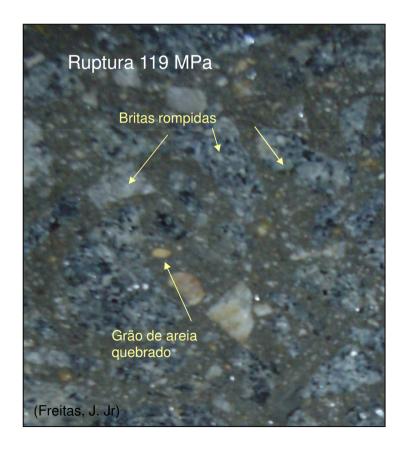


### **FATORES DETERMINANTES**

Onde ocorre a ruptura:

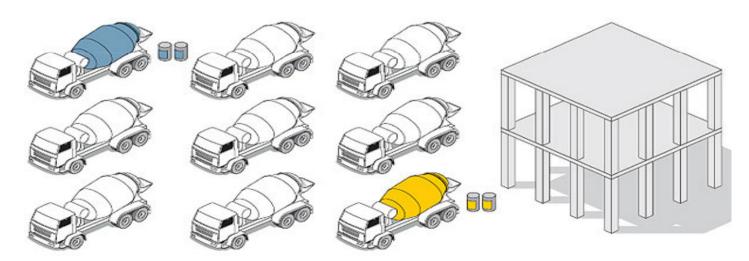
f<sub>c</sub> alto: Tendência de ruptura dos grãos dos agregados





## **ENSAIO À COMPRESSÃO**

Controle parcial - procedimento feito sem o completo mapeamento do lançamento do concreto ou em que são ensaiados exemplares de apenas algumas betonadas.

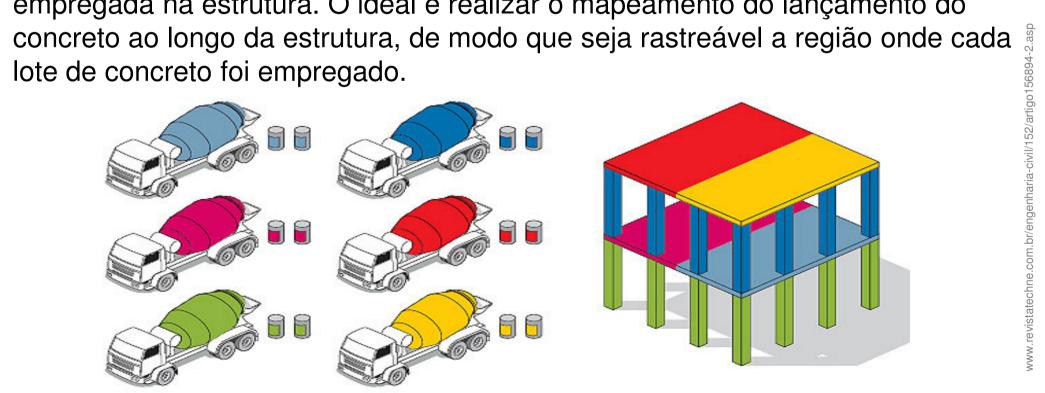


NBR 12.655/06 admite o chamado "controle parcial" do concreto.



## **ENSAIO À COMPRESSÃO**

Controle total - Faz-se o ensaio de dois corpos de prova de cada betonada empregada na estrutura. O ideal é realizar o mapeamento do lançamento do



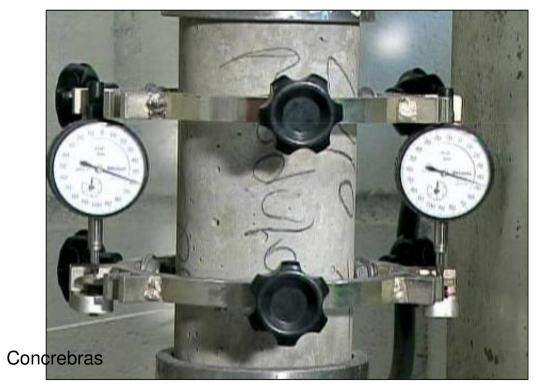


## Determinação do MÓDULO DE ELASTICIDADE

Ensaio de difícil de executar e de se obter medições confiáveis



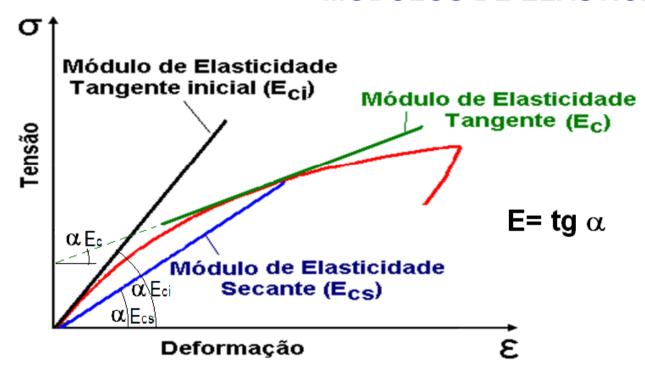
Com extensômetro elétrico (strain gauge)



Com extensômetro mecânico



## **MÓDULOS DE ELASTICIDADE**



$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

E<sub>ci</sub> - Avaliação de perdas de protensão

E<sub>ci</sub> - Análises globais de estruturas

E<sub>cs</sub> - Avaliação de deformações de um elemento estrutural



## **ENSAIO À COMPRESSÃO**

## MÓDULO DE ELASTICIDADE

NBR 6118/2014 permite estimar o Módulo de Elasticidade, quando este não é determinado experimentalmente.

Módulo de Elasticidade Inicial **E**<sub>ci</sub> para ser utilizada nas análises globais e avaliação de **perdas de protensão**:

$E_{ci} = 5.600 \sqrt{f_{ck}}$	Para f <sub>ck</sub> de 20 a 50 MPa
$E_{ci} = 21,5. \ 10^3. \ \alpha_E. \ (f_{ck}/10+1,25)^{1/3}$	Para $f_{ck}$ de 55 a 90 MPa $\alpha_E = 1,2$ para basalto e diabásio $\alpha_E = 1,0$ para granito e gnaisse $\alpha_E = 0,9$ para calcário $\alpha_E = 0,7$ para arenito

Módulo de Elasticidade Secante E<sub>cs</sub> para ser utilizada na avaliação do comportamento (deformação) de um elemento estrutural ou uma seção transversal:

$$E_{cs} = \alpha_i . E_{ci}$$
  
 $\alpha_i = 0.8 + 0.2 . f_{ck}/80 \le 1.0$ 



## Diagrama Tensão deformação do concreto

### NBR 6118/2014

### Classes até C50

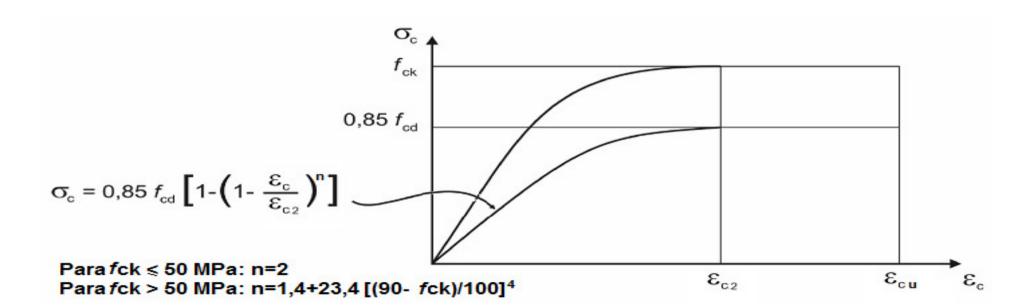
$$\mathbf{E}_{c2} = 2^{0}/_{00}$$

$$\mathbf{E}_{cu} = 2^{0}/_{00}$$

### Classes C55 até C90

$$\mathbf{E}_{c2} = 2^{0}/_{00} + 0.085^{0}/_{00} (f_{ck} - 50)^{0.53}$$

$$\mathbf{E}_{cu} = 2.6 \, {}^{0}/_{00} + 35 \, {}^{0}/_{00} \, [(90 - f_{ck})/100]^{4}$$

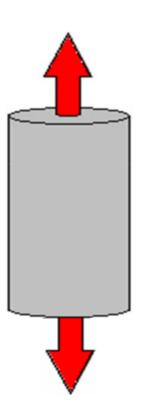




# **RESISTÊNCIA À TRAÇÃO**

Critério utilizado em algumas obras especiais:

- Pisos industriais
- Pavimentos de aeroportos
- Pavimentos de Rodovias





# **RESISTÊNCIA À TRAÇÃO**

NBR 6118/2014 permite que na ausência de ensaios específicos, os valores de resistência média à tração sejam estimados a partir do  $f_{\rm ck}$ .

$$f_{\text{ct,m}} = 0.3 f_{\text{ck}}^{2/3}$$
  
para  $f_{\text{ck}} \le 50 \text{ MPa}$ 

$$f_{\text{ct,m}} = 2,12 \ln(1+0,11 f_{\text{ck}})$$
  
para  $f_{\text{ck}} > 50$  até 90 MPa

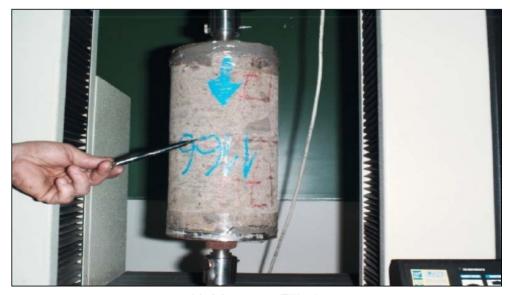


# **RESISTÊNCIA À TRAÇÃO**

Tração direta – f<sub>t direta</sub>

Ensaio de difícil execução, por tensões secundárias de fixação do CP

Topos do CP colados com epóxi (desenvolvido no LAME)



(J. Marques Filho)



# **RESISTÊNCIA À TRAÇÃO**

Tração direta – f<sub>t direta</sub>

Ensaio de difícil execução, por tensões secundárias de fixação do corpo-de-prova



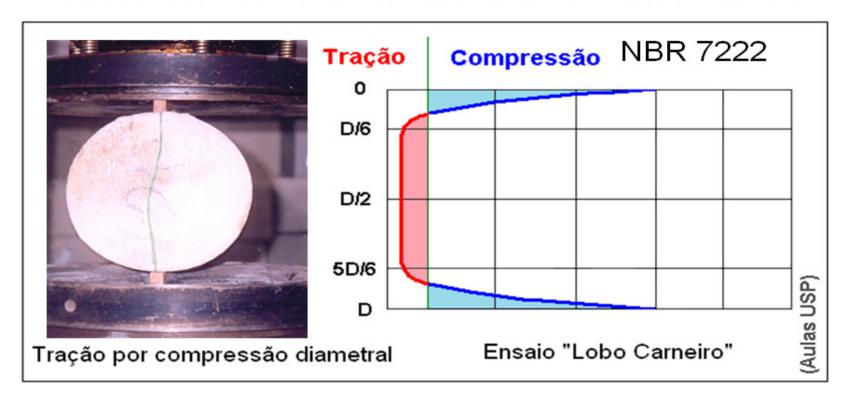


Tração direta com dispositivo Leroy (J. Marques Filho)



# **RESISTÊNCIA À TRAÇÃO**

Resistência à tração por compressão diametral - f<sub>tD</sub> Ensaio de reconhecimento internacional como "*Método Brasileiro*"





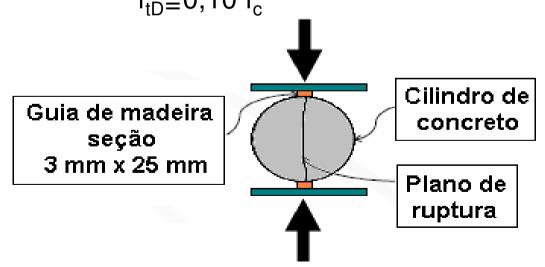
# **RESISTÊNCIA À TRAÇÃO**

Resistência à tração por compressão diametral - f<sub>tD</sub>

Cálculo limite de resistência

 $f_{tD} = (2.P)/(\pi.D.L)$ 

Valores típicos:  $f_{tD}=1,10$  a 1,15  $f_{t \text{ direta}}$  $f_{tD}=0,10$   $f_{c}$  NBR 7222

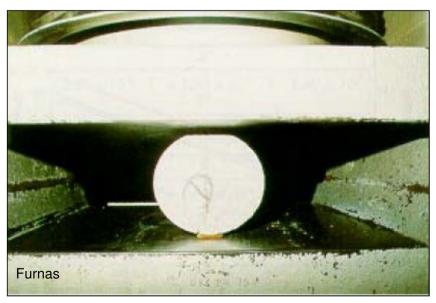


(Aulas USP)



# **RESISTÊNCIA À TRAÇÃO**

Resistência à tração por compressão diametral - f<sub>tD</sub> NBR 7222





(J. Marques Filho)



# Resistência à tração por compressão diametral



Arquivo: /Filmes concreto / Ensaios compressão / Splitting Tensile ASTM C 496



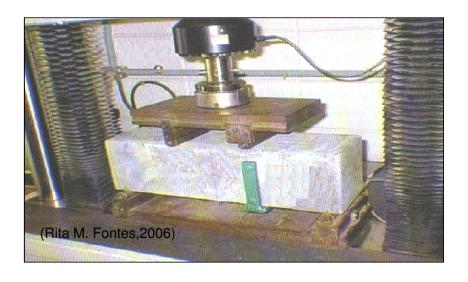
# **RESISTÊNCIA À TRAÇÃO**

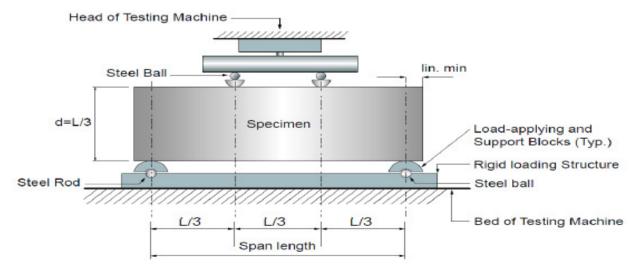
Resistência à tração na flexão – f<sub>ctM</sub> - NBR 12142

Cálculo limite de resistência  $f_{tf} = (P.L) / (b.d^2)$ 

Ruptura no terço central

Resultados  $f_{ctM} = 1.5$  a 2,0  $f_{td}$   $f_{ctM} = 0.15$  a 0,20  $f_{c}$ 





(Mehta e Monteiro, 2008)



# Resistência à tração na flexão



Arquivo: /Filmes concreto / Ensaios compressão / Concrete Test Beam



# **RESISTÊNCIA À ABRASÃO**

Critério utilizado em algumas obras especiais:

- Pisos industriais
- Pavimentos de aeroportos
- Pavimentos de rodovias

Máquina de desgaste Amsler-Laffon

Indica a redução de espessura (mm) após um percurso abrasivo de 1.000m, O abrasivo é areia quartzosa. Simula, a solicitação por atrito pelo tráfego de pessoas ou veículos.



http://www.fiec.org.br



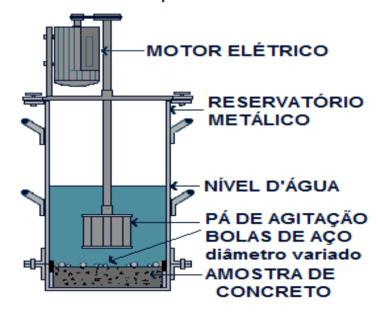
# PROPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO RESISTÊNCIA À EROSÃO

Critério utilizado em algumas obras especiais:

- Canais
- Vertedores

(A. C. M. KORMANN, 2002)

Ensaio simula a ação abrasiva da água em movimento, contendo objetos sólidos em suspensão.

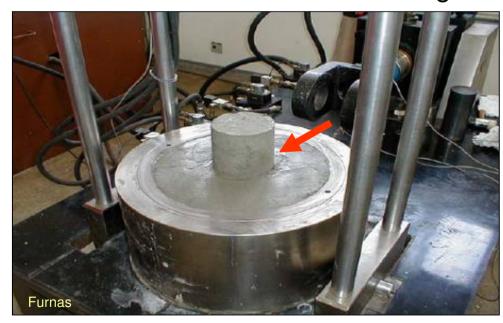




# **RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO**

Critério utilizado em algumas obras especiais:

- Barragens
- Juntas frias de concretagem





Cisalhamento direto (José Marques Filho)



# PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO FATORES DETERMINANTES



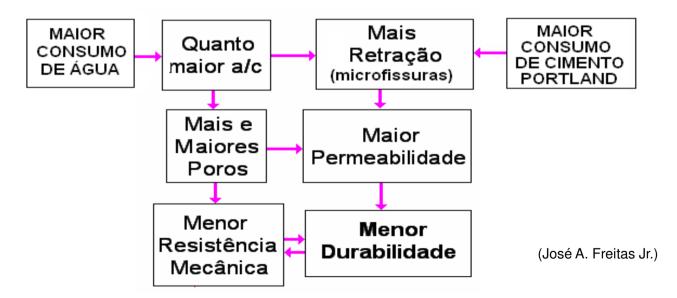


#### **POROSIDADE**

Porosidade = % vazios dentro do concreto

A permeabilidade da pasta é diretamente relacionada com a porosidade.

Microfissuras (retração, contração térmica, ...) interligam os poros capilares aumentando a permeabilidade.





# PROPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO POROSIDADE DA PASTA DE CIMENTO

A taxa de penetração de agentes deletérios no concreto, está diretamente ligada a porosidade da pasta de cimento no concreto. (Khatri, 1974)

#### POROSIDADE >>> PERMEABILIDADE

Quanto maior a relação água/cimento, maior a quantidade de poros e maior volume de poros de diâmetros maiores. (Reinardt,1992)

Mais importante do que o tamanho, diâmetro e quantidade de poros, é a sua distribuição e a sua intercomunicabilidade. (Helene,1993)



#### POROSIDADE DA PASTA DE CIMENTO

Na zona de transição, entre as partículas dos agregados e a pasta, é encontrada uma região de grande porosidade (Mehta, 1995).

A quantidade e maior volume de poros depende essencialmente de:

- Relação água /cimento;
- Grau de hidratação (idade);
- Refinamento dos poros por adições.

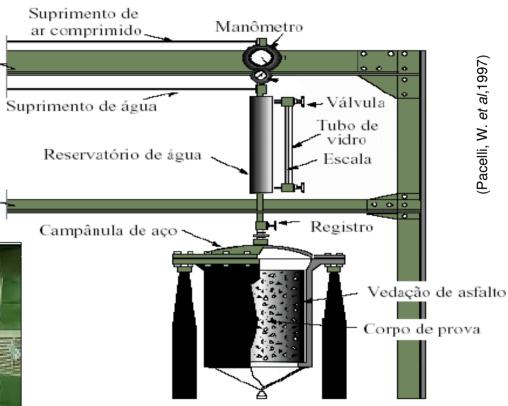
#### **PERMEABILIDADE**

Ensaio de permeabilidade.

(José Marques Filho)



PROPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO



(Pacelli, W. *et al*,1997)

Ar sob pressão mantém a água permeando através da seção do corpo-de-prova.

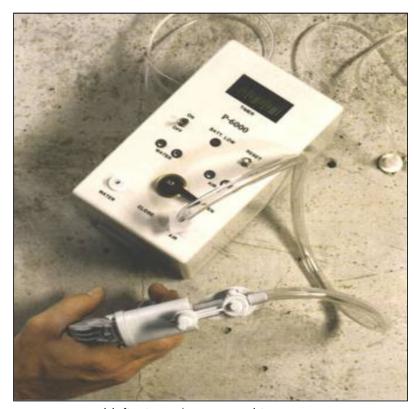


#### **PERMEABILIDADE**

# Um orifício de 10mm diâmetro x 40mm profundidade é perfurado e "plugado" deixando um vazio cilíndrico de 10mm x 20mm abaixo da superfície do concreto.

O tempo requerido para o ar e a água permear através do material em teste é um índice de qualidade do concreto.

# Verificação de permeabilidade "in situ"



www.worldoftest.com/poroscope.htm



## DEFORMAÇÕES DO CONCRETO

#### Devido a causas externas:

- Carregamento (Tensões)
  - Deformações Imediatas E (Módulo de Elasticidade Longitudinal)
  - Deformações Lentas Fluência
- Variações de temperatura
  - ε Coeficiente de dilatação linear
  - ± 10.10<sup>-6</sup> m.°C (em metros) Varia em função do agregado...

#### Devido a causas internas:

- Retração – desaparecimento da água líquida



# DILATAÇÃO E CONTRAÇÃO TÉRMICA

- ε Coeficiente de dilatação linear
- $\pm$  10.10<sup>-6</sup> m.°C (em metros)  $\epsilon$  do agregado ?
- Contração / dilatação pode causar fissuras
- Necessidade de juntas de movimentação





Dilatação de pavimento de concreto, av. Iguaçu, Curitiba, 04/02/2012



#### DEFORMAÇÕES DO CONCRETO

#### **FLUÊNCIA**

Deformação lenta causada pela expulsão da água que preenche os poros, (água

adsorvida e interlamelar), devido a tensões de compressão

Pode ser dividida em:

Fluência rápida – irreversível

Primeiras 24 h após a aplicação da carga

Fluência lenta - composta por duas outras parcelas:

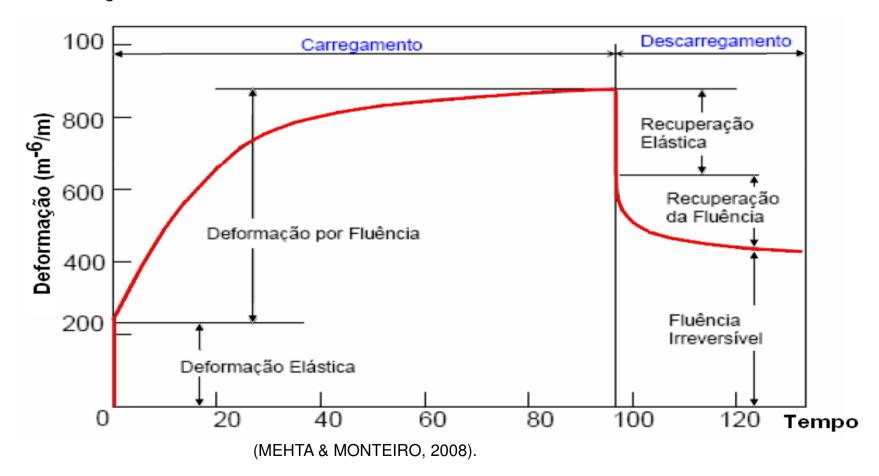
- Lenta irreversível
- Lenta reversível.



Corpos-de-prova sob carga durante ensaio de fluência.



DEFORMAÇÕES DO CONCRETO FLUÊNCIA





# DEFORMAÇÕES DO CONCRETO FLUÊNCIA

Fenômeno reduz em até 15 % a tensão de ruptura do concreto frente a cargas de longa duração.

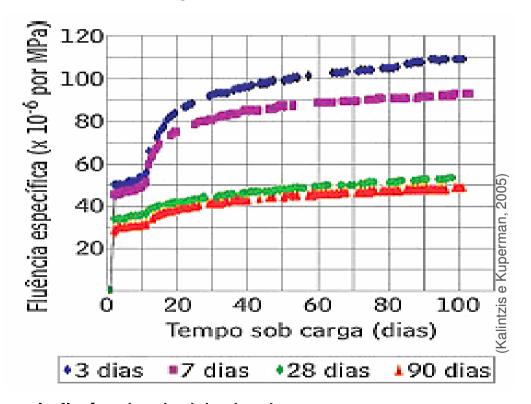
Projetos estruturais - coeficiente de 0,85 x fck

A fluência dos concretos carregados nas primeiras semanas é maior se comparada com concretos carregados a idades maiores.

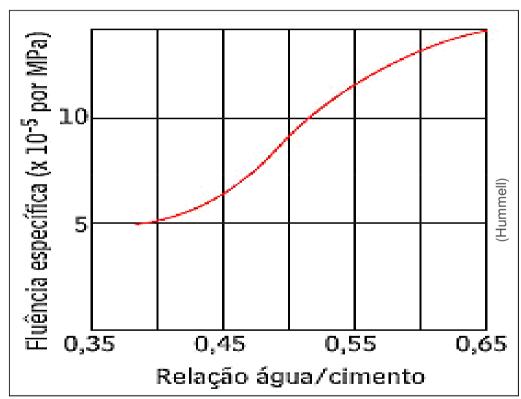
Devido ao menor grau de hidratação dos concretos mais novos, que apresentam em sua estrutura interna mais água disponível.



## DEFORMAÇÕES DO CONCRETO FLUÊNCIA



Influência da idade de carregamento na fluência, para concreto com relação a/c=0,52.



Influência da relação água/cimento na fluência de concretos.



# DEFORMAÇÕES DO CONCRETO FLUÊNCIA

Ocorre na pasta de cimento e está relacionada com os movimentos internos da água adsorvida ou intracristalina;

É um fenômeno elástico com retardamento, cuja recuperação total é impedida pela hidratação progressiva do cimento;

O processo de secagem tem efeito direto sobre a fluência;

A fluência cresce com o aumento da temperatura;

A fluência diminui com o aumento da umidade média do ar;



# DEFORMAÇÕES DO CONCRETO FLUÊNCIA

A fluência diminui com o aumento das dimensões da peça;

Em média, 25% da fluência total ocorre após duas semanas, 55% após três meses e 75% após um ano;

A fluência é inversamente proporcional à resistência do concreto no instante de aplicação da carga;

O aumento do teor de agregado reduz a fluência.

Agregados com maior módulo de elasticidade tendem a reduzir a fluência.



# DEFORMAÇÕES DO CONCRETO

# **RETRAÇÃO**

Retração devida à contração química (retração autógena):

Redução volumétrica causada pela combinação da água com o cimento.

Quantidade é proporcional a quantidade de cimento.

Ocorre fundamentalmente nas primeiras horas.

#### Retração por carbonatação:

Causada pela combinação do hidróxido de cálcio com o CO<sub>2</sub> do ar.

Muito lenta.

#### Retração por secagem e expansão por umedecimento:

Alteração de volume originada pelas pressões capilares quando da saída da água dos pequenos poros. Evaporação, absorção pelas formas,...



DEFORMAÇÕES DO CONCRETO

# **RETRAÇÃO PLÁSTICA**

Retração plástica é a soma das retrações autógena e por secagem que ocorrem enquanto o concreto está no estado plástico.



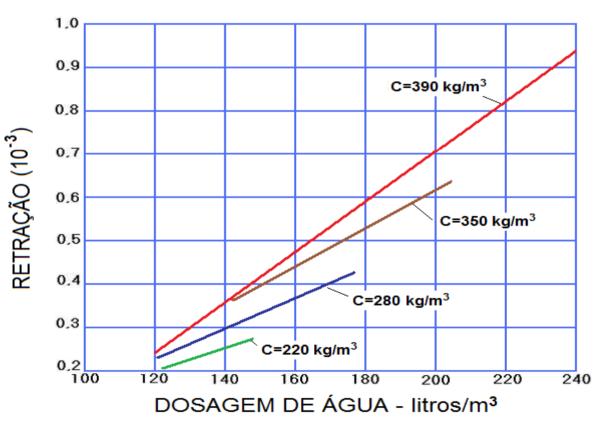


## DEFORMAÇÕES DO CONCRETO

# **RETRAÇÃO PLÁSTICA**

Alta temperatura e baixa umidade relativa do ar maximizam a retração plástica

-- ▶ fissuração superficial.



(USP- Apostilas Mat. Construção)

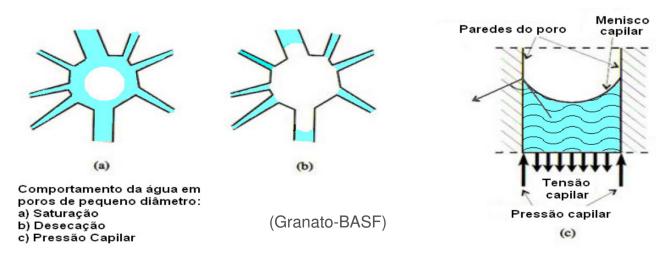


## DEFORMAÇÕES DO CONCRETO

## **RETRAÇÃO POR SECAGEM**

Será maior quanto maior o teor de água de amassamento.

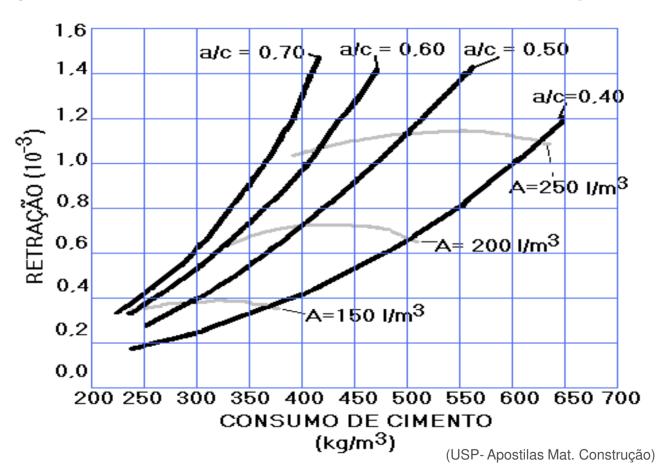
Insolação, altas médias de temperaturas e baixa umidade do ar, durante os primeiros dias de endurecimento, maximizam a retração por secagem.





DEFORMAÇÕES DO CONCRETO

# **RETRAÇÃO POR SECAGEM**





DEFORMAÇÕES DO CONCRETO RETRAÇÃO NO ESTADO PLÁSTICO





DEFORMAÇÕES DO CONCRETO

RETRAÇÃO NO ESTADO PLÁSTICO







# DEFORMAÇÕES DO CONCRETO RETRAÇÃO NO ESTADO PLÁSTICO





DEFORMAÇÕES DO CONCRETO

RETRAÇÃO NO ESTADO PLÁSTICO



(José Freitas Jr.)

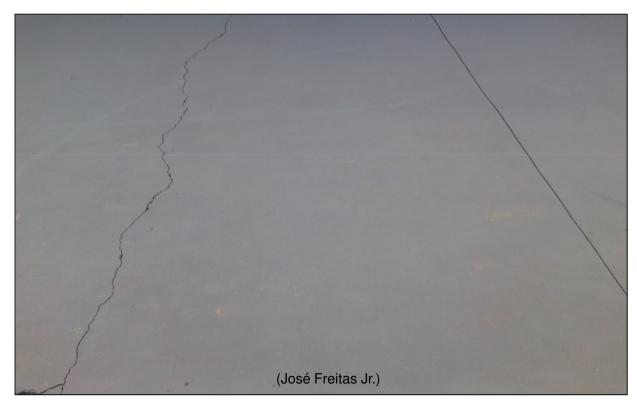


DEFORMAÇÕES DO CONCRETO





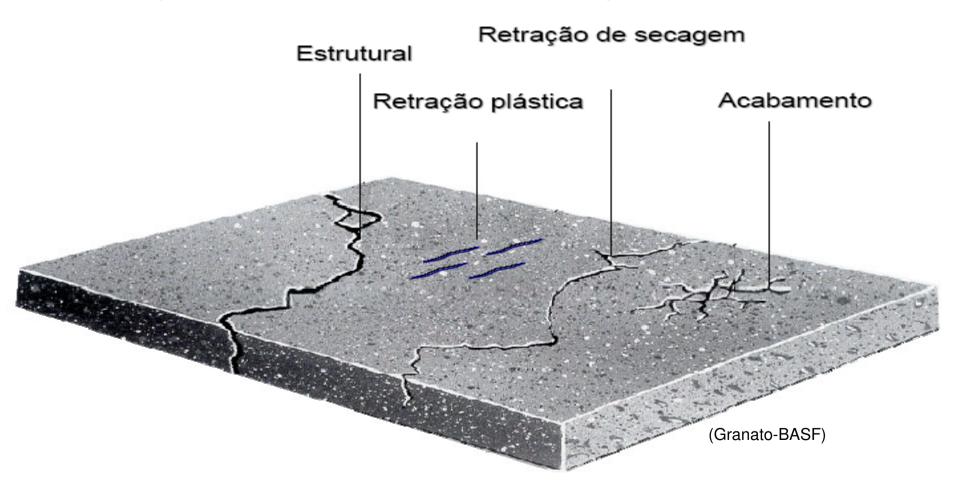
DEFORMAÇÕES DO
CONCRETO
RETRAÇÃO POR
SECAGEM
Estado Endurecido



Fissura por retração no estado endurecido em pavimento, paralela as juntas, decorrente do espaçamento excessivo destas.



DEFORMAÇÕES DO CONCRETO RETRAÇÃO



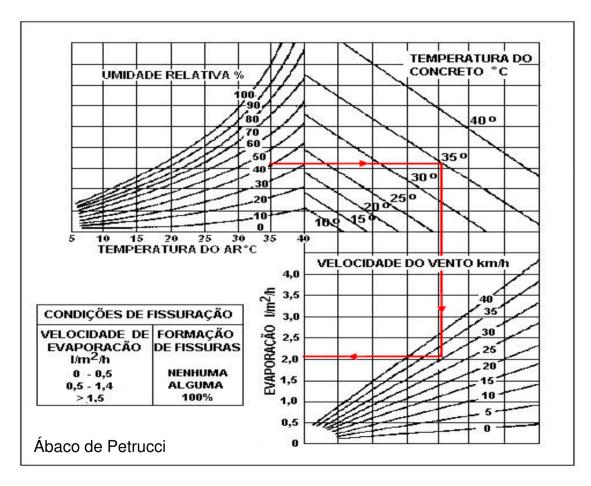


DEFORMAÇÕES DO CONCRETO

## PROCEDIMENTOS DE CURA

Ábaco para determinar a velocidade de evaporação da água

Fissuração provável em taxas de evaporação superiores a 1l/m²/hora





# DEFORMAÇÕES DO CONCRETO

### PROCEDIMENTOS DE CURA

## Concreto no estado fresco:

• Aplicação de agentes de cura (líquidos, óleos ou parafina) sobre a superfície, de forma que não marquem o concreto e evitem a evaporação da água de amassamento;

## Concreto endurecido:

• Aplicação sobre o concreto películas impermeáveis (lonas, compensados,...), ou materiais absorventes de água, (serragem, sacos de ráfia, ...), ou molhagem contínua, para evitar a saída da água de amassamento;

## Cura a vapor:

• Procedimento aplicado em peças pré-moldadas, (60ºC com 100% de umidade) para acelerar o endurecimento e entrega do produto.



## PROCEDIMENTOS DE CURA

Retardam a saída da água.

Quanto mais tarde a água sair, menor será a retração.



As primeiras 48 horas são fundamentais para minimizar a fissuração e não prejudicar a resistência mecânica e a durabilidade.

Aplicação de agente de cura sobre concreto fresco.



## PROCEDIMENTOS DE CURA SOBRE CONCRETO FRESCO



Cura com película de parafina sobre concreto fresco



Reparo em pilar sendo protegido por película de parafina para evitar a saída de água.



## PROCEDIMENTOS DE CURA SOBRE CONCRETO FRESCO



Aplicação de película de parafina em pavimento de concreto fresco.



## PROCEDIMENTOS DE CURA SOBRE CONCRETO ENDURECIDO



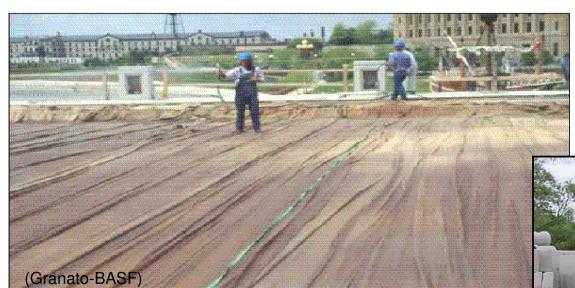


Cura com filme de polietileno sobre concreto endurecido

Pátio de aeroporto em CCR sob cura por molhagem freqüente com sistema de "irrigação" sobre o concreto endurecido.



## PROCEDIMENTOS DE CURA SOBRE CONCRETO ENDURECIDO



Peças de *paver* mantidas continuamente úmidas por sistema de "irrigação".





Cura com mantas DE ráfia saturadas de água sobre concreto endurecido



DEFORMAÇÕES DO CONCRETO

# PROCEDIMENTOS DE CURA À **VAPOR**





Cura a vapor em postes pré-moldados

Câmara de cura a vapor para blocos de concreto

Temperatura de 60 °C, h<sub>ar</sub> = 100% por 2 a 4 horas



Arquivo: /Filmes concreto / Cura / Cura Vapor-1

# Cura a vapor em postes prémoldados e blocos de concreto

# PROCEDIMENTOS DE CURA À VAPOR



Arquivo: /Filmes concreto / Cura / Block Curing



# PROCEDIMENTOS DE CURA

Pavimento curado com água e película plástica



Arquivo: /Filmes concreto / Cura / Water Curing



# PROCEDIMENTOS DE CURA

# Cura química



Arquivo: /Filmes concreto / Cura / Water Curing / Chemical Curing



# DEFORMAÇÕES DO CONCRETO

## **CURA EM CLIMA FRIO**

Em climas muito frios, para manter a temperatura e umidade corretas(abaixo de 4ºC não ocorre a hidratação do cimento) utiliza-se técnicas para aumentar a temperatura mantendo a umidade





Cobertor p/ aquecimento de tambor de água

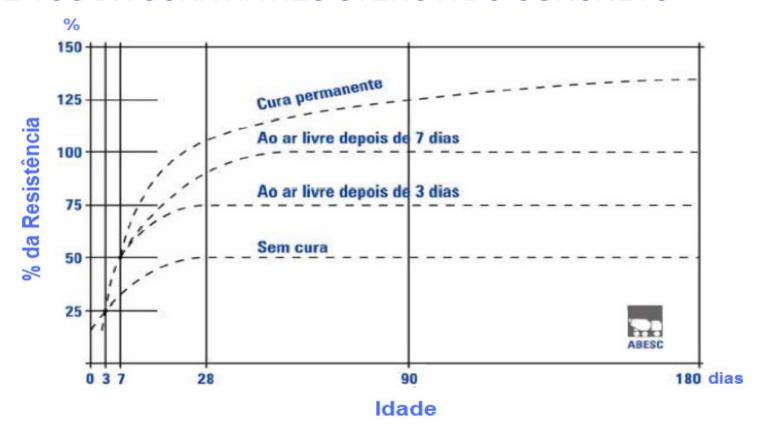


Cobertores elétricos para aquecimento, uso em concretagens com clima frio.



DEFORMAÇÕES DO CONCRETO PROCEDIMENTOS DE CURA

EFEITOS DA CURA NA RESISTÊNCIA DO CONCRETO





# DEFORMAÇÕES DO CONCRETO

## PROCEDIMENTOS DE CURA

Período mínimo de cura para concretos de cimento Portland

Tipo de cimento	Período mínimo de cura (dias) para relações água/cimento de:			
	0,35	0,55	0,65	0,70
CP I e CP II-32	2	3	7	10
CP IV 32 (POZ)	2	3	7	10
CP III (AF)	2	5	7	10
CP I e CP II 40	2	3	5	5
CP V ARI	2	3	5	5

Concreto: ensino, Pesquisa e Realizações, IBRACON 2005



# Concretagem de ponte



Arquivo: /Filmes concreto / Pontes / PONTE RODOFERROVIÁRIA



# Materiais de Construção PROPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS:

- •CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND, Eládio G. Petrucci, Porto Alegre: Globo, 1971.
- •Apostilas da Escola Politécnica de São Paulo da Disciplina MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO, sobre CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND. São Paulo: USP, 1984.
- •Aulas USP., profs A. Figueiredo, J.C. Djanikian, P.R. Helene, S. M. Selmo, V. M. John
- •CONCRETO: Estrutura, Propriedades e Materiais, P. Kumar Mehta e Paulo J. M. Monteiro, São Paulo: Pini, 1994.
- •CONCRETE, Microstucture, Properties and Materials, P. Kumar Mehta e Paulo J. M. Monteiro, McGraw-Hill, 2006
- •MANUAL DO CONCRETO DOSADO EM CENTRAL ABESC
- •DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO APARENTE EM ATMOSFERA URBANA, Paulo Fernando A. Silva, São Paulo Pini, 1995.
- •CONCRETOS MASSA, ESTRUTURAL, PROJETADO E COMPACTADO COM ROLO ENSAIOS E PROPRIEDADES, Equipe de Furnas, Laboratório de Concreto, Walton Pacelli de Andrade, São Paulo: Pini,1997.
- •Palestras Eng. José Eduardo Granato BASF Construction Chemicals Brasil