



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP.
Programa de Educação Continuada – PECE.
Curso de Especialização em Gestão de Projetos de Sistemas Estruturais – Edificações.
GES-017 – Patologia, Recuperação e Reparo de Estruturas de Concreto.

Resistência do concreto em estruturas existentes



Paulo Helene
Diretor PhD Engenharia
Conselheiro Permanente IBRACON
Prof. Titular Universidade de São Paulo
Presidente de honra ALCONPAT Internacional
Member fib(CEB-FIP) Service Life of Concrete Structures

Escola Politécnica

03/06/2015

São Paulo/SP

1

Materiais Estruturais

Madeira	→	?
Argila	→	?
Cerâmica	→	?
Rocha	→	2.790 a.C.
Concreto simples	→	114 d.C.
Aço	→	1.750 d.C.
Concreto Armado	→	1.892 d.C.
Concreto Protendido	→	1.928 d.C.

2



3



4

Catedral de Notre Dame



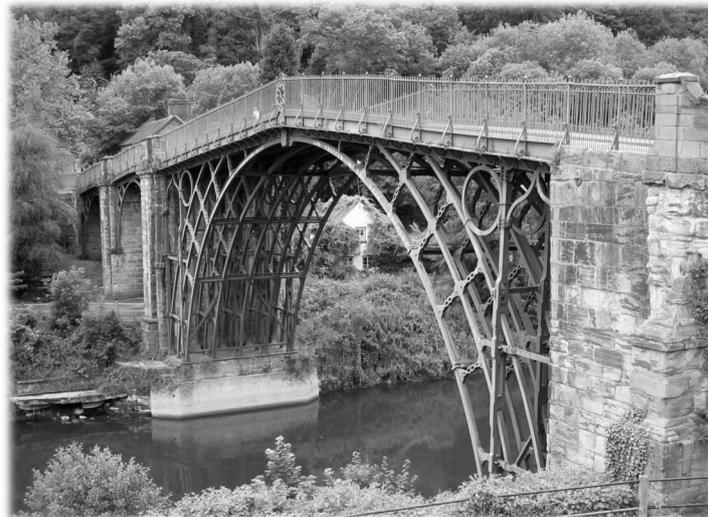
1163-1330

Abóbada da nave central → 35 m de altura

5

Primeira Ponte Metálica → 1.779 d.C.
Coalbrookdale Bridge em Telford, Inglaterra

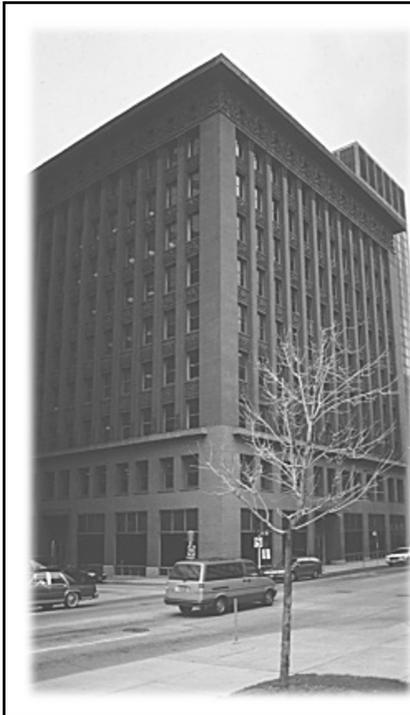
Ainda hoje em uso suportando tráfego leve e de pedestres



6



7



O início dos arranha-céus foi
em 1.890-1.891 com a
construção do edifício
Wainwright com 42m
St. Louis, USA.

Conhecido Escola de Chicago

Projetista
Arquiteto Louis Henry
Sullivan

8

Século “XX”
1892

Aparece um
novo material

Concreto Armado

9



10



Systeme Hennebique
Paris, Rue Danton1

7 andares
França 1.901
30m

$f_{ck} = ?$
112 anos !

*edificio em concreto mais
antigo do mundo*

11



12



Palácio Salvo
Montevideú

27 andares

Uruguai 1925

103m

$f_{ck} = ?$

85 anos!

world record

13



Edifício
Martinelli

1929

106m

81 anos

world record

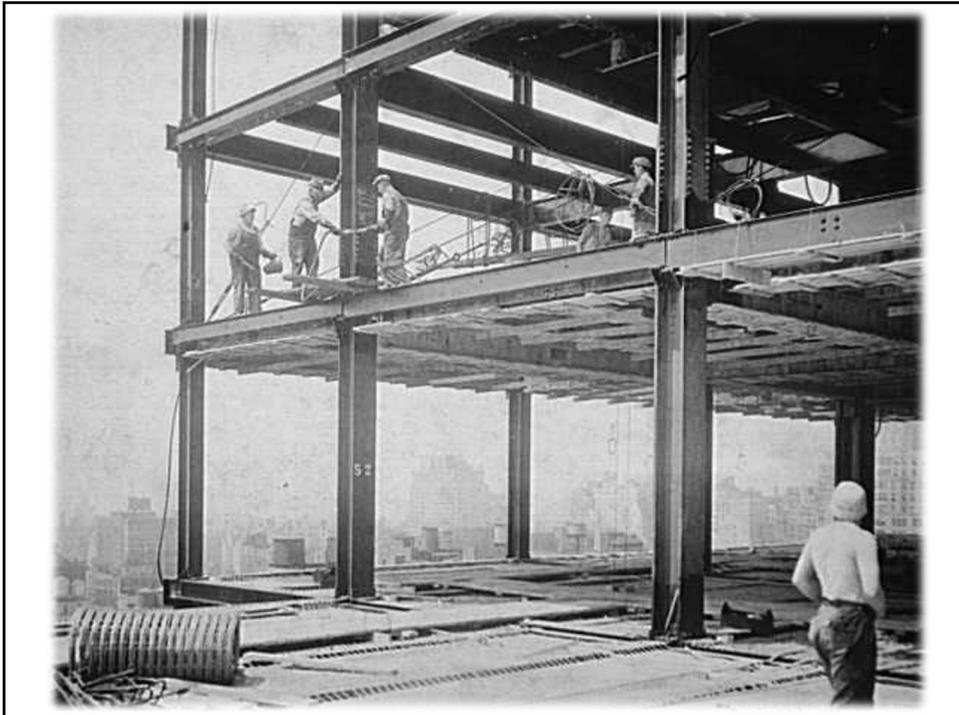
São Paulo, Brasil

14

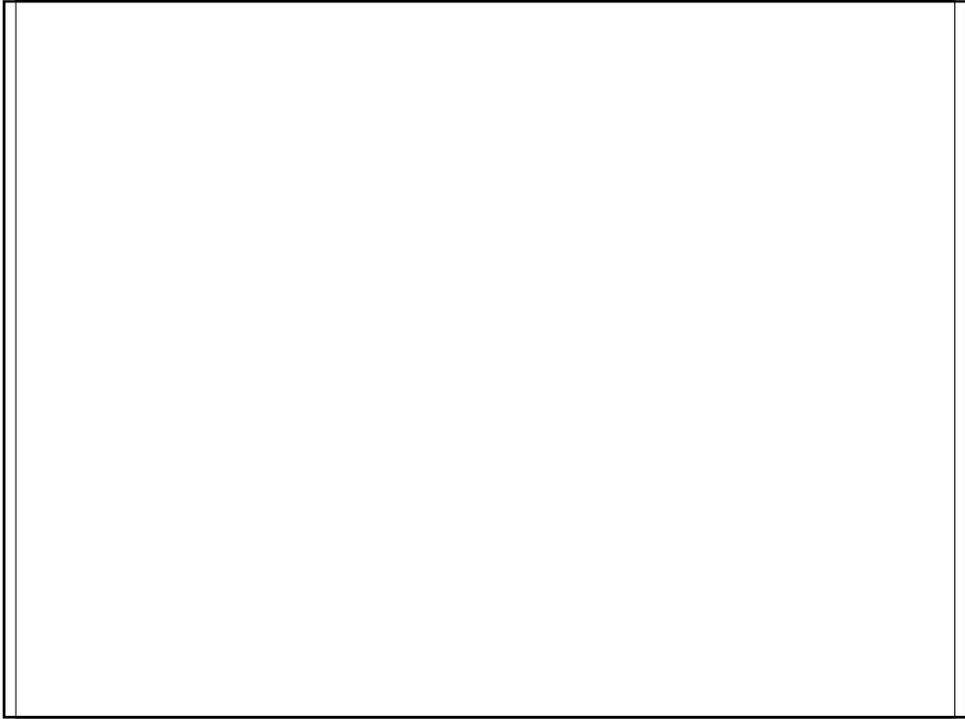


Empire State Building
381m , New York, 1.931

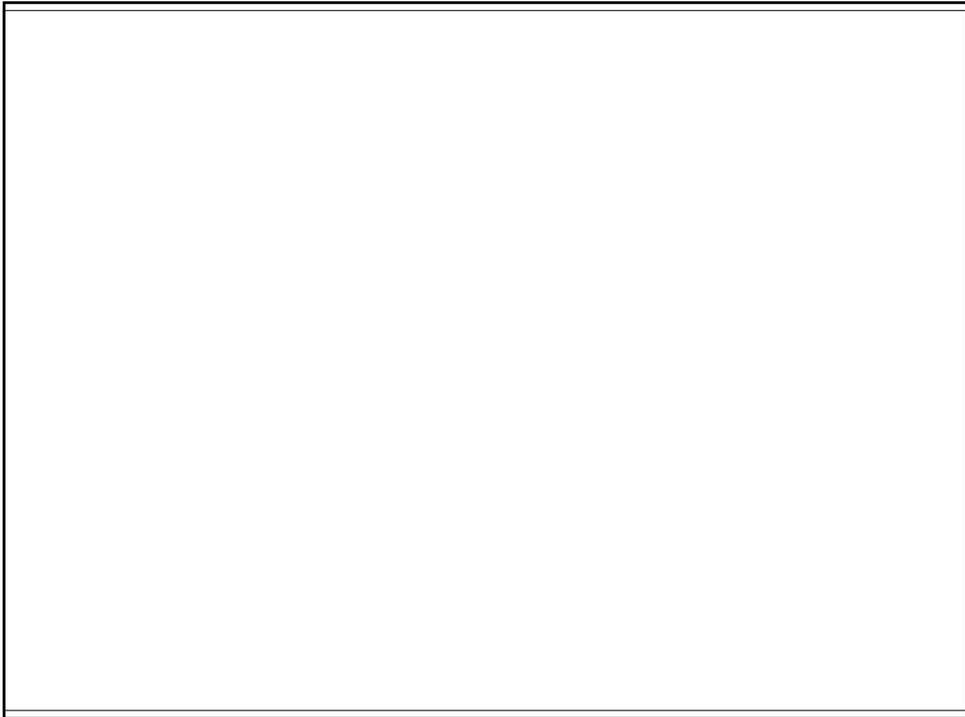
15



16



17



18



19

Século XX
1.928

“novo material estrutural”

Concreto Protendido

Eugene Freyssinet

20



21



22



23



24



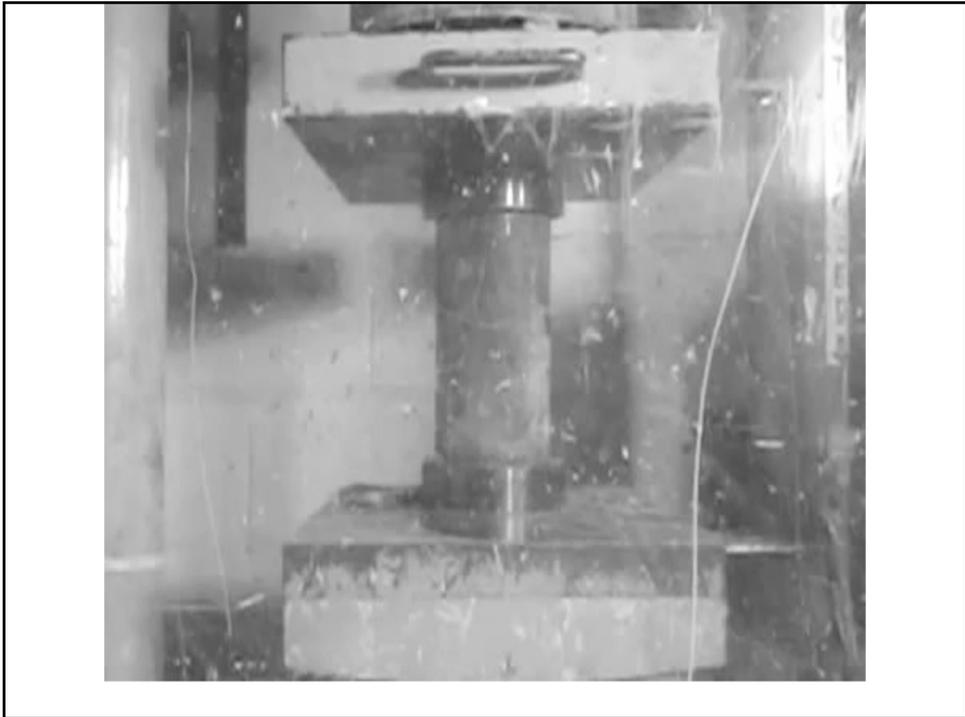
25



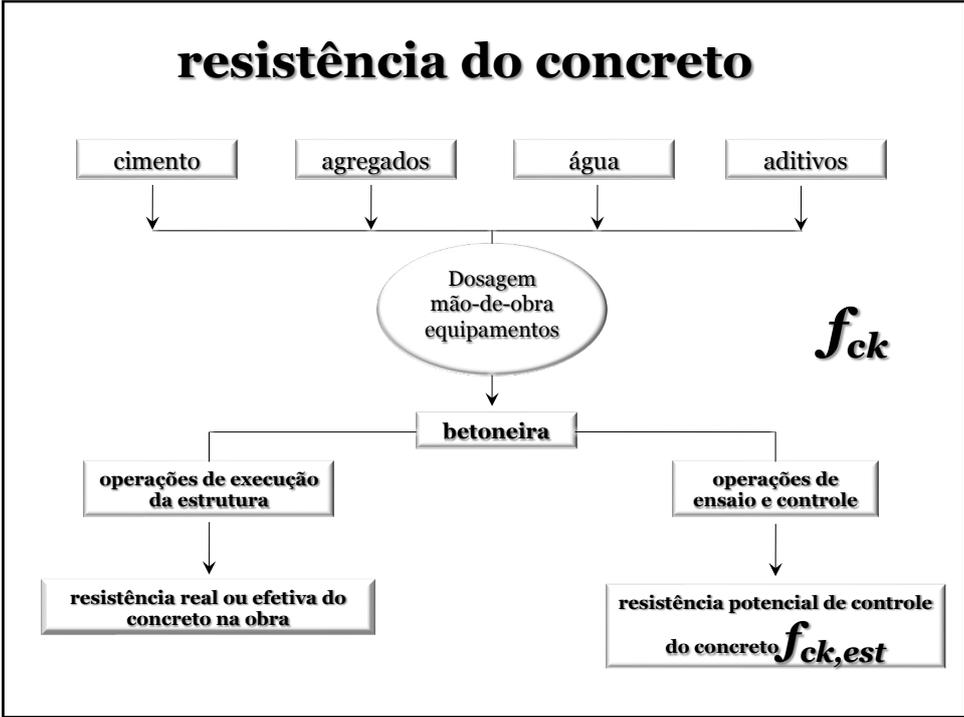
26



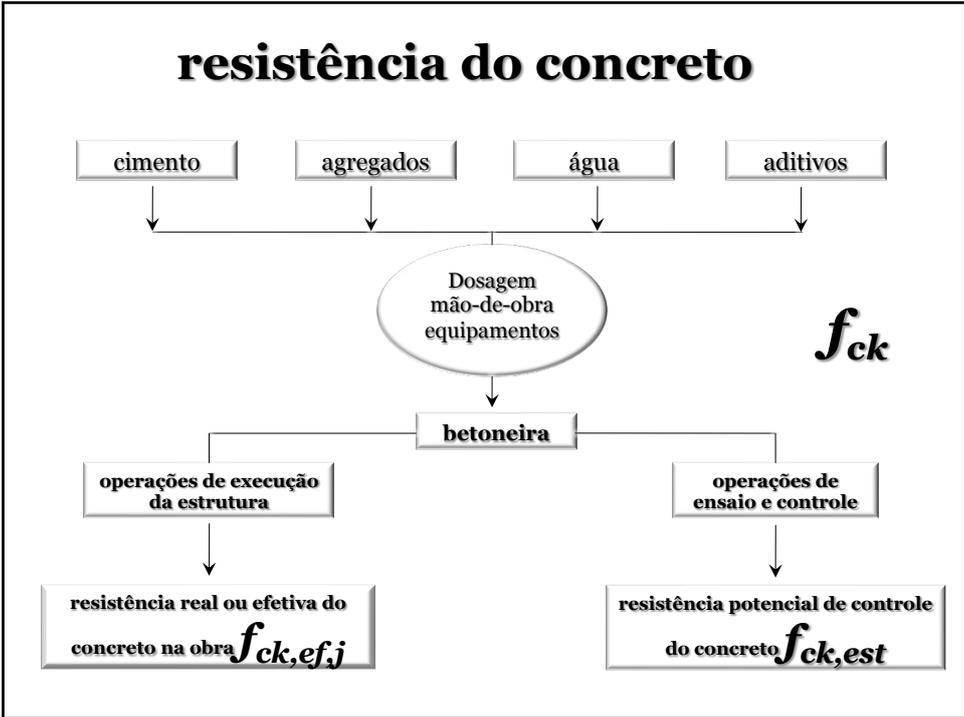
27



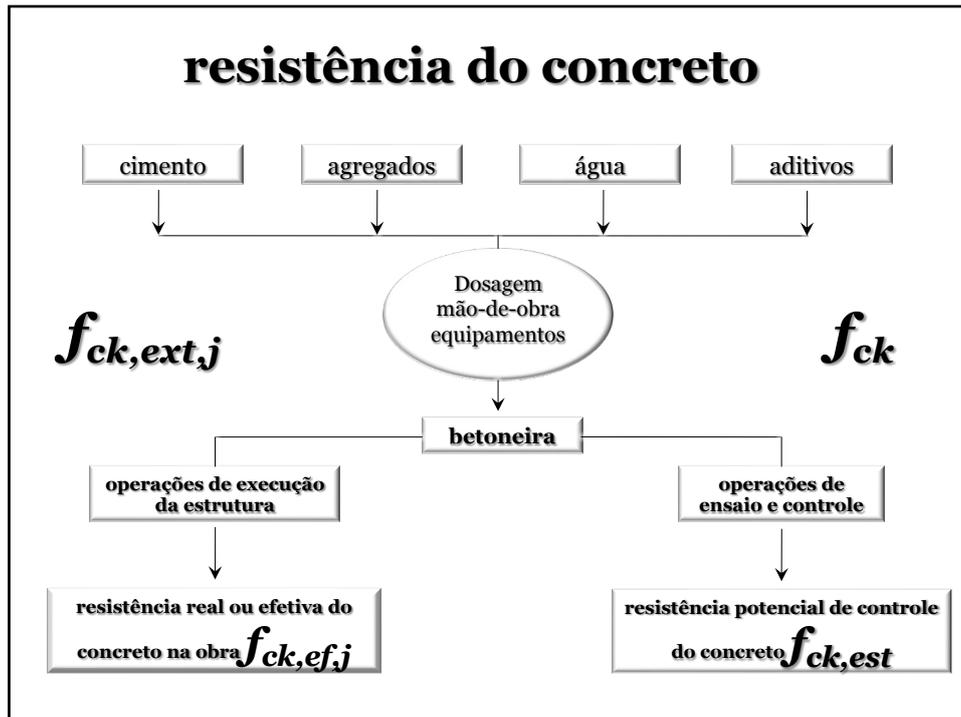
28



29



30



31

Preliminares

Conceitos:

→ do que estamos falando?

32

Preliminares

resultados de controle que podem gerar dúvidas, ou seja, resultados de $f_{ck,est}$ abaixo de $0,95*f_{ck}$ e, principalmente quando há divergência entre Concreteira e Laboratório

33

Por que questionar resultados de ensaio?

34



35



36



37



38



39



40

Preliminares

Conceitos:

**→ qual o objetivo de uma
investigação com extração
de testemunhos?**

41

Preliminares

**encontrar um f_{ck} que viabilize revisar a
segurança, ou seja, verificar a segurança
conforme as convenções universais de
projeto estrutural de ECAs.**

f_{ck} ? f_{cd} ? σ_{cd} ? a 28dias → a partir de $f_{c,ext,j}$?

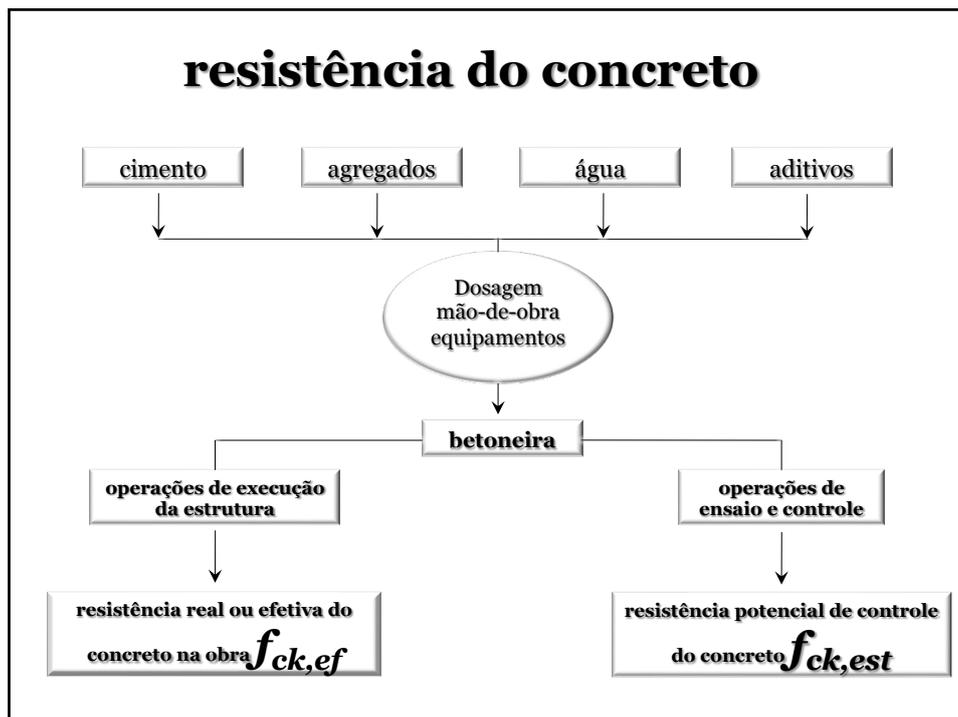
42

Preliminares

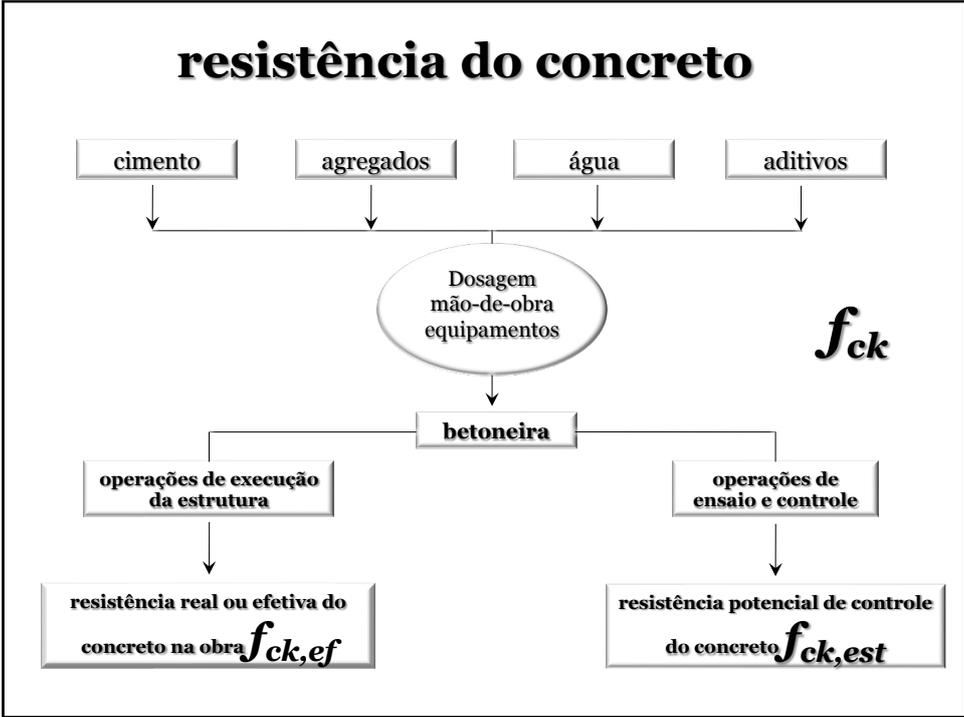
encontrar aquele f_{ck} padrão convencional,
normalizado, muito bem definido.

A NBR 7680, hoje, fornece apenas o $f_{c,ext,j}$ e,
portanto ainda não serve para calcular,
revisar, verificar a segurança

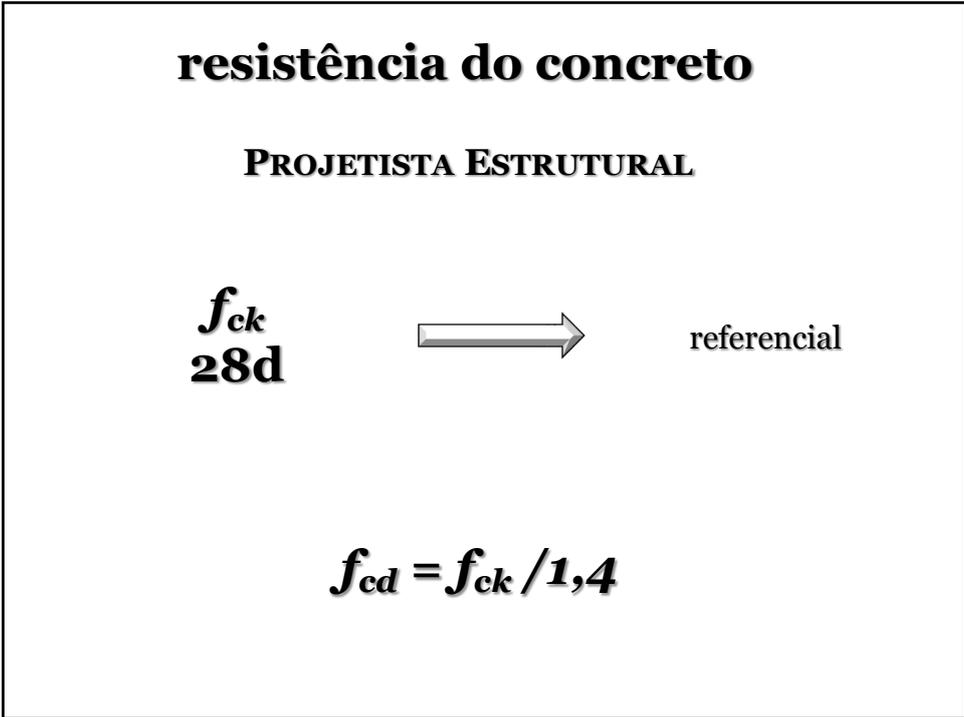
43



44



45



46

resistência do concreto

TECNOLOGIA DO CONCRETO
NBR 12655; NBR 5738 E NBR 5739

- ✓ *geometria: $h/d = 2 \rightarrow 10 \times 20$ ou 15×30*
- ✓ *adensamento ideal*
- ✓ *cura submerso; $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$*
- ✓ *preparação topos; retificação (ideal)*
- ✓ *direção de aplicação da carga //*
- ✓ *velocidade de carga (ideal)*
- ✓ *ruptura saturado*

47

quantas resistências tem o concreto
de um caminhão betoneira?

f_{c1} f_{c2} f_{c3} f_{c4} f_{c5}

exemplar = mais alto (f_{ck})

“potencial do concreto”

48

quantas resistências tem o concreto
de um caminhão betoneira?

f_{c1} f_{c2} f_{c3} f_{c4} f_{c5}

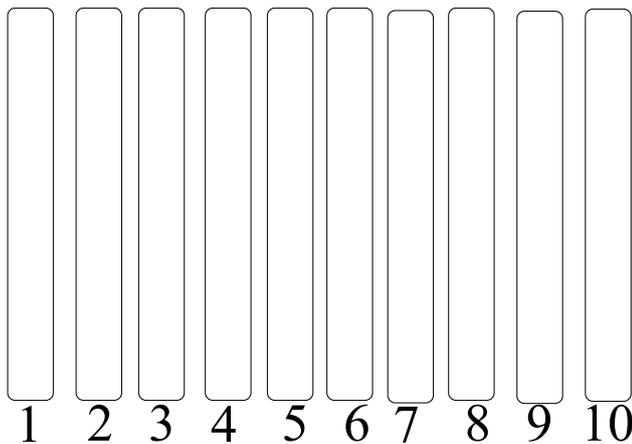
exemplar = mais alto (f_{ck})

$f_{ck} = 45\text{MPa}$

“potencial do concreto”

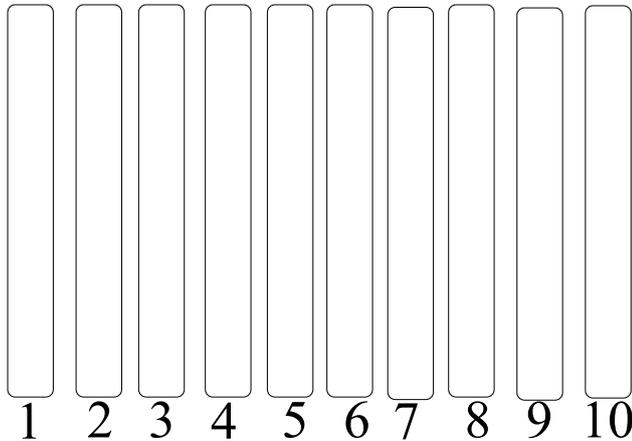
49

com esse concreto foram construídos 10 pilares.
qual a resistência do concreto nesses pilares
para fins de verificação da segurança?



50

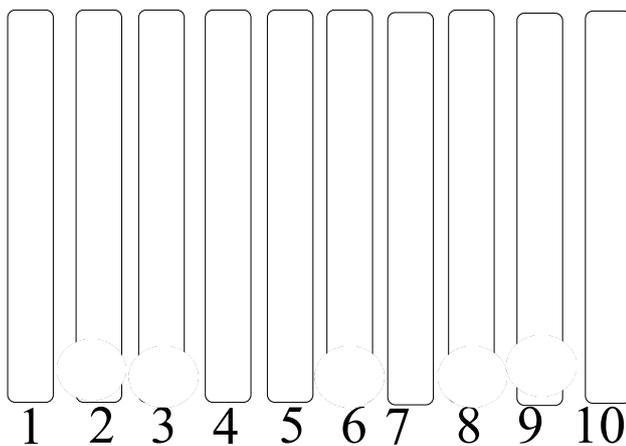
com esse concreto foram construídos 10 pilares.
qual a resistência do concreto nesses pilares
para fins de verificação da segurança?



f_{ck}
45MPa

51

“ninhos de concretagem”
qual a resistência do concreto nesses pilares
para fins de verificação da segurança?



52

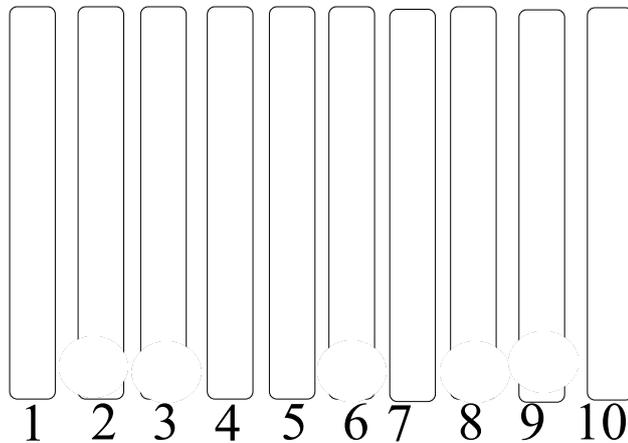


53



54

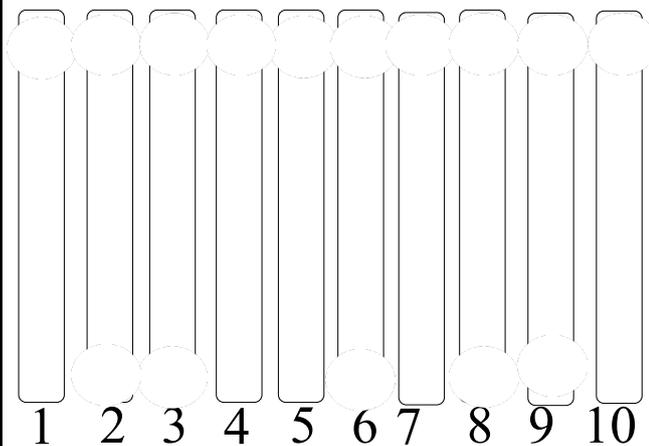
“ninhos de concretagem”
qual a resistência do concreto nesses pilares
para fins de verificação da segurança?



f_{ck}
45MPa

55

“exsudação”
qual a resistência do concreto nesses pilares
para fins de verificação da segurança?

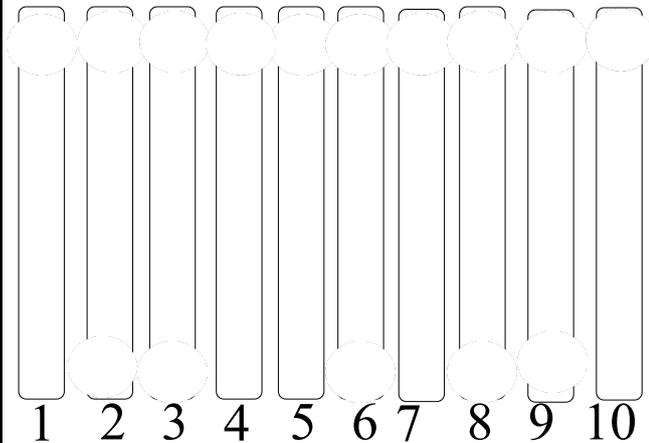


f_{ck}
45MPa

56

qual a resistência do concreto nos pilares que estão mais próximas da resistência de controle

(moldado) $f_{ck,est}$?

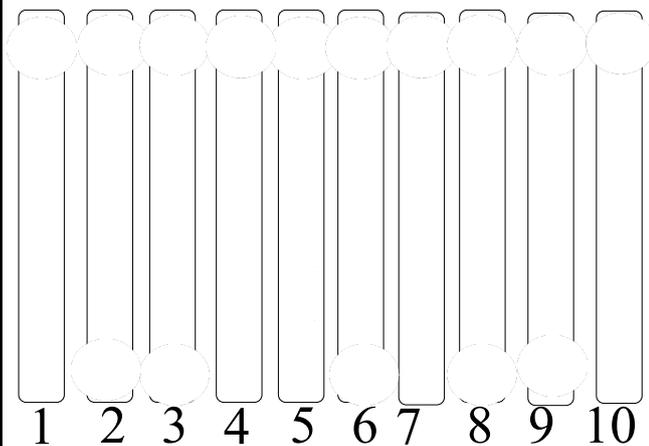


f_{ck}
45MPa

57

qual a resistência do concreto nos pilares que estão mais próximas da resistência de controle

(moldado) $f_{ck,est}$?

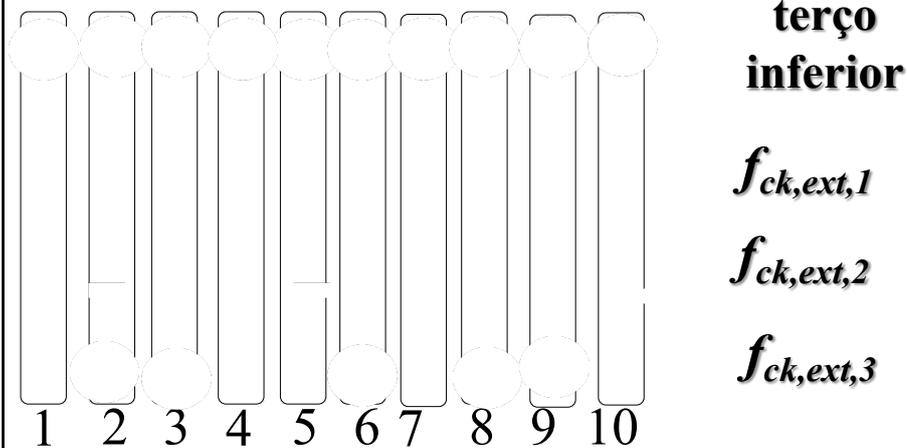


**terço
inferior**

58

qual a resistência obtida de um pilar?

$$f_{ck,ext}?$$



59

diferenciar f_{ck} do concreto entregue
de "segurança" do pilar
 $\frac{D}{i}$

diferenciar aquilo que "sei" daquilo
que "não sei" (*e portanto considero bom*)

diferenciar concreto na betoneira
(produção/referencial) de concreto
na obra (execução/efetivo)

60

$f_{ck,ef} \rightarrow$ impossível de ser conhecido

$$f_{ck,ef} \approx f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

$$\gamma_c = 1,4$$

$$f_{ck} = 20MPa \implies f_{ck,ef} \approx f_{cd} = 14,2MPa$$

$$f_{ck} = 50MPa \implies f_{ck,ef} \approx f_{cd} = 35,7MPa$$

61

Ações e segurança nas estruturas

ABNT NBR 8681:2004

Coefficiente de ponderação das resistências

$$\gamma_m (\gamma_c \text{ \& } \gamma_s)$$

$$\gamma_c = \gamma_{c1} * \gamma_{c2} * \gamma_{c3}$$

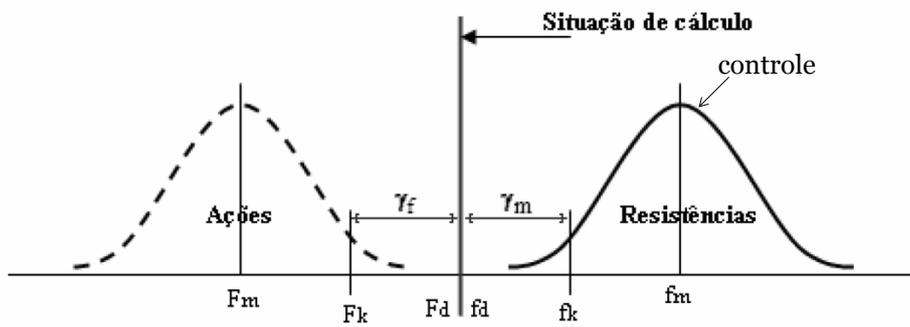
$\gamma_{c1} \rightarrow$ considera variabilidade da resistência efetiva na estrutura

$\gamma_{c2} \rightarrow$ considera a diferença entre geometrias estrutura e cp

$\gamma_{c3} \rightarrow$ considera as incertezas de cálculo/modelos

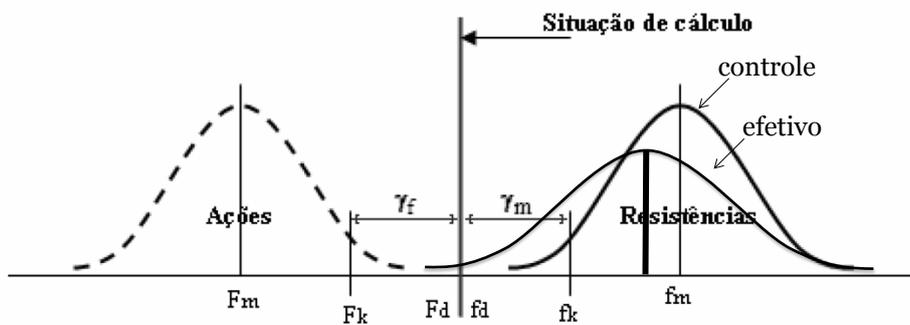
62

Análise Semi-probabilista

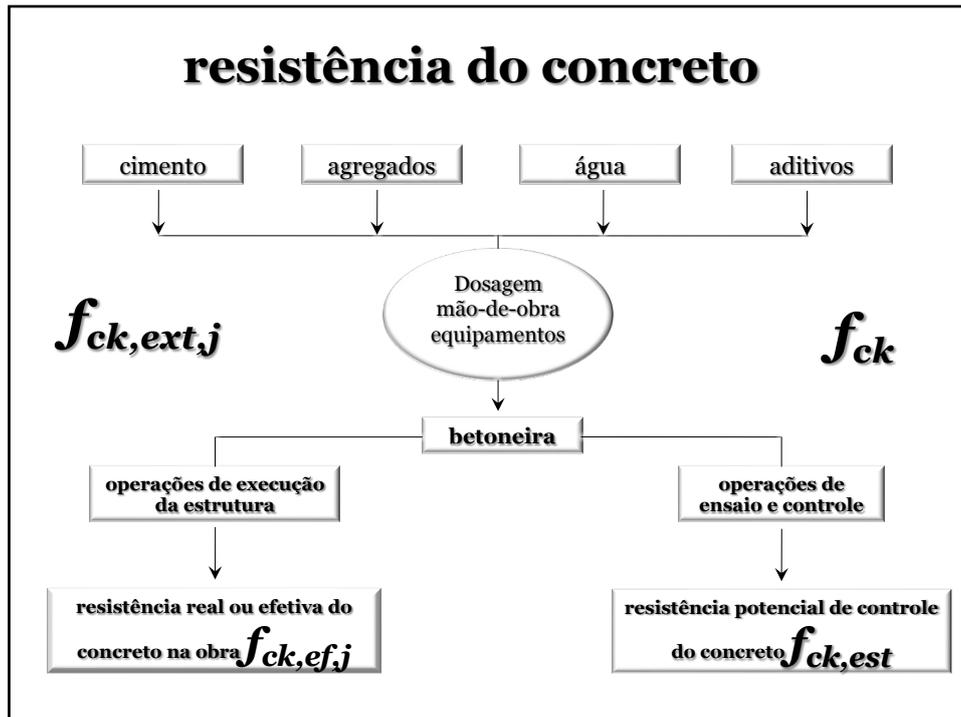


63

Análise Semi-probabilista



64



65

Preliminares

Um concreto conforme é aquele que apresenta resistência à compressão igual ou superior ao f_{ck} de projeto em 95% do volume de concreto da estrutura em construção.

Por exemplo: numa estrutura de edifício com 20 andares de 100m^3 por andar resulta um volume total da ordem de 2.000m^3 de concreto.

Em princípio 100m^3 (cerca de 12 caminhões-betoneira) poderia apresentar resistência abaixo de f_{ck} e o concreto estaria conforme.

66

Preliminares

Portanto é preciso saber CONVIVER com esse problema.

É preciso saber ONDE está esse concreto e QUAL sua resistência.

Só sabe quem CONTROLA.

Um caminhão-betoneira pode concretar 10 pilares !

67

Normalização Internacional

- 1. fib(CEB-FIP) Model Code 2010. Draft Model Code. March 2010. Bulletin 55. v.1***
- 2. fib(CEB-FIP) Bulletin 22 Monitoring and Safety Evaluation of Existing Concrete Structures. State-of-art Report. 304p. 2003.***
- 3. fib(CEB-FIP) bulletin n.2. v.2. July 1999. Structural Concrete. updating CEB/FIP Model Code 90)***
- 4. fib(CEB-FIP) bulletin n.54. v.4. October 2010. Manual, Textbook on Behavior, Design and Performance. Structural Concrete***
- 5. ISO 13822:2010. Bases for Design Structures. Assessment of Existing Structures. International Organization for Standardization. 2010. 44 p.***

68

Normalização Internacional

6. ***EUROCODE II. EN 1992. Dec. 2004. Design of Concrete Structures. General Rules for Buildings. Annex A → Modification of Partial Factors for Materials based on → EN 13791 Assessment of Concrete Compressive Strength in Structures or in Structural Elements.***
7. ***ACI 214.4R-10 Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results. 2010. 17p.***
8. ***ACI 437R-03 Strength Evaluation of Existing Concrete Buildings. 2010. 28p.***
9. ***ACI 318M-08 Building Code Requirements for Structural Concrete. 2008. 470p.***

69

Normalização Internacional

6. ***EUROCODE II. EN 1992. Dec. 2004. Design of Concrete Structures. General Rules for Buildings. Annex A → Modification of Partial Factors for Materials based on → EN 13791 Assessment of Concrete Compressive Strength in Structures or in Structural Elements.***
7. ***ACI 214.4R-10 Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results. 2010. 17p.***
8. ***ACI 437R-03 Strength Evaluation of Existing Concrete Buildings. 2010. 28p.***
9. ***ACI 318M-11 Building Code Requirements for Structural Concrete. 2011. 470p.***

70

**ACI 318M-11 Building Code Requirements for
Structural Concrete. 2011. 470p.**
Chapter 5. Concrete Quality, Mixing, and Placing

Item 5.6.5 Investigation of low-strength test results:

... concrete in an area represented by core tests shall be considered structurally adequate if the average of three cores is equal to at least 85 percent of f'_c and if no single core is less than 75 percent of f'_c ... (corresponde a $f'_c = 1,18 * f_{core,av}$ ou $f'_c = 1,33 * f_{core,min}$)

5.6.5 comments → ...core tests having an average of 85 percent of the specified strength are realistic. To expect core tests to be equal to f'_c is not realistic, since differences in the size of specimens, conditions, of obtaining samples, and procedures for curing, do not permit equal values to be obtained...

5.6.5.5 ...if criteria of 5.6.5.4 are not met and if the structural adequacy remains in doubt...strength evaluation accordance with chapter 20...

71

**ACI 318M-11 Building Code Requirements for
Structural Concrete. 2011. 470p.**
Chapter 20. Strength Evaluation of Existing Structures

20.2.3 ...for strength evaluation of an existing structure, cylinder or core test data shall be used to estimated an equivalent f'_c . The method for obtaining and testing cores shall be in accordance with ASTM C42M...

20.2.5 ...it shall be permitted to increase the strength reduction factor ϕ but ϕ shall be according with Table 20.2.5.1

Table 20.2.5.1 Factor ϕ to reduce the concrete strength.

sections	item 9.3.2	item 20.2.5	aumento
tension controlled sections	0,90	1,00	1,11
compression controlled sections			
members with spiral reinforcement	0,75	0,90	1,20
other reinforced members	0,65	0,80	1,23
shear and/or torsion	0,75	0,80	1,06
bearing on concrete (engastar)	0,65	0,80	1,23

72

**ACI 318M-11 Building Code Requirements for
Structural Concrete. 2011. 470p.**
Chapter 20. Strength Evaluation of Existing Structures

Obs.:

Um simples cálculo demonstra que esse aumento no coeficiente de redução da resistência do concreto, de 6% a 23% significa reduzir, para fins de comparação, o coeficiente de minoração, γ_c de 1,5 para γ_c de 1,22 a 1,40. Em compressão cintada passaria de $\gamma_c = 1,5$ para $\gamma_c = 1,25$;

*Observar que se trata de uma redução dupla: primeiro achar o f'_c equivalente no qual $f'_c = 1,18 * f_{core,av}$ ou $f'_c = 1,33 * f_{core,min}$ e, posteriormente se não aprovar, reduzir o coeficiente de minoração γ_c para até 1,22.*

73

resumo normas internacionais

duas partes bem distintas:

1. Uma primeira relativa a ensaio, ou seja, passar de $f_{c,ext}$ a f_c equivalente, para a qual algumas normas chegam até a recomendar explicitamente um especialista em tecnologia de concreto. Corresponde à inspeção da estrutura, pacometria, esclerometria e ultrassom, amostragem, extração, prumo, excentricidade, medidas geométricas “as built” de campo, transporte dos testemunhos, preparação dos topos, sazonalidade, ensaio de ruptura e correção do resultado para obter $f_c = \lambda * f_{c,ext}$

74

resumo normas internacionais

2. Uma segunda relativa à verificação da segurança, ou cálculo da segurança estrutural na qual é alterado o coeficiente de minoração da resistência do concreto, ou o coeficiente global de segurança, ou o coeficiente β de confiabilidade, segundo seja o método de introdução da segurança no projeto das estruturas de concreto preferido pelo projetista. Em todos os casos é recomendado aceitar coeficientes γ_M de minoração da resistência dos materiais ou β de confiabilidade, inferiores aos utilizados normalmente no projeto (verificação) da segurança em estruturas novas.

75

sumário

- ✓ Normas internacionais
- ✓ Pesquisas / investigações
- ✓ Projeto das Estruturas de Concreto (Projetistas)
- ✓ Execução das Estruturas de Concreto (Construtores)
- ✓ Produção do Concreto (Concreteiras)
- ✓ Controle (Norma)
- ✓ Controle da Resistência do Concreto (Laboratórios)
- ✓ Critérios de Introdução da Segurança

76

TESE de DOUTORADO

CREMONINI, R. A. Análise de Estruturas Acabadas: Contribuição para a Determinação da Relação entre as Resistências Potencial e Efetiva do Concreto. São Paulo, EPUSP, 1994.

Ruy Alberto Cremonini. Prof. Associado, UFRGS

77

OBJETIVO

- Comparação entre a resistência potencial e efetiva do concreto em obras convencionais de edificação em execução. Contribuição ao estudo do γ_c .
- **Resistência potencial** = corpos de prova cilíndricos moldados NBR 5738 / 5739 (28dias) 10cm x 20cm
- **Resistência efetiva** = testemunhos cilíndricos extraídos conforme NBR 7680 / 5739 (28dias) 10cm x 20cm

78

EXPERIMENTO

- 10 obras correntes de edifícios habitacionais em fase de execução das estruturas de concreto.
Resistência à compressão $20\text{MPa} < f_{ck} < 35\text{MPa}$.
- **Pilares**
 - 06 obras → concreto produzido na obra (500L)
 - 17 lotes → 17 andares
 - volume total de concreto 129 m^3
 - média de 6 cps moldados por lote → 28dias
 - média de 6 cps extraídos por lote → 28dias
 - extração no terço inferior (arranque)
 - 102 cps → 102 testemunhos

79

RESULTADOS $f_c/f_{c,ext} \approx f_{ck}/f_{ck,ext}$

estatística	pilares	lajes e (vigas)
mínimo	1.05	0.96
máximo	1.51	1.62
média	1.24	1.20
S_c	0.14	0.19
v_c	11%	16%
	$\Phi_{\text{moldado}} \approx \Phi_{\text{extraído}}$	$\Phi_{\text{moldado}} > \Phi_{\text{extraído}}$
	h/d=2	h/d≠2
	cp_{ext} ortogonal lanç.	cp_{ext} paralelo lanç.

80

Conclusões

pilares:

$$\eta = \frac{f_c}{f_{c,ext}} = \frac{f_{ck}}{f_{ck,ext}} = 1.24$$

lajes & (vigas)

$$\eta = \frac{f_c}{f_{c,ext}} = \frac{f_{ck}}{f_{ck,ext}} = 1.20$$

81

Problema

Qual o f_{ck} a ser adotado para revisão da segurança estrutural, uma vez conhecido o $f_{c,ext,j}$ a qualquer idade j ?

82

Problema

$$f_{ck,est,j} = k_1 * k_2 * k_3 * k_4 * k_5 * k_6 * k_7 * k_8 * f_{c,ext,j}$$

$f_{ck,est}$ = resistência à compressão característica do concreto equivalente à obtida de corpos de prova moldados, a j dias de idade;

83

$k_1 \rightarrow$ geometria do testemunho

k_1 = correção devida à geometria do testemunho cilíndrico, ou seja, devida à relação h/d.

Esse coeficiente pode ser obtido da *ABNT NBR 7680*.

relação h/d	$k_1(NBR 7680)$	ASTM C 42	BS 1881
2,00	1,00	1,00	1,00
1,75	0,98	0,98	0,98
1,50	0,96	0,96	0,96
1,25	0,93	0,93	0,94
1,00	0,87	0,87	0,92

84

$k_2 \rightarrow$ broqueamento

k_2 = coeficiente devido ao efeito deletério de broqueamento.

ACI 214:2010 \rightarrow 1,06

85

TESE de DOUTORADO

VIEIRA Filho, J. O. Avaliação da Resistência à Compressão do Concreto através de Testemunhos Extraídos: Contribuição à Estimativa do Coeficiente de Correção devido aos Efeitos do Broqueamento. São Paulo, EPUSP, 2007.

José Orlando Vieira Filho. Prof. Titular UNICAP

86

OBJETIVO

- Comparação entre a resistência potencial e a efetiva do concreto em paredes/blocos moldados especificamente para esse propósito (lab.). Contribuição ao estudo do efeito deletério de “**broqueamento**”.
- **Resistência potencial** → 480 corpos de prova cilíndricos moldados NBR 5738 / 5739 (28dias) 10cm x 20cm & 15cm x 30cm
- **Resistência efetiva** → 930 testemunhos cilíndricos extraídos conforme NBR 7680 / 5739 (28dias) 15cm x 30cm; 10cm x 20cm; 7.5cm x 15cm; 5cm x 10cm e 2.5cm x 5cm

87

EXPERIMENTO

- 56 blocos/paredes de espessura de 35cm x 2.10m altura x 1.45 m construídos no canteiro de uma Central de concreto e em subsolo de obra. Situação ideal!
- Resistências à compressão de: 20MPa; 40MPa; 50MPa e 70MPa.
- Consistência / slump = (100±10)mm;
- Idade de 28dias;
- Direção de extração ortogonal à concretagem.

88



91



92

Conclusões

1. os valores de $f_c/f_{c,ext} \approx f_{ck}/f_{ck,ext}$ entre 1,01 e 1,40 corresponderam a 100% dos resultados obtidos
2. Média geral:

$$\eta = \frac{f_c}{f_{c,ext}} = \frac{f_{ck}}{f_{ck,ext}} = 1.07$$

3. os testemunhos de diâmetro 5cm e 2.5cm tendem a maior variabilidade. Refletem melhor quando f_c é igual ou superior a 50MPa.
4. vale a pena consultar as demais conclusões...

93

$k_2 \rightarrow$ broqueamento

$k_2 =$ coeficiente devido ao efeito deletério de broqueamento.

ACI 214:2010 p.10 Table 9.1 "damage due to drilling"	Tese Doutorado José Orlando Vieira Filho. 2007 "efeito do broqueamento"
1,06	1,07

Esse efeito deletério do broqueamento fica ainda mais importante ao se considerar a possibilidade do uso de equipamentos velhos, mal conservados, mal fixados no momento da extração e manuseado por operadores mal treinados;

94

$k_3 \rightarrow$ cura

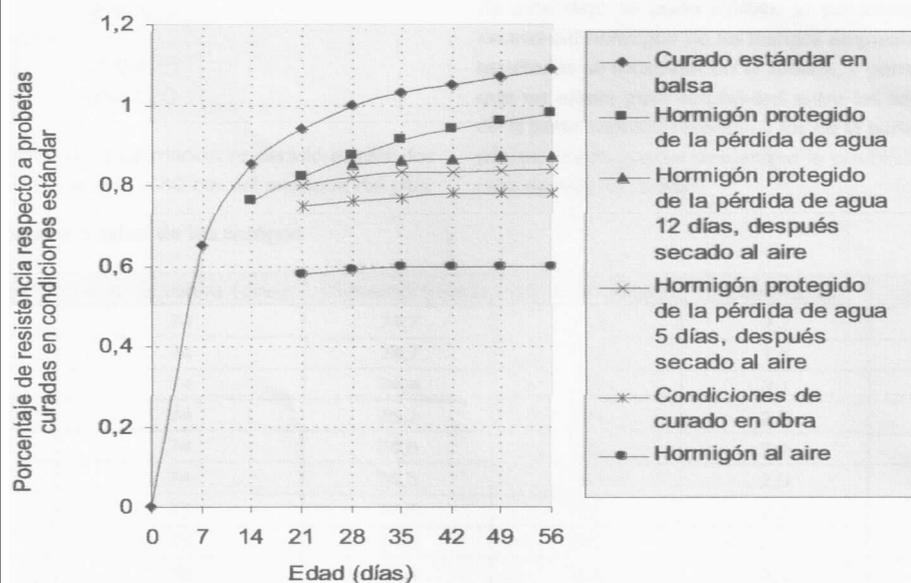
k_3 = coeficiente devido a deficiências de cura do concreto na obra.

Esse coeficiente pode ser obtido de vários textos base de livros de tecnologia de concreto ou até mesmo da norma *ACI 214:2010*.

A cura deficiente de obra, comparativamente àquela padronizada como ideal, pode reduzir muito a resistência do concreto na obra.

95

Efeito da cura na resistência $k_3 \rightarrow$ cura para $\Theta = (23 \pm 2)^\circ\text{C}$



Concrete Society Technical Report N° 11 "Concrete core testing for strength". Concrete Society, Maio de 1976.

96

Efeito da cura na resistência $k_3 \rightarrow$ cura para $\Theta = (23 \pm 2)^\circ\text{C}$

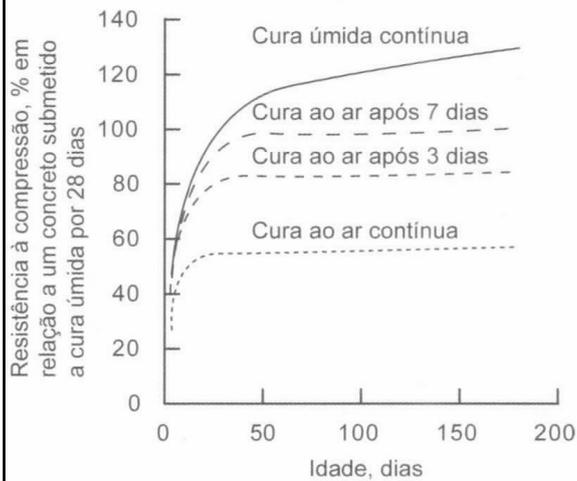


Figura 3-8 Influência das condições de cura sobre a resistência (*Concrete Manual*, 8th ed., U.S. Bureau of Reclamation, 1981).

A idade da cura não trará nenhum benefício para a resistência do concreto, a menos que a cura seja processada na presença de umidade.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J. *Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais*. IBRACON. 3^{ra} Edição. p. 62. 2008.

97

$k_4 \rightarrow$ adensamento

k_4 = coeficiente devido a deficiências de adensamento na obra comparativamente ao adensamento enérgico e ideal do corpo de prova.

98

Fatores de correção por compactação em função do excesso de poros. $k_4 \rightarrow$ adensamento

porcentagem de ar em excesso	fator de correção por compactação, k_4
1,0	1,08
1,5	1,13
2,0	1,18
2,5	1,23
3,0	1,28
3,5	1,33
4,0	1,39
4,5	1,45
5,0	1,51

Concrete Society Technical Report N° 11 "Concrete core testing for strength". Concrete Society, Maio de 1976.

99

$k_4 \rightarrow$ adensamento

Segundo *ACI 214:2010* e livros texto de concreto, deve ser aumentada a resistência do testemunho de 5% a 7% para cada 1% a mais de porosidade (volume de vazios) do concreto extraído em relação à porosidade medida no concreto bem adensado do corpo de prova padrão.

Isso pressupõe que a porosidade (*ASTM C 642*) tenha sido medida no corpo de prova moldado e também no testemunho extraído;

100

$k_5 \rightarrow$ direção de extração

k_5 = coeficiente devido à direção de extração em relação à direção de lançamento e adensamento do concreto.

101

$k_5 \rightarrow$ direção de extração

Relação entre a resistência do concreto em testemunhos extraídos em direção paralela e ortogonal à concretagem.

Pesquisador	coeficiente k_5
Petersons (1971)	1,12
Grahan, apud Neville (1969)	1,08
Ortiz & Diaz (1973)	1,01 a 1,06
Liniers (1974)	1,05
Meininger (1977)	1,07
Concrete Society	1,08
Kasai & Matui (1979)	1,04
Munday & Dhir (1984)	1,05 a 1,11
Bloem (1968)	1,00

Dissertação de Mestrado. De Castro, E. Estudo da Resistência à Compressão do Concreto por Meio de Testemunhos de Pequeno Diâmetro e Esclerometria. p. 70. Uberlândia. Universidade Federal de Uberlândia, 2009

102

$k_5 \rightarrow$ direção de extração

Segundo *ACI 214:2010*, concreto extraído em direção ortogonal à de lançamento deve ser corrigido de $k_5 = 1,05$, ou seja, a resistência do concreto extraído ortogonalmente é 5% menor que aquela do concreto do corpo de prova onde a moldagem e o ensaio estão na mesma direção;

103

$k_6 \rightarrow$ sazonalidade

k_6 = coeficiente devido às condições de sazonalidade do concreto do testemunho, antes do ensaio de compressão.

104

$k_6 \rightarrow$ sazónamento

sazónamento	coeficiente k_6
padrão	1,00
submerso 48h em água potável, ensaiado saturado	1,09
seco por 7dias em UR <60% e temperatura de 16°C a 21°C	0,98

ACI 214.4R-10. Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results.

105

Problema

$$f_{ck,est,j} = k_1 * k_2 * k_3 * k_4 * k_5 * k_6 * k_7 * k_8 * f_{c,ext,j}$$

$$f_{ck,est,j} = (0,87 \text{ a } 1,00) * (1,06) * (1,10) * (1,05) * (1,00) * (0,98 \text{ a } 1,09) * k_7 * k_8 * f_{c,ext,j}$$

106

Problemão

passar de $f_{ck,est,j}$

a $f_{ck,est,28}$

107

SEGURANÇA

critérios de introdução da
segurança no projeto e
construção das estruturas de
concreto, ABNT NBR
8681:2003 e ABNT NBR
6118:2014

108

Segurança

Valem critérios da ABNT NBR6118:2014, ou seja:

$$\sigma_{cd} = f_{cd} \cdot 0.85 = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \cdot 0.85$$

onde, na realidade 0.85 deveria depender de cada caso

109

Premissas

Introdução da Segurança no Projeto Estrutural segundo a
ABNT NBR 6118:2014

$$\beta = \beta_1 * \beta_2 = 1,17 * 0,73 = 0,85$$

$\beta_1 = 1.17 \rightarrow$ crescimento relativo da resistência de 28dias a
50anos

$\beta_2 = 0,73 \rightarrow$ decréscimo relativo da resistência à compressão
do concreto devido à carga aplicada aos 28dias e mantida
até 50anos

110

Premissas

Como **cresce** a
resistência com o tempo
a partir de 28 dias ?

111

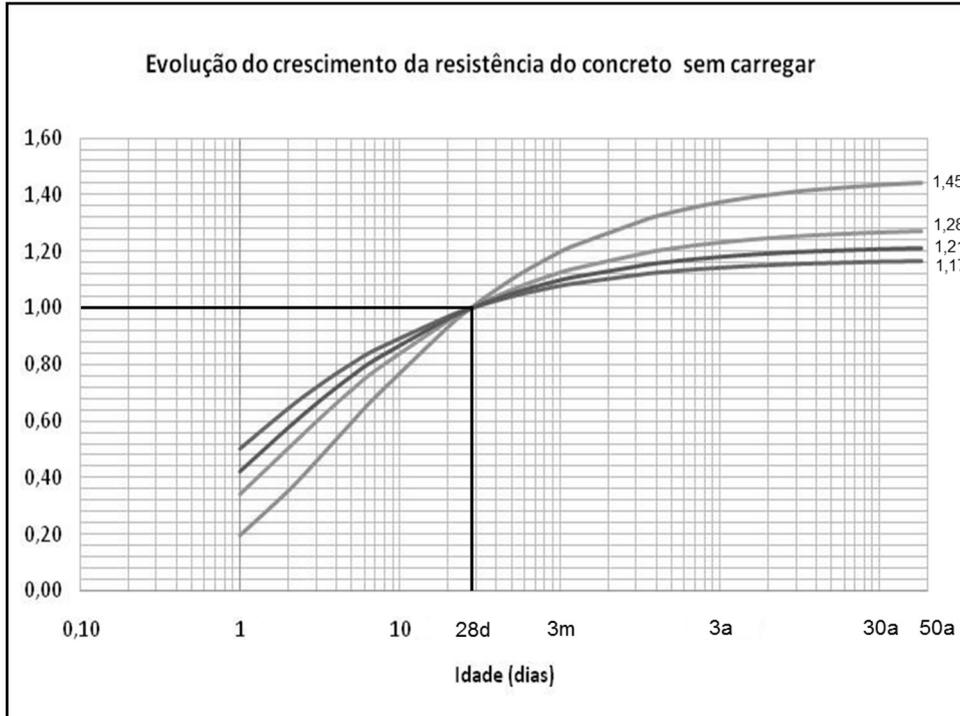
onde j é a idade do concreto em dias.

Crescimento da Resistência

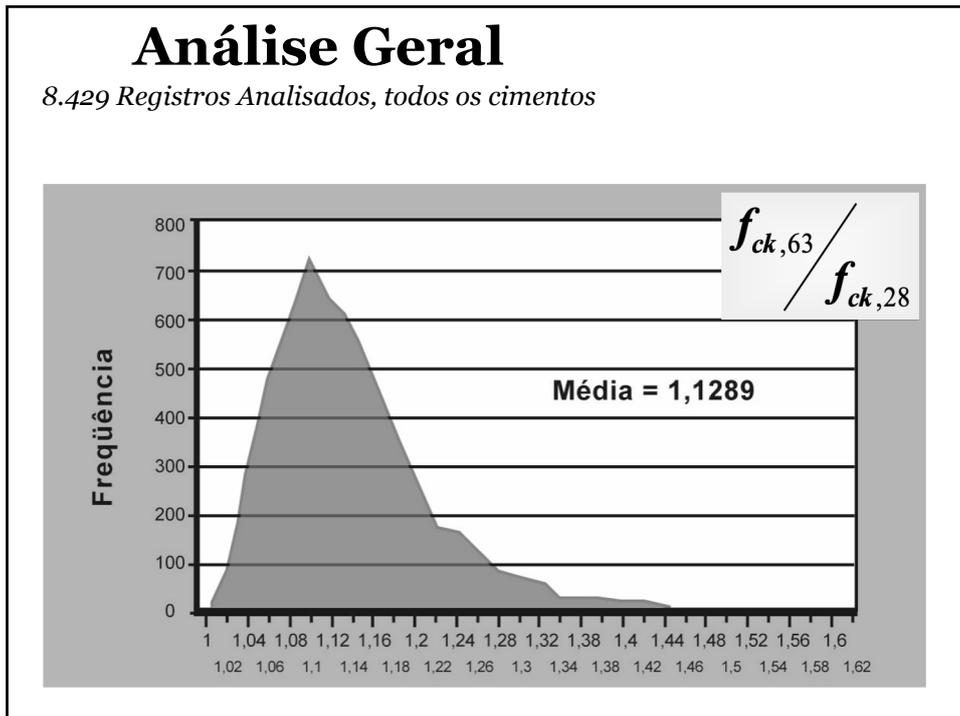
$$\frac{f_{c,j}}{f_{c,28}} = e^{s \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{28}{j}}\right)}$$

CPV ARI	$s = 0,20$	1,21 → 50anos	1,15 → 1ano	1,05 de 1ano a 50anos
CP I / II	$s = 0,25$	1,28 → 50anos	1,20 → 1ano	1,07 de 1ano a 50anos
CP III / IV	$s = 0,38$	1,45 → 50anos	1,32 → 1ano	1,10 de 1ano a 50anos
NBR 6118	$s = 0,16$	1,17 → 50anos	1,11 → 1 ano	1,05 de 1ano a 50anos

112



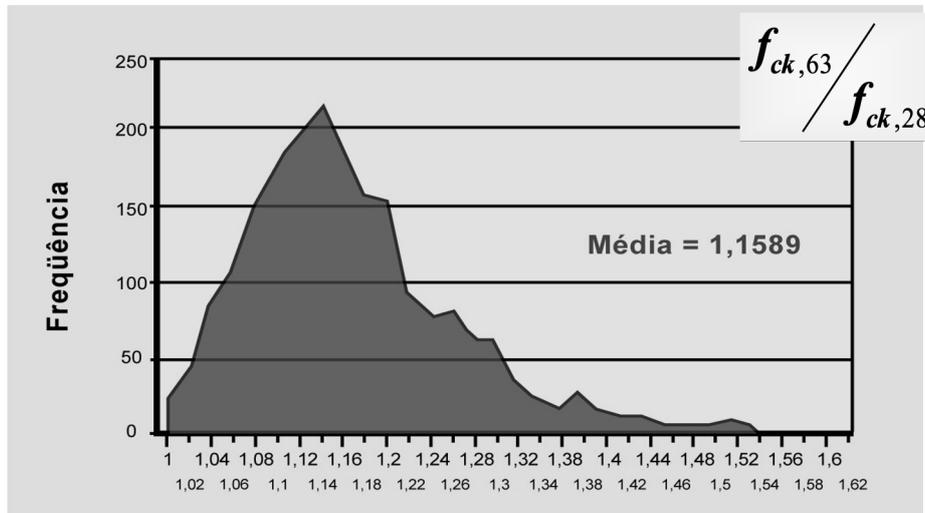
113



114

Análise

2.046 Registros Analisados, CP III



115

Problema

$$f_{ck,est,j} = k_1 * k_2 * k_3 * k_4 * k_5 * k_6 * k_7 * k_8 * f_{c,ext,j}$$

$$f_{ck,est,j} = (0,87 \text{ a } 1,00) * (1,06) * (1,10) * (1,05) * (1,00) * (0,98 \text{ a } 1,09) * k_7 * k_8 * f_{c,ext,j}$$

116

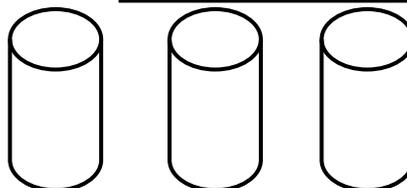
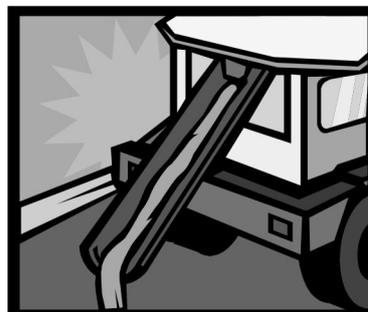
Como decresce a resistência com o tempo a partir de 28dias ?

117

Carga mantida → *como comprovar ?*

Concreto de uma betonada:
ABNT NBR 12655:2015
ABNT NBR 5738:2015

*Moldagem de corpos de prova
cilíndricos irmãos caprichados*



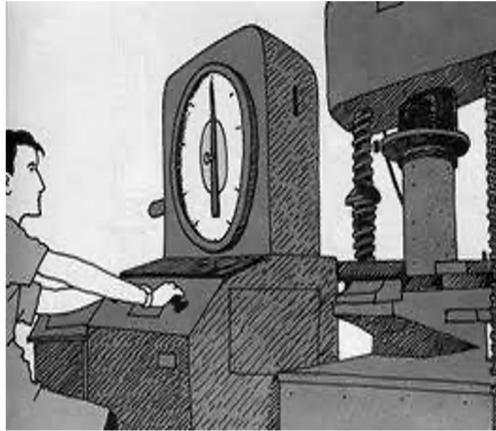
118

Carga mantida → como comprovar ?

**1 ou 2 CP levados à ruptura
(ABNT NBR 5739:2007)**

**Por exemplo → carga de
ruptura:**

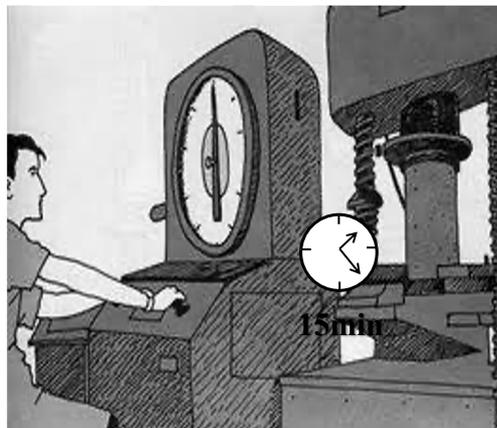
$$f_c = 30tf$$



119

Carga mantida → como comprovar ?

**Sobre o CP irmão
restante aplicar uma
carga 10% menos, no
caso, 27tf, mantendo o
carregamento de 27tf
A partir dos 10 minutos e
antes dos 15 minutos
o CP irá romper com a
carga 10% menor**



*Fluência e relaxação do concreto ocorrem devido às cargas mantidas,
e devem ser consideradas no método de introdução da segurança no
projeto estrutural.*

120

Relaxação \approx Carga mantida

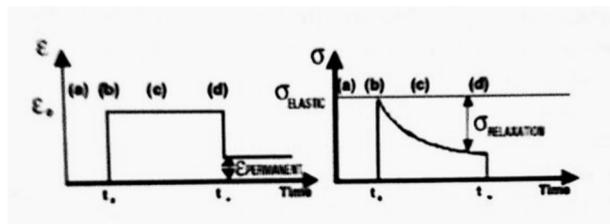
conceito de relaxação
“strength relaxation”
→ para concreto

“relaxação de resistência”

121

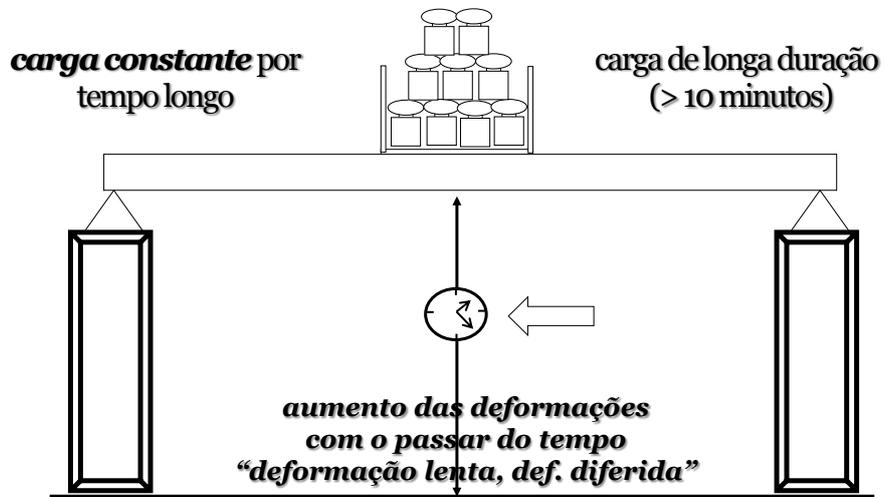
Relaxação \approx Carga mantida

- Assim como a fluência, ocorrem devido ao movimento da água na microestrutura que resiste aos esforços.
- É a redução da tensão no concreto quando este é submetido à deformação constante.
- Com o tempo, é necessária uma carga menor para causar a mesma deformação.



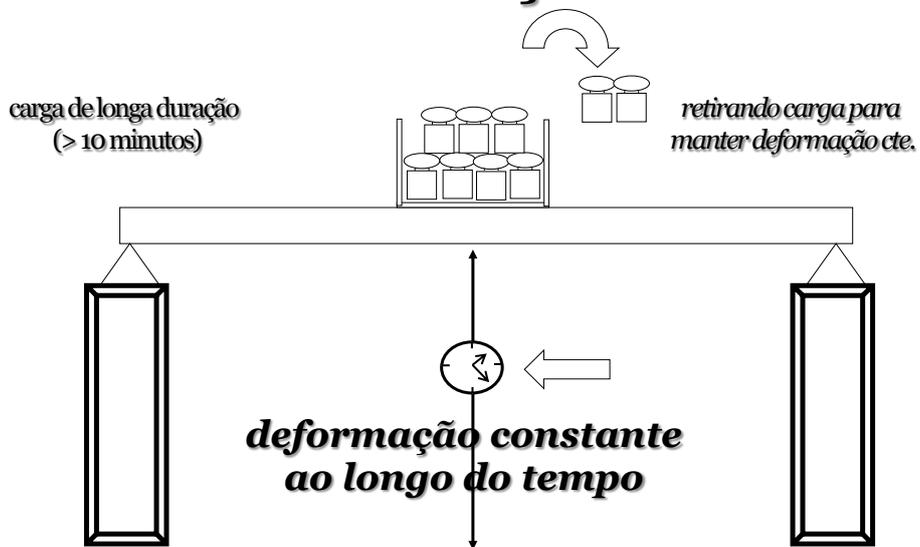
122

Fluência



123

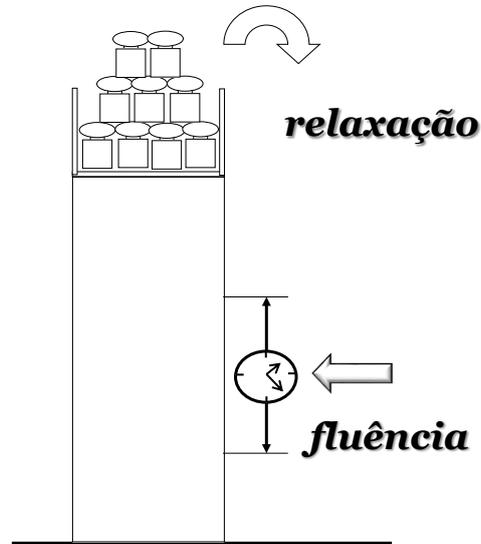
Relaxação



124

Relaxação ≈ Rüsçh

**efeitos das
cargas de
longa duração**



125

Relaxação das Resistências (efeito Rüsçh)

$$\frac{f_{c,j}}{f_{c,t_0}} = 0,96 - 0,12 * \sqrt[4]{\ln\{72 * (j - t_0)\}}$$

→ **j** em dias

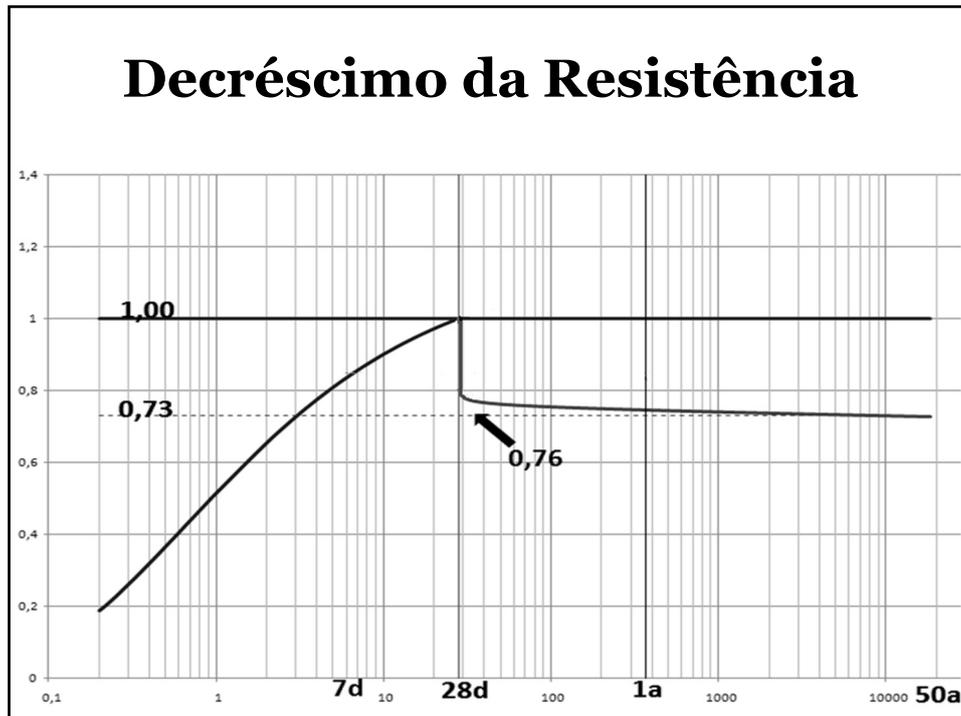
→ **t₀** → idade de aplicação das cargas

→ **j - t₀** > 15 minutos

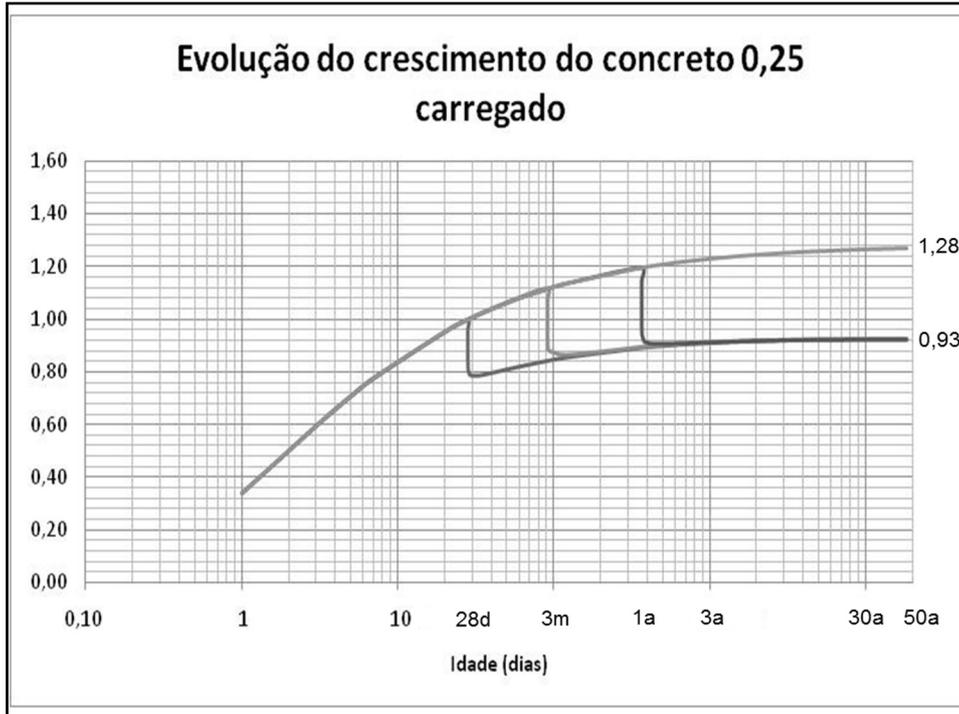
126

Combinando crescimento com decréscimo a partir de 28dias ?

127



128



129

coeficiente $k_7 \rightarrow$ idade

$$\frac{f_{c,j}}{f_{c,28}} = e^{0,16 * (1 - \sqrt{\frac{28}{j}})}$$

para regredir de jdias a 28dias

130

coeficiente $k_8 \rightarrow$ “Rüsch”

1. não foi carregado... despreza esta correção
2. foi carregado [50% carga projeto]... considera esta correção

$$\frac{f_{c,j}}{f_{c,28}} = 0,96 - 0,12 * \sqrt[4]{\ln\{72 * (j - 28)\}}$$

para regredir de j dias a 28 dias

131

Problema

$$f_{ck,est,j} = k_1 * k_2 * k_3 * k_4 * k_5 * k_6 * k_7 * k_8 * f_{c,ext,j}$$

$$f_{ck,est,j} = (0,87 \text{ a } 1,00) * (1,06) * (1,10) * (1,05) * (1,00) * (0,98 \text{ a } 1,09) * k_7 * k_8 * f_{c,ext,j}$$

132

encerrando...

passar de moldado $f_{ck,est,28}$ para f_{ck}
NBR 8953

obtêm-se →

**$f_{ck} \rightarrow C20; C25; C30;$
 $C35; C40; C45; C50$**

133

Conformidade do Concreto

***Consultores, Projetistas, Controladores,
Gerenciadores, Construtores, Fiscais***

***Falta de ética
Atuação venal
Mezquinhez
Avareza
Corrupção
Onipotência
Ignorância
(omissão e despreparo)***

134

Conformidade do Concreto

*Consultores, Projetistas, Controladores,
Gerenciadores, Construtores, Fiscais*

*Falta de ética
Atuação venal
Mezquinhaz
Avaréza
Corrupção
Onipotência
Ignorância
(omissão e despreparo)*

**“não há tecnologia
que resolva...”**

135



136



137