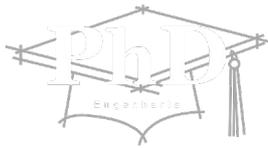


Considerações Sobre a Conformidade da Resistência à Compressão do Concreto em Estruturas de Edificações



Paulo Helene

*Diretor PhD Engenharia
Diretor Conselheiro IBRACON
Miembro Red PREVENIR CYTED
fib (CEB-FIP) Member of Model Code for Service Life
M.Sc. PhD Prof. Titular da Universidade de São Paulo USP
Presidente Asociación Latino Americana de Control de Calidad y Patología ALCONPAT*

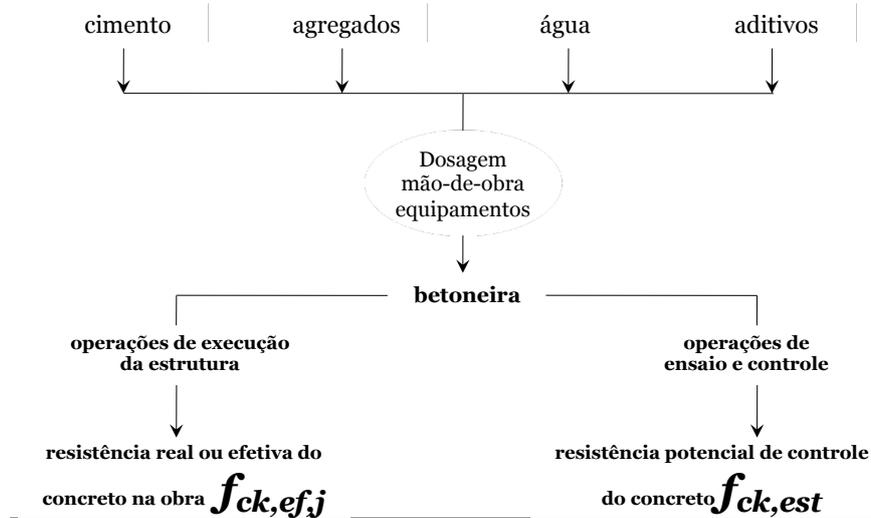
temas controversos

15 de outubro de 2010

Fortaleza

1

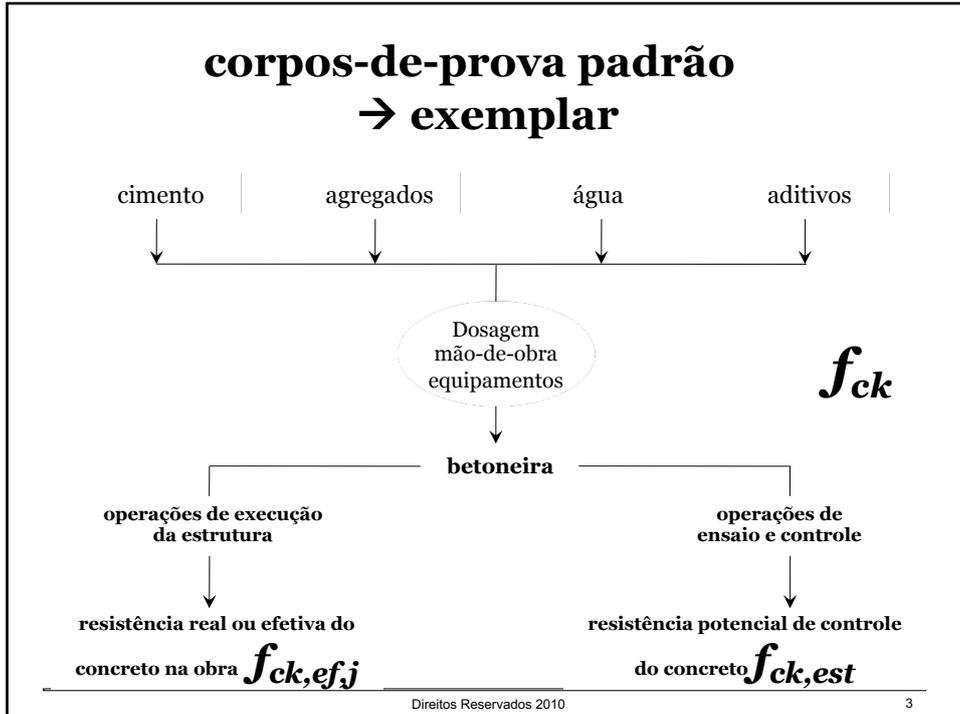
corpos-de-prova padrão → exemplar



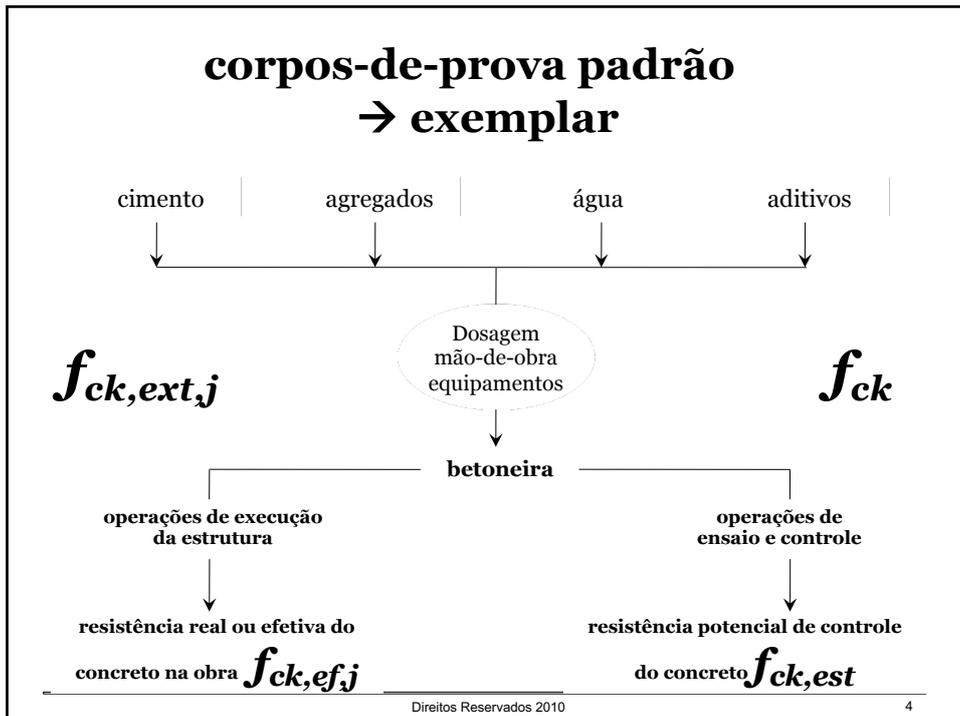
Direitos Reservados 2010

2

2



3



4

Definições

IBRACON

f_{cd} → resistência de cálculo do concreto à compressão adotada no projeto

σ_{cd} → tensão de cálculo do concreto à compressão adotada no projeto

f_{ck} → resistência característica do concreto à compressão especificada no projeto estrutural (28 dias)

$f_{ck,est}$ → resistência característica do concreto à compressão estimada a partir de cps moldados (28 dias)

$f_{c,ext,j}$ → resistência do concreto à compressão obtida a partir de testemunhos extraídos na idade j (dias)

Direitos Reservados 2010

5

5

Problema

IBRACON

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

Direitos Reservados 2010

6

6

1º Passo

IBRACON

Aplicar coeficientes de correção devidos a:

- dimensões padrão: → NBR 7680
- direção de extração
- posição no elemento
- broqueamento

obtem-se → $f_{c,ext,j}$

Direitos Reservados 2010

7

7

2º Passo

IBRACON

Passar de extraído a moldado:

- coeficientes de 1,10 a 1,25

obtem-se →

$$f_{c,j} = k f_{c,ext,j}$$

Direitos Reservados 2010

8

8

3º Passo

IBRACON

Passar de moldado a j dias para $f_{c,28}$:

1. Componente foi carregado a 28 dias;
2. Componente será carregado a j dias

obtem-se \rightarrow

$$f_{c,28} = \beta f_{c,j}$$

Direitos Reservados 2010

9

9

“INTERVALO”

IBRACON

{ abrir parenteses para
recordar como é o critério
de introdução da
segurança no projeto das
estruturas de concreto }

Direitos Reservados 2010

10

10

Premissas

IBRACON

Introdução da Segurança no Projeto Estrutural
segundo a NBR6118:2007

1. Para fins de cálculo:

$$\sigma_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} * \beta = \frac{f_{ck}}{1,4} * 0,85$$

Direitos Reservados 2010

11

11

Premissas

IBRACON

Introdução da Segurança no Projeto Estrutural
segundo a NBR6118:2007

$$\beta = \beta_1 * \beta_2 = 1,16 * 0,73 = 0,85$$

$\beta_1 = 1,16 \rightarrow$ 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

Direitos Reservados 2010

12

12

Premissas

IBRACON

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

Direitos Reservados 2010

13

13

período em dias.

Crescimento da Resistência

IBRACON

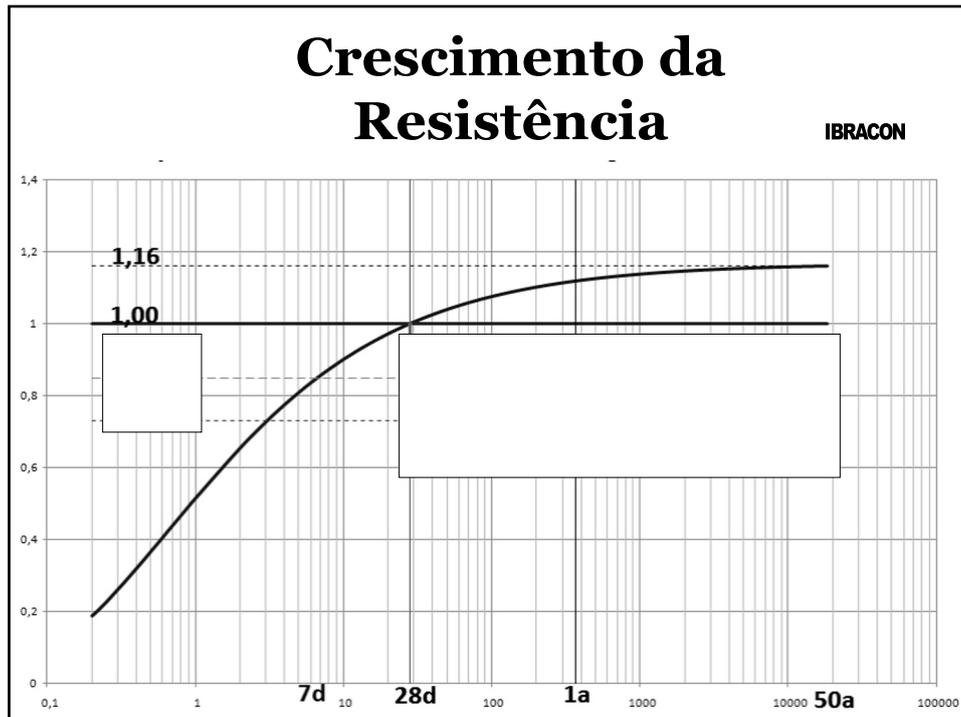
$$\frac{f_{c,j}}{f_{c,28}} = e^{s \cdot (1 - \sqrt{\frac{28}{j}})}$$

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 = 0,1545	1,16 → 50anos	1,11 → 1 ano	1,05 de 1ano a 50anos

Direitos Reservados 2010

14

14



15

Premissas

IBRACON

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

Direitos Reservados 2010 16

16

Relaxação das Resistências (efeito Rüsçh)

IBRACON

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

→ j em dias

→ t_0 → idade de aplicação das cargas

→ $j - t_0 > 15$ minutos

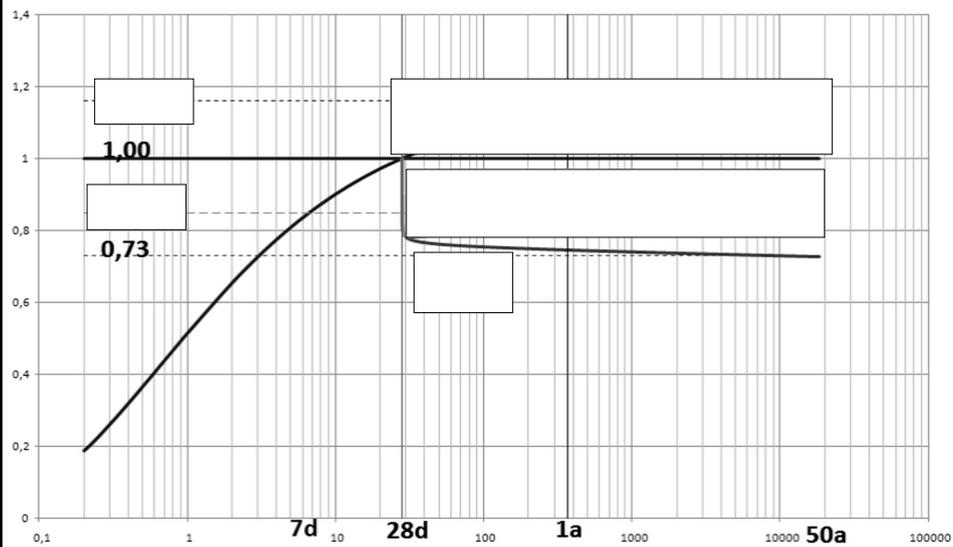
Direitos Reservados 2010

17

17

Decréscimo da Resistência

IBRACON



18

Premissas

Combinando crescimento
com decréscimo a partir
de 28dias ?

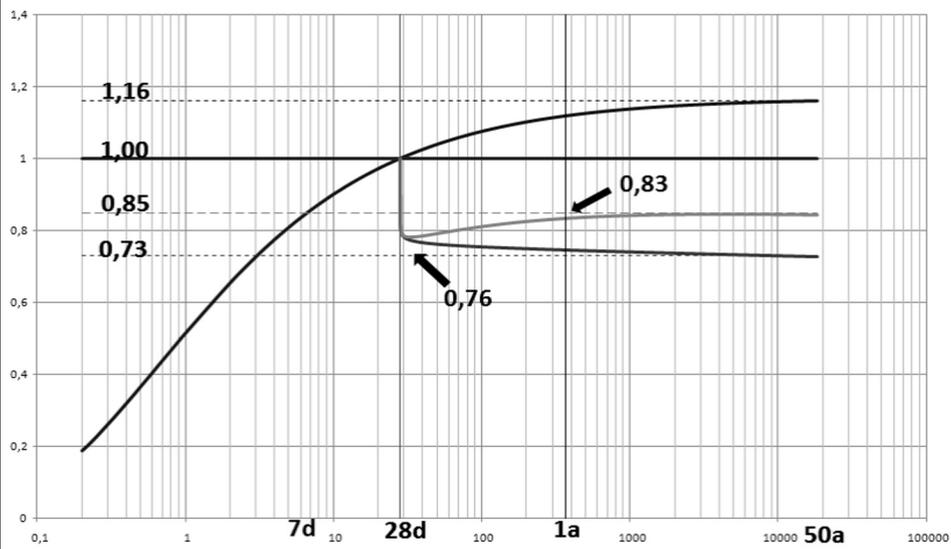
Direitos Reservados 2010

19

19

Resistência do Concreto “carregado” a 28dias

IBRACON

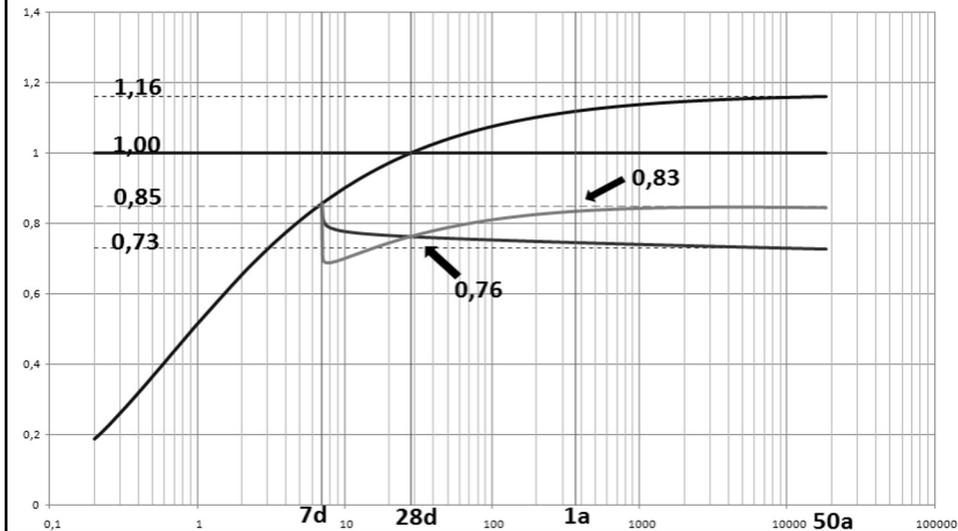


20

Resistência do Concreto “carregado” a 7 dias

IBRACON

Evolução do crescimento da resistência do concreto carregado a 7 dias de idade



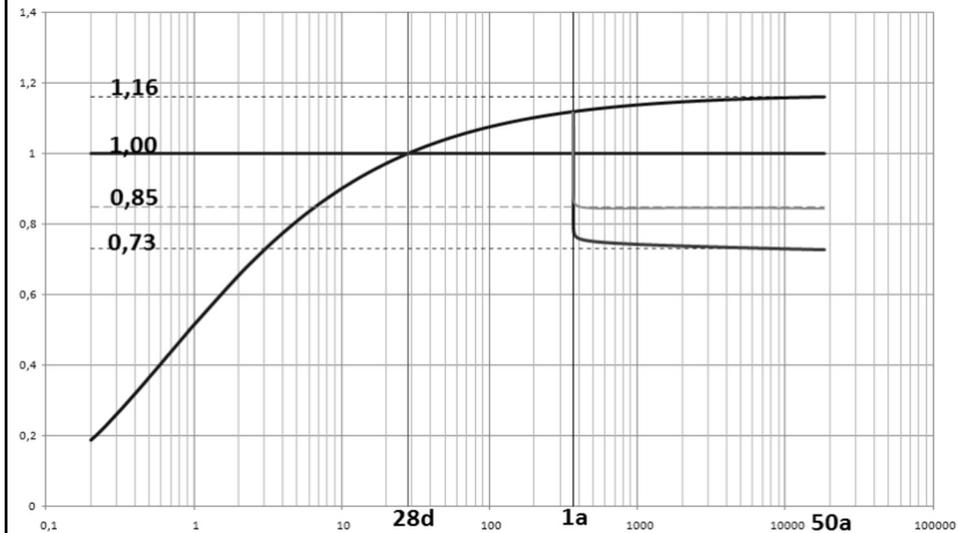
21

onde j é a idade do concreto em dias.

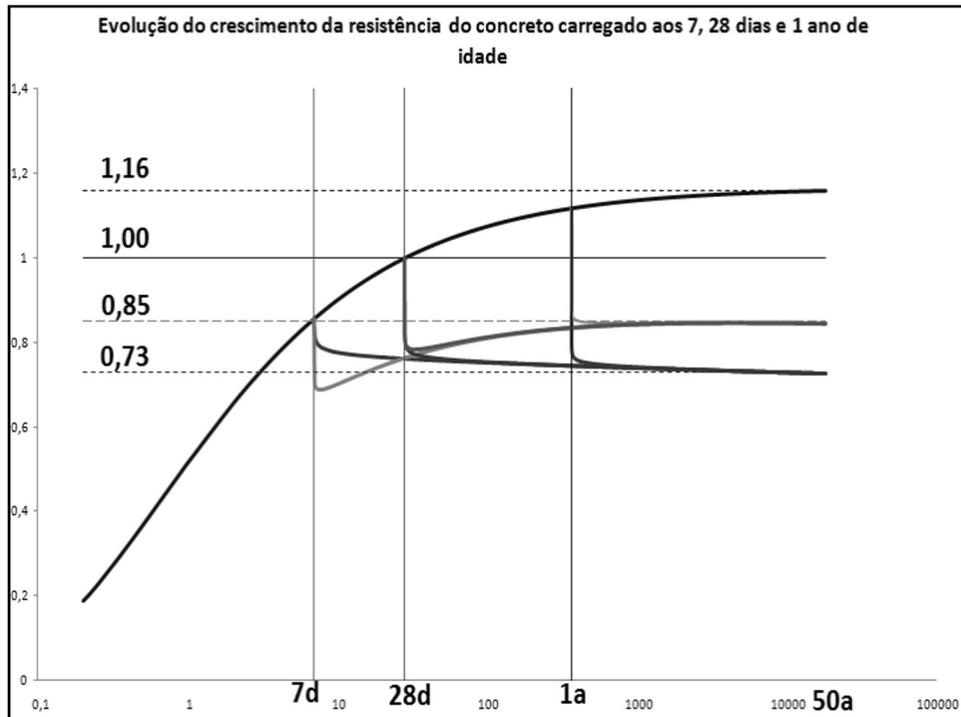
Resistência do Concreto “carregado” a 1 ano

IBRACON

Evolução do crescimento da resistência do concreto carregado a 1 ano de idade



22



23

“recordação”

IBRACON

{ fechar parenteses }

Direitos Reservados 2010 24

24

3º Passo

IBRACON

Passar de moldado a j dias para $f_{c,28}$:

1. Componente foi carregado a 28 dias;
2. Componente será carregado a j dias

obtem-se \rightarrow

$$f_{c,28} = \beta f_{c,j}$$

Direitos Reservados 2010

25

25

3º Passo

IBRACON

Passar de moldado a j dias para $f_{c,28}$:

1. **Componente foi carregado a 28 dias**

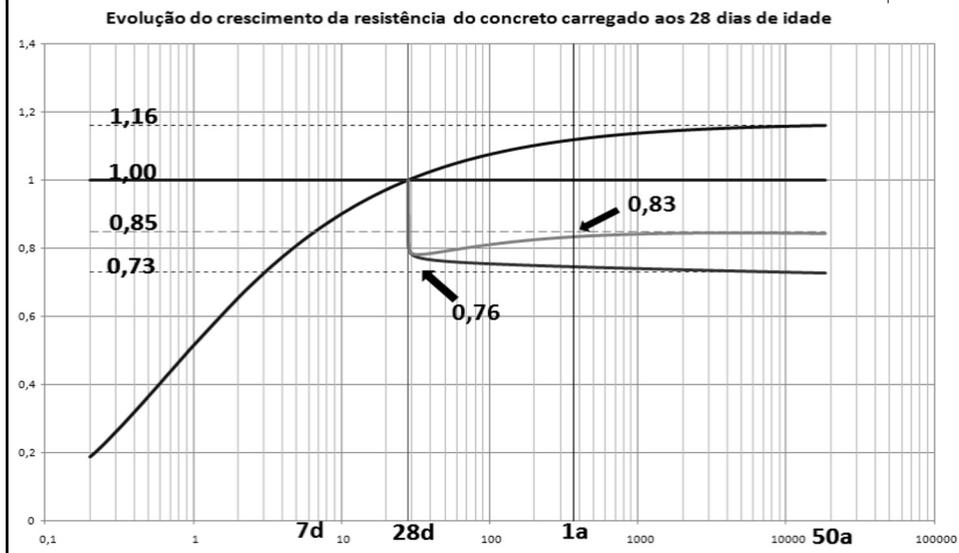
Direitos Reservados 2010

26

26

Resistência do Concreto “carregado” a 28dias

IBRACON



27

3º Passo

IBRACON

Passar de moldado a j dias para $f_{c,28}$:

1. Componente foi carregado a 28dias;
exemplo: extração foi a 1ano

obtem-se \rightarrow

$$f_{c,28} = 1/\beta f_{c,1ano}$$

Direitos Reservados 2010

28

28

3º Passo

IBRACON

Passar de moldado a j dias para $f_{c,28}$:

1. Componente foi carregado a 28 dias;

2. Componente será carregado a j dias

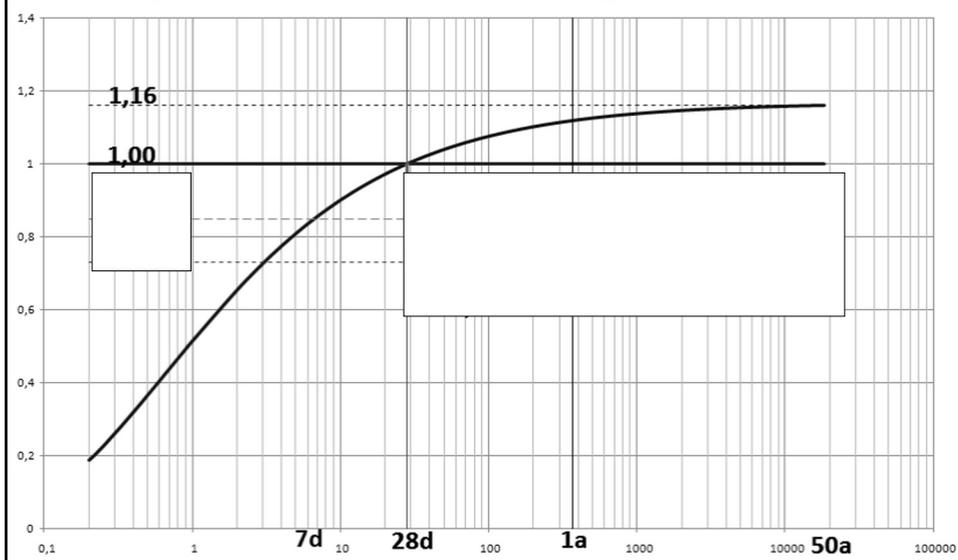
Direitos Reservados 2010

29

29

Resistência do Concreto

IBRACON



30

3º Passo

IBRACON

Passar de moldado a j dias para $f_{c,28}$:

1. Componente foi carregado a 28 dias;
2. Componente será carregado a j dias

obtem-se \rightarrow

$$f_{c,28} = 1/\beta_1 f_{c,j}$$

Direitos Reservados 2010

31

31

4º Passo

IBRACON

Passar de moldado $f_{c,28}$ para $f_{ck,est,28}$

1. Mesmo lote;
2. Mesmo componente;
3. Mesma unidade de produto

obtem-se \rightarrow

$$f_{c,28} = f_{ck,est,28}$$

Direitos Reservados 2010

32

32

5º Passo

IBRACON

Passar de moldado $f_{ck,est,28}$ para f_{ck}

1. NBR 8953

obtem-se →

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

Direitos Reservados 2010

33

33

Dúvidas

IBRACON

Considerando que o E.L.S. recomenda
manter as tensões de serviço dos
elementos estruturais

$$\sigma_c = 0,4 * f_c$$

será que faz sentido considerar risco de
relaxação das resistências?

Direitos Reservados 2010

34

34

Dúvidas

É razoável considerar que haverá relaxação de resistências somente quando a carga atuante superar 70% de f_{ck} , ou seja, 50% de f_{cd} ?

Dúvidas

Uma vez que o β é variável e depende da idade de carga e do concreto, faz sentido usar um único coeficiente

fixo $\beta = 0,85$?

Exemplo

IBRACON

EDIFICAÇÕES

Direitos Reservados 2010

37

37

Quando efetivamente os elementos estruturais são carregados?

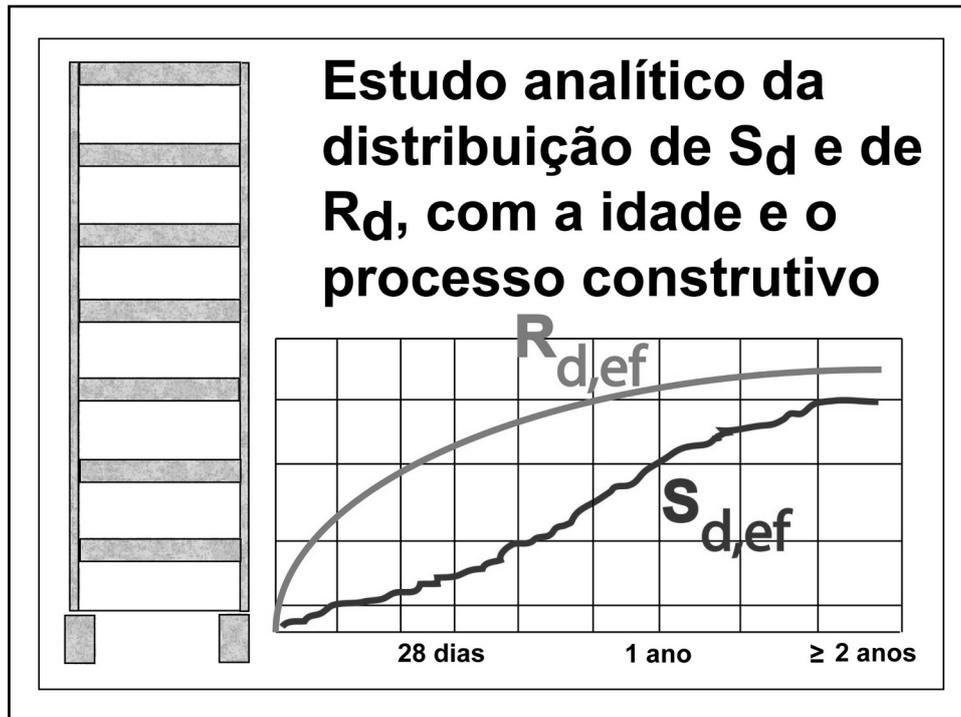
IBRACON

- lajes e vigas → 7 dias?
- pilares e fundações → 6 meses?

Direitos Reservados 2010

38

38



39

testemunhos extraídos
recomendações “bom senso”

IBRACON

- até 10% em pilares e vigas
- até 20% no caso de lajes
- são considerados “alertas” pois as “incertezas naturais” cobrem essas diferenças;
- diferenças dessa ordem jamais justificam paralizações na execução da obra;
- não justificam reforço
- podem justificar pagar pelo f_{ck} menor, lembrando que:

NBR 8953
C20 ; C25 : C30 ; C35 ; C40 ; C45 : C50

Direitos Reservados 2010 40

40