



**CURSO INTERNACIONAL
"TECNOLOGÍA AVANZADA DEL
HORMIGÓN"**



**Los increíbles efectos de las
cargas de larga duración, el
llamado efecto "Rüsch"**



Paulo Helene

*Consejero IBRACON
Director PhD Engenharia
Miembro Red PREVENIR CYTED
Prof. Titular da Universidade de São Paulo USP
fib (CEB-FIP) Member of Model Code for Service Life
Presidente de honor Asociación Latino Americana de Control de Calidad,
Patología y Recuperación de la Construcción ALCONPAT Int.*

CECAT

12 y 13 de febrero

La Habana/Cuba

1



Normalização Brasileira

- ABNT NBR 6118:2014** - Projeto de estruturas de concreto – Procedimento;
- ABNT NBR 6120:1980** – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações;
- ABNT NR 6122:2010** – Projeto e execução de fundações;
- ABNT NBR 6123:1988** – Forças devidas ao vento em edificações;
- ABNT NBR 7188:1984** – Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre;
- ABNT NBR 8681:2004** – Ações e segurança nas estruturas – Procedimento
- ABNT NBR 9062:2006** – Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado;
- ABNT NBR 15200:2012** – Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio;
- ABNT NBR 15421:2006** – Projeto de estruturas resistentes a sismos – Procedimento;
- ABNT NBR 15575:2013** – Edificações habitacionais – Desempenho;

PhD Engenharia

2

Normalização Internacional

ACI-318-11 – Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary;

EN 1991 EUROCODE 1 – Actions on structures:

- Part 1-1: General actions – Densities, self-weight and imposed loads;
- Part 1-2: General actions – Actions on structures exposed to fire;
- Part 1-3: General actions – Snow loads;
- Part 1-4: General actions – Wind actions;
- Part 1-5: General actions – Thermal actions;
- Part 1-6: General actions – Actions during execution;
- Part 1-7: General actions – Accidental actions;



EN 1992 EUROCODE 2 – Design of concrete structures:

- Part 1-1: General – Common rules for building and civil engineering structures;
- Part 1-2: General – Structural fire design;
- Part 2: Bridges;
- Part 3: Liquid retaining and containment structures;



fib Model Code for Concrete Structures 2010;



Bulletin fib n.º 63 – Design of precast concrete structures against accidental loads;

Bulletin fib n.º 61 – Design examples for strut-and-tie models;

Bulletin CEB n.º 223 – Ultimate limit state design models;



ISO 22111:2007 – Basis for Design of Structures. General Requirements.

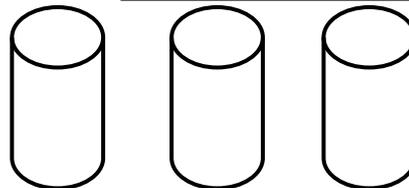
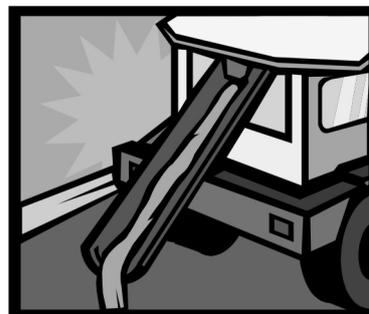
PhD Engenharia

3

Carga mantida → como comprovar ?

Concreto de uma betonada:
ABNT NBR 12655:2006 (em Revisão!)
ABNT NBR 5738:2003 Emenda1:2008

Moldagem de corpos-de-prova
cilíndricos irmãos caprichados



PhD Engenharia

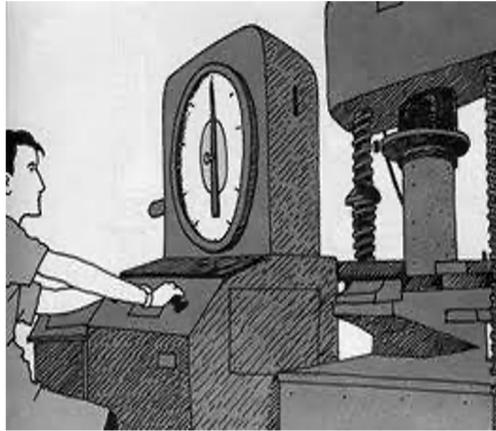
4

Carga mantida → como comprovar ?

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

**Por exemplo → carga de
ruptura:**

$$f_c = 30 \text{ tf}$$

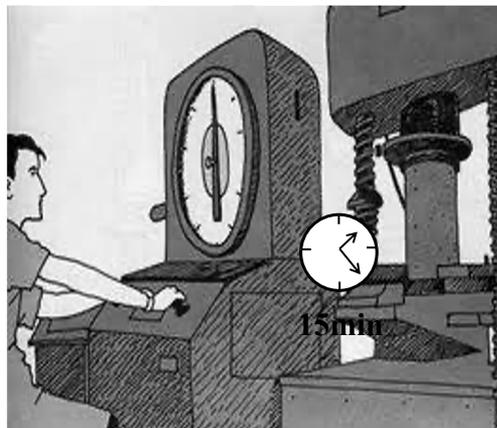


PhD Engenharia

5

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.*

6

Resumindo...

- Comparativo dos coeficientes parciais no Brasil e no exterior

	ABNT NBR 6118:2014	ACI 318- 11	CEB- <i>fib</i> Model Code 2010
Considera (Rüsch) 0,85 no dimensionamento	sim	sim	sim
Coeficientes de minoração da resistência potencial do concreto γ_c	1,4	1,1 à 1,5	1,35 à 1,50
Coeficientes de minoração da resistência potencial do concreto $1/\gamma_c$	0,71	0,65 a 0,90	0,65 a 0,74

PhD Engenharia

7

Relaxação \approx *Carga mantida*

conceito de relaxação
“strength relaxation”
→ para concreto

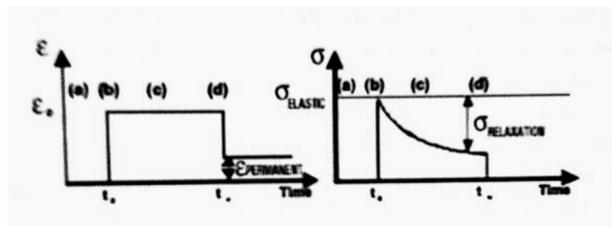
“relaxação de resistência”

PhD Engenharia

8

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.

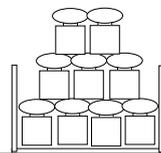


PhD Engenharia

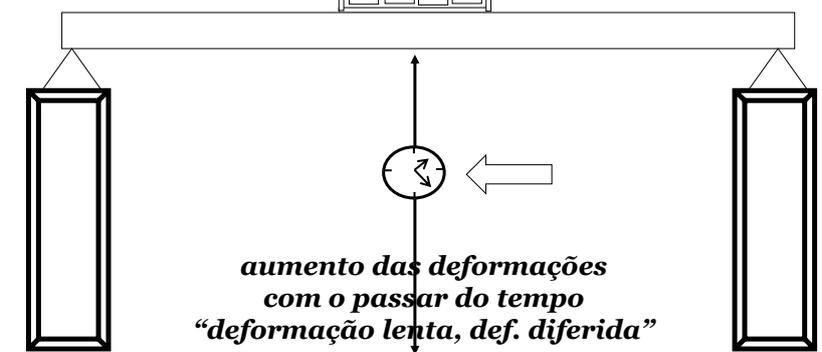
9

Fluência

carga constante por tempo longo



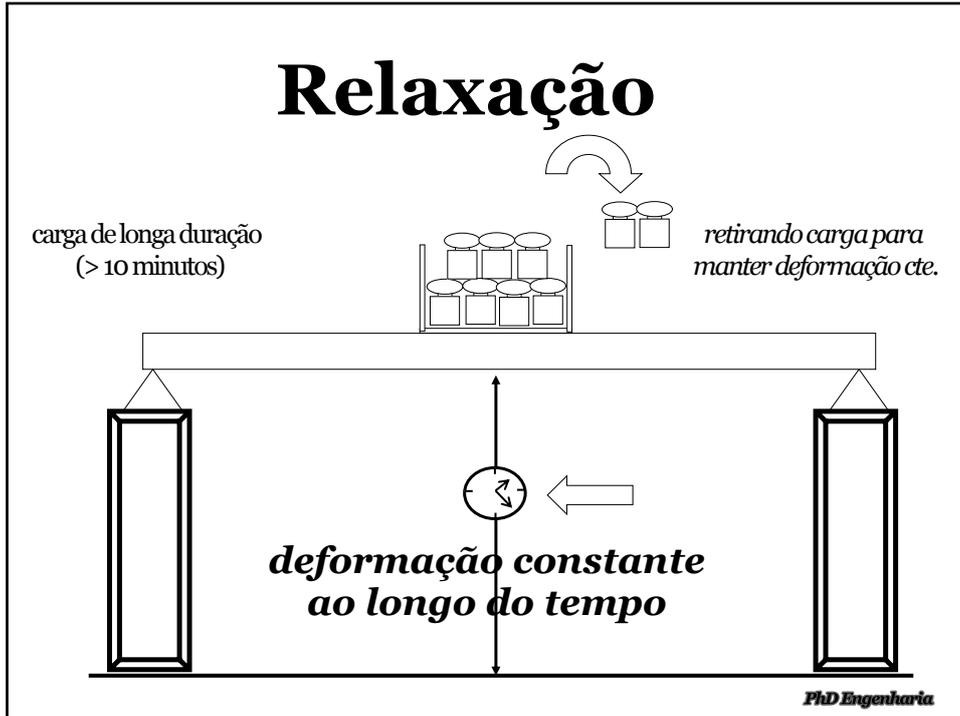
carga de longa duração (> 10 minutos)



aumento das deformações com o passar do tempo
“deformação lenta, def. diferida”

PhD Engenharia

10



11



12

Métodos de ensaio para fluência e relaxação do concreto

Standard solid model – Mehta e Monteiro (2014)

- os autores ressaltam a relação entre os fenômenos de fluência e relaxação com um decréscimo do módulo de elasticidade do concreto sob carga mantida ao longo do tempo.
- Os ensaios devem ser realizados fixando a tensão ou a deformação. Deve-se ainda expandir a discussão para taxas de variação instantânea, lenta ou média das tensões e deformações.
- para o caso específico da relaxação temos:

$$\sigma(t) = \varepsilon_0 * [E_\infty + (E_1 - E_\infty) * e^{-(E_1 + E_2) * t / \eta}]$$

PhD Engenharia

13

Métodos de ensaio para fluência e relaxação do concreto

Fluência do concreto sob compressão (ASTM C 512):

- CPs são carregados aos 28 dias com carga constante até 40% da resistência estimada esta idade, ali permanecendo por um ano;
- o carregamento pode ser mantido por sistemas hidráulicos ou com molas, que devem ser periodicamente ajustadas;
- como correção, são subtraídas as deformações neste período entre CPs carregados e não carregados do mesmo concreto;



imagem: www.cement.org

PhD Engenharia

14

Métodos de ensaio para fluência e relaxação do concreto

Relaxação do concreto sob tração:

- relaxação uniaxial por aplicação de carga permanente ^[1]
- Aplicação de carga ou deformação constante em cps com aparelhagem elétrica/hidráulica específicas para este fim^[2]



imagem: www.axelproducts.com

[1] Umehara *et al.* (1994); Bizonette e Pigeon (1995)

[2] Weiss (1999); Ross (1954)

PhD Engenharia

15

From the work of
Comité Européen du Béton

Title No. 57-1

Researches Toward a General Flexural Theory for Structural Concrete

By HUBERT RÜSCH

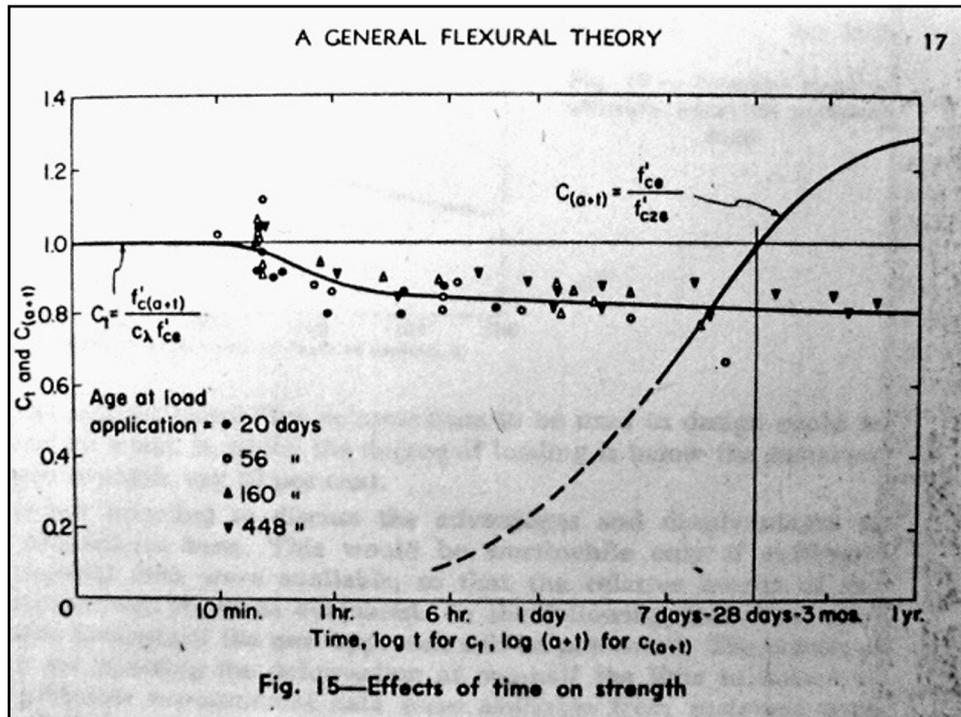
This paper is directed toward formulation of a general flexural theory based on a careful study of all important factors regarding the properties of concrete. The fact that strength and deformation of concrete depend on time is considered. The theory is based on recent tests permitting determination of the behavior of the compression zone in flexure for continuous load increase at different strain rates, and for constant sustained load. Having derived stress-strain relationships for these various types of loading, other factors were studied systematically, such as effect of concrete strength, position of neutral axis, and shape of cross section. The general theory developed is primarily a study of the true behavior of structural members. Since simplified assumptions are avoided, it naturally does not lead to simple formulas such as are desired for structural design. The theory fulfills the important function of furnishing a reliable method for the evaluation of simplified design formulas. It is also possible, however, to present all new concepts and results of this theory in the form of a simple diagram which can be used for the solution of design problems for selected cross sections ranging from pure bending to pure compression, regardless of concrete quality and the type of steel used, and independent of whether prestressing is applied or not.

■ RESEARCH IN THE STRUCTURAL CONCRETE FIELD is faced today with problems of unusual challenge. We find ourselves in a period of change characterized by the abandonment of the elastic theory in favor of the plastic theory, and by a conversion from allowable stresses as a basis of design to ultimate strength design. Although these trends have persisted for some time, the new methods are finding slow acceptance among design engineers in some countries. This is probably at least in part due to the fact that structural engineering can look back on a thousand-year tradition, and this tradition is by its nature a conservative one. Another reason of equal importance is the lack of detailed and extensive knowledge regarding the properties of materials desirable in the development and introduction of new methods.

In recent decades, progress has been made toward replacing structural design methods disregarding plastic properties of materials by

RÜSCH, Hubert.
Researches Toward a General Flexural Theory for Structural Concrete. ACI Journal: Proceedings. [s.l.] Julho, 1960. 28p. (download e consulta free na biblioteca da PhD)

16



17

Hubert Rüsch, 1960

1ª constatação:

→ “relaxação” =, qq → f_{ck}

2ª constatação:

→ “relaxação” =, qq → t_o

18

Hubert Rüsçh, 1960

3ª constatação:

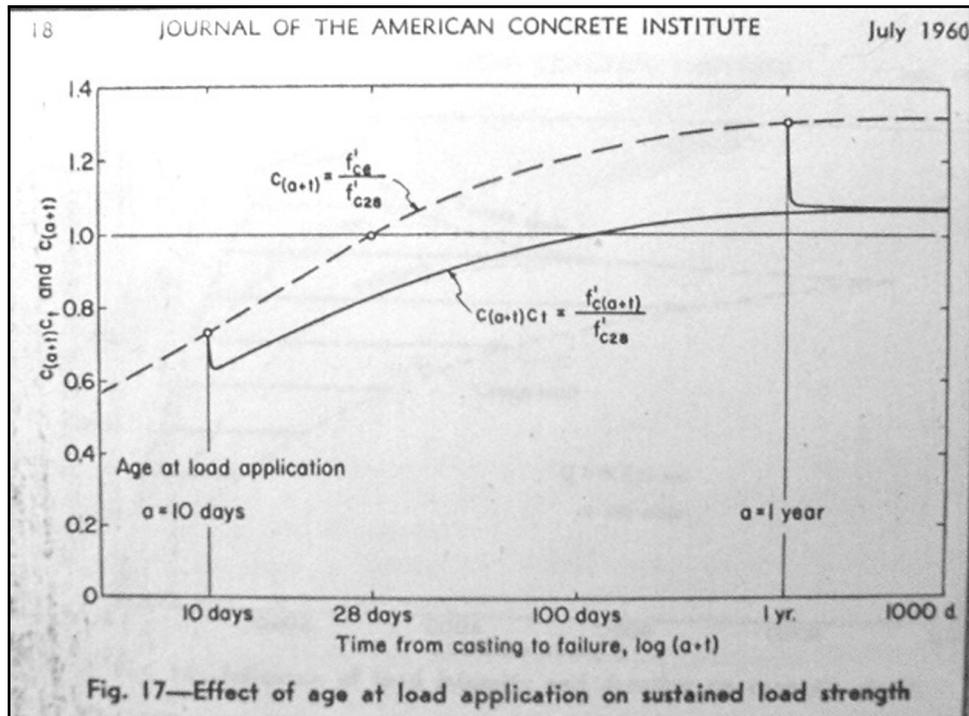
→ “relaxação” máx. = $0,75 * f_{c,t_0}$

4ª constatação:

→ “relaxação” =, qq → f_{c,t_0}

PhD Engenharia

19



20

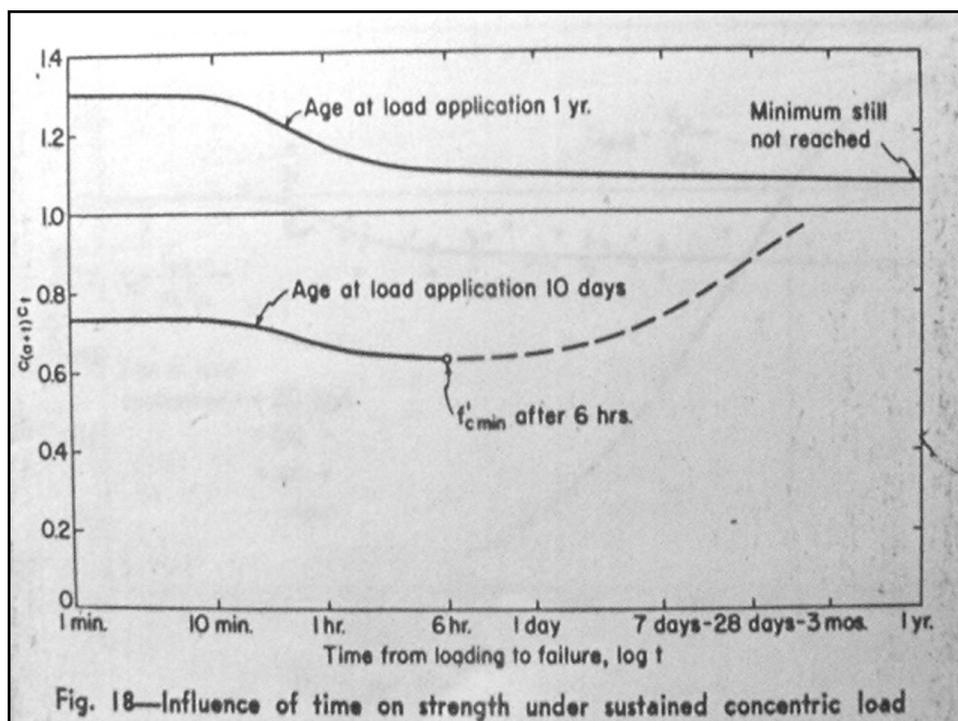
Hubert Rüsçh, 1960

5ª constatação:

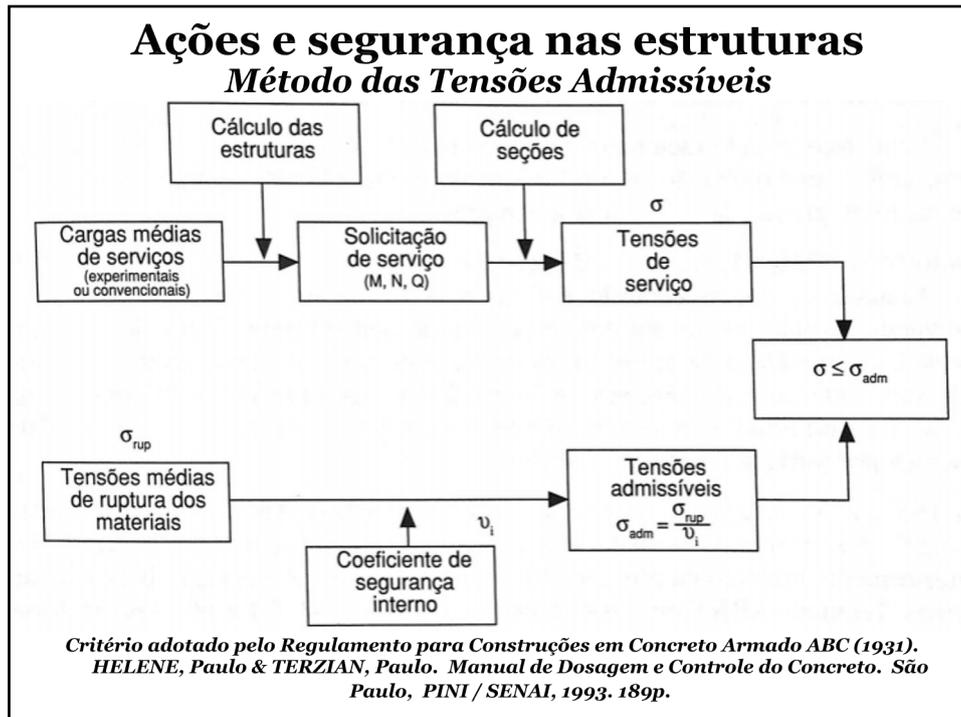
→ resistência do concreto depende da data de f_{ck} , da data f_{c,t_0} e do crescimento de f_c a partir de f_{ck}

PhD Engenharia

21



22



23

Cimento armado NB-1 1931

- **Resistência dos concretos – solicitações limites**

Dosagem arbitrária				
Consumo de cimento (kg/m³)	Cimento normal		Super-cimento	
	Pilares com cargas axiais (kg/cm²)	Em geral	Pilares com cargas axiais	Em geral
300	40	45	50	55
350	45	50	55	60
400	50	55	60	65

Nos casos de variação de temperatura, contração, ventos, esforços dinâmicos, frenagem, empuxos, etc. e vigas em T nas zonas de momentos negativos, as solicitações poderão ser majoradas de 20%.

24

Cimento armado NB-1 1931

- **Resistência dos concretos – solicitações limites**

Dosagem racional					
Pilares com cargas axiais			Em geral		
cubo	cilindro	prisma	cubo	cilindro	prisma
$\sigma_c = R_{c28}/4 \leq 60\text{kg/cm}^2$	$\sigma_c = R_{c28}^I/3,6 \leq 60\text{kg/cm}^2$	$\sigma_c = R_{c28}^I/6,8 \leq 60\text{kg/cm}^2$	$\sigma_c = R_{c28}/3 \leq 65\text{kg/cm}^2$	$\sigma_c = R_{c28}^I/2,7 \leq 65\text{kg/cm}^2$	$\sigma_c = R_{c28}^I/5,1 \leq 65\text{kg/cm}^2$

R_{c28} = resistência limite de ruptura após 28dias.

Nos casos de variação de temperatura, contração, ventos, esforços dinâmicos, frenagem, empuxos, etc. e vigas em T nas zonas de momentos negativos, as solicitações poderão ser majoradas de 20%.

25

Cimento armado NB-1 1931

$$\sigma_c = R_{c28}^I/2,7 \leq 65\text{kgf/cm}^2$$

$$\sigma_{cd} = \sigma_c = 6,5\text{MPa}$$

$$f_{cm28} = R_{c28}^I \leq 18\text{MPa}$$

26

Cimento armado NB-1 1931

$$f_{cm28} = 18MPa$$

$$f_{ck} = 11,4MPa$$

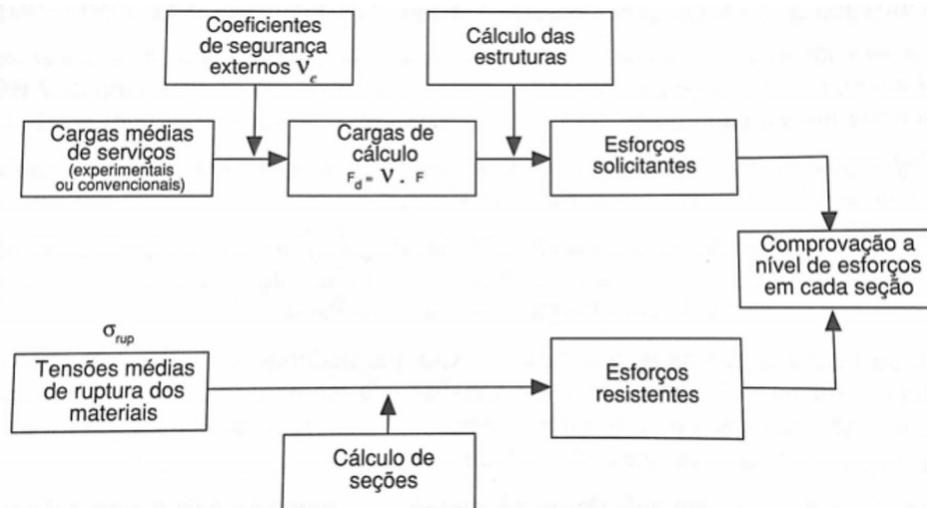
$$f_{cd} = 8,1 MPa$$

$$\sigma_{cd} = 6,9MPa$$

27

Ações e segurança nas estruturas

Método de Cálculo no Regime de Ruptura



Critério adotado pela Norma para Execução e Cálculo de Concreto Armado – ABCP (1937) e mantido na NB-1 (1940 a 1950)

28

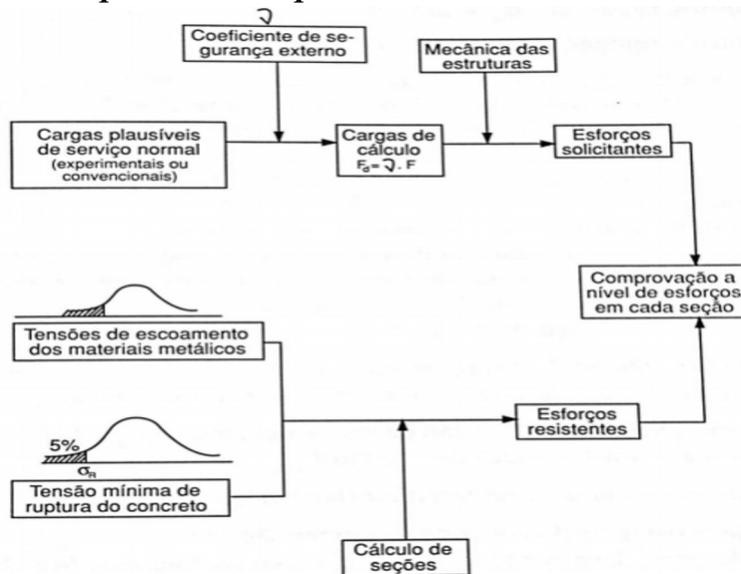
ABNT NB1:1940

Tensões admissíveis			
Concreto Resistência mínima de 125kg/cm ² aos 28dias	Dosagem empírica	Compressão axial ou flexão composta	≤ 40 kg/cm ²
		Flexão simples ou composta	≤ 45 kg/cm ²
		Cisalhamento	≤ 14 kg/cm ²
	Dosagem racional	Compressão axial ou flexão composta	≤ 60 kg/cm ²
		Flexão simples ou composta	≤ 75 kg/cm ²
		Cisalhamento ($\sigma_{c,28} \geq 150\text{kg/cm}^2$)	≤ 16 kg/cm ²
Aço	37 CA	Compressão axial ou flexão composta	≤ 1200 kg/cm ²
	50 CA		≤ 1500 kg/cm ²
	37 CA	Flexão simples ou composta	≤ 1500 kg/cm ²
	50 CA		≤ 1800 kg/cm ²
	Aderência ao concreto		≤ 6 kg/cm ²

29

Ações e segurança nas estruturas

Método parcialmente probabilista dos Estados Limites



Critério adotado pela NB-1 - Cálculo e Execução de Obras de Concreto Armado (1960)

30

ABNT NB1:1960

Coeficientes de segurança		v
Flexão simples ou composta	Cargas permanentes e para cargas acidentais definidas na NB-5, retração e temperatura	1,65
	Demais cargas acidentais	2
Compressão axial e tração axial* $\sigma_R \leq 150\text{kg/cm}^2$	Cargas permanentes e para cargas acidentais definidas na NB-5, retração e temperatura	2
	Demais cargas acidentais	2,4
Proteção adicional contra a ação de álcalis, ácidos, águas agressivas, etc.		x 1,2
*Pilares com seções compostas de retângulos e largura < 20cm		x 1,3

31

ABNT NB1:1960

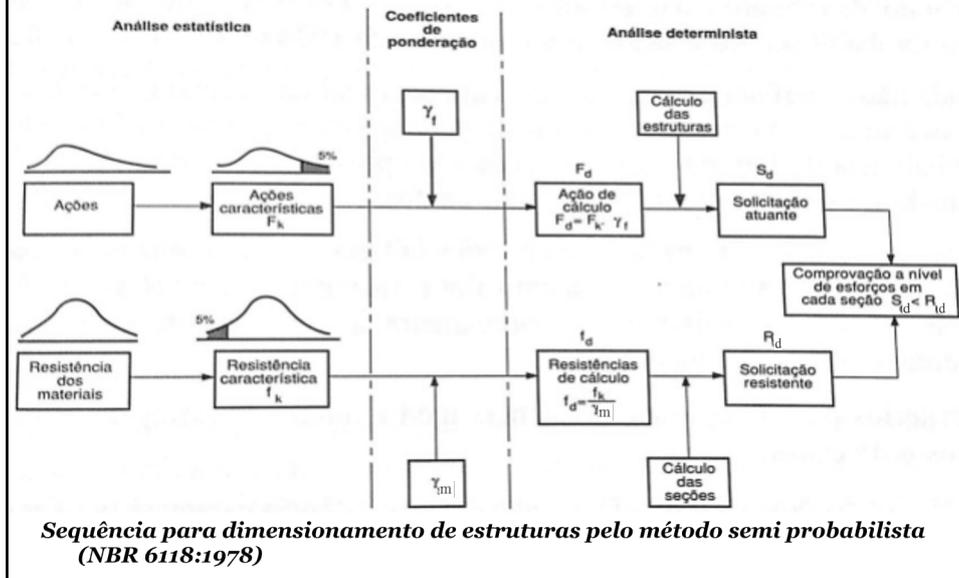
Solicitação	Material	Tensões admissíveis	
Flexão simples ou composta*	Concreto	$\sigma_c = \sigma_R/2 \leq 110\text{kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_R \leq 220\text{kg/cm}^2$	
	Aço	aço 37-CA	$\sigma_t = 1500\text{kg/cm}^2$
		aço 50-CA	$\sigma_t = 1800\text{kg/cm}^2$
		aço CA-T 40	$\sigma_t = 2400\text{kg/cm}^2$
Estados múltiplos de tensões	Aço	Armadura calculada para resistir a todos os esforços de tração	$\sigma_I \leq \begin{cases} \sigma_R/7,5 \\ 25\text{kg/cm}^2 \end{cases}, \sigma_{II} \leq \sigma_R/2,5 - 2\sigma_I$
		Armadura insuficiente para resistir a todos os esforços de tração	$\sigma_I \leq \begin{cases} \sigma_R/25 \\ 8\text{kg/cm}^2 \end{cases}, \sigma_{II} \leq \sigma_R/2,5 - 5\sigma_I$
Aderência	Concreto/aço	Barras lisas	$\sigma_R/25 \leq 8\text{kg/cm}^2$
		Barras lisas torcidas	$\sigma_R/20 \leq 10\text{kg/cm}^2$
		Barras com mossas ou saliências, torcidas ou não	$\sigma_R/16 \leq 12\text{kg/cm}^2$

* Proteção adicional contra a ação de álcalis, ácidos, águas agressivas, etc.

/1,2

32

Ações e segurança nas estruturas Método semi probabilista – ABNT NBR6118:2014 Partial factor format – fib Model Code 2010



33

Ações e segurança nas estruturas

ABNT NBR 8681:2004

Ações majoradas:

$$F_d = F_k * \gamma_f$$

Resistências minoradas:

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m}$$

PhD Engenharia

34

Ações e segurança nas estruturas

ABNT NBR 8681:2004

**Coefficientes de ponderação das ações para ELU
(coef. segurança) γ_f**

$$\gamma_f = \gamma_{f1} * \gamma_{f2} * \gamma_{f3}$$

- γ_{f1} → considera variabilidade das ações;
- γ_{f2} → coef. de combinação (ψ_0 - simultaneidade);
- γ_{f3} → considera possíveis erros de avaliação dos efeitos das ações devido ao método construtivo ou modelo de cálculo

PhD Engenharia

35

Ações e segurança nas estruturas

ABNT NBR 8681:2004

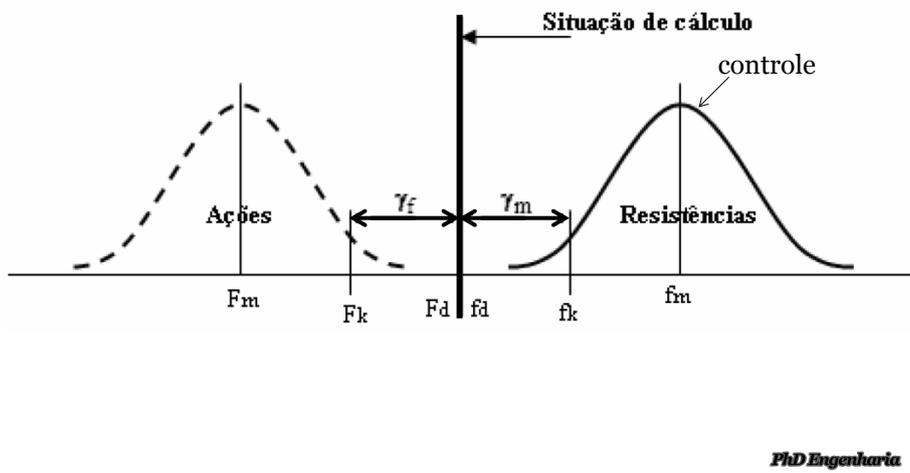
**Coefficiente de ponderação das resistências
 γ_m (γ_c & γ_s)**

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

- γ_{c1} → considera variabilidade da resistência efetiva na estrutura
- γ_{c2} → considera as diferenças entre a resistência efetiva do concreto na estrutura e a resistência potencial do CP.
- γ_{c3} → considera as incertezas na determinação das solicitações resistentes, devido ao método construtivo ou método de cálculo empregado

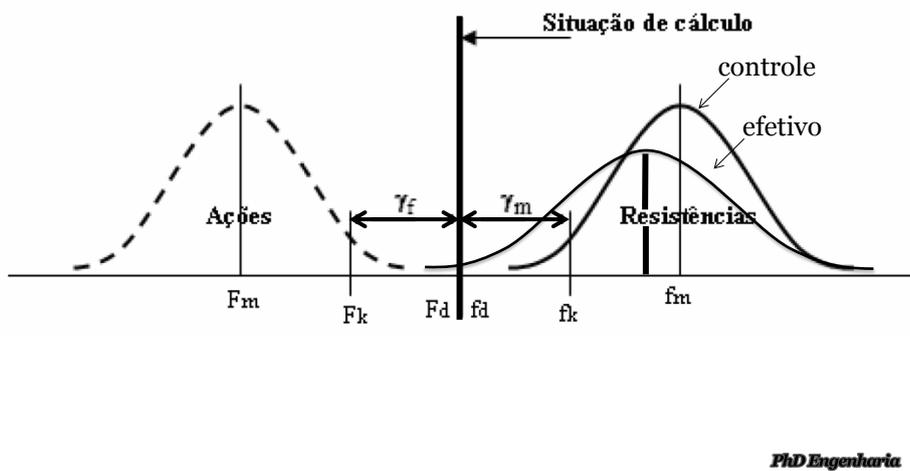
36

Análise Semi-probabilista



37

Análise Semi-probabilista



38

Ações e Segurança

NBR 6118:2014

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad \gamma_c = 1,4$$

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

para $f_{ck} = 30$ MPa $\rightarrow f_{ck,ef}$ (estrutura) $\approx 18,2$ MPa

para $f_{ck} = 50$ MPa $\rightarrow f_{ck,ef}$ (estrutura) $\approx 30,3$ MPa

PhD Engenharia

39

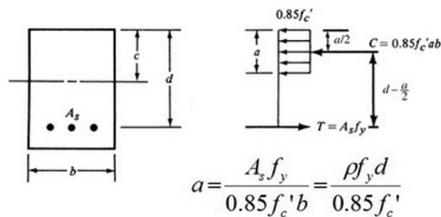
Como é considerado o efeito de cargas de longa duração em normas internacionais?

PhD Engenharia

40

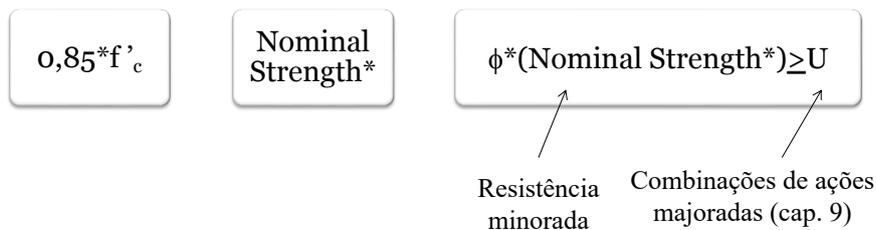
ACI 318-11

- Atualmente em revisão



Item 10.2.7.1

- Considera $0,85 * f'_c$ no processo de cálculo à flexão, tração e compressão;



PhD Engenharia

41

ACI 318-11

- Coefficiente de minoração das resistências: ϕ (depende da natureza da solicitação)

Tração predominante	0,90	1/1,1
Compressão com estribos em espiral	0,75	1/1,3
Compressão	0,65	1/1,5
Cisalhamento e torção	0,75	1/1,3
Sistema biela-tirante	0,75	1/1,3
Zonas de ancoragem pós tracionadas	0,85	1/1,2

PhD Engenharia

42

fib Model Code 2010

- Muito semelhante ao método preconizado pela Norma Brasileira
- Flexão e cargas axiais: $\gamma_c = 1,35$ a $1,50$

Item 5.1.9.2 (strength under sustained loads)

- Compressão no concreto:

$$f_{cm,sus}(t, t_0) = f_{cm} * \beta_{cc}(t) * \beta_{c,sus}(t, t_0)$$

PhD Engenharia

43

NBR 6118:2014; NBR 8681:2004

$$\mathbf{0,85?} \approx \beta_{cc,t} * \beta_{c,sus,t}$$
$$\mathbf{0,85} = \mathbf{1,16} * \mathbf{0,73}$$

$B_{cc,t} = \mathbf{1,16}$ → crescimento f_{ck} após t_0 até t_{infinito} (50 anos)

$B_{c,sus,t} = \mathbf{0,73}$ → decréscimo de f_{ck} devido às cargas de longa duração, aplicadas na idade t_0 até t_{infinito} (50 anos)

t_0 = idade de aplicação da carga de longa duração

(cargas permanentes + parte das acidentais)

PhD Engenharia

44

??????????????

**Como cresce e como
decrece a resistência
com o tempo ?**

PhD Engenharia

45

??????????????

**Como *cresce* a
resistência com o
tempo ?**

PhD Engenharia

46

Crescimento da Resistência

fib Model Code 2010

$$\beta_{cc,t} = \frac{f_{cm,t}}{f_{cm,28}} = e^{s \cdot (1 - \sqrt{\frac{28}{t}})}$$

CPV ARI	→ s	= 0,20	→	1,21 (50anos)
CP I / II	→ s	= 0,25	→	1,27 (50anos)
CP III / IV	→ s	= 0,38	→	1,44 (50anos)

PhD Engenharia

47

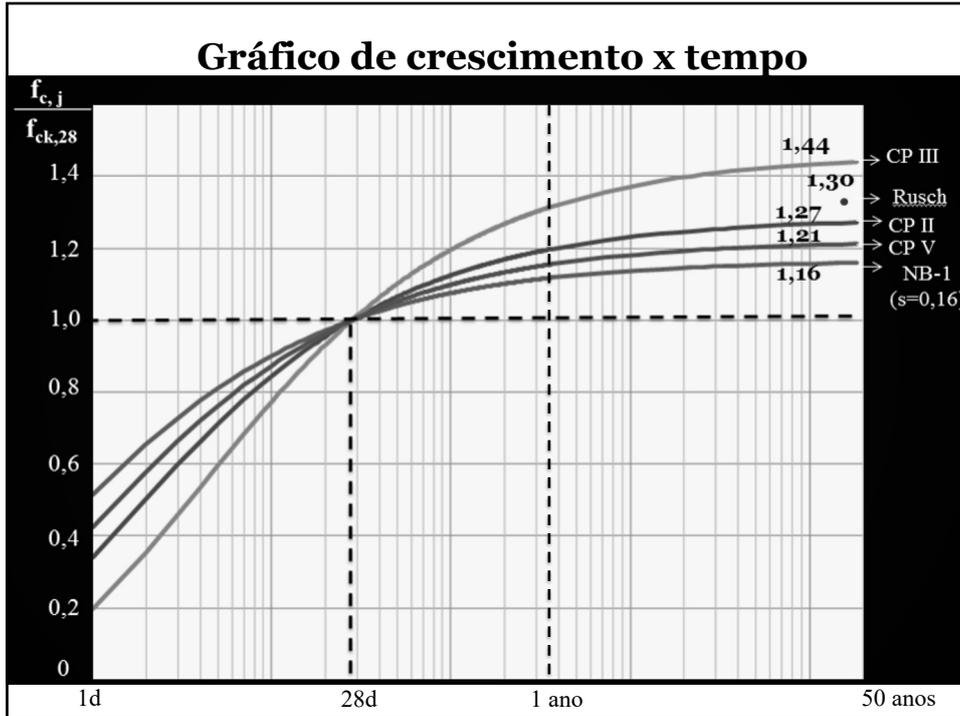
$\beta_{cc,t}$ = crescimento f_{ck} após t_0
(em 50 anos)

$$\beta_{cc,t} = \frac{f_{cm,t_\infty}}{f_{cm,t}}$$

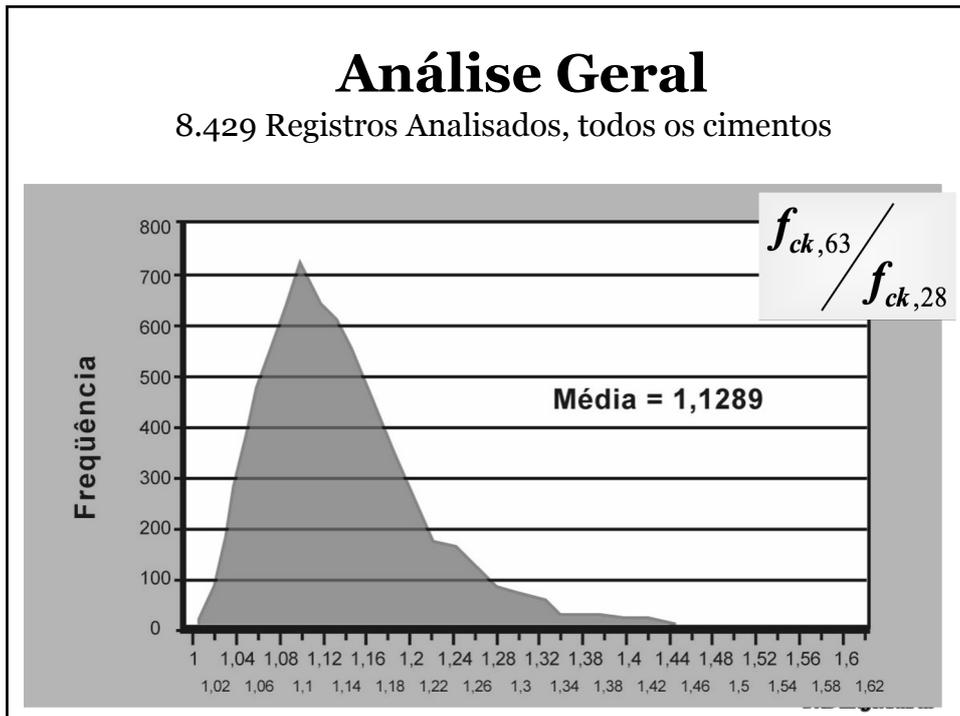
	$t_0=28d$
Rüsch (1960)	1,30
	· POZ & AF
	1,44
fib (2010)	· normal
	1,27
	· ARI + CAR
	1,21
NBR 6118:2014	1,16

PhD Engenharia

48



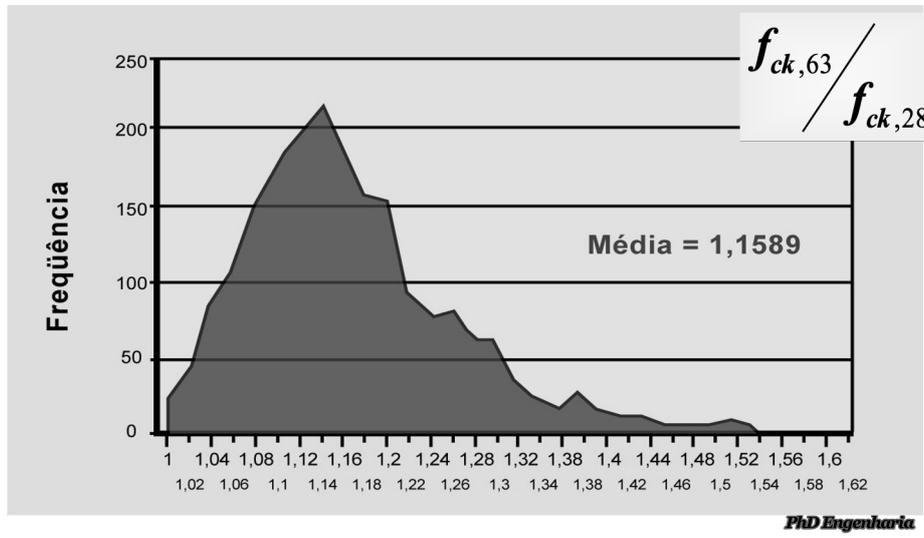
49



50

Análise

2.046 Registros Analisados, CP III



51

Análise

8.429 Registros Analisados, todos os cimentos

- CP III -> Média: 1,16
- CP II -> Média: 1,12

PhD Engenharia

52

????????????

Como decresce a resistência com o tempo ?

PhD Engenharia

53

Redução das Resistências (efeito Rüsçh)

fib Model Code 2010

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

→ t em dias

PhD Engenharia

54

Redução das Resistências

(efeito Rüschi) *fib* Model Code 2010

*Cálculo para 50 anos (admitido 18200 dias) - Carga aos 28 dias

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

$$\frac{f_{cm,sus,18200}}{f_{cm,28}} = 0,96 - 0,12 * \sqrt[4]{\ln\{72 * (50 * 364 - 28)\}}$$

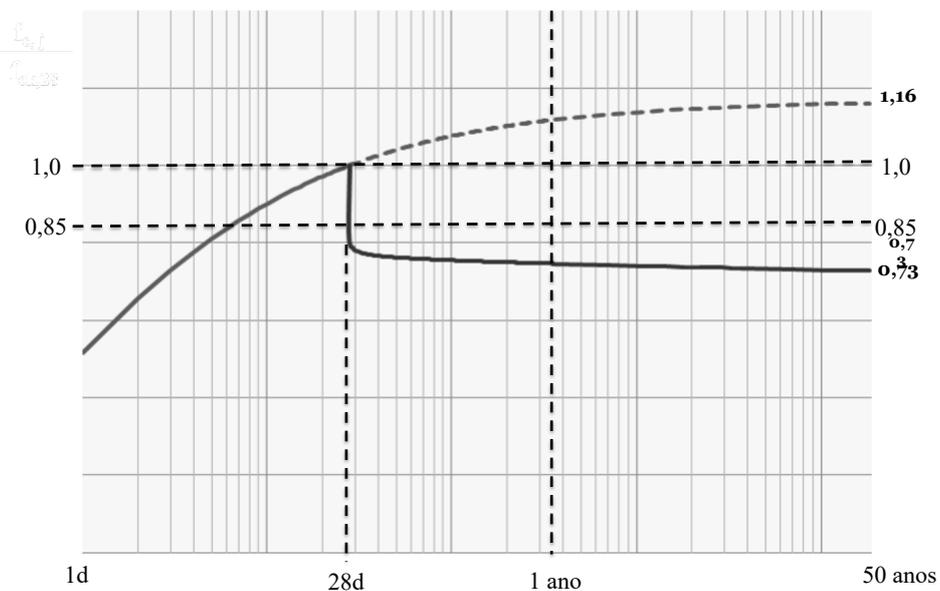
$$\frac{f_{cm,sus,18200}}{f_{cm,28}} = 0,728$$

$$\frac{f_{cm,sus,18200}}{f_{cm,28}} = 0,73$$

PhD Engenharia

55

Redução das Resistências (efeito Rüschi)



56

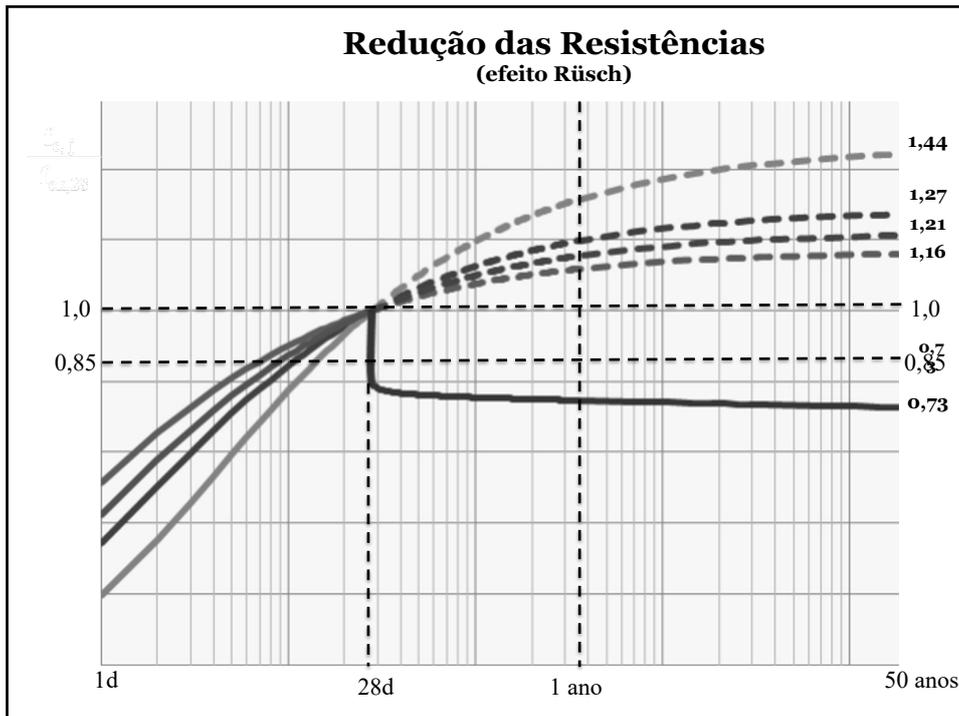
$\beta_{c,sus,t}$ = *decréscimo de f_c devido às cargas de longa duração, aplicadas na idade $t_o = qq$ (em 50 anos)*

$$\beta_{c,sus,t} = \frac{f_{cm,sus,t_\infty}}{f_{cm,t_0}}$$

	t infinito
Rüsch (1960)	0,75
fib (2010)	0,73
NBR 6118:2014	0,73

PhD Engenharia

57



58

????????????

resistência do concreto com o tempo ?

PhD Engenharia

59

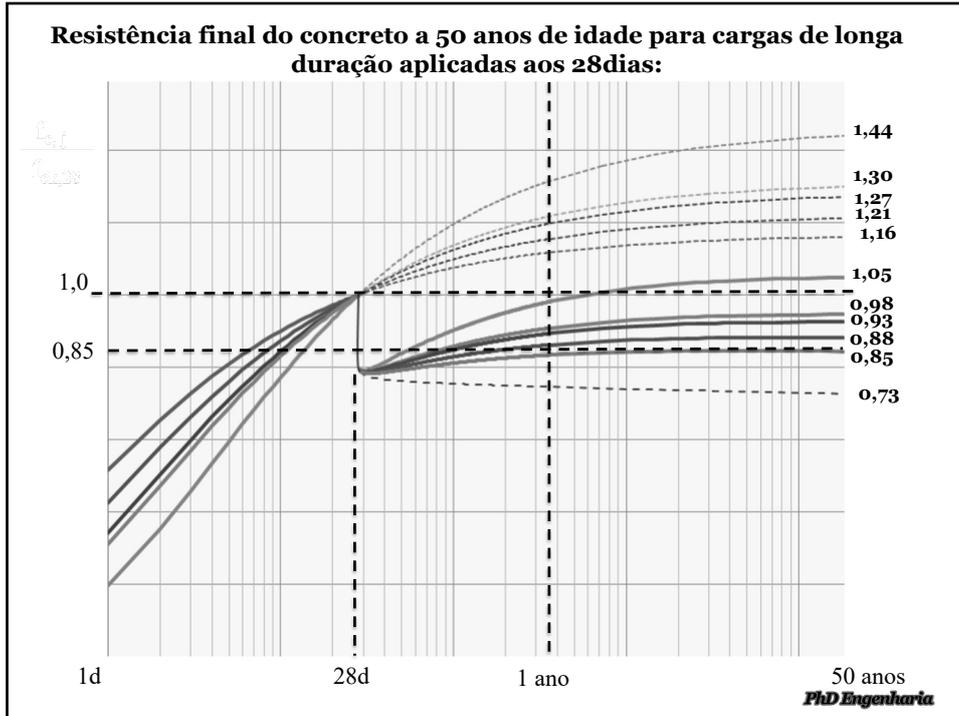
Resistência

Resistência final do concreto a **50 anos** de idade para cargas de longa duração aplicadas aos 28 dias:

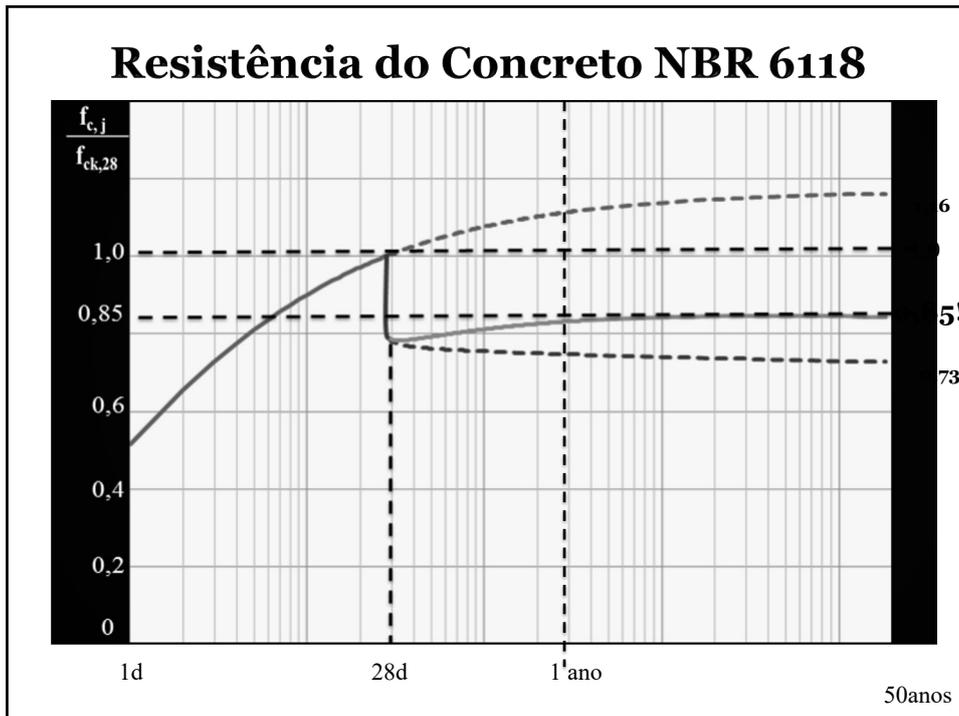
		crece	decrece	resulta
Rüsch		1,30	0,75	0,98
	CP III & IV	1,44	0,73	1,05
CEB (2010)	CP I & II	1,27	0,73	0,93
	CP V & CAR	1,21	0,73	0,88
NBR 6118:2014		1,16	0,73	0,85

PhD Engenharia

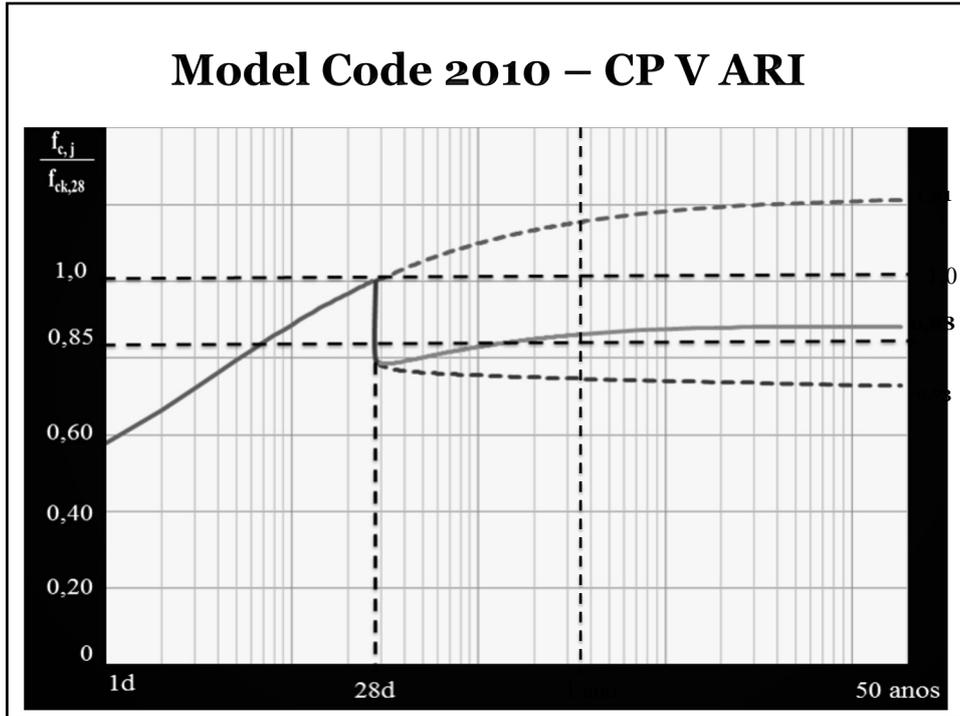
60



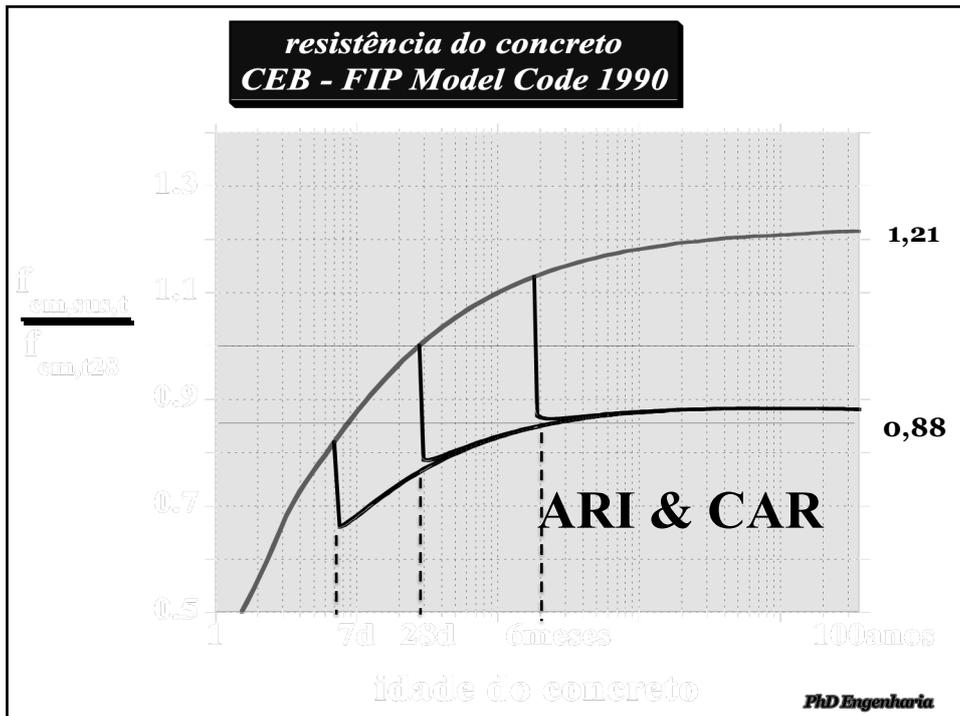
61



62



63



64

Quando efetivamente os elementos estruturais são carregados?

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

PhD Engenharia

65

Qual o melhor período para carregamento da estrutura para f_{ck} a 28 dias?

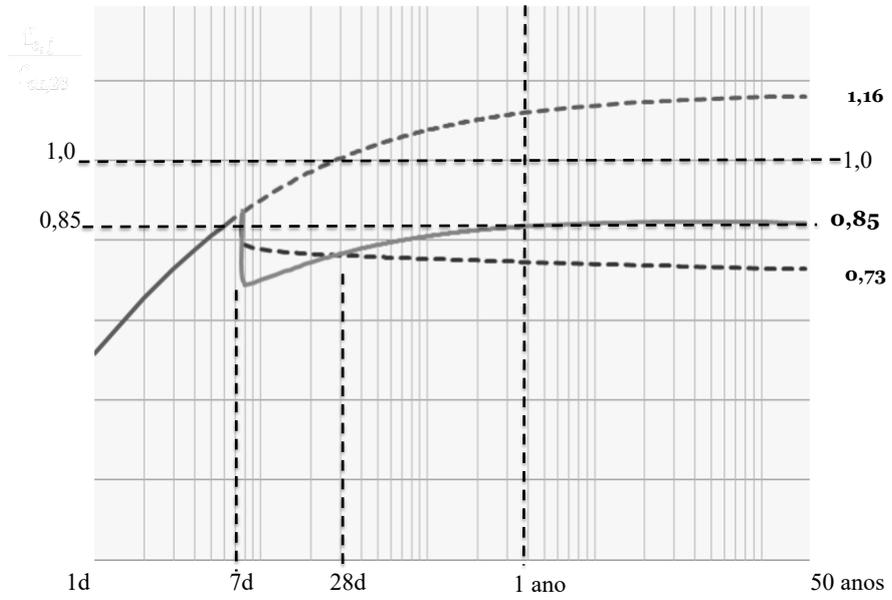
Concreto Norma, $s=0,16$ e $B_{cc,50anos} = 1,16$

Δt após carga	7d	28d	63d	6 meses
20 min	0,79	0,92	0,97	0,86
0,5 h	0,74	0,86	0,91	0,86
1 h	0,72	0,84	0,88	0,86
10h	0,69	0,80	0,84	0,86
1 dia	0,69	0,79	0,83	0,86
1 mês	0,78	0,80	0,82	0,84
3 meses	0,81	0,82	0,82	0,84
6 meses	0,82	0,83	0,83	0,84
1 ano	0,83	0,83	0,84	0,84
50 anos	0,85	0,85	0,85	0,85

PhD Engenharia

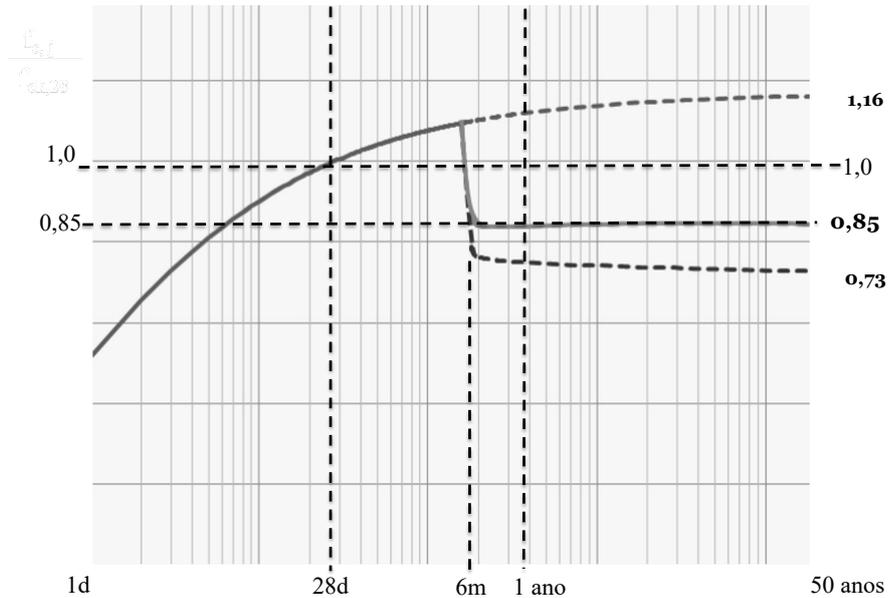
66

Resistência do Concreto “carregado” a 7 dias

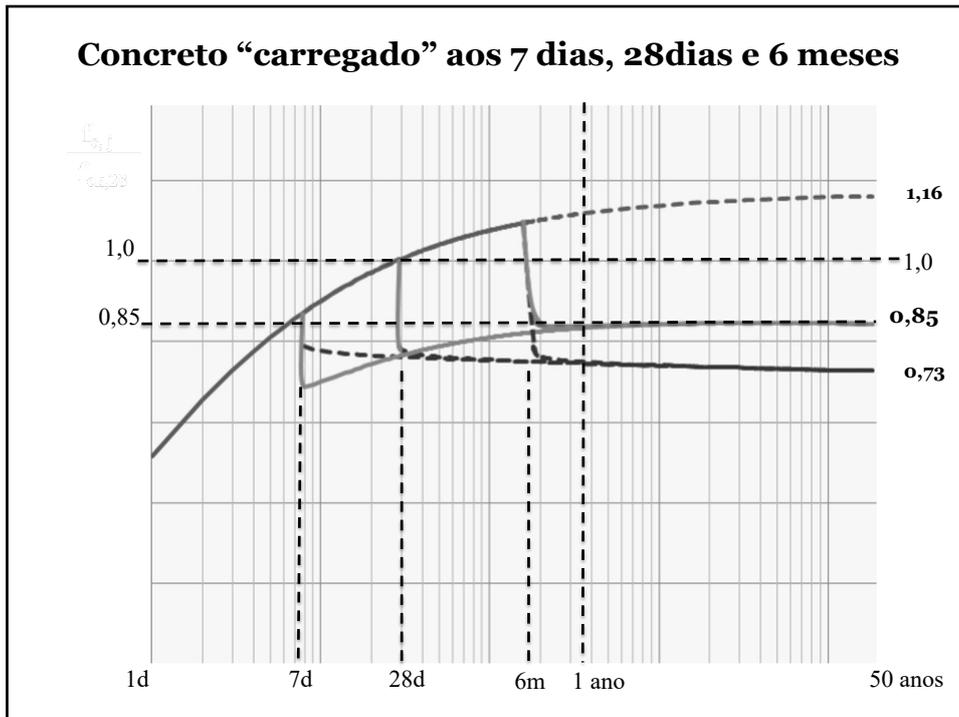


67

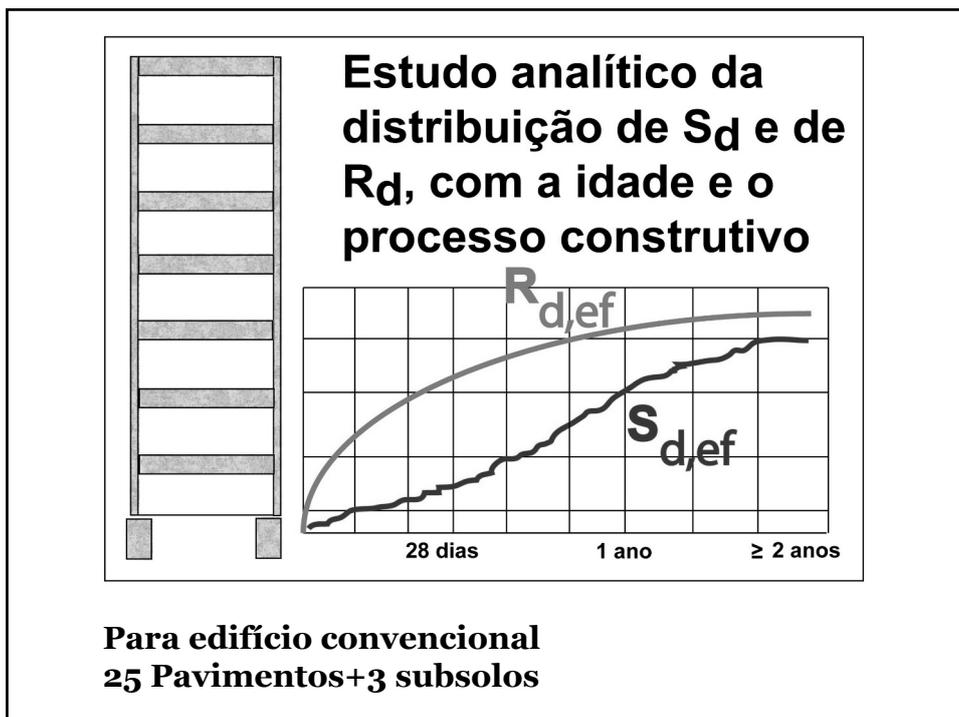
Resistência do Concreto “carregado” a 6 meses



68



69



**Para edifício convencional
25 Pavimentos+3 subsolos**

70

Edifício convencional

Considerações iniciais:

- 25 pavimentos+3subsolos
- Produção de 1 pavimento por semana
- Retira-se cimbramento (carrega-se pavimentos aos 28dias)
- $f_{ck}=40\text{MPa}$

PhD Engenharia

71

Edifício convencional

$f_{ck}=40\text{MPa}$

- Estrutura: 600kg/m^2 → 52%
- Piso e contrapiso: 130kg/m^2 } 30%
- Alvenaria: 220kg/m^2 }
- Ação variável: 200kg/m^2 → 18%

Peso próprio de 950kg/m^2

para UM pavimento, temos:

82% se totalmente terminado;

52% somente com a estrutura terminada;

PhD Engenharia

72

Edifício convencional, 25 pavimentos

$f_{ck}=40\text{MPa}$

Para pilares no 5º pavimento (receberá 20 pavimentos acima):

Após 63 dias...8 semanas e 8 pavimentos concretados acima

- Edifício no 13º pavimento : $\frac{8}{20}=40\%$ do peso a ser suportado!
- Não foi iniciada alvenaria, logo: $0,52*0,40=$ **21%** do projetado

CONSIDERAR EFEITO RUSCH?

PhD Engenharia

73

Edifício convencional

$f_{ck}=40\text{MPa}$

1ª caso: Extração aos 63 dias -> $f_{c,63} = 43,0\text{MPa}$

- Conversão para 28 dias ("s"=0,16 NBR 6118:2014)
 $f_{c,28} * 1,053 * 0,759 = 43,0$ -> $f_{c,28} =$ **53,8MPa**

2ª caso: Extração a um ano: 365 dias -> $f_{c,365} = 43,0\text{MPa}$

- Conversão para 28 dias ("s"=0,16 NBR 6118:2014)
 $f_{c,28} * 1,118 * 0,746 = 43,0$ -> $f_{c,28} =$ **51,6MPa**

CONSIDERAR EFEITO RUSCH?

PhD Engenharia

74

Retrofit > 50anos

3ª caso: Extração a 50 anos -> $f_{c,18250} = 21,0\text{MPa}$

Conversão para resistência 28 dias ("s"=0,16 NBR 6118:2014)

$$f_{c,28} * \underbrace{1,16 * 0,73}_{0,85!} = 21,0 \quad \rightarrow f_{c,28} = \mathbf{24,8\text{MPa}}$$

PhD Engenharia

75

Retrofit

3ª caso: Extração a 50 anos -> $f_{c,18250} = 21,0\text{MPa}$

Conversão para resistência 28 dias ("s"=0,16 NBR 6118:2014)

$$f_{c,28} * \underbrace{1,16 * 0,73}_{0,85!} = 21,0 \quad \rightarrow f_{c,28} = \mathbf{24,8\text{MPa}}$$

$$\sigma_{cd} = f_{cd} * \mathbf{0,85} / \gamma_c$$

PhD Engenharia

76

Retrofit

3ª caso: Extração a 50 anos -> $f_{c,18250} = 21,0\text{MPa}$

Conversão para resistência 28 dias ("s"=0,16 NBR 6118:2014)

$$f_{c,28} * \underbrace{1,16 * 0,73}_{0,85!} = 21,0 \quad \rightarrow f_{c,28} = \mathbf{24,8\text{MPa}}$$

$$\sigma_{cd} = f_{cd} * 0,85 / \gamma_c$$

$$\sigma_{cd} = 21,0 / \gamma_c$$

$$\sigma_{cd} = 21,0 / 1,26 = 16,6\text{MPa}$$

PhD Engenharia

77

Dúvidas

Uma vez que $\beta_{cc} * \beta_{c,sus}$ é variável e depende da idade de carga e do concreto, faz sentido usar o coeficiente fixo

$$\beta_{cc} * \beta_{c,sus} = 0,85?$$

PhD Engenharia

78

Em lugar de

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

PhD Engenharia

79

Proposta

$$\sigma_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} * \beta_{cc,t} * \beta_{c,sus,t}$$

- $B_{cc,t}$ → tipo de cimento e relação a/c
- $B_{c,sus,t}$ → idade de aplicação da carga

PhD Engenharia

80

Dúvidas

- deveria diferenciar lajes (e vigas?) de pilares e existir pelo menos dois 0,85?
- testemunhos extraídos a elevadas idades (mais de 6h, 6 meses, 10anos) já incluem relaxação? No redimensionamento poderia dispensar o tal 0,85?

PhD Engenharia

81

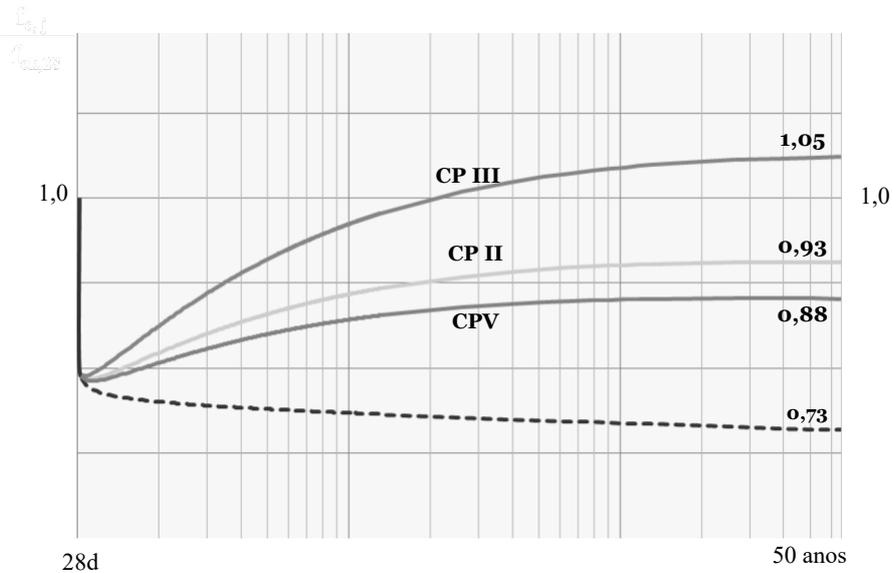
Proposta

- para edifícios acima de 10 pisos, com taxa de elevação de 1 piso/semana, há vantagem em controlar f_{ck} a 63 dias, sem nenhum prejuízo à segurança, (*CP I, CP II, CP III, CP IV*)

PhD Engenharia

82

Influência do tipo de cimento no crescimento da resistência (“carregado” aos 28dias)



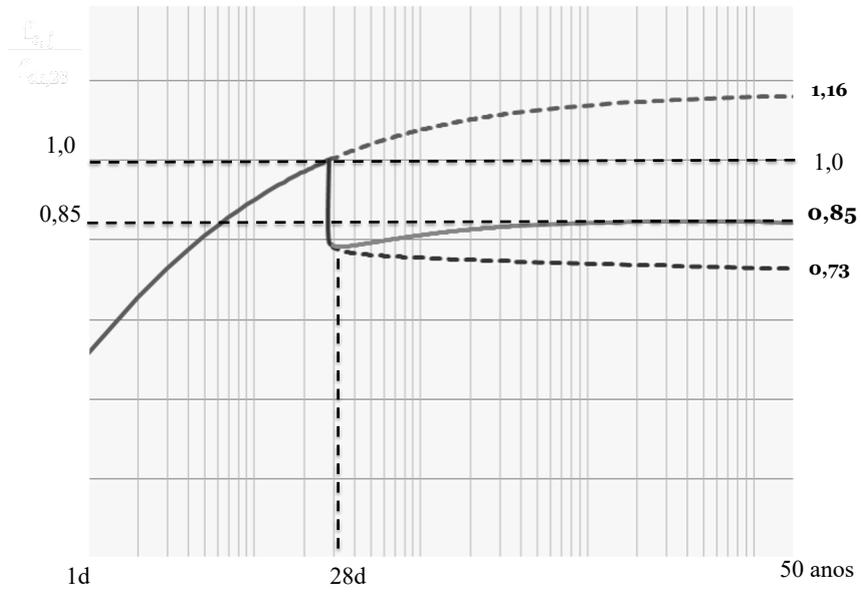
83

Carregamento	Idade	β mínimo	Concreto
7dias	7d + 13h	0,660	ARI & CAR
7dias	7d + 11h	0,630	CP I & CP II
7dias	7d + 8h	0,557	CP III & CP IV
28dias	28d + 3d + 12h	0,785	ARI & CAR
28dias	28d + 2d + 20h	0,787	CP I & CP II
28dias	28d + 1d + 21h	0,791	CP III & CP IV
6meses	6m + 1h	0,847	ARI & CAR
6meses	6m + 1h	0,873	CP I & CP II
6meses	6m + 1h	0,945	CP III & CP IV

PhD Engenharia

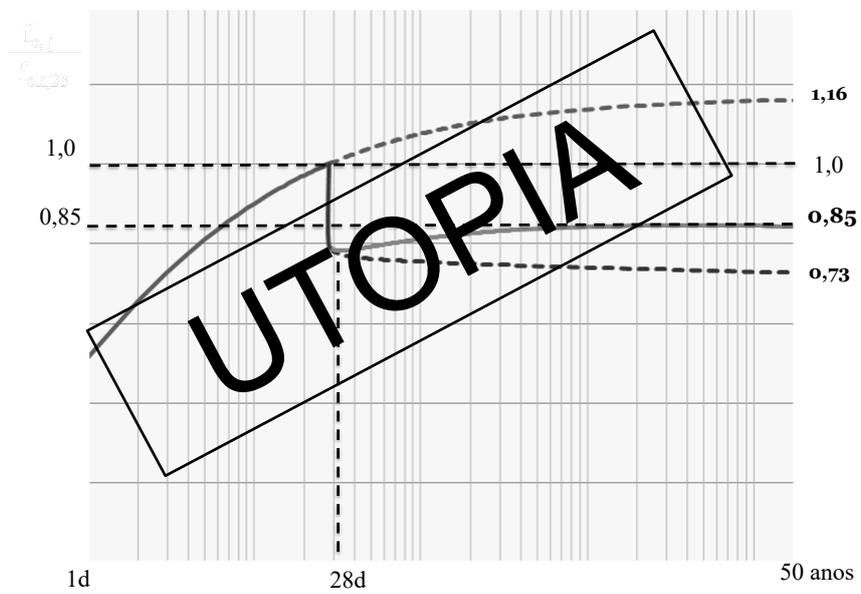
84

Concreto "carregado" aos 28 dias (NBR 6118)



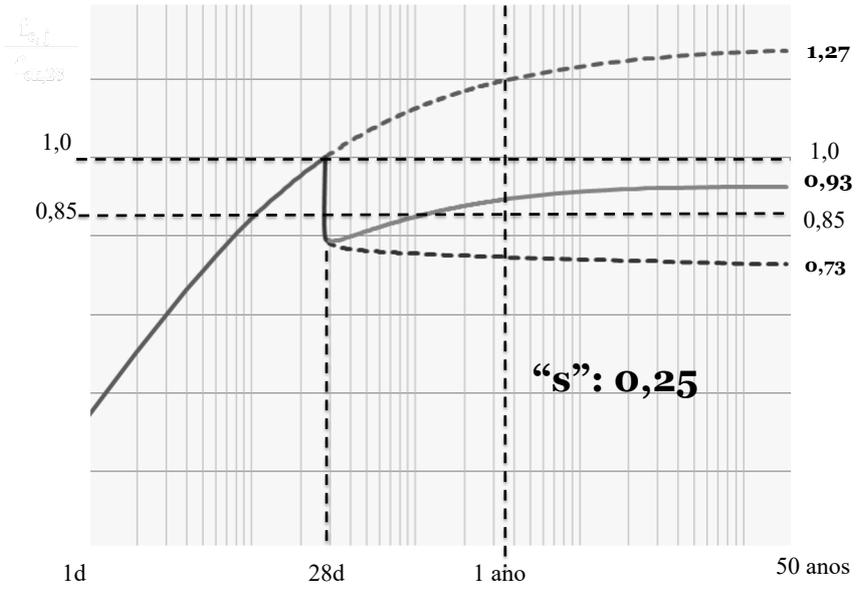
85

Concreto "carregado" aos 28 dias (NBR 6118)



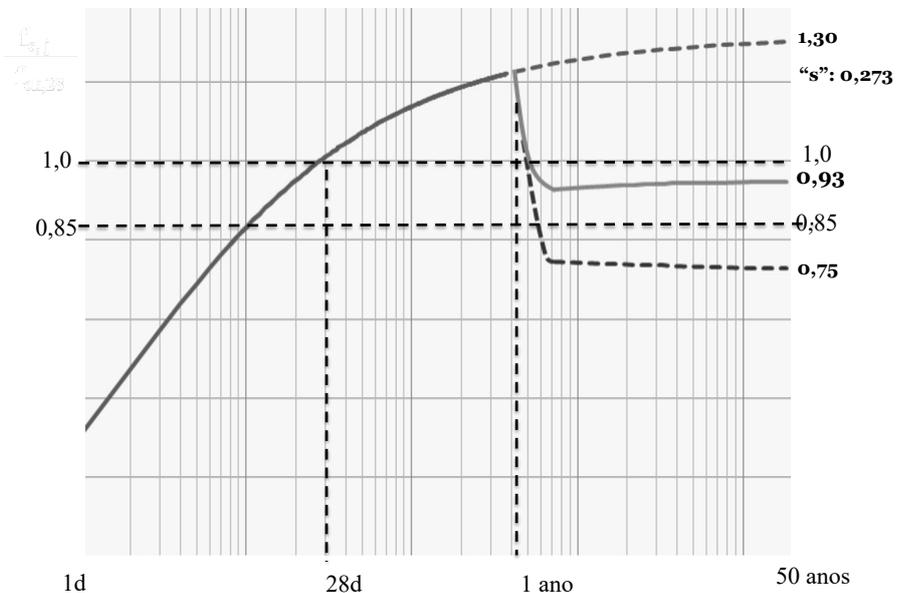
86

Concreto “carregado” aos 28 dias (REAL ?)



87

Concreto “carregado” a 1 ano (Rüsch)



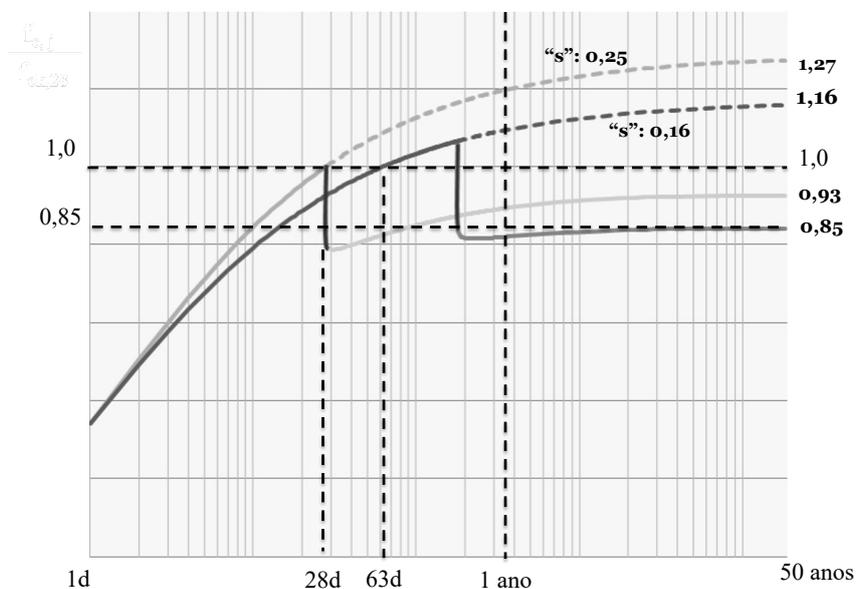
88

Por razões óbvias de sustentabilidade é conveniente adotar f_{ck} a 63dias e não a 28dias. Considerando o caso de um edifício de 25andares há alteração da segurança?

PhD Engenharia

89

premissa de projeto: f_{ck} para 28 dias e carga aos 28 dias
 alternativa: f_{ck} para 63 dias e carga a 6 meses (pilares)

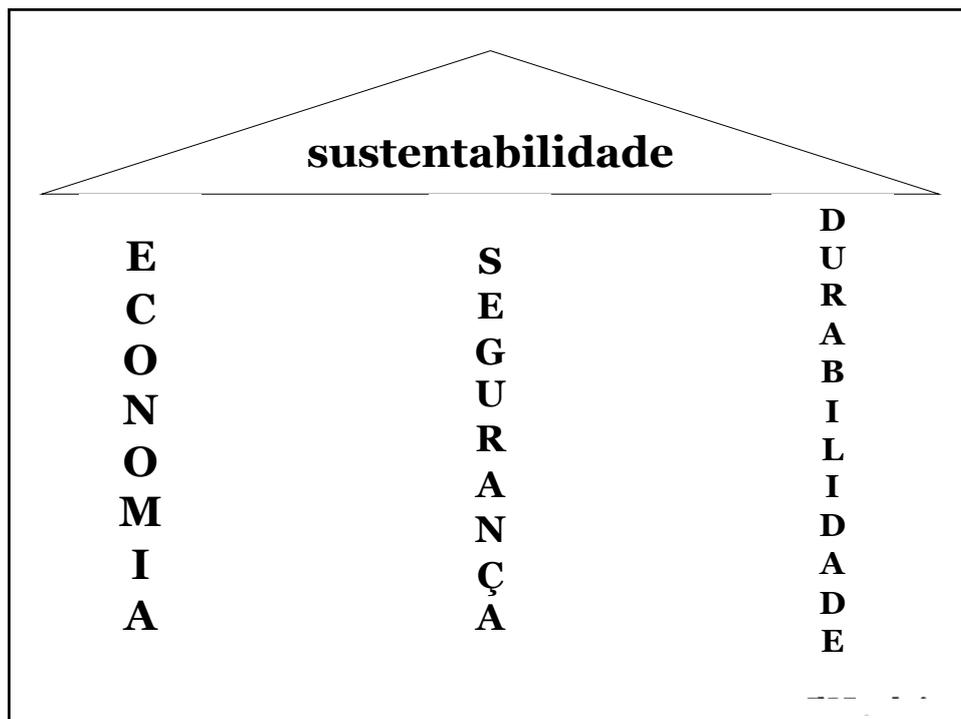


90

Δt após carga	f_{ck28}, carga 28d ("s": 0,25)	f_{ck63}, carga 180d ("s": 0,16)
20 min	0,92	0,98
0,5 h	0,86	0,92
1 h	0,84	0,89
10h	0,80	0,85
1dia	0,79	0,84
1 mês	0,80	0,82
3 meses	0,82	0,82
6 meses	0,83	0,82
1 ano	0,83	0,83
50 anos	0,85	0,85

PhD Engenharia

91



92



93

Bibliografia Efeito Rüsç

ABNT NBR 6118:2014 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. (consulta free na biblioteca da PhD)

ABNT NBR 8681:2003 Versão Corrigida:2004 – Ações e segurança nas estruturas – Procedimento. (consulta free na biblioteca da PhD)

ACI-318-11 – Building Code Requirements for Structural Concrete. (consulta free na biblioteca da PhD)

fib Model Code for Concrete Structures 2010. (consulta free na biblioteca da PhD)

PhD Engenharia

94

Bibliografia

ISO 22111:2007. **Basis for Design of Structures. General Requirements.**

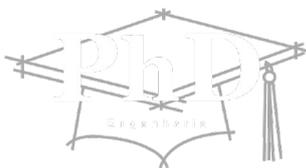
HELENE, Paulo. **Resistência do Concreto sob Carga Mantida e a Idade de estimativa da Resistência Característica** In: III Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto, 1993, São Paulo. III Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto. , 1993. p.271 – 282. *(consulta free na biblioteca da PhD)*

RÜSCH, Hubert. **Researches Toward a General Flexural Theory for Structural Concrete.** ACI Journal: Proceedings. [s.l.] Julho, 1960. 28p. *(consulta free na biblioteca da PhD)*

PhD Engenharia

95

OBRIGADO!



"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

www.concretophd.com.br
www.phd.eng.br

11-2501-4822 / 23
11-7881-4014

PhD Engenharia

96