



5º Seminário Tecnologia de Estruturas
*Projeto e Produção com Foco
na Racionalização e Qualidade*

Reflexões sobre a Vida Útil das Estruturas de Concreto e a NB-1

Eng. Paulo Helene

*MSc, PhD, Prof. Titular da Universidade de São Paulo PCC.USP
Deputy Chairman of fib (CEB-FIP) Commission 5 "Structural Service Life Aspects"
Chairman of Red REHABILITAR CYTED
Presidente do IBRACON*

SindusCon-SP

São Paulo, 20/21 de Novembro de 2003

SP

•1

IMPORTÂNCIA

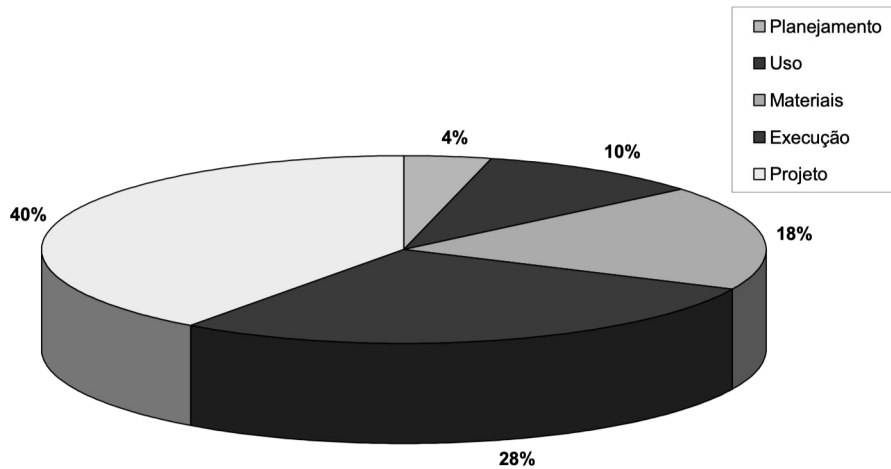
Em países desenvolvidos estima-se que 20 a 40% de todos os recursos investidos anualmente na indústria da construção civil sejam aplicados no reparo e manutenção de estruturas já existentes.

“Patrimônio Construído”

1990 → Report National Science Foundation “Concrete Durability: a Multibillion-Dolar Opportunity”

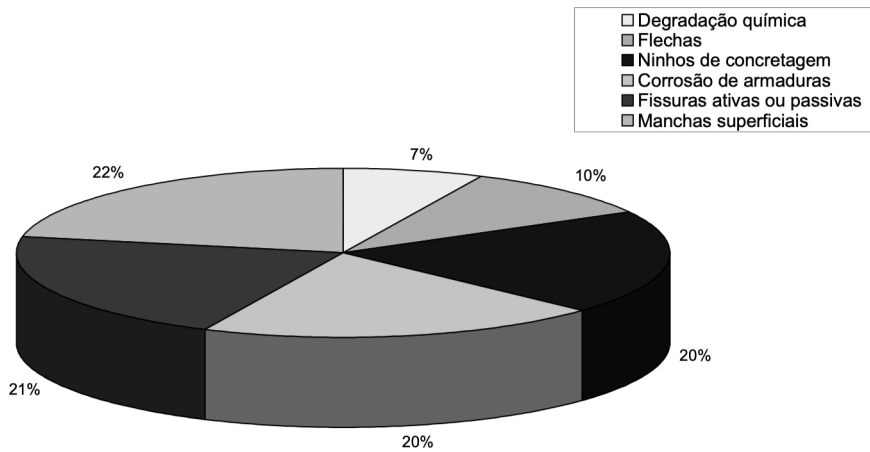
•2

Origem dos Problemas



•3

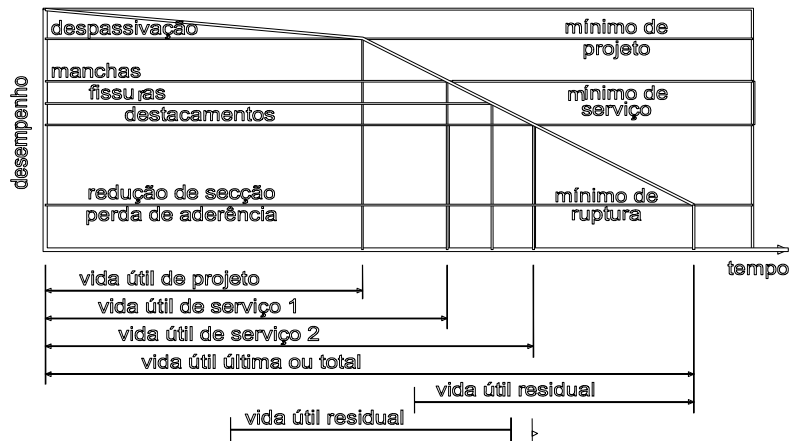
Natureza dos Problemas



•4

comentários

Vida Útil



Conceituação de vida útil das estruturas de concreto tomando-se por referência o fenômeno de corrosão das armaduras

•5

diretrizes

mecanismos de envelhecimento

Relativos ao concreto:

- lixiviação
- expansão
- intemperismo

Relativos à armadura:

- carbonatação
- cloretos

•6

diretrizes

generalidades

- a) prever drenagem eficiente;
- b) evitar formas arquitetônicas e estruturais inadequadas;
- c) garantir concreto de qualidade apropriada, particularmente nas regiões superficiais dos elementos estruturais;
- d) garantir cobrimentos de concreto apropriados para proteção às armaduras;
- e) detalhar adequadamente as armaduras;
- f) controlar a fissuração das peças;
- g) prever espessuras de sacrifício ou revestimentos protetores em regiões sob condições de exposição ambiental muito agressivas; e definir um plano de inspeção e manutenção preventiva.

•7

PROJETO & CONSTRUÇÃO

•8

PROJETO

➤ **proteção da armadura**

- **fissuração**
- **deformação**
- **retração**
- **fluência**
- **incêndio**

•9

Cobrimentos Nominais

•10

Classes de exposição

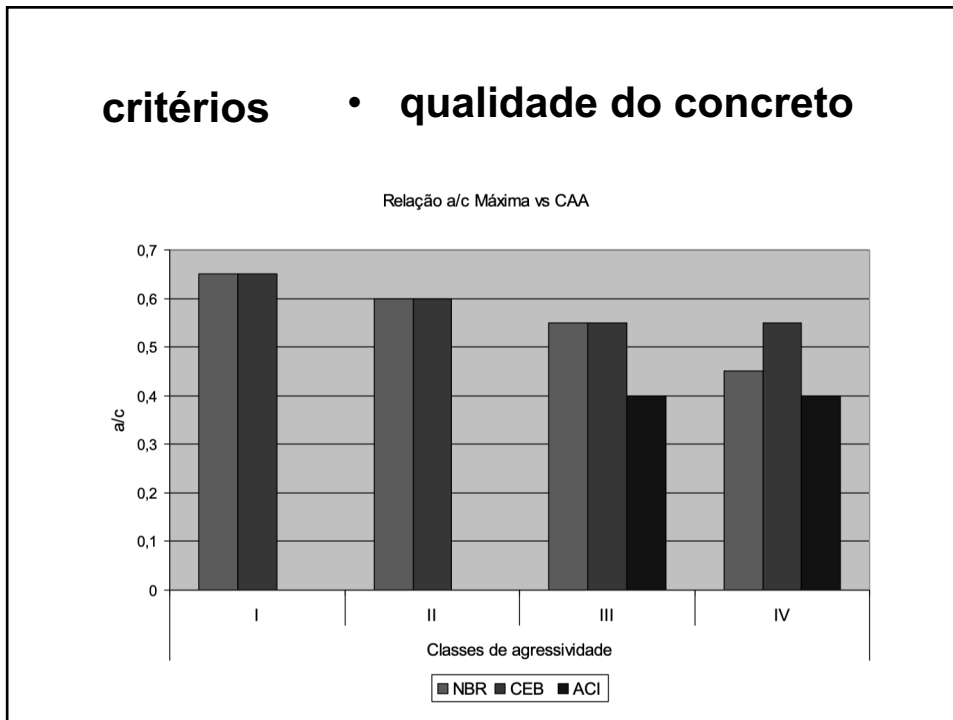
•11

Classes de agressividade ambiental

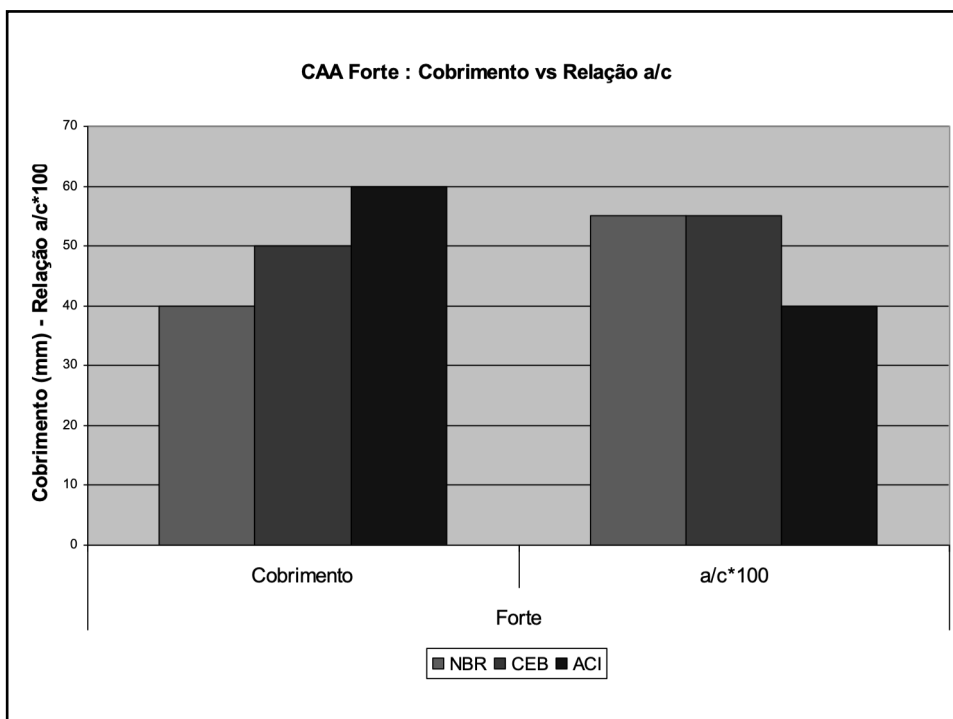
Norma	Classe de Agressividade*			
	<i>Fraca</i>	<i>Moderada</i>	<i>Forte</i>	<i>Muito forte</i>
NBR 6118-03	I	II	III	IV
	Rural / Submerso	Urbana	Marinha / Industrial	Industrial / Respingos de Maré
CEB	I	II	III e IV	V
	Ambiente seco	Ambiente úmido	Ambiente úmido+ Sais de degelo / Marinho	Ambiente agressivo
ACI 318-02	Subjetivo	Subjetivo	Subjetivo	Subjetivo

•12

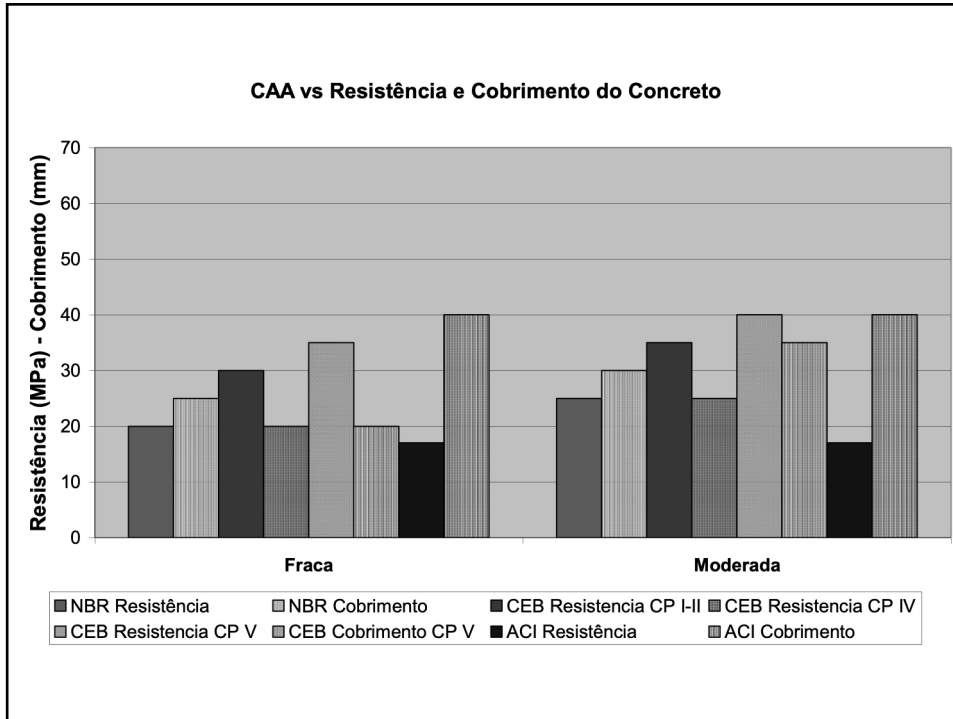
critérios • qualidade do concreto



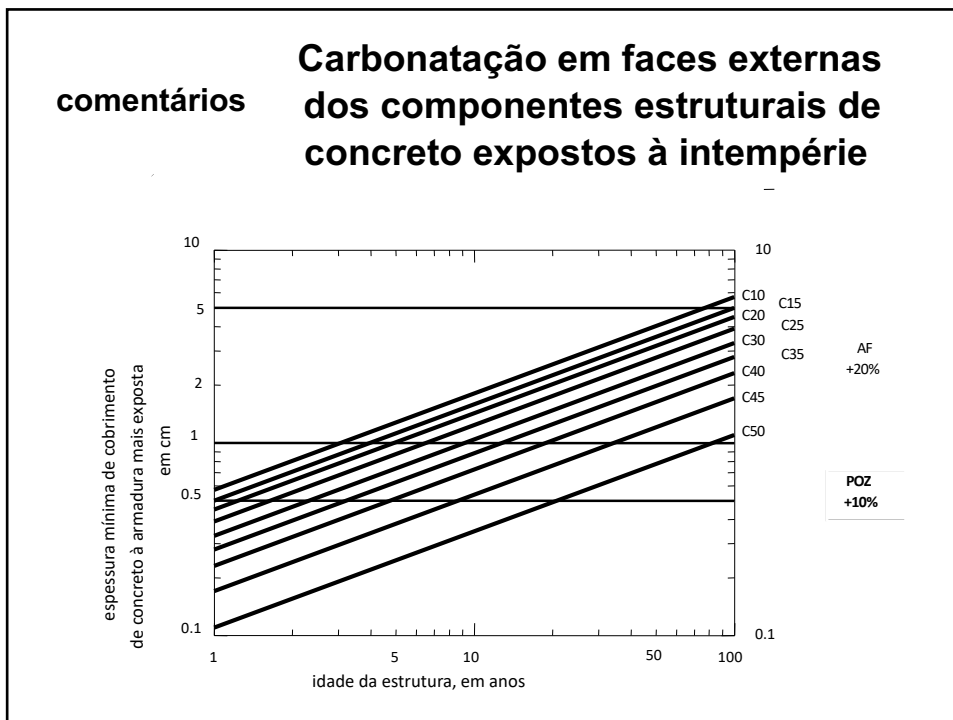
•13



•14



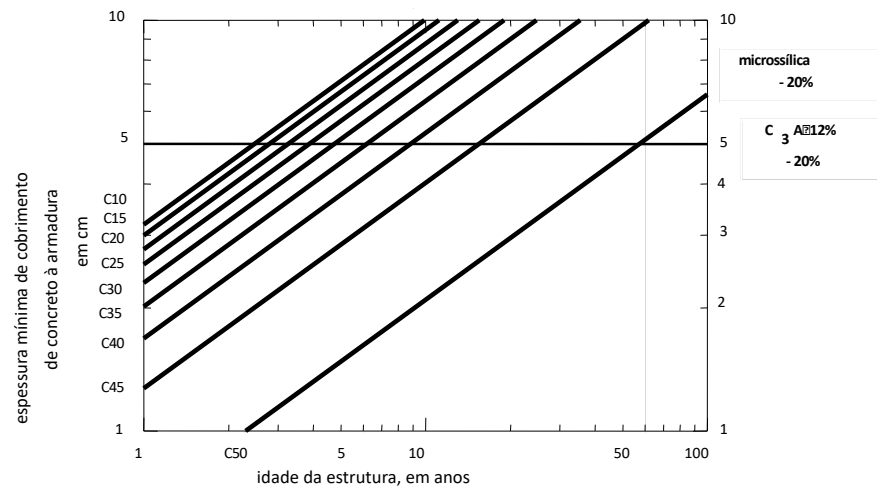
•15



•16

comentários

Difusão de cloretos em faces externas de componentes estruturais de concreto expostos à zona de respingos de maré.



•17

comentários

• medidas especiais

- revestimentos
- galvanização
- aço inox
- inibidores.....

•18

PROJETO

➤ **proteção da armadura**

➤ **fissuração**

➤ **deformação**

➤ **retração**

➤ **fluência**

➤ **incêndio**

•19

*Aberturas de Fissuras
Máximas Toleradas*

•20

w_{lim} – Concreto Armado Simples

Norma	Classe de Agressividade ⁽¹⁾			
	Fraca	Moderada	Forte	Muito Forte
NBR	0,4	0,3	0,2	0,2
CEB	(2)	0,3	0,3	(3)
ACI	(4)	(4)	(5)	(5)

⁽¹⁾ Segundo a NBR 6118-09

⁽²⁾ Permite relaxar os valores de aberturas de fissuras para valores maiores

⁽³⁾ A ser definido em acordo com o cliente dependendo da espessura e qualidade do concreto e camadas de proteção adicionais

⁽⁴⁾ Para agressividades ambientais fraca e moderada controla-se o espaçamento da armadura mais próxima à face em tensão do elemento

⁽⁵⁾ Precisa-se de precauções e investigações especiais

•21

w_{lim} – Concreto Protendido

Norma	Classe de Agressividade			
	Fraca	Moderada	Forte	Muito Forte
NBR (pré-nível 1)	0,2	nd	nd	nd
NBR (pós-nível 1)	0,2	0,2	nd	nd
NBR (pré-nível 2)	nihil	(3)	nd	nd
NBR (pós-nível 2)	nihil	nihil	(3)	(3)
NBR (pré-nível 3)	nihil	nihil	(4)	(4)
NBR (pós-nível 3)	nihil	nihil	nihil	nihil
CEB (pré)	0,2	0	0 e/ou prot adic	0 e/ou prot adic
CEB (pós)	0,2	0,2	0 e/ou prot adic	0 e/ou prot adic
ACI (fissurada)	(1)	(1)	(2)	(2)
ACI (transição)	nihil	nihil	nihil	nihil
ACI (ñ fissurada)	nihil	nihil	nihil	nihil

⁽¹⁾ Para agressividades ambientais fraca e moderada controla-se o espaçamento da armadura mais próxima à face em tensão do elemento

⁽²⁾ Precisa-se de precauções e investigações especiais dependendo do estado nos níveis de serviço e em relação aos coeficientes de segurança

⁽³⁾ Verificar EL3-F em regime flexão de carga e EL3-D em regime cruzado permanente de carga

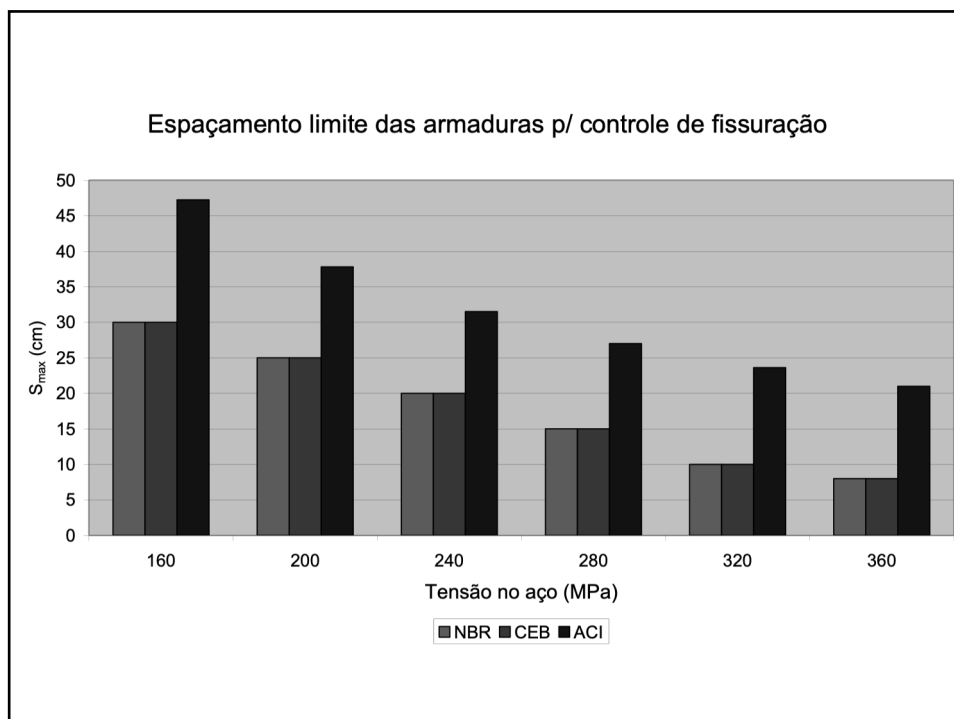
⁽⁴⁾ Verificar EL3-F em combinação rara de carregamento e EL3-D em regime flexão de carregamento

•22

Controle da abertura de fissuras

Os códigos permitem o controle da abertura de fissuras indiretamente através do controle do espaçamento das armaduras.

•23



•24

Cálculo de Abertura de Fissuras

•25

NBR 6118/03

$$w = \min(w_1, w_2)$$

$$w_1 = \frac{\phi_i}{12,5\eta_i} \cdot \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \cdot \frac{3\sigma_{si}}{f_{ctm}}$$

$$w_2 = \frac{\phi_i}{12,5\eta_i} \cdot \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \cdot \left(\frac{4}{\rho_{ri}} + 45 \right)$$

A_{cri} é a área da região de envolvimento protegida pela barra ϕ_i

E_{si} é o módulo de elasticidade do aço da barra considerada, de diâmetro ϕ_i

ϕ_i é o diâmetro da barra que protege a região de envolvimento considerada

ρ_{ri} é a taxa de armadura passiva ou ativa aderente em relação à área da região de envolvimento (A_{cri})

σ_{si} é a tensão de tração no centro de gravidade da armadura considerada, calculada no estágio II

•26

CEB Model Code 90

$$w_k = l_{s,\max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} - \varepsilon_{cs})$$

$l_{s,\max}$: comprimento sobre o qual ocorre o escorregamento entre o aço e o concreto

ε_{sm} : deformação média do aço em $l_{s,\max}$

ε_{cm} : deformação média do concreto em $l_{s,\max}$

ε_{cs} : deformação do concreto provocada pela retração

•27

ACI 318-02

O código não apresenta nenhuma informação a respeito do cálculo das aberturas estimadas de fissuras

•28

PROJETO

➤ proteção da armadura

➤ fissuração

➤ deformação

➤ retração

➤ fluência

➤ incêndio

•29

Módulo de Elasticidade

E_{ci} ≡ inicial **$E_{cij} = 5600 f_{ckj}^{0,5}$**
especificado no $j \geq 7d$
prometo ou tensões e deformações de tração
controlado em obra comportamento global
perdas de protensão

E_{cs} ≡ secante **$E_{cs} = 0,85 \cdot E_c$**
tração e compressão
estados limites de serviço

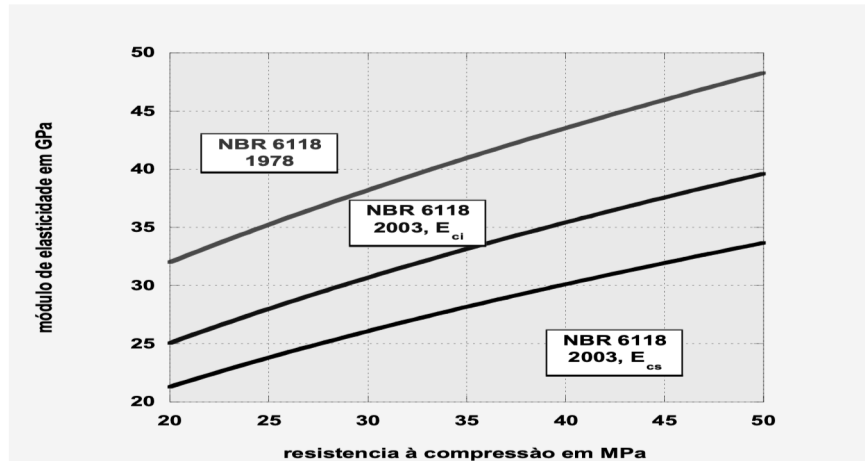
variação **$E_c = a_1 \cdot a_2 \cdot 5600 \cdot f_{ck}^{1/2}$**
tabela A.1

•30

concreto

módulo de elasticidade NBR 6118 / 78

$$E_{ci} = 6.600 (f_{ck} + 3,5)^{0,5}$$



•31

Módulo de Elasticidade

$$E_{ci} = \alpha_1 \alpha_2 (5600 f_{ck}^{1/2})$$

Agregado graúdo	α_1
Basalto, diabásio, calcário sedimentar, denso	1,1 a 1,2
Granito e Gnaise	1,0
Calcário metafórfico, metasedimento	0,9
Arenito	0,7

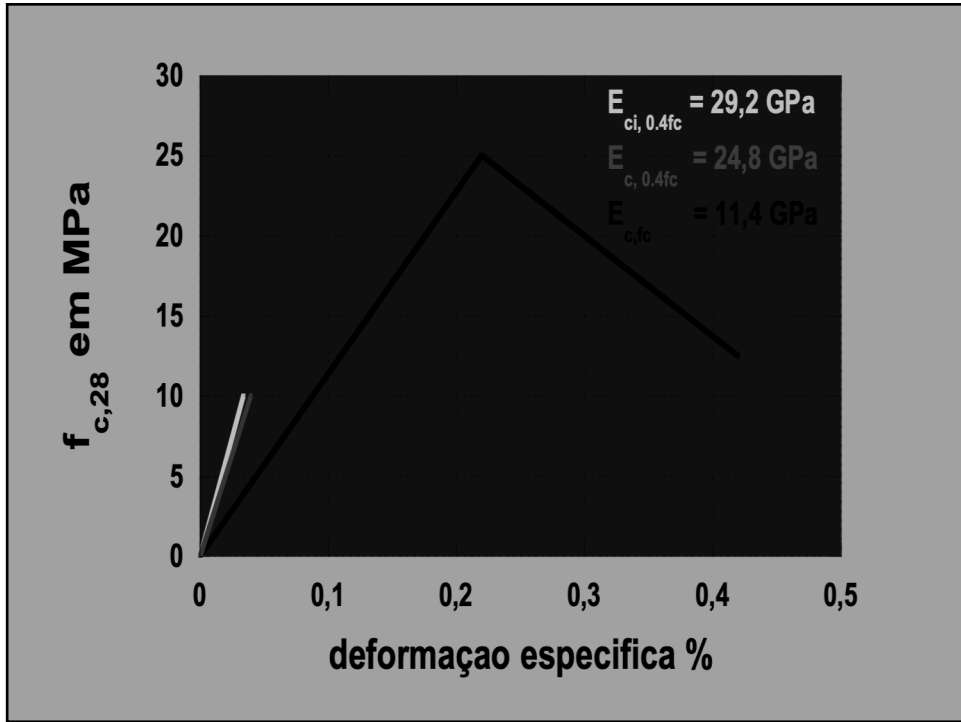
α_1 depende do agregado

α_2 depende da consistência

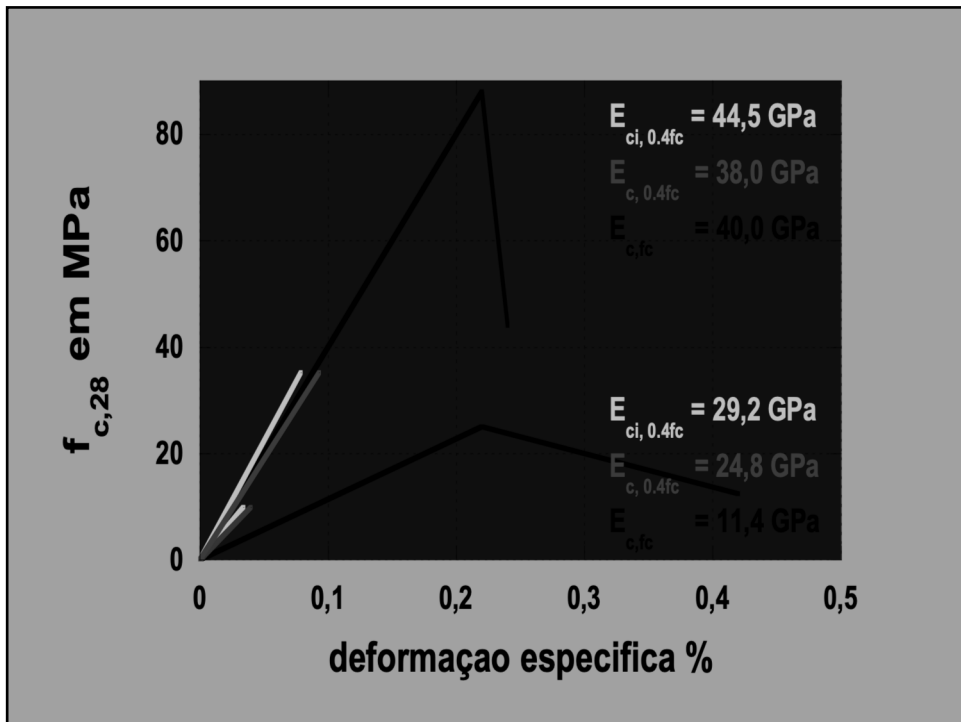
Consistência	α_2
Fluída	0,9
Plástica	1,0
Seca	1,1

Consistência obtida sem aditivos

•32



•33



•34

Flechas máximas

•35

Flechas

- NBR 6118/03:
 - Caso geral: $l/250$
 - Caso especial: $l/350$
- CEB Model Code 90:
 - P/ simples verificação: $l/300$
 - Limitada indiretamente pela relação vão/altura do elemento estrutural
- ACI 318-02:
 - Caso geral: $l/240$
 - Caso específico: $l/480$
 - Limitada indiretamente pela relação vão/altura do elemento estrutural

•36

Relação vão/altura (CEB)

$$\frac{l}{d} \leq \lambda = \lambda_0 k_T k_l \left(\frac{400}{f_{yk}} \right)$$

Onde:

λ_0 : f (sistema estrutural e nível de tensão no concreto)

$k_T = 1.0$ p/ relação mesa/alma < 3 ;

= 0,8 p/ relação mesa/alma > 3

$k_l = 7/l \leq 1$, com l em metros

f_{yk} : tensão limite do aço

•37

Relação vão/altura (ACI)

TABLE 9.5(a)—MINIMUM THICKNESS OF NONPRESTRESSED BEAMS OR ONE-WAY SLABS UNLESS DEFLECTIONS ARE COMPUTED

Member	Minimum thickness, h			
	Simply supported	One end continuous	Both ends continuous	Cantilever
	Members not supporting or attached to partitions or other construction likely to be damaged by large deflections.			
Solid one-way slabs	$l/20$	$l/24$	$l/28$	$l/10$
Beams or ribbed one-way slabs	$l/16$	$l/18.5$	$l/21$	$l/8$

* Span length l is in millimeters.

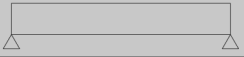

Values given shall be used directly for members with normal weight concrete ($w_c = 2300 \text{ kg/m}^3$) and Grade 420 reinforcement. For other conditions, the values shall be modified as follows:

a) For structural lightweight concrete having unit weight in the range 1500–2000 kg/m^3 , the values shall be multiplied by $(1.65 - 0.0003 w_c)$ but not less than 1.09, where w_c is the unit weight in kg/m^3 .

b) For f_y other than 420 MPa, the values shall be multiplied by $(0.4 + f_y/700)$.

•38

Relação vão/altura: CEB vs ACI

Norma				
	4m	7m	4m	7m
CEB	33	54	76	130
ACI 318-02	28	49	56	98
	48	84		

Vigas + Lajes

•39

PROJETO

➤ **proteção da armadura**

➤ **fissuração**

➤ **deformação**

➤ **retração e fluência**

➤ **incêndio**

•40

concreto

Retração e fluência

$$\sigma_c \leq 0,5.f_c$$

Deformação específica de retração e coeficiente de fluência

Umidade ambiente (%)		40%		55%		75%		90%	
Espessura Equivalente $2A_c/u$ (cm)		20	60	20	60	20	60	20	60
$\varphi(t_\infty, t_0)$	5	4,4	3,9	3,8	3,3	3,0	2,6	2,3	2,1
	30	3,0	2,9	2,6	2,5	2,0	2,0	1,6	1,6
	60	3,0	2,6	2,2	2,2	1,7	1,8	1,4	1,4
$\varepsilon_{cs}(t_\infty, t_0)$	5	-0,44	-0,39	-0,37	-0,33	-0,23	-0,21	-0,10	-0,09
	30	-0,37	-0,38	-0,31	-0,31	-0,20	-0,20	-0,09	-0,09
	60	-0,32	-0,36	-0,27	-0,30	-0,17	-0,19	-0,08	-0,09

•41

PROJETO

- proteção da armadura
 - fissuração
 - deformação
 - retração e fluência

➤ **incêndio**

•42

Resistência a Incêndio

•43

NISTIR 6726. National Institute of Standards and Technology, 2001

HSC water-cement ratio 0.22 to 0.57, 51 to 93 MPa

- 1. High-strength mixtures made with very low w/cm (0.22) showed less strength loss than with 0.33 w/cm.**
- 2. Explosive spalling was observed when the temperature of the specimen center was in the range of 200 and 325 °C.**

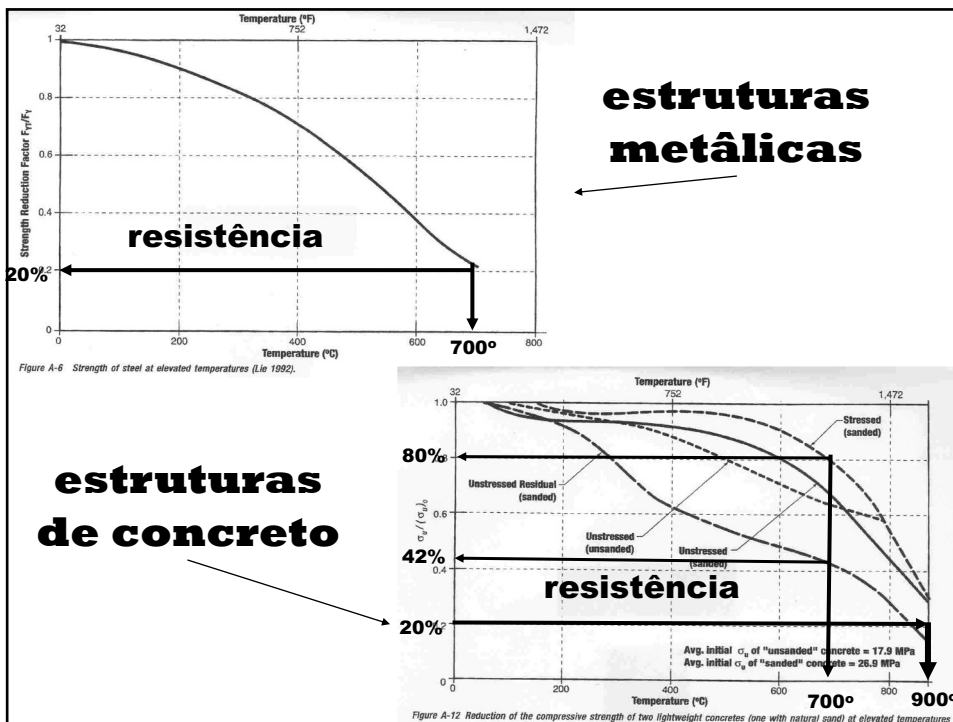
•44

NISTIR 6726. National Institute of Standards and Technology, 2001

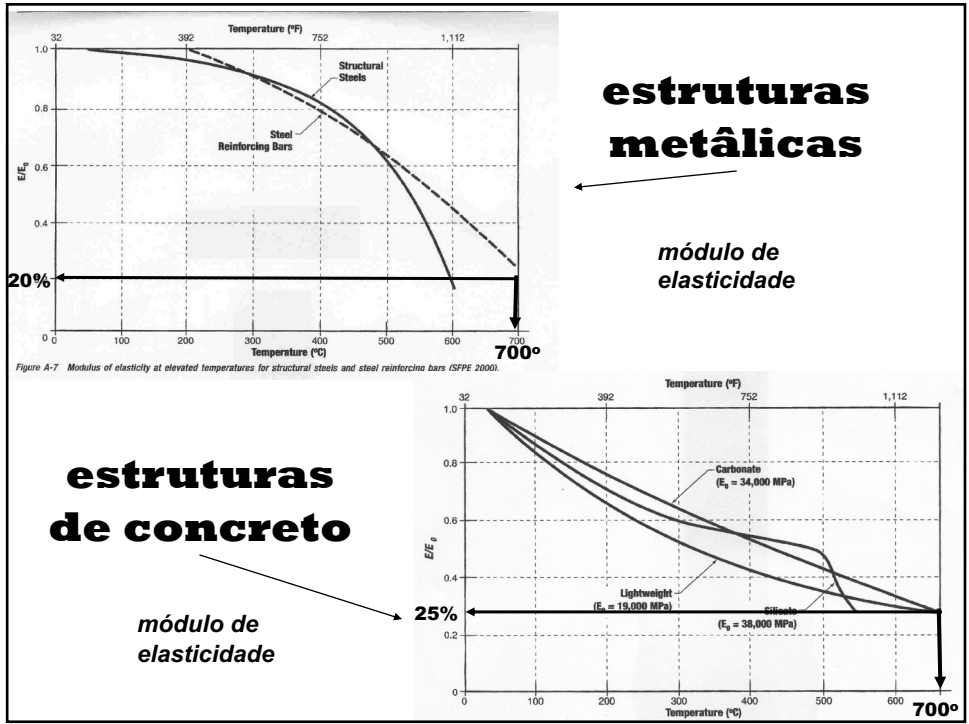
HSC water-cement ratio 0.22 to 0.57, 51 to 93 MPa.

3. Preload seems to have a mitigating effect on the development of explosive spalling.
4. For concrete samples casted with 0.22 w/cm, tested under restrained conditions, explosive spalling never occurred. Only occurred with some samples casted with 0.33 w/cm.

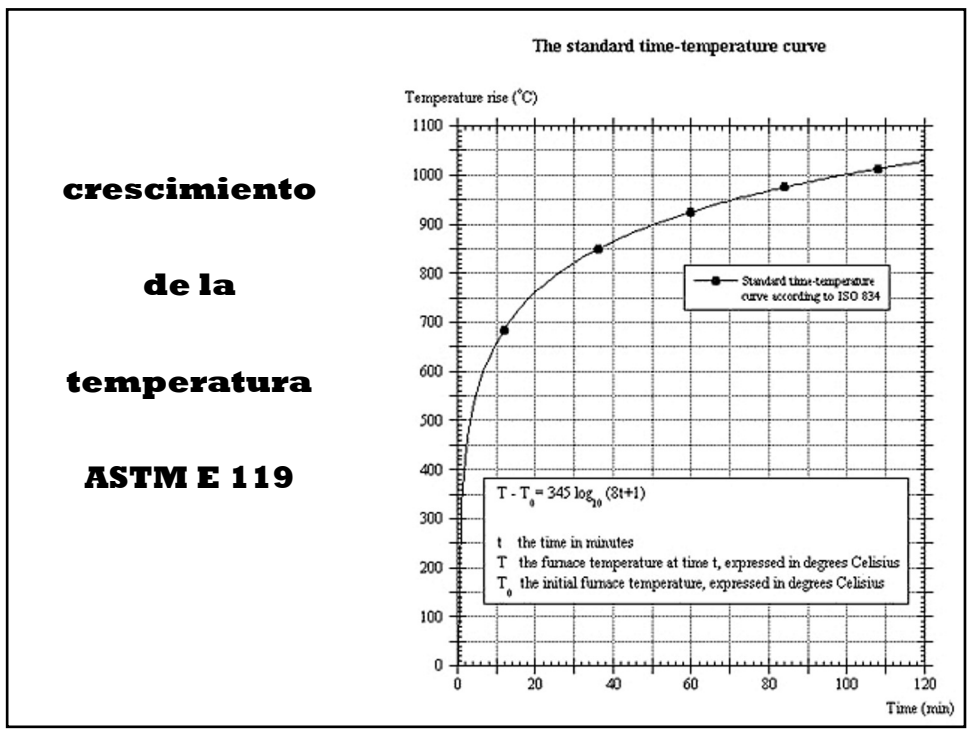
•45



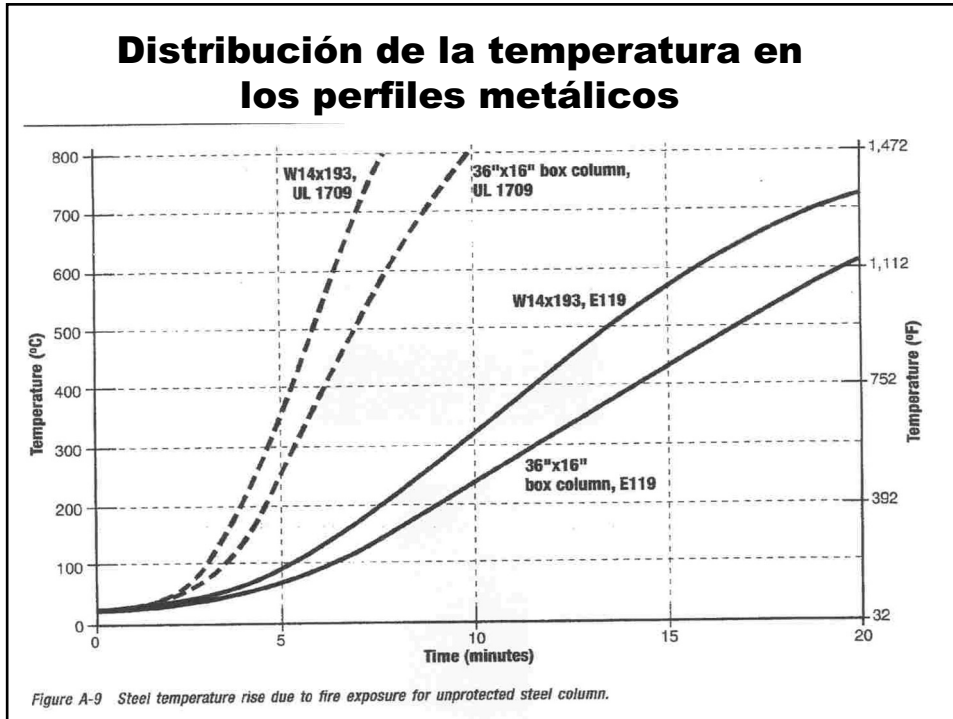
•46



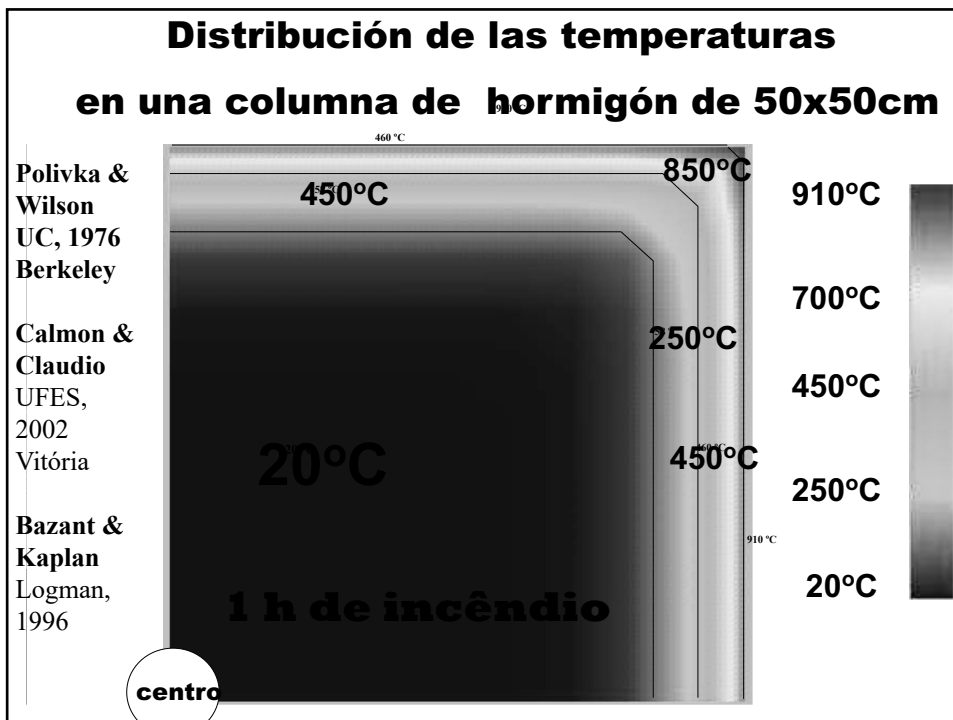
•47



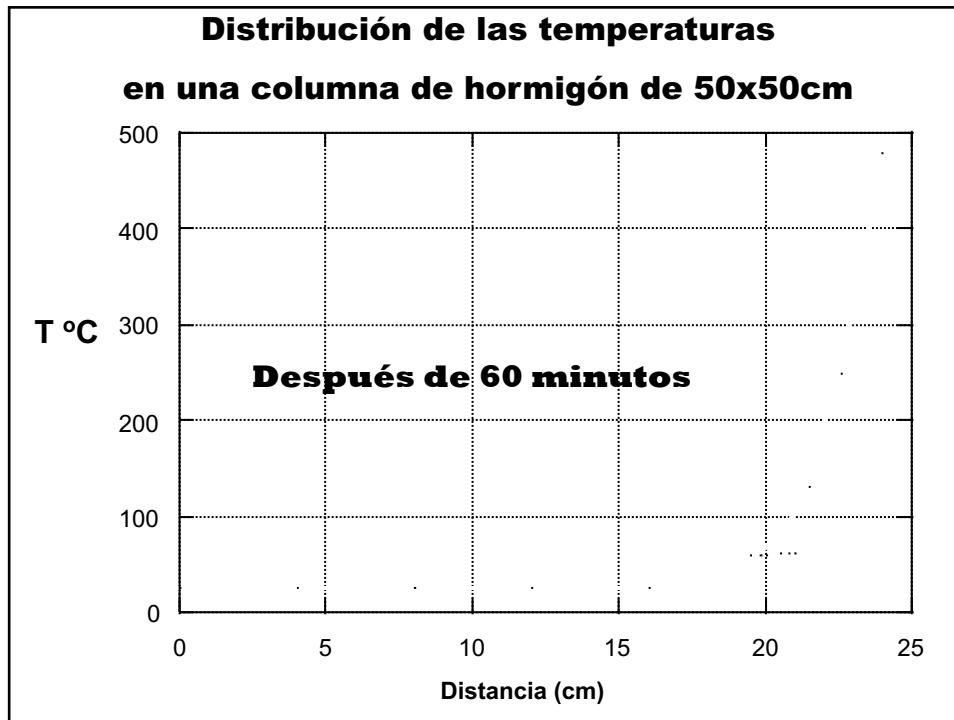
•48



•49



•50



•51

- CONSTRUÇÃO *NBR 14931 / 2004***
- **controle (*NBR 12655*)**
 - **tolerâncias geométricas**
 - **concretagem**
 - **cura**

•52

CONTROLE *NBR 12655 / 1996*

**Em Discussão
na Comissão de
Estudos**

•53

EXECUÇÃO *NBR 14931 / 2004*

Especificação do concreto:

- 1. f_{ck} , D_{max} , slump**
- 2. C_c , D_{max} , slump**
- 3. a/c , D_{max} , slump**
- 4. Traço completo , D_{max} , slump**
- 5. E_{ci} , k_{CO2} , k_{Cl} , k_{H2O} , ρ_c , ...**

•54

EXECUÇÃO NBR 14931 / 2004

Tolerâncias:

- | | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1. Lajes | $\pm 5\text{mm}$ |
| 2. Pilares, vigas 0,6 a 1,2m | $\pm 7\text{mm}$ |
| 3. Pilares, vigas 1,2 a 2,5m | $\pm 10\text{mm}$ |

•55

EXECUÇÃO NBR 14931 / 2004

Transporte e lançamento:

**→ Concreto bombeado onde
lança a nata lubrificante
da tubulação????**

•56

EXECUÇÃO *NBR 14931 / 2004*

Cura:

$$**f_{ck} \geq 15MPa**$$

•57

Projetar e Construir Estruturas Duráveis é

- **contribuir para a valorização profissional**
- **defender os recursos naturais de nosso país**
- **aumentar as probabilidades de lucro e sucesso empresarial**

•58