

22º ENECE Encontro Nacional de Engenharia e Consultoria Estrutural

CELEBRANDO **25** ANOS ABECE

Concreto Estrutural para Edifícios Altos

Paulo Helene
 Diretor PhD Engenharia
 Conselheiro Permanente IBRACON
 Prof. Titular Universidade de São Paulo
 Gestor e Ex-Presidente ALCONPAT Internacional
 Diretor Técnico do Instituto Brasileiro do Concreto
 Member fib(CEB-FIP) Model Code for Service Life Design
 Conselheiro da CNTU e SEESP

PhD
Engenharia
 do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras

31 de outubro de 2019 - São Paulo/SP

1

22º ENECE Encontro Nacional de Engenharia e Consultoria Estrutural

CELEBRANDO **25** ANOS ABECE

Concreto Estrutural para Edifícios Altos

- A. Resistência à compressão do concreto
 - Exemplos no exterior
 - Exemplos no Brasil
 - Idade de controle
 - Amostragem e controle ABNT, ACI, EN
- B. Módulo de elasticidade
 - Exemplos no exterior
 - Exemplos no Brasil
 - Conceitos controversos
 - Idade, amostragem e controle
- C. Construtibilidade
 - Intersecção pilar/viga/laje
- D. Síntese / Recomendações

2

Resistência à Compressão

f_{ck} → ABNT & EN → quantil de 5%

f'_c → ACI 318 → quantil de 10%

cilindro vs cubo
C50/60

A. Resistência à compressão do concreto

Exemplos no exterior

Exemplos no Brasil

Idade de controle

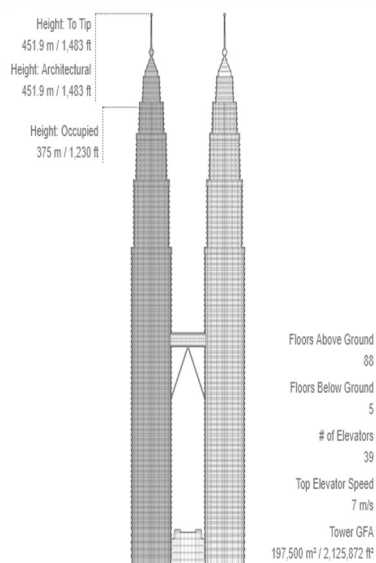
Amostragem e controle ABNT, ACI, EN

3

Petronas Twin Tower Kuala Lumpur City Centre

- ✓ Projeto: Thornton Tomasetti
- ✓ País: Malásia
- ✓ Altura: 452 m
- ✓ Inauguração: 1998
- ✓ Fundação: 40 MPa, cubo (28 dias)
radier apoiado em estacas de concreto
- ✓ $f_{ck} (< 26) = 80\text{MPa}$, cubo (56 dias)
- ✓ Adições: sílica ativa, cinza volante

C65/80



fonte: CTBUH. Council on Tall Buildings and Urban Habitat. Chicago. 1969

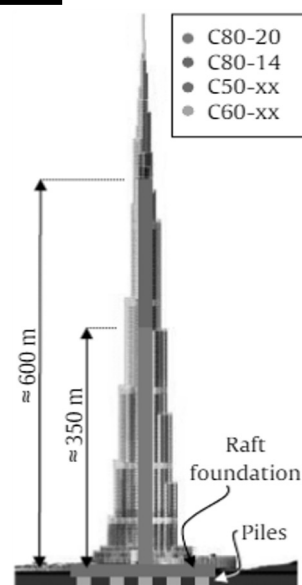
4

22º ENECE Empresa Nacional de Engenharia e Consultoria Estrutural

125 ABECE

Burj Khalifa – Burj Dubai

- ✓ Projeto: Skidmore, Owings & Merrill LLP
- ✓ País : Emirados Árabes
- ✓ Altura: 828 m
- ✓ Inauguração: 2010
- ✓ Fundação: 60 MPa, cubo (28 dias)
radier apoiado em estacas de concreto
- ✓ $f_{ck} (< 20) = 80$ MPa, cubo (91 dias)
- ✓ Adições: cinza volante, sílica ativa e escoria granulada



C65/80

fonte: CTBUH. Council on Tall Buildings and Urban Habitat. Chicago. 1969

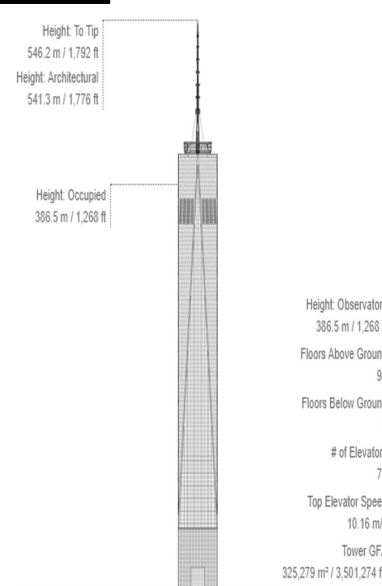
5

22º ENECE Empresa Nacional de Engenharia e Consultoria Estrutural

125 ABECE

One World Trade Center

- ✓ Projeto: WSP Group; Schlaich Bergermann und Partner
- ✓ País: Estados Unidos
- ✓ Altura: 541 m
- ✓ Inauguração: 2014
- ✓ Fundação: ???
- ✓ $f_{ck} (< 26) = 83$ MPa, cilindro (56 dias) (fonte BASF)
- ✓ Adições: cinza volante, escória, sílica ativa (fonte: BASF)




C80/95

fonte: CTBUH. Council on Tall Buildings and Urban Habitat. Chicago. 1969

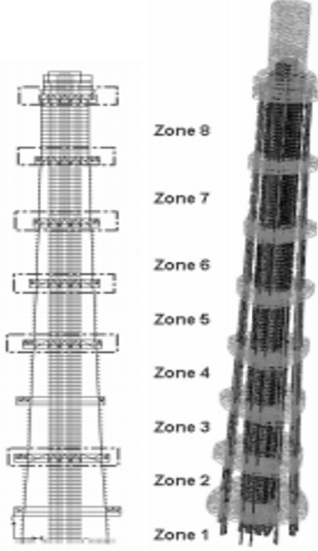
6

22º ENECE Entidade Nacional de Engenharia e Construção Estrutural



Shanghai Tower – Shanghai Center

- ✓ Projeto: Thornton Tomasetti
- ✓ País: China
- ✓ Altura: 632 m
- ✓ Inauguração: 2015
- ✓ Fundação: 50 MPa, cubo (28 dias)
radier suportado por estacas de concreto
- ✓ $f_{ck} (< 26) = 70$ MPa, cubo (28 dias)
- ✓ Adições: sílica ativa, escória granulada




C58/70

fonte: CTBUH. Council on Tall Buildings and Urban Habitat. Chicago. 1969

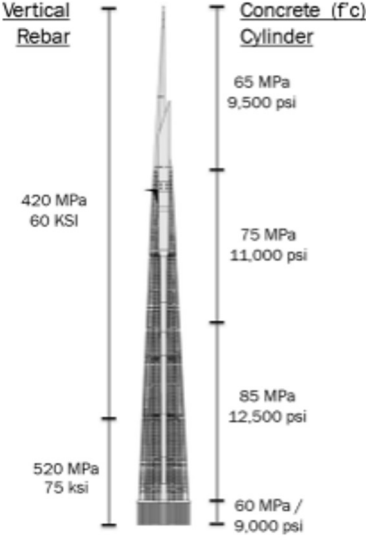
7

22º ENECE Entidade Nacional de Engenharia e Construção Estrutural



Jeddah Tower - Kingdom Tower

- ✓ Projeto: Thornton Tomasetti
- ✓ País: Arábia Saudita
- ✓ Altura: 1.000 m
- ✓ Em Construção : 2021
- ✓ Fundação: 60 MPa, cilindro (91 dias)
radier apoiado em estacas de concreto
- ✓ $f_{ck} (< 26) = 85$ MPa, cilindro (91 dias)
- ✓ Adições: cinzas volantes, sílica ativa



C85/100

fonte: CTBUH. Council on Tall Buildings and Urban Habitat. Chicago. 1969

8


22º ENECE Empresa Nacional de Engenharia e Consultoria Estrutural

25 ABECE

CENTRO EMPRESARIAL NAÇÕES UNIDAS 1997 São Paulo, Brasil

- Projeto: Mário Franco (JKMF)
- 176 m
- Pilares: $f_{ck} = 50$ MPa, cilindro (28 dias)
- Lajes e vigas: $f_{ck} = 35$ MPa, cilindro (28 dias)

C50/60



9

22º ENECE Empresa Nacional de Engenharia e Consultoria Estrutural

25 ABECE



e-Tower

10

22º ENECE Escuela Nacional de Ingeniería y Consultoría Estrutural

25 ABECE

TECNUM CONSTRUTORA

e-Tower (São Paulo, Brasil)

- **Projeto: Prof. Ricardo França**
- **Ano: 2002**
- **Altura: 168 m**
- **f_{ck} pilares = 80 MPa, cilindro (28 dias)**
- **Lajes, vigas: $f_{ck} = 40$ MPa (28 dias)**

C80/95

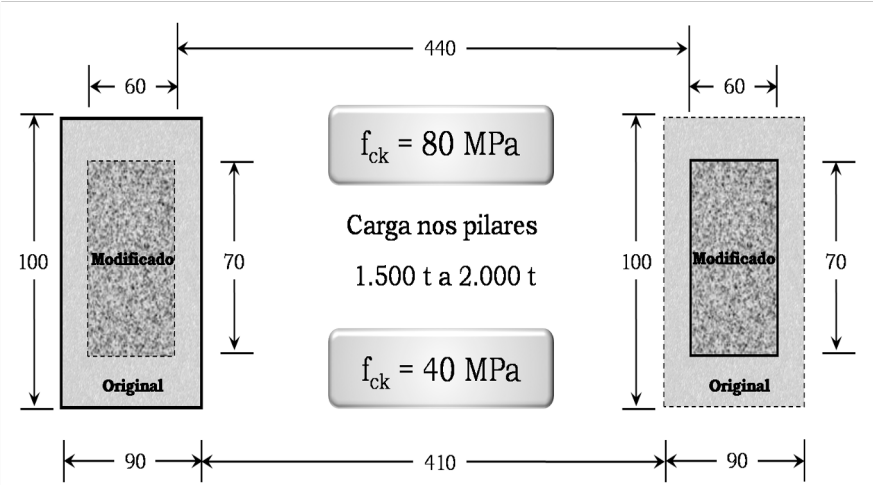


11

22º ENECE Escuela Nacional de Ingeniería y Consultoría Estrutural

25 ABECE

Projeto estrutural (e-Tower)



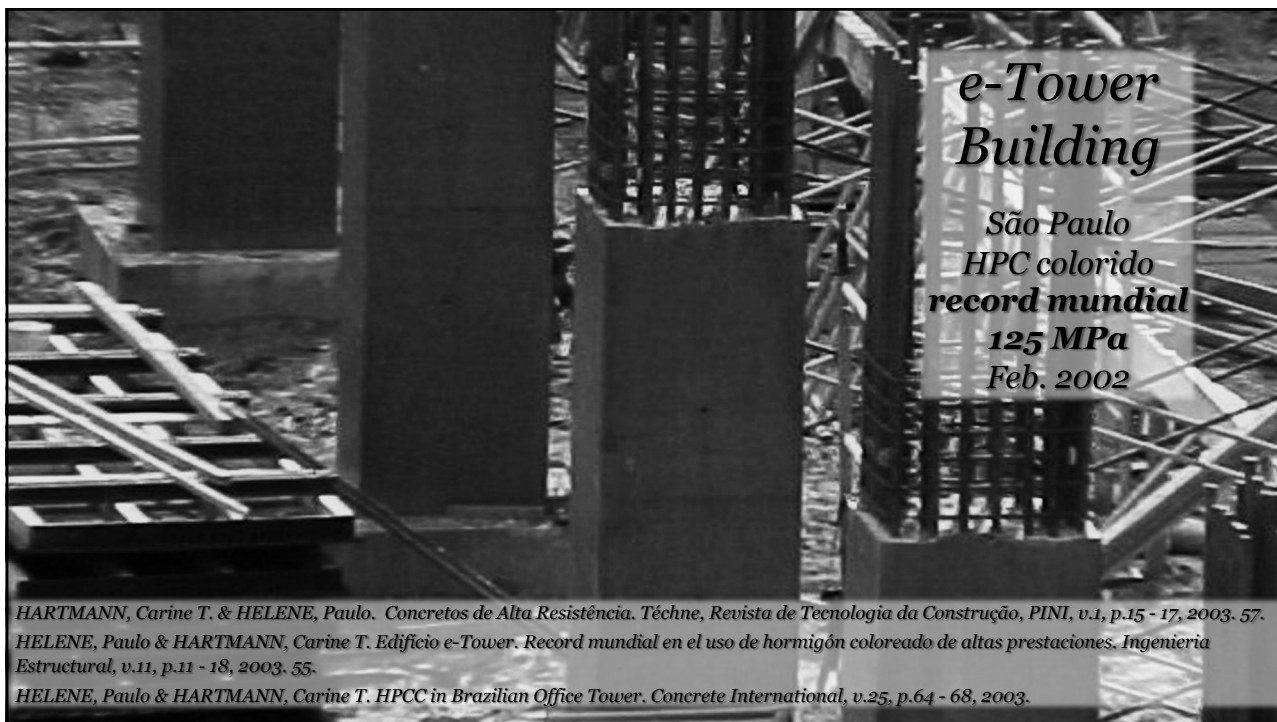
$f_{ck} = 80$ MPa

Carga nos pilares
1.500 t a 2.000 t

$f_{ck} = 40$ MPa

Medidas em cm

12



13


22º ENECE
Empresa Nacional
 de Engenharia e
 Construção Estrutural

25
ABECE



Construtibilidade ARMADURA

- ✓ Alta taxa de armadura 40 Ø 32 mm + luvas
- ✓ Cobrimento de 3 cm
- ✓ Reforço no cintamento por estribos e ganchos

14


		1/1
Cliente: Construtora Tecnum Obra: Edifício ETower – São Paulo - SP A/C Prof. Dr. Paulo Helene		
Determinação da resistência à compressão –NBR-5739/94		
RESULTADOS		
C. P. nº	Data da concretagem	Resistência à compressão (MPa)
33	24/05/2.002	149,9
35		151,8
<i>Data do ensaio : 18/10/05.</i>		
3a 4m 18d	São Paulo, 18 de outubro de 2.005	
1233 dias	DIVISÃO DE ENGENHARIA CIVIL Agrupamento de Materiais de Construção Civil Laboratório de Concreto	
	<i>DOCUMENTO EMITIDO ELETRÔNICAMENTE, DISPENSA ASSINATURA</i>	

15

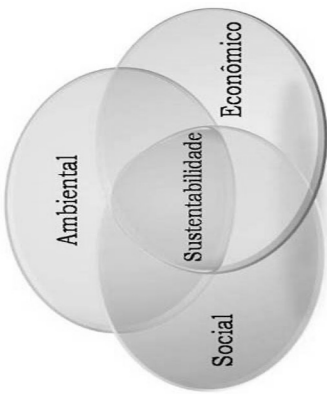
			
<i>Economia de Recursos Naturais</i>			
Original:			
$f_{ck} = 40\text{MPa}$			
secção transversal $\rightarrow 90\text{cm} \times 100\text{cm}$			
0,90m²			
HPC / HSC:			
$f_{ck} = 80\text{MPa}$			
secção transversal $\rightarrow 60\text{cm} \times 70\text{cm}$			
0,42m²			

16

22º ENECE Escuela Nacional de Ingeniería y Construcción Estandar




Sustentabilidad



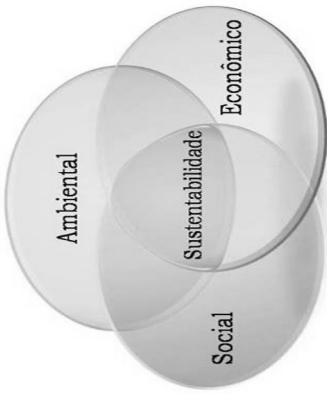
- **70% menos areia**
- **70% menos brita**
- **53% menos concreto**
- **53% menos água**
- **20% menos cimento**
- **31% menos área de fôrma**

17

22º ENECE Escuela Nacional de Ingeniería y Construcción Estandar



Sustentabilidad



- **43% menos aço**
- **16 vagas de garagem a mais**
- **vida útil 4 vezes superior**
- **desforma mais rápida**
- **desnecessária a cura**

18

Mito
HSC > 50MPa
consome muito cimento
por m³ e não é sustentável !

19

VERDADE
consome mais cimento por m³, mas o
volume de concreto necessário, a massa
de CO₂ emitida, o consumo de Energia e
de H₂O é muito reduzido com MPa alto

CO₂ / MPa Joule / MPa H₂O / MPa

kg cimento / MPa

20

Conceito de rendimento

Considerando apenas o consumo de cimento:

$$f_c \rightarrow 120 \text{ MPa} \rightarrow 4 \text{ kg/MPa}$$

$$f_c \rightarrow 40 \text{ MPa} \rightarrow 8 \text{ kg/MPa}$$

$$f_c \rightarrow 20 \text{ MPa} \rightarrow 12 \text{ kg/MPa}$$

21



**Nortis Incorporadora → São Paulo, Brasil
2019
Desenvolvimento Tecnológico: PhD**

22

22º ENECE Empresa Nacional de Engenharia e Consultoria Estrutural

125 ABECE



Leopoldo 1201

Projeto:
ÁVILA Engenharia de Estruturas

Altura: 100 m

Inauguração prevista → 2020

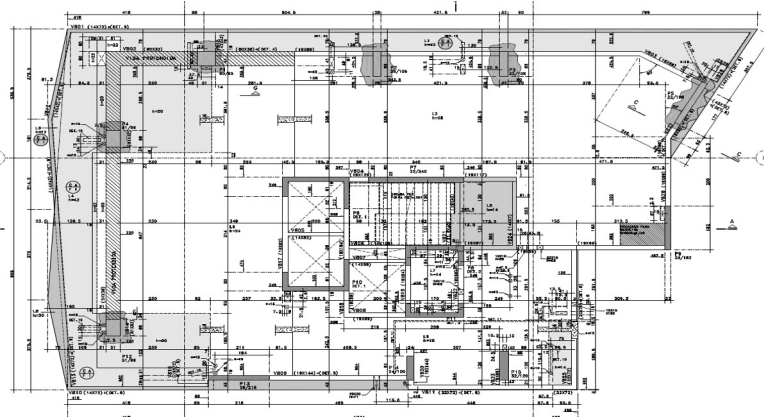
C90/105

23



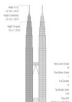
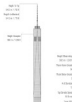
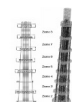
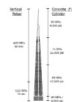
22º ENECE Empresa Nacional de Engenharia e Consultoria Estrutural

125 ABECE






- ✓ f_{ck} Pilares (< 6) = 90 MPa, cilindro (28 dias) otimizado 80, 70, 60, 50, 40 e 35 MPa
- ✓ f_{ck} vigas, lajes = 50/40/35 MPa, cilindro (28 dias)
- ✓ Módulo: $E_{ci,0,3} * f_c = 47 \text{ GPa (28 dias)}$



24

 			
Projetos Internacionais	f_{ck}	f_c'	idade
 Petronas Tower	C65/80		28 dias
 Burj Khalifa	C65/80		91 dias
 One World Trade Center	C80/95		56 dias
 Shanghai Tower	C58/70		28 dias
 Jeddah Tower	C85/100		91 dias

25

 			
Projetos Nacionais	f_{ck}	f_c'	idade
 CENU	C50/60		28 dias
 e-Tower	C80/95		28 dias
 Nortis - Leopoldo	C90/105		28 dias

26

Roberto Stark <stark.roberto@gmail.com> 23 de agosto de 2019 15:10
 Para: "Paulo.Helene" <paulo.helene@concretophd.com.br>

Paulo Helene,

Una disculpa por la tardanza en responder. Fui a San Antonio a dar una conferencia a la Universidad de Texas campus San Antonio y después tuvimos una reunión extraordinaria del ACI 369.

Estuve revisando los artículos que escribimos y no se menciona la edad a la que se recomienda aceptar la resistencia del concreto. Sin embargo, te puedo asegurar que así lo hicimos. 90 días para obtener la resistencia de diseño y 56 días para cumplir con el módulo de elasticidad de diseño.

Los concretos que utilizamos fueron:

Cimentación en general pilas y losa: $f_c = 450 \text{ kg/cm}^2$ o 45 Mpa
 Columnas y muros hasta el nivel 26: $f_c = 700 \text{ kg/cm}^2$ o 70 Mpa
 Columnas y muros hasta el nivel 40: $f_c = 600 \text{ kg/cm}^2$ o 60 MPa
 Columnas y muros hasta el nivel 69: $f_c = 500 \text{ kg/cm}^2$ o 50 MPa
 Losas hasta el nivel 26: $f_c = 500 \text{ Kg/cm}^2$ o 50 MPa
 Losas hasta el nivel 40: $f_c = 450 \text{ Kg/cm}^2$ o 45 MPa
 Losas hasta el nivel 69: $f_c = 350 \text{ kg/cm}^2$ o 35 MPa

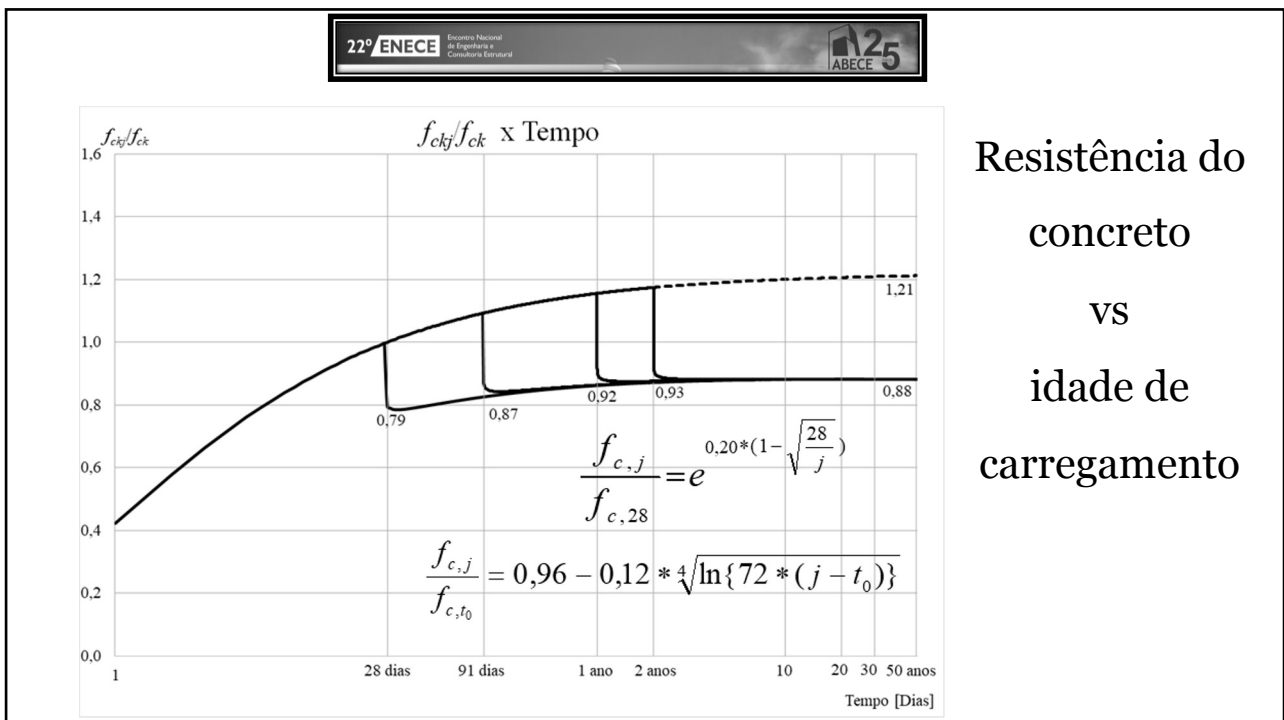
El módulo de elasticidad fue de 16,500 raíz cuadrada de f_c en kg/cm^2

Considero que edificios de más de 40 niveles ya pueden considerar concretos a los 91 días

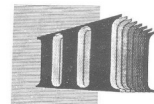
Saludos,
 Roberto

C70/85
 $E_{cs,0,45} * f_c = 43 \text{ GPa}$

27



28



**III Simposio EPUSP sobre Estruturas
de Concreto 1993
São Paulo. pag. 271-282**

**A RESISTÊNCIA DO CONCRETO SOB CARGA MANTIDA E A IDADE
DE ESTIMATIVA DA RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA**

HELENE, Paulo R. L.
Eng. Civil, Doutor em Engenharia, Prof. Associado EPUSP, C. Postal 61548, SP 05424-970,
BRASIL.

Resumo

A resistência do concreto na estrutura depende da idade a partir da qual os esforços solicitantes atingem níveis elevados. Com esforços solicitantes acima de 70% dos esforços resistentes e desde que as tensões de compressão no concreto também atinjam e permaneçam acima de 70 a 80% da resistência à compressão do concreto, deve-se levar em conta a redução da resistência à compressão do concreto, por efeito de carga mantida.

Esse fenômeno, também conhecido no país por efeito Rüsche, está considerado no atual método semi-probabilista de introdução da segurança no projeto estrutural, normalizado pela NBR 6118 de 1978, de uma maneira indireta e não explícita, através de um coeficiente "extra" de minoração da resistência à compressão do concreto, cujo valor é de 0,85 ou 0,80 segundo a natureza do esforço considerado.

Essa maneira indireta de introdução da segurança no projeto estrutural dá margem a diferentes interpretações desse coeficiente, principalmente associando-o ou não à data de estimativa da resistência característica do concreto à compressão.

Este trabalho apresenta uma contribuição no entendimento da resistência efetiva do concreto na estrutura, a partir da discussão do modelo proposto pelo "Model Code CEB/90", comparando-o com índices nacionais confiáveis de crescimento relativo da resistência à compressão do concreto com a idade.

Abstract

The strength of the concrete in a structure depends of the age at which the structure is loaded. With stresses from 70% to 80% of the compressive strength of the concrete it is necessary to take into account the effect of the creep.

This phenomenon is known in Brazil as Rüsche effect and considered in the semi-probabilistic structural design process adopted by the present Brazilian standard NBR 6118/78. However, this effect is not directly mentioned in the standard, but only presented as an extra reduction factor for the compressive strength of the concrete, which value is 0.80 or 0.85 (based on the type of the load).

This indirect way of safety approach in the structure design conducts to various hypothesis for the actual purpose of this factor including the age for the definition of the characteristic compressive strength of the concrete.

This paper discusses the effective strength of the concrete in a structure from the point of view of the "Model Code CEB/90" and makes comparisons with national data for Brazil.

29



$f_{ck,est}$ f_c'

amostragem e controle da
resistência à compressão
do concreto

30



Brasil: ABNT NBR 12655:2015

Concreto de cimento Portland. Preparo, controle, recebimento e aceitação

Europa: Eurocode II

EN 206-1:2013 Concrete: Specification, performance, production and conformity

USA: ACI 318-19

***Building Code Requirements for Structural Concrete
Chapter 26. Construction Documents and Inspection.
item 26.12. Concrete evaluation and acceptance***

31



Amostragem

ABNT NBR 12655	<ul style="list-style-type: none"> • a cada 8 m³!! 	
ACI 318-19	<ul style="list-style-type: none"> • \geq uma vez por dia de concretagem; • \geq uma vez por cada 115 m³ de concreto; • \geq uma vez por cada 465 m² de superfície de lajes ou muros; • dispensado o controle para volumes < 38 m³ 	
EN 206-1:2013	<ul style="list-style-type: none"> • \geq 3 amostras nos primeiros 50 m³; 	
	Produção inicial (até 35 resultados de ensaio disponíveis)	<ul style="list-style-type: none"> • \geq 1 amostra a cada 200 m³ ou a cada 3 dias de produção (concreto c/ certificação do controle de produção) • \geq 1 amostra a cada 150 m³ ou a cada dia de produção (concreto s/ certificação do controle de produção)
	Produção contínua (mais de 35 resultados de ensaio disponíveis)	<ul style="list-style-type: none"> • \geq 1 amostra a cada 400 m³ ou a cada 5 dias de produção ou a cada mês (concreto c/ certificação do controle de produção) • \geq 1 amostra a cada 150 m³ ou a cada dia de produção (concreto s/ certificação do controle de produção)

32



Critério de Aceitação

ABNT NBR 12655	<ul style="list-style-type: none"> $f_{ck,est} \geq f_{ck}$
ACI 318-19	<ul style="list-style-type: none"> $f_{ci} \geq f_{ck} - 3,5\text{MPa}$ para $f_{ck} < 35\text{MPa}$ $f_{ci} \geq 0,9 * f_{ck}$ para $f_{ck} > 35\text{MPa}$ $f_{cm3,est} \geq f_{ck}$
EN 206-1:2013	<ul style="list-style-type: none"> $f_{ci} \geq f_{ck} - 4$; $f_{cm,3,est} \geq f_{ck} + 4$ $f_{cm,15,est} \geq f_{ck} + 1,48 * \sigma$

33



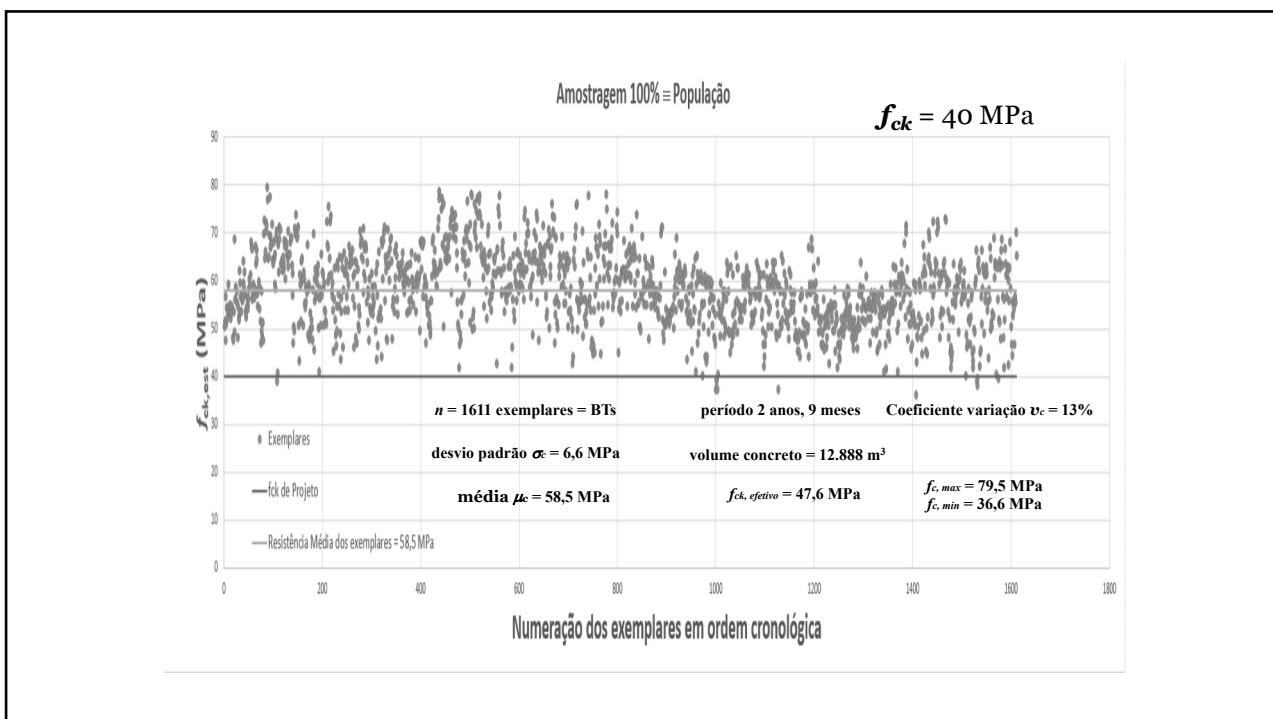
Conclusão

- ✓ O procedimento de controle adotado no Brasil é o mais rigoroso do mundo !
- ✓ Com amostragem total conhecemos toda a população em exame !
Mais segurança que isso impossível !
- ✓ Não aceitamos nenhum valor f_{ci} abaixo de f_{ck} enquanto outros países aceitam 3,5MPa, 4MPa ou mais (10%) abaixo de f_{ck}

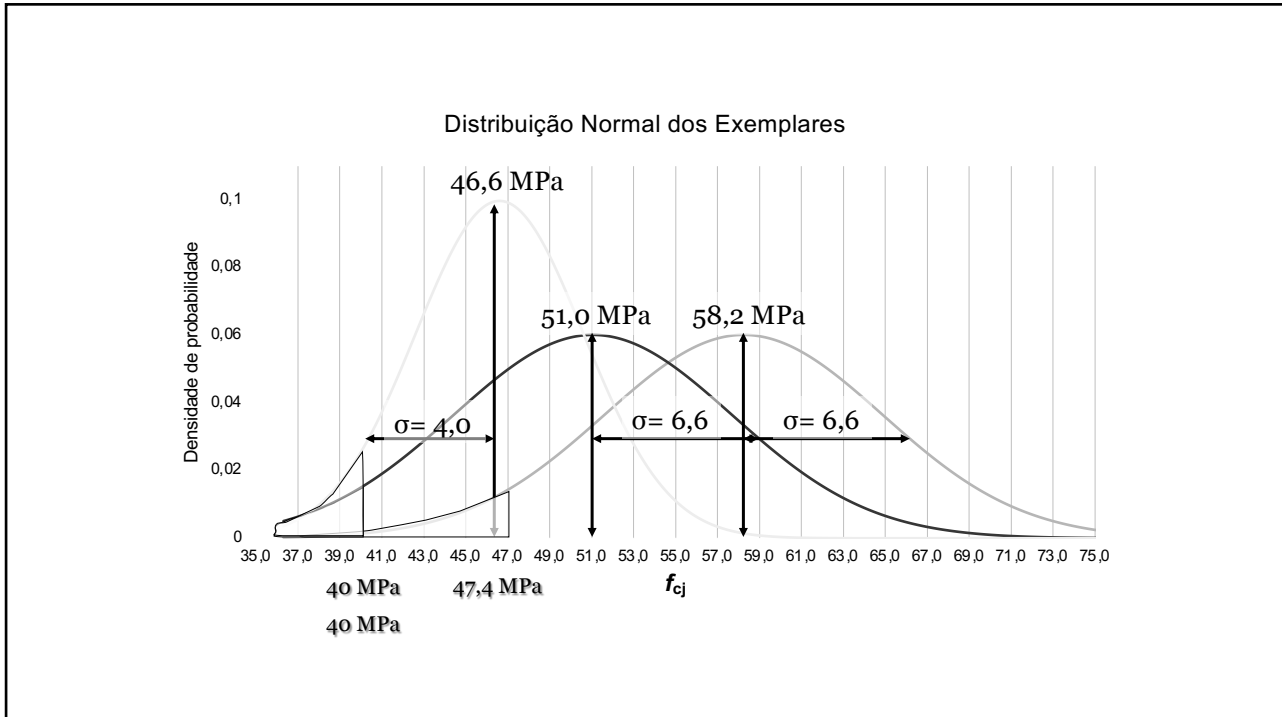
34



35



36



37



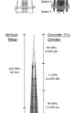
Módulo de Elasticidade

$$E_{ci,0,3*fc} \rightarrow \text{ABNT \& EN}$$






$$E_{c,0,45*fc} \rightarrow \text{ACI 318}$$

- B. Módulo de elasticidade
- Exemplos no exterior
 - Exemplos no Brasil
 - Conceitos controversos
 - Idade, amostragem e controle

38

 		
Projetos Internacionais	Módulo Projeto	Módulo Teórico
	Petronas Tower 37 GPa <i>(Ec, 0,45*fc)</i>	38 GPa <i>(ACI 318)</i>
	Burj Khalifa 43 GPa <i>(Ec, 0,45*fc)</i>	38 GPa <i>(ACI 318)</i>
	One World Trade Center 48 GPa <i>(Ec, 0,45*fc)</i>	42 GPa <i>(ACI 318)</i>
	Shanghai Tower 37 GPa <i>(Ec, 0,45*fc)</i>	37 GPa <i>(ACI 318)</i>
	Jeddah Tower 43 GPa <i>(Ec, 0,45*fc)</i>	43 GPa <i>(ACI 318)</i>

39

 		
Projetos Nacionais	Módulo Projeto	Módulo Teórico
	CENU 34 GPa <i>(Ecs, 0,4*fc)</i>	37 GPa <i>(NBR 6118, granito)</i>
	e-Tower 45 GPa <i>(Eci, 0,3*fc)</i>	45 GPa <i>(NBR 6118, granito)</i>
	Nortis - Leopoldo 47 GPa <i>(Eci, 0,3*fc)</i>	47 GPa <i>(NBR 6118, granito)</i>

40

Roberto Stark <stark.roberto@gmail.com>
 Para: "Paulo.Helene" <paulo.helene@concretophd.com.br>

23 de agosto de 2019 15:10

Paulo Helene,

Una disculpa por la tardanza en responder. Fui a San Antonio a dar una conferencia a la Universidad de Texas campus San Antonio y después tuvimos una reunión extraordinaria del ACI 369.

Estuve revisando los artículos que escribimos y no se menciona la edad a la que se recomienda aceptar la resistencia del concreto. Sin embargo, te puedo asegurar que así lo hicimos. 90 días para obtener la resistencia de diseño y **56 días para cumplir con el módulo de elasticidad de diseño.**

Los concretos que utilizamos fueron:

Cimentación en general pilas y losa: $f_c = 450 \text{ kg/cm}^2$ o 45 Mpa
 Columnas y muros hasta el nivel 26: $f_c = 700 \text{ kg/cm}^2$ o 70 Mpa
 Columnas y muros hasta el nivel 40: $f_c = 600 \text{ kg/cm}^2$ o 60 MPa
 Columnas y muros hasta el nivel 69: $f_c = 500 \text{ kg/cm}^2$ o 50 MPa
 Losas hasta el nivel 26: $f_c = 500 \text{ Kg/cm}^2$ o 50 MPa
 Losas hasta el nivel 40: $f_c = 450 \text{ Kg/cm}^2$ o 45 MPa
 Losas hasta el nivel 69: $f_c = 350 \text{ kg/cm}^2$ o 35 MPa

C70/85

$$E_{c,0,45*f_c} = 43 \text{ GPa}$$

El módulo de elasticidad fue de 16,500 raíz cuadrada de f_c en kg/cm^2

Considero que edificios de más de 40 niveles ya pueden considerar concretos a los 91 días

Saludos,

Roberto

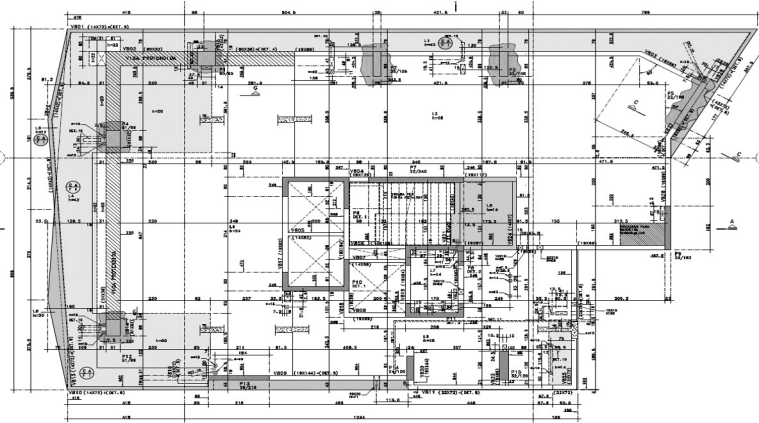
41



Construtora Nortis → São Paulo, Brasil 2019
Projeto: ÁVILA Engenharia de Estruturas
Desenvolvimento Tecnológico: PhD

42

- ✓ f_{ck} Pilares (< 6) = 90 MPa, cilindro (28 dias) optimizado 80, 70, 60, 50, 40 e 35 MPa
- ✓ f_{ck} vigas,lajes = 50/40/35 MPa, cilindro (28 dias)
- ✓ Módulo: $E_{ci,0,3} * f_c = 47 \text{ GPa (28 dias)}$



43



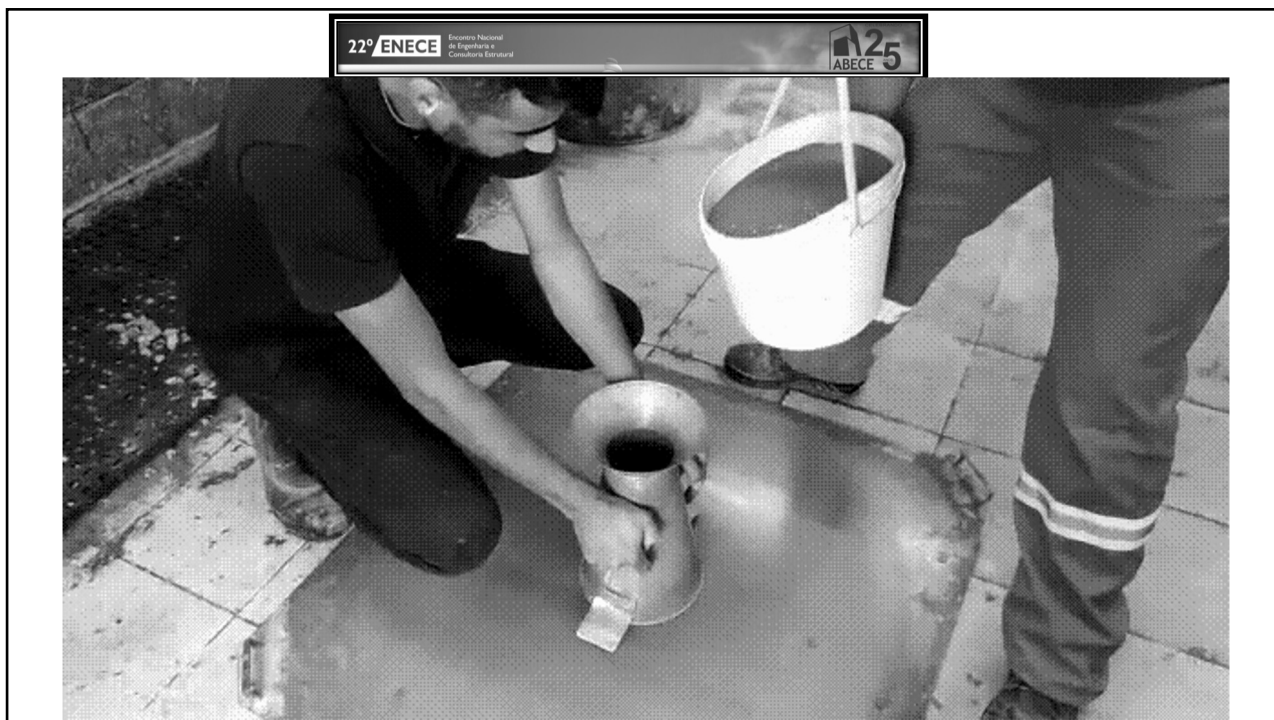
HSC/SCC → flow 80 cm – SF3

$f_{ck} = 90 \text{ MPa} \rightarrow f_{cm} > 105 \text{ MPa}$

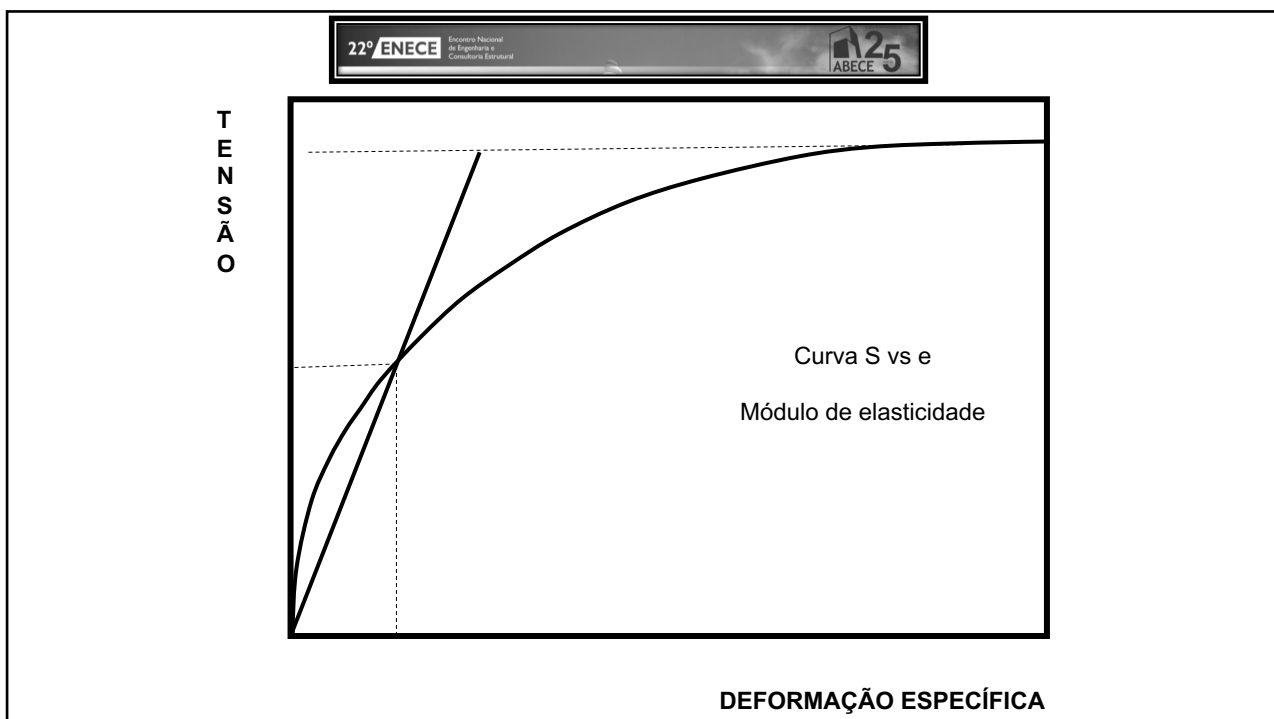
$a/c = 0,25 \rightarrow$ pigmentado

consumo água $< 175 \text{ L/m}^3$

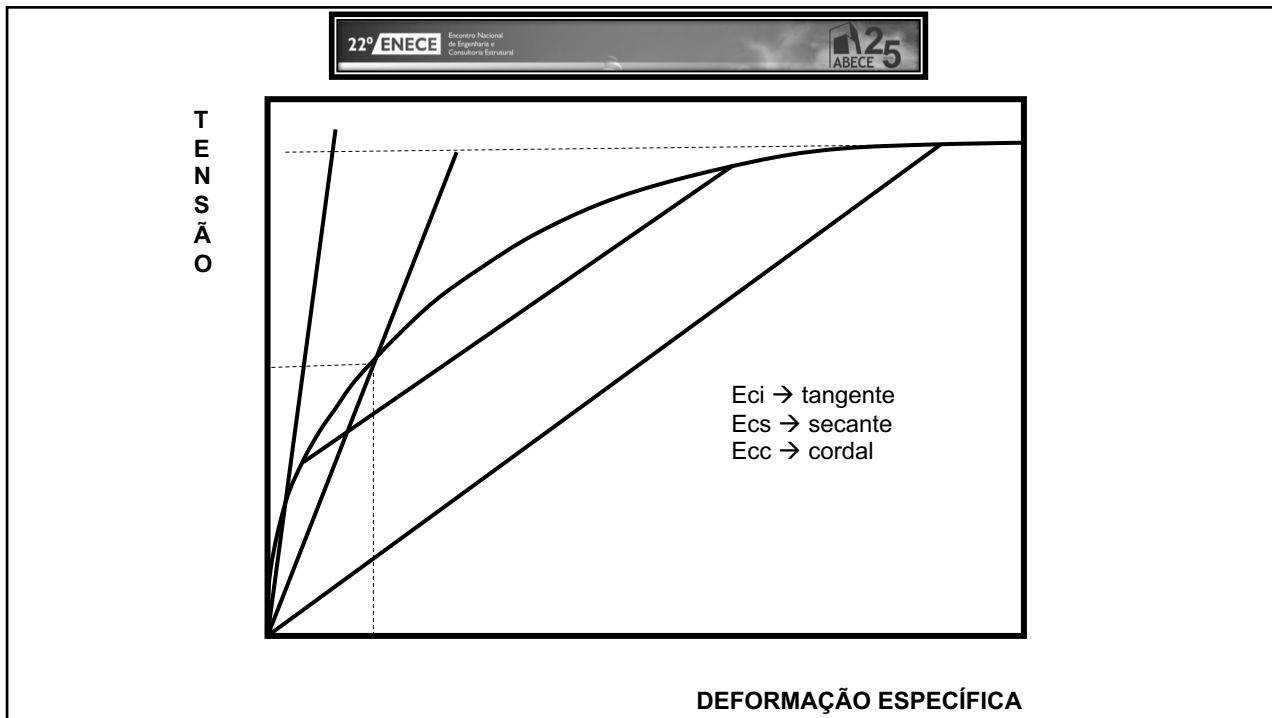
44



45



46



47

Definições

EUROCODE 2 item 1.6:

- E_c → tangent modulus of elasticity of normal weight concrete at a stress of $\sigma_c = 0$;
- $E_{c,eff}$ → effective modulus of elasticity of concrete (item 7.4.3);
- E_{cd} → design value of modulus of elasticity of concrete;
- E_{cm} → secant modulus of elasticity of concrete between $\sigma_c = 0$ and $0,4f_{cm}$;
- $E_c(t)$ → tangent modulus of elasticity of normal weight concrete at a stress of $\sigma_c = 0$ and at time t .

fib Model Code 2010 – Notations:

- E_c → modulus of elasticity for concrete;
- $E_{ci}(t_0)$ → tangent modulus of elasticity of concrete at the time of loading t_0 ;
- E_{ci} → tangent modulus of elasticity of concrete at an age of 28 days;
- $E_{ci}(t)$ → modulus of elasticity of concrete at an age $t \neq 28$ days;
- $E_{c,t}$ → secant modulus from the origin to the peak compressive stress (Table 5.1-8);
- $E_{c,imp}$ → modulus of elasticity of concrete for impact loading (item 5.1.11.2.4).

ACI 318-19 item 2.2:

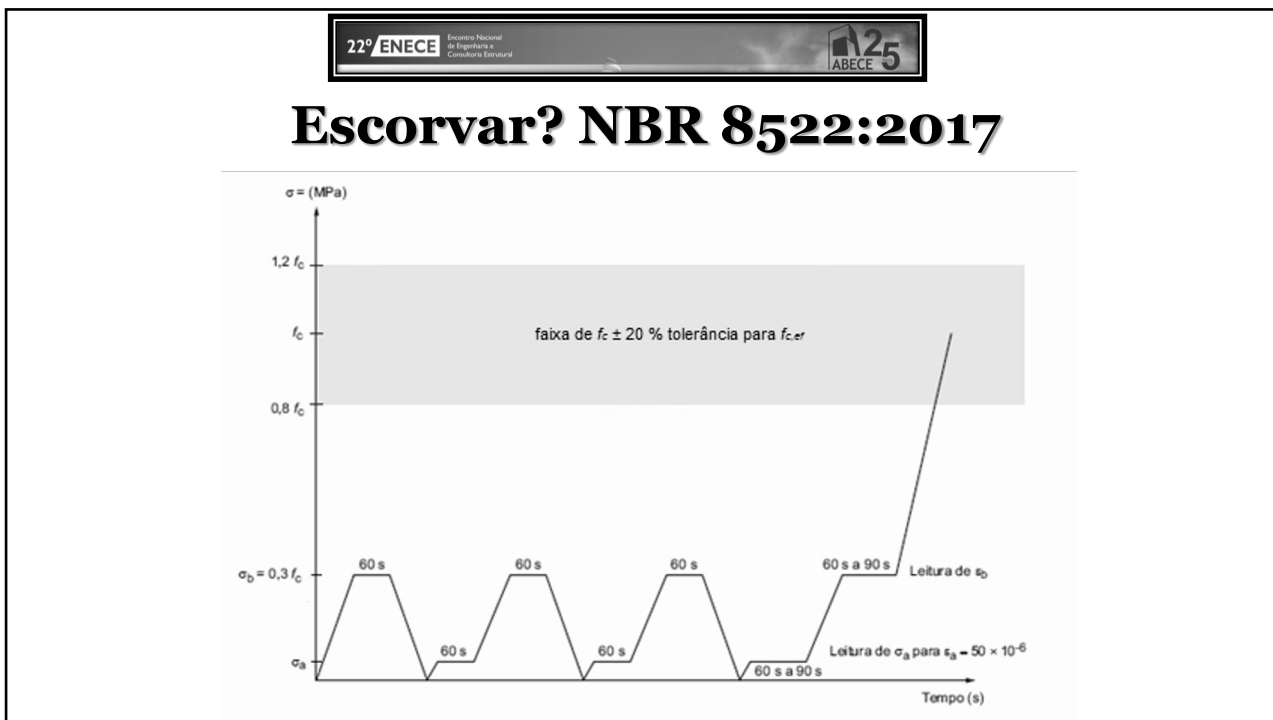
- E_c → modulus of elasticity of concrete;
- E_{cb} → modulus of elasticity of beam concrete;
- E_{cs} → modulus of elasticity of slab concrete.

* E_{cb} e E_{cs} são, respectivamente, o E_c do concreto da viga e do concreto da laje.



48



49





50

 		
Como estimar? (sem ensaio)		
NORMA	MÓDULO TANGENTE	MÓDULO SECANTE
ABNT NBR 6118:2014*	$E_{ci} = \alpha_E * 5600 * \sqrt{f_{ck}}$ para f_{ck} de 20MPa a 50MPa $E_{ci} = 21,5 * 10^3 * \alpha_E * \left(\frac{f_{ck}}{10} + 1,25\right)^{1/3}$ para f_{ck} de 55MPa a 90MPa	$E_{cs} = \alpha_t * E_{ci}$ $E_{cz} = \left[0,8 + 0,2 * \left(\frac{f_{ck}}{80}\right)\right] * E_{ci}$
fib MODEL CODE 2010*	$E_{ci} = 21,5 * 10^3 * \alpha_E * \left(\frac{f_{ck} + 8}{10}\right)^{1/3}$ $E_{ci}(t) = \left(e^{\left\{s * \left[1 - \left(\frac{28}{t}\right)^{0,5}\right]\right\}^{0,5}}\right) * E_{ci}$	$E_c = \alpha_t * E_{ci}$ $E_c = \left[0,8 + 0,2 * \left(\frac{f_{cm}}{88}\right)\right] * E_{ci}$

* $\alpha_E = 1,2$ para basalto e diabásio; $1,0$ para granito e gnaiss; $0,9$ para calcário e $0,7$ para arenito.

51

 		
Como estimar? (sem ensaio)		
NORMA	MÓDULO TANGENTE	MÓDULO SECANTE
ABNT NBR 6118:2014*	$E_{ci} = \alpha_E * 5600 * \sqrt{f_{ck}}$ para f_{ck} de 20MPa a 50MPa $E_{ci} = 21,5 * 10^3 * \alpha_E * \left(\frac{f_{ck}}{10} + 1,25\right)^{1/3}$ para f_{ck} de 55MPa a 90MPa	$E_{cs} = \alpha_t * E_{ci}$ $E_{cz} = \left[0,8 + 0,2 * \left(\frac{f_{ck}}{80}\right)\right] * E_{ci}$
ACI 318-19**	-	$E_c = 0,043 * \omega_c^{1,5} * f_c'^{1/2} \text{ (MPa)}$ para ω_c entre 1440 e 2560 kg/m ³ $E_c = 4732 * f_c'^{1/2} \text{ (MPa)}$ para concreto de massa especifica normal
EUROCODE 2	$E_c = 1,05 * E_{cm}$ $E_c(t) = 1,05 * \left(e^{\left\{s * \left[1 - \left(\frac{28}{t}\right)^{0,5}\right]\right\}^{0,3}}\right) * E_{cm}$	$E_{cm} = 22 * \left(\frac{f_{cm}}{10}\right)^{0,3} \text{ (} f_{cm} \text{ em MPa)}$ $E_{cd} = E_{cm}/1,2$

* $\alpha_E = 1,2$ para basalto e diabásio; $1,0$ para granito e gnaiss; $0,9$ para calcário e $0,7$ para arenito.
 **o item R19.2.2.1 traz a definição de E_c como a inclinação da reta traçada a partir da origem até a tensão de compressão de $0,45 * f_c$, sendo um pouco diferente do método de ensaio proposto na ASTM C469 onde E_c é ensaiado usando $0,40 * f_c$

52



ASPECTOS CONTROVERSOS

53



Tensão de referência para a medida do módulo

Norma	Tangente	Secante
ABNT NBR 8522:2017	$0,3 * f_c$	
Eurocode 2		$0,4 * f_{cm}$
<i>fib</i> Model Code 2010	$0,4 * f_{cm}$	
ACI 318-19 (ASTM C469-14)		$0,45 * f'_c$ ($0,4 f'_c$)

54



Comparação entre os modelos de previsão dos módulos de elasticidade

f_{ck} [MPa]	Módulo [GPa]							
	ABNT NBR 6118:2014		fib Model Code 2010		ACI 318:2019	Eurocode:2004		
	tangente E_{ci}	secante E_{cs}	tangente E_{ci}	secante $E_{c,i}$	secante E_c	tangente E_c	secante E_{cm}	cálculo E_{cd}
20	25,0	21,3	30,3	26,2	21,2	31,5	30,0	25,0
40	35,4	31,9	36,3	33,0	29,9	37,0	35,2	29,4
60	41,6	39,5	40,7	38,9	36,7	41,1	39,1	32,6
90	46,7	46,7	46,0	46,0	44,9	45,8	43,6	36,4

55



TOLERÂNCIA

→ ACI 318-2014 → $\pm 20\%$

→ ACI 318-2019 → remete HSC, SCC & SLC

56

CONSTRUTIBILIDADE

- A. Resistência à compressão do concreto
 - Exemplos no exterior
 - Exemplos no Brasil
 - Idade de controle
 - Amostragem e controle ABNT, ACI, EN
- B. Módulo de elasticidade
 - Exemplos no exterior
 - Exemplos no Brasil
 - Conceitos controversos
 - Idade, amostragem e controle
- C. Construtibilidade
 - C. Intersecção pilar/viga/laje
- D. Síntese / Recomendações

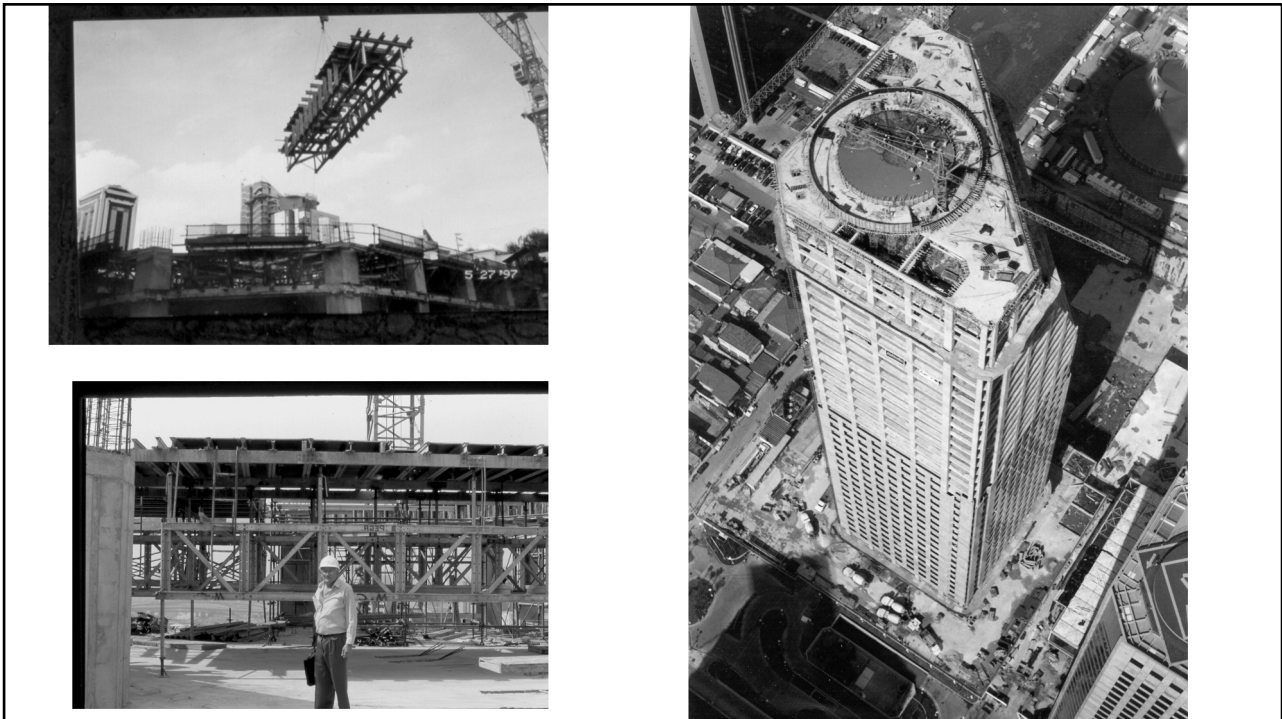
57

90 / 70**80 / 60****70 / 55****60 / 45****50 / 40****80 MPa****60 MPa****80 MPa***b → menor dimensão do pilar*

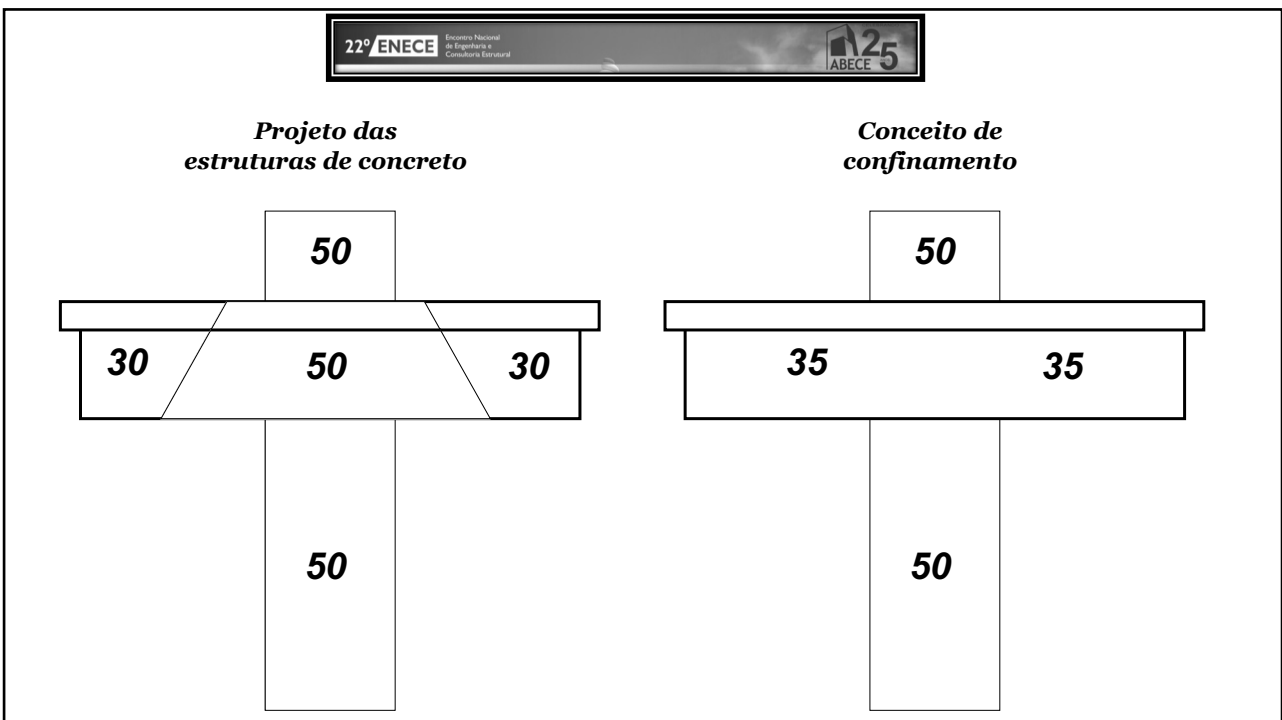
$$h < 4 \cdot b \text{ cm}$$

- ✓ Economia fôrma
- ✓ Liberdade para o usuário
- ✓ Permite mesa voadora
- ✓ Produtividade

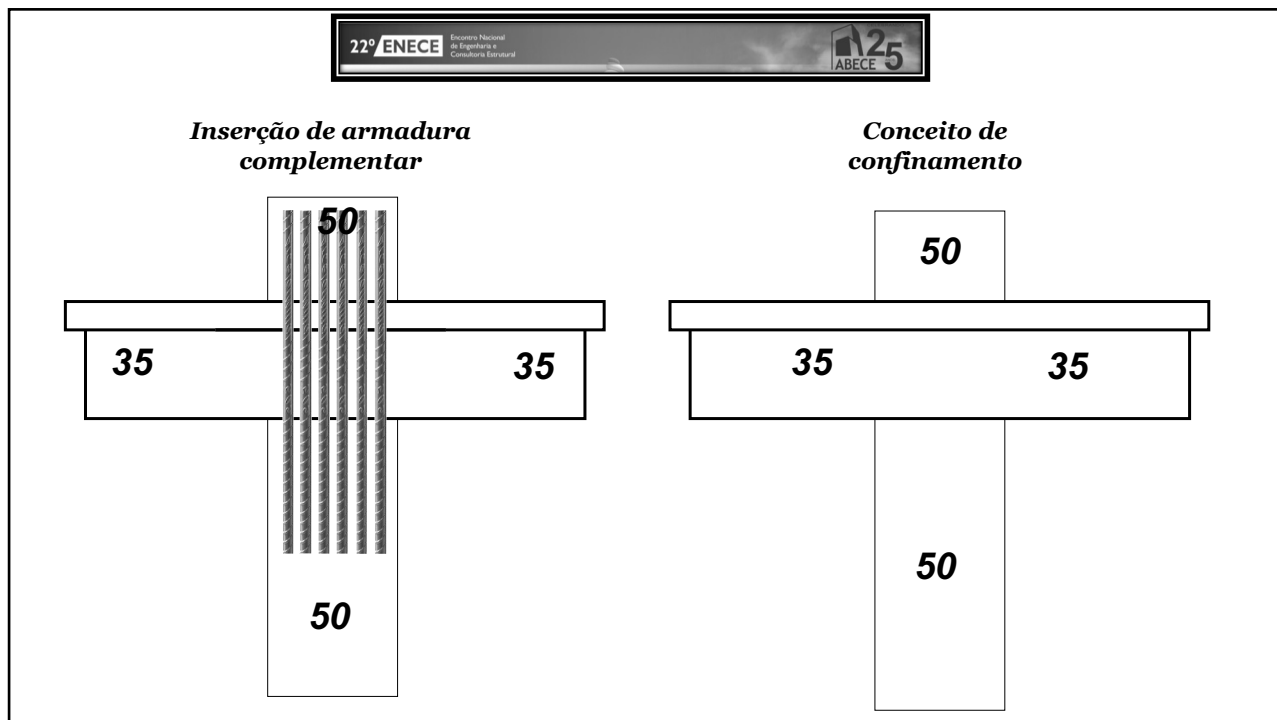
58



59



60



61

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO CONFINADO

Leonel Tula¹; Paulo Helene²; Nelson Diaz³; Antônio Bortolucci⁴

¹ Pesquisador Dr. ² Prof. Titular - Departamento de Engenharia de Construção Civil, USP.
³ MSc. Doutorando USP - Fac. Ing. Civil, Instituto Politécnico José A. Echevarria, Havana.
⁴ Prof. Dr. - Departamento de Geotecnia, EESC, USP.

Resumo

O aumento da resistência à compressão do concreto em condição de confinamento é raramente considerado nos projetos de estruturas de concreto armado. É o caso, por exemplo, dos cruzamentos de pilares de concreto de alta resistência e lajes de concreto de resistência normal, em que são adotados procedimentos de baixa produtividade para dar continuidade aos pilares. Embora existam já recomendações de alguns autores e normas técnicas, não se dispõe ainda de modelos suficientemente esclarecedores, questão que se deve, principalmente, à pouca quantidade de trabalhos que tratem do assunto. Entre os ensaios programados neste estudo esteve o de compressão em câmara triaxial, e os corpos-de-prova de concreto não foram armados como em algumas das pesquisas relatadas na bibliografia sobre o tema. A condição de confinamento neste caso foi obtida também em ensaio axial, utilizando modelo de conjunto, composto de pilar cilíndrico ($f_{ck} = 60$ MPa) interceptado por laje plana ($f_{ck} = 30$ MPa). Foi determinada a contribuição das lajes para o confinamento do concreto na região da intercepção. O maior confinamento com o aumento da espessura da laje pode ser explicado pelo alívio das tensões internas, distribuídas numa área maior. Foi possível também quantificar o efeito de confinamento das lajes correlacionando os resultados dos ensaios de compressão axial e triaxial, obtendo-se resultados promissores de até 2 vezes a resistência do concreto não confinado.

Introdução


A resistência a compressão do concreto tem-se consagrado como a propriedade mais abrangente deste material, relacionada direta ou indiretamente aos requisitos de desempenho

2000
 HELENE, Paulo, TULA, Leonel S., DÍAZ, Nelson B.
 Resistência à Compressão do Concreto Confinado
 42º Congresso Brasileiro do Concreto, 2000, Fortaleza,
 13-18 Agosto. IBRACON I-B-041


Figura 2. Geometria e detalhes dos corpos-de-prova das Séries I e II.

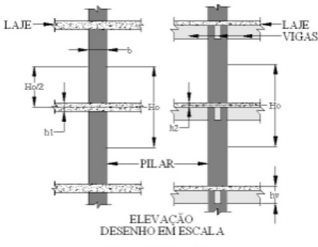
Foto 1. Corpos-de-prova do ensaio de compressão axial. Modelos físicos.

62



Escola Nacional de Engenharia e Construção Estrutural





ELEVACÃO
DESENHO EM ESCALA

Figura 1.2 Protótipo

CRISTIANA FURLAN CAPORRINO

CONFINAMENTO DADO POR LAJES E VIGAS MELHORANDO A RESISTÊNCIA DO PILAR QUE AS CRUZA

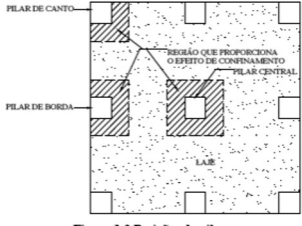


Figura 1.3 Posições de pilares

O objetivo principal é analisar até quanto o efeito do confinamento é capaz de compensar a diferença de resistência dos concretos na interface pilar-laje, considerando-se os casos de um pilar central, caso mais favorável de confinamento, e pilar de canto, no qual estudaram-se algumas soluções para melhorar o confinamento.

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do Título de Mestre em Engenharia

Área de Concentração:
Engenharia de Estruturas

Orientador:
Prof. Doutor Fernando Rebouças Senechi

São Paulo
2007

2007

63

Technical Paper

Tadeusz Stanislaw Urban
Michał Marcin Goldyn*

2014

DOI: 10.1002/suco.201400114

Behaviour of eccentrically loaded high-strength concrete columns intersected by lower-strength concrete slabs

This paper presents the results of experimental investigations of high-strength concrete edge and corner columns intersected by concrete slabs. The effect of the intersection by weaker slab concrete on the load-carrying capacities of reinforced concrete columns is investigated. The only parameter considered was the location of the column with respect to the edge of the slab. It is stated that providing a small slab overhang beyond the column edge makes it possible to increase the actual strength of the joint concrete significantly. The results of the authors' research clearly demonstrate that providing a sufficiently large slab overhang allows the designer to treat edge and corner column-slab connection joints in the same way as internal joints. Existing code provisions concerning strength of concrete in edge and corner column-slab connection joints are in some cases too conservative and require clarification.

Keywords: effective concrete strength, high-strength concrete, confined concrete, slab overhang, edge columns, corner columns, partially loaded areas, unbalanced bending moments, code provisions

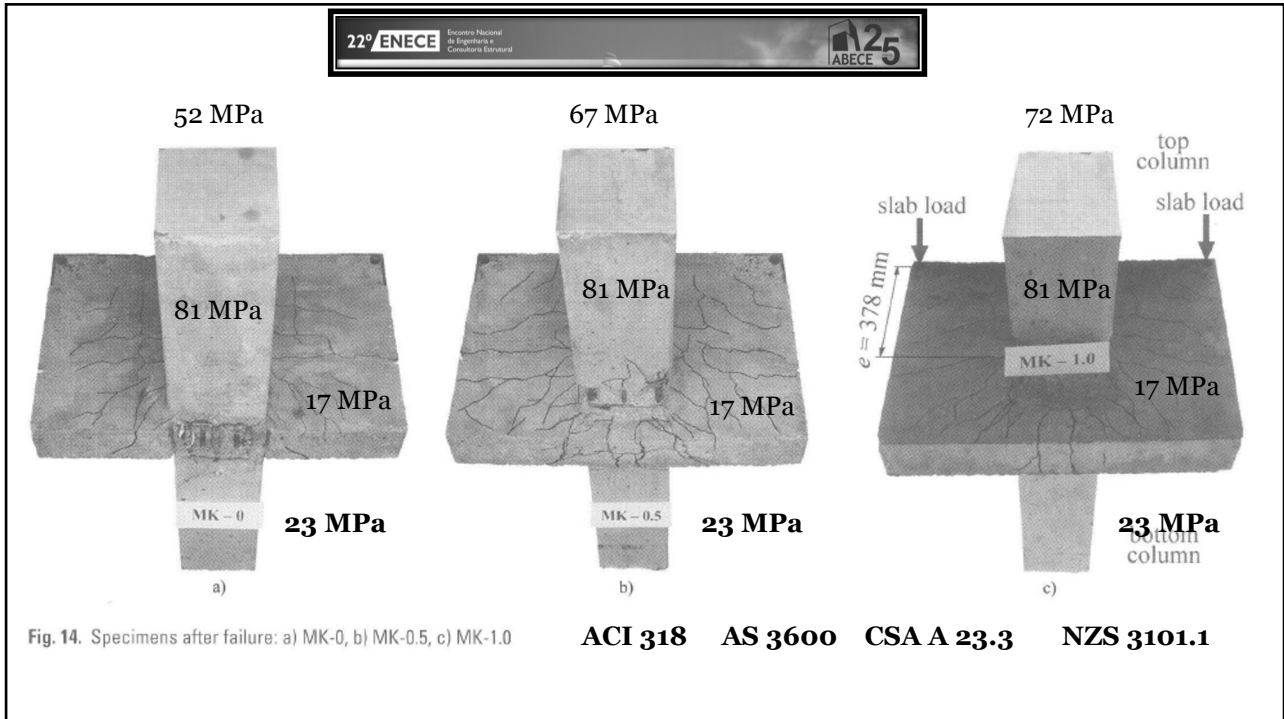
to the low bulk density, which allows a significant reduction in the weight of the structure.

The solution, which consists of making main structural elements from different types of concrete, is extremely beneficial from the economic point of view. However, this causes significant problems in designing and constructing within the column-slab connection joints because of contact with the concrete of various strength parameters. Notwithstanding, so far the significance of the issue presented here has not been included in any previous or existing European code provisions. This issue has, however, been broached in the following standards: the American ACI 318-11 [1], Australian AS 3600-2001 [2], Canadian CSA A23.3-04 [3] and New Zealand's NZS 3101.1-2006 [4]. However, the regulations that these standards contain are quite brief and refer mainly to internal column-slab connections where the joint concrete is surrounded on all sides by a slab.

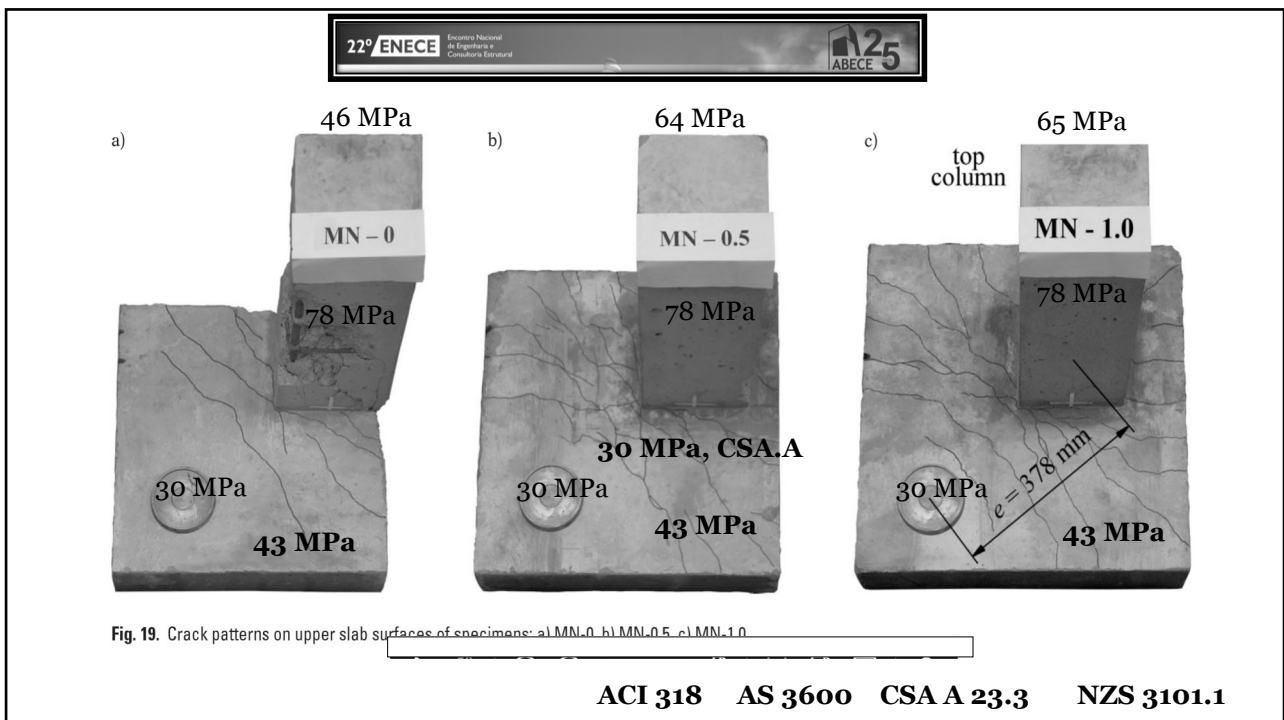
480

© 2015 Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin - Structural Concrete 16 (2015), No. 4

64



65



66



Síntese Recomendações

- A. Resistência à compressão do concreto
 - Exemplos no exterior
 - Exemplos no Brasil
 - Idade de controle
 - Amostragem e controle ABNT, ACI, EN
- B. Módulo de elasticidade
 - Exemplos no exterior
 - Exemplos no Brasil
 - Conceitos controversos
 - Idade, amostragem e controle
- C. Construtibilidade
 - C. Intersecção pilar/viga/laje
- D. Síntese / Recomendações

67





Concreto Estrutural para Edifícios Altos

- Construtível, produtividade, robustez
- Adensar sem segregar nem exsudar
- Altas resistências a baixa idade para rapidez
- Altas resistências a 91 dias de idade
- Elevada vida útil de projeto, acima de 200 anos
- Dispensar cura em pilares e vigas
- Adequado a ambientes severos ou de baixa agressividade
- Baixa retração
- Sustentável

68

 			
Especificação para concretos destinados a edifícios altos concreto fresco			
Propriedade	Ensaio USA	Ensaio Brasil	Especificação
Resistência a compressão	ASTM C 192 / 39	ABNT NBR 5738 / 5739	50 MPa a 90 MPa
Consumo de água / m ³	<i>dosagem/traço</i>	<i>dosagem/traço</i>	< 175 L / m ³
Relação água/aglomerantes	<i>dosagem/traço</i>	<i>dosagem/traço</i>	< 0,40 em massa
Consistência fluida	ASTM C 143	ABNT NM 67	S220 IEV zero
Auto Adensável	ASTM C 1611	ABNT NBR 15823	SF2 ou SF3 IEV zero
Adições	<i>cinza volante, escória</i>	<i>sílica ativa, metacaulim</i>	> 30% do clínquer
Consumo clínquer	<i>dosagem/traço</i>	<i>dosagem/traço</i>	< 5 kg / MPa
Cura úmida	<i>fiscalização</i>	<i>fiscalização</i>	até > 20 MPa

69

 			
Concreto Estrutural para Edifícios Altos concreto endurecido			
Propriedade	Ensaio USA	Ensaio Brasil	Especificação
Resistência a compressão	ASTM C 192 / 39	ABNT NBR 5738 / 5739	50 MPa a 90 MPa, pilares
Resistência a compressão	ASTM C 192 / 39	ABNT NBR 5738 / 5739	35 MPa a 65 MPa, lajes/vigas
Resistência a compressão	ASTM C 192 / 39	ABNT NBR 5738 / 5739	40 MPa a 65 MPa, fundações
Idade de controle	<i>dosagem</i>	<i>dosagem</i>	28 a 91 dias
Módulo de elasticidade	ASTM C 469	ABNT NBR 8522	> 35 GPa, 56 dias
Retração total	ASTM C 157	ABNT NM 131	< 0,0005 m / m, 28 dias
Absorção de água	ASTM C 642	ABNT NBR 9778	< 5% da massa total, 56 dias
Penetração de cloretos	ASTM C 1202	nihil	< 1.000 Coulombs
Coefficiente carbonatação	nihil	CT 702	< 1,2 mm / \sqrt{ano} , 91 dias

70



Na encomenda do concreto

f_{ck}	→ > 40 MPa
Idade	→ 28, 56, 63 ou 91 dias
Consistência	→ S220 ou SF2 ou SF3
	→ IEV zero
$D_{máx}$	→ < 19 mm
Temperatura	→ < 18° C

IEV índice de estabilidade visual

71



Concreto para Edifícios Altos

1. Cimento com 70% (de escória + cinza volante + sílica + metacaulim)
2. Fundação: 40 MPa a 65 MPa, 91 dias de idade consumo de clínquer <120 kg/m³
3. Pilares: 50 a 90 MPa, a 91 dias de idade, consumo de clínquer de 150 kg/m³
4. Lajes e vigas armadas: 40 MPa a 28 dias de idade, consumo de clínquer de 210 kg/m³
5. Lajes e vigas protendidas: 45 MPa a 28 dias de idade, consumo de clínquer de 250 kg/m³

72

Muito Obrigado !

