

*Coloquio Internacional de Patología  
y Control de Calidad en las Construcciones*

Argentina Brasil Cuba España Mexico Paraguay Venezuela

**CAD.HPC Brasil**  
**“Projeto, Pesquisa,  
Construção e Recordes”**

**Paulo Helene**

*Civil Eng., MSc, PhD, Full Professor, University of São Paulo  
Deputy Chairman of fib (CEB-FIP) Commission 5 "Structural Service Life Aspects"  
Chairman of REHABILITAR Network CYTED  
Director of GLARilem  
IBRACON Conseil Director*

Paraguay

Asunción, 31 de Marzo a 03 de Abril de 2003

ALCONPAT

1



**Red REHABILITAR**

**Red XV.F**

**Programa XV**

**Corrosión e Impacto Ambiental sobre los Materiales**

**CYTED**

**Ciencia y Tecnología para el Desarrollo**

**15 países**

**más de 45 expertos**

**Manual de Rehabilitación de Estructuras  
(Reparación, Refuerzo y Protección)**

**[www.rehabilitar.pcc.usp.br](http://www.rehabilitar.pcc.usp.br)**

2



**Universidade de São Paulo**  
**Escola Politécnica**  
**Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil**  
**Maestría y Doctorado**  
**Materiales, Construcción, Estructuras, Medio**  
**Ambiente, Cimentaciones, Urbanización, Gestión**  
**Economica y de Producción**

**[www.poli.usp.br](http://www.poli.usp.br)**  
**[www.pcc.usp.br](http://www.pcc.usp.br)**

3

**CONVITE**  
**COLLOQUIA 2003**  
**50 anos da Escola de Engenharia**  
**de São Carlos, USP, SP**

**14, 15 e 16 de Maio 2003**

**[www.eesc.usp.br](http://www.eesc.usp.br) COLLOQUIA2003**  
**Prof. Jefferson**  
**[liborioj@sc.usp.br](mailto:liborioj@sc.usp.br)**

4

**CONVITE  
COLLOQUIA 2003**

**Petronas Tower  
World Trade Center  
Programa de Manutenção de  
Pontes México  
Obras à Prova de Mísseis  
Vida Útil  
Avanço nas Pesquisa  
Concretos Fluidos**

5



6



7



8



9



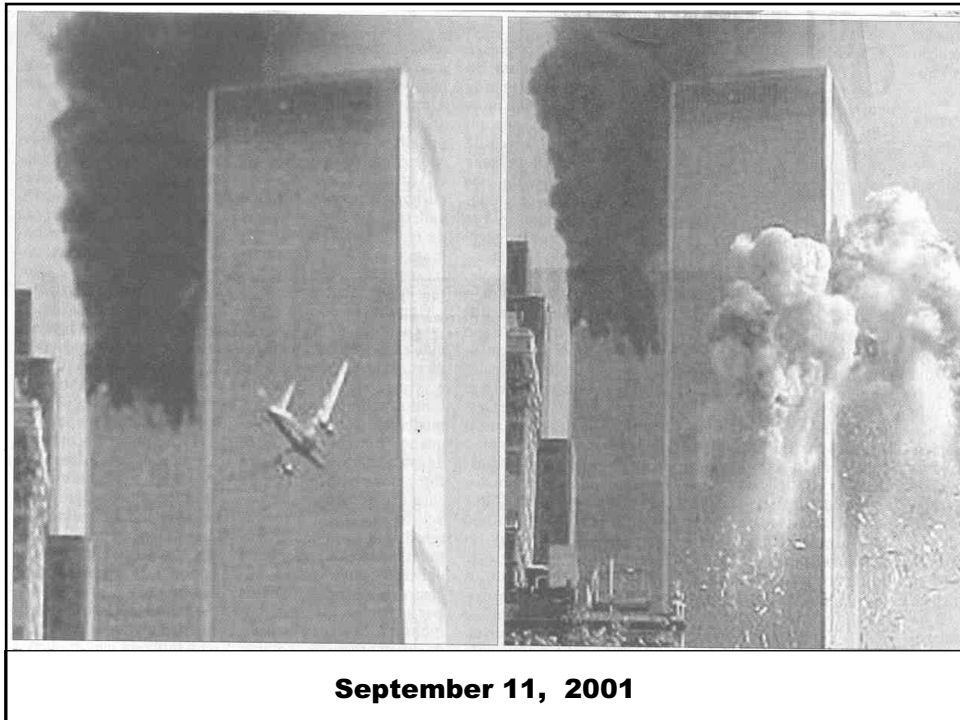
10



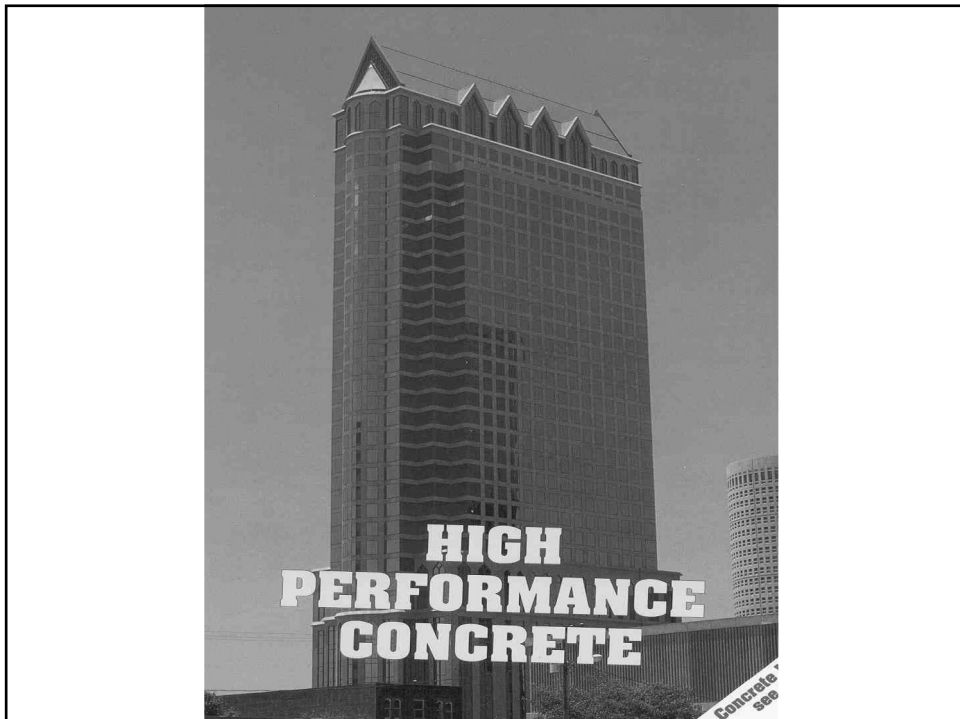
11



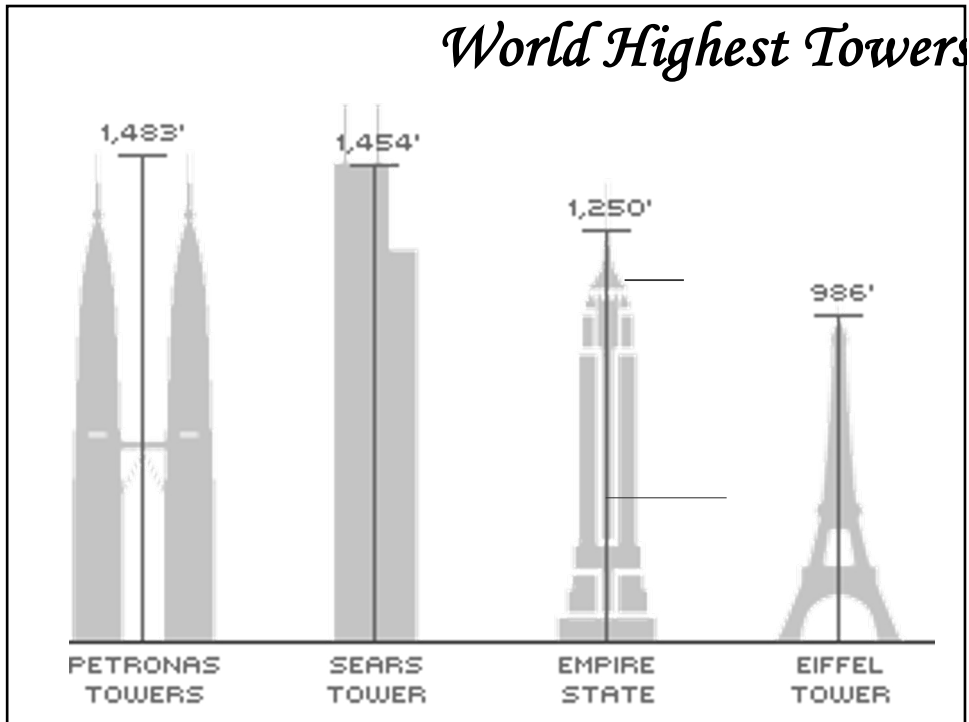
12



13



14



15



**Petronas Towers**

**Kuala Lumpur**

**Malásia 1999**

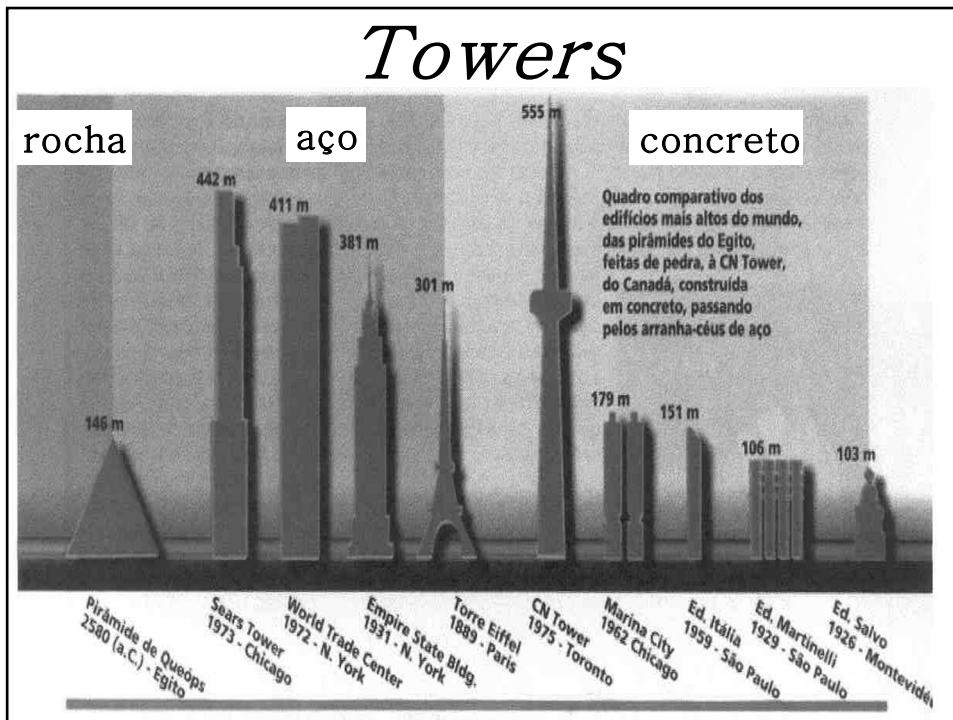
**Altura 452 m**

**$f_{ck} = 65 \text{ MPa}$   
*cilindro***

*record mundial*

16





17



**Salvo Palace  
Tower**

**Montevideo**

**Uruguay 1926**

**Altura 103 m**

**$f_{ck} = ?$**

*record mundial*

18

**O início dos arranhacéus na  
idade contemporânea foi em  
1890 com a construção do  
edifício Wainwright  
Chicago, USA.**

***Conhecido Escola de Chicago***

**Projetista  
Arquiteto Louis Henry Sullivan**

19

***Genesis, 11.4***

**O Povo de Deus disse:**

**“ Vamos construir uma cidade e uma Torre  
que alcance o Paraíso e deixe gravado  
nosso nome na história antes de que  
sejamos espalhados por toda a face da  
Terra”**

20

**Torre de Babel**

**Iraque 580 A.C.**

**Arquiteto Ninrode**

**Jardins Suspensos da Babilonia  
*sobre colunas de 100m*  
Nabucodonosor & Anitis**

21



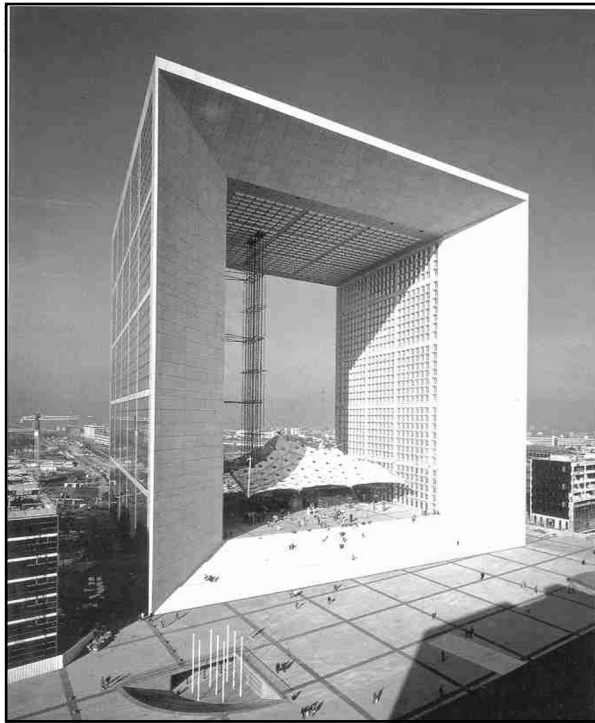
22



23

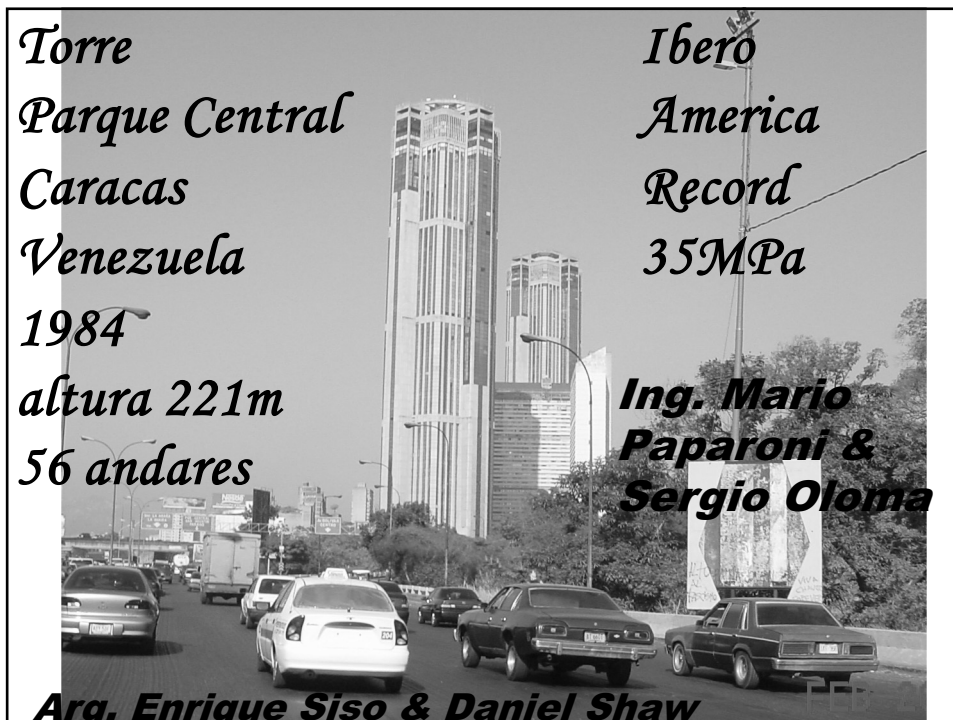


24



**Grand Arch**  
**La Defense**  
**Paris**  
**França 1990**  
 **$f_{ck} = 60 \text{ MPa}$**   
**“high-tech style”**

25



*Torre*  
*Parque Central*  
*Caracas*  
*Venezuela*  
*1984*  
*altura 221m*  
*56 andares*

*Ibero*  
*America*  
*Record*  
*35MPa*

*Ing. Mario*  
*Paparoni &*  
*Sergio Oloma*

**Arq. Enrique Siso & Daniel Shaw**

26

*Los concretos que se usaron en su mayoría fueron diseños para 350 kgf/cm<sup>2</sup>, hubo muchos problemas en los vaciados de pantallas sobre todo en las de menor espesor (20 cm), en los sitios con cambios de sección, donde se requería mayor cantidad de acero de refuerzo, y en los que el concreto no lograba pasar entre las barras, hubo que realizar gran número de reparaciones con el empleo de adhesivos epóxicos.*

*(Tiago)*



27

***satisfação espiritual mas também atender às necessidades atuais***

- **Segurança estrutural**
- **Vida Útil**
- **Construtibilidade**
- **Economia**
- **Sustentabilidade**

28



## **Martinelli Building**

**São Paulo**

**Brasil 1928**

**Altura 106 m**

**$f_{ck} = 13.5$  MPa**

*1928*

29



## **Martinelli Building**

**$f_{ck} = 13.5$  MPa**

**75 anos!!!**

**HPC ???**

30



# Vida Útil

- Carbonatação
- Cloretos
- Fuligem
- Fungos
- Lixiviação
- Retração
- Sulfatos
- << pH
- Corrosão
- Fissuras
- Destacamento

31

## Cloretos - difusão

$$t = \frac{c_{Cl}^2}{4 \cdot z^2 \cdot D_{ef,Cl}^{1/2}} \text{ (anos)}$$

$$c_{Cl} \rightarrow 1 \text{ a } 5 \text{ cm}$$

$$D_{ef,Cl} \rightarrow 0,15 \text{ a } 2,7 \text{ cm}^2/\text{ano}$$

32



# Cloretos - difusão

$$e = 2,0 \text{ cm}$$

$$f_{ck} = 15 \text{ MPa} \rightarrow t = 4 \text{ anos}$$

$$f_{ck} = 50 \text{ MPa} \rightarrow t = 150 \text{ anos}$$

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa} \rightarrow t = 23 \text{ anos}$$

33

# Carbonatação

$$t = \frac{e_{co2}^2 \text{ (anosr)}}{k_{co2}^2}$$

➤  $e_{co2} \rightarrow 1 \text{ a } 5 \text{ cm}$

➤  $k_{co2} \rightarrow 0.1 \text{ a } 1.0 \text{ cm/ano}^{1/2}$

34

# Carbonatação

$$e = 2,0 \text{ cm}$$

$$f_{ck} = 15 \text{ MPa} \rightarrow t = 8 \text{ anos}$$

$$f_{ck} = 50 \text{ MPa} \rightarrow t = 350 \text{ anos}$$

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa} \rightarrow t = 38 \text{ anos}$$

35



**Centro  
Empresarial  
Nações  
Unidas**

**Torre Norte**

**São Paulo  
1998**

**Altura 179 m**

**$f_{ck} = 50 \text{ MPa}$**

36





39

## **PLAZA CONTINENTAL São Paulo Brasil**

- **Caesar ark Hotel**
- **Apart Hotel**
- **Torre de escritórios**
- **Academia de Ginástica**

40

## **Plaza Continental**

**altura 100m**

**12 meses 34,000 m<sup>3</sup>**

**pilares  $f_{ck} = 50$  MPa**

**lajes e vigas  $f_{ck} = 35$  MPa**

41

## **Por quê HPC. CAD?**

***Comparando com  $f_{ck} = 25$  MPa***

<b>▼ armadura:</b>	<b>- 13%</b>
<b>▼ concreto:</b>	<b>- 19%</b>
<b>▼ produtividade:</b>	<b>- 9%</b>
<b>▼ custo estrutura:</b>	<b>- 9%</b>
<b>▼ Economia:</b>	
<b>▼ US \$ 270,000</b>	

42



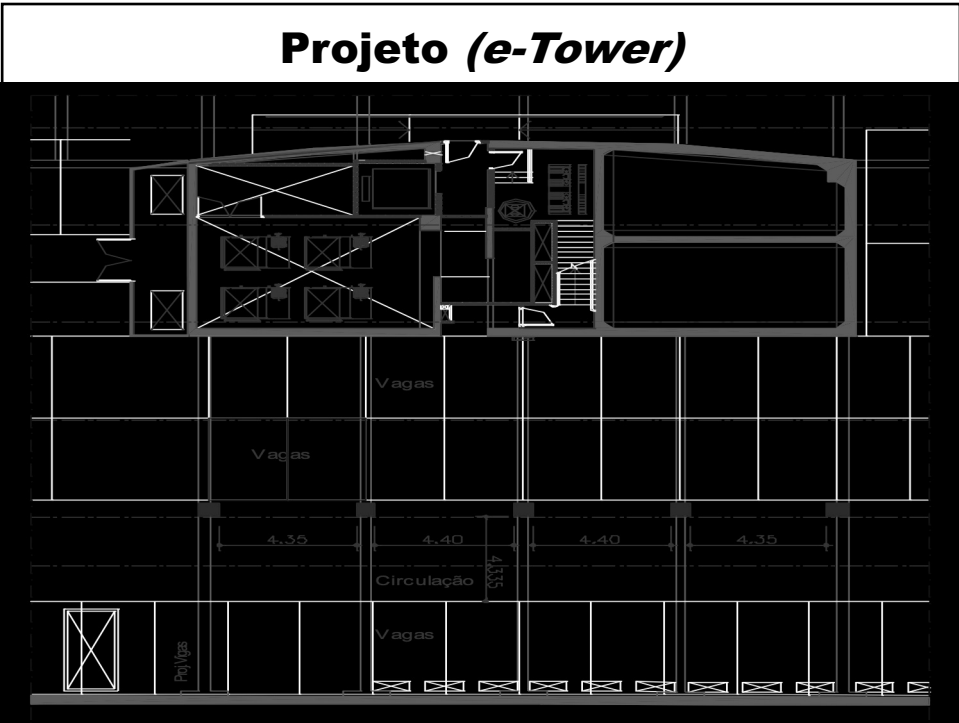
43

## *e-Tower*

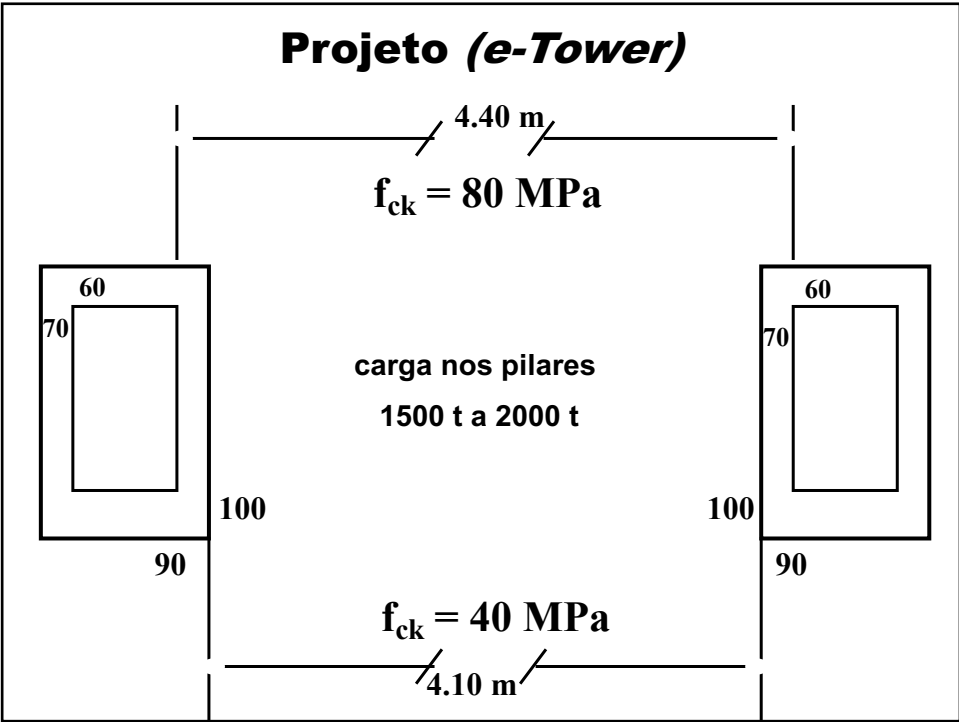
### São Paulo

- 52.000 m<sup>2</sup> área construída
- 42 andares (4 sub solos)
- 800 vagas de garagem
- 02 restaurantes
- Acad. ginástica (19°)
- Piscina semi olímpica (38°)

44



45



46

## **Projeto (*e-Tower*)**

- 4 vagas novas por garagem
- 4 x 4 garagens = 16 novas
- US \$ 5,000 cada vaga na região
- ganho US \$ 80,000

47

## **Projeto (*e-Tower*)**

- inicial seção transv. =  $90 \times 100 = 0.9 \text{ m}^2$
- final seção transv. =  $60 \times 70 = 0.42 \text{ m}^2$
- economia =  $0.9 - 0.42 = 0.48 \text{ m}^2$
- 53% volume de concreto
- custo C80 = 45% mais que C40
- economia de 8% no concreto

48





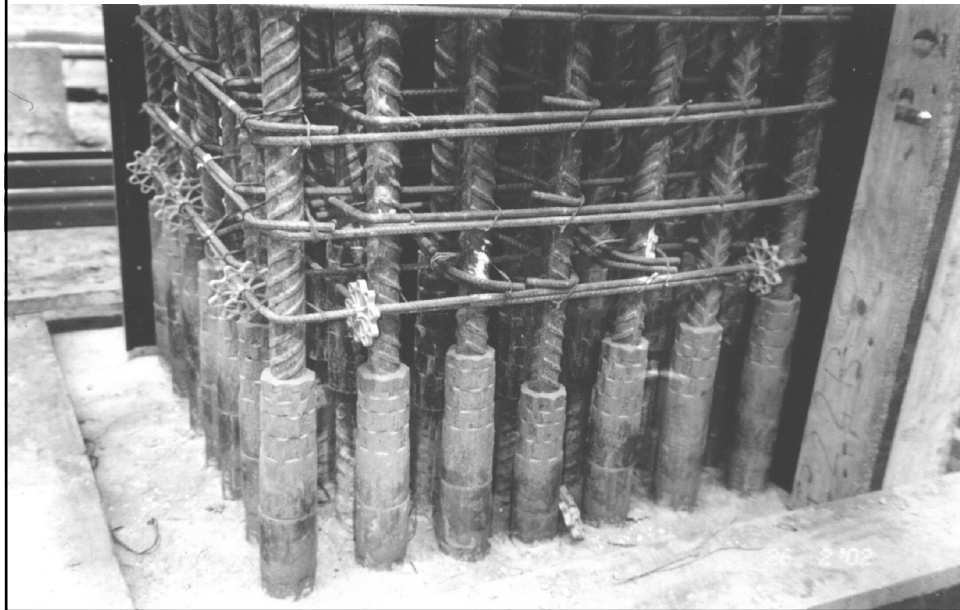
**fôrmas**

**pilares  
solteiros**

**economia  
de fôrma**

49

## **Construtibilidade**



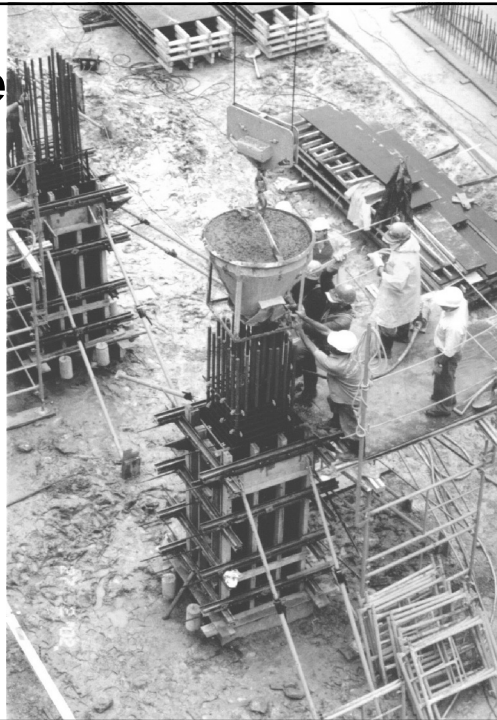
50



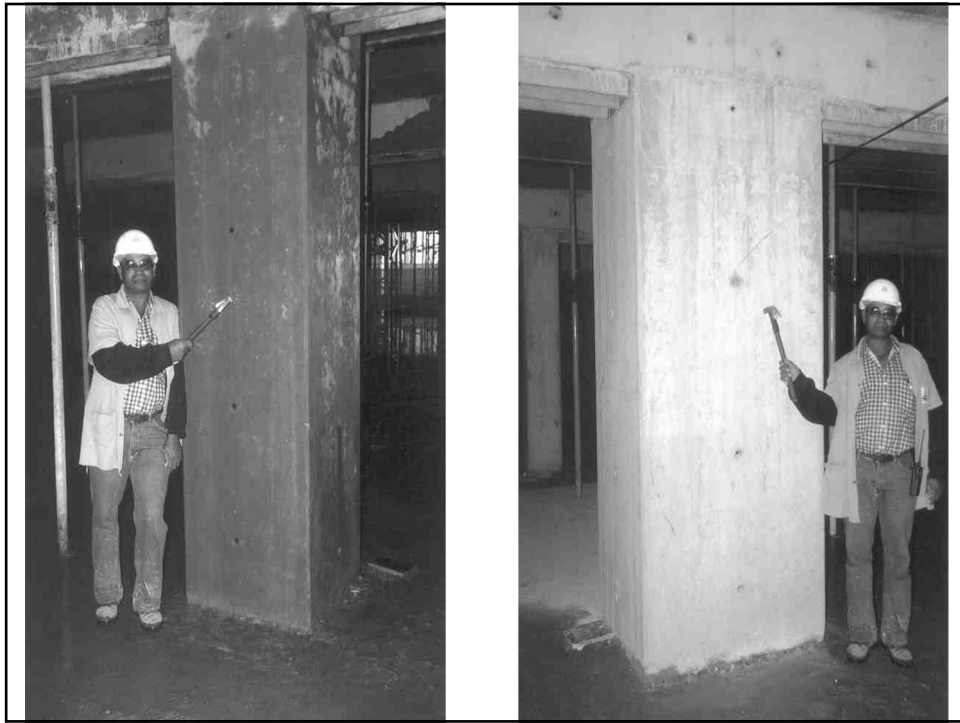
51

## **produtividade**

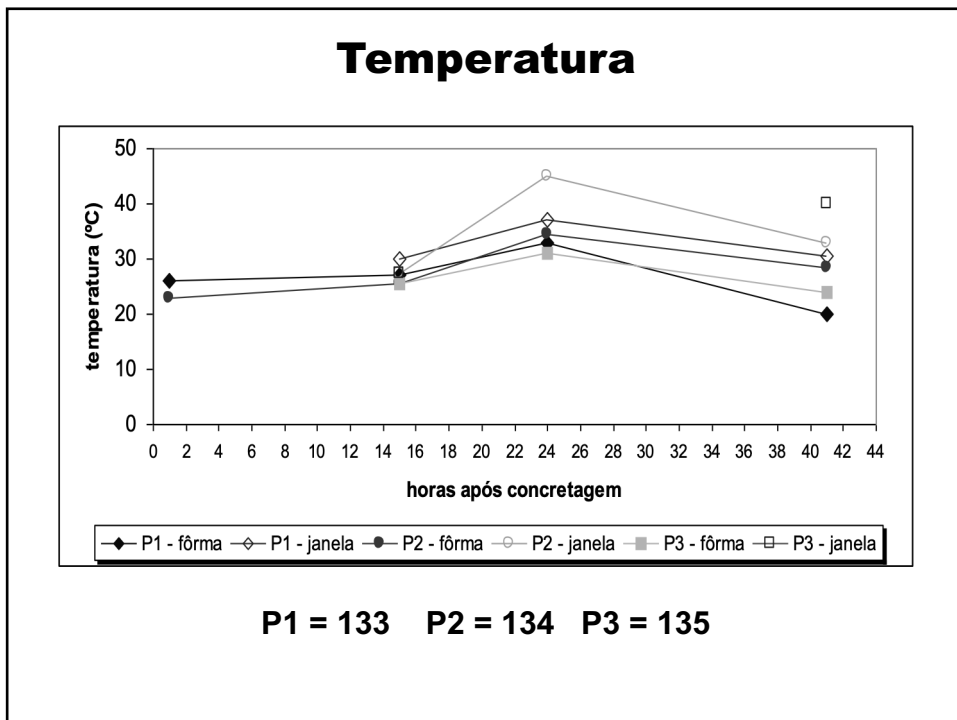
- ✓ **5.5 m lançamento**
- ✓ **zero bicheiras**
- ✓ **rapidez**
- ✓ **acabamento**



52



53



54

## Dosagem

materiais	teor	quantidade	obs
CPV ARI Plus RS	1,00	460 kg/m <sup>3</sup>	460 cim. + 163 escória
adição	0,15	93 kg/m <sup>3</sup>	silica & metacaulim
agregado graúdo	1,65	1.027 kg/m <sup>3</sup>	basalto, 19mm, MF 6,9, 3.020 kg/m <sup>3</sup>
agregado miúdo	0,88	550 kg/m <sup>3</sup>	quartz, 2,4mm, MF 2,0, 2.670 kg/m <sup>3</sup>
pigmento	0,04	25 kg/m <sup>3</sup>	óxido de ferro
superplastificante	0,01	6,2 kg/m <sup>3</sup>	policarboxilato
retardador	0,0058	3,6 kg/m <sup>3</sup>	acido hydrocarboxálico
água	0,19		A / C = 0,19

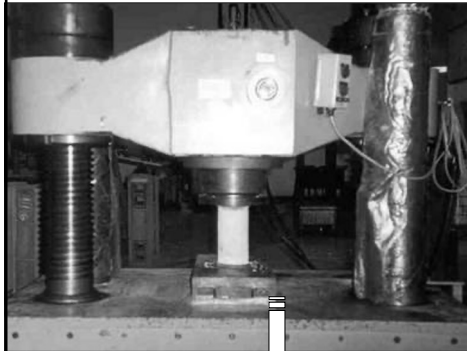
55

## Two Union Square Seattle 1998

<b>f'<sub>ca</sub></b>	<b>119 MPa</b>
<b>Cement</b>	<b>513 kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Microssilica</b>	<b>41 kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Coarse aggregate</b>	<b>1,195 kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Fine aggregate</b>	<b>682 kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Superplasticizer</b>	<b>16 kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Retarder</b>	<b>nihil</b>
<b>Water</b>	<b>130 kg/m<sup>3</sup></b>
<b>W / C</b>	<b>0.25</b>
<b>W / C<sub>m</sub></b>	<b>0.23</b>

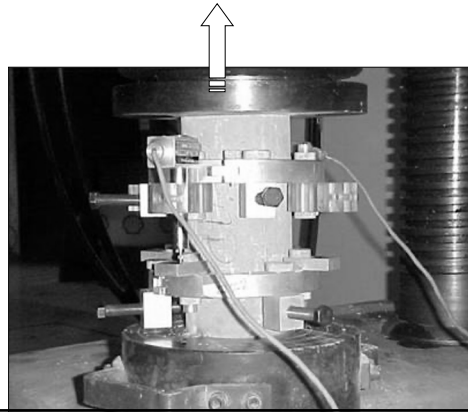
56

# Routine Quality Control



**Compression  
Strength**

**Modulus of  
Elasticity**



57



58

# Resistência a Compressão

mix	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16
Amostra	amostra 1	amostra 2	amostra 3	amostra 4	amostra 5	amostra 6	amostra 7	amostra 8	amostra 9	amostra 10
Data	10/10/2002	7/10/2002	21/11/2002	15/2/2002	27/2/2002	16/3/2002	25/3/2002	5/4/2002	11/4/2002	11/4/2002
moldagem										
CP 1	134.3	119.7	120.2	113.1	133.0	114.9	121.8	115.6	119.0	116.2
CP 2	131.2	123.0	124.7	121.8	144.3	105.6	127.4	114.9	129.9	126.2
CP 3	127.4	124.1	120.8	125.6	149.9	115.6	133.7	111.2	123.7	126.8
CP 4	129.9	129.6	115.8	118.7	143.0	112.4	124.9	123.1		
f <sub>max</sub> C	134.3	129.6	115.8	133.1	149.9	115.6	133.7	123.1	129.9	126.8
f <sub>min</sub> C	127.4	119.7	124.7	105.6	133.0	105.6	121.8	111.2	119.0	116.2
f <sub>f</sub> cm	130.7	122.3	120.4	127.3	142.6	119.1	127.0	116.2	124.2	123.1
S D	2.9	2.3	3.6	3.0	3.0	2.6	2.0	3.0	2.5	3.0
C V	2.2	1.9	3.0	8.2	2.9	3.1	3.0	3.3	3.4	3.8
f <sub>ca</sub>	124.6 MPa (18,200 psi)									
f <sub>cmin</sub>	116.6 MPa (17,000 psi)									
f <sub>cmax</sub>	149.9 MPa (21,900 psi)									



59

Dear Paulo,

I have appreciated to read your letter and description of your very high concrete strength achieved in the very beautiful high rise. At this stage fib is not really focused on selecting and documenting "World Records" in concrete, concrete structures, height of buildings or free spans of bridges. However, we have full confidence and trust in the documentation prepared and presented by you. Therefore, I really would recommend you to write a well documented technical paper for the fib Magazine "Structural Concrete" that could be one very relevant place to publish this fascinating story.

fib (CEB-FIP)

60

**Paulo:**

**I have received your letter regarding the high-strength concrete record.  
You have certainly gotten into HSC in a very big way!  
We can discuss later which can be the best way....**

**Terry  
ACI President**

61

**Claim ID: 22678  
Membership Number: 22322**

**Thursday, May 16, 2002**

**Thank you for sending us the details of your recent record proposal for 'Best concrete resistance in a building'. After having examined the information you sent, and given full consideration to your proposal, I am afraid we do think that this item is a little too specialised for a body of reference as**

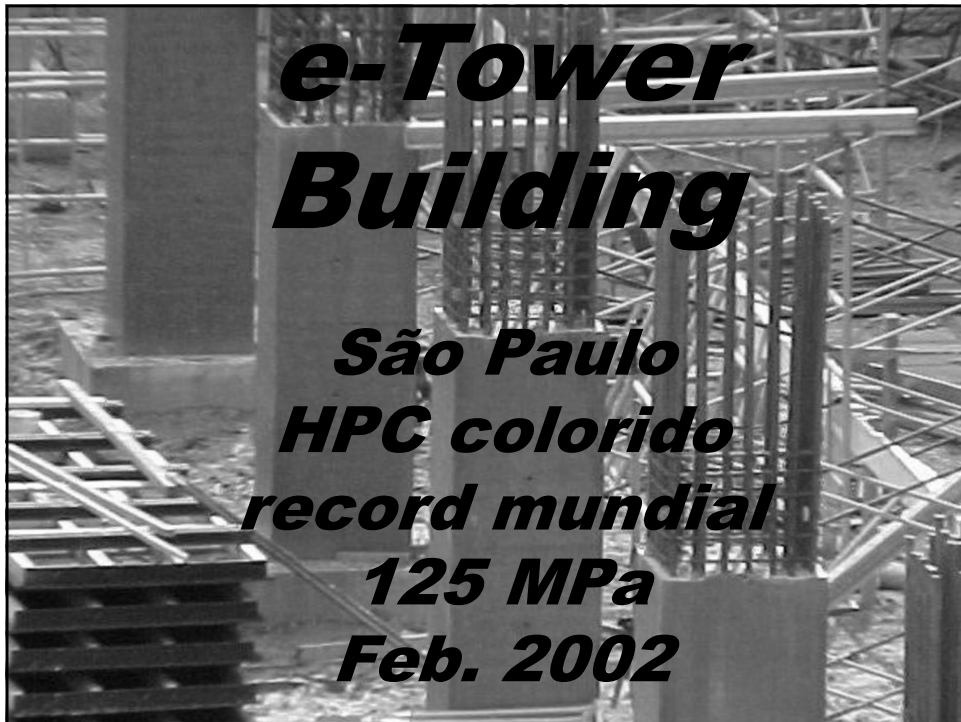
**general as ours.**

**We receive many thousands of record claims every year and we think you will appreciate that we are bound to favour those which reflect the greatest interest.**

**Yours sincerely,**

**Scott Christie  
Records Research Services  
Guinness World Records**

62



63



64



## Durabilidade

	$f_{ck}$ 125 MPa	$f_{ck}$ 25 MPa
<b>Carbonatação</b> 28+63d 25°C 65% 5%	<b>zero</b>	<b>29mm</b>
<b>Absorção H<sub>2</sub>O</b>	<b>0,40%</b>	<b>7,5%</b>
<b>Volume vazios</b>	<b>1%</b>	<b>17,5%</b>
<b>Densidade kg/m<sup>3</sup></b>	<b>2530</b>	<b>2310</b>
<b>Absorção capilar</b>	<b>0,1 g/cm<sup>2</sup></b>	<b>2,7 g/cm<sup>2</sup></b>
<b>Ascensão capilar</b>	<b>0 cm</b>	<b>30 cm</b>
<b>Cloretos</b>	<b>43 C</b>	<b>8.400 C</b>
<b>Abrasão cm<sup>3</sup>/cm<sup>2</sup></b>	<b>0,019</b>	<b>0,051</b>

65

**Vida Útil usando  
segunda lei de Fick  
para agressividade  
por carbonatação  
980 anos!!!!**

66

# **Sustanaible Development**

“Increasing service life of concrete structures we can preserve the natural resources.

If we develop the design and construction ability we can get concrete structures with **500 years** service life. Doing this we can multiply by ten our productivity which means preserve the 90% of them”

***Kumar Mehta***

Reducing the Environmental Impact of Concrete  
*Concrete International*. ACI, v.23, n. 10, Oct. 2001. p.61-66

67

***Os Arquitetos e Engenheiros  
constroem os marcos de pujança,  
desenvolvimento e poder  
de seus povos.***

***Traduzem sua história,  
seus sonhos e ideais em  
majestosas e duráveis obras  
que elevam a auto estima  
de sua gente...***

68



***O HPC.CAD é uma das grandes oportunidades atuais de resgatar essa importância e vocação da arquitetura e da engenharia no nosso país.***

69

## *Acknowledgements*



**CONCRETEx**

*Concrete Ready Mix  
Company*



*microsílica  
do Brasil*



Brazilian Portland Cement Association

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo



Construção e Incorporação



**AKYO / Suarez  
construtora**

**Método  
engenharia**  
*Construction Companies*



Master Builders  
Technology

*Master Builders  
Technology*

**GRACE  
CONSTRUCTION  
PRODUCTS**

**BAYER  
pigments**



70