



**Universidade de São Paulo**  
**Escola de Engenharia de São Carlos**  
**Jubileu de Ouro**  
**2003**



# **Edifício *e-Tower***

## **Recorde Mundial Concreto Colorido de Alto Desempenho**

Eliron Souto, concreto  
Jorge Batlouni, construtor  
Paulo Helene, consultor  
Ricardo França, projetista estrutural

**14-16 Maio 2003    CONCRETOCOLLOQUIA 2003 50 anos da EESC-USP**

1

## ***Edifício e-Tower***

***Recorde Mundial de Concreto colorido de alto desempenho***

***Parte 1 – Desafios da construção do e-Tower***

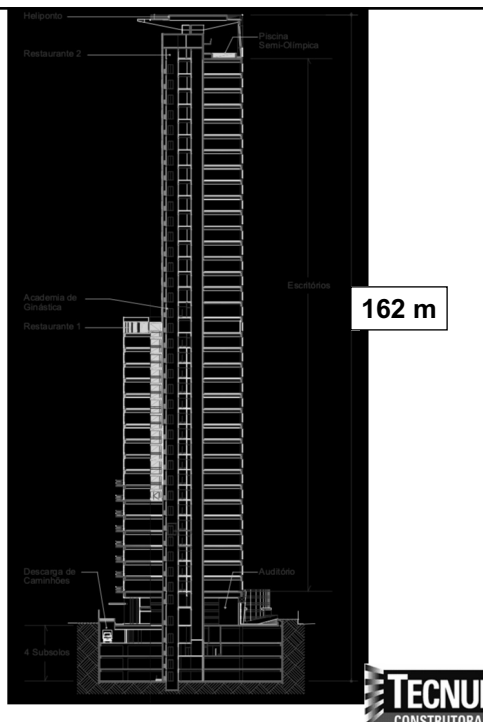


2

## **e-TOWER SÃO PAULO**

### Características do Edifício:

- . 52.000 m<sup>2</sup> de área construída
- . 42 pavimentos (04 subsolos)
- . 800 vagas de garagem
- . 02 restaurantes
- . 01 bar/café
- . Academia de ginástica (19º andar)
- . Piscina semi-olímpica (37º andar)
- . Auditório
- . 17 elevadores
- . 2 escadas rolantes



3

### **e-Tower São Paulo**

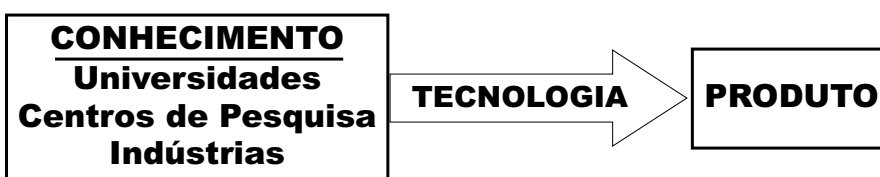
## ***OBRA EMBLEMÁTICA !***

- ✓ NAS CARACTERÍSTICAS / DIMENSÕES
- ✓ NAS TECNOLOGIAS
  - Ensaio com pressiômetro (1ª obra de edifícios no Brasil)
  - Utilização de ensaio em túnel de vento
  - Aplicação do CAD (recorde brasileiro / mundial)
  - Utilização das fachadas “unitisadas” com granito (1ª obra do Brasil)

4

## **TECNOLOGIA**

***“ É um conjunto de conhecimentos científicos aplicados a um determinado ramo de atividade.”***



Dicionário Aurélio

5

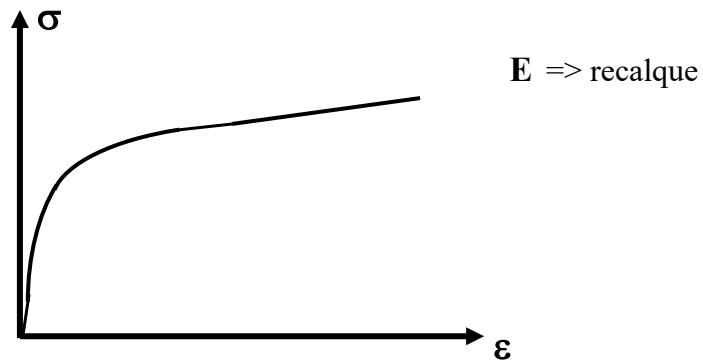
## **ATENÇÃO**

**Um novo sistema construtivo só deve ser implantado após uma análise crítica profunda de seu desempenho e das inter-relações com os demais sistemas do edifício**

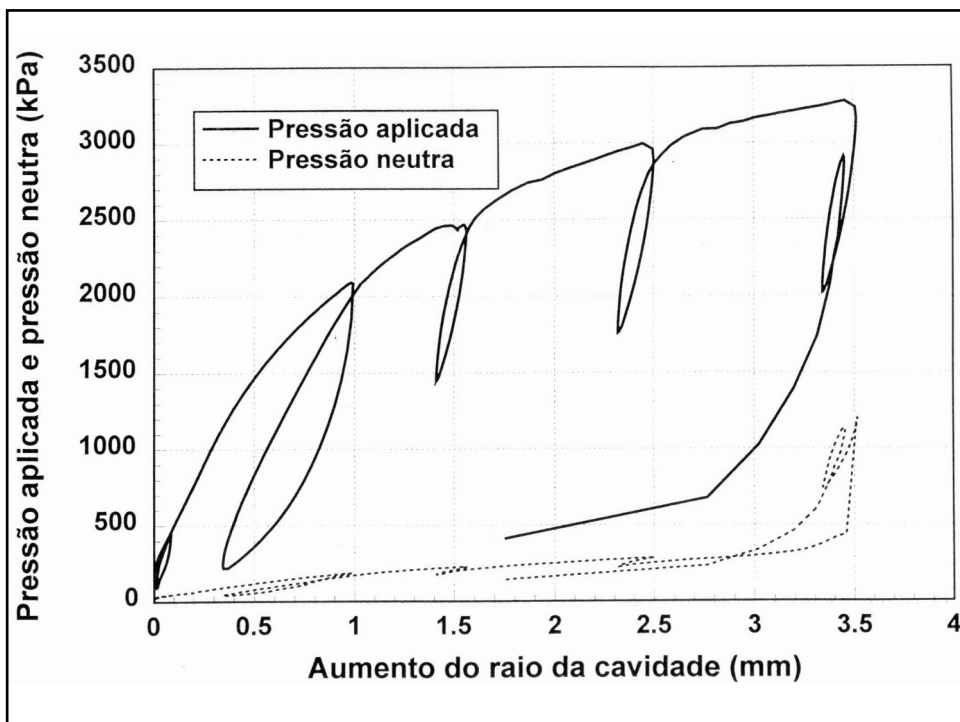
6

***Ensaio de módulo de deformação do solo –  
pressiômetro (CAMKOMETER).***

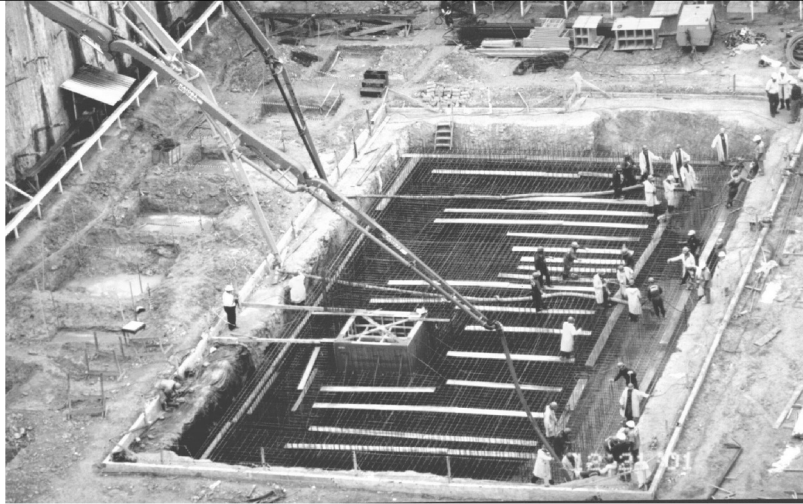
- . Utilização de sondagem rotativa.**
- . Primeiro ensaio do Brasil em edifícios em Junho/2001.**



7



8



**Características:**

Carga: 27.000 tf

Taxa: 100 tf/m<sup>2</sup>

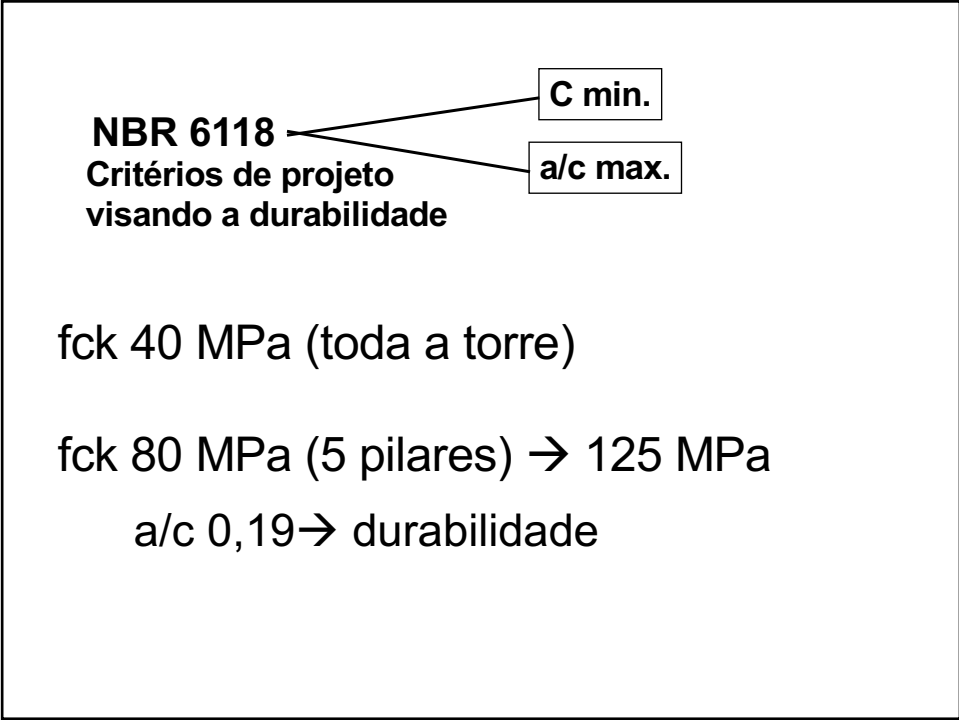
Dimensões: 26,90 m x 14,60 m x 2,30 m = 795 m<sup>3</sup>

9

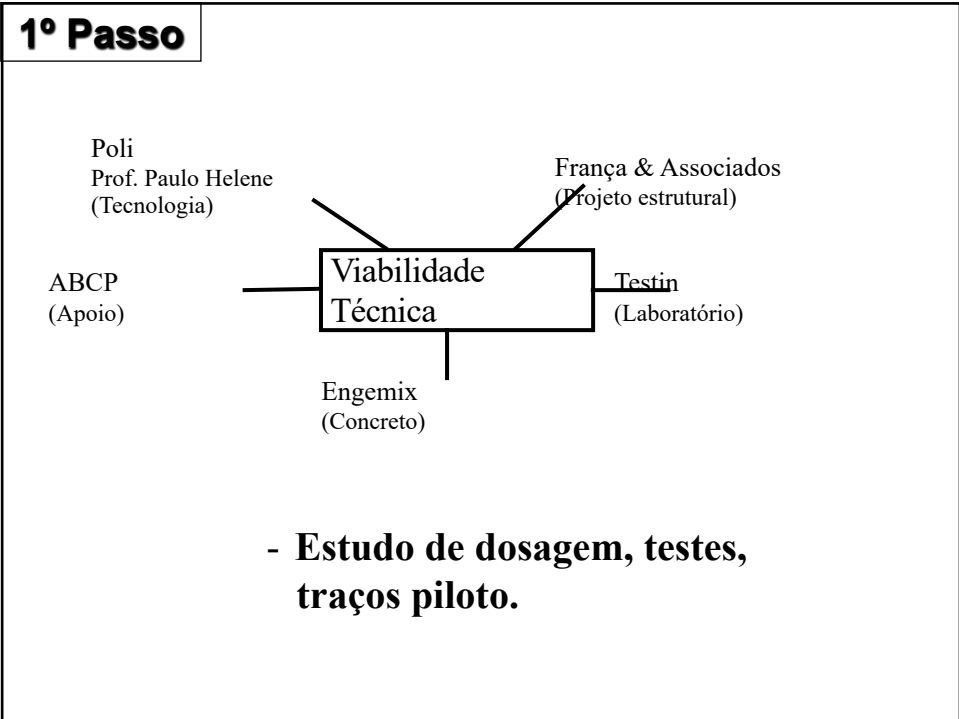
**Por que foi usado CAD no e-Tower?**

- Edifício alto (162 m desde a fundação)
- Altas tensões
- Redução nas seções dos pilares (garagem)
- Durabilidade / vida útil
- Obra de porte → viabiliza investimento em tecnologia

10



11



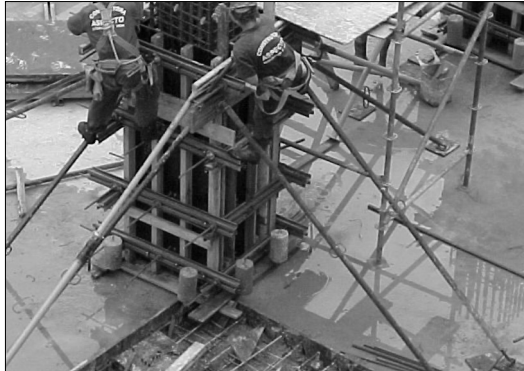
12

## **EXECUÇÃO:**

### **FÔRMAS**

#### **Sistema de pilares “solteiros”**

- Correção do prumo após a concretagem
- Travamento – escoras aprumadoras
- Facilidade na concretagem
- Ganho de produtividade



13

## **ARMADURA**

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



14

## CONCRETO

- . **Consistência do concreto:**

14 a 20 cm

**Altíssima coesão !**

- . **Caminhões com volume reduzido (máximo de 4 m<sup>3</sup> por viagem)**

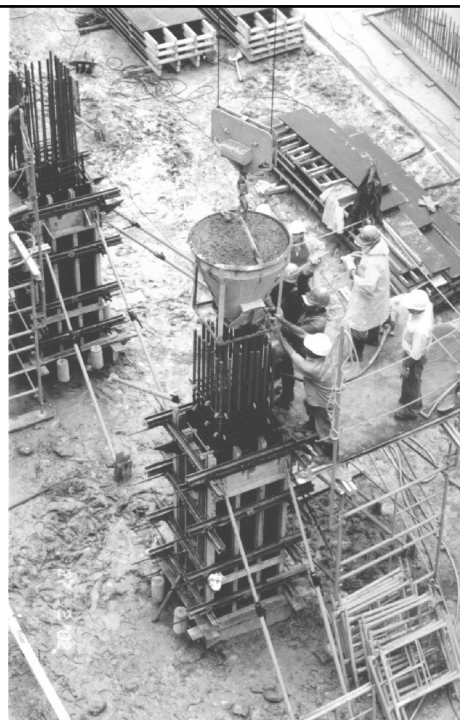
- . **Concreto pronto aditivos adicionados na usina.**



15

## LANÇAMENTO E ADENSAMENTO

- ✓ **Altura de lançamento pode ser maior do que a usual, pois o concreto é mais coeso (5 a 6 m)**
- ✓ **Alta viscosidade**
- ✓ **Concreto totalmente íntegro no pé dos pilares**
- ✓ **Ganho de produtividade!**



16



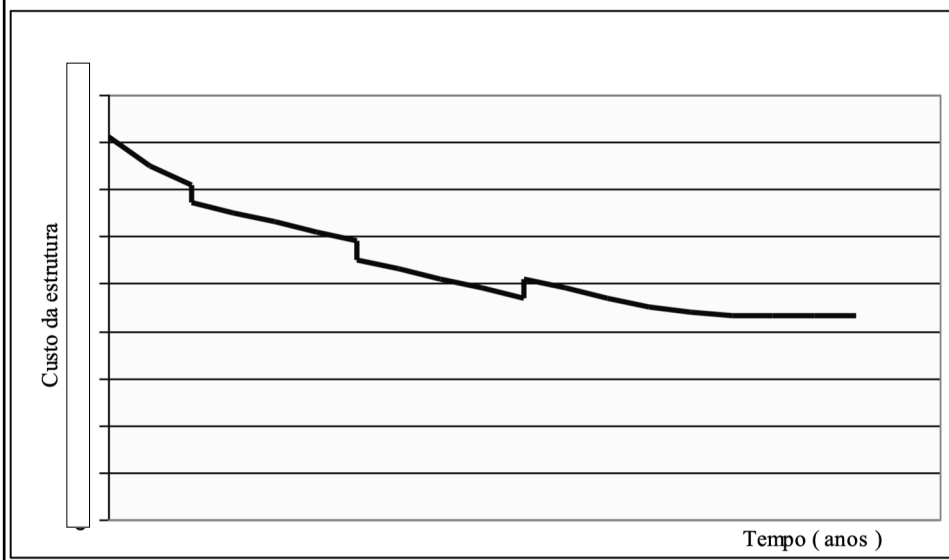
## Pilares em concreto de alto desempenho

A coloração avermelhada, obtida com a adição de pigmento de óxido de ferro, foi utilizada para diferenciar este tipo de concreto dos demais aplicados na obra.



17

## Variação do custo da estrutura no decorrer do tempo para um determinado edifício.



18

***Edifício e-Tower***

***Recorde Mundial de Concreto colorido  
de alto desempenho***

***Parte 2 – Projeto Estrutural do e-Tower***



19

FRANÇA

20

## ***Edifício e-Tower***

***Recorde Mundial de Concreto colorido  
de alto desempenho***

***Parte 3 – Concreto do e-Tower***



21



## *Vida Útil*

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

22

# Carbonatação

$$t = \frac{e_{\text{CO}_2}^2}{k_{\text{CO}_2}^2} \quad (\text{ano})$$

➤  $e_{\text{CO}_2} \rightarrow 1 \text{ a } 5 \text{ cm}$

➤  $k_{\text{CO}_2} \rightarrow 0.1 \text{ a } 1.0 \text{ cm/ano}^{1/2}$

23

# Carbonatação

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

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

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

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

24

## **Cloretos - difusão**

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

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

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

25

## **Cloretos - difusão**

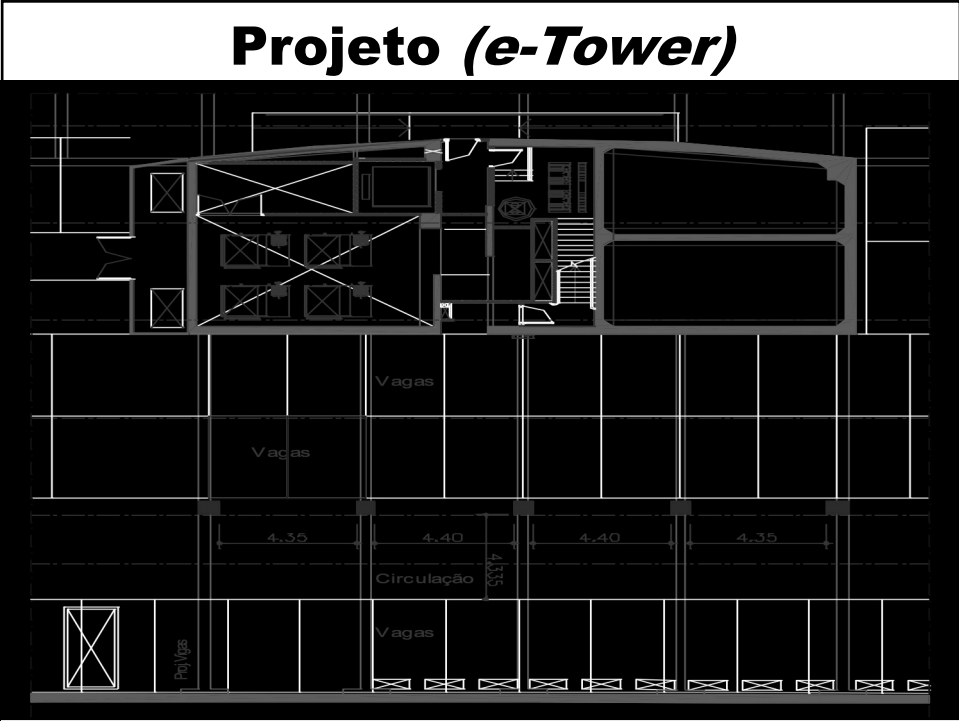
$$e = 2,0 \text{ cm}$$

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

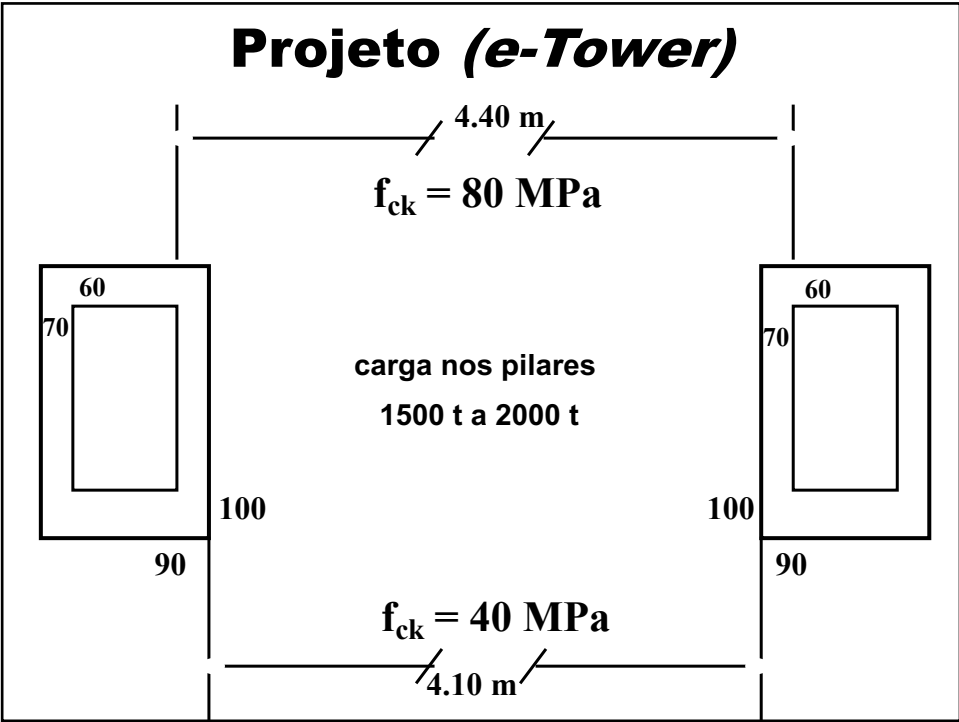
$$f_{ck} = 50 \text{ MPa} \rightarrow t = 150 \text{ anos}$$

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

26



27



28

## **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

29

## **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

30

**Definição do concreto**

**Testes em laboratório**

**Moldagem de traço piloto**

**Teste em caminhão betoneira**

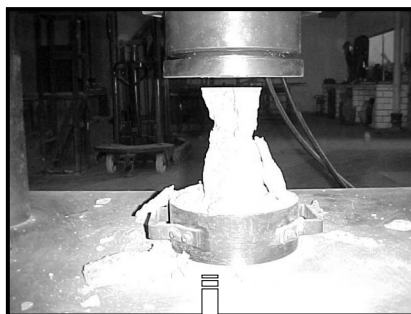
**Concretagem de pilares no subsolo**

**Por que ??**

**Resistências, cor,  
trabalhabilidade, temperatura**

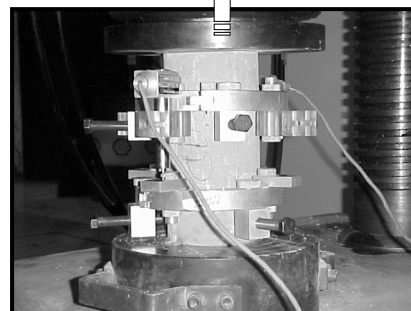
31

## **Laboratório**



**Resistência  
à compressão**

**Módulo  
de Elasticidade**

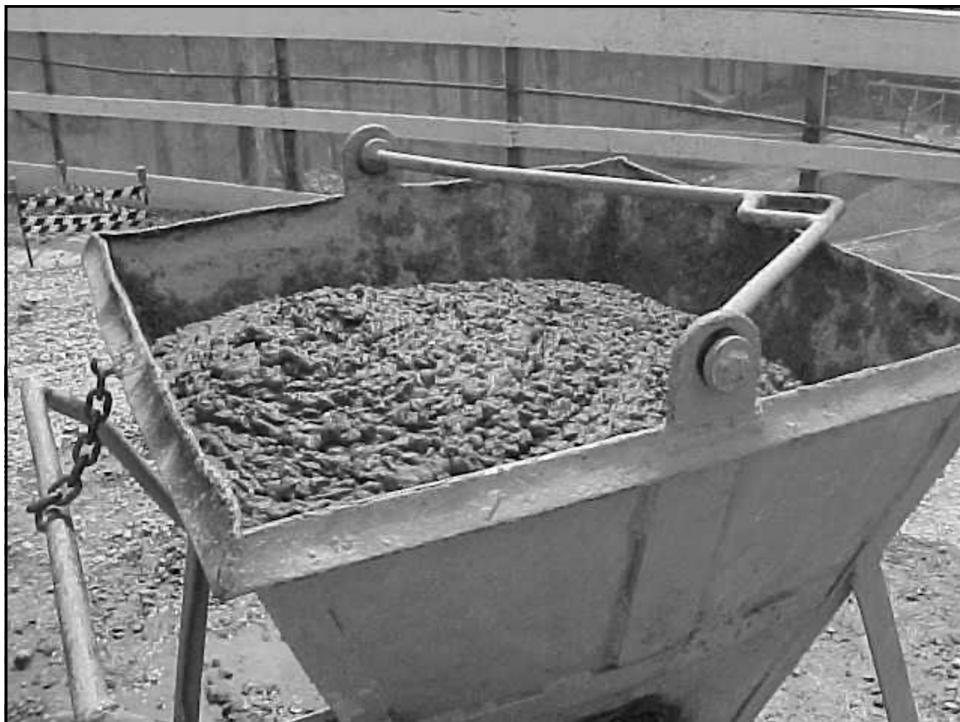


32





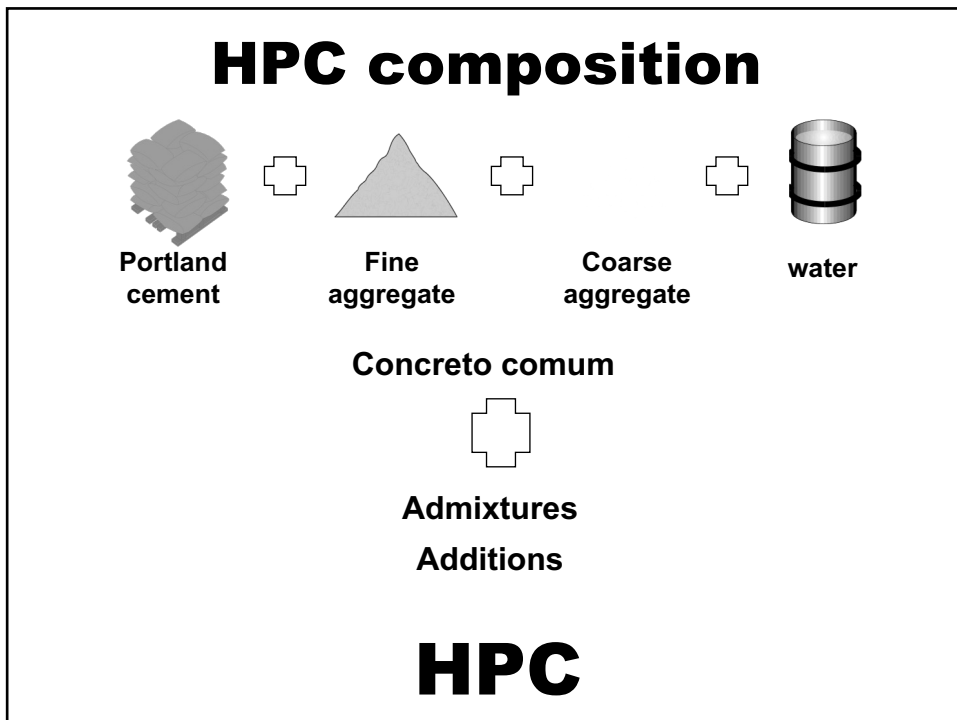
33



34

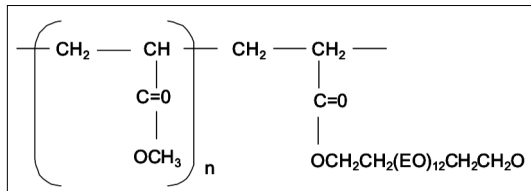


35



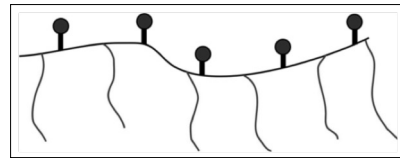
36

# POLICARBOXILATO



(a) Monômero de um policarboxilato

- Conhecidos comercialmente como de 3ª geração;
- Redução de até 40% de água da mistura
- Possuem grupos carboxílicos COOH;
- Cadeia lateral longa.



(b) Esquematização da molécula

37

# superplasticizer

Cimento Portland + Água



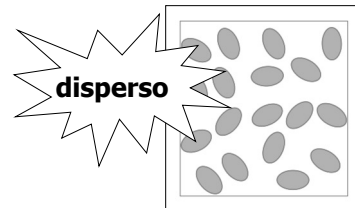
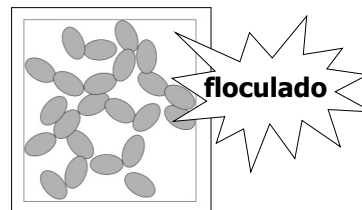
Floculação



aprisionamento de água entre os grãos de cimento

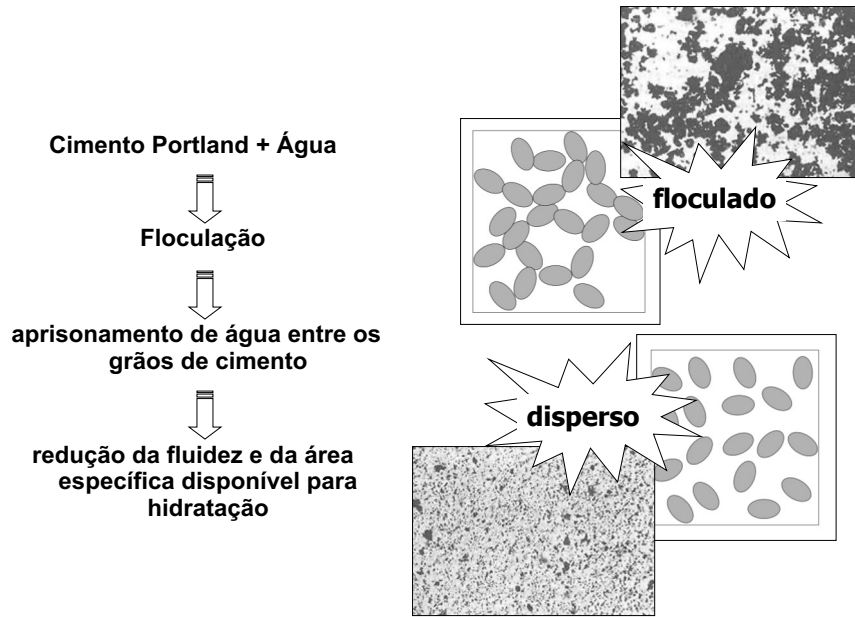


redução da fluidez e da área específica disponível para hidratação



38

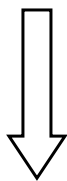
# superplasticizer



39

## Mineral Additions

Para obter maior  
compacidade e maior  
resistência mecânica



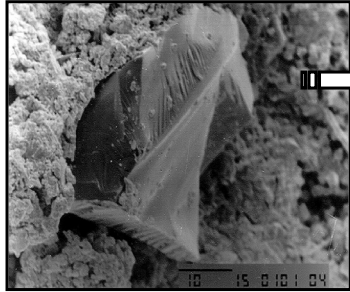
adição de minerais ativos

**Metakaolim and  
silica fume**

- **estrutura mais compacta**
- **reagem com a cal livre melhorando a resistência e durabilidade.**

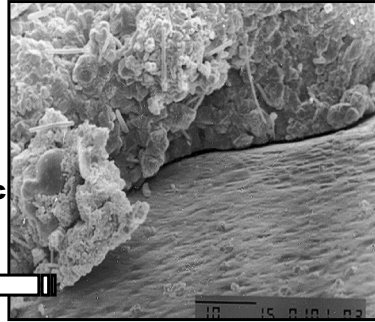
40

# MINERAL ADDITIONS



Conventional Concrete

Aumento 1500x



c

Concrete with  
Metakaolin

Aumento 1500x

41



42

## Dosagem

materiais	teor	quantidade	obs
CPV ARI 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	135 kg/m <sup>3</sup>	A / C = 0,19

43

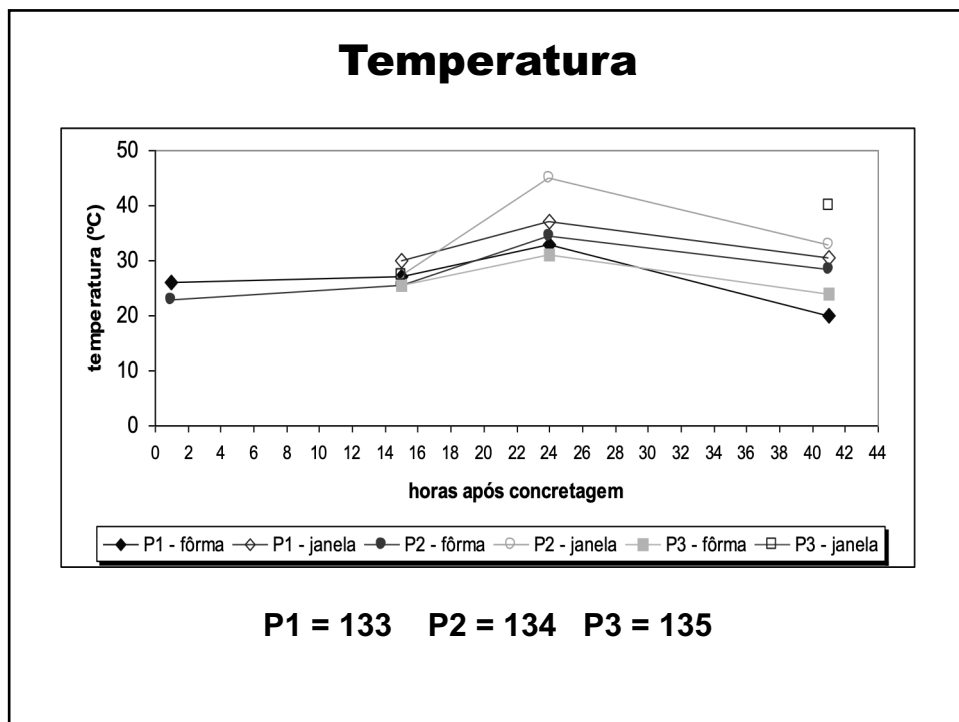
## Two Union Square Seattle 1998

<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>

44



45



46



47

<b>Resistência a Compressão</b>										
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	17/10/2002	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>cm</sub>	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)									

**28 dias**

48



**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**

49

**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.**

**Steen Rostam**  
**fib (CEB-FIP)**

50

**Paulo:**

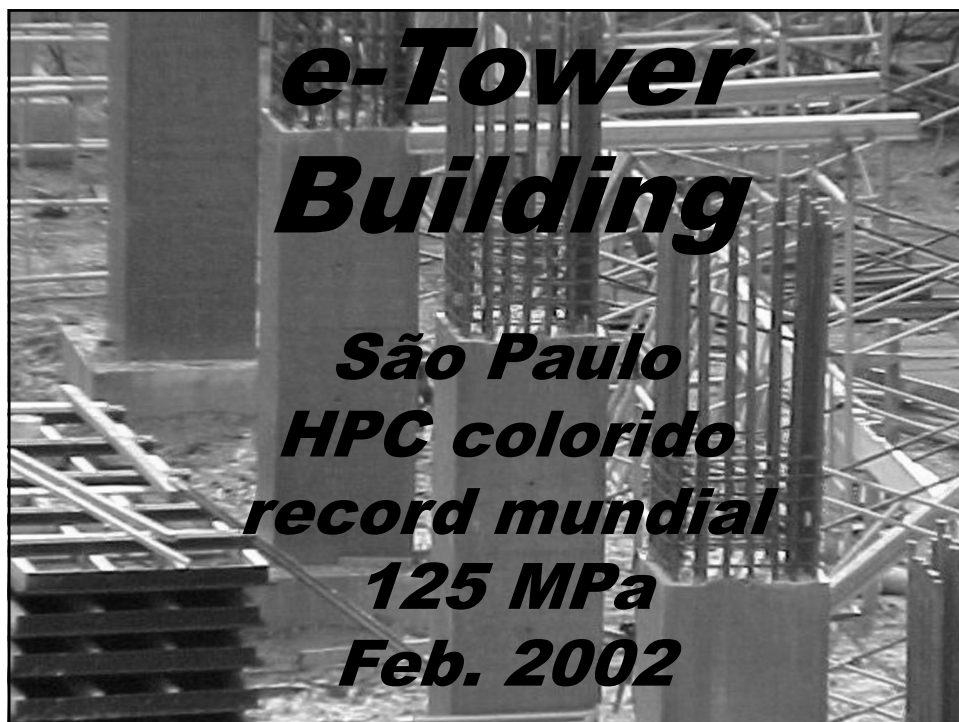
**I have received your letter regarding the high-strength concrete record.**

**You have certainly gotten into HSC in a very big way!**

**We can discuss later which can be the best way....**

**Terry  
ACI President**

51



52

## Propriedades mecânicas

$\square f_{ck} = 115 \text{ MPa}$   $\square f_{ck} = 25 \text{ MPa}$

$\square f'_c = 17,000 \text{ psi}$   $\square f'_c = 3,600 \text{ psi}$

<b><math>f_c</math></b>	<b>7 days</b>	<b>111</b>	<b>18</b>
<b><math>f_c</math></b>	<b>28 days</b>	<b>125</b>	<b>32</b>
<b><math>f_c</math></b>	<b>63 days</b>	<b>139</b>	<b>37</b>
<b><math>f_c</math></b>	<b>91 days</b>	<b>155</b>	<b>39</b>
<b><math>E_{ci}</math></b>	<b>28 days</b>	<b>50</b>	<b>30</b>
<b><math>f_{ct}</math></b>	<b>28 days</b>	<b>10</b>	<b>3,1</b>
<b>Ultrassom m/s</b>		<b>4950</b>	<b>3250</b>
<b>esclerometria</b>		<b>52</b>	<b>23</b>

53



54

## **Durabilidade**

	<b>f<sub>ck</sub></b> <b>125 MPa</b>	<b>f<sub>ck</sub></b> <b>25 MPa</b>
<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>

55

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

56

# 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

57

## Considerações Finais

- Opção pelo CAD deve ser feita com bastante critério –
- Equipe multidisciplinar grande responsável pelo sucesso dos resultados.
- Executado com tecnologia genuinamente nacional.

58