



POS:UTP  
VOCÊ AINDA MELHOR

Patologia nas Obras Civis

Luis Cesar Siqueira de Luca  
Cesar Henrique Sato Daher  
Coordenadores

Curitiba, 10 de março de 2006

“IBRACON”

“Conceito de Durabilidade em Obras Civis”

Eng. Paulo Helene  
MSc, PhD, Prof. Titular da Universidade de São Paulo  
Coordenador Internacional da Rede REHABILITAR CYTED  
Diretor da ALCONPAT  
Presidente do IBRACON

Instituto Brasileiro do Concreto

fundado 1972

IBRACON é uma associação de alcance nacional, considerada de Utilidade Pública Federal e Estadual, sem fins lucrativos

Diretorias Regionais [www.ibracon.org.br](http://www.ibracon.org.br)



Sede:  
Jardim Olímpia  
São Paulo - SP

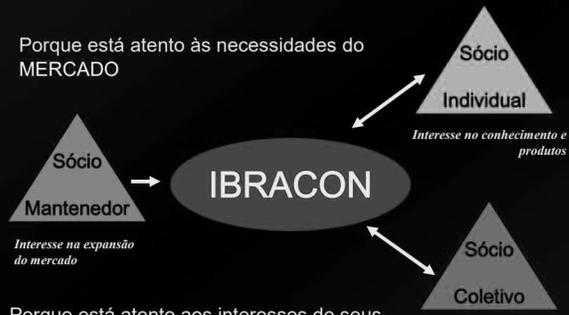
Representatividade dos Associados

- Universidades
- Construtoras
- Empresas Públicas
- Laboratórios
- Pré-moldados
- Concessionárias
- Aditivos
- Fôrmas e escoramentos
- Centrais de Concreto
- Aço CA & CP
- Cimento
- Agregados
- Adições
- Serviços e projetos
- Equipamentos

individuais = 1.500  
coletivos = 27  
mantenedores = 55  
estrangeiros (127)

[www.ibracon.org.br](http://www.ibracon.org.br)

Porque o IBRACON cresce?



Porque está atento às necessidades do MERCADO

Porque está atento aos interesses de seus ASSOCIADOS

Interesse na expansão do mercado

Interesse no conhecimento e produtos

Interesse no desenvolvimento de sistemas, economia de recursos e obtenção de bons serviços

## Qual é o propósito de ser Sócio?

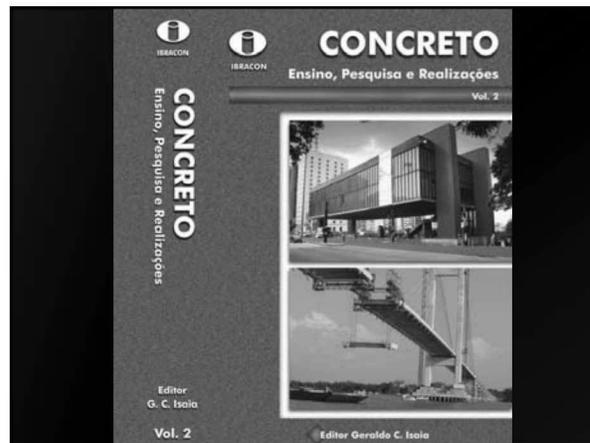
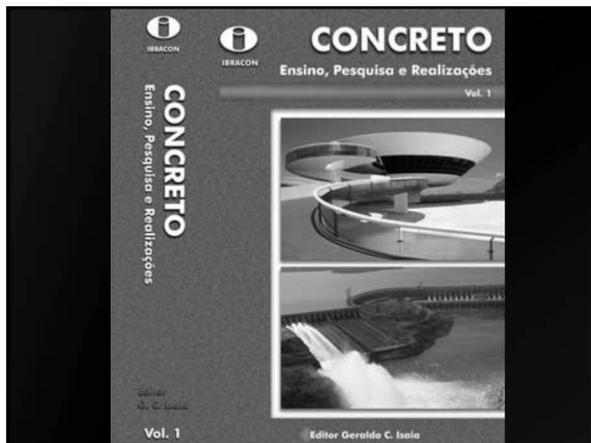
*Fazer parte de uma comunidade de relacionamento, que participa ativamente da dinâmica do processo de geração e difusão do conhecimento do Concreto, através dos Comitês de P&D, Comitês Técnicos, Publicações, Cursos, Debates Técnicos, Concursos, Congressos e outros Eventos.*

[www.ibracon.org.br](http://www.ibracon.org.br)

## Publicações

- Revista CONCRETO (5,000)
- Boletim CONCRETO ARMADO (14,000)
- Práticas Recomendadas
- Memórias de Congressos (47 Congressos)
- Revista ESTRUTURAS (*website*)
- Revista MATERIAIS (*website*)

[www.ibracon.org.br](http://www.ibracon.org.br)



[www.ibracon.org.br](http://www.ibracon.org.br)



47 Congressos Brasileiros do Concreto  
2.500 trabalhos científicos



**48º Congresso Brasileiro do Concreto**

**22 a 27 de setembro de 2006**  
**Barra da Tijuca**  
**RIOCENTRO**

**Eventos Internacionais**

**SIABE 02** Simpósio Ibero-Americano  
**"O Betão nas Estruturas"**  
 Coimbra, 5-7 / Jul / 2005

**INCOS 02** International Conference on  
 Concrete for Structures  
 Coimbra, 7-8 / Jul / 2005

**Eventos Internacionais**

**ACI SP 229**  
**IVHPC**  
 OLINDA - PE / BRAZIL / 2005

**CURSOS IBRACON**

**PROGRAMA MASTERC**  
**MASTER EM PRODUÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO**

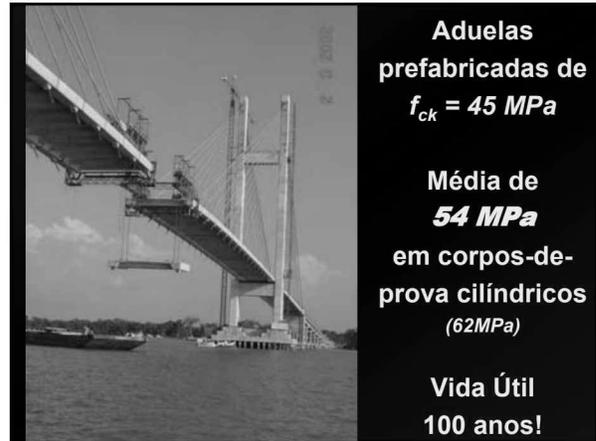
<p>03.09.2005          8:00 - 12:00  <b>"O CONCRETO NA ARQUITETURA"</b>          Dra. <b>Rita Oliveira</b> (Coordenadora)          RUY CHATEAU ARQ. E URBANISMO          Arq. <b>Fernanda Pereira</b>, MSc.          Mestre em Engenharia de Estruturas de Concreto, Universidade Federal de Pernambuco, UFPE</p> <p>Abordar de forma despretensiosa, por meio de imagens e vídeos, a importância da arquitetura e a importância do concreto em toda sua potencialidade de formas, texturas, cores, possibilidades plásticas e em harmonia com o ambiente a ser habido.</p> <p>Patronador:  </p>	<p>04.09.2005          8:00 - 12:00  <b>"FATIGAS DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO"</b>          Eng. <b>Paulo Barbosa</b> (Coordenador)          Doutorando em EPUSP          Especialista em Manutenção de Estruturas de Concreto</p> <p>Apresentar as causas de ocorrência de fadiga e a importância de projetos de manutenção e a importância da realização de um diagnóstico estrutural para o sucesso de uma manutenção.</p> <p>Patronador:  </p>	<p>05.09.2005          8:00 - 12:00  <b>"DOSAGEM DE CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO"</b>          Eng. <b>Vilberto O'Reilly</b>, PhD          Coordenador do Conselho de Controle e do Concreto de Cuba</p> <p>O Prof. O'Reilly é diretor de uma planta de concreto de alto desempenho no Brasil. Foi o autor do design de concreto para o túnel de um túnel de água potável. Analisará a relação entre a composição do concreto e seu desempenho, sendo concreto de concreto e resistência à compressão.</p> <p>Patronador:  </p>
<p>03.09.2005          13:00 - 17:00  <b>"DIMENSIONAMENTO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS PARA AÇÃO SISMICA"</b>          Eng. <b>Tullio N. Bionaccini</b>, PhD          Diretor de R&amp;D do IBRACON</p> <p>O Prof. Tullio Bionaccini é diretor de pesquisas e desenvolvimento de produtos e é responsável pela produção, distribuição e implementação de normas de concreto estrutural em todo o Brasil.</p> <p>Patronador:  </p>	<p>04.09.2005          13:00 - 17:00  <b>"SEGURANÇA E REABILITACAO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO"</b>          Eng. <b>Khalid Huseini</b> (Coordenador)          Professor de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas de Concreto          O Prof. Huseini é especialista em estruturas de concreto armado e pré-moldado e é responsável pela produção, distribuição e implementação de normas de concreto estrutural em todo o Brasil.</p> <p>Patronador:  </p>	<p>05.09.2005          13:00 - 17:00  <b>"SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL"</b>          Eng. <b>Salomon Levy</b>, PhD          Professor de Engenharia de Estruturas de Concreto do Conselho Técnico do Brasil do IBRACON          Um curso a cargo do CT-50, grupo de trabalho para pesquisa e avaliação de conhecimentos em técnicas de recuperação de estruturas e implementação de normas de concreto de alto desempenho, sustentabilidade e sustentabilidade social.</p> <p>Patronador:  </p>

**"IBRACON"**

**"Conceito de Durabilidade em Obras Civis"**

**Eng. Paulo Helene**  
 MSc, PhD, Prof. Titular da Universidade de São Paulo  
 Coordenador Internacional da Rede REHABILITAR CYTED  
 Diretor da ALCONPAT  
 Presidente do IBRACON

**PONTE SOBRE o RIO GUAMÁ**  
**"O COLOSSO DO PARÁ"**



**QUANDO FOI RECONHECIDA A PROFISSÃO DE ARQUITETO e ENGENHEIRO CIVIL POR PRIMEIRA VEZ ?**



**Construir com Materiais Resistentes e Duráveis**

**O CONCEITO DE CONSTRUIR COM DURABILIDADE EXISTE NAS OBRAS DESDE A ANTIGUIDADE**

Arquitetos Ictinos de Mileto e Calicrates (escultor Fídias)



**Pártenon, 440 aC**  
"século de Péricles"



**A CONSTRUÇÃO ESTÁ no PRIMEIRO CÓDIGO CIVIL da HUMANIDADE**

*"Durabilidade!"*



**Código de Leis de Hammurabi (1780 a.C.)**

*Rei da Babilônia*

Uma copia foi gravada num bloco de rocha diorito negro com 2,4m de altura contendo 282 artigos

**Código de Leis de Hammurabi**

*Artículos 229 a 233 → obras*

229. Quando uma casa ou parte dela colapsa e mata o proprietário, o construtor deve morrer;

230. Quando uma casa ou parte dela colapsa e mata o filho do proprietário, o filho do construtor deve morrer;

231....

232.....

233....

**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 que sejamos espalhados por toda a face da Terra"**

**Torre de Babel**

**Iraque 580 AC**





# QUANDO APARECE O CONCRETO POR PRIMEIRA VEZ ?



## Domo do Panteón → Século II dC Diâmetro de 47m



## Séculos

IV → Estilo Bizantino → Catedral Santa Sophia, Istambul

IX → Estilo Romanico → Abadia Cluny, França

XII-XIV → Estilo Gótico → Catedral Notre Dame, Catedral de Colonia

## Catedral de Notre Dame



1163-1330

A abóbada da nave central → 35 m de altura

## Séculos

IV → Estilo Bizantino → Catedral Santa Sophia, Istambul

IX → Estilo Romanico → Abadia Cluny, França

XII-XIV → Estilo Gótico → Catedral Notre Dame, Colonia

XV → Estilo Renacentista

XVII → Estilo Barroco → Catedral São Pedro, Bernini

XVIII → Estilo Neoclasico → Arco do Triunfo, Paris

XIX → Estruturas metálicas

## “Gustave Eiffel”

1884 → Estatua da Liberdade

1889 → Torre Eiffel



46m

(5a+2a)  
60t  
pintura



312m

2004 → 6.230.050 visitantes

## SÉCULO XX 1900

APARECE UM  
NOVO MATERIAL

*Concreto Armado*

## Primeiras Normas sobre Estruturas de Concreto

1903 ⇒ Suíça

1903 ⇒ Alemanha

1906 ⇒ França

1907 ⇒ Inglaterra



**Palacio Salvo**  
Montevideo

**27 andares**

**Uruguai 1925**

**Altura 103 m**

$f_{ck} = ?$

*80 anos!!!!*

*record mundial*



1929



**Edifício Martinelli**  
**São Paulo**

**30 andares**  
**Altura 109m**  
**Rua Líbero Badaró**  
 **$f_{ck} = 13,5 \text{ MPa}$**

*1929-2006 = 77 anos*

**Naqueles tempos acreditava-se  
que...**

**OS PROBLEMAS DE CORROSÃO E  
DURABILIDADE ESTAVAM  
RESOLVIDOS DEFINITIVAMENTE  
POIS O AÇO SERIA PROTEGIDO  
“ETERNAMENTE”  
PELO CONCRETO**

Infelizmente  
a história  
demonstrou  
que essa  
expectativa  
não podia  
ser  
verdadeira



A deterioração precoce da armadura se apresenta frequentemente devido à elevada instabilidade do aço frente a ambientes agressivos



**“Como podem  
ser mais  
Duráveis?”**

## ENVELHECIMENTO

- Carbonatação
- Cloretos
- Fuligem
- Fungos
- Lixiviação
- Retração
- Sulfatos
- Alcali-agregado

- << pH
- Corrosão
- Fissuração
- Destacamento



## DETERIORAÇÃO e ENVELHECIMENTO das ESTRUTURAS de CONCRETO

- do CONCRETO
- da ARMADURA

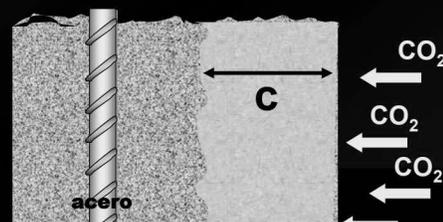
## Modelo de Previsão

$$c = k \cdot \sqrt{t}$$

- $c$  → profundidade de penetração
- $k$  → coeficiente de penetração
- $t$  → tempo transcorrido

## Carbonatação

$$c = k \cdot \sqrt{t} \quad (\text{cm})$$



## Carbonatação

$$t = \frac{c^2}{k_{CO_2}^2} \quad (\text{anos})$$

- $c_{CO_2} \rightarrow 1 \text{ a } 5 \text{ cm}$
- $k_{CO_2} \rightarrow 0.1 \text{ a } 1.0 \text{ cm/ano}^{1/2}$

## Carbonatação

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

- $e = 1,0 \text{ cm} \rightarrow t = 10 \text{ anos}$
- $e = 2,5 \text{ cm} \rightarrow t = 60 \text{ anos}$
- $e = 4,0 \text{ cm} \rightarrow t = 160 \text{ anos}$

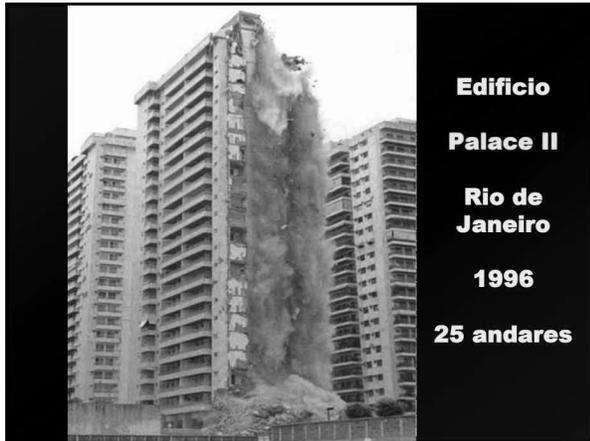
## Carbonatação

para  $\rightarrow c = 2,5 \text{ cm}$

- $f_{ck} = 15 \text{ MPa} \rightarrow t = 12 \text{ anos}$
- $f_{ck} = 50 \text{ MPa} \rightarrow t = 350 \text{ anos}$
- $f_{ck} = 25 \text{ MPa} \rightarrow t = 65 \text{ anos}$



**“Como podem ser mais Resistentes?”**



**Edifício  
Palace II  
Rio de  
Janeiro  
1996  
25 andares**

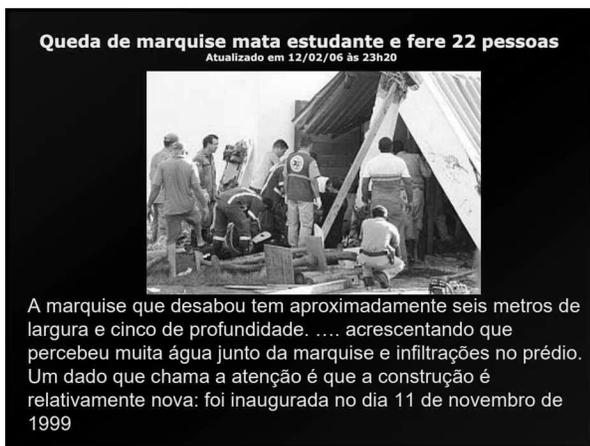


**Edifício Areia Branca  
Recife, 2004**



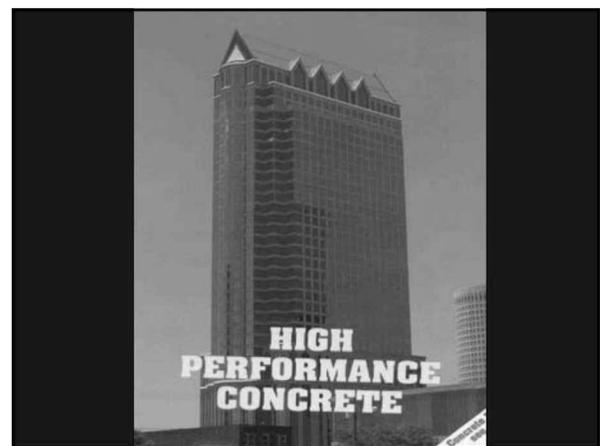
**13/02/06 - 9h30 - Marquise de Universidade cai e mata estudante mineiro em Londrina; outros 22 estão feridos**

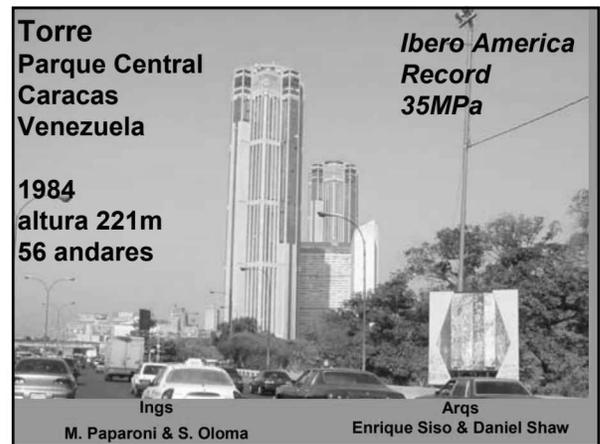
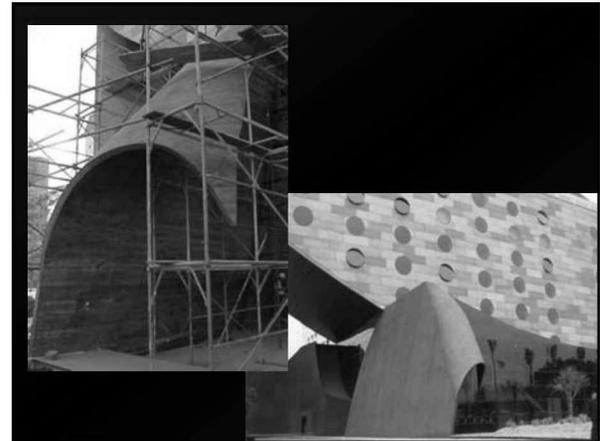
Um estudante de Minas morreu e 22 ficaram feridos após o desabamento de uma marquise (foto), ontem, no anfiteatro da Universidade Estadual de Londrina, no Paraná. Centenas de estudantes estavam no local para fazer inscrição e receber material do Congresso Nacional de Zoologia, que seria aberto ontem à noite, quando a estrutura do anfiteatro da universidade caiu. O estudante João César Eugênio Rios, de 21 anos, da USP de Ribeirão Preto, morreu na hora.



**Queda de marquise mata estudante e fere 22 pessoas**  
Atualizado em 12/02/06 às 23h20

A marquise que desabou tem aproximadamente seis metros de largura e cinco de profundidade. .... acrescentando que percebeu muita água junto da marquise e infiltrações no prédio. Um dado que chama a atenção é que a construção é relativamente nova: foi inaugurada no dia 11 de novembro de 1999







**Petronas Towers**

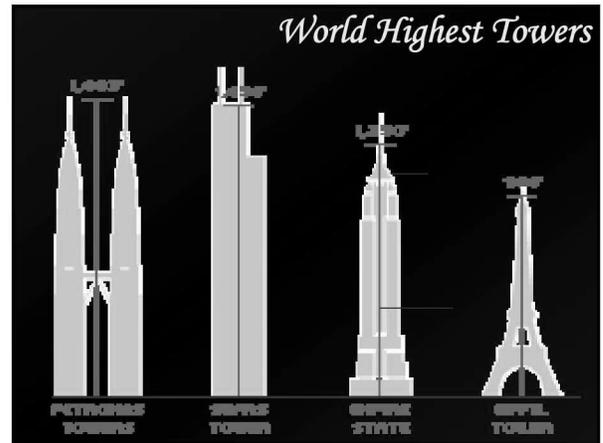
**Kuala Lumpur**

**Malásia 1997**

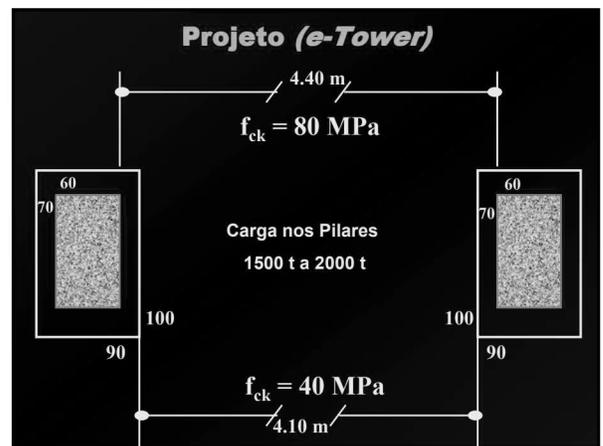
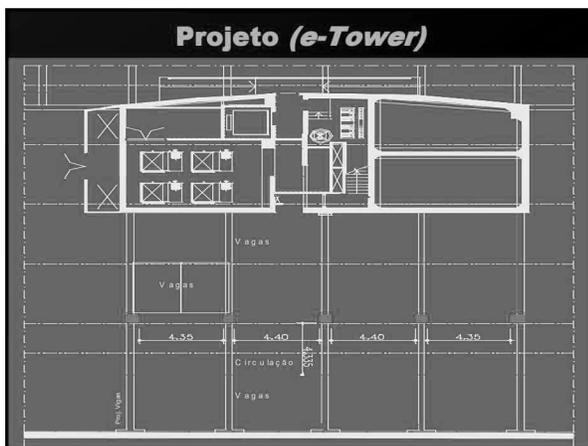
**Altura 452 m**

**$f_{ck} = 80 \text{ MPa}$**

*record mundial*

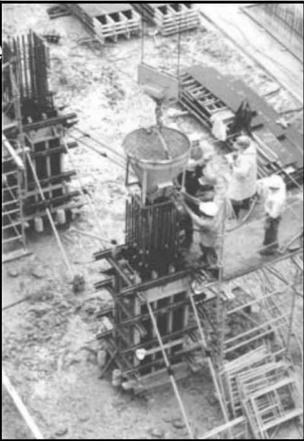



- ◆ Edifício e-Tower SP
- ◆ 42 andares
- ◆ Heliponto
- ◆ Piscina semi-olímpica
- ◆ Academia de ginástica
- ◆ 2 restaurantes
- ◆ Concreto colorido
- ◆  $f_{ck}$  pilares = 80 MPa

**produtividade**

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



**Pilares de concreto de alto desempenho**



**CONTROLE**




**Resistencia a Compressão**

Lote	Local	$f_{ck}$ (MPa)	exemplar	Média	Desvio padrão	Coef. Variação	fck est
1	4º SS	80	4	142,6	7,0	5%	133
2	3º SS	80	4	127,0	5,0	4%	122
3	2º SS	80	4	124,6	7,5	6%	119
4	1º SS	80	4	126,6	5,5	5%	120
5	Térreo	80	8	128,4	7,5	6%	123
6	1º pavimento	80	7	127,4	7,9	6%	110
7	2º pavimento	80	4	125,4	7,1	6%	118
Desvio padrão y coef. de variação média ponderado					7,0	5,5	112

**IPT**  
Instituto de Pesquisas Tecnológicas

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

Data do ensaio : 18/10/05.

**3a 4m 18d**

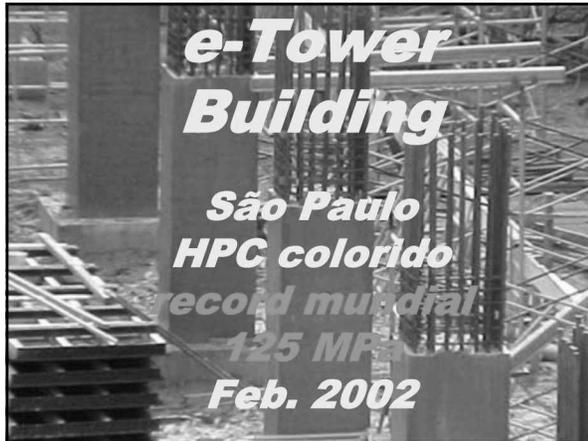
**1233 dias**

São Paulo, 18 de outubro de 2.005

**DIVISÃO DE ENGENHARIA CIVIL**  
Agrupamento de Materiais de Construção Civil  
Laboratório de Concreto

DOCUMENTO EMITIDO ELETRONICAMENTE, DISPENSA ASSINATURA

Técnicos em Edificações Pedro Carlos Binetti  
Encarregado do Laboratório de Concreto  
REG. nº 43584



**Propriedades mecânicas**

□  $f_{ck} = 115 \text{ MPa}$  □  $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$   
 □  $f'_c = 17,000 \text{ psi}$  □  $f'_c = 3,600 \text{ psi}$

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

**Durabilidade**

□  $f_{ck} = 115 \text{ MPa}$  □  $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$   
 □  $f'_c = 17,000 \text{ psi}$  □  $f'_c = 3,600 \text{ psi}$

<b>Carbonatação</b> 28+63d 25°C 65% 5%	zero	29mm
<b>Absorção H<sub>2</sub>O</b>	0,40%	7,5%
<b>Volume de vazios</b>	1%	17,5%
<b>Densidade</b>	2530 kg/m <sup>3</sup>	2310 kg/m <sup>3</sup>
<b>absorção capilar</b>	0,1 g/cm <sup>2</sup>	2,7 g/cm <sup>2</sup>
<b>Ascensão capilar</b>	0 cm	30 cm
<b>Cloretos</b>	43 C	8.400 C

*Vida Útil  
de 980 anos!*

**Sustainable 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

**Os Arquitetos e os Engenheiros constroem os marcos de pujança, de grandeza, de desenvolvimento e de poder das civilizações.**

**Traduzem sua historia, seus sonhos e ideais em majestosas e duráveis obras que elevam a autoestima de sua gente.**

