



congresso
CONSTRUÇÃO
2007



UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Sobre a Arte de Projetar e Construir Estruturas

Paulo Helene

*Prof. Titular da Universidade de São Paulo USP
fib (CEB-FIP) member of Model Code for Service Life Commission
Diretor Vice-Presidente do Instituto Brasileiro do Concreto IBRACON
Presidente da Red Rehabilitar Rehabilitación de Estructuras de Concreto CYTED*



PCC USP

Coimbra, 17 de Dezembro de 2007

1

**Importância do
concreto no campo do
desenvolvimento da
ciência e da tecnologia
de um país**

2

Pesquisas em Concreto

No Canadá, CA → Pierre-Claude Aitcin – Diretor Científico

1989 National Research Council, NRC
NCE 1989 → Network of Centres of Excellence
NCE investe 40 milhões de dólares/ano

Concrete/Béton Canada (1989 → 1999)
Université de Sherbrooke
1,4 milhões de dólares/ano (10 anos)

Entidades integrantes:
11 universidades
15 Instituições Governamentais
5 Entidades
65 Empresas

3

Béton Canada

The mission of Concrete Canada is to position the Canadian construction industry at the leading edge of concrete technology in order to enhance its competitiveness.

Its goal is to develop more durable, high-performance concrete and provides a longer life expectancy for structures, to develop innovative tools for designing new structures and repairing existing structures.

Beton Canada are demonstrating that HPC structures are safe, efficient and cost-effective, and providing direct transfer of technology from the laboratory to industry.

Béton Canada Network assure Canada as world leader in the industry field.

4

CANADA → Networks of Centres of Excellence (14 em 1989, hoje 19)

Advanced Technologies

1. Canadian Network for Space Research
2. Centres of Excellence in Molecular and Interfacial Dynamics
3. Institute for Robotics and Intelligent Systems
4. Micronet - Microelectronic Devices, Circuits and Systems
5. NeuroScience Network

Engineering and Manufacturing

1. Canadian Institute for Telecommunications Research
2. **Concrete Canada**
3. Mechanical Wood-Pulps Network

Health, Human Development and Biotechnology

1. Canadian Ageing Research Network
2. Canadian Bacterial Diseases Network
3. Insect Biotech Canada
4. Inspiraplex - Respiratory Health Network of Centres of Excellence
5. Protein Engineering Network

Natural Resources and Environment

1. Ocean Production Enhancement Network

5

NCE Canada Network of Centres of Excellence

Engineering and Manufacturing

1989 a 1999

Concrete / Béton Canada

1995- 2009

Intelligent Sensing for Innovative Structures

ISIS Canada

University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba

6

Pesquisas em Concreto

Brasil

- 131 grupos de pesquisa cadastrados em concreto na CAPES
 - 22% de excelência
- 10 melhores escolas de engenharia MEC → coincidem com os melhores Centros de Excelência em Concreto

Instituto Brasileiro do Concreto IBRACON

Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento

Banco de Teses e Dissertações

“Concreto Brasil”

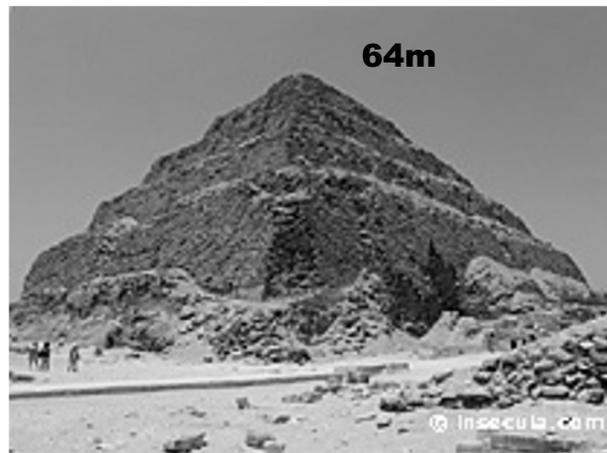
48 Congressos → 2.600 artigos → práticas recomendadas →
livros

7

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

8

**Político, alquimista, primeiro
Arquiteto → Imhotep**



Pirâmide escalonada de Djeser

9

I Grande Revolução !

A Engenharia de estruturas
podia construir obras
duráveis, majestosas e de
grandes proporções.

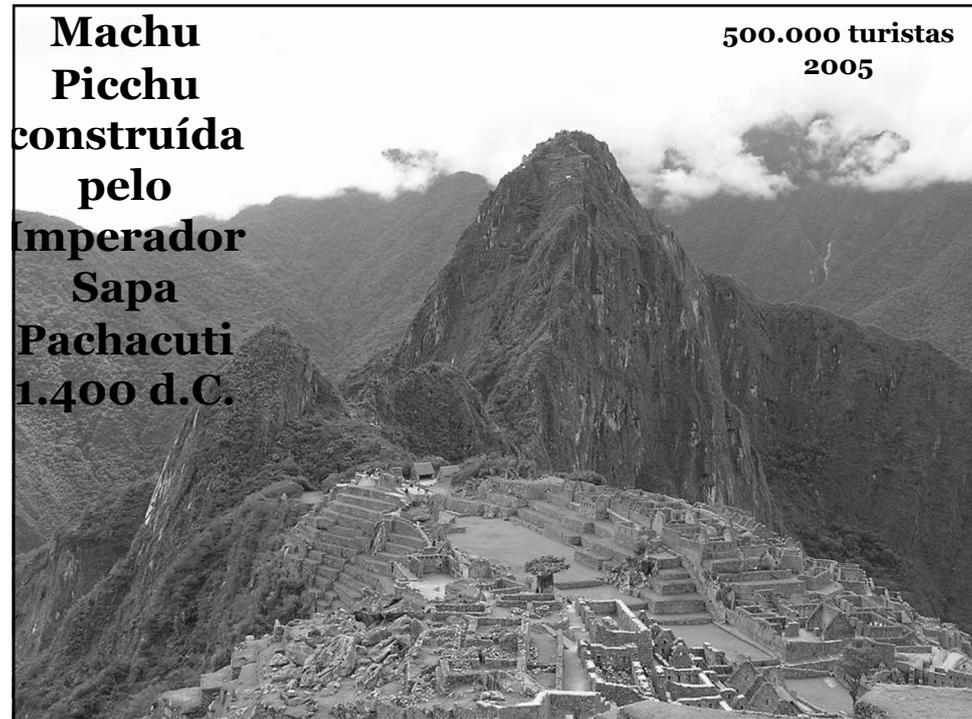
10



11



12



13



14



15

**QUANDO APARECEU
O CONCRETO
POR PRIMEIRA VEZ
NA HISTÓRIA?**

16

Panteão
de
Roma



17

Cúpula do Panteão de Roma
Século II dC → Diâmetro de 44m



18

Séculos

IV → Estilo Bizantino → Catedral Santa Sophia, Istambul

IX → Estilo Romanico → Abadia Cluny, France

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

XV → Estilo Renacentista

XVII → Estilo Barroco → Catedral São Pedro, Bernini

XVII → Estilo Neoclasico → Arco do Triunfo , Paris

19

Catedral de Notre Dame



1163-1330

Abóbada da nave central → 35 m de altura

20

Séculos

IV → Estilo Bizantino → Catedral Santa Sophia, Istambul

IX → Estilo Romanico → Abadia Cluny, France

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

XV → Estilo Renacentista

XVII → Estilo Barroco → Catedral San Pedro, Bernini

XVII → Estilo Neoclasico → Arco del Triunfo , Paris

XIX → Estruturas metálicas

21

Primeira Ponte Metálica → 1.779 d.C.
Coalbrookdale Bridge in Telford, Inglaterra
still in use today carrying occasional light transport and pedestrians



22



Ponte do Brooklin, New York, USA → 1.883
John Augustus Roebling
ponte suspenso com cabos de aço galvanizados

23

II Grande Revolução !

A Engenharia estrutural (e a Arquitetura) podia projetar obras antes inimagináveis, com muito mais velocidade, segurança para vencer grandes vãos e podia construir em altura como nunca dantes.

24



25

“Gustave Eiffel”
1.884 → Estatua da Liberdade
1.889 → Torre Eiffel

 <p>46m</p>	<p>(5a+2a) 60t pintura</p>	 <p>312m</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------

2.004 → 6.230.050 visitantes

26

Onde estão os edifícios de Escritórios e Apartamentos? O que houve?

27



**Palácio de Westminster → Houses of Parliament
1.868 dC Big Ben**

28

➤ **1.888 → Leroy Buffington
USA, esqueleto reticular**

➤ **1.853 → Otis, elevador seguro,
1889 → 1º elevador elétrico em
NY**

29



**O início dos arranha-
céus foi em 1.890-1.891
com a construção do
edifício Wainwright
com 42m
St. Louis, USA.**

***Conhecido Escola de
Chicago***

**Projetista
Arquiteto Louis Henry
Sullivan**

30

**SÉCULO XX
1.900**

**APARECE UM
NOVO MATERIAL**

Concreto Armado

31

**Primeiras Normas sobre
Estruturas de Concreto**

1903	Suiça
1903	Alemanha
1906	França
1907	Inglaterra

32



33



**Systeme
Hennebique**
Paris, Rue Danton1

7 andares
França 1.901
30m

$f_{ck} = ?$

106 anos !

*edificio em concreto mais
antigo do mundo*

34



35



Palácio Salvo
Montevideu

27 andares

Uruguai 1925

103m

$f_{ck} = ?$

83 anos !

world record

36



***Edifício
Martinelli***

1929

106m

78 anos

world record

São Paulo, Brasil

37



**Cristo
Redentor**

1931

**Concreto
armado**

**(pedra
sabão)
39,6m**

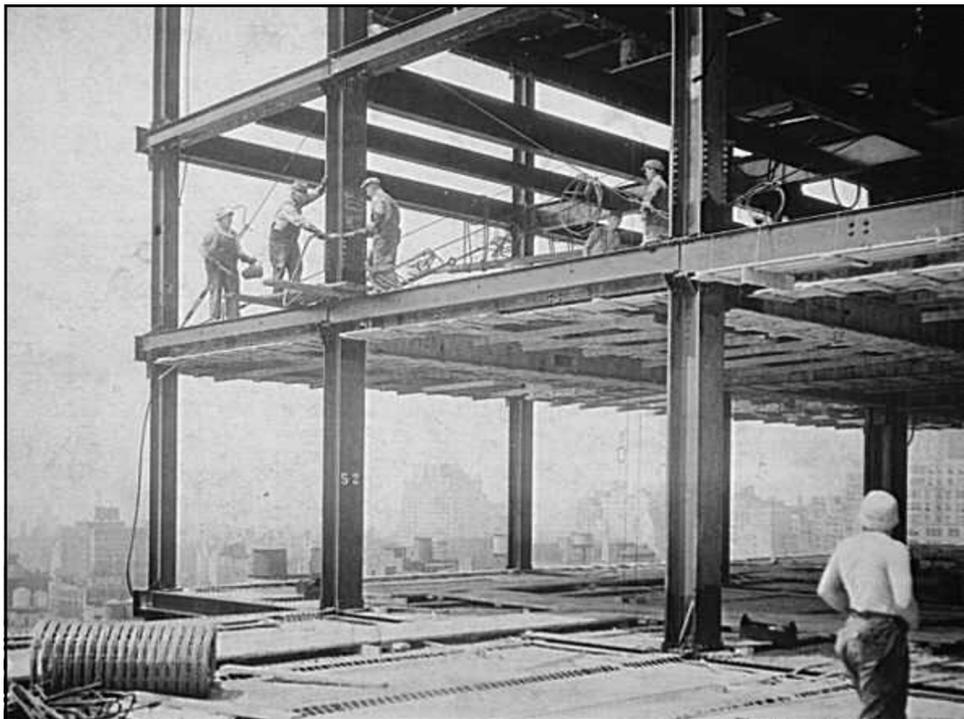
**Corcovado,
RJ 750m**

38



**Empire State Building
381m , New York, 1.931**

39



40

Século XX
1.928

“novo material estrutural”

Concreto
Protendido

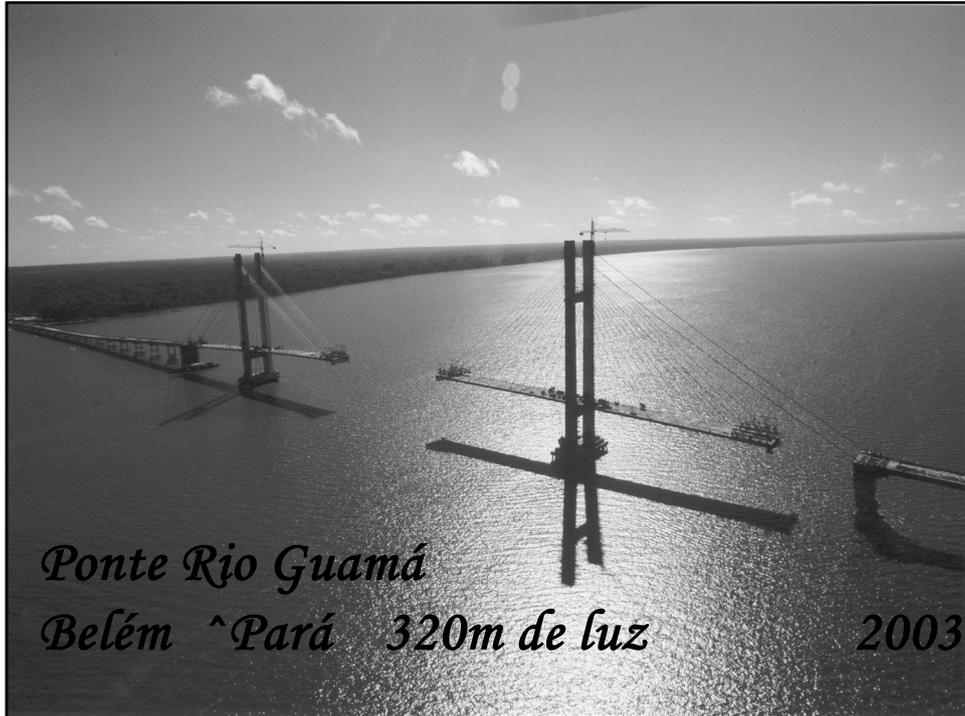
Eugene Freyssinet

41

PONTE SOBRE O RIO GUAMÁ
“O COLOSSO DO PARÁ”



42



43



**Aduelas
prefabricadas
 $f_{ck} = 45 \text{ MPa}$**

**média de
54 MPa
em corpos-de-
prova cilíndricos
(62MPa)**

**Vida Útil
100 anos!**

44



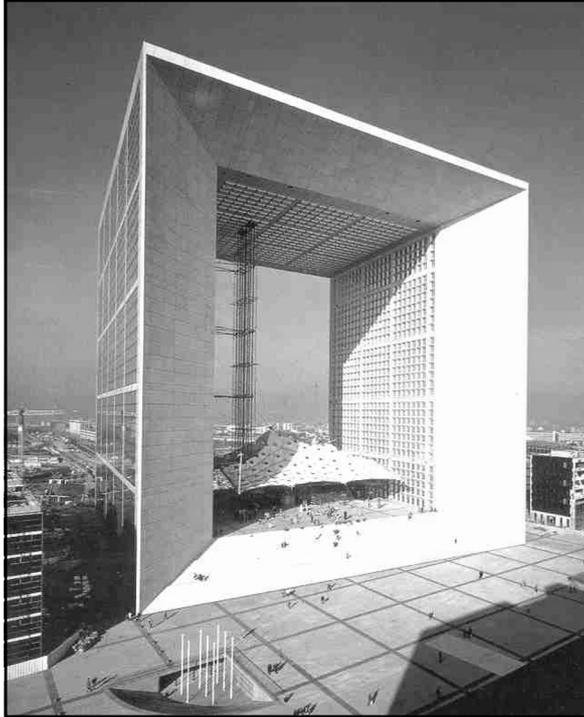
Ponte Vasco da Gama, Lisboa, Portugal, 1998.
Mais longa ponte da Europa, 4^a mais extensa do mundo.

45

III Grande Revolução !

A Engenharia estrutural podia ousar muito mais pois descobriu como combinar dois materiais fantásticos. O concreto tinha a durabilidade da rocha, era compatível com o aço e ainda o protegia “eternamente”

46



Grand Arch

La Defense

Paris

França 1990

$f_{ck} = 60 \text{ MPa}$

**“high-tech
style”**

47



Petronas Towers

Cesar Pelli

Kuala Lumpur

Malasia 1.997

452m

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

before / after

48

Melhoria arquitetônica

Concreto aparente, grandes vãos

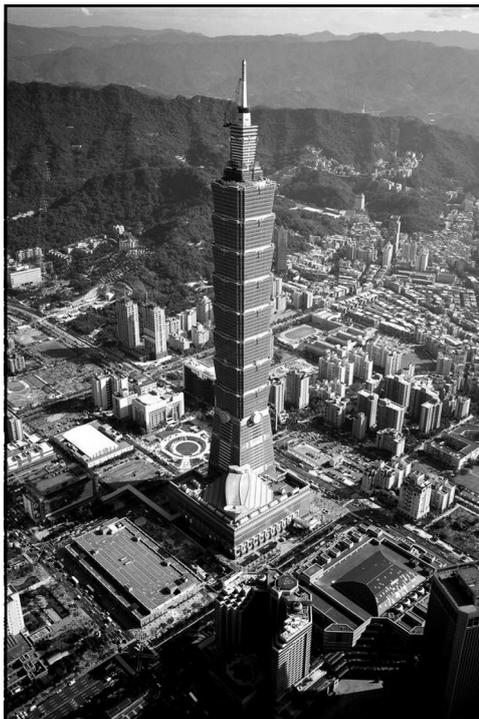
Bruno Contarini



Oscar Niemeyer

Superior Tribunal de Justiça

49



TAIPEI 101

Shangai World Financial Centre

Taiwan, China

2005

509m

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

steel / concrete

50

Como será o futuro?

51

SCIENCE NEWS ON LINE

- TiO_2 Titanium → Self-Cleaning Concrete
- Conductive concrete (*recognized by Popular Science Magazine as one of 1996's most innovative ideas in product development*)
 - Solar Energy Concrete
- Composite materials → *lots of fibres*

52

Innovations in Concrete

- **Stamped Concrete;**
- **Engraved Concrete;**
- **Translucid Concrete;**
- **Decorative Concrete;**
- **Colored Concrete;**
- **Architectural Concrete...**

53

R&D in Construction

SCIENTIFIC AMERICAN

245 → documents in the last 10 years

*Building Better Concrete
July 25, 2006*

Paulo Monteiro, UC Berkeley

54

Concrete Innovations

SCIENCE NEWS ON LINE

- ✓ FRC → Fiber reinforced concrete
- ✓ GFRC, SFRC, STFRC, NFRC, CFRC
- ✓ HPC → High performance concrete
- ✓ SCC → Self-consolidating concrete
- ✓ TRM, TRC → Textile-reinforced mortars or concrete
- ✓ FRP → Fiber Reinforced Polymer
- ✓ CFRC, AFRP, GFRP

55

Arte e Ciência da Construção

Marcus Vitruvius Pollio (*Engenheiro / Arquiteto Romano*)

40 anos aC → "De Architectura"

10 volumes → 800 anos como best - seller

Utilitas
Firmitas
Venustas

(funcional)
(estável e durável)
(bonita)

Até hoje pode-se considerar como os grandes marcos da pesquisa, da inovação e do desenvolvimento em construção civil

56

Venustas *Bonita !*

57



58

Firmitas

estável e durável

59



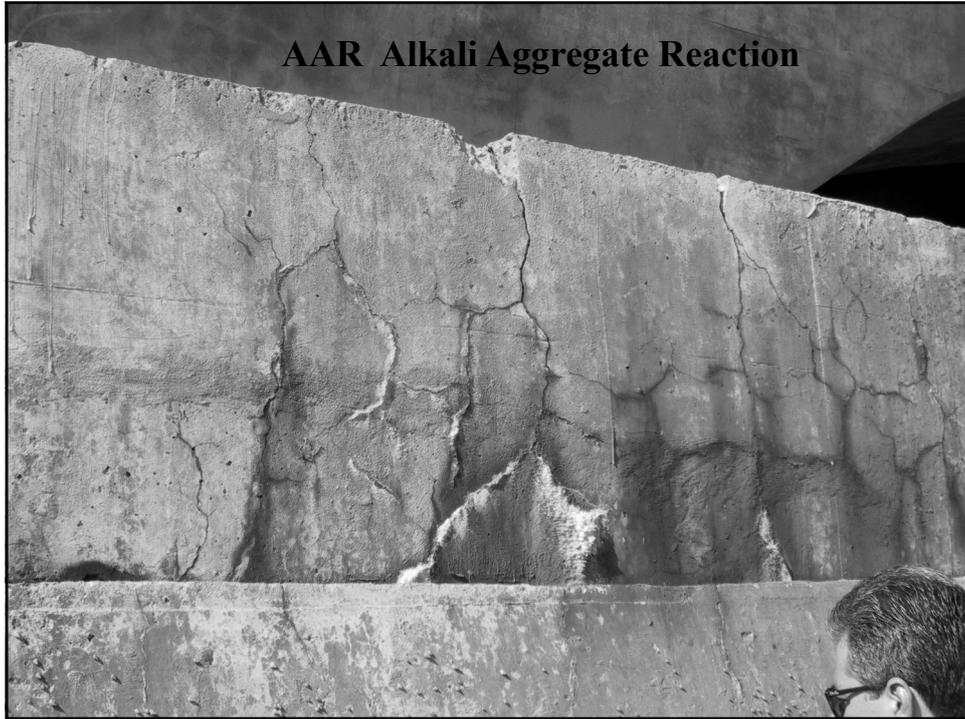
60



61



62



63

Arte e Ciência da Construção

Marcus Vitruvius Pollio (*Engenheiro / Arquiteto Romano*)

40 anos aC → "*De Architectura*"

10 volumes → 800 anos como best - seller

Utilitas
Firmitas
Venustas

(funcional)
(estável e durável)
(bonita)

Até hoje pode-se considerar como os grandes marcos da pesquisa, da inovação e do desenvolvimento em construção civil

64

Arte e Ciência da Construção

Marcus Vitruvius Pollio (*Engenheiro / Arquiteto Romano*)

40 anos aC → "De Architectura"

10 volumes em 10 livros
Livro 1: Fundamentos da Arquitetura
Livro 2: O templo
Livro 3: O templo (cont.)
Livro 4: O templo (cont.)
Livro 5: O templo (cont.)
Livro 6: O templo (cont.)
Livro 7: O templo (cont.)
Livro 8: O templo (cont.)
Livro 9: O templo (cont.)
Livro 10: O templo (cont.)
(bonita)

Sustentabilidade

Até hoje pode-se considerar como os grandes marcos da pesquisa, da inovação e do desenvolvimento em construção civil

65

Concrete R & D

SCC → Self –Compacting Concrete

HPC → High Performance Concrete

HSC → High Strength Concrete

CRC → Compact Reinforced Composite

RPC → Reactive Powder Concrete

66

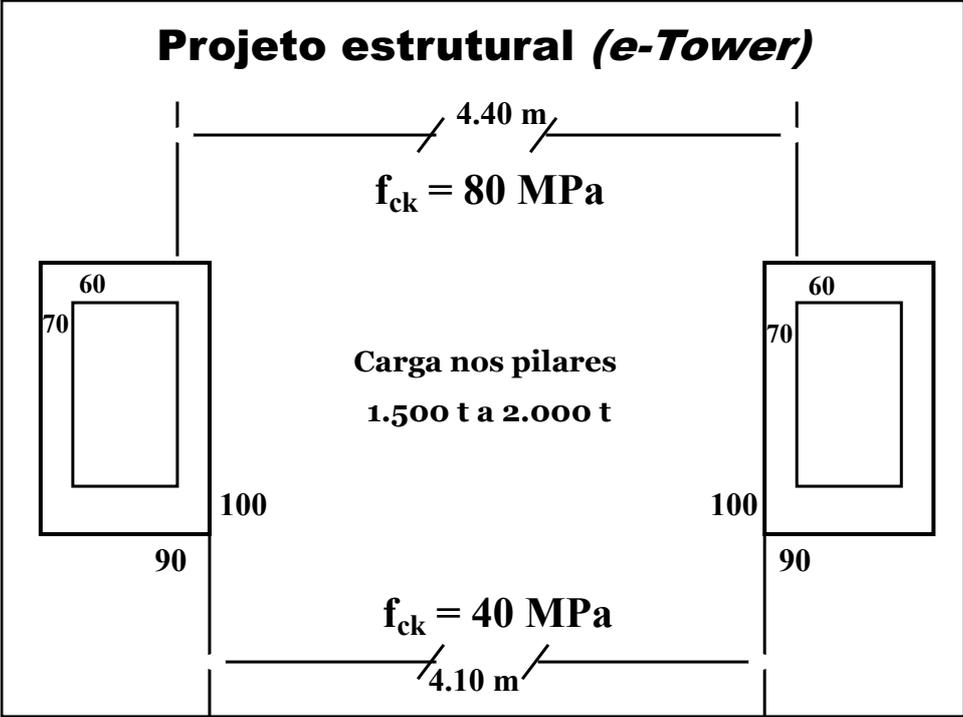


67

TECNUM
CONSTRUTORA

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

68



69



70



71



72

Economia de recursos naturais

Original:

$$f_{ck} = 40\text{MPa}$$

seção transversal → 90cm x 100cm

$$0,90\text{m}^2$$

HPC / HSC:

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

seção transversal → 60cm x 70cm

$$0,42\text{m}^2$$

73

Economia de recursos naturais

- 70% menos areia
- 70% menos pedra
- 53% menos concreto
- 53% menos água
- 20% menos cimento

74

Considerações Finais

*baseadas no CTBUH → Council on Tall Buildings
and Urban Habitat*

75

Em 1.997 as torres gêmeas
Petronas, em Kuala
Lumpur, toda de concreto,
superou em altura a torre
Sears em Chicago
(metálica)

76

Passados somente
10 anos, 5 novos
edifícios mais altos
que o Petronas
foram construídos

77

**Hoje há 22 edifícios em
construção com altura
superior a 300m (*novo
patamar de arranha-céu*) e
14 outros já foram
inaugurados...
desde 1.997 !**

78

Desse total de 36

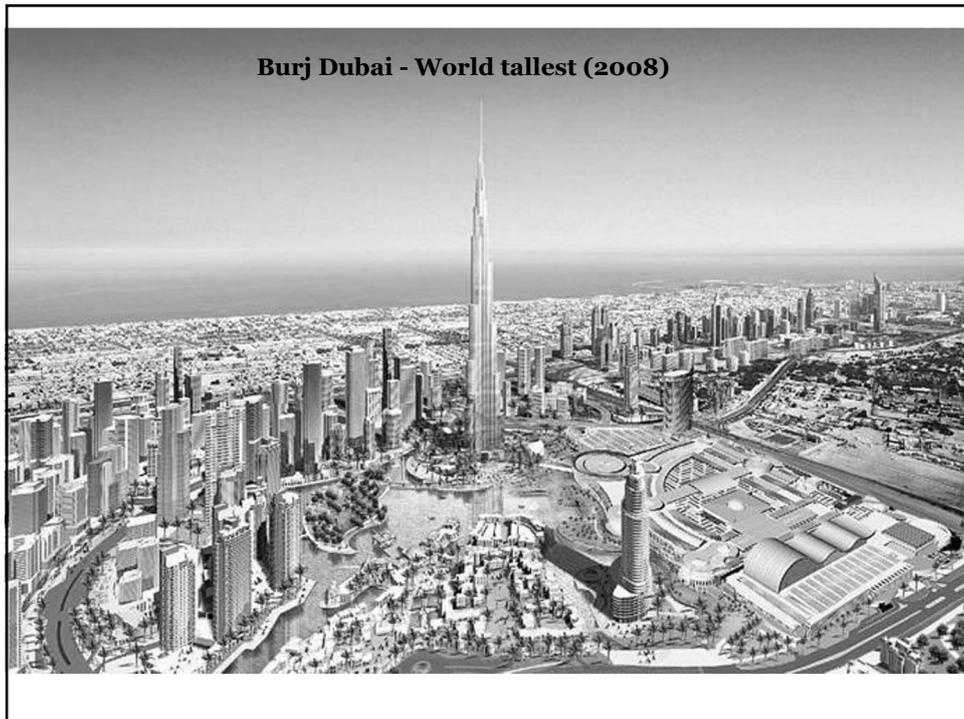
“arranha-céus”:

- 13 são em concreto
- 19 são mistos concreto / aço
- apenas 4 são metálicos

79

Inclusive o mais alto edifício em construção no mundo, a Burg Dubai, tem estrutura totalmente em concreto

80



81

Em 100anos, o concreto
superou todos os limites
e fronteiras do
conhecimento em
Engenharia de projeto e
de construção!

82

e... ainda continua em franco progresso e evolução não sendo possível prever seus limites, nem seu substituto !

83



Ponte do Infante, Porto, Portugal.

84