



USP

Escola Politécnica

Secretaria
Infra-Estrutura
do Amazonas

Sobre a Arte de Projetar e Construir Estruturas

Paulo Helene

*Prof. Titular da Universidade de São Paulo
Vice-Presidente do IBRACON
Coordenador da Red Rehabilitar
Membro do Model Code For Service Life (fib)*

Direitos Reservados USP 2008

Manaus, 30 de julho de 2008

1

**Importância da
“arquitetura &
engenharia” 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

Nos Estados Unidos, USA → Surendra Shah → Diretor Científico

1989 → National Science Foundation, NSF

ACBM Center for Advanced Cement-based Materials

NorthWestern University

University of Illinois

Purdue University

University of Michigan

National Institute of Standards and Technology

→ WMU, waste material utilization;

→ LCP, life cycle prediction;

→ DHPC, designing for high performance concrete

“Concrete & Science Engineering”

“Cementing the Future” média: 8 artigos por ano

7

ACBM: Worldwide leaders in new technology

ACBM was established in 1989 as a National Science Foundation Science and Technology Center, dedicated to the cement and concrete industries. By focusing on research, education, and technology transfer, ACBM has contributed major advances in the knowledge of cement and concrete materials and their behavior.

Hundreds of students and visiting scholars have participated in research at ACBM and have gone on to careers in industry and academia to continue this important work.

Many companies have adopted and optimized new technologies based on expertise developed through collaborative efforts with ACBM. **Cement Research — Response to a real world need.**

Much of the way we live depends on concrete. Our houses, roads, cities and underground support systems are all structured from this.

8

ACBM Center for Advanced Cement-Based Materials

*Our purpose is to
improve and enhance
the performance of
vital construction
materials.*

9

Pesquisas em Concreto

No Brasil, BR

2000, Ministério da Ciência e Tecnologia, MCT
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico, CNPQ, PADCT

Instituto do Milênio em Pesquisa Inovação e Difusão "Concreto Brasil"

Linhas de Pesquisa

- 1 - Patologia, Manutenção e Recuperação das Estruturas de Concreto
- 2 - Pré-Moldados de Concreto
- 3 - O Concreto e o Desenvolvimento Sustentado
- 4 - Desenvolvimento de Indicadores de Competitividade para Monitoramento da Cadeia Produtiva

10

Pesquisas em Concreto

Instituto do Milênio "Concreto Brasil"

Instituições Experientes:

Escola de Engenharia de São Carlos USP
Instituto de Pesquisas Tecnológicas
Instituto Tecnológico de Aeronáutica
Universidade de Campinas
Universidade de São Paulo
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Universidade Federal de Santa Catarina

Instituições emergentes:

Universidade de Pernambuco
Universidade Federal de Goiás

Associações e Entidades:

Associação Brasileira das Empresas de Serviços de
Concretagem – ABESC
Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP
Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON

13

BRASIL → Institutos do Milênio MSI (17 em 2001, hoje 33)

Advanced Technologies

1. Avanço Global e Integrado da Matemática Brasileira
2. Instituto do Milênio para Evolução de Estrelas e Galáxia
3. Instituto de Informação Quântica
4. Instituto de Nanociências

Engineering and Manufacturing

1. Fábrica do Milênio
2. Instituto do Milênio de Materiais Complexos
3. Instituto Multidisciplinar de Materiais Poliméricos
4. Rede de Pesquisa em Sistema em Chip, Microsistemas e Nanoeletrônica

Human Development and Biotechnology

1. Estratégias integradas para estudo e controle da tuberculose no Brasil
2. Instituto de Investigação em Imunologia
3. Bioengenharia e Terapias celulares para doenças crônico-degenerativas
4. Integração de melhoramento genético, genoma funcional e comparativo

Natural Resources and Environment

1. Água - uma visão mineral
2. Semi-Árido Biodiversidade, Bioprospecção e Conservação de Recursos
3. Mudanças de uso de solo na Amazônia
4. Núcleo de Estudos Costeiros
5. Oceanografia Uso e Apropriação de recursos costeiros

14

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”

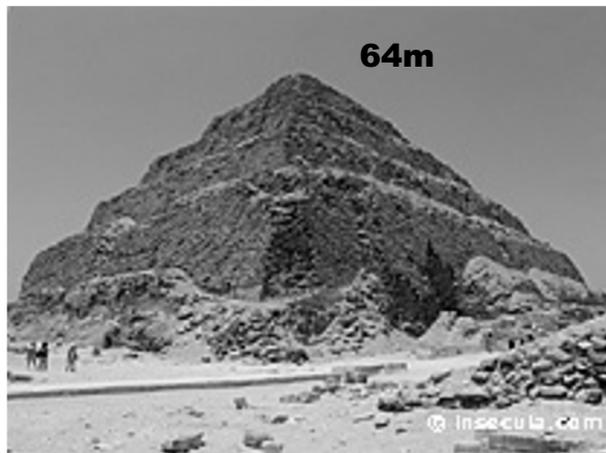
48 Congressos → 2.600 artigos → práticas recomendadas →
livros

15

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

16

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



Pirâmide escalonada de Djoser

17

I Grande Revolução !

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

18



19



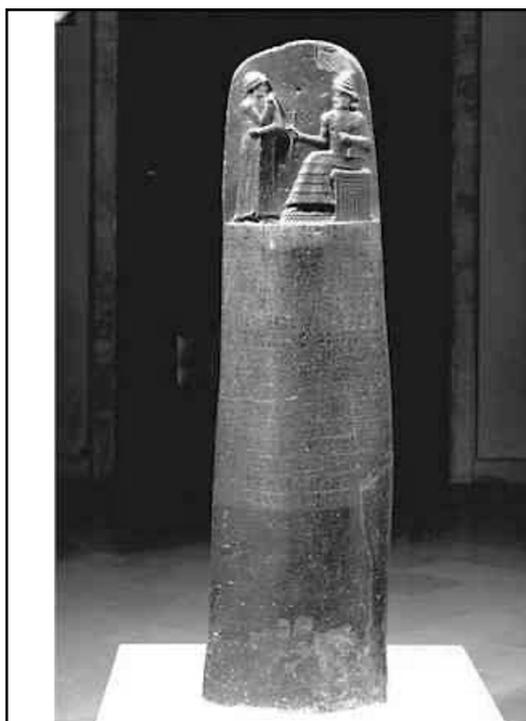
Stonehenge , Wiltshire, Inglaterra, perto de Salisbury.
Blocos montados em um campo circular. Considerado obra pré-histórica !!
2.800 a 2.200 aC

20

A CONSTRUÇÃO ESTÁ no PRIMEIRO CÓDIGO CIVIL da HUMANIDADE

“Durabilidade!”

21



**Código de Leis de
Hammurabi
(1.780 aC)**

Rei da Babilonia

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

22

Genesis, 11.4

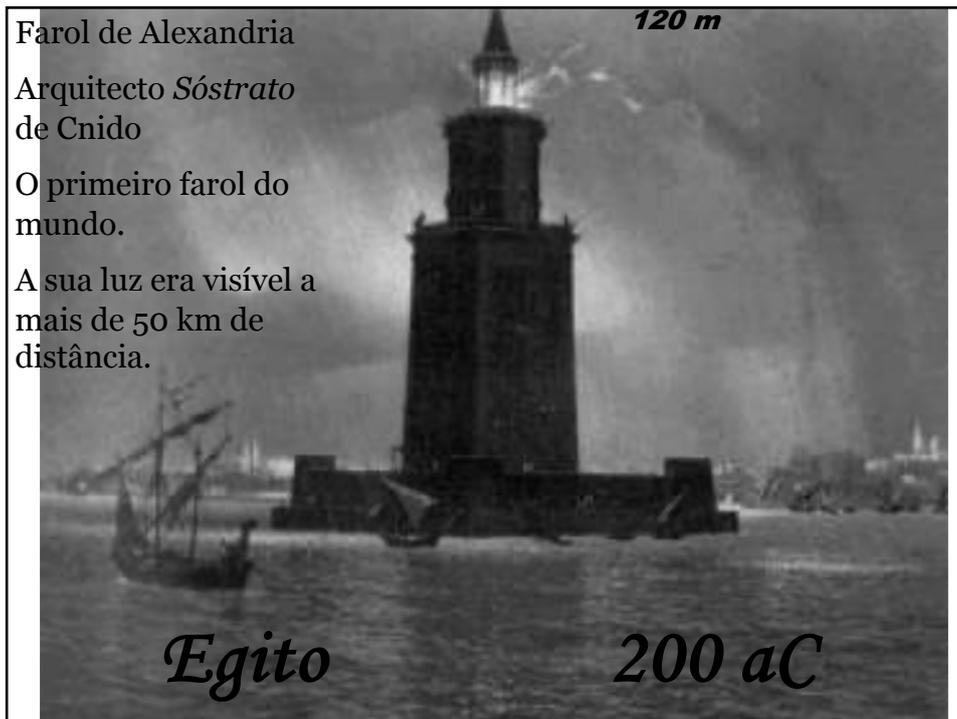
O Povo de Deus disse:

**“ 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”**

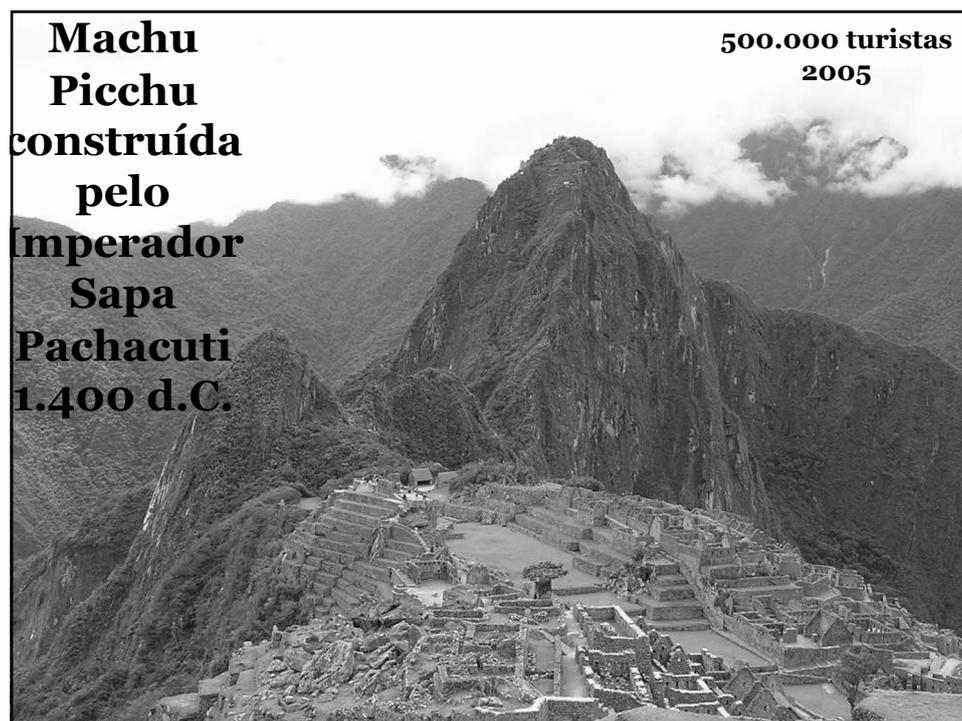
23



24



25



26



27



28

Construir com Materiais Resistentes e Duráveis

29

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

Arquitetos Ictinos de Mileto
e Calícrates (*escultor Fídias*)



Pártenon, 440 aC
“século de Péricles”



30

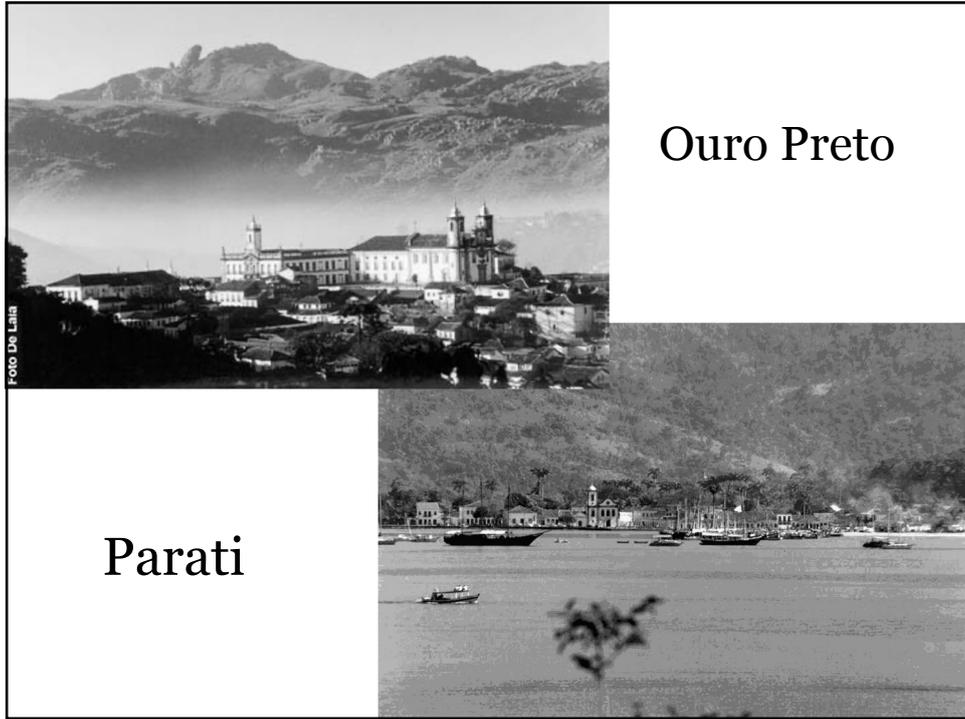
Cartagena de Indias



31



32



33

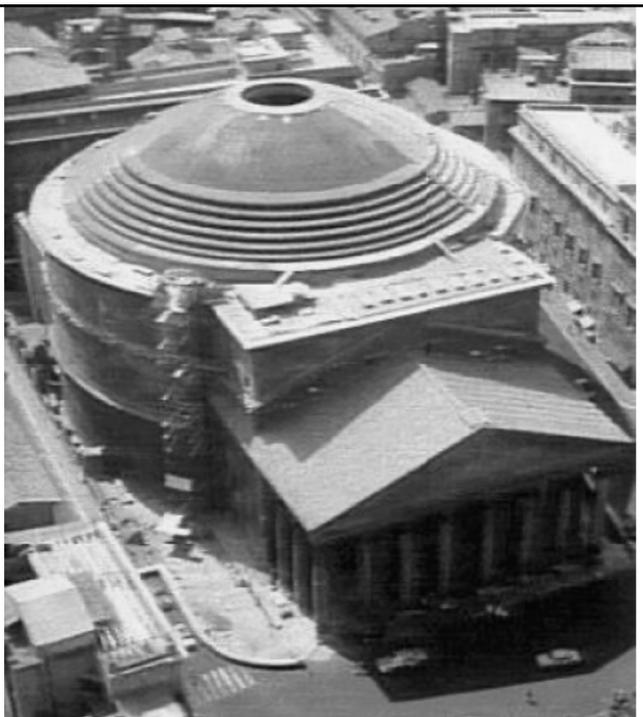


34

QUANDO APARECEU O CONCRETO POR PRIMEIRA VEZ NA HISTÓRIA?

35

Panteão
de
Roma



36

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



37

Séculos

IV → Estilo Bizantino → Catedral Santa Sophia, Istambul

IX → Estilo Românico → Abadia Cluny, France

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

XV → Estilo Renacentista

XVII → Estilo Barroco → Catedral São Pedro, Bernini

XVII → Estilo Neoclássico → Arco do Triunfo, Paris

38

Catedral de Notre Dame



1163-1330

Abóbada da nave central → 35 m de altura

39

Séculos

IV → Estilo Bizantino → Catedral Santa Sophia, Istambul

IX → Estilo Romanico → Abadia Cluny, France

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

XV → Estilo Renacentista

XVII → Estilo Barroco → Catedral San Pedro, Bernini

XVII → Estilo Neoclasico → Arco del Triunfo , Paris

XIX → Estruturas metálicas

40

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



41



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

42

Fundações em rocha e alvenaria



43

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.

44



45

“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

46

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

47



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

48

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

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

49



**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**

50

**SÉCULO XX
1.900**

**APARECE UM
NOVO MATERIAL**

Concreto Armado

51

**Primeiras Normas sobre
Estruturas de Concreto**

1903	Suíça
1903	Alemanha
1906	França
1907	Inglaterra

52



53



**Systeme
Hennebique**
Paris, Rue Danton1

7 andares
França 1.901
30m

$f_{ck} = ?$

107years !

**Oldest Building
in world**

54



Palácio Salvo
Montevideu

27 andares

Uruguai 1925

103m

$f_{ck} = ?$

83 anos !

world record

55



Edifício
Martinelli

1929

106m

78 anos

world record

São Paulo, Brasil

56



Cristo Redentor

1931

**Concreto
armado**

**(pedra sabão)
39,6m**

**Corcovado, RJ
750m**

**Projeto estrutural:
Heitor da Silva Costa & Albert Caquot
Arquitetura: artista plástico Carlos Oswald & escultor Maximilien Paul Landowski**

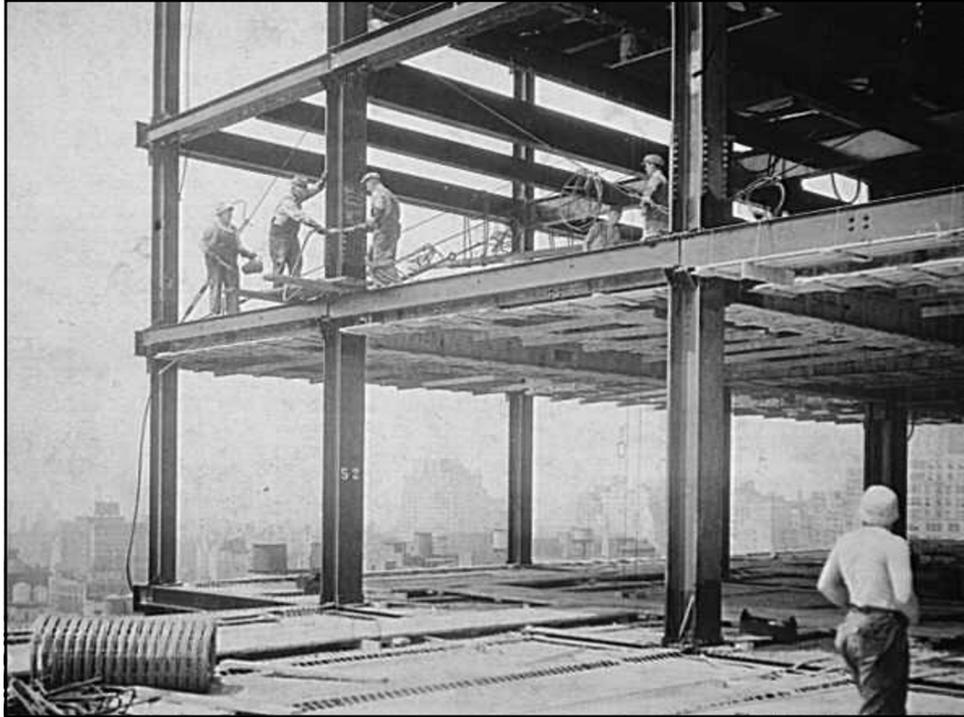
Hoje com 76 anos de idade, a estrutura dessa estátua, requereu apenas duas intervenções para manutenção realizadas nas décadas de 80 e 90, o que a caracteriza como de exemplar vida útil.

57



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

58



59

Século XX
1.928

“novo material estrutural”

Concreto
Protendido

Eugene Freyssinet

60



61



62



63

2 8 2002

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

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

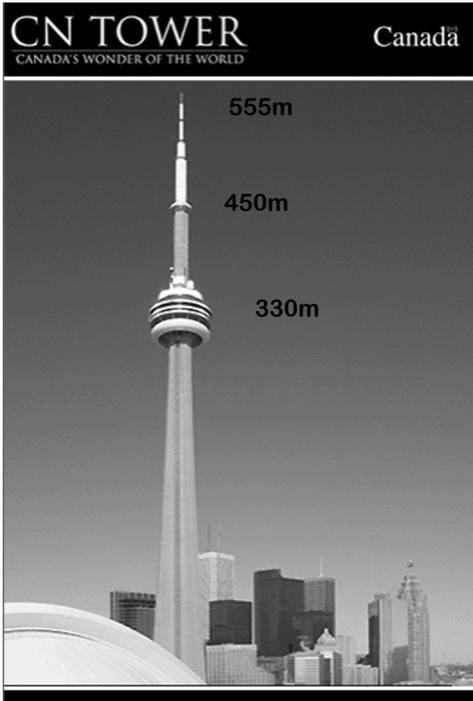
**Vida Útil
100 anos!**

64

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”

65



CN TOWER
CANADA'S WONDER OF THE WORLD

Canada

555m
450m
330m

CN Tower

CLC → real estate
Canada Lands Company

1.976

555 m

concreto protendido

4 meses !

The image shows a black and white advertisement for the CN Tower. On the left is a photograph of the tower with height markers at 330m, 450m, and 555m. The right side contains text in various sizes and weights, including the tower's name, company information, and construction details.

66

Melhoria arquitetônica

Concreto aparente, grandes vãos

Bruno Contarini



Oscar Niemeyer

Superior Tribunal de Justiça

67

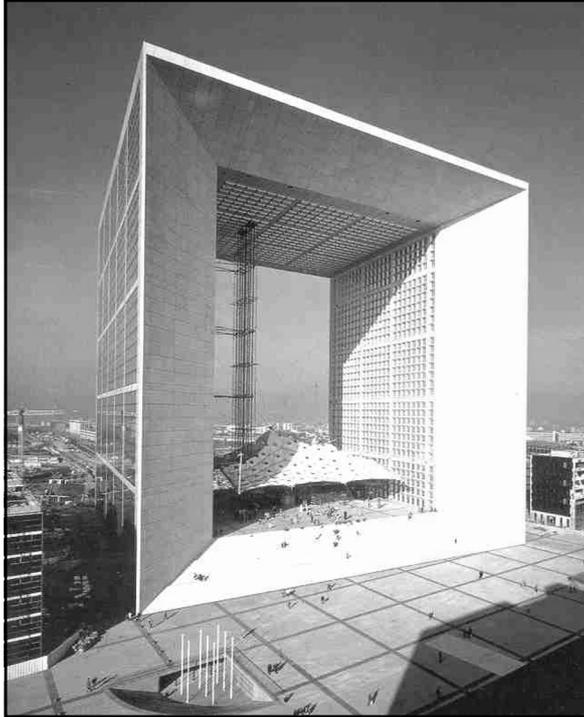
Mário Franco



UNIQUE
Hotel SP
 $f_{ck} = 50\text{MPa}$
2.002

Ruy Othake

68



Grand Arch

La Defense

Paris

França 1990

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

**“high-tech
style”**

69



Petronas Towers

Cesar Pelli

Kuala Lumpur

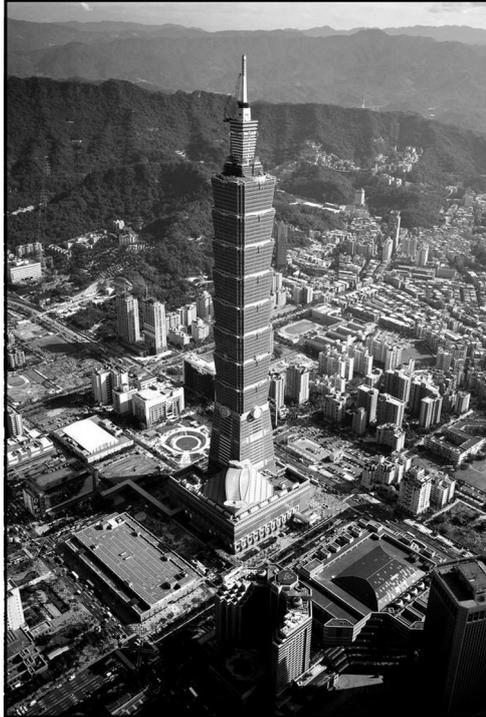
Malasia 1.997

452m

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

before / after

70



TAIPEI 101

Shangai World Financial Centre

Taiwan, China

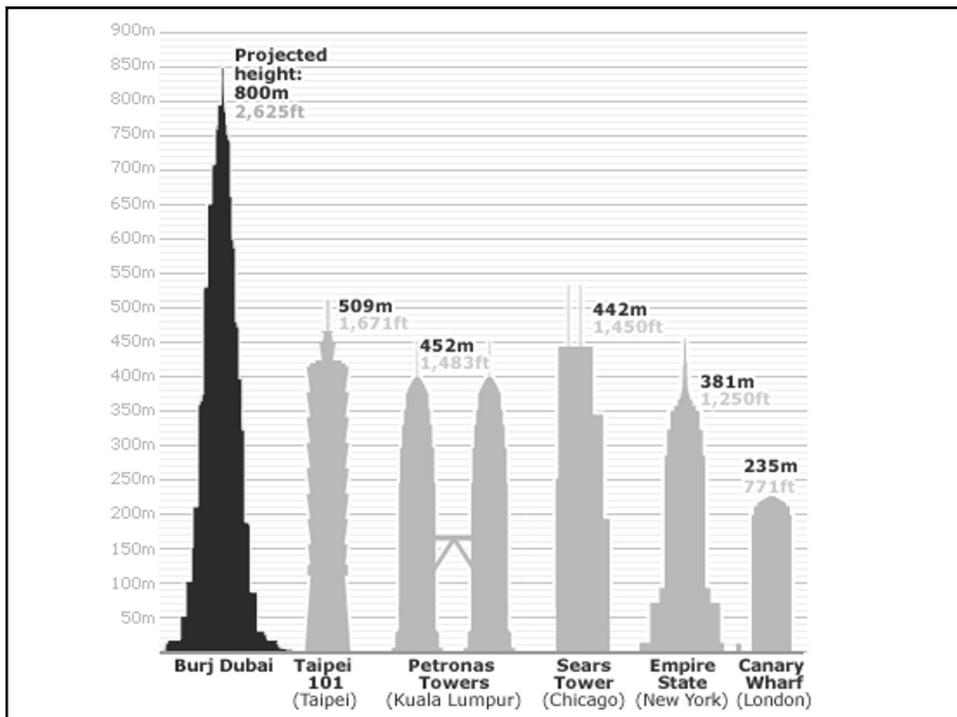
2005

509m

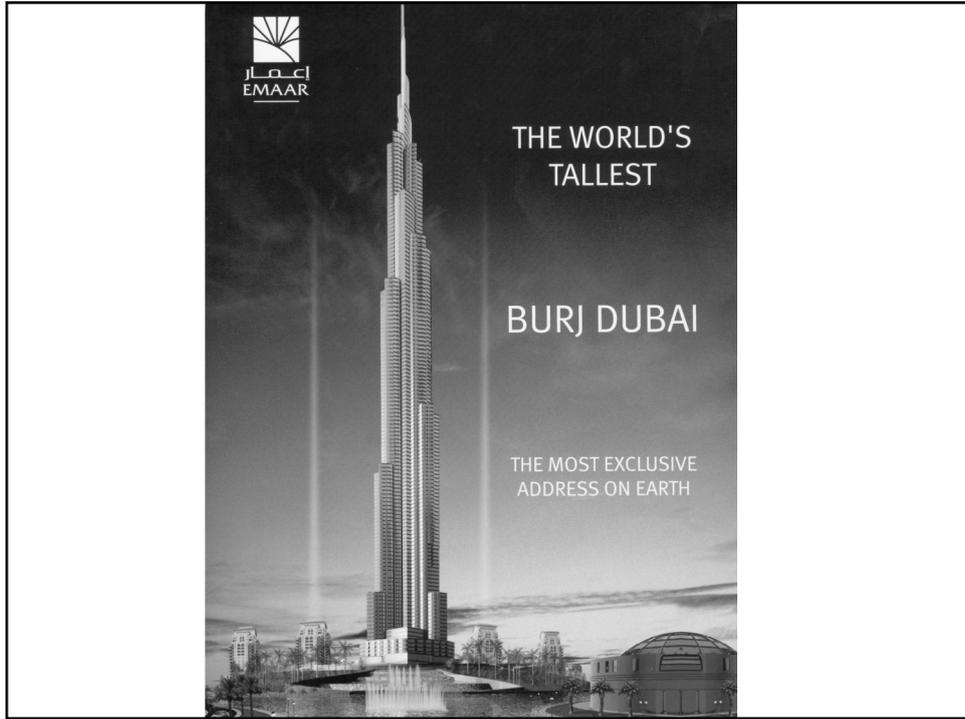
$f_{ck} = 80 \text{ MPa}$

steel / concrete

71



72



73

Como será
o futuro?

74

P & D em Concreto Concreto de Alto Desempenho

SCC → Self –Compacting Concrete
HPC → High Performance Concrete
HSC → High Strength Concrete
CRC → Compact Reinforced Composite
RPC → Reactive Powder Concrete

75

**estudo
comparativo**



76



77

10 x produtividade

CC: moldagem: 4,4min;

acabamento: 3,3min;

**n° de operários empregado: 5 no total; incluindo
vibração (1), caçamba (2), acabamento (1) e
ponteiro (1).**

0,870 homens-hora / m³ de concreto

CAA: moldagem: 1,2min

acabamento: não precisou

**n° de operários empregado: três (3); com caçamba
(2) e ponteiro (1).**

0,081 h.h/ m³ de concreto

78

P & D em Concreto Concreto de Alto Desempenho

HPC → High Performance Concrete

HSC → High Strength Concrete

CRC → Compact Reinforced Composite

RPC → Reactive Powder Concrete

79

Concrete Evolution

National Building Museum
Washington, USA
"New Architecture in Concrete"
2.005/2.006

30 best innovations

80



81

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*

82

Innovations in Concrete

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

83

Concreto Estampado



84

Concreto estampado

➤ **evolução, melhoria, inovação de processo**



85

Engraved Concrete



86

Engraved Concrete



87

Translucid Concrete



88

Translucid Concrete

Arq. Aron Losonezi (from Hungary)



89

R&D in Construction

SCIENTIFIC AMERICAN

245 → documents in the last 10 years

*Building Better Concrete
July 25, 2006*

Paulo Monteiro, UC Berkeley

90

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

91

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

92

Venustas Bonita !

93



94

Firmitas

estável e durável

95



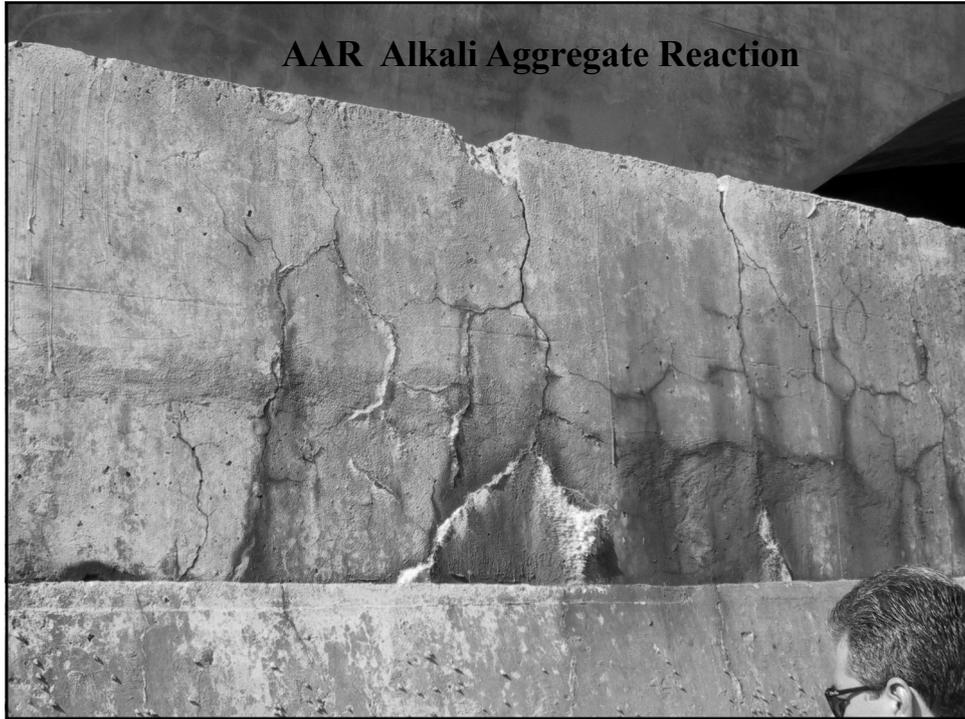
96



97



98



99



100

250 anos de garantia.

Quem precisa de segurança, tecnologia e competência, precisa de Engemix. Como o filósofo Epiteto já dizia: quem se mantém a si, sobrevive. O novo prédio da Torre Norte do Centro Empresarial Nações Unidas, um bloco de 20m x 20m x 8m, correspondente a 2.024 m² de concreto, lançado em 23 metros horizontais. Com o auxílio de 360 toneladas de gás para controlar a temperatura do concreto, volume equivalente a um colberg de 4m x 4m x 20m. Ou seja, a Concreta foi projetada para o momento de seu lançamento, em um bloco de 30 pavimentos e 150 metros, e mais alto de São Paulo, com 26.000 m² de CAD e concreto de alto desempenho. Estruturas que não são mais reguladas por reguladores e servem como um dos grandes exemplos de aplicação do CAD, a mais nova tecnologia em sistemas de concretagem, mesmo no P. 18. Já a mais utilizada de CAD no Brasil, a não deve esquecer qual o tipo de problema pela primeira vez, em 2011, segundo pesquisas e estudos realizados por consultores e técnicos especializados para o desenvolvimento e aplicação de artigos científicos e normas técnicas. É a combinação de métodos de controle de qualidade e o registro brasileiro de bombeamento de concreto em altura 150 metros.

Em menos de 4 horas, foram bombeadas quase 40 m³ de concreto no 30.º Andar. Bombardeio de segurança de concreto que significou uma carga de 3 m² de concreto na área de lançamento, equivalentes a 77 toneladas.

O resultado é que, hoje, o Centro Empresarial Nações Unidas é também uma verdadeira obra de arte tecnológica de concretagem inovadora. E as soluções propostas pelas construtoras e comitês de segurança, com o auxílio da competência de Engemix. Que garante, ao mesmo tempo, não apenas redução de custos, mas também diminuição do tempo de concretagem, otimização das operações de logística em altura, de modo a garantir a qualidade, integridade de estruturas e de concretagem do concreto na obra.

Quem precisa de solução segura em concretagem, não tem mais. Chama a Engemix.

CONCRETO ENGEMIX

101

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

102

Arte e Ciência da Construção

Marcus Vitruvius Pollio (*Engenheiro / Arquiteto Romano*)

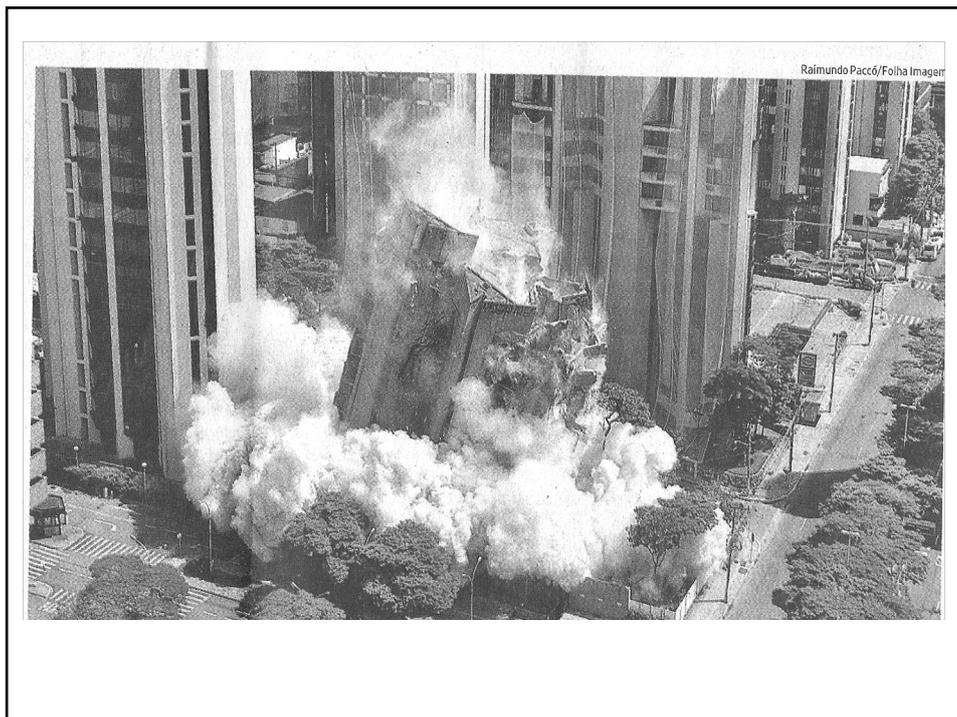
40 anos aC → "De Architectura"

10 volumes → a obra é dividida em 10 volumes
Obras que influenciaram a arquitetura e a engenharia (bonita)

Sustentável

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

103



104



105

Concrete R & D

- SCC → Self –Compacting Concrete**
- HPC → High Performance Concrete**
- HSC → High Strength Concrete**
- CRC → Compact Reinforced Composite**
- RPC → Reactive Powder Concrete**

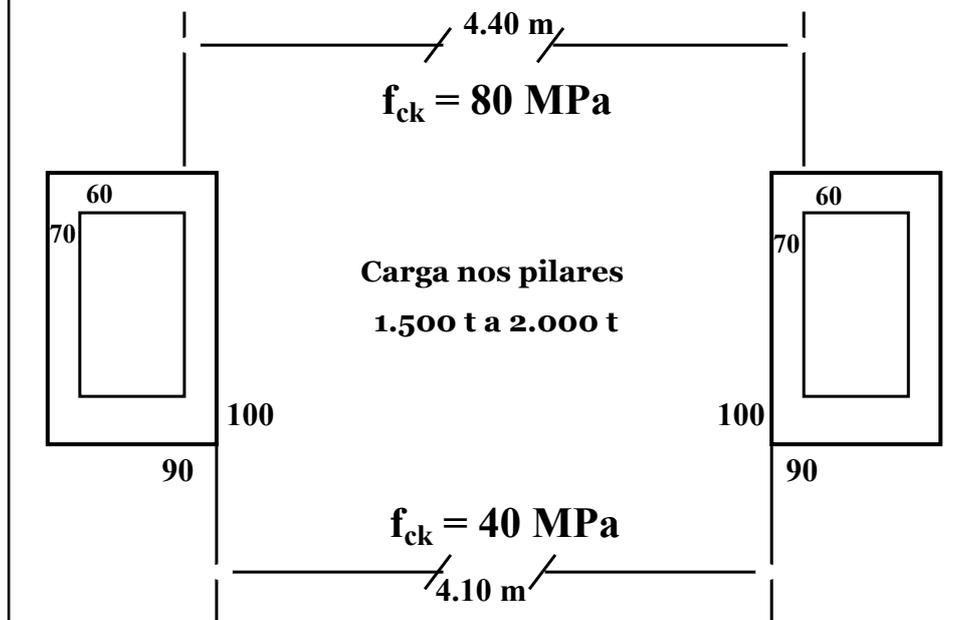
106

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



107

Projeto estrutural (*e-Tower*)



108



109



110

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

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

111

Economia de recursos naturais

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

112

Considerações Finais

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

113

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

114

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

115

**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 !**

116

Desse total de 36

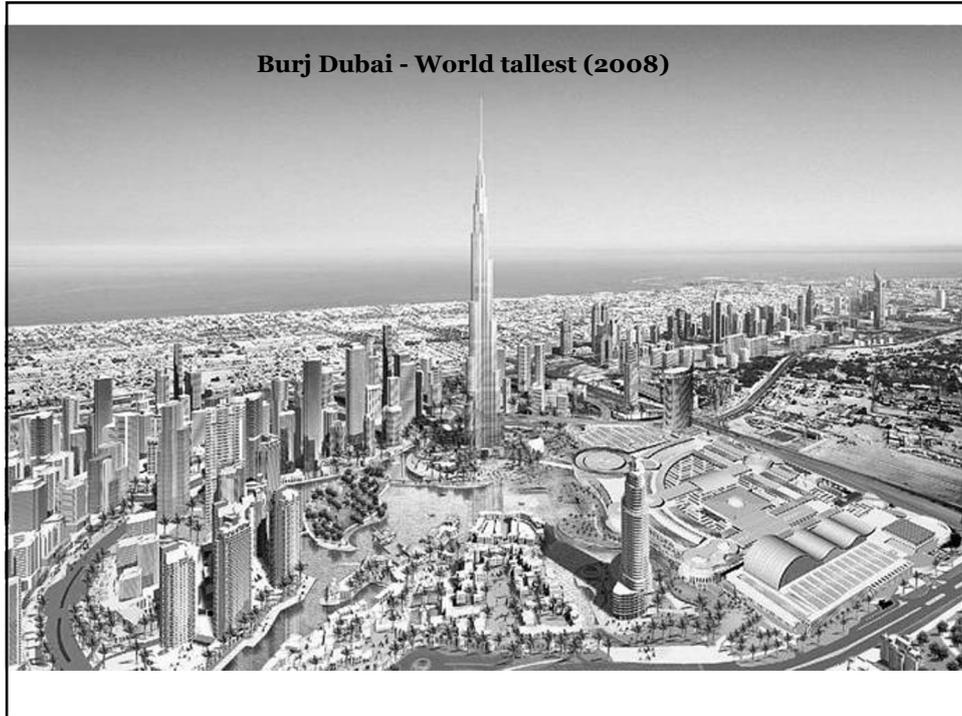
“arranha-céus”:

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

117

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

118



119

Em 100anos, o concreto
(*vital construction
material*) superou todos os
limites e fronteiras do
conhecimento em
Engenharia de projeto e de
construção!

120

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

121

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

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

122



O concreto de alto desempenho é uma das maiores oportunidades atuais de resgatar essa importância e vocação da arquitetura e da engenharia civil brasileiras