



USP

Escola Politécnica

PCC 2341

Tecnologia do Concreto TeCon

Sobre a Arte de Projetar e Construir Estruturas

Equipe de Professores

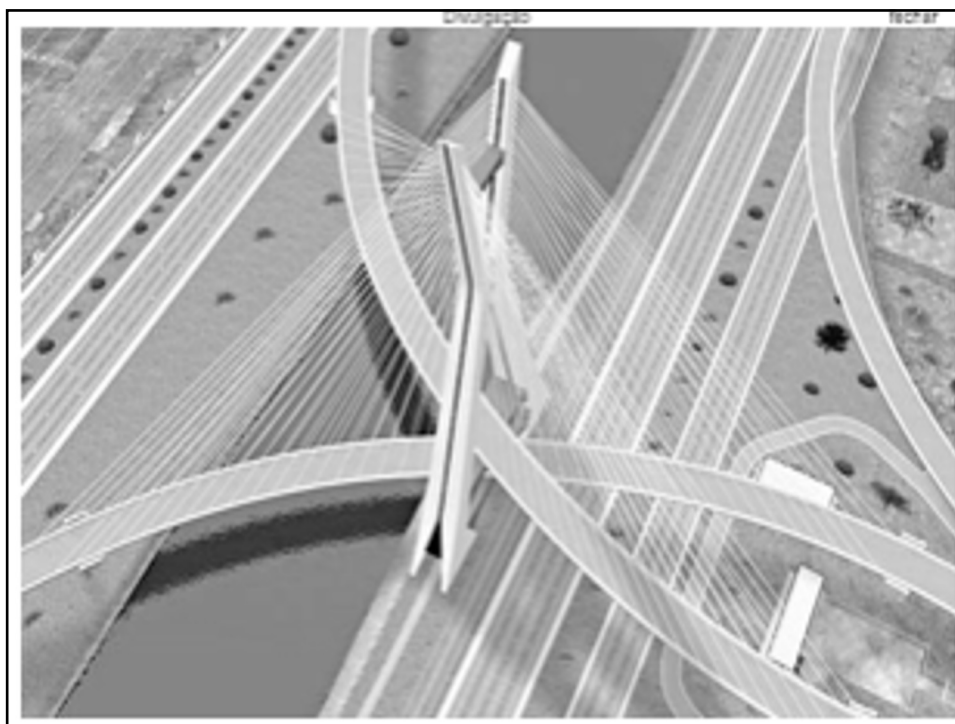
Antonio Figueiredo

Paulo Helene

Vanderley John

Direitos Reservados USP 2009

1



2



3



USP

Escola Politécnica

PCC 2341

Tecnologia do Concreto TeCon

“Contribuição da Engenharia de Concreto à Evolução das Estruturas e ao Desenvolvimento da Humanidade”

Direitos Reservados USP 2009

4



USP

Escola Politécnica

PCC 2341

Tecnologia do Concreto TeCon

**O que você está fazendo
aqui em 2009 na Escola
Politécnica da USP num
curso de Engenharia Civil
numa disciplina de
concreto?**

Direitos Reservados USP 2009

5

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

6

Histórico

1925 Consumo de 410.000 t/ano
100% IMPORTADO

1926 1ª Produção efetiva de cimento brasileiro:
COMPANHIA BRASILEIRA DE
CIMENTO PORTLAND PERUS

1939 5 Fábricas
IMPORTAÇÃO 5%

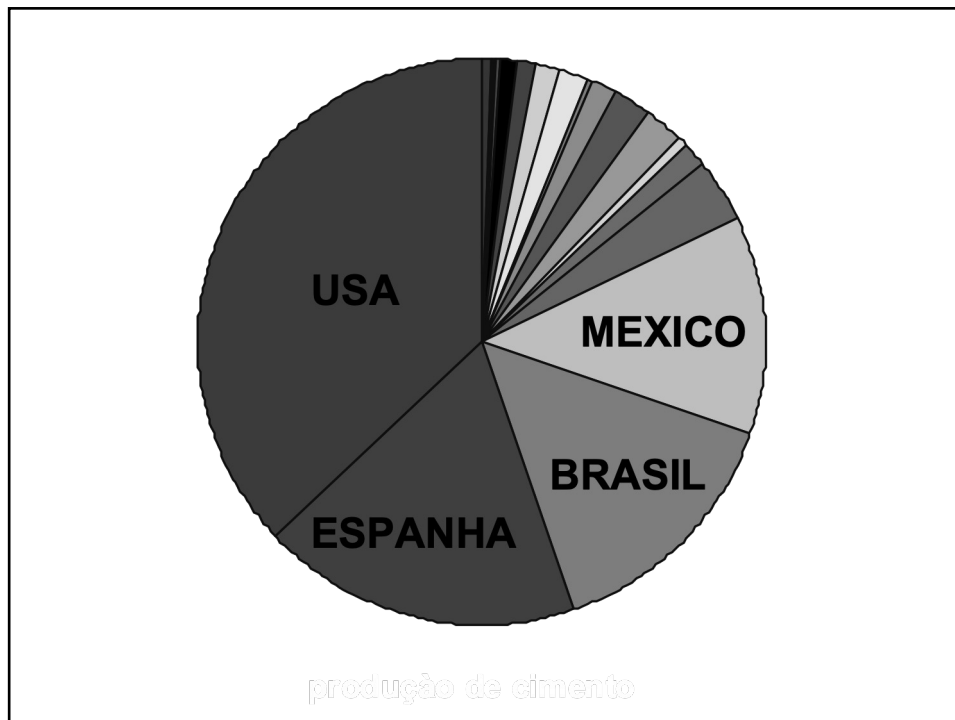
7

Histórico

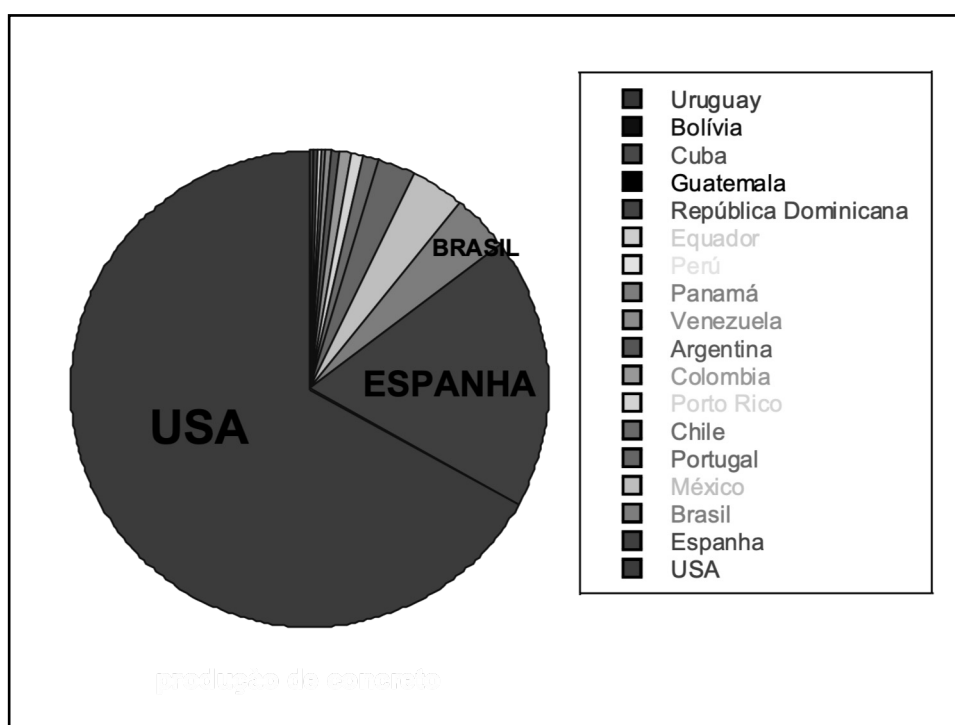
1953 15 Fábricas
3 milhões t / ano

2006 65 Fábricas + Moagens
42 milhões de t / ano

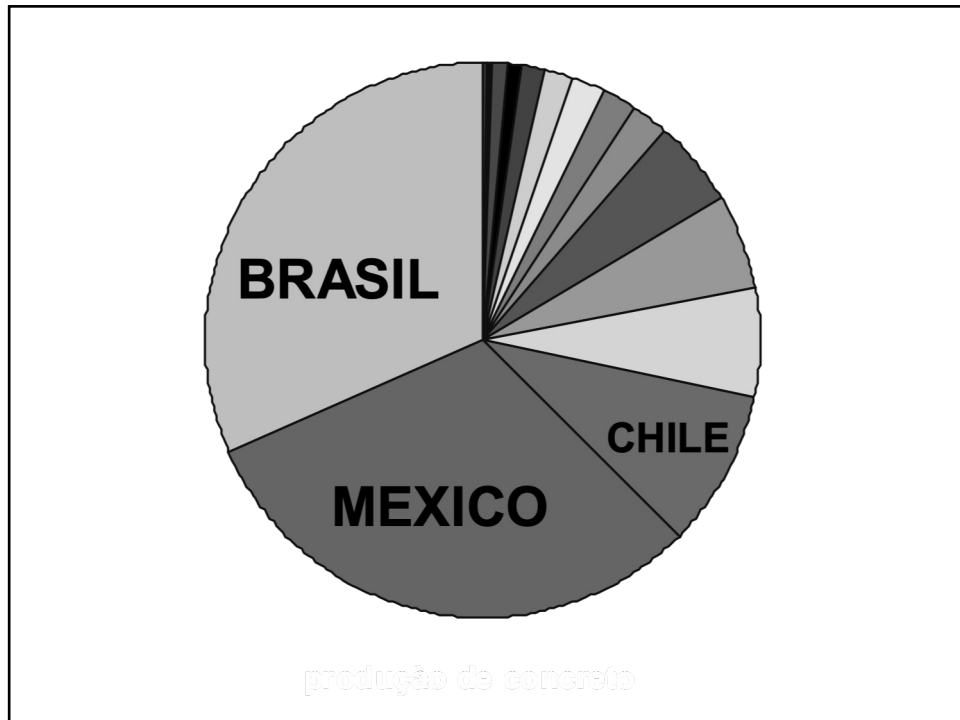
8



9



10



11

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

12

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

13

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.

14

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

15

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

16

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

17

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.

18

ACBM Center for Advanced Cement-Based Materials

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

19

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

20

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

23

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

24

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”

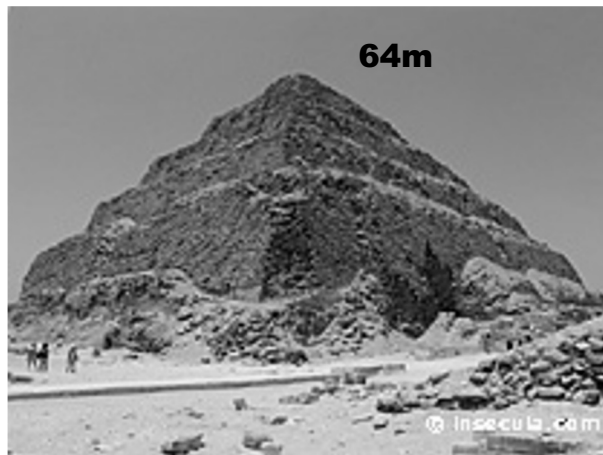
48 Congressos → 2.600 artigos → práticas recomendadas →
livros

25

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

26

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



Pirâmide escalonada de Djeser

27

I Grande Revolução !

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

28



29



30

A CONSTRUÇÃO ESTÁ no PRIMEIRO CÓDIGO CIVIL da HUMANIDADE

“Durabilidade!”

31



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

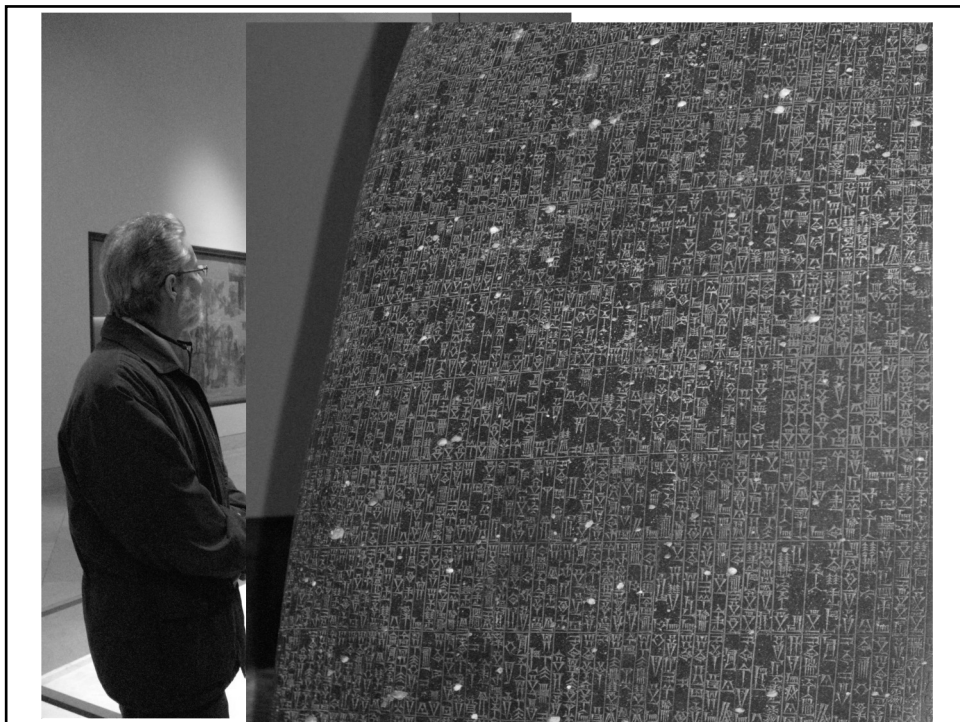
Rei da Babilonia

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

32



33



34

Código de Leis de Hammurabi

Artigos 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....

35

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”**

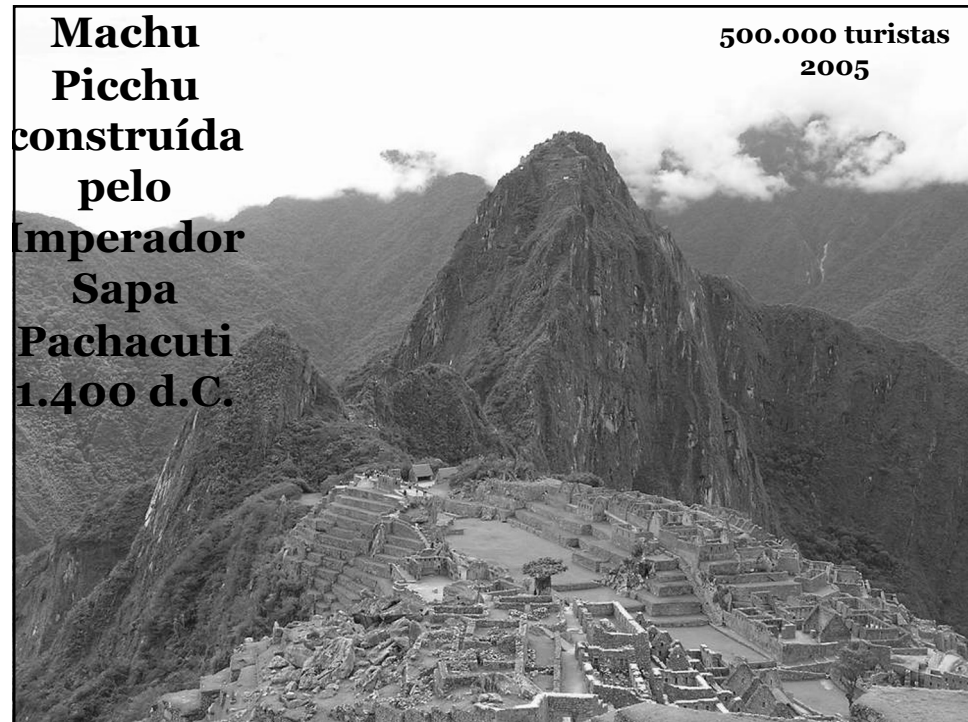
36



37



38



39



40



41

Construir com Materiais Resistentes e Duráveis

42

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

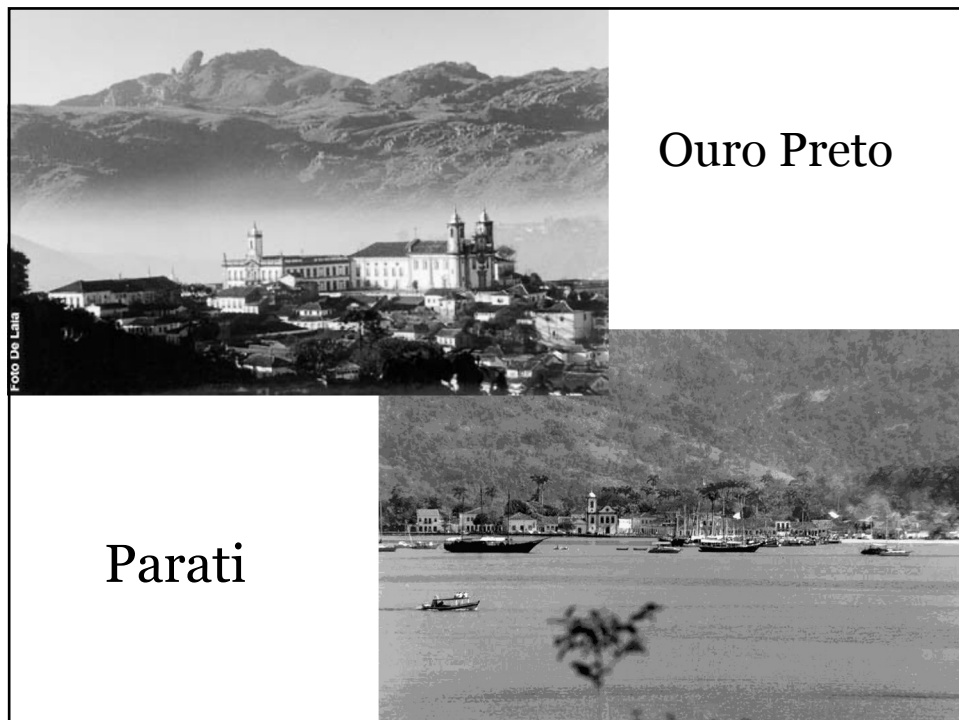
Arquitetos Ictinos de Mileto
e Calícrates (*escultor Fídias*)



Pártenon, 440 aC
“século de Péricles”



43



44



45

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

46

Panteão de Roma



47

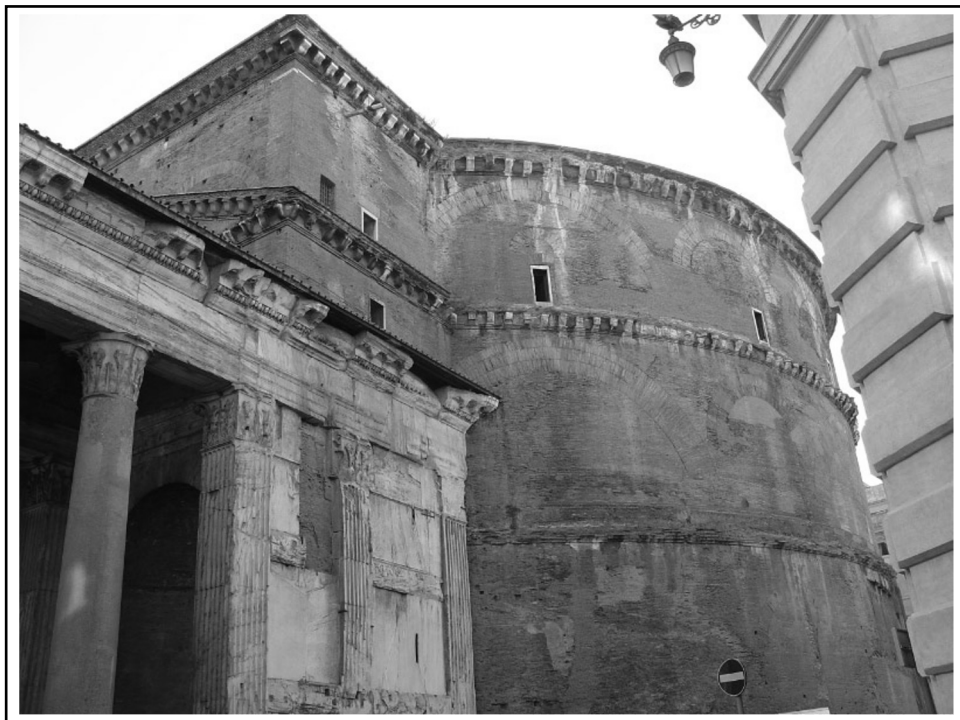
Cúpula do Panteão → Século II dC Diâmetro de **44m**

- agregado leve de pedra pome
- fôrma de bronze (cubetas)
 - concreto primitivo
- cal hidratada + pozolana + sangue
- 1.630 Urbano VIII → Arq. Bernini → baldaquino papal no transepto da Basílica (Catedral) de São Pedro
 - concreto aparente mais antigo

48



49



50

Cúpula do Panteão de Roma

Século II dC → Diâmetro de 44m



51

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

52

Catedral de Notre Dame



1163-1330

Abóbada da nave central → 35 m de altura

53

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

54

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



55



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

56

Fundações em rocha e alvenaria



57

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.

58



59

7.130.000 turistas em 2007 !	312m 
--	---

60

Onde estão os edifícios de Escritórios e Apartamentos?

O que houve?

61



Palácio de Westminster → Houses of Parliament
1.868 dC Big Ben

62

- **1.888 → Leroy Buffington
USA, esqueleto reticular**
- **1.853 → Otis, elevador seguro,
1889 → 1º elevador elétrico em
NY**

63



**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**

64

**SÉCULO XX
1.900**

**APARECE UM
NOVO MATERIAL**

Concreto Armado

65

**Primeiras Normas sobre
Estruturas de Concreto**

1903	Suiça
1903	Alemanha
1906	França
1907	Inglaterra

66



67



**Systeme
Hennebique**
Paris, Rue Danton1

7 andares
França 1.901
30m

$f_{ck} = ?$

107years !

**Oldest Building
in world**

68



69



Palácio Salvo
Montevideu

27 andares

Uruguai 1925

103m

$f_{ck} = ?$

83 anos !

world record

70



***Edifício
Martinelli***
1929
106m
78 anos
world record
São Paulo, Brasil

71



72



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 Maximillien Paul Landowski

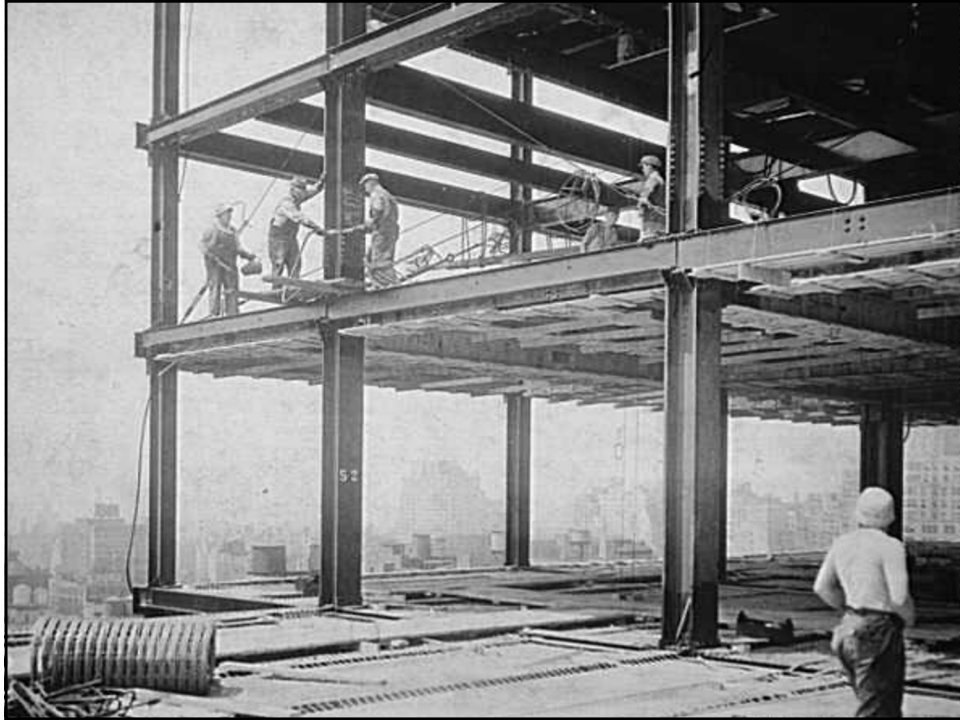
Hoje com 76 anos de idade, a estrutura dessa estátua, requereu apenas duas intervenções para manutenção realizadas nas décadas de 80 e 90, o que a caracteriza como de exemplar vida útil.

73



Empire State Building
381m , New York, 1.931

75



76

**Século XX
1.928**

“novo material estrutural”

***Concreto
Protendido***

Eugene Freyssinet

77



78



79



80



81



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

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

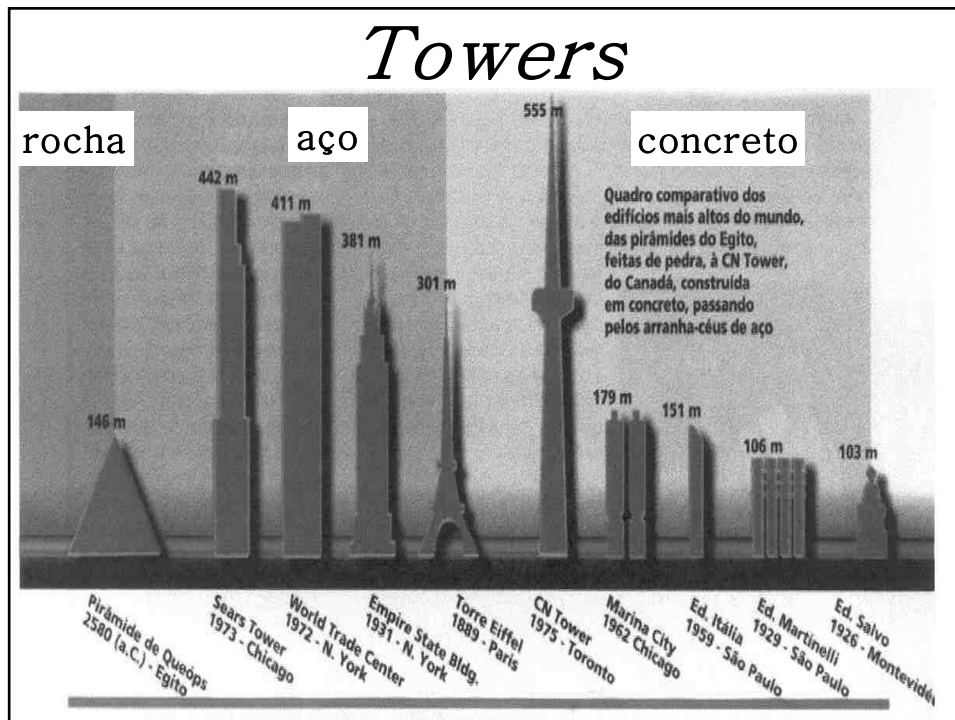
**Vida Útil
100 anos!**

82

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”

83



84

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 !

85

Melhoria arquitetônica

Concreto aparente, grandes vãos

Bruno Contarini



Oscar Niemeyer

Superior Tribunal de Justiça

86

Mário Franco

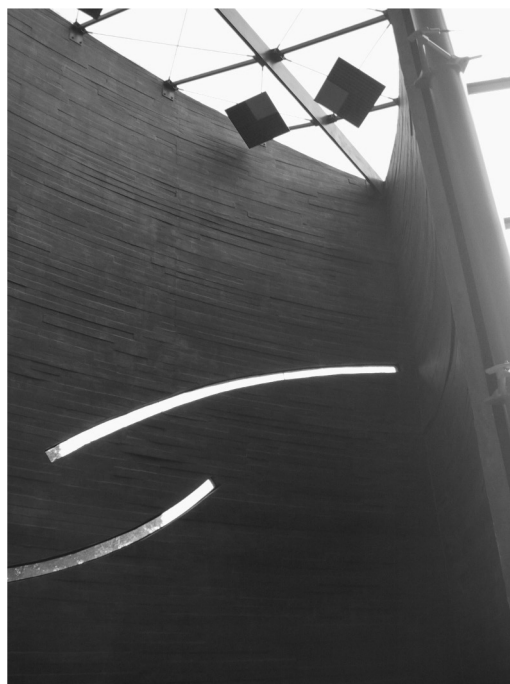


UNIQUE
Hotel SP
 $f_{ck} = 50\text{MPa}$
2.002

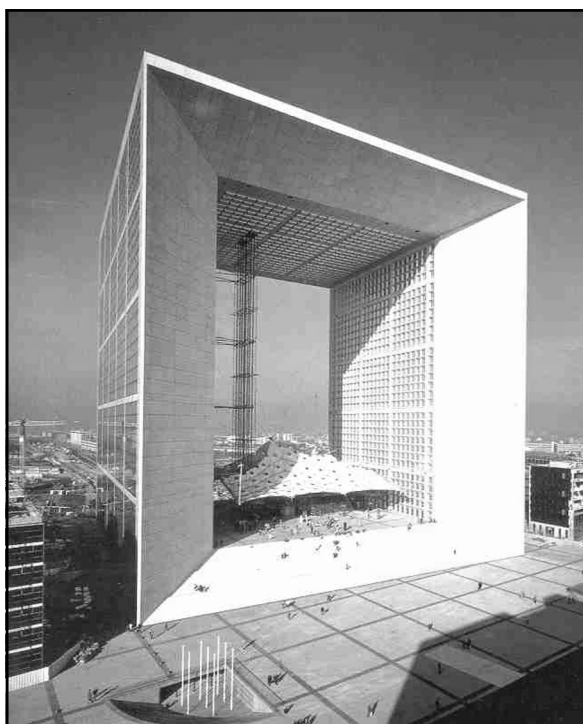
Ruy Othake

87

**Considerado
pela imprensa
francesa
uma das
7
maravilhas
de 2.003**



88



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

89



Petronas Towers

Cesar Pelli

Kuala Lumpur

Malasia 1.997

452m

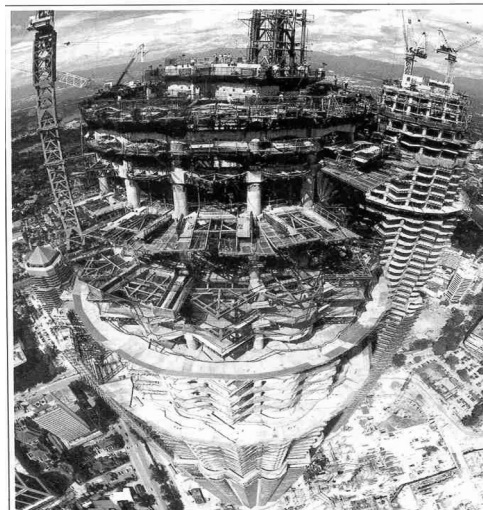
$f_{ck} = 80 \text{ MPa}$

before / after

90

Malasia rompe la barrera de los 450 mts. de altura*

Se proyecta al futuro construyendo torres de concreto



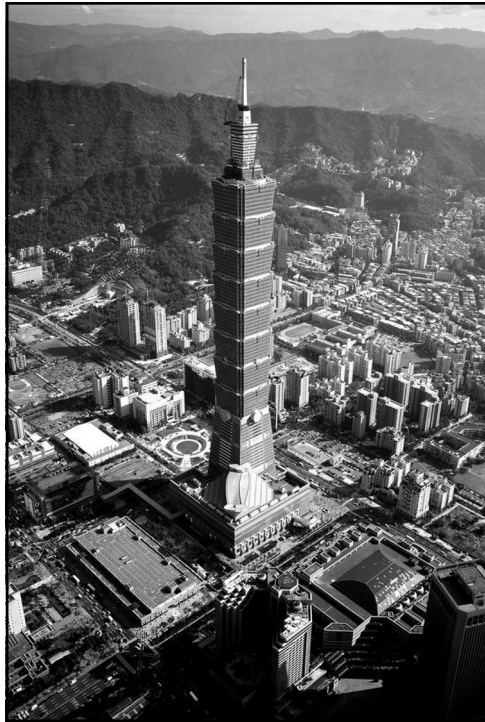
Nadine Post y i

Las torres más altas, más que por alcanzar, forman parte de i para transferir tecnología y tr todo un país. Dos rascacielos de ellos casi nueve metros m la torre Sears de 443 m qui récord de altura, se están co no en Chicago ni en Nueva l otro lado del mundo en Kua la capital de Malasia. Esta resi del sureste de Asia con 19 habitantes está venciendo toda en su búsqueda del desarrollo .

Un consumo voraz de nuev glas importadas y de experien jeras está ayudando a Malasi su ambición de llegar a ser naciones más desarrolladas p 2020. Por otro lado, el pro Centre de Kuala Lumpur (Kl cubre 1.7 millones de metros e incluye a las torres gemelas l 451. 9 m de altura, sede de nacional petrolera, está cor ampliamente a alcanzar esa m

Además de las dos 218,000 m² cada una, la del desarrollo de un millón de

91



TAIPEI 101

Shangai World Financial Centre

Taiwan, China

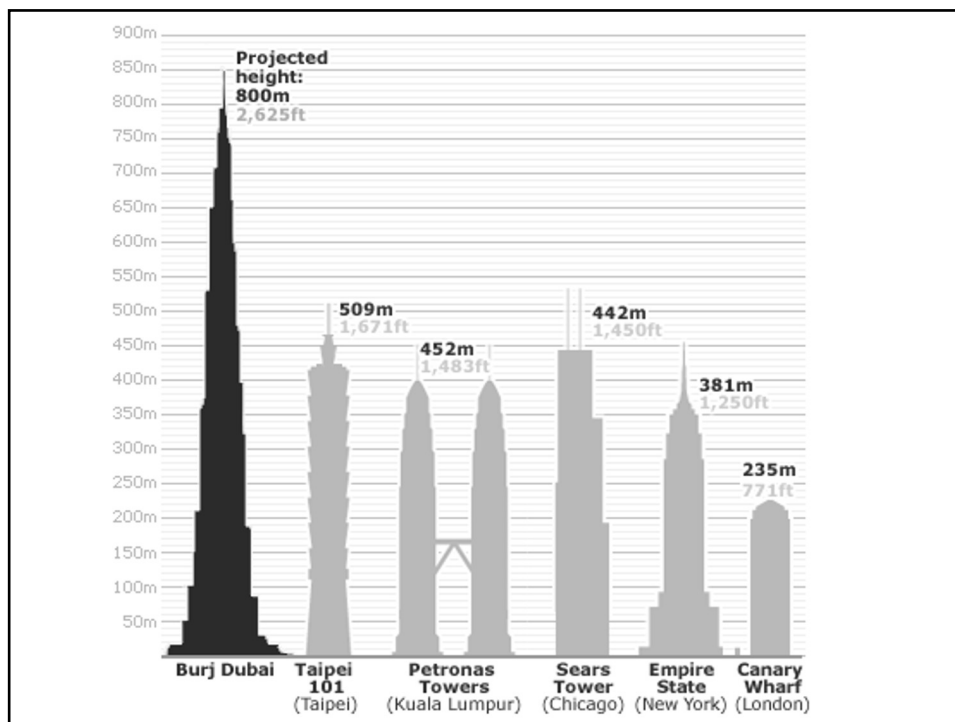
2005

509m

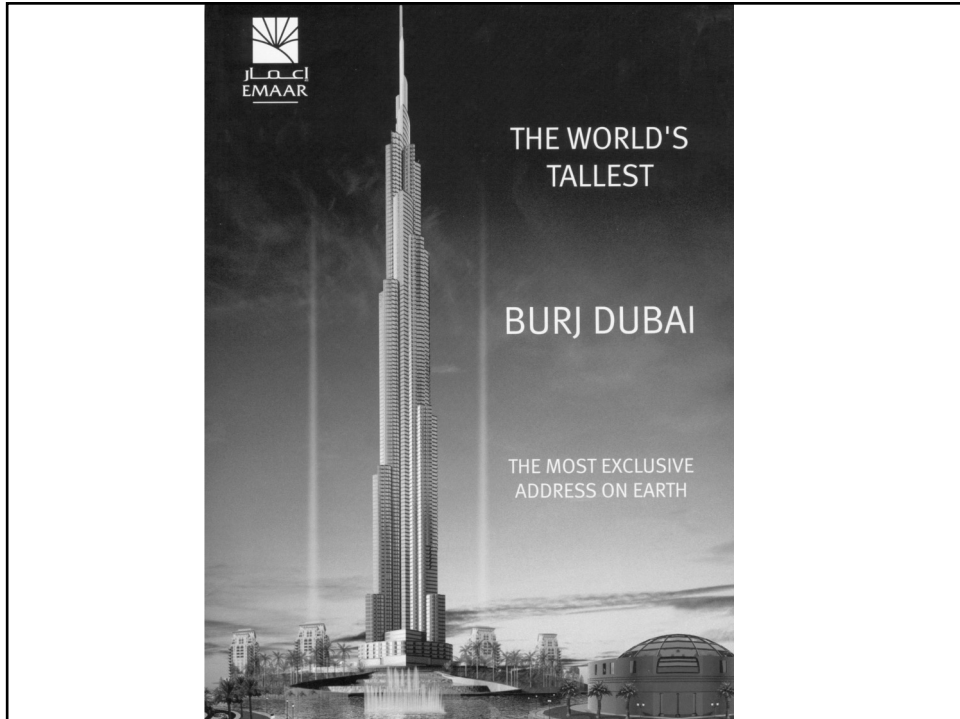
$f_{ck} = 80 \text{ MPa}$

steel / concrete

92



93



94

Como será o futuro?

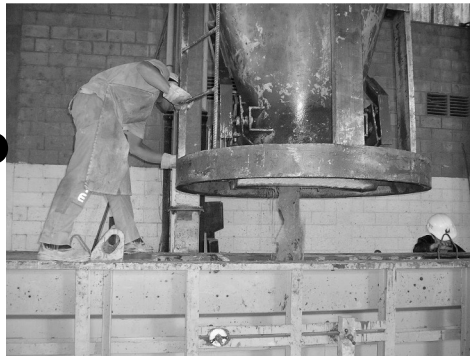
95

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

96

**estudo
comparativo**



97



98

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

99

P & D em Concreto Concreto de Alto Desempenho

HPC → High Performance Concrete

HSC → High Strength Concrete

CRC → Compact Reinforced Composite

RPC → Reactive Powder Concrete

100

Concrete Evolution

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

30 best innovations

101



102

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*

103

Innovations in Concrete

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

104

Engraved Concrete



105

Engraved Concrete



106

Translucid Concrete



107

Translucid Concrete

Arq. Aron Losonezi (from Hungary)



108

R&D in Construction

SCIENTIFIC AMERICAN

245 → documents in the last 10 years

Building Better Concrete
July 25, 2006

Paulo Monteiro, UC Berkeley

109

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

110

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

111

Venustas *Bonita !*

112

Oscar Niemeyer
Bruno Contarini

Art Museum, Rio de Janeiro

113

Firmitas

estável e durável

114



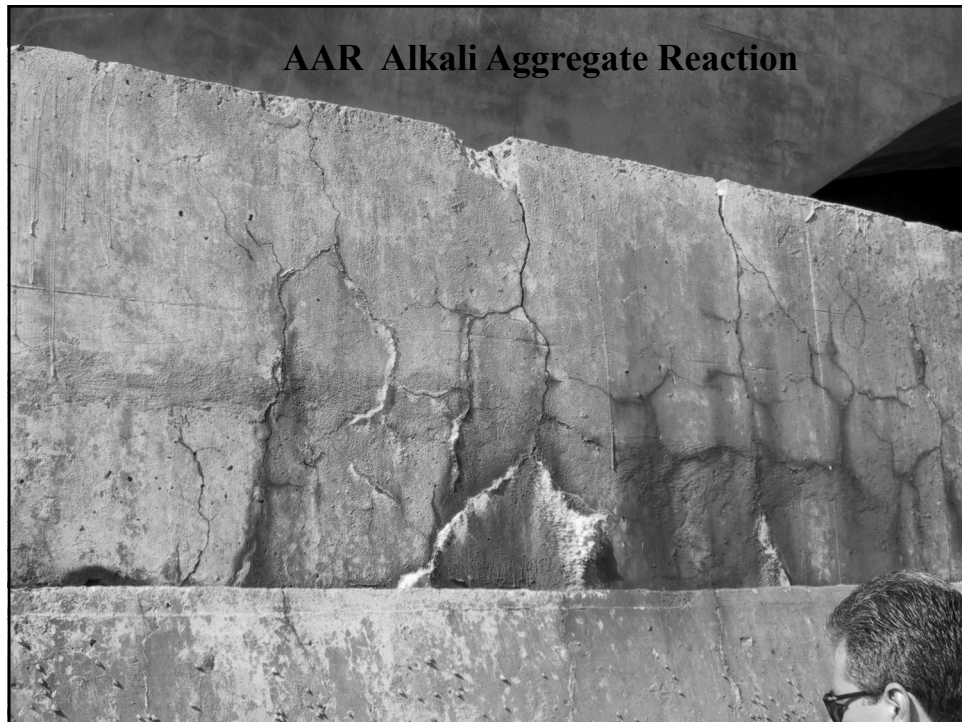
115



116



117



118



119

Arte e Ciência da Construção

Marcus Vitruvius Pollio (*Engenheiro / Arquiteto Romano*)

40 anos aC → "De Architectura"

10 volumes → a obra mais importante

De Architectura é uma obra que trata de arquitetura (bonita)

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

122

Concrete R & D

SCC → Self –Compacting Concrete

HPC → High Performance Concrete

HSC → High Strength Concrete

CRC → Compact Reinforced Composite

RPC → Reactive Powder Concrete

123



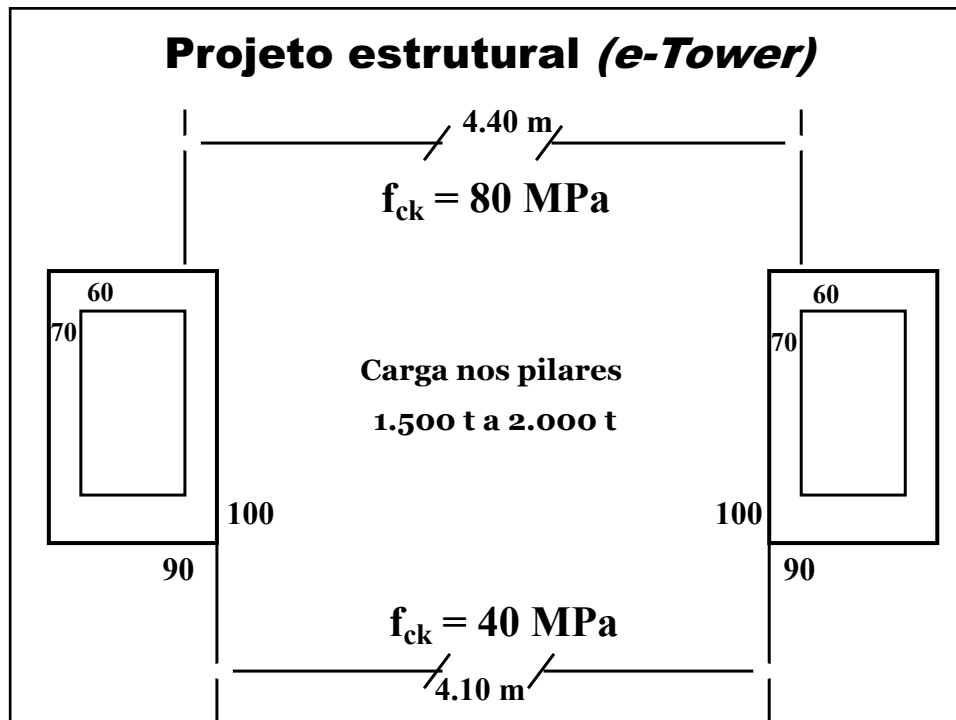
124

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





125



126



127



128



129

Economia de recursos naturais

Original:

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

**seção transversal → 90cm x 100cm
0,90m²**

HPC / HSC:

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

**seção transversal → 60cm x 70cm
0,42m²**

130

Economia de recursos naturais

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

131

Durabilidade

$$\sigma_{f_{ck}} = 115 \text{ MPa} \quad \sigma_{f_{ck}} = 25 \text{ MPa}$$

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

Carbonatação

28+63d 25°C 65% 5%

zero

29mm

Absorção H₂O

0,40%

7,5%

Volume de vazios

1%

17,5%

Densidade

2530 kg/m³

2310 kg/m³

absorção capilar

0,1 g/cm²

2,7 g/cm²

Ascensão capilar

0 cm

30 cm

Cloretos

43 C

8.400 C

133

Vida Útil
para
carbonatação
980 anos !

(second Fick's law)

134

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

135

Considerações Finais

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

136

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

137

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

138

**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 !**

139

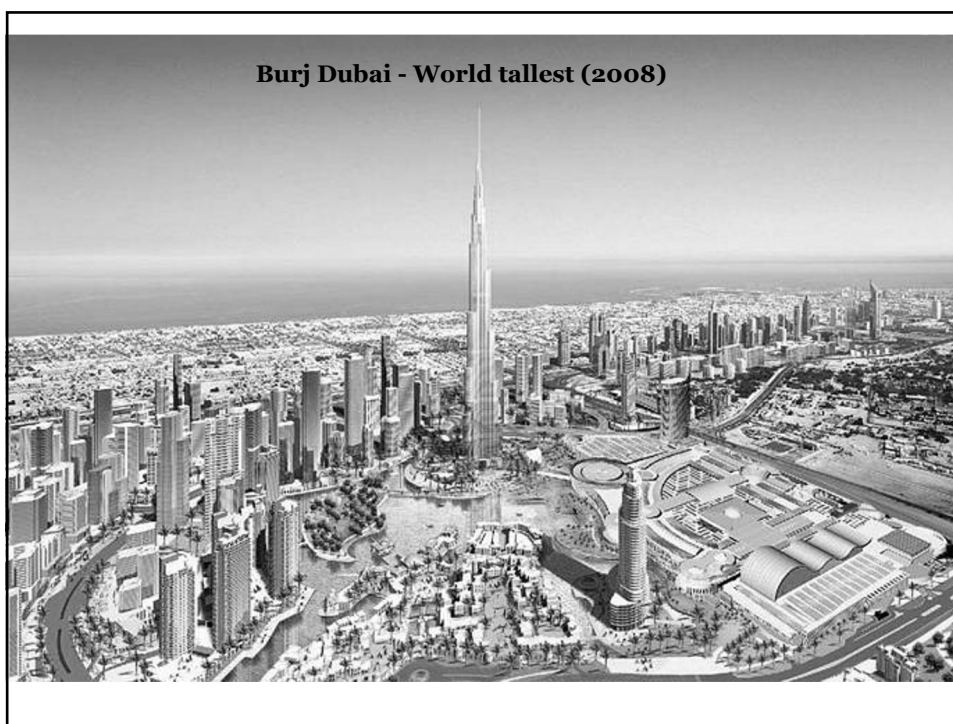
Desse total de 36
“arranha-céus”:

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

140

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

141



142

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

143

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

144

***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.***

145



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

146



USP

Escola Politécnica

PCC 2341

Tecnologia do Concreto TeCon

**O que você está fazendo
aqui na Escola Politécnica
da USP num curso de
Engenharia Civil numa
disciplina de concreto?**

Direitos Reservados USP 2009