



USP

Escola Politécnica

PCC 2341

Tecnologia do Concreto TeCon

Sobre a Arte de Projetar e Construir Estruturas

Equipe de Professores

Antonio Figueiredo

Paulo Helene

Silvia Selmo

Vanderley John

Rafael Pillegi

Marcelo Medeiros

Direitos Reservados USP 2007

1

Complexo Via Real Parque



2



3



USP

Escola Politécnica

PCC 2341

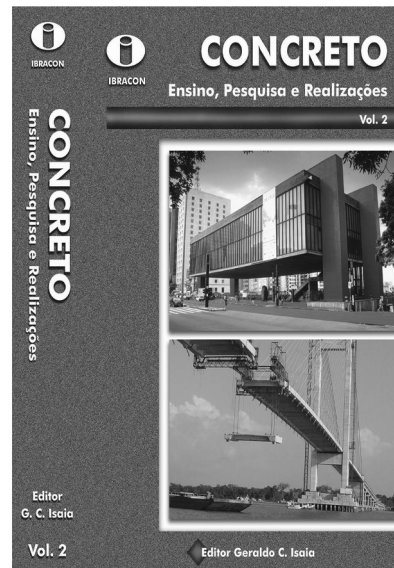
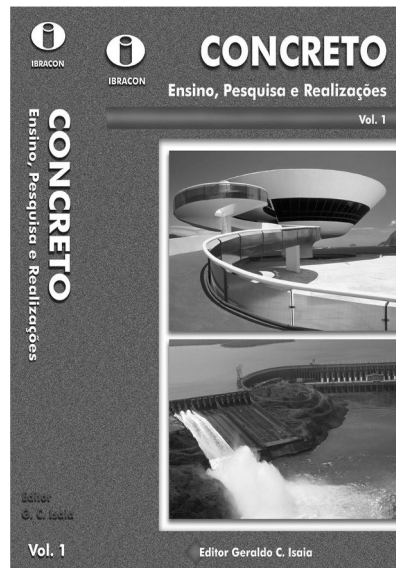
Tecnologia do Concreto TeCon

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

Direitos Reservados USP 2007

4

Bibliografia



5



USP
Escola Politécnica

PCC 2341
Tecnologia do Concreto TeCon

**O que nós estamos
fazendo aqui em 2008 na
Escola Politécnica da USP
num curso de Engenharia
Civil numa disciplina de
concreto?**

Direitos Reservados USP 2007

6

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

7

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%

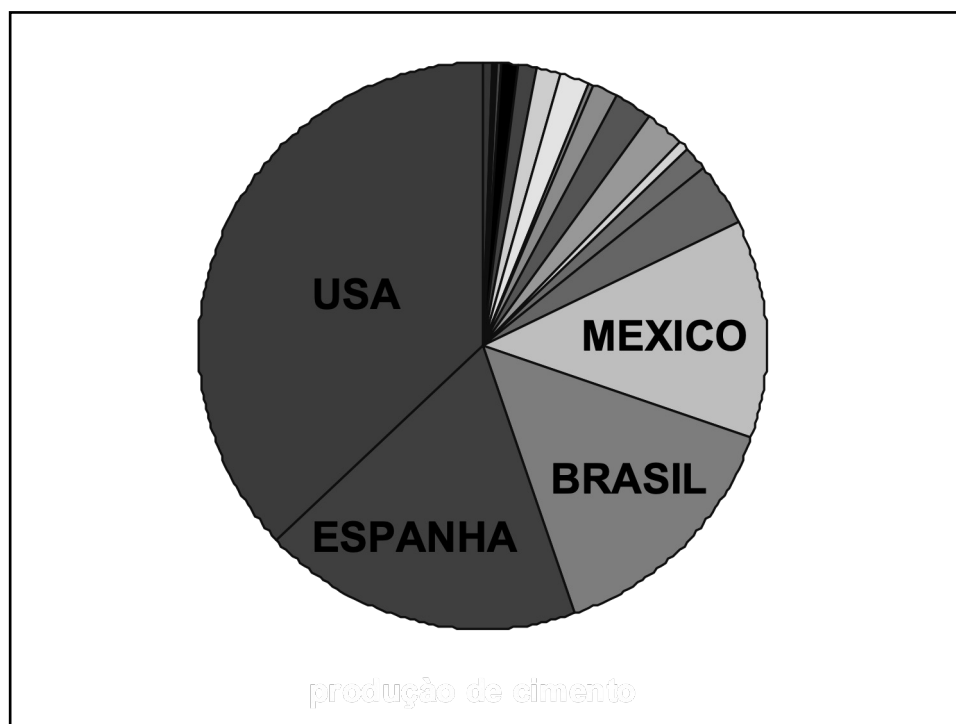
8

Histórico

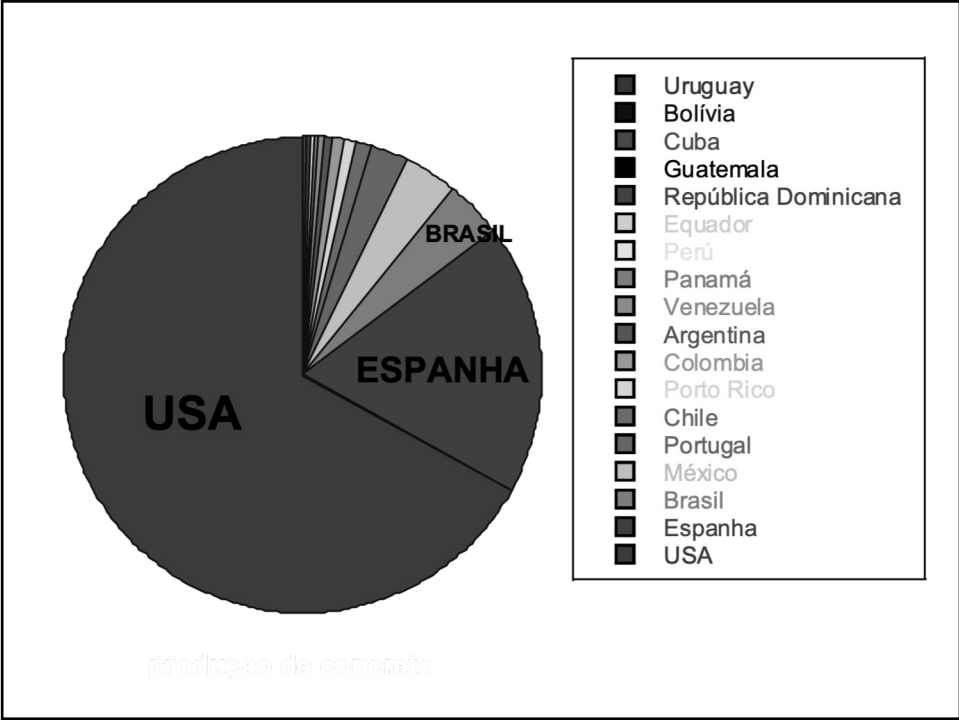
1953 15 Fábricas
3 milhões t / ano

2006 65 Fábricas + Moagens
42 milhões de t / ano

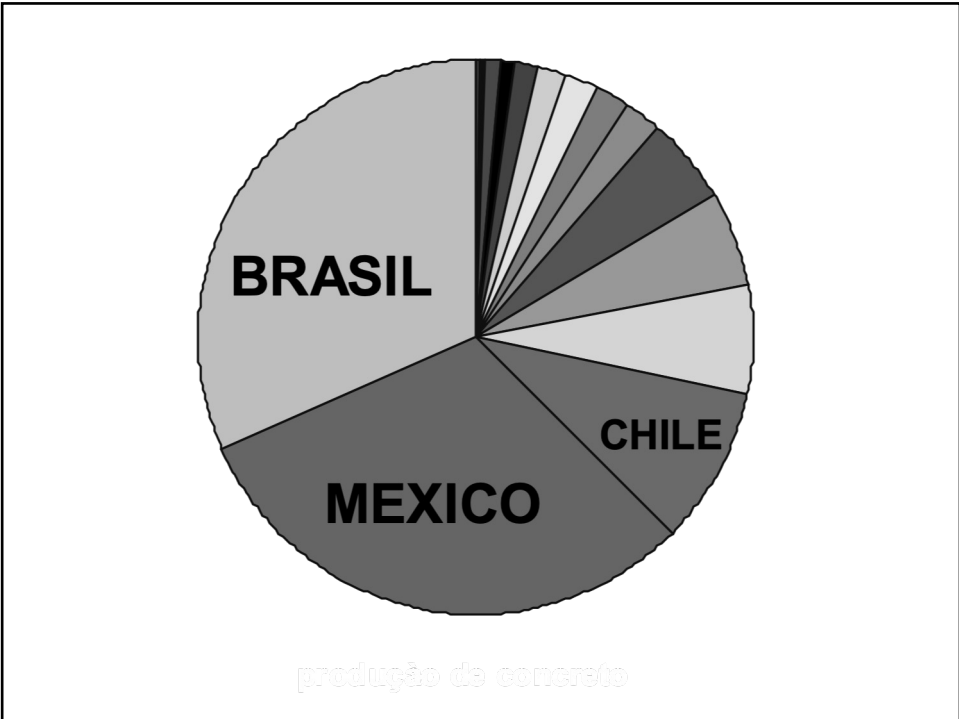
9



10



11



12

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

13

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

14

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.

15

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

16

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

17

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

18

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.

19

ACBM Center for Advanced Cement-Based Materials

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

20

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

21

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

24

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

25

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”

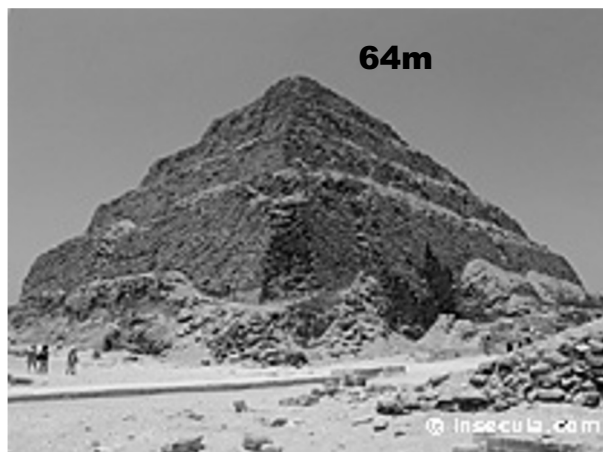
48 Congressos → 2.600 artigos → práticas recomendadas → livros

26

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

27

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



Pirâmide escalonada de Djeser

28

I Grande Revolução !

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

29



30



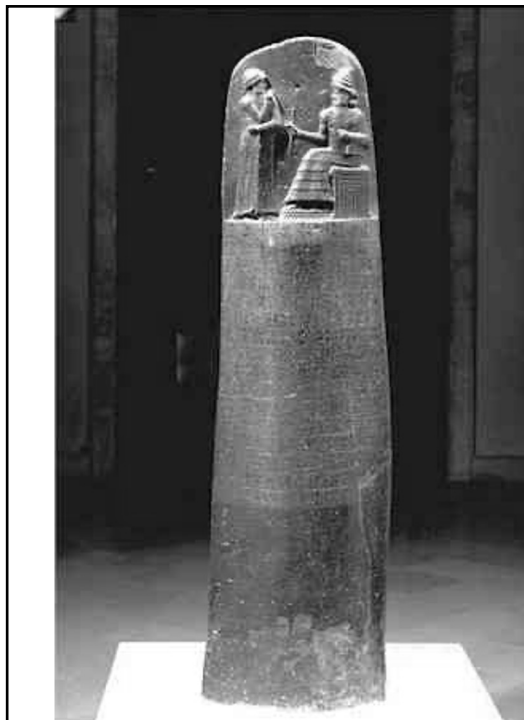
Stonehenge , Wiltshire, Inglaterra, perto de Salisbury.
Blocos montados em um campo circular. Considerado obra pré-histórica !!
2.800 a 2.200 aC

31

A CONSTRUÇÃO ESTÁ no PRIMEIRO CÓDIGO CIVIL da HUMANIDADE

“Durabilidade!”

32

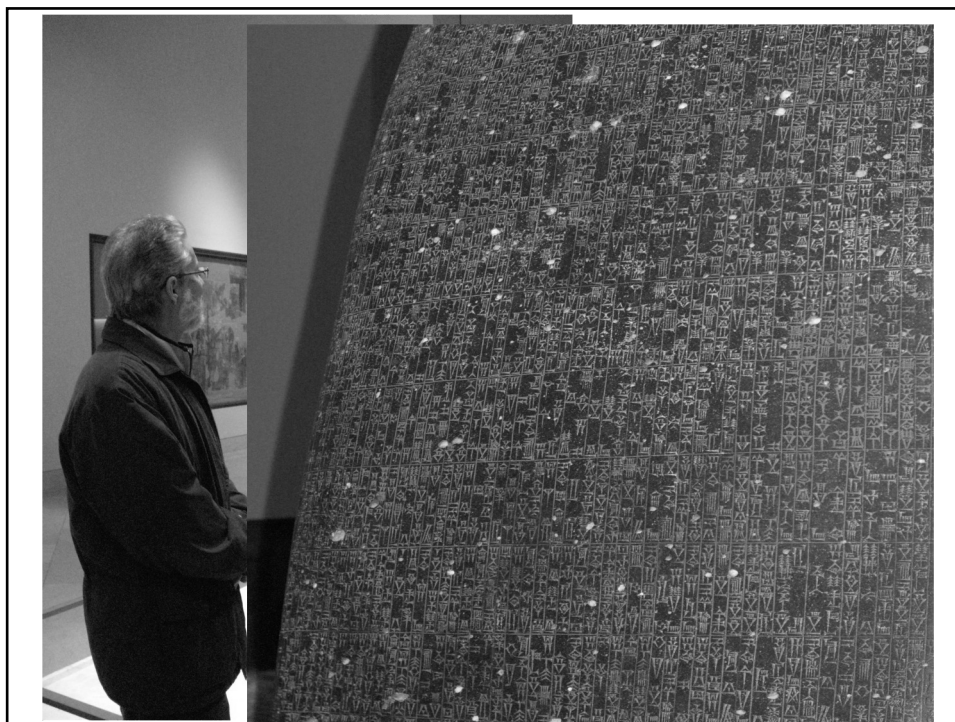


**Código de Leis de
Hammurabi
(1.780 aC)**

Rei da Babilonia

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

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”

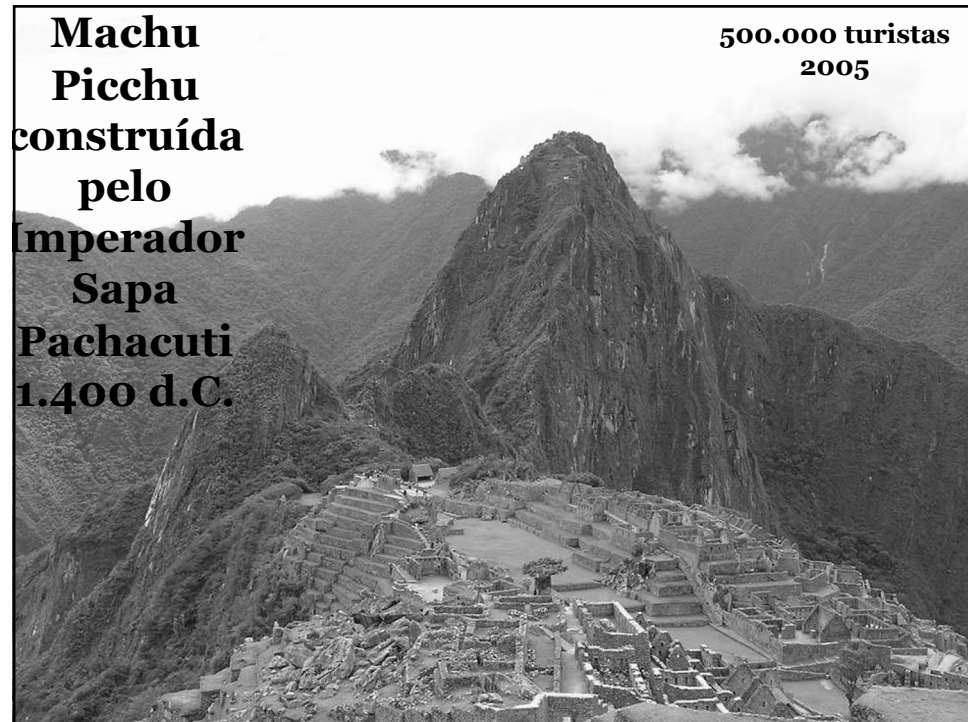
36



37



38



39



40



41

**Construir com
Materiais
Resistentes e
Duráveis**

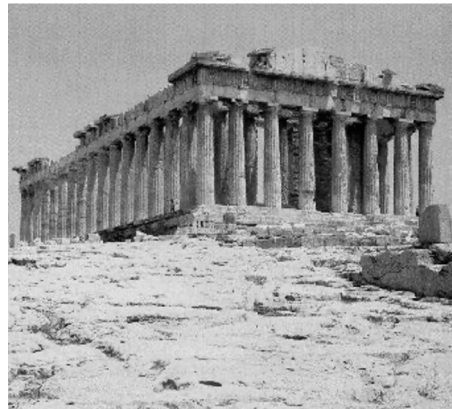
42

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

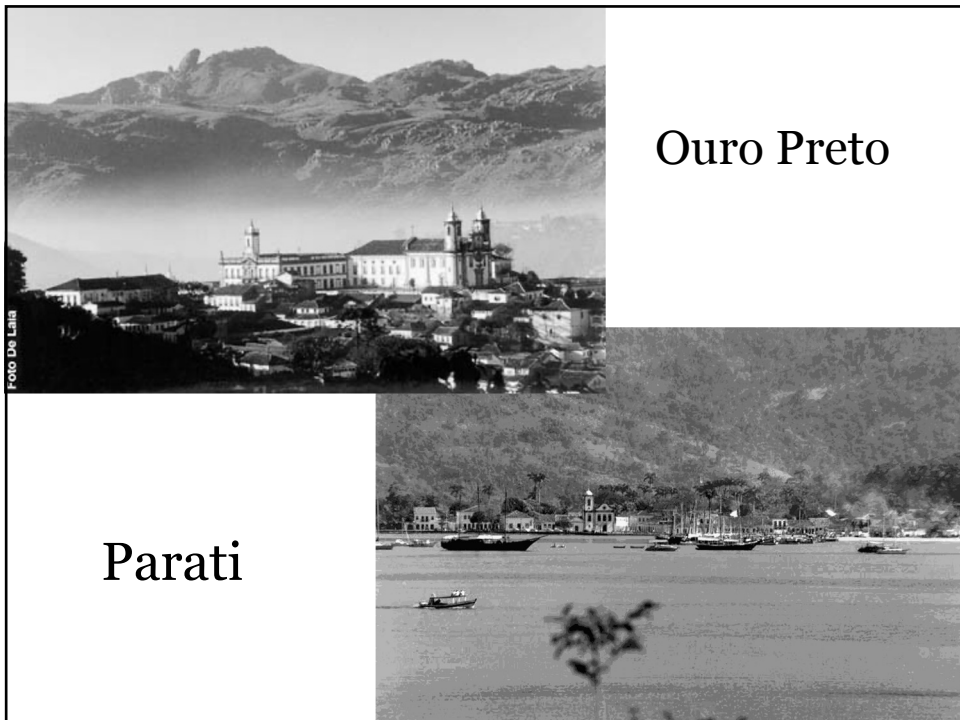
Cartagena de Indias



44



45



46



47

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

48

Panteão
de
Roma



49

Cúpula do Panteão → Século II dC



ro de **44m**

ve de pedra pome

ronze (cubetas)

to primitivo

- pozolana + sangue

q. Bernini → baldaquino papal

ta (Catedral) de São Pedro

rente mais antigo

50



51

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



52

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

53

Catedral de Notre Dame



1163-1330

Abóbada da nave central → 35 m de altura

54

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

55

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



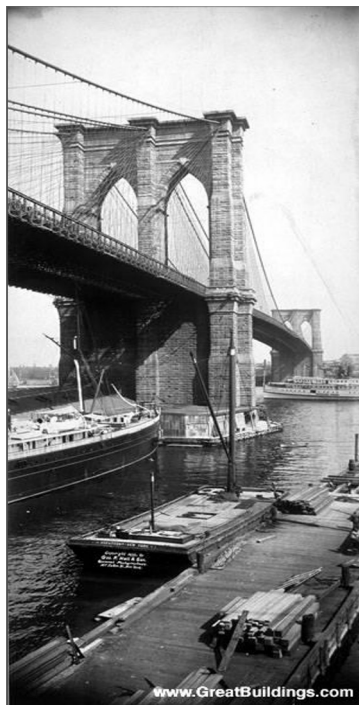
56



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

57

Fundações em rocha e alvenaria



58

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.

59

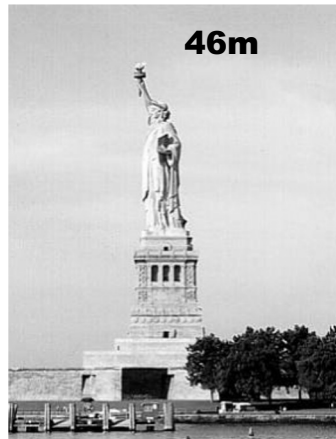


60

“Gustave Eiffel”

1.884 → Estatua da Liberdade

1.889 → Torre Eiffel



(5a+2a)
60t
pintura



2.004 → 6.230.050 visitantes

61

**Onde estão os
edifícios de
Escritórios e
Apartamentos?**

O que houve?

62



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

63

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

64



**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**

65

**SÉCULO XX
1.900**

**APARECE UM
NOVO MATERIAL**

Concreto Armado

66

Primeiras Normas sobre Estruturas de Concreto

1903 **Suíça**

1903 **Alemanha**

1906 **França**

1907 **Inglaterra**

67



68



**Systeme
Hennebique**
Paris, Rue Danton1

7 andares
França 1.901
30m

$f_{ck} = ?$

107years !

**Oldest Building
in world**

69



70



Palácio Salvo
Montevideu

27 andares

Uruguai 1925

103m

$f_{ck} = ?$

83 anos !

world record

71



Edifício
Martinelli

1929

106m

78 anos

world record

São Paulo, Brasil

72



73

	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.	

74

A estrutura em concreto armado, foi toda construída “in loco” no alto da encosta, fazendo uso de poucas partes pré-fabricadas. Sacos de cimento, areia, armaduras, fôrmas, além da água e do revestimento final em pedra-sabão, subiram morro acima pelos trilhos do trenzinho do Corcovado, construído sob Dom Pedro II. Inaugurado em 12 de outubro de 1931, o Cristo Redentor é considerado patrimônio histórico da humanidade desde 1937, santuário católico desde 2006 e uma das 7 maravilhas do mundo moderno desde 07/07/2007

75



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

76



77

Século XX
1.928

“novo material estrutural”

Concreto
Protendido

Eugene Freyssinet

78



79




80



81



82



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

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

**Vida Útil
100 anos!**

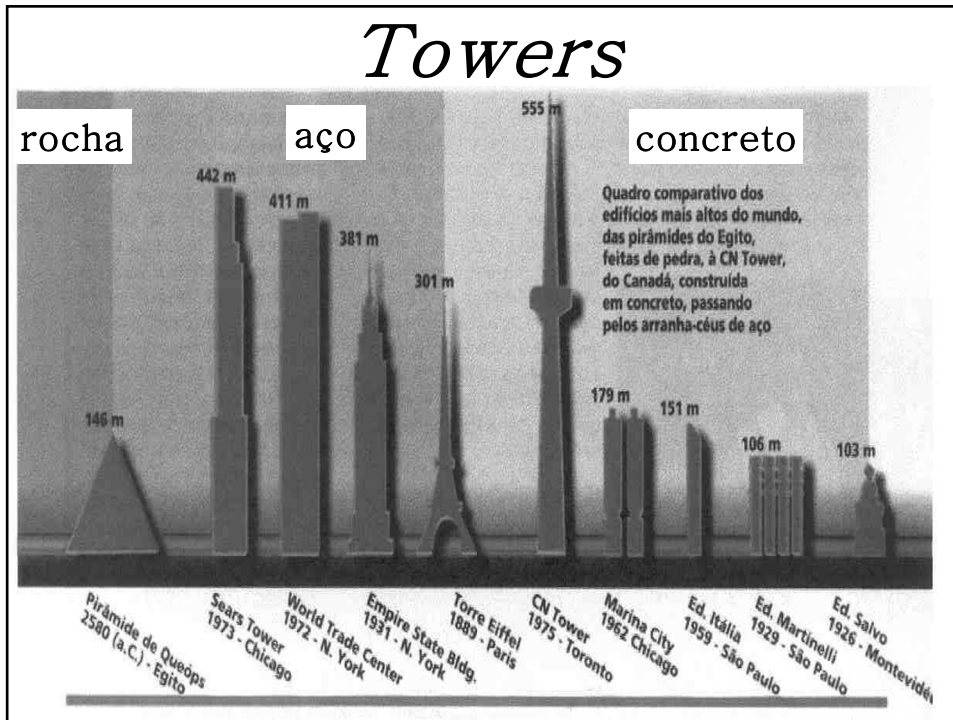
83

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”

84

Towers



85

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 !

86

Melhoria arquitetônica

Concreto aparente, grandes vãos

Bruno Contarini



Oscar Niemeyer

Superior Tribunal de Justiça

87



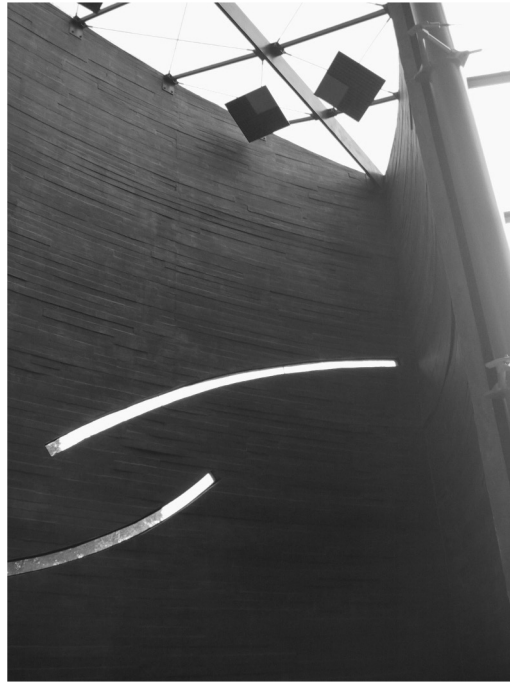
Mário Franco

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

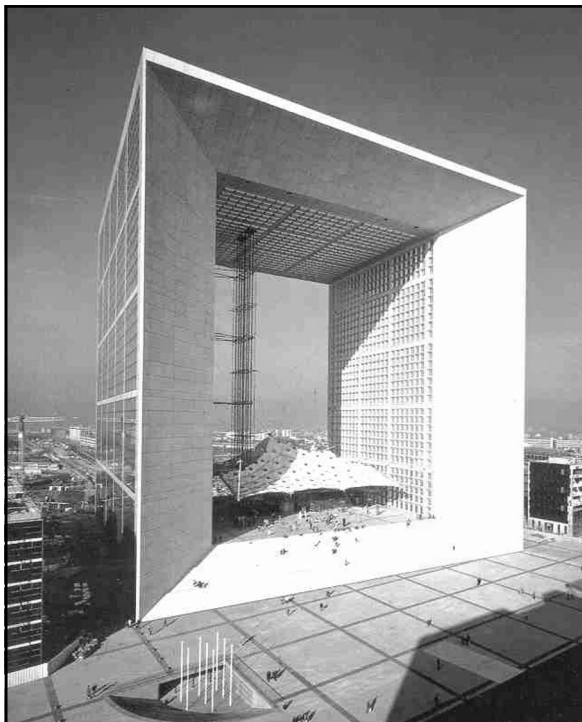
Ruy Othake

88

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



89



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

90



Petronas Towers

Cesar Pelli

Kuala Lumpur

Malasia 1.997

452m

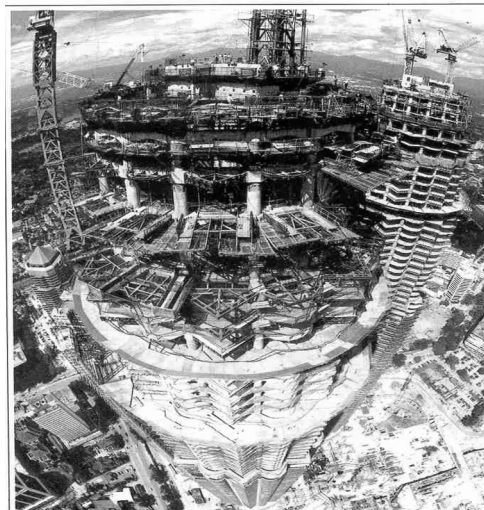
$f_{ck} = 80 \text{ MPa}$

before / after

91

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

Se proyecta al futuro construyendo torres de concreto



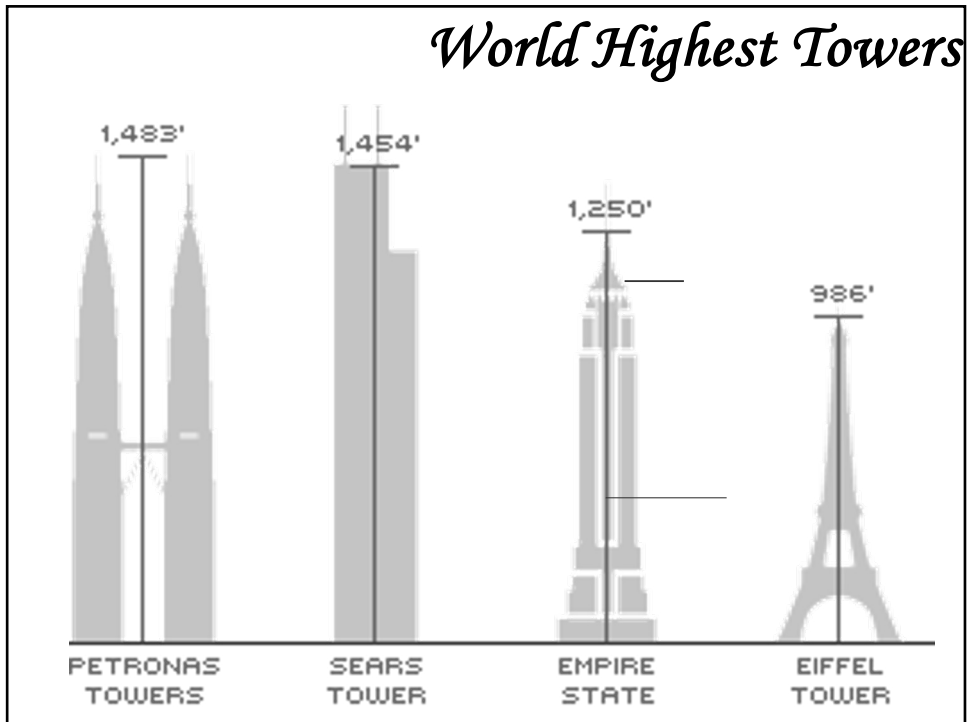
Nadine Post y F

Las torres más altas, más que por alcanzar, forman parte de un esfuerzo para transferir tecnología y traer todo un país. Dos rascacielos de ellos casi nueve metros más que la torre Sears de 443 m que el récord de altura, se están construyendo en Chicago ni en Nueva York. En otro lado del mundo en Kuala Lumpur, la capital de Malasia. Esta región del sureste de Asia con 19 millones de habitantes está venciendo toda la tradición en su búsqueda del desarrollo.


Un consumo voraz de nuevas tecnologías importadas y de experiencias está ayudando a Malasia en su ambición de llegar a ser una de las naciones más desarrolladas para el 2020. Por otro lado, el nuevo Centro de Kuala Lumpur (KLCC) cubre 1.7 millones de metros cuadrados e incluye a las torres gemelas que miden 451.9 m de altura, sede de la nacional petrolera, está completamente a alcanzar esa meta.

Además de las dos torres de 218,000 m² cada una, la ciudad está en el desarrollo de un millón de metros cuadrados.

92



93



TAIPEI 101

Shangai World Financial Centre

Taiwan, China

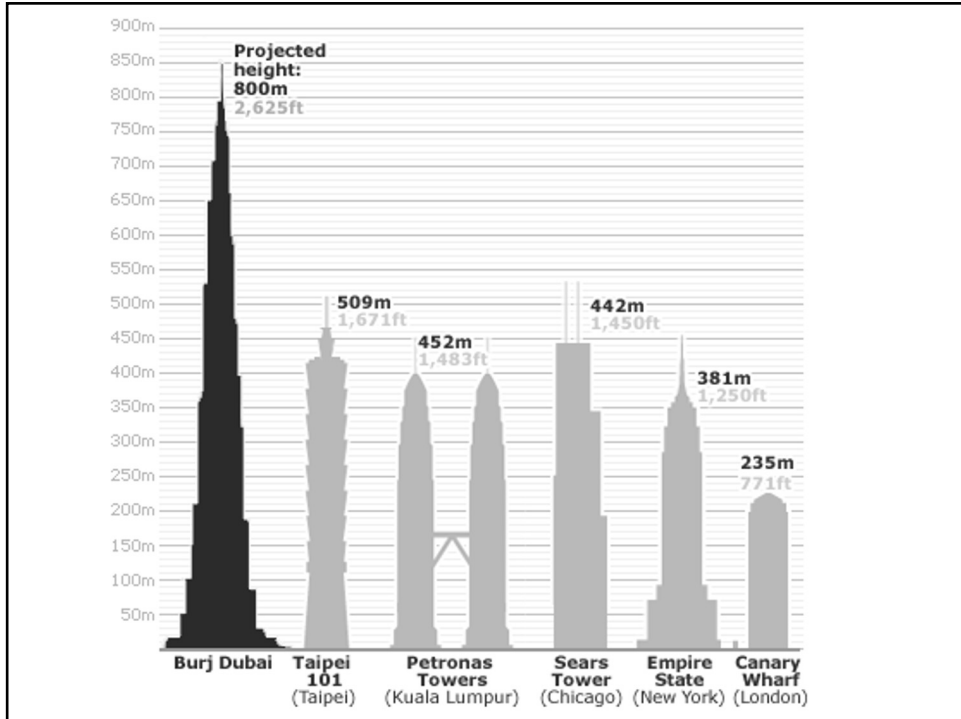
2005

509m

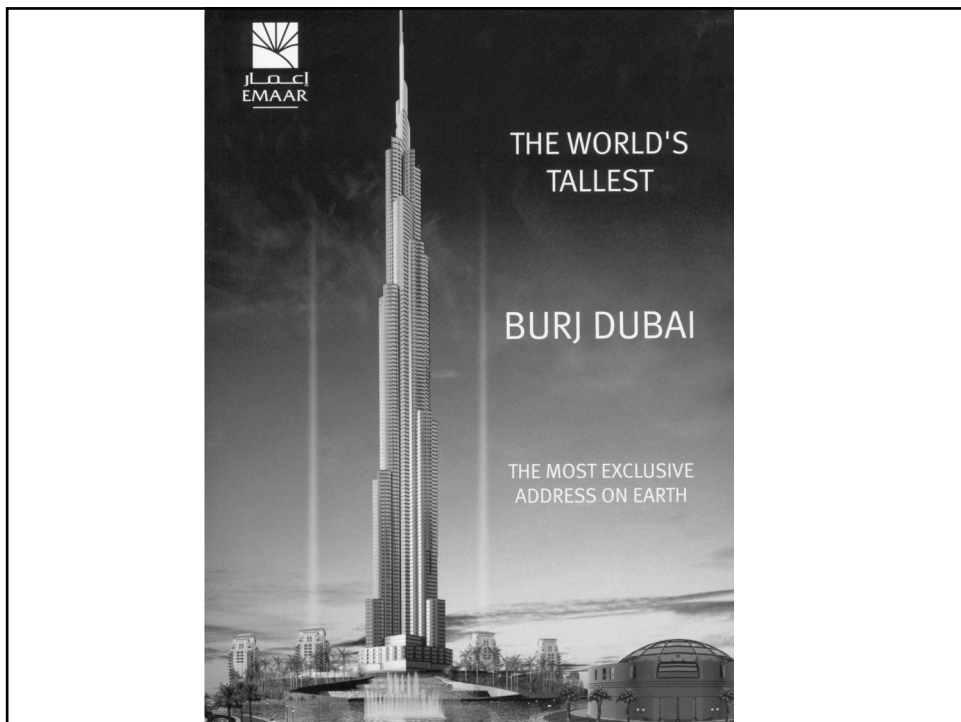
$f_{ck} = 80 \text{ MPa}$

steel / concrete

94



95



96

Como será o futuro?

97

P & D em Concreto Concreto de Alto Desempenho

SCC → Self –Compacting Concrete

HPC → High Performance Concrete

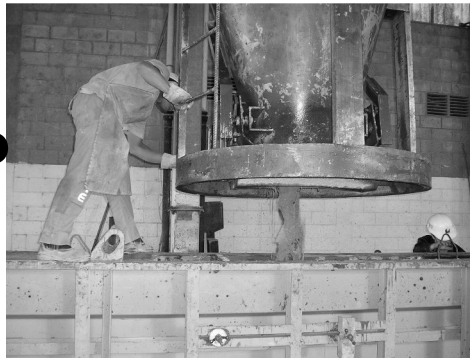
HSC → High Strength Concrete

CRC → Compact Reinforced Composite

RPC → Reactive Powder Concrete

98

estudo comparativo



99



100

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

101

P & D em Concreto Concreto de Alto Desempenho

HPC → High Performance Concrete

HSC → High Strength Concrete

CRC → Compact Reinforced Composite

RPC → Reactive Powder Concrete

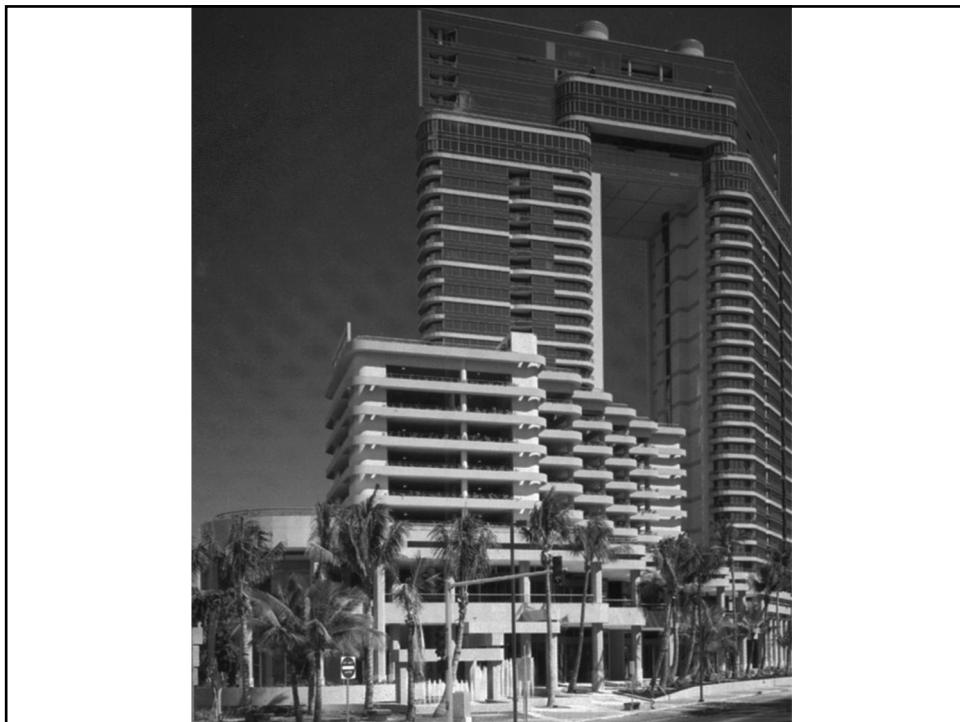
102

Concrete Evolution

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

30 best innovations

103



104

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*

105

Innovations in Concrete

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

106

Concreto Estampado



107

Concreto estampado

➤ evolução, melhoria, inovação de processo



108

Engraved Concrete



109

Engraved Concrete



110

Translucid Concrete



111

Translucid Concrete

Arq. Aron Losonczy (from Hungary)



112

R&D in Construction

SCIENTIFIC AMERICAN

245 → documents in the last 10 years

*Building Better Concrete
July 25, 2006*

Paulo Monteiro, UC Berkeley

113

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

114

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

115

Venustas
Bonita !

116

*Oscar Niemeyer
Bruno Contarini*



Art Museum, Rio de Janeiro

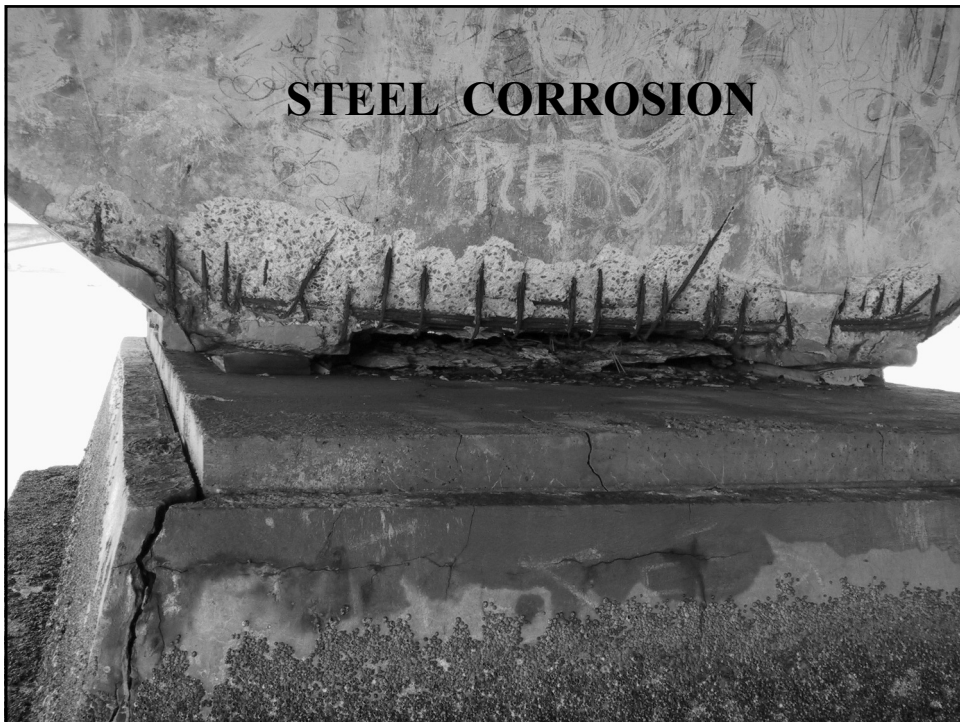
117

Firmitas
estável e durável

118



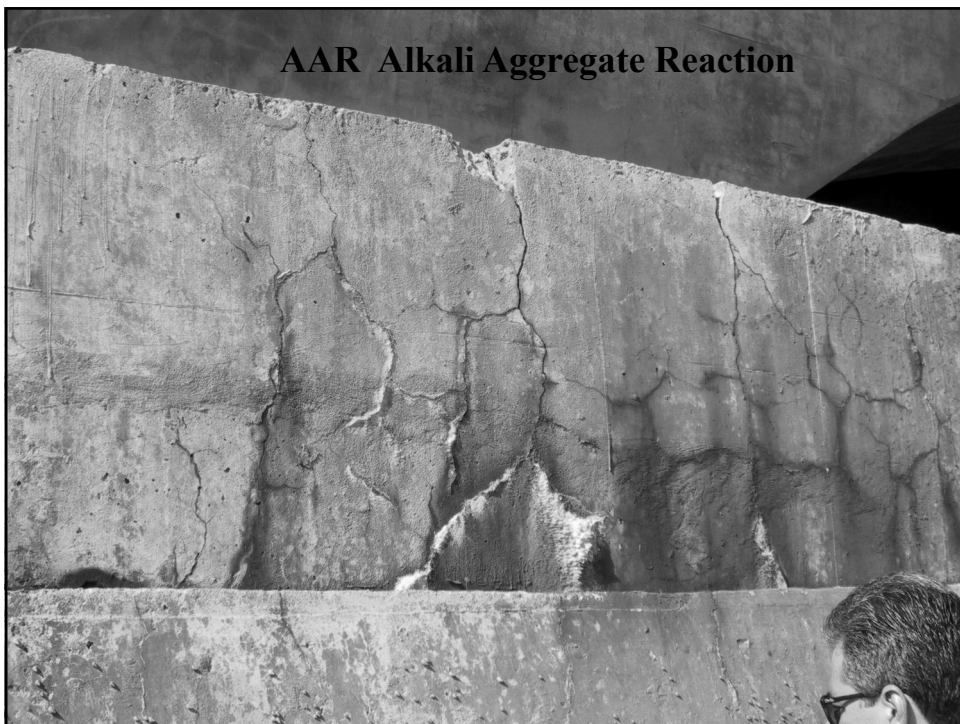
119



120



121



122



123

250 anos de garantia.

Quem precisa de segurança, tecnologia e competência, pensa em Engemix. Como o Método Engemix é preciso, quando há melhor a tecnologia de radição central da Torre Norte do Centro Empresarial Nações Unidas, um bloco de 20m x 34m x 4m, correspondente a 2.820 m³ de concreto, lançado em 23 horas, não resqueceu. Com a utilização de 300 toneladas de gelo para controlar a temperatura do concreto, volume equivalente a um iceberg de 4m x 4m x 20m.

Ou quem já conhece esse tipo de problema, sabe a importância de se trabalhar com um dos grandes especialistas em aplicação de CAD, a mais nova tecnologia em sistemas de concretagem, mesmo no 1^o estágio. É a maior estação de CAD do Brasil, e não deve permitir que se torne um problema para os próximos 250 anos, ou em 2045, segundo pesquisas e estudos realizados por consultores e técnicos especializados para o desenvolvimento e aplicação de aditivos incorporados.

É a construção, ao longo do tempo, do melhor concreto, e o registro brasileiro de lançamento de concreto em altura 156 metros.

Um metro de altura, foram concretados quase 90 m³ de concreto. São 300 toneladas de lançamento de concreto, que suportaram carga de 3 m³ de concreto na área de lançamento, equivalentes a 75 toneladas.

O resultado é que hoje o Centro Empresarial Nações Unidas também apresenta o melhor registro de tecnologia de concretagem brasileira. E as vantagens propostas para concretagem e construção são: menor custo, maior segurança e competitividade da Engemix. Que garante ao empreendimento não apenas redução de custos, mas também diminuição do tempo de concretagem, otimização das possibilidades dos edifícios, redução de fricção do concreto na aplicação, otimização da resistência e da característica do concreto na forma.

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

CONCRETO ENGEMIX

124

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

125

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

126

Sustentável



127

Quatro segundos foi o tempo que durou a festa das 3.500 pessoas que viram a implosão. Cerca de 100 kg de explosivos foram utilizados. Moradores de prédios vizinhos tiveram de sair de casa.

O prédio começou a ser construído nos anos 70 e nunca foi terminado. Não havia atividade no local. Um empreendimento de área construída dez vezes maior deve substituí-lo.

A implosão deixou um poste inclinado e um abrigo para ônibus abalado. A Arcoenge, empresa que coordenou a implosão, estima em 20 a 30 dias o tempo de remoção do entulho. (RS)

Fotos Raimundo Paccó/Folha Imagem

Implosão na avenida Luis Carlos Berrini durou 4 segundos

128

Concrete R & D

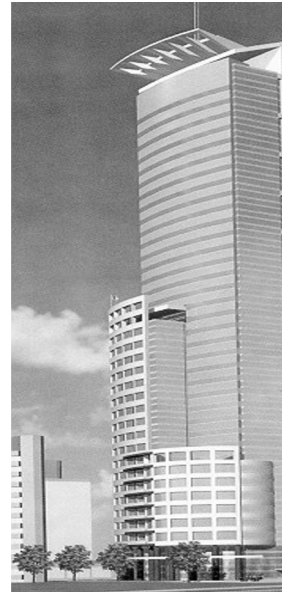
SCC → Self –Compacting Concrete
HPC → High Performance Concrete
HSC → High Strength Concrete
CRC → Compact Reinforced Composite
RPC → Reactive Powder Concrete

129



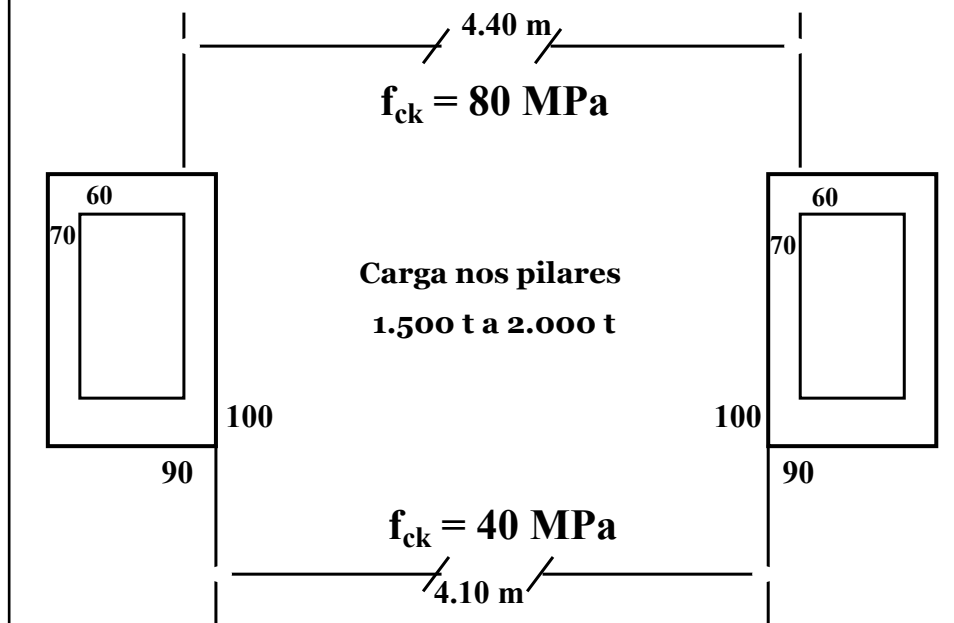
130

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



131

Projeto estrutural (*e-Tower*)



132



133



134



135

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

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

136

Economia de recursos naturais

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

137

Durabilidade

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

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

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

139

Vida Útil para carbonatação 980 years !

(second Fick's law)

140

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

141

Considerações Finais

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

142

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

143

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

144

**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 !**

145

Desse total de 36

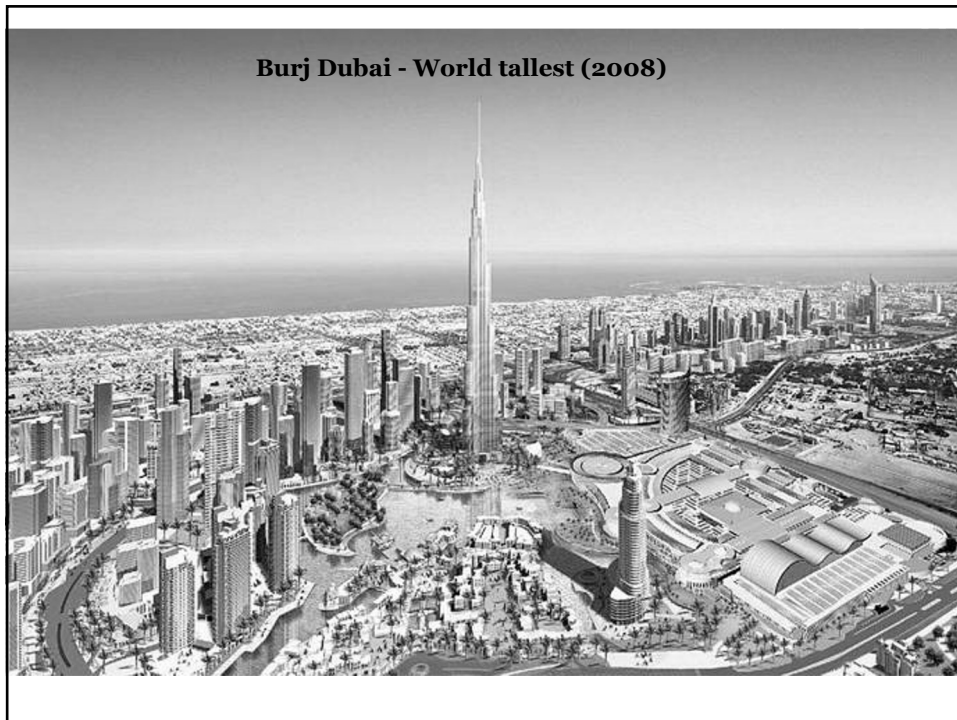
“arranha-céus”:

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

146

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

147



148

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

149

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

150

*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.*

151



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

152



José Carlos de Figueiredo Ferraz

**Não basta ser da
POLI !**

**Tem de ser...
CIVIL!**

MASP Museu de Arte São Paulo 1968

153



USP
Escola Politécnica

PCC 2341
Tecnologia do Concreto TeCon

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

Direitos Reservados USP 2007