

**INSTITUTO
RECONSTRUIR**

**Sobre a Arte de Projetar e
Construir Estruturas**

Paulo Helene

*Diretor da PhD Engenharia
Diretor Conselheiro do IBRACON
Prof. Titular da Universidade de São Paulo USP
fib (CEB-FIP) member of Model Code for Service Life
Presidente da ALCONPAT*

Teresópolis

02 de maio de 2011

UNIFESO

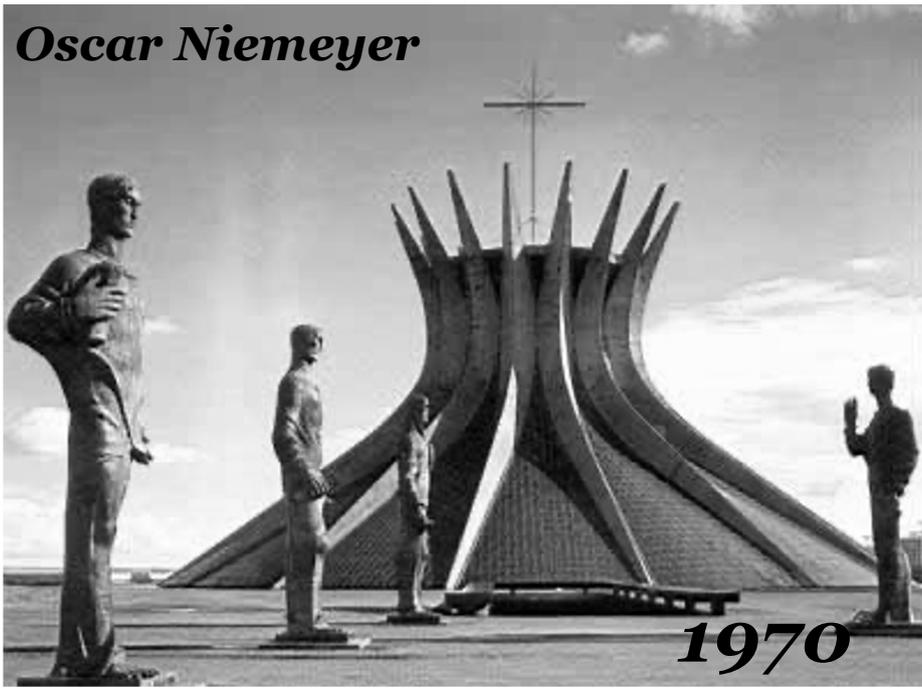
1

Desenvolvimento de uma Nação

**IMPORTÂNCIA
DO ESTUDO DE
CONCRETO**

2

Oscar Niemeyer



3

José Carlos de Figueiredo Ferraz



Lina Bo Bardi

MASP Museu de Arte São Paulo 1968

4



5

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

6

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.

7

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

8

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

9

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

10

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.

11

Pesquisas em Concreto

Brasil

- 131 grupos de pesquisa cadastrados em concreto na CAPES
- 22% de excelência

Instituto Brasileiro do Concreto IBRACON

Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento

Banco de Teses e Dissertações

“Concreto Brasil”

50 Congressos → > 3.000 artigos → práticas recomendadas → livros

12

**QUANDO FOI
RECONHECIDA A
PROFISSÃO DE
ARQUITETO POR
PRIMEIRA VEZ NA
HUMANIDADE ?**

13

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



Pirâmide escalonada de Djeser

14



15



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

16

Materiais Estruturais!

1. Madeira / bambú;
2. Barro / argila (+ fibra);
3. Cerâmica;
4. Rocha

17

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

“Durabilidade!”

18



19



20



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

21

I Grande Revolução !

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

22



Farol de Alexandria

**Arquitecto Sóstrato de Cnido
Ilha de Faros**

O primeiro farol do mundo.

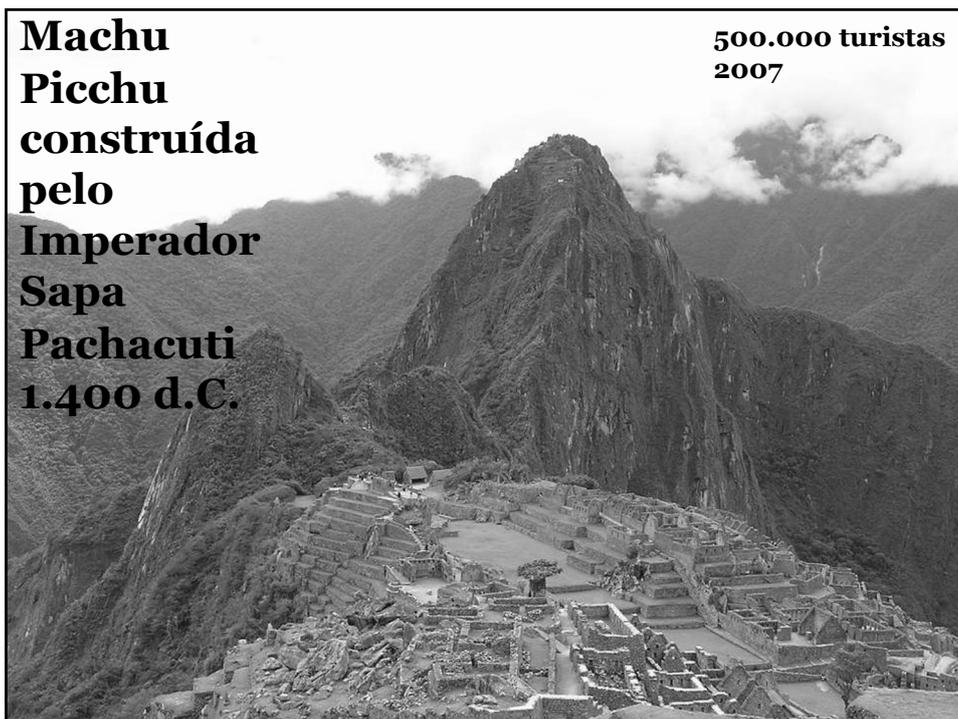
A sua luz era visível a mais de 50 km de distância.

120 m

Egito

200 A.C.

23



**Machu Picchu
construída pelo Imperador Sapa Pachacuti
1.400 d.C.**

**500.000 turistas
2007**

24



25



26

Construir com Materiais Resistentes e Duráveis

27

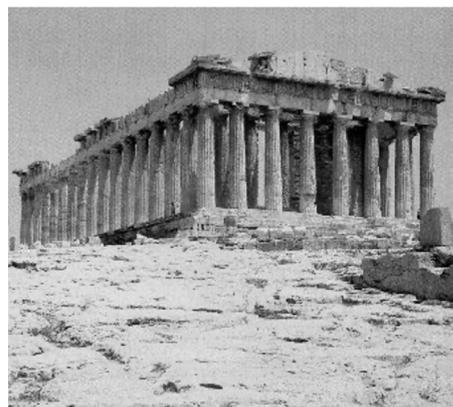
O CONCEITO DE CONSTRUIR COM DURABILIDADE EXISTE NAS OBRAS DESDE A ANTIGUIDADE

*razão áurea C/L = 1,618
número phi (Phidias)*

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



Pártenon, 440 aC
“século de Péricles”



28

Cartagena de Indias



29



30



31

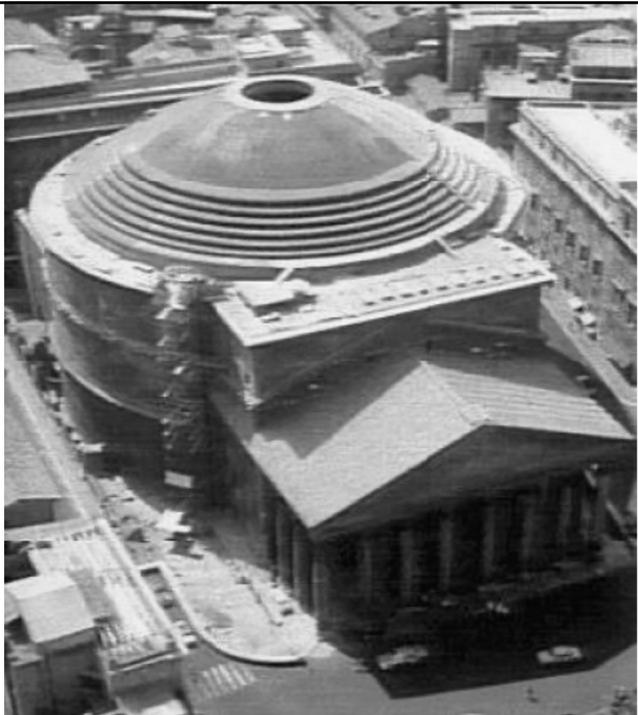


32

**QUANDO APARECEU
O CONCRETO *(estrutural)*
POR PRIMEIRA VEZ
NA HISTÓRIA?**

33

Panteão
de
Roma



34



35

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



36



37

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

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, Coloña

XV → Estilo Renacentista

XVII → Estilo Barroco → Catedral San Pedro, Bernini

XVII → Estilo Neoclasico → Arco del Triunfo , Paris

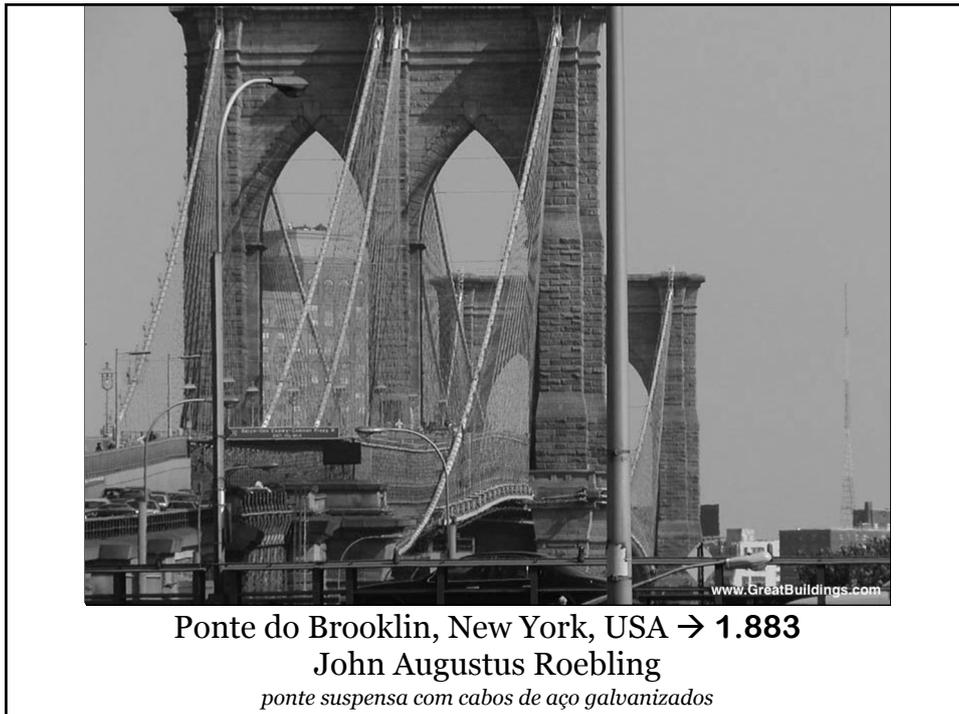
XIX → Estruturas metálicas

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 suspensa com cabos de aço galvanizados

42

Fundações em rocha e alvenaria



43

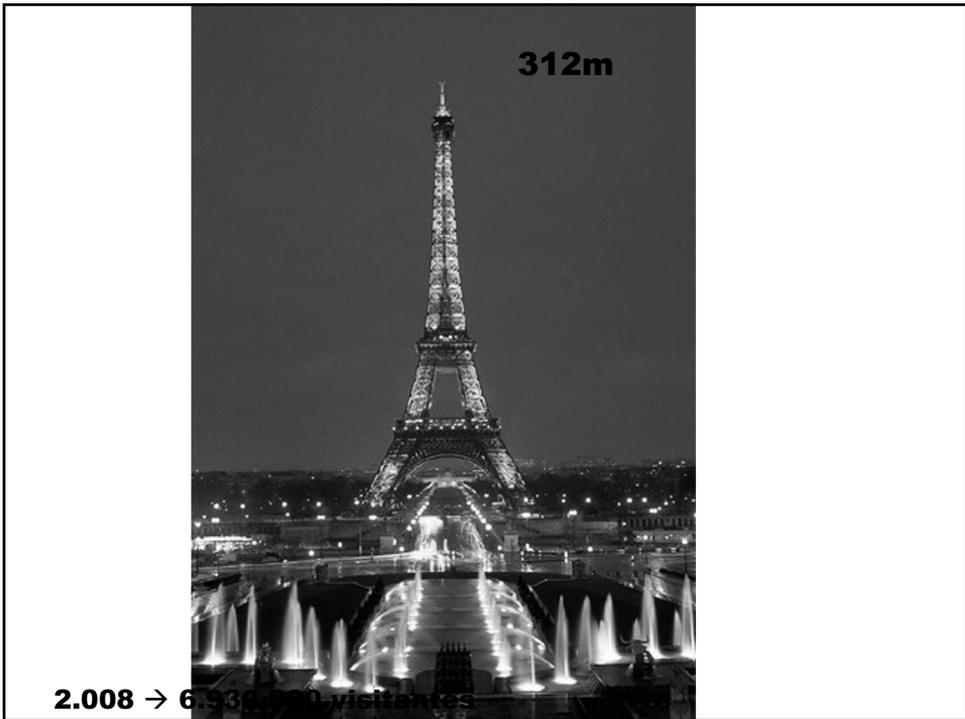
II Grande Revolução !

A Arquitetura de Estruturas
podia projetar obras antes
inimagináveis, com muito mais
velocidade, segurança para
vencer grandes vãos e podia
construir em altura como nunca
dantes.

44



45



46

**VALE DO ANHANGABAÚ, VIADUTO DO CHÁ, TEATRO MUNICIPAL
E HOTEL ESPLANADA**



47

VIADUTO DO CHÁ. Inaugurado em 1892



48

PASSEIO DOMINICAL NO TIETÊ - 1917



49

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

O que houve?

50



Palácio de Westminster → Houses of Parliament
1.868 dC Big Ben

51

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

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

52



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**

53

**SÉCULO “XX”
1892**

**APARECE UM
NOVO MATERIAL**

Concreto Armado

54

Primeiras Normas sobre Estruturas de Concreto

1903

Suíça

1903

Alemanha

1906

França

1907

Inglaterra

55



56



**Systeme
Hennebique**
Paris, Rue Danton1

7 andares
França 1.901
30m

$f_{ck} = ?$

109 anos !

*edificio em concreto mais
antigo do mundo*

57



Palácio Salvo
Montevideú

27 andares

Uruguai 1925

103m

$f_{ck} = ?$

85 anos !

world record

58



***Edifício
Martinelli***

1929

106m

81 anos

world record

São Paulo, Brasil

59

publicidade da antarctica utilizando como pano de fundo o edificio martinelli e o zeppelin



60



61



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

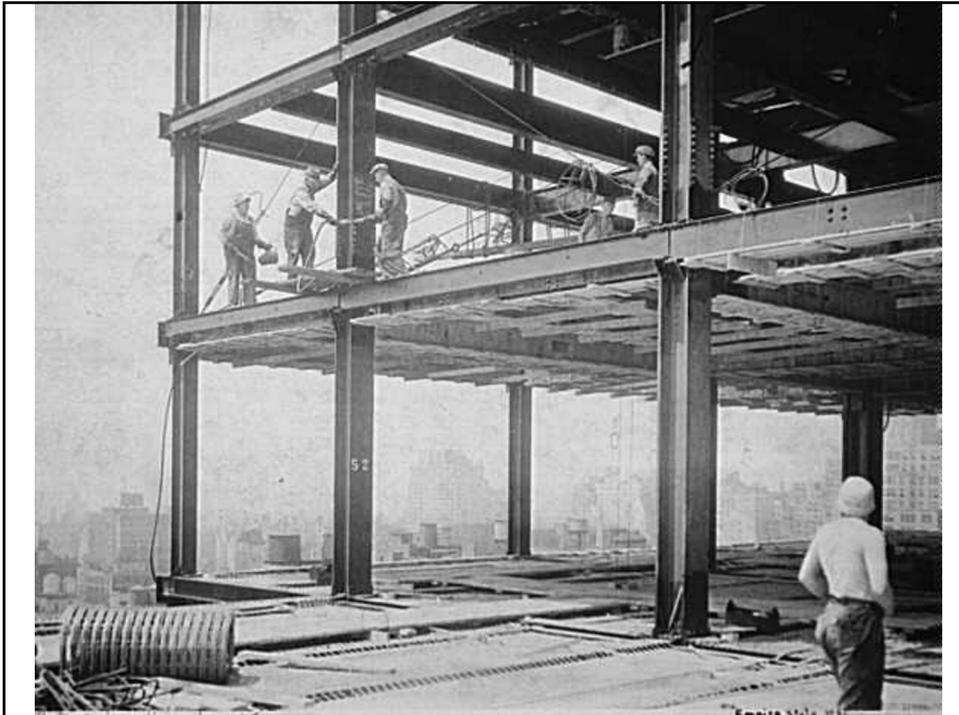
Hoje com 76 anos de idade, a estrutura dessa estátua, requereu apenas duas intervenções para manutenção realizadas nas décadas de 80 e 90, o que a caracteriza como de exemplar vida útil.

62

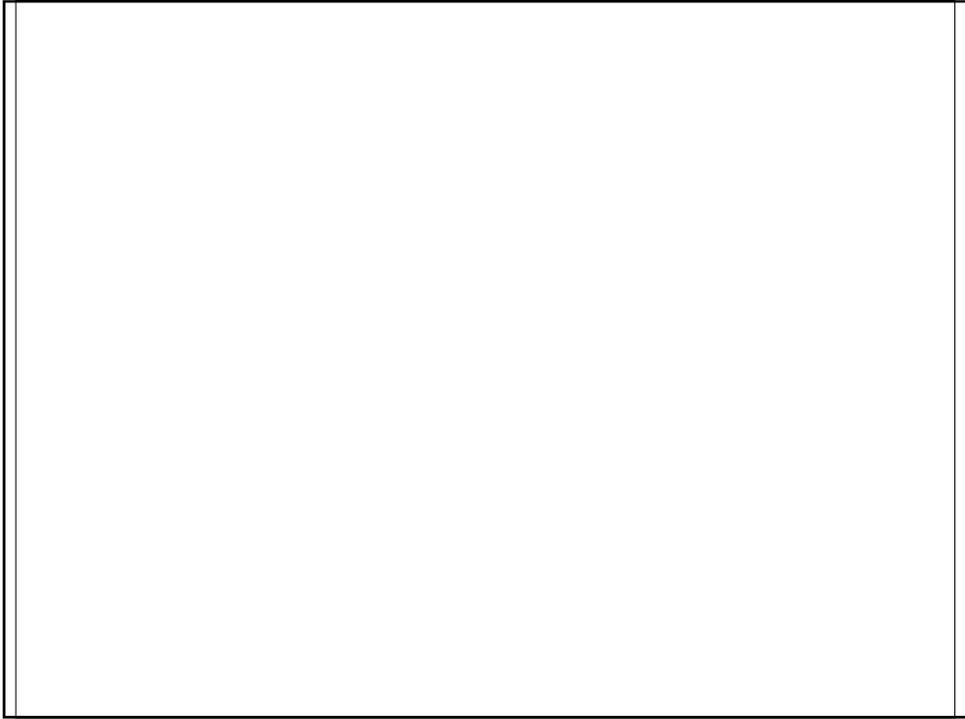


**Empire State Building
381m , New York, 1.931**

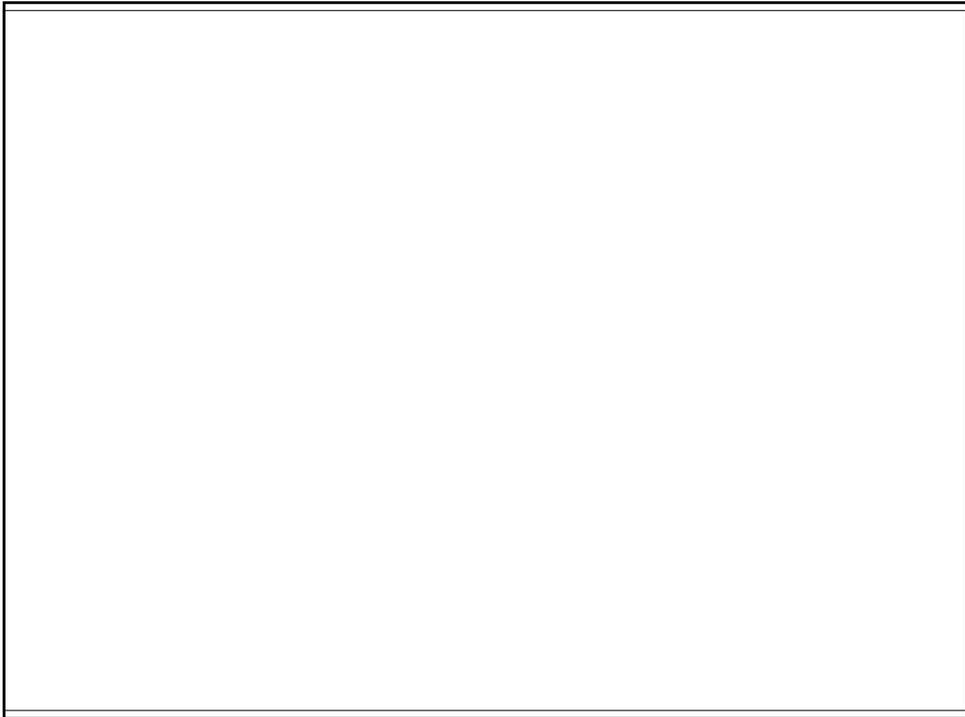
63



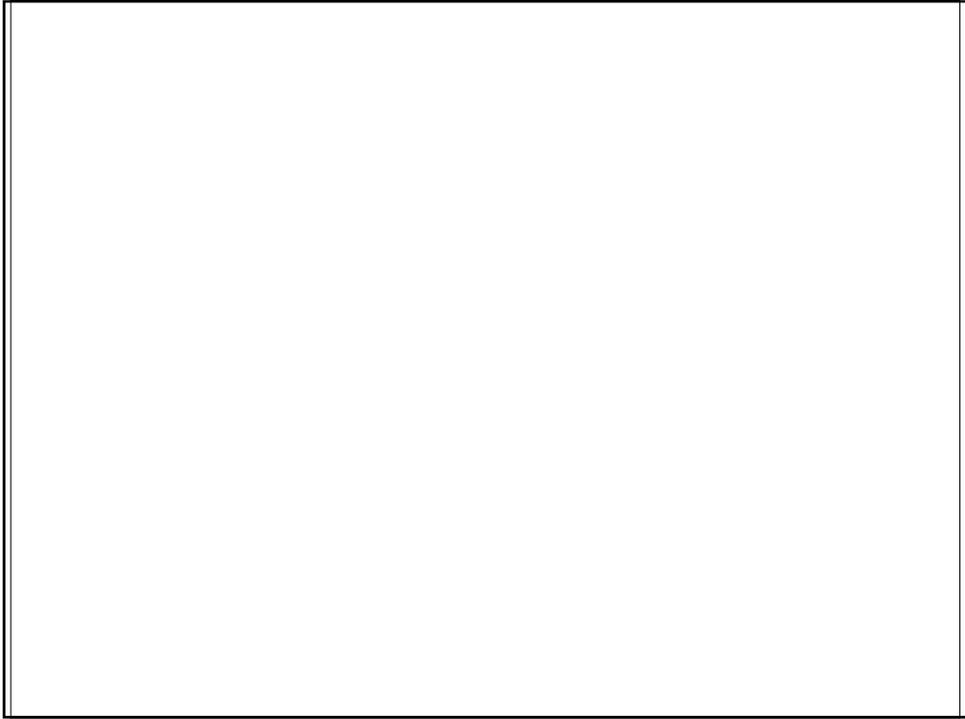
64



65



66



67



68

Século XX
1.928

“novo material estrutural”

Concreto
Protendido

Eugene Freyssinet

69



70



71



72

PONTE SOBRE O RIO GUAMÁ
“O COLOSSO DO PARÁ”



73



Ponte Rio Guamá
Belém ^ Pará 320m de luz 2003

74



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

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

**Vida Útil
100 anos!**

75

III Grande Revolução !

A Arquitetura de estruturas 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”

76

Melhoria arquitetônica

Concreto aparente, grandes vãos

Bruno Contarini



Oscar Niemeyer

Superior Tribunal de Justiça

77

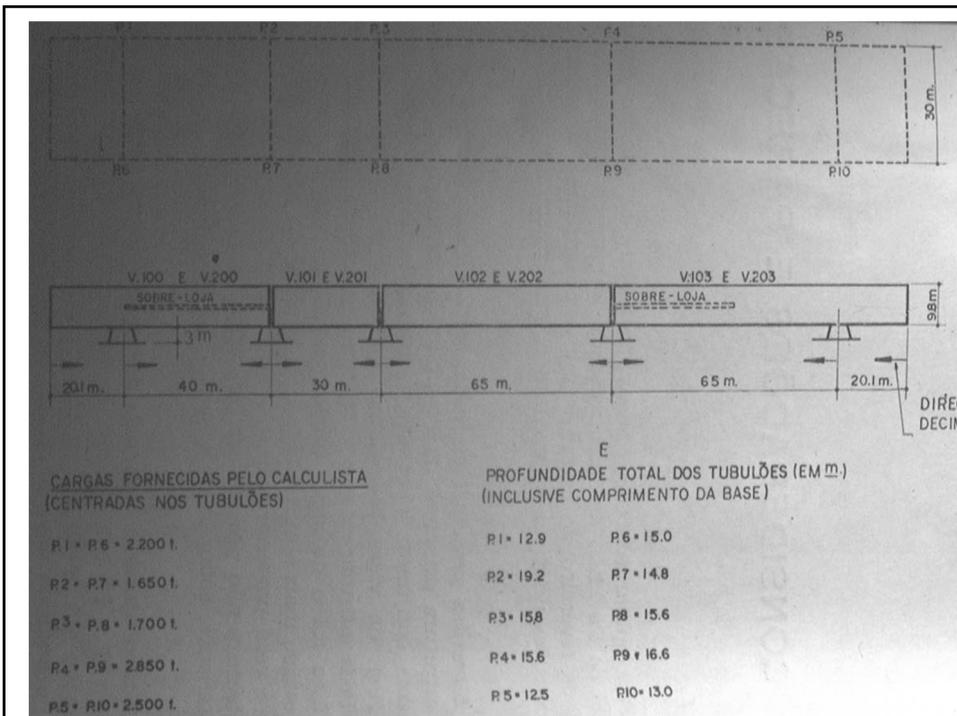


24,0m por 31m
Vigas 9,8m de altura
apoiadas em 5 pilares
Desabou na hora do almoço

78



79



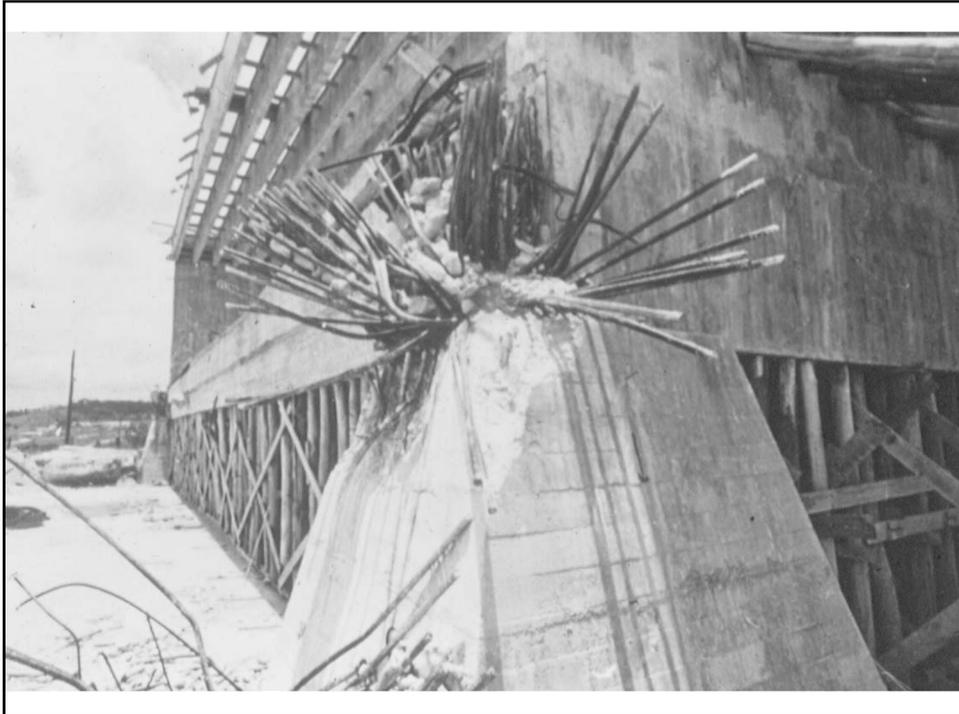
80



81



82



83

Melhoria arquitetônica

Concreto aparente, grandes vãos

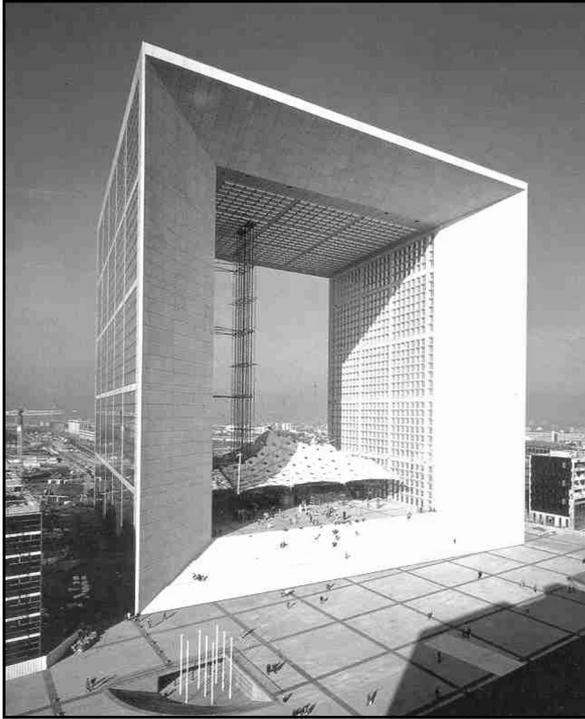
Bruno Contarini



Oscar Niemeyer

Superior Tribunal de Justiça

84



Grand Arch

La Defense

Paris

França 1990

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

**“high-tech
style”**

85



Petronas Towers

Cesar Pelli

Kuala Lumpur

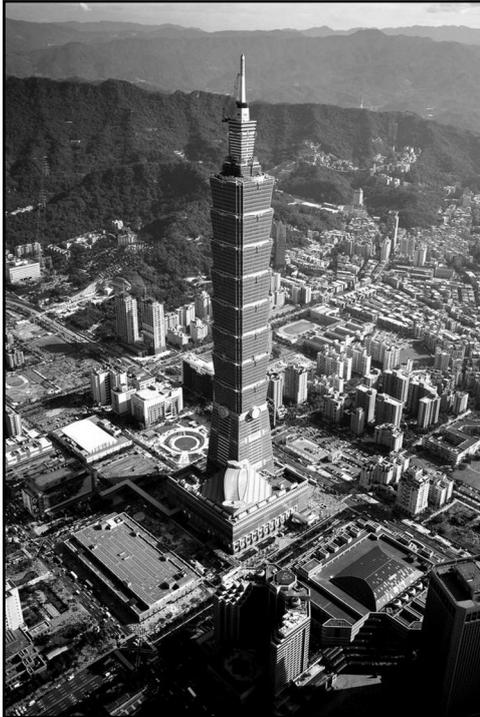
Malasia 1.997

452m

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

before / after

86



TAIPEI 101

Shanghai World Financial Centre

Taiwan, China

2005

509m

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

steel / concrete

87

**Como será
o futuro?**

88

P&D em Concreto

SCIENTIFIC AMERICAN

319 documentos nos últimos 10anos

Building Better Concrete
July 25, 2006

Paulo Monteiro, UC Berkeley

89

Inovação em Concreto

SCIENCE NEWS ON LINE (110)

FRC → concreto com fibras

SCC → concreto auto-adensável

Concreto translúcido

HPC concreto de elevado desempenho

GFRC → concreto con fibras de vidro

Concreto com carbono

Cimento sem pó

90

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*

91

SCIENCE NEWS ON LINE

- **Nanotecnologia na engenharia de materiais**
- TiO_2 Titânio **Self-Cleaning Concrete**
- **Partículas Fotocatalíticas**
absorver energia solar

92

Concreto Estampado



93

Concreto estampado

➤ evolução, melhoria, inovação de processo



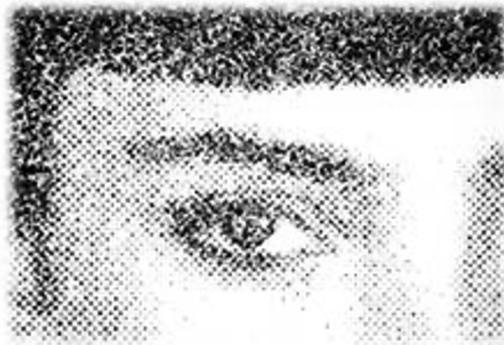
94

Concreto Fotogravado

- Destinado a reproduzir fotografias, desenhos e gravuras mediante desativação seletiva;
- Mecanismo: deposição de um retardador sólido numa placa flexível mediante procedimento de impressão ponto a ponto;
- A placa pré-preparada deve ser recoberta com concreto. Após o endurecimento é retirado do molde e lavado com água a baixa pressão.

95

Concreto Fotogravado



96

Concreto Fotogravado



97

Concreto Translúcido

- A utilização de fibras óticas na massa de concreto formam uma matriz que permite a passagem da luz;
- Essas fibras permitem a formação de silhuetas definidas projetando-se sobre a superfície do concreto;



98

Concreto Translúcido

Arq. Aron Losonczy
(Hungaro)



99

Concreto Translúcido

O desenvolvimento dessa tecnologia poderá revolucionar a aparência de edifícios através da passagem da luz, inclusive aproveitando a luz do dia em áreas comuns das construções, evitando desperdícios



100

Concreto Artístico



101

Concreto Artístico



102

Concreto com Fibras

FRCC → Fiber Reinforced Concrete

HPFRC → High Performance Fiber Reinforced Concrete

UHPFRC → Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete

SFRC → Steel Fiber Reinforced Concrete

GFRC → Glass Fiber Reinforced Concrete

SFRC → Synthetic Fiber Reinforced Concrete

NFRC → Natural Fiber Reinforced Concrete

103

Glass Fiber Reinforced Concrete

GFRC OU GRC

Trata-se de um compósito de matriz cimentícia reforçada com fibras de vidro álcali-resistentes.

Devido à alta resistência a tração oferecida pela fibra de vidro, seu baixo volume e altíssima durabilidade, permitem a execução de peças extremamente esbeltas e finas.

Muito utilizado na execução de painéis de fachada para edifícios novos e restaurações.

Não há limites para a criatividade e com infinitas aplicações.



104

Concreto de Alta Resistência

▼Tem resistência à compressão acima de 200MPa e acima de 40MPa na flexão, obtidas através da adição de nano fibras metálicas.

105



Estação de trem, Calgary, Canadá

106

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

107



108

estudo comparativo



109



110

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

111



112



113



114



115

Desperdício

O desperdício no concreto pré-fabricado é de 1% enquanto na Construção Civil (alvenarias, pisos, etc.) pode ser de...



116



117



118

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

119

Venustas
Bonita !

120

*Oscar Niemeyer
Bruno Contarini*



Museu de Arte, Niemeyer / 1971

121

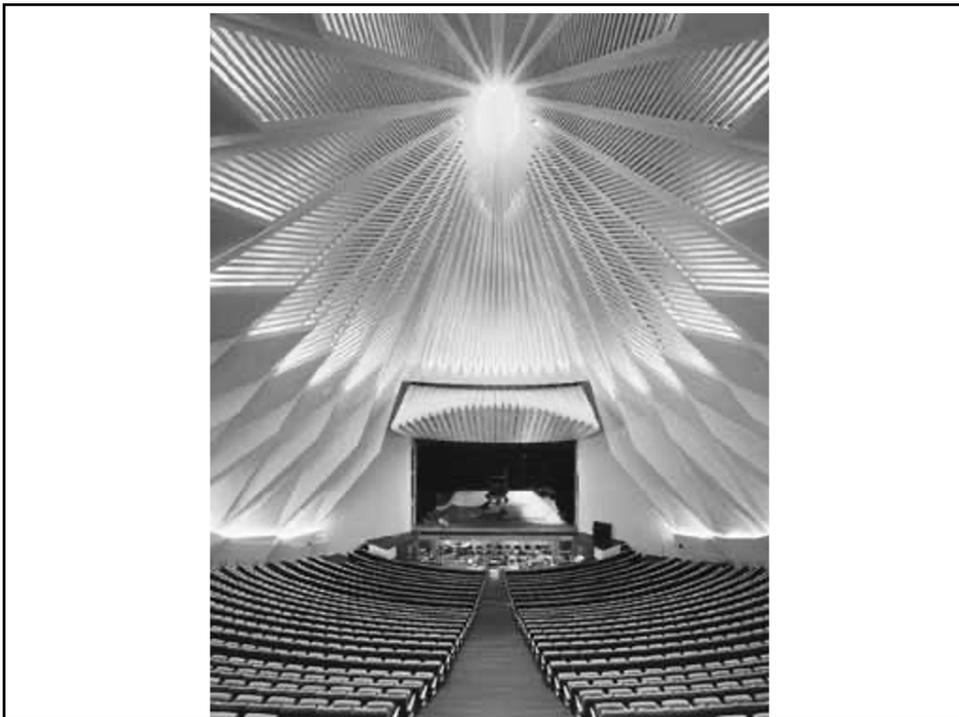
**Auditório de Tenerife
Espanha
2003
Santiago Calatrava**



122



123



124

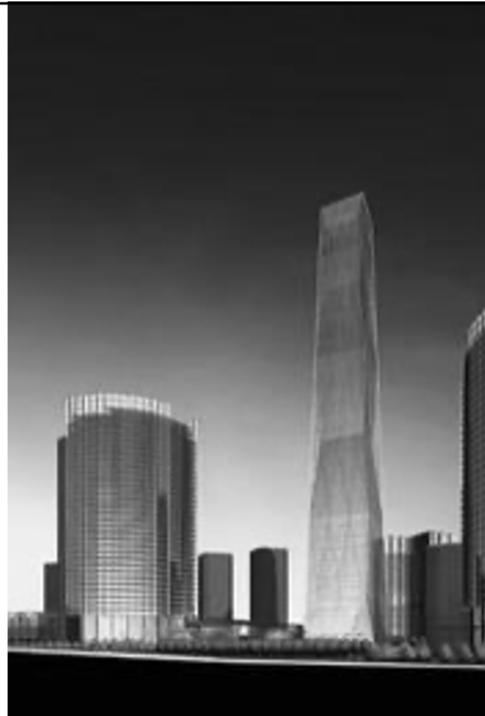
China
World Trade Center

Pequim, China

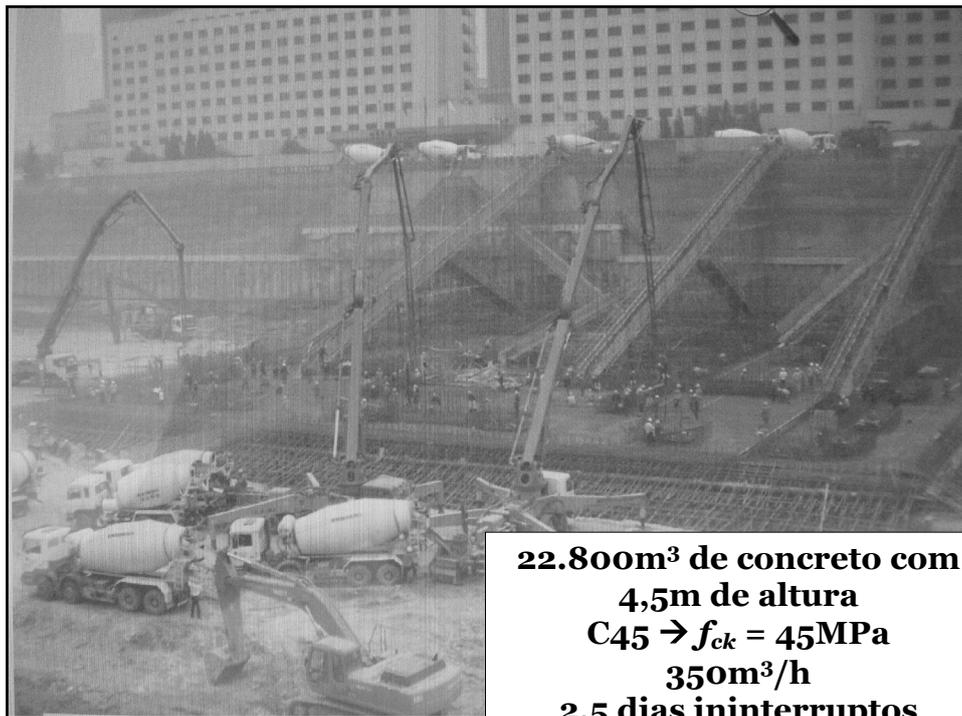
2009

330m

74 andares



125

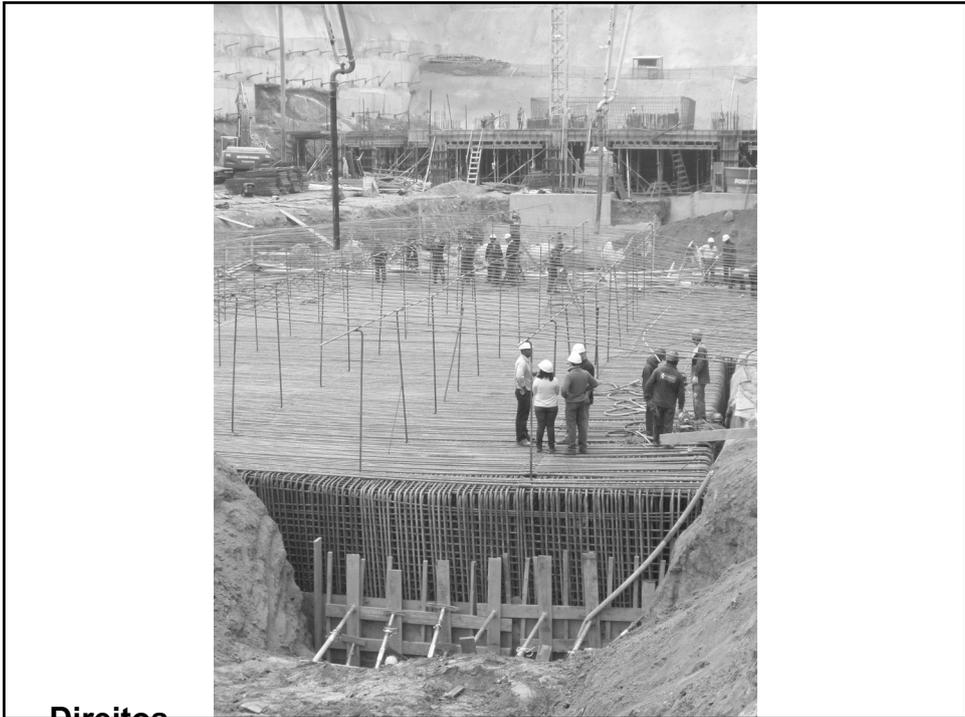


**22.800m³ de concreto com
4,5m de altura
C45 → $f_{ck} = 45\text{MPa}$
350m³/h
2,5 dias ininterruptos**

126



127



128



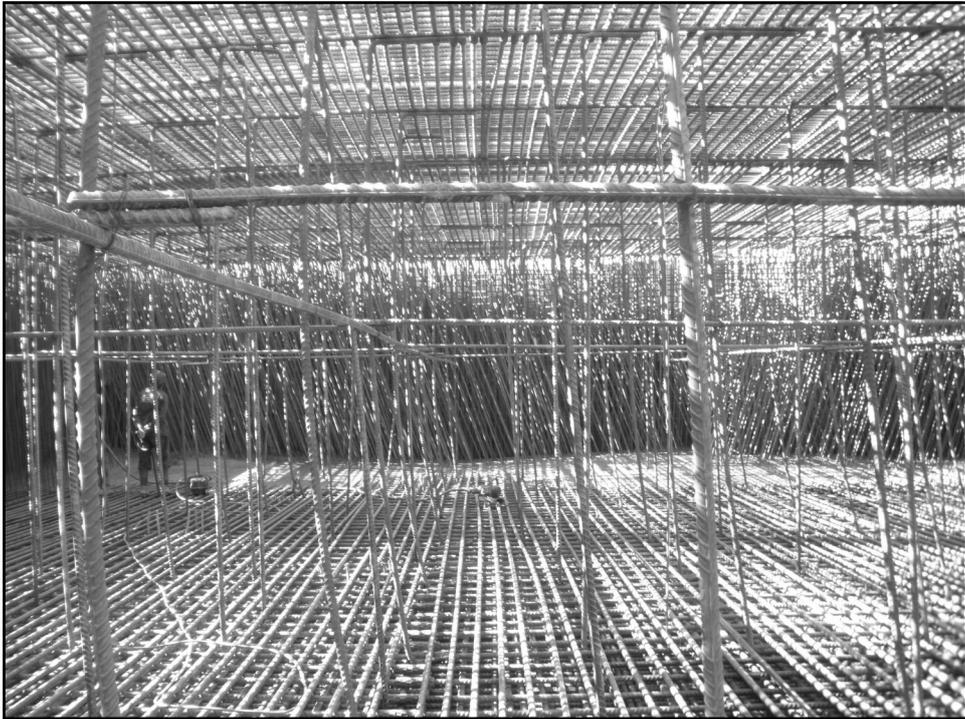
129



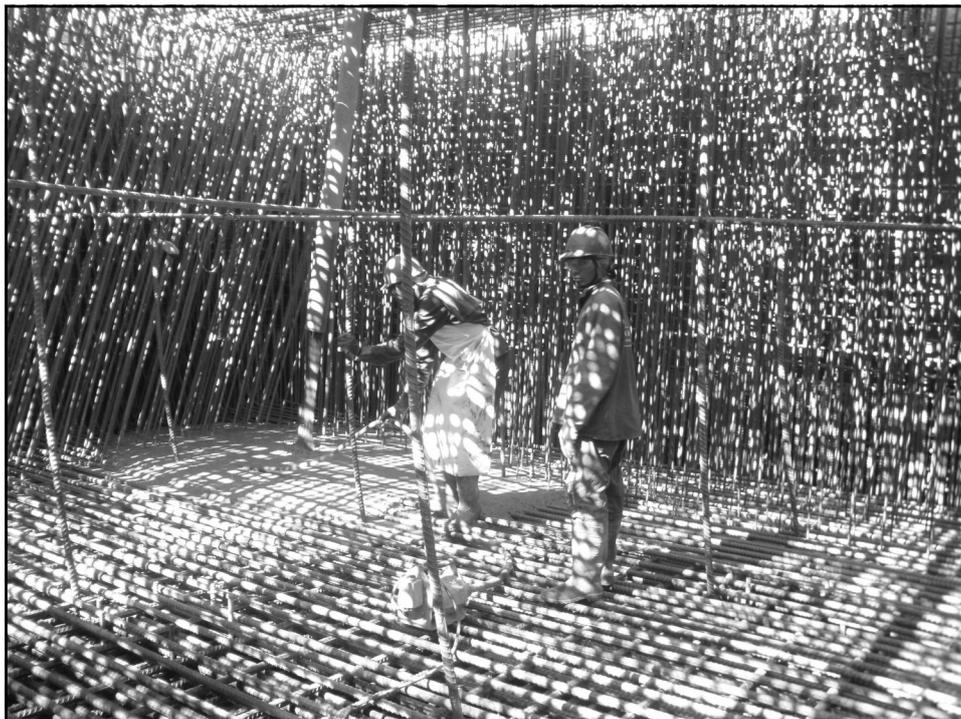
130



131



132



133

Firmitas
estável e durável

134



**Centro
Empresarial
Nações
Unidas**

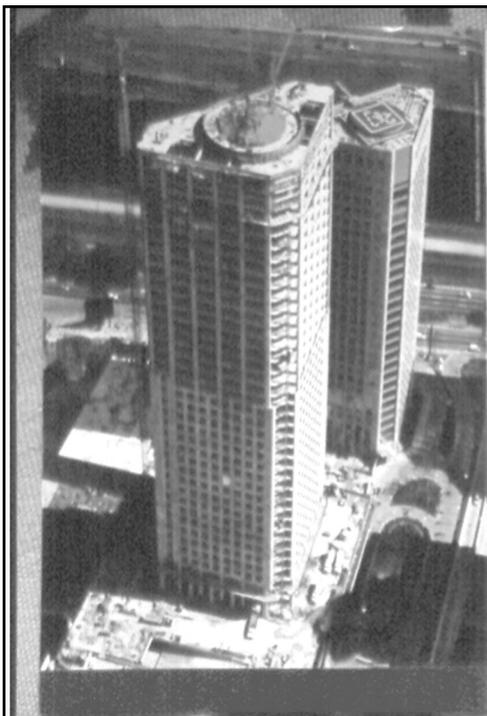
Torre Norte

**São Paulo
1997**

Altura 179 m

$f_{ck} = 50\text{MPa}$

135



**250 anos
de garantia.**

Quando precisa de segurança, tecnologia e competência em concreto, chama a atenção para o Concreto Engemix. Com a Mistura Engemix, a garantia de 250 anos é assegurada. O Concreto Engemix é produzido em São Paulo, com tecnologia de ponta e controle de qualidade rigoroso, garantindo a máxima durabilidade e resistência. O Concreto Engemix é produzido com agregados selecionados e cimento de alta qualidade, resultando em uma estrutura sólida e resistente. O Concreto Engemix é a escolha ideal para projetos de grande porte, garantindo a máxima segurança e durabilidade. O Concreto Engemix é produzido com tecnologia de ponta e controle de qualidade rigoroso, garantindo a máxima durabilidade e resistência. O Concreto Engemix é produzido com agregados selecionados e cimento de alta qualidade, resultando em uma estrutura sólida e resistente. O Concreto Engemix é a escolha ideal para projetos de grande porte, garantindo a máxima segurança e durabilidade.



**CONCRETO
ENGEMIX**

136

Arte e Ciência da Construção

Marcus Vitruvius Pollio (*Engenheiro / Arquiteto Romano*)

40 anos aC → "*De Architectura*"

10 volumes → 800 anos como best - seller

<i>Utilitas</i>	<i>(funcional)</i>
<i>Firmitas</i>	<i>(estável e durável)</i>
<i>Venustas</i>	<i>(bonita)</i>

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

137

Arte e Ciência da Construção

Marcus Vitruvius Pollio (*Engenheiro / Arquiteto Romano*)

40 anos aC → "*De Architectura*"

10 volumes → 800 anos como best - seller

<i>Utilitas</i>	<i>(funcional)</i>
<i>Firmitas</i>	<i>(estável e durável)</i>
<i>Venustas</i>	<i>(bonita)</i>

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

138

Sustentabilidade

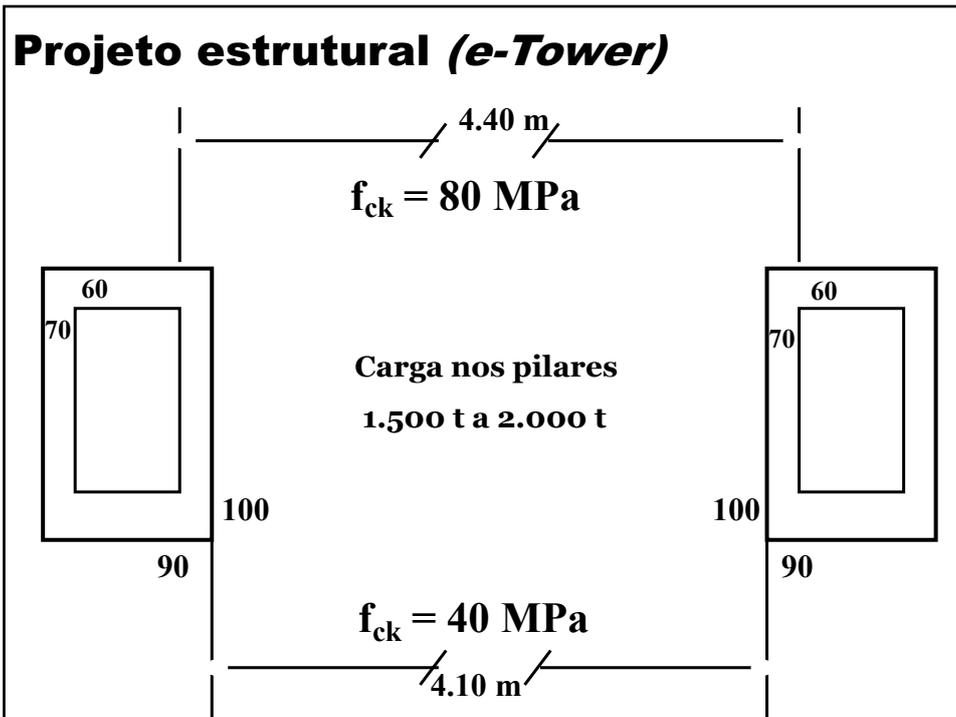


139

TECNUM
CONSTRUTORA

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

140



141



142



143



144

Economia de recursos naturais

Original:

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

seção transversal $\rightarrow 90\text{cm} \times 100\text{cm}$

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

HPC / HSC:

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

seção transversal $\rightarrow 60\text{cm} \times 70\text{cm}$

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

145

Economia de recursos naturais

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

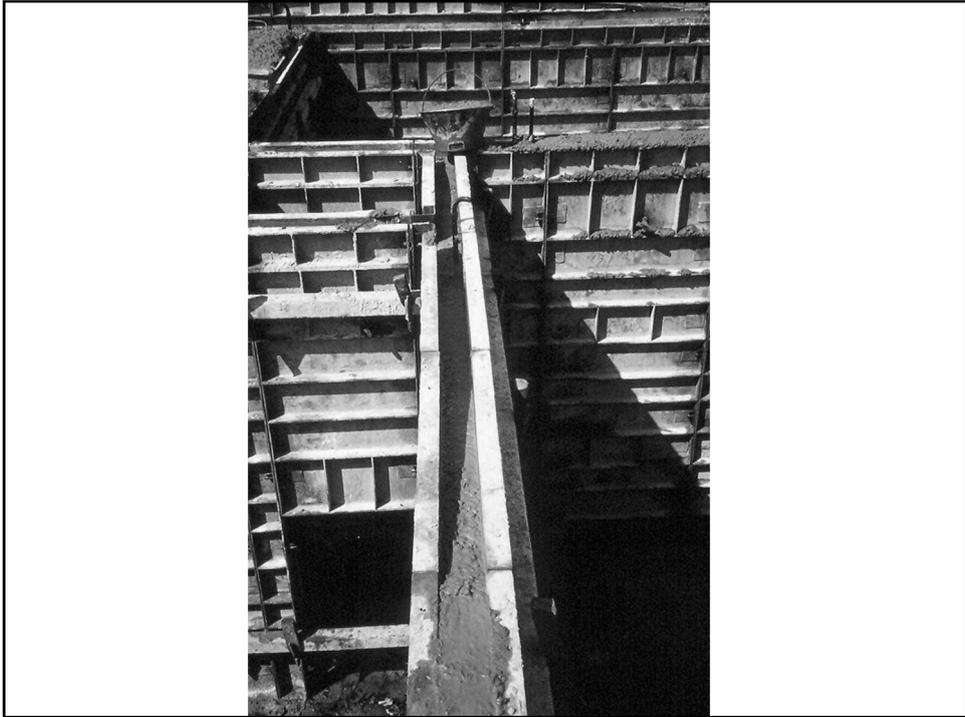
146



147



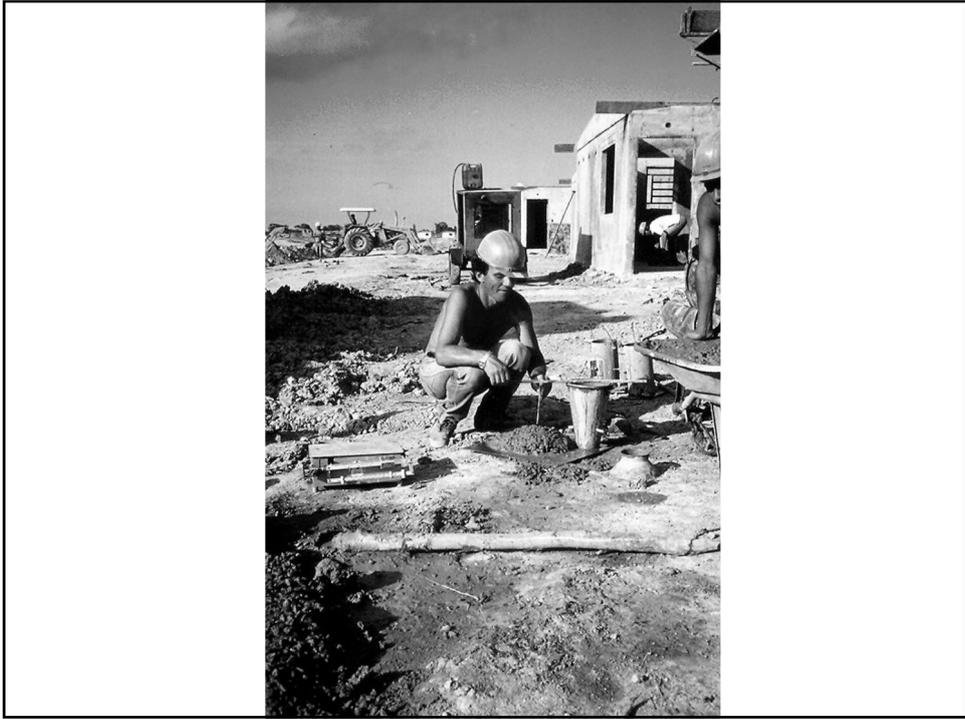
148



149



150



151



152



***Estudo de Dosagem no
Laboratório do Fornecedor
de Concreto:***



direitos reservados 2010

153



154



155



156

Concretagem contínua de paredes e lajes



direitos reservados 2010

Obra Trisul

157

Aplicação do Concreto



direitos reservados 2010

Obra Trisul

158



159



160



161

Considerações Finais

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

162

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

163

Passados somente 13 anos, 7 novos edifícios mais altos que o Petronas foram construídos

164

**Hoje há 57 edifícios
em construção com
altura superior a
300m, para serem
inaugurados até
2013...**

165

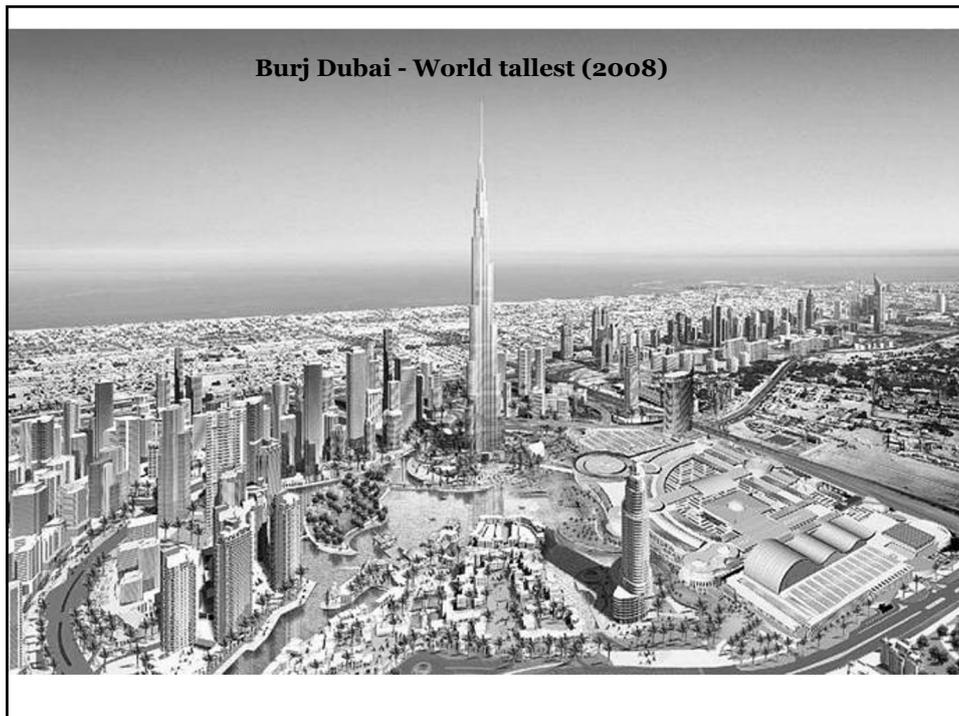
Desse total de 57
“arranha-céus”:

- 37 são em concreto
- 19 são mistos concreto / aço
- apenas 1 é metálico

166

Inclusive o mais alto
edifício do mundo,
hoje, a Burj Khalifa,
em Dubai, tem
estrutura em concreto

167



168

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

169

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

170

**Não basta
ser da UFS**

171

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

172



173



174