

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

Rio Verde

11 de maio de 2011

Limeira SP

1

Desenvolvimento de uma Nação

IMPORTÂNCIA DO ESTUDO DE CONCRETO

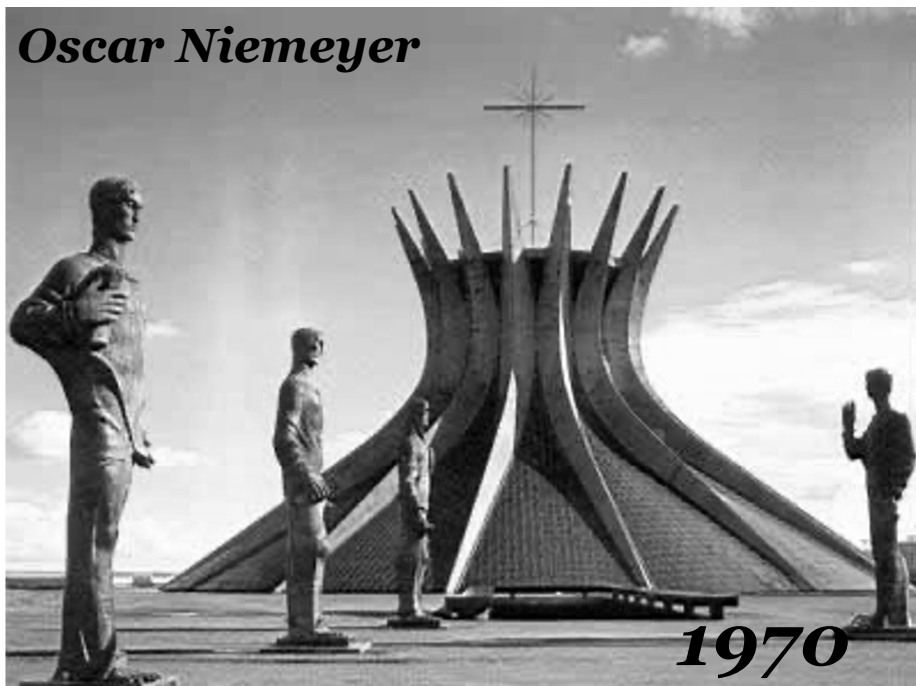
2

fib (CEB-FIP) 1974, New York

1. Não se pode ter tudo;
2. Tudo tem seu preço;
3. Nunca é tarde demais;
4. Não há evolução sem risco;
5. Não exagere na simplicidade da solução;
6. Pergunte quanto é bom e não quanto custa;
7. Tenha prazer em aprender;
8. Nada é absolutamente novo;
9. Aproveite do conhecimento já consagrado

3

Oscar Niemeyer



4



5



6

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

7

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.

8

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

9

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

10

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

11

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.

12

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

13

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

14

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



2790 A C

Pirâmide escalonada de Djeser

15



16



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

17

Materiais Estruturais!

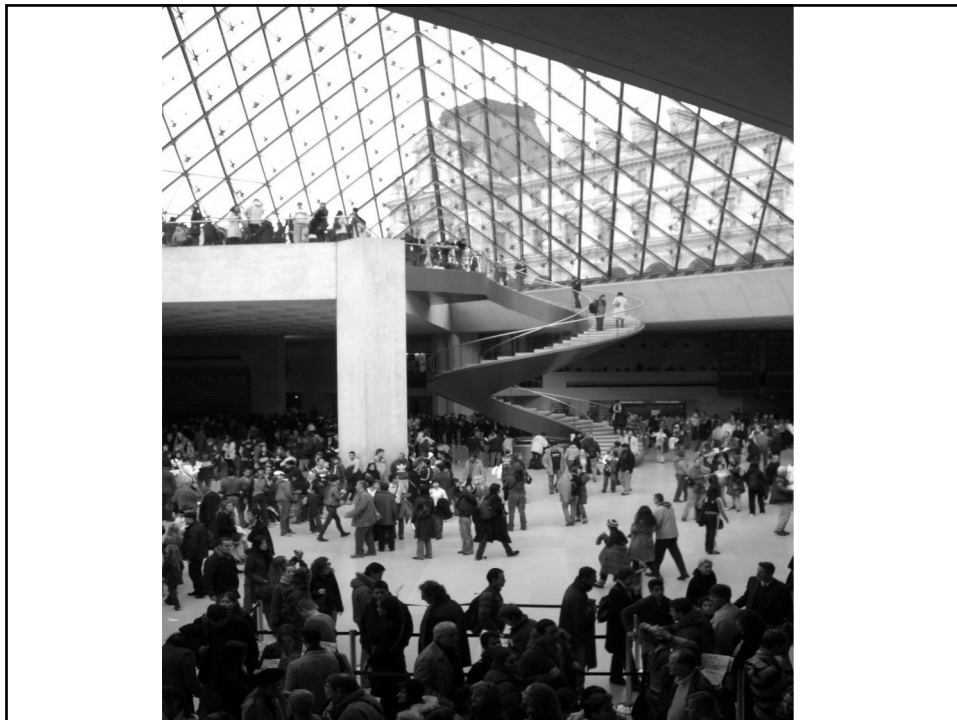
1. Madeira / bambú;
2. Barro / argila (+ fibra);
3. Cerâmica;
4. Rocha

18

A CONSTRUÇÃO ESTÁ no PRIMEIRO CÓDIGO CIVIL da HUMANIDADE

“Durabilidade!”

19



20



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

I Grande Revolução !

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

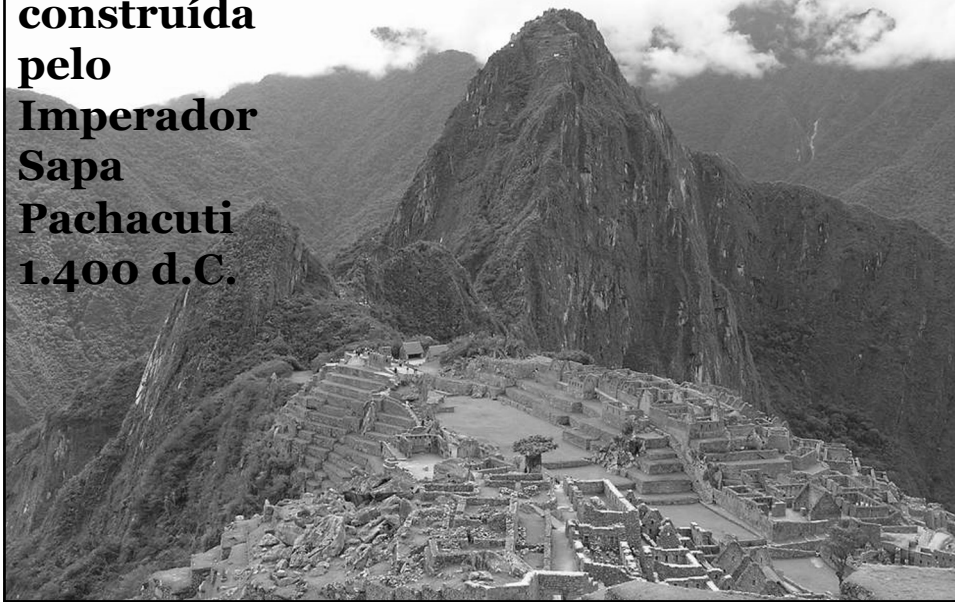
23



24

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

**500.000 turistas
2007**



25



26



27

**Construir com
Materiais
Resistentes e
Duráveis**

28

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”



29

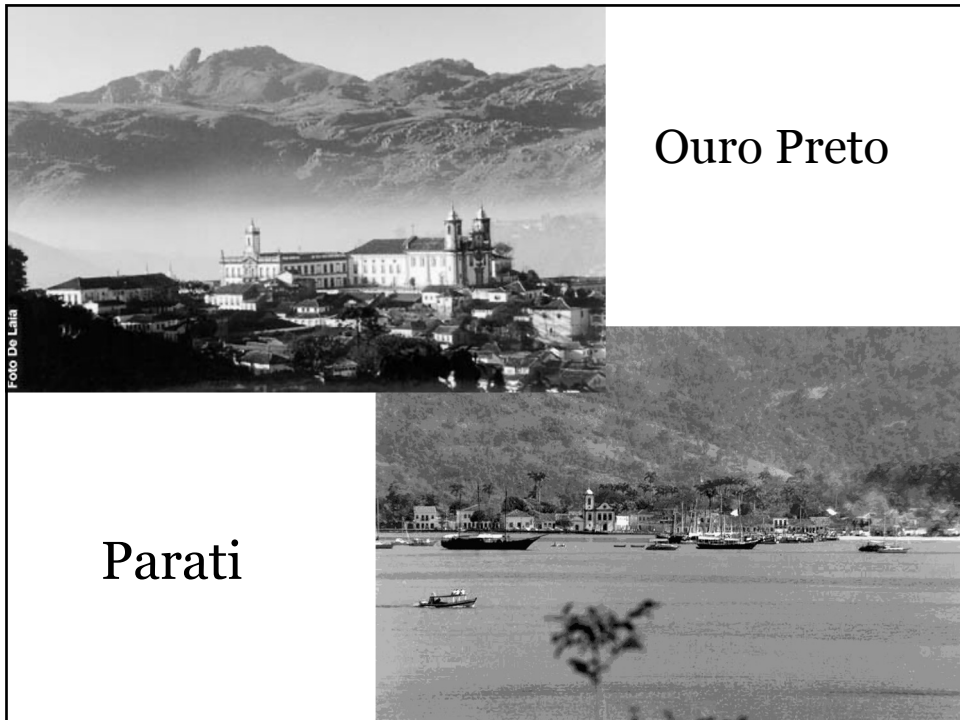
Cartagena de Indias



30



31



32



33

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

34

Panteão
de
Roma



35

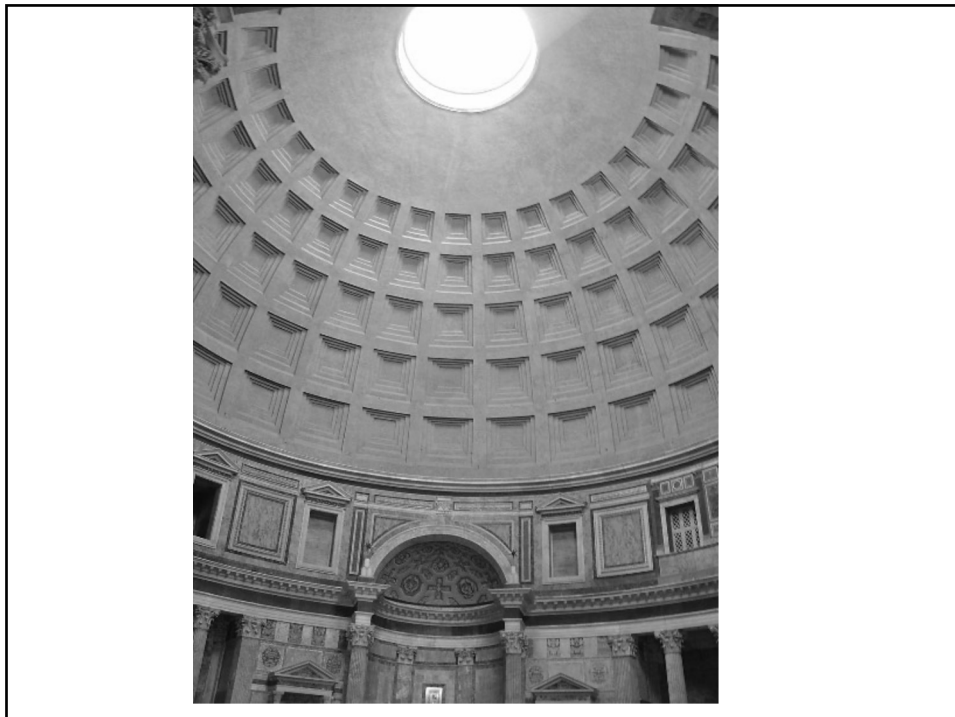


36

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



37



38

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

XVIII → Estilo Neoclasico → Arco do Triunfo , Paris

39

Catedral de Notre Dame



1163-1330

Abóbada da nave central → 35 m de altura

40

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

41

Primeira Ponte Metálica → 1.779 d.C.

Coalbrookdale Bridge in Telford, Inglaterra

still in use today carrying occasional light transport and pedestrians



42



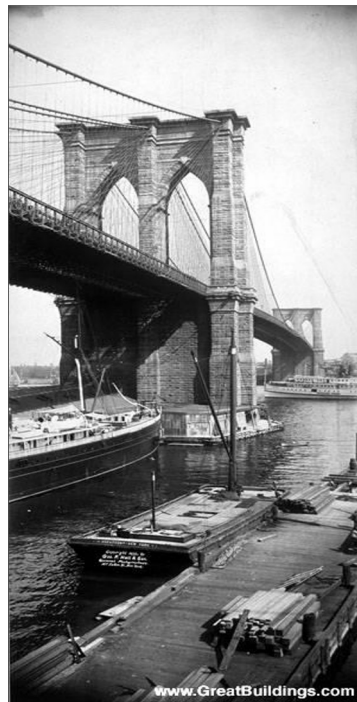
Ponte do Brooklin, New York, USA → 1.883

John Augustus Roebling

ponte suspensa com cabos de aço galvanizados

43

Fundações em rocha e alvenaria



44

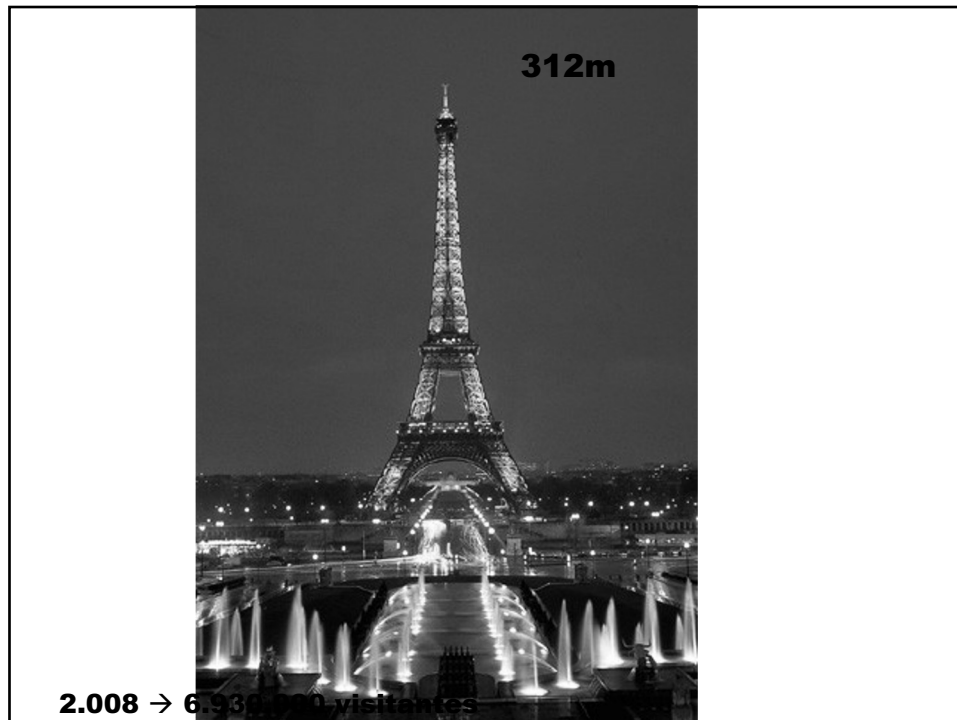
II Grande Revolução !

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.

45



46



47



48

VIADUTO DO CHÁ. Inaugurado em 1892



49

PASSEIO DOMINICAL NO TIETÊ - 1917



50

Onde estão os edifícios de Escritórios e Apartamentos?

O que houve?

51



Palácio de Westminster → Houses of Parliament
1.868 dC Big Ben

52

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

53



**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**

54

SÉCULO “XX” 1892

**APARECE UM
NOVO MATERIAL**

Concreto Armado

55

Primeiras Normas sobre Estruturas de Concreto

1903	Suiça
1903	Alemanha
1906	França
1907	Inglaterra

56



57



**Systeme
Hennebique**
Paris, Rue Danton1

7 andares
França 1.901
30m

$f_{ck} = ?$

109 anos !

*edificio em concreto mais
antigo do mundo*

58



Palácio Salvo
Montevideu

27 andares

Uruguai 1925

103m

$f_{ck} = ?$

85 anos !

world record

59



***Edifício
Martinelli***

1929

106m

81 anos

world record

São Paulo, Brasil

60

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



61



62



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

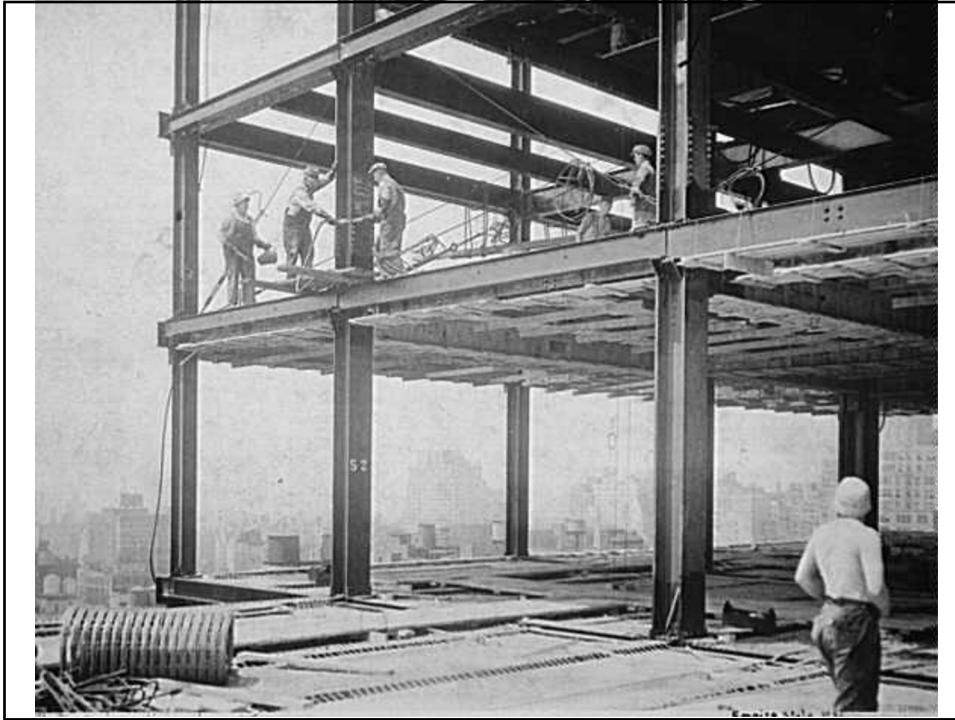
Hoje com 76 anos de idade, a estrutura dessa estátua, requereu apenas duas intervenções para manutenção realizadas nas décadas de 80 e 90, o que a caracteriza como de exemplar vida útil.

63

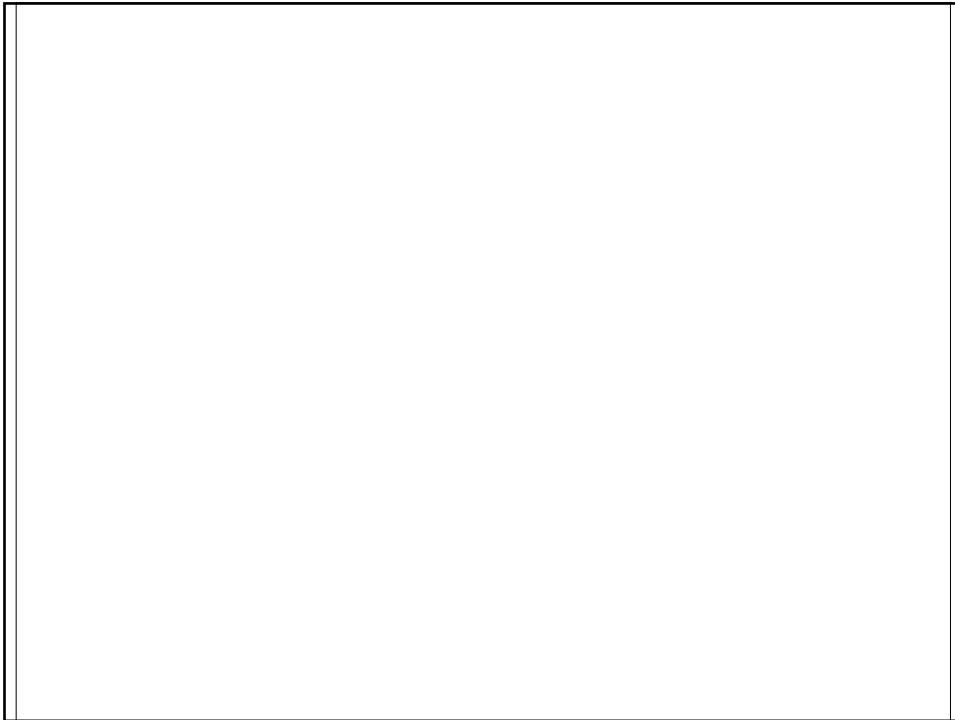


Empire State Building 381m , New York, 1.931

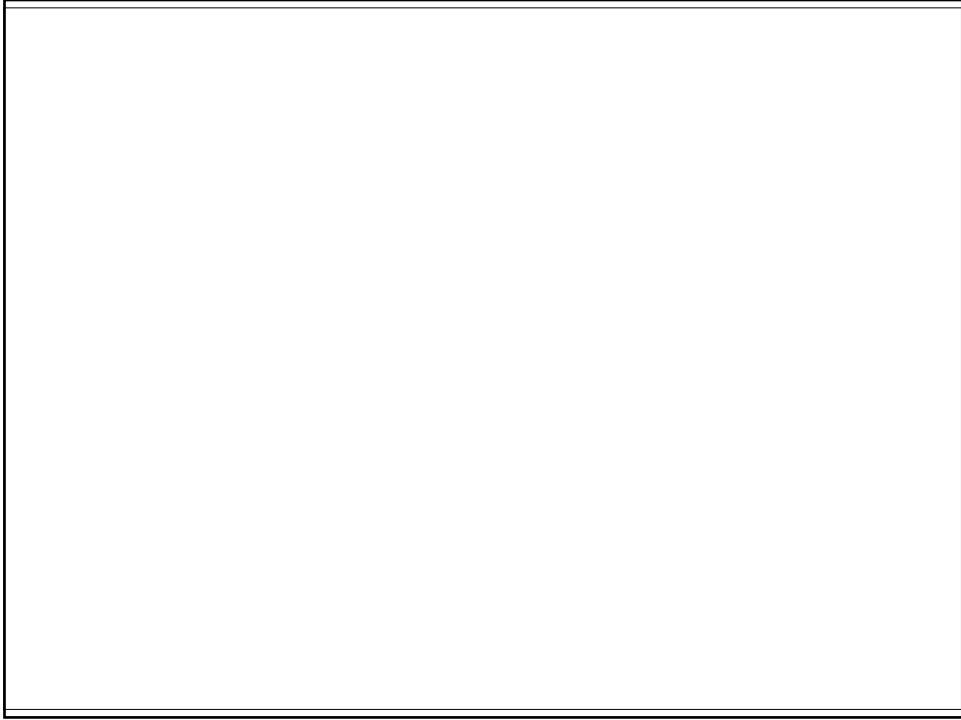
64



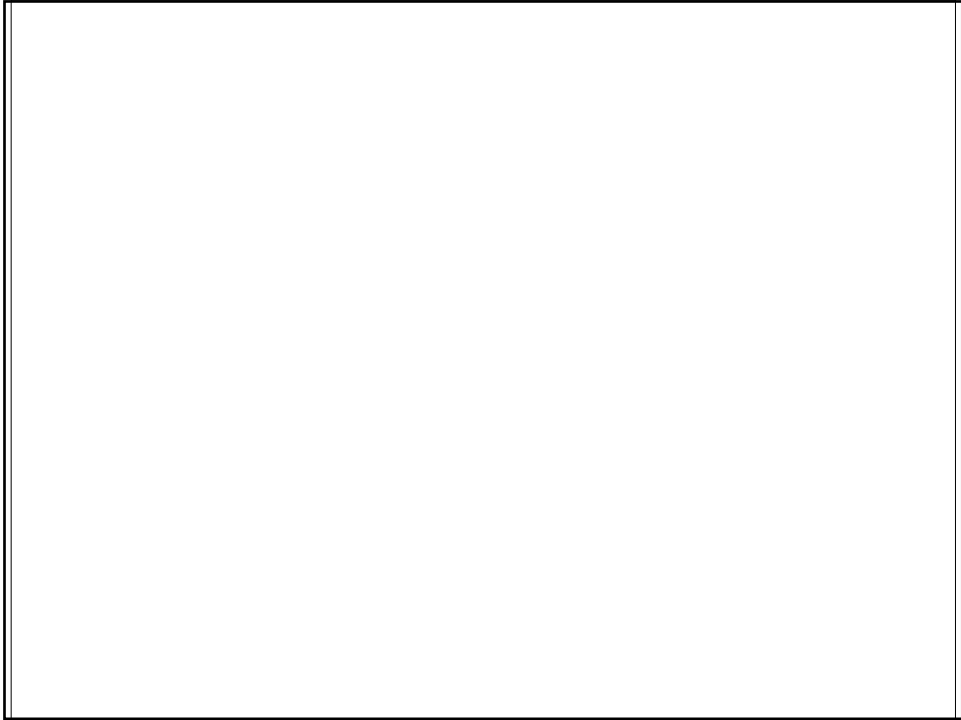
65



66



67



68



69

**Século XX
1.928**

“novo material estrutural”

***Concreto
Protendido***

Eugene Freyssinet

70



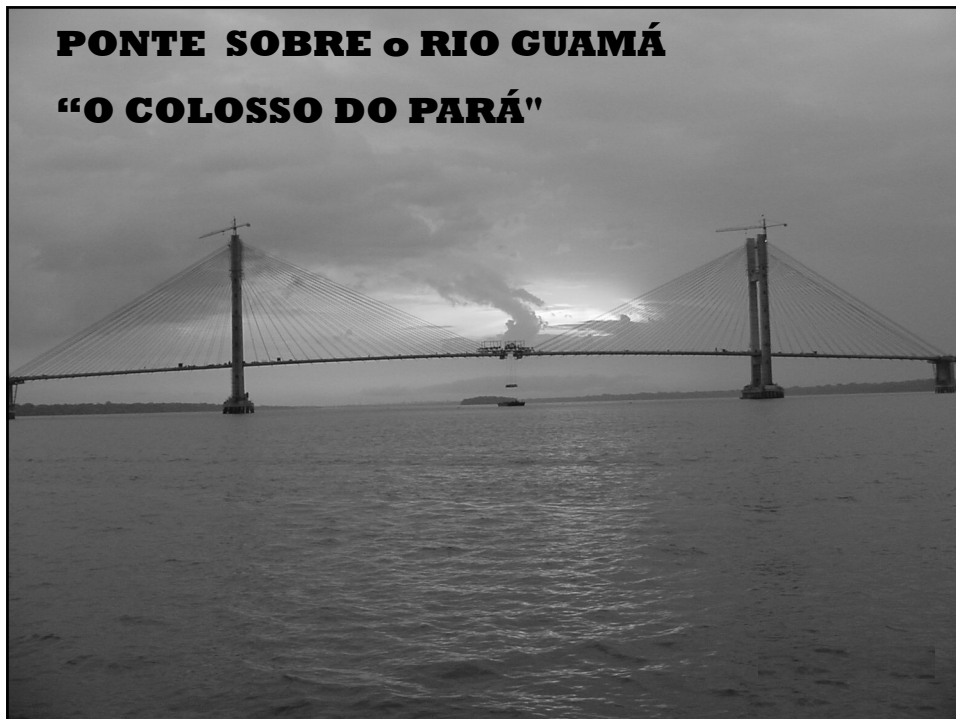
71



72



73



74



75



2 8 2002

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

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

Vida Útil
100 anos!

76

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”

77

Melhoria arquitetônica

Concreto aparente, grandes vãos

Bruno Contarini



Oscar Niemeyer

Superior Tribunal de Justiça

78

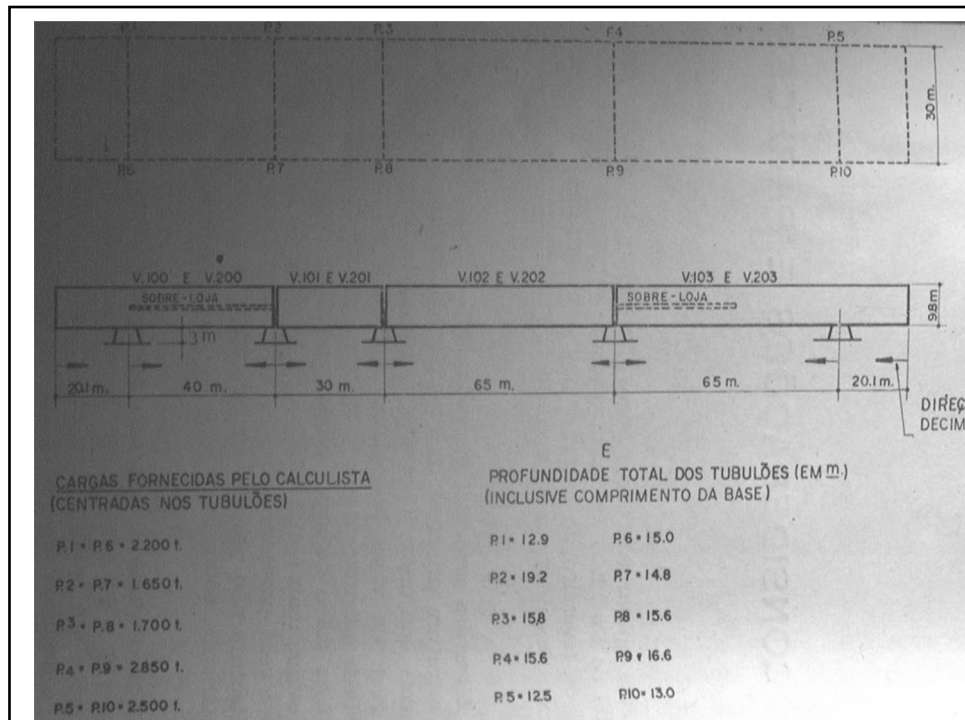


240m por 31m
Vigas 9,8m de altura
apoiadas em 5 pilares
Desabou na hora do almoço

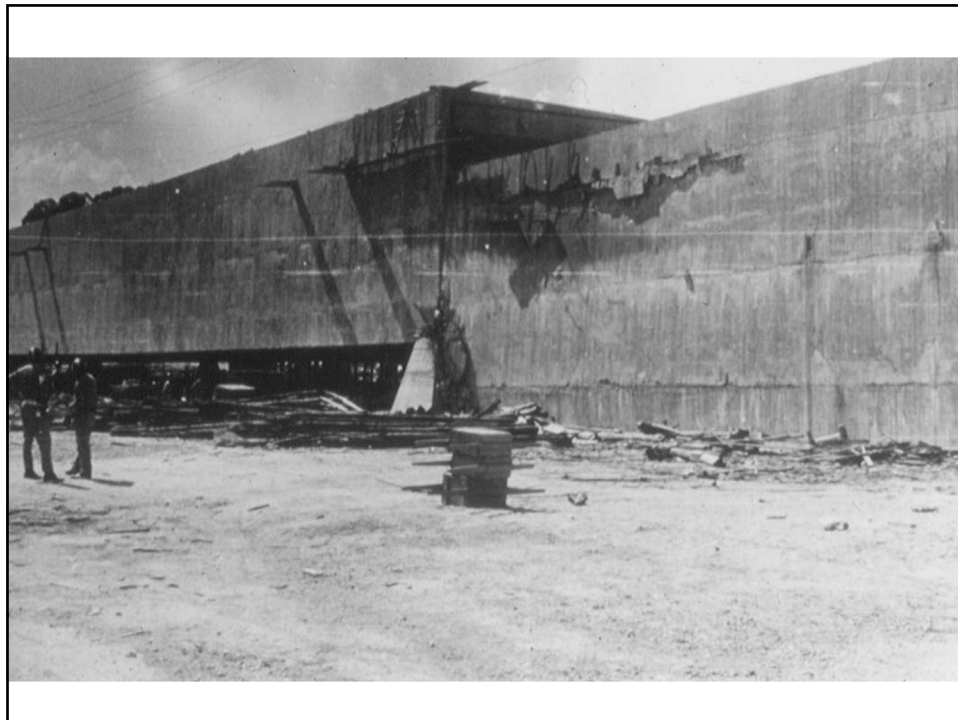
79



80



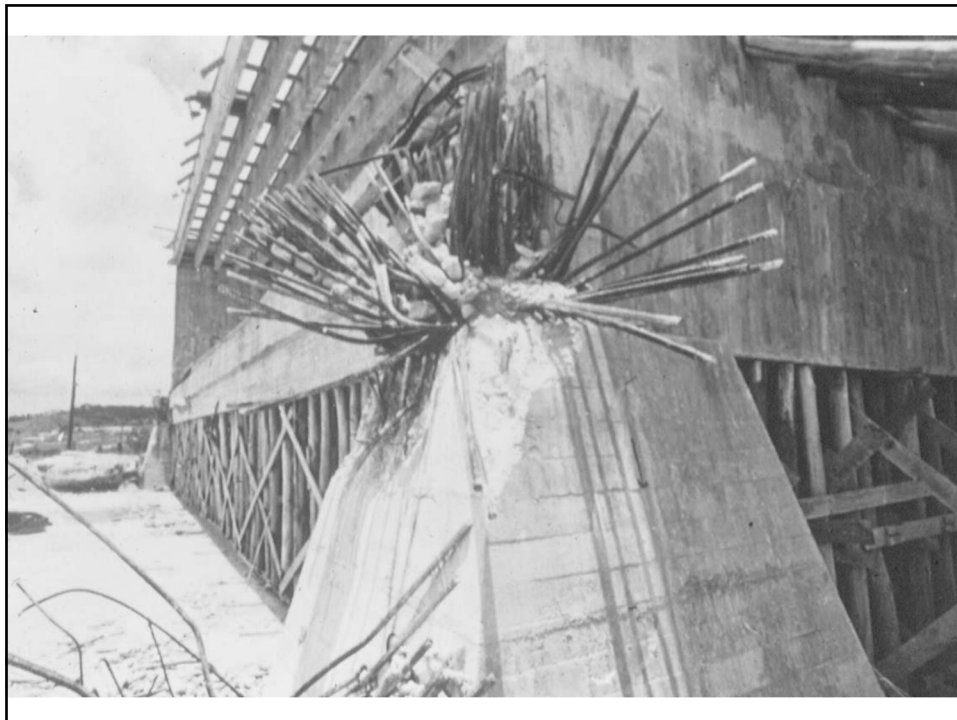
81



82



83



84

Melhoria arquitetônica

Concreto aparente, grandes vãos

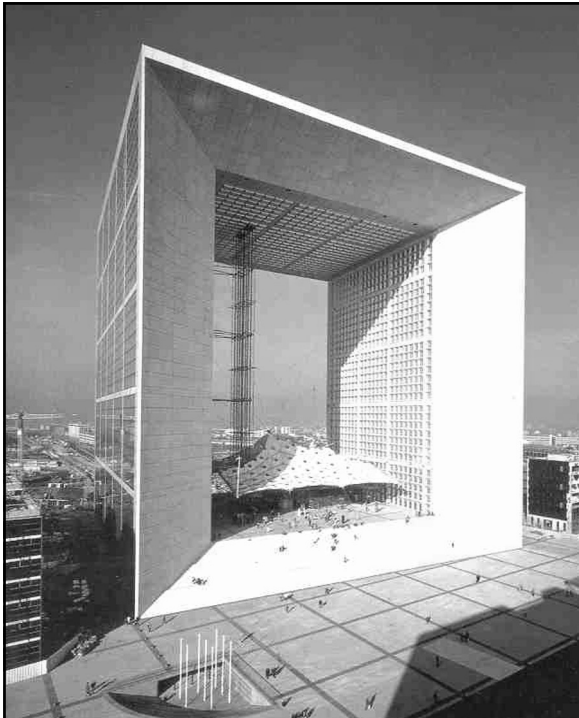
Bruno Contarini



Oscar Niemeyer

Superior Tribunal de Justiça

85



Grand Arch

La Defense

Paris

França 1990

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

**“high-tech
style”**

86



Petronas Towers

Cesar Pelli

Kuala Lumpur

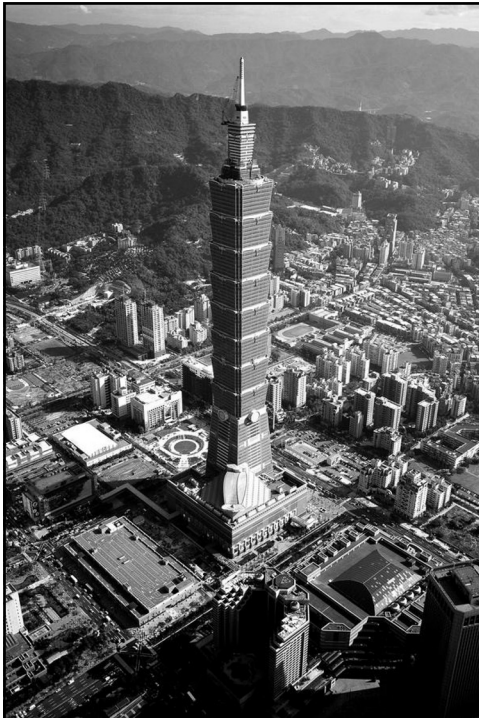
Malasia 1.997

452m

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

before / after

87



TAIPEI 101

Shangai World Financial Centre

Taiwan, China

2005

509m

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

steel / concrete

88

Como será o futuro?

89

P&D em Concreto

SCIENTIFIC AMERICAN

319 documentos nos últimos 10anos

Building Better Concrete
July 25, 2006

Paulo Monteiro, UC Berkeley

90

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

91

SCIENCE NEWS ON LINE

- **TiO₂ 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**

92

SCIENCE NEWS ON LINE

- **Nanotecnologia na engenharia de materiais**
- **TiO₂ Titânio Self-Cleaning Concrete**
- **Partículas Fotocatalíticas**
absorver energia solar

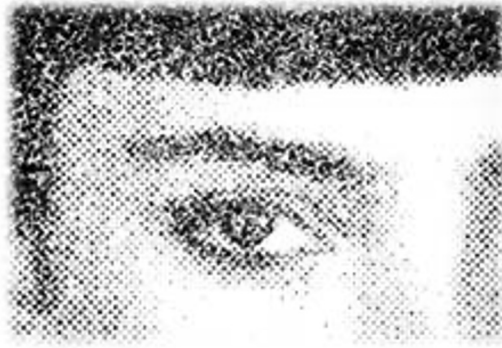
93

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.**

96

Concreto Fotogravado



97

Concreto Fotogravado



98

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;



99

Concreto Translúcido

Arq. Aron Losonczi
(Hungaro)



100

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



101

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

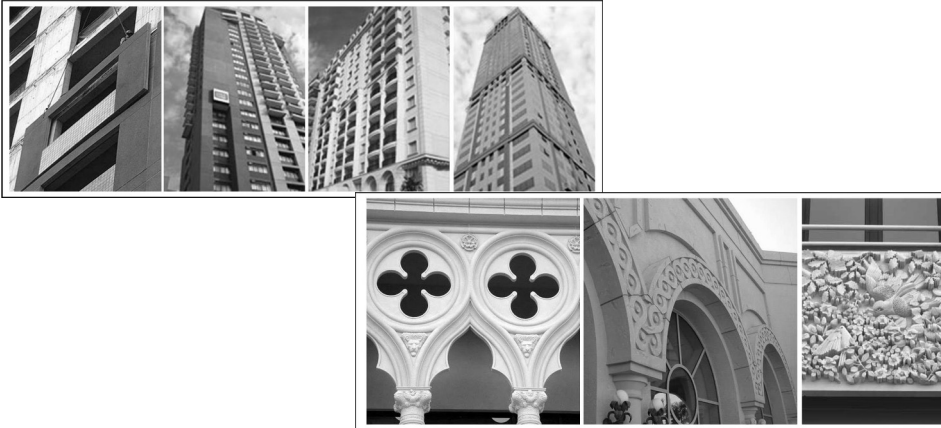
NFRC → Natural Fiber Reinforced Concrete

104

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.



105

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.

106



Estação de trem, Calgary, Canadá

107

P & D em Concreto

Concreto de Alto Desempenho

SCC → Self –Compacting Concrete

HPC → High Performance Concrete

HSC → High Strength Concrete

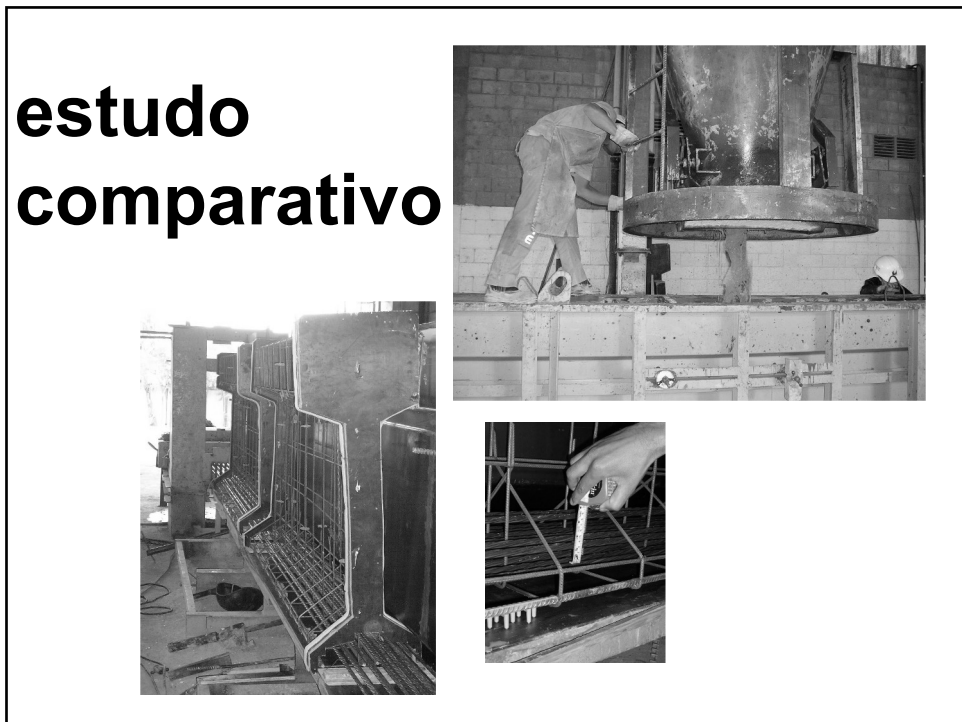
CRC → Compact Reinforced Composite

RPC → Reactive Powder Concrete

108



109



110



111

10 x produtividade

CC: moldagem: 4,4min;

acabamento: 3,3min;

**nº 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

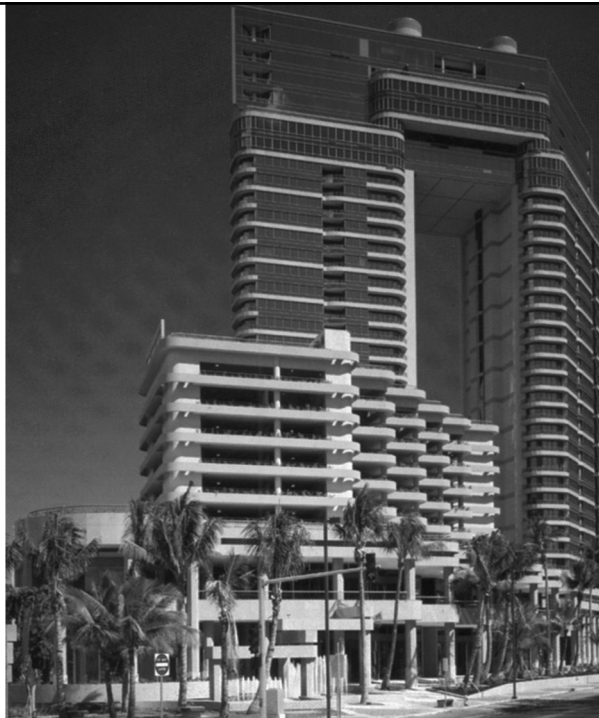
**nº de operários empregado: três (3); com caçamba
(2) e ponteiro (1).**

0,081 h.h/ m³ de concreto

112



113



114



115



116

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

120

Venustas
Bonita !

121



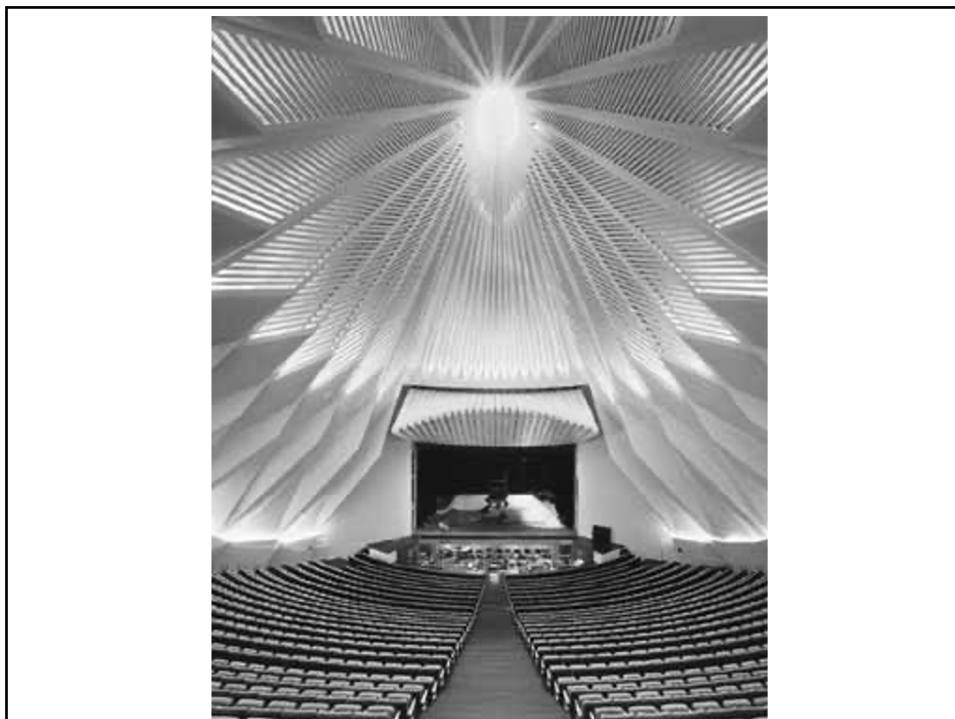
122



123



124



125

China
World Trade Center

Pequim, China

2009

330m

74 andares



126

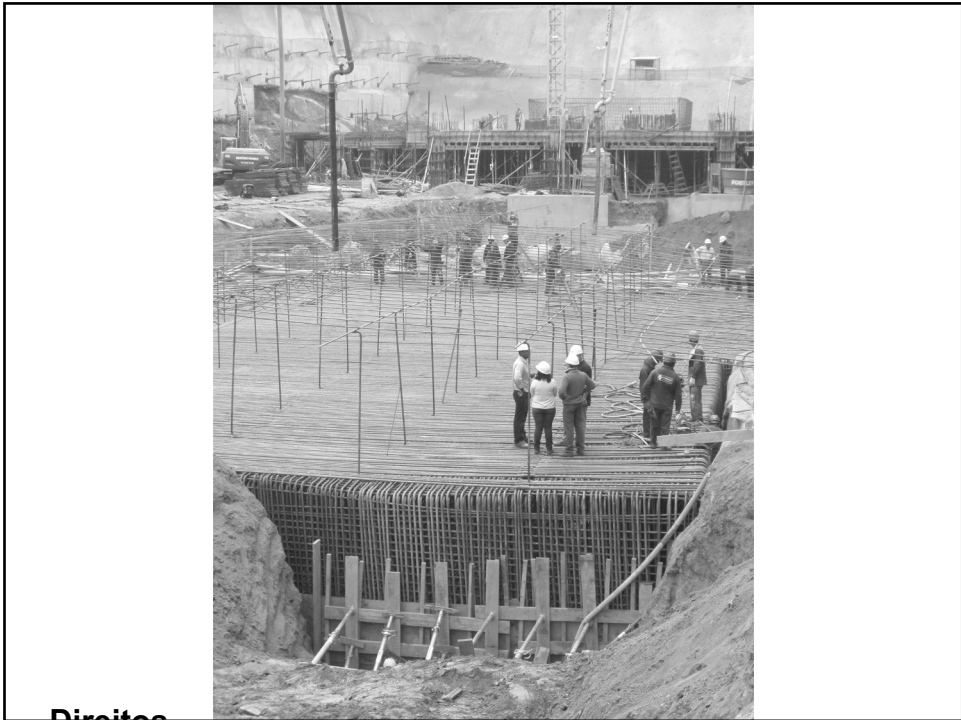


**22.800m³ de concreto com
4,5m de altura
C45 $\rightarrow f_{ck} = 45\text{MPa}$
350m³/h
2.5 dias ininterruptos**

127



128



129

Firmitas

estável e durável

135



**Centro
Empresarial
Nações
Unidas**

Torre Norte

**São Paulo
1997**

Altura 179 m

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

136

Arte e Ciência da Construção

Marcus Vitruvius Pollio (*Engenheiro / Arquiteto Romano*)

40 anos aC → "De Architectura"

10 volumes → 7 volumes sobreviventes

Um tratado de arquitetura que descreve os princípios da construção e a teoria da arquitetura. O tratado é dividido em dez livros, cada um dedicado a um aspecto específico da arquitetura, desde a teoria geral até a descrição de edifícios específicos. O tratado é considerado uma das obras mais importantes da arquitetura clássica e é frequentemente citado como a base da arquitetura moderna. (bonita)

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

139



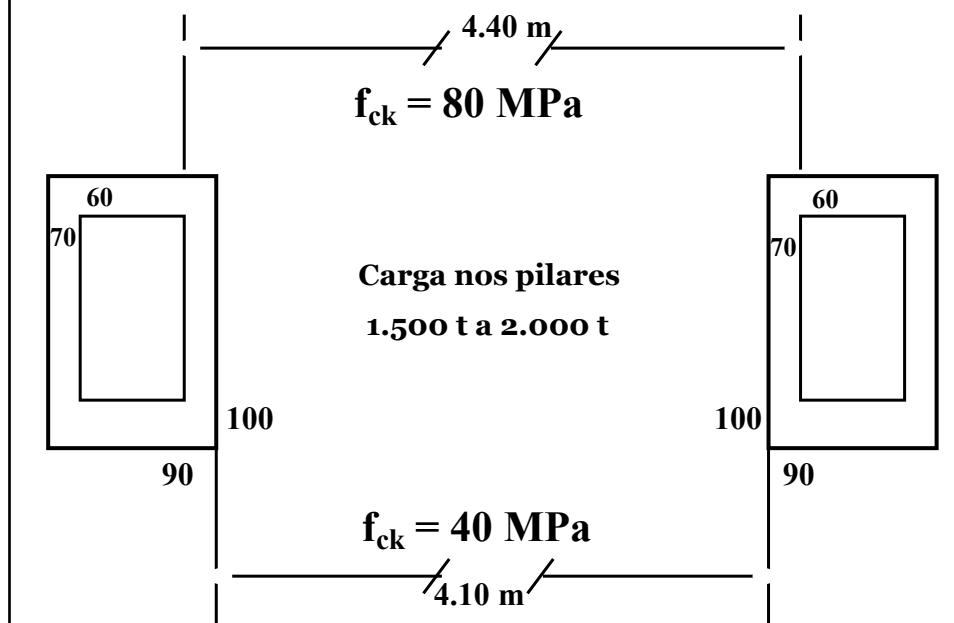
140

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



141

Projeto estrutural (*e-Tower*)



142



143



144



145

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

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

146

Economia de recursos naturais

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

147

Considerações Finais

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

163

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

164

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

165

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

166

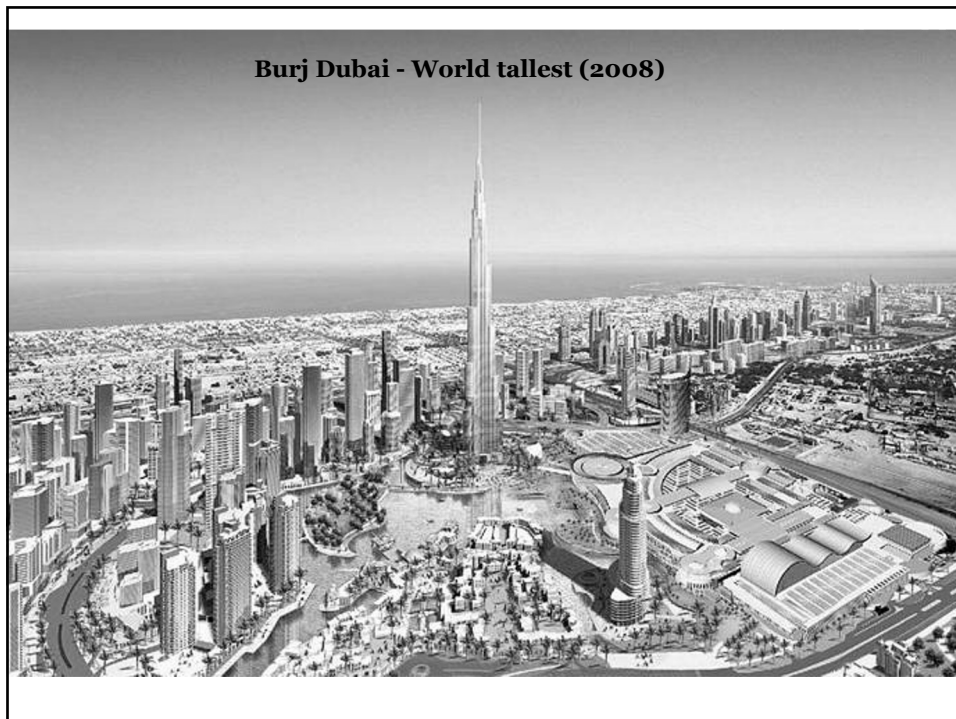
Desse total de 57
“arranha-céus”:

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

167

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

168



169

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

170

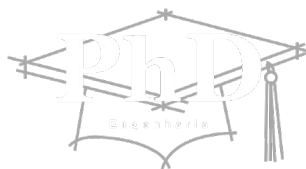
e... ainda continua em
franco progresso e
evolução não sendo
possível prever seus
limites, nem seu
substituto !

171



172

OBRIGADO!



"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

www.concretophd.com.br
www.phd.eng.br

11-2501-4822 / 23
 11-7881-4014

173