

Sobre el Arte de Proyectar y Construir Estructuras

Paulo Helene

Presidente ALCONPAT

Diretor PhD Engenharia

Diretor Conselheiro IBRACON

Prof. Titular Universidade de São Paulo USP

fib (CEB-FIP) member of Model Code for Service Life

Barquisimeto

17 de Febrero de 2011

Venezuela

1



2



3



4



5



6



7

Complejo Urbanístico Parque Central

| | |
|---------------------------------|---|
| Ubicación | <u>Caracas, Venezuela</u> |
| Fecha de comienzo | <u>1970</u> |
| Construido | <u>1979</u> Torre Oeste <u>1983</u> Torre Este |
| Uso | Oficinas |
| Altura | Altura 225 m |
| Número de plantas | Detalles técnicos 61 |
| Área total | 1400 m ² cada una |
| Arquitecto | <u>Daniel Fernández-Shaw</u> |
| Ingeniero de estructuras | Carlos Delfino |
| Constructora | Siso & Fernández-Shaw |
| Promotora | <u>Centro Simón Bolívar</u> |

8



9

Torre Gran Costanera

General information

| | |
|----------------------|------------------------|
| Location | <u>Santiago, Chile</u> |
| Status | Under construction |
| Estimated completion | November 2011 |
| Opening | Under Construction |

Height

| | |
|------|----------------|
| Roof | 300 m (984 ft) |
|------|----------------|

Technical details

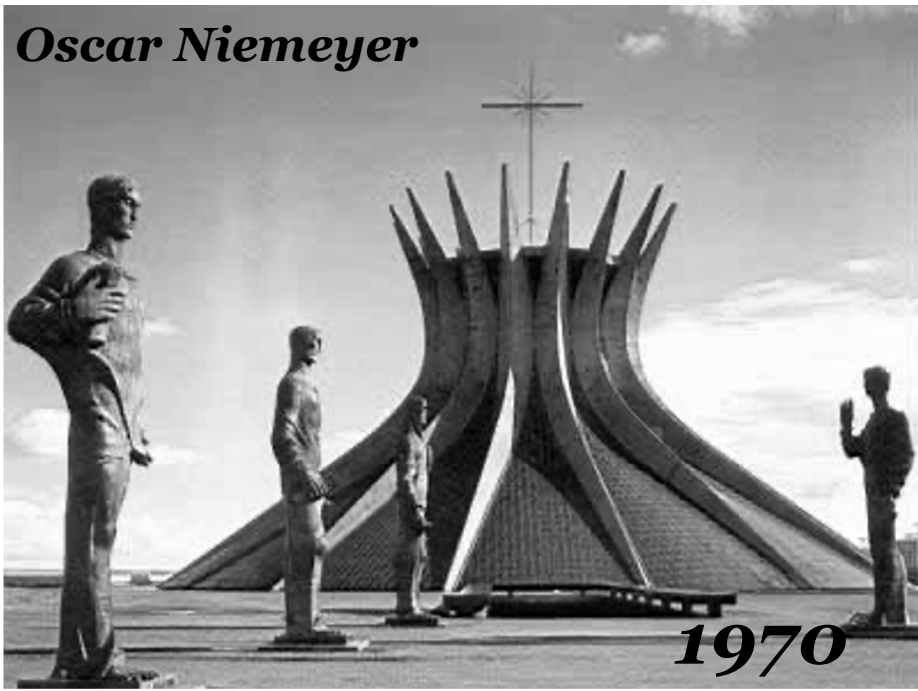
| | |
|-------------|----|
| Floor count | 70 |
|-------------|----|

Companies involved

| | |
|-----------|-----------------|
| Developer | <u>Cencosud</u> |
|-----------|-----------------|

10

Oscar Niemeyer



11

José Carlos de Figueiredo Ferraz



Lina Bo Bardi

MASP Museu de Arte São Paulo 1968

12

Importância da “arquitetura & da engenharia civil” para o desenvolvimento de uma Nação

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

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

20

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

21

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



Pirâmide escalonada de Djeser

22



23

I Grande Revolução !

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

24



Farol de Alexandria

**Arquitecto Sóstrato de Cnido
Ilha de Faros**

O primeiro farol do mundo.

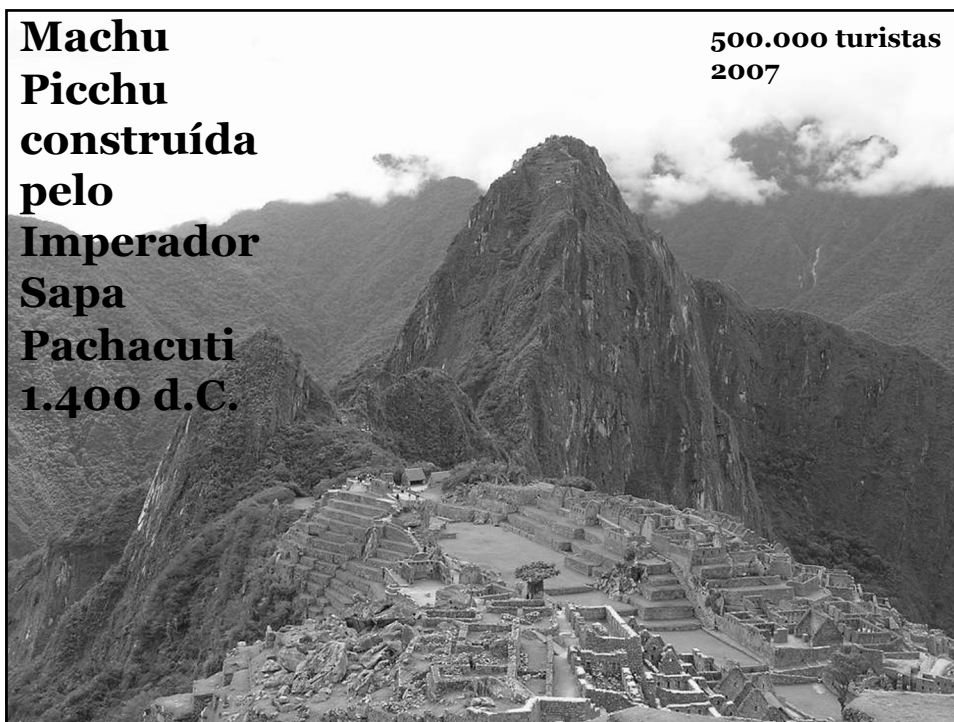
A sua luz era visível a mais de 50 km de distância.

120 m

Egito

200 A.C.

25



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

**500.000 turistas
2007**

26



27



28

Construir com Materiais Resistentes e Duráveis

29

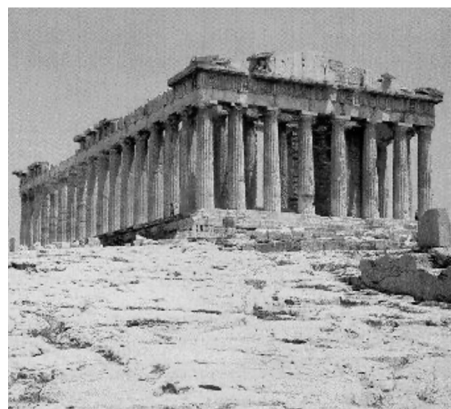
O CONCEITO DE CONSTRUIR COM DURABILIDADE EXISTE NAS OBRAS DESDE A ANTIGUIDADE

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

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



Pártenon, 440 aC
“século de Péricles”



30

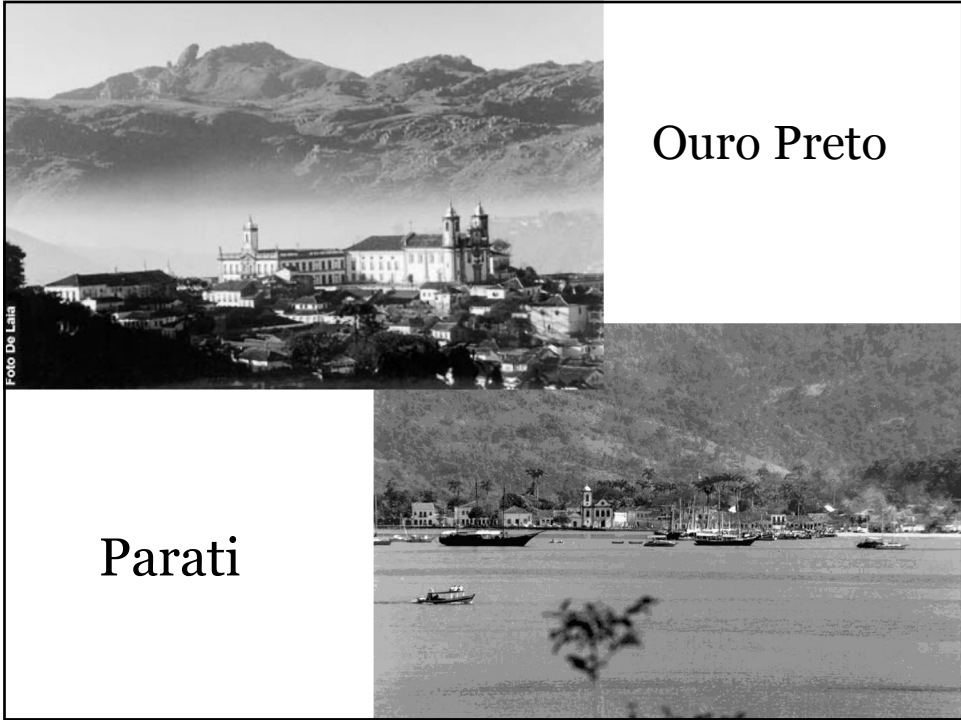
Cartagena de Indias



31



32



33



34

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

35

Panteão
de
Roma



36



37

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



38



39

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

40

Catedral de Notre Dame



1163-1330

Abóbada da nave central → 35 m de altura

41

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

42

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



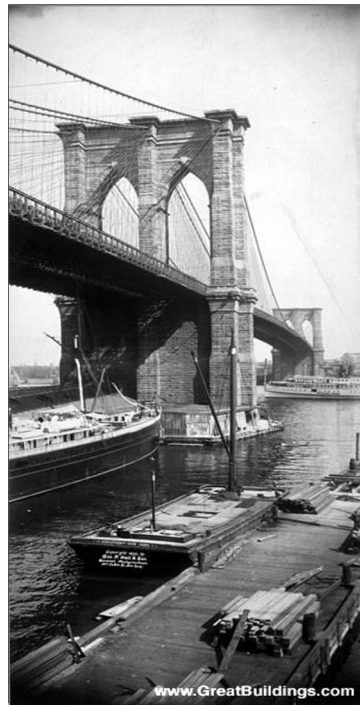
43



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

44

Fundações em rocha e alvenaria



45

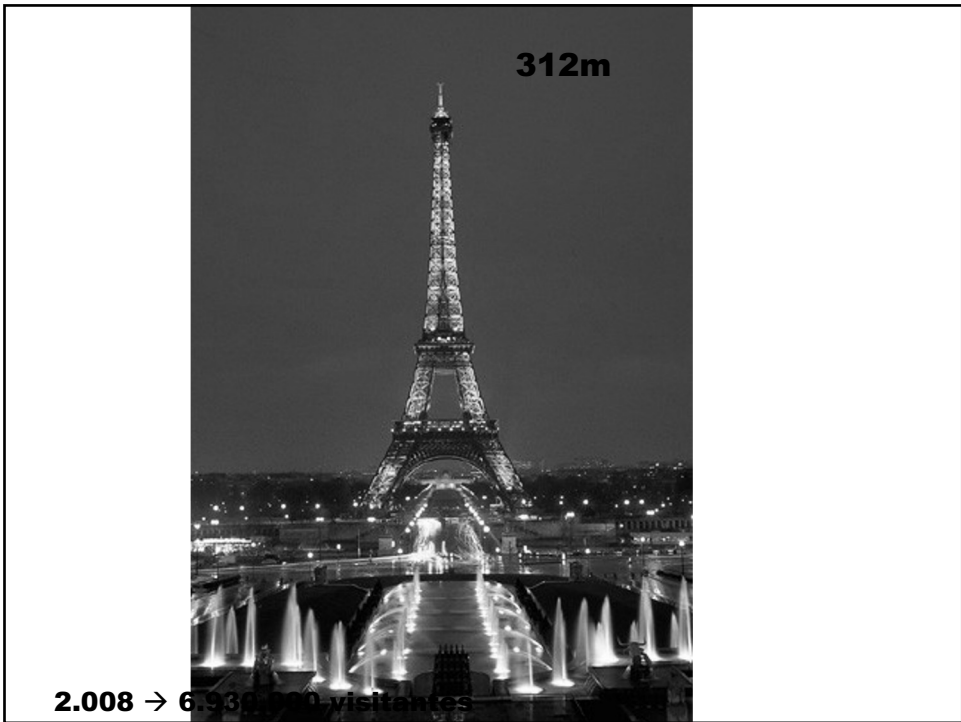
II Grande Revolução !

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.

46



47



48

Onde estão os edifícios de Escritórios e Apartamentos?

O que houve?

49



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

50

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

51



**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**

52

**SÉCULO “XX”
1892**

**APARECE UM
NOVO MATERIAL**

Concreto Armado

53

**Primeiras Normas sobre
Estruturas de Concreto**

| | |
|-------------|-------------------|
| 1903 | Suíça |
| 1903 | Alemanha |
| 1906 | França |
| 1907 | Inglaterra |

54



55



**Systeme
Hennebique**
Paris, Rue Danton1

7 andares
França 1.901
30m

$f_{ck} = ?$

109 anos !

*edificio em concreto mais
antigo do mundo*

56



Palácio Salvo
Montevideu

27 andares

Uruguai 1925

103m

$f_{ck} = ?$

85 anos !

world record

57



***Edifício
Martinelli***

1929

106m

81 anos

world record

São Paulo, Brasil

58



59



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

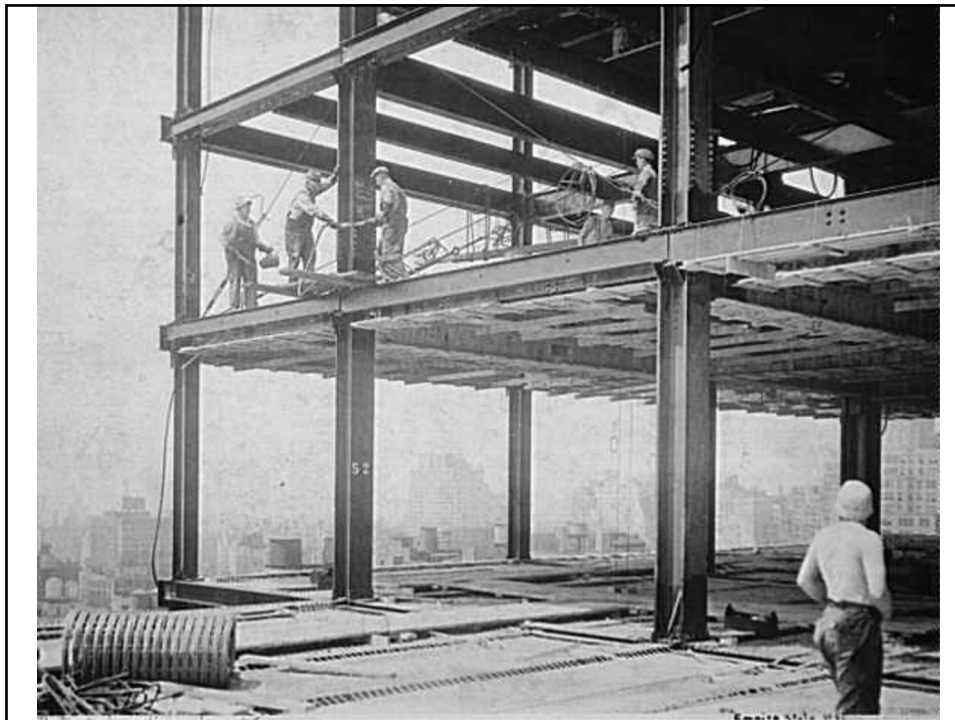
Hoje com 76 anos de idade, a estrutura dessa estátua, requereu apenas duas intervenções para manutenção realizadas nas décadas de 80 e 90, o que a caracteriza como de exemplar vida útil.

60



Empire State Building
381m , New York, 1.931

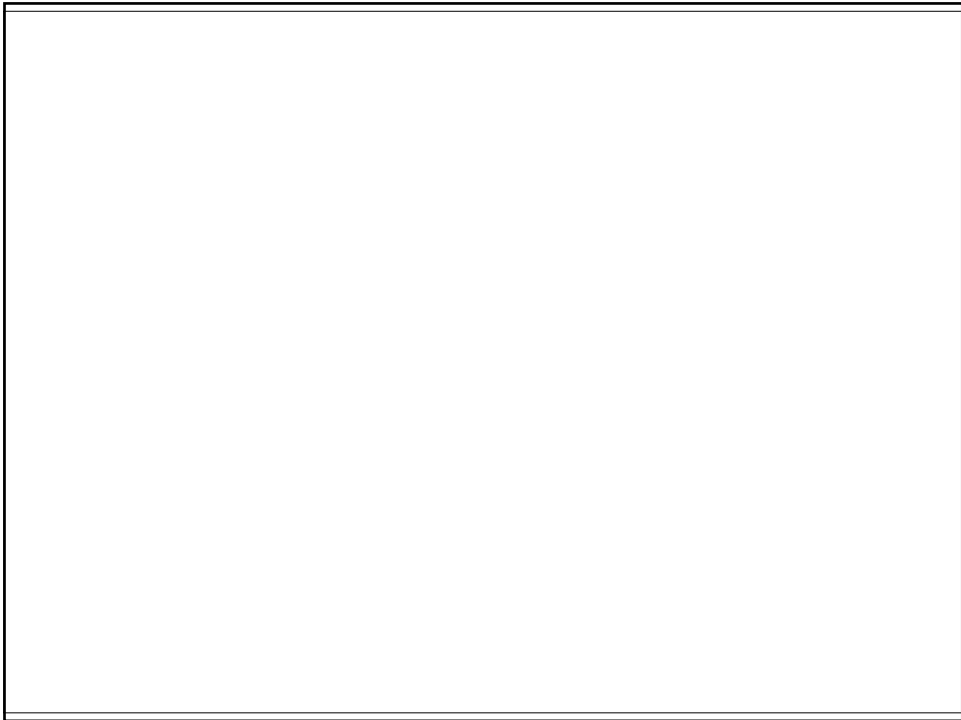
61



62



63



64



65



66

Século XX
1.928

“novo material estrutural”

Concreto
Protendido

Eugene Freyssinet

67



68



69



70

PONTE SOBRE O RIO GUAMÁ
“O COLOSSO DO PARÁ”




71



Ponte Rio Guamá
Belém ^ Pará 320m de luz *2003*

72



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

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

Vida Útil
100 anos!

73

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”

74

Melhoria arquitetônica

Concreto aparente, grandes vãos

Bruno Contarini



Oscar Niemeyer

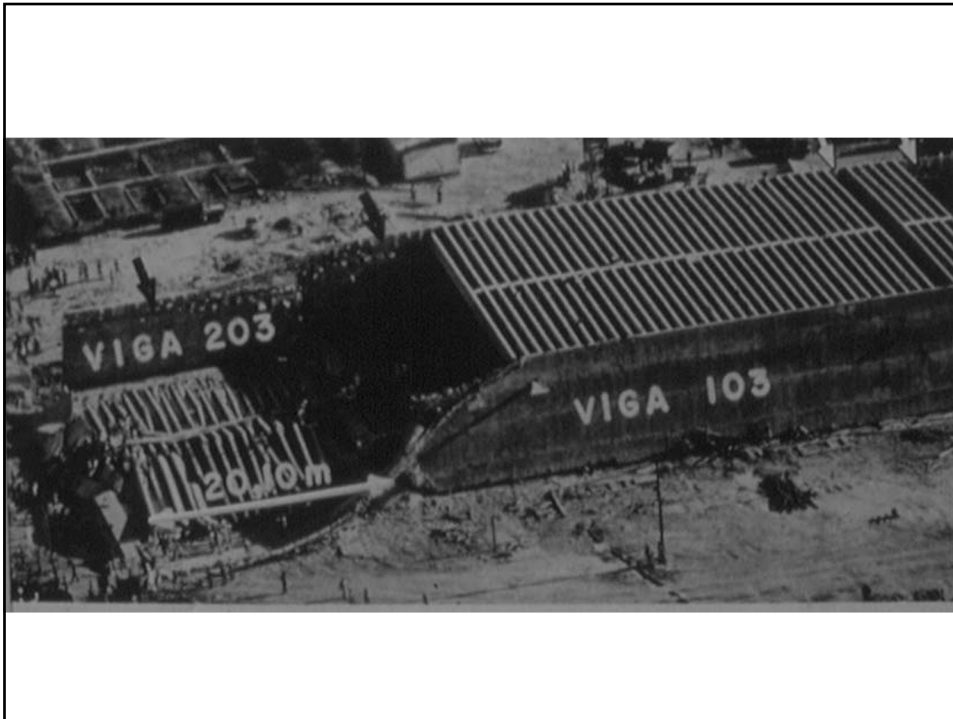
Superior Tribunal de Justiça

75

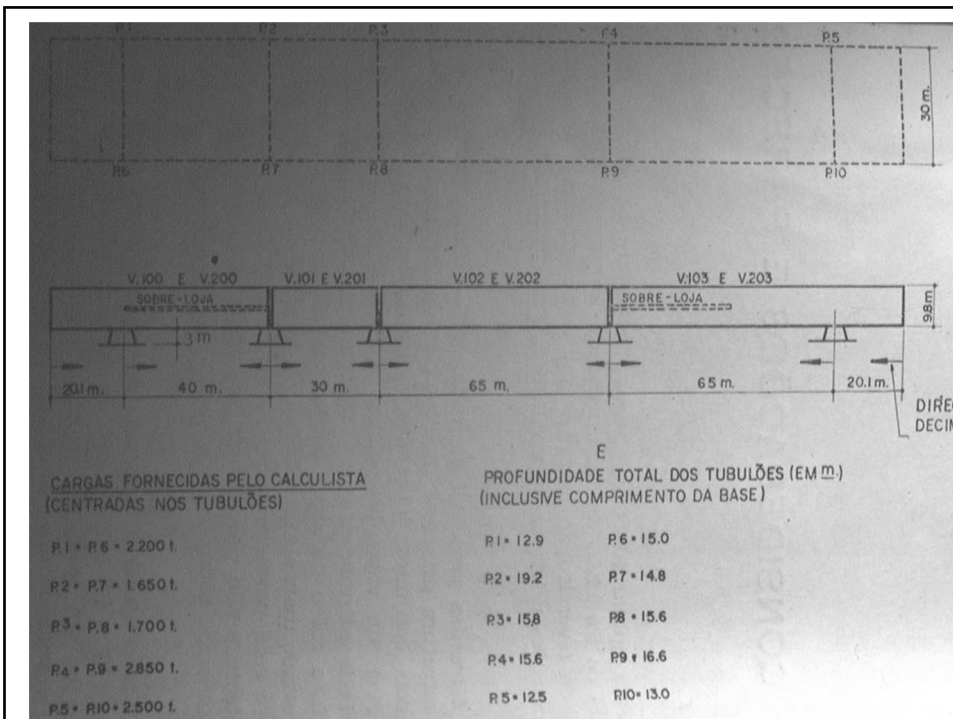


24,0m por 31m
Vigas 9,8m de altura
apoiadas em 5 pilares
Desabou na hora do almoço

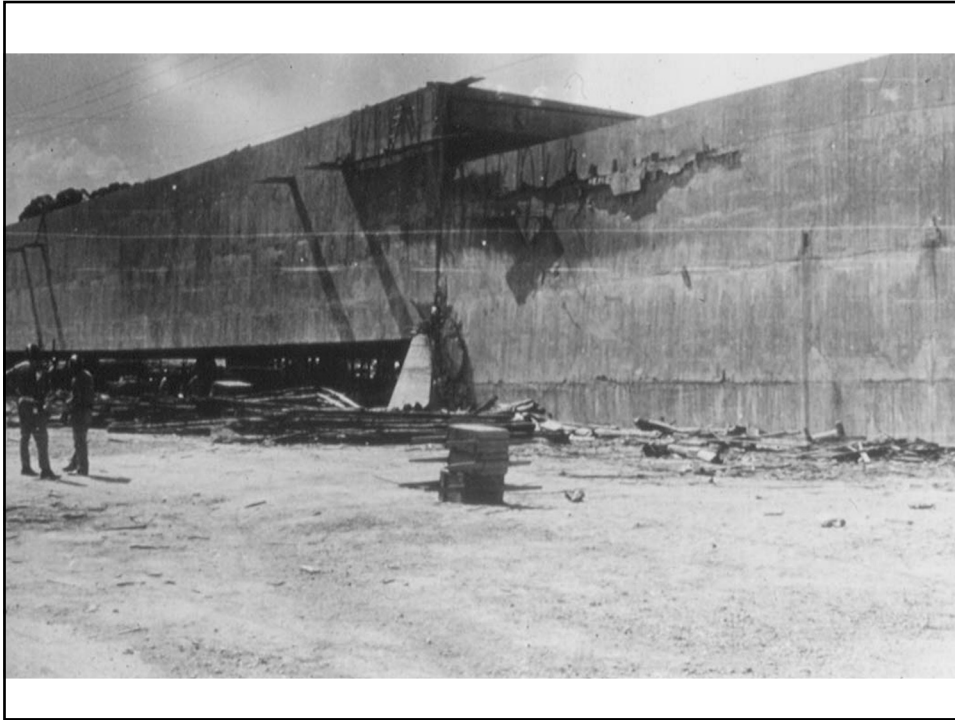
76



77



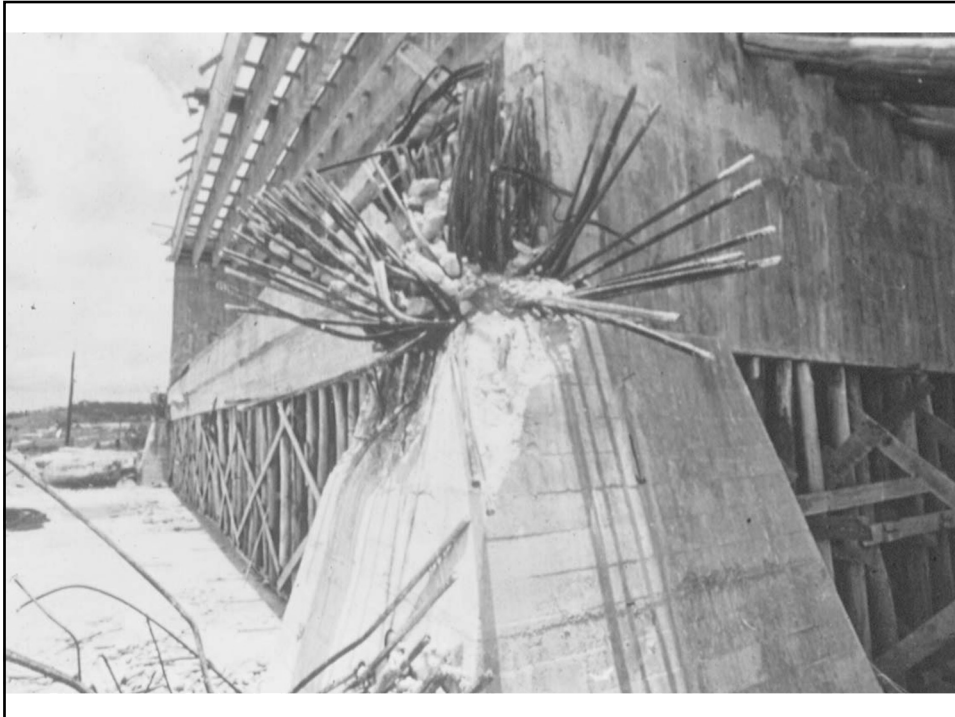
78



79



80



81

Melhoria arquitetônica

Concreto aparente, grandes vãos

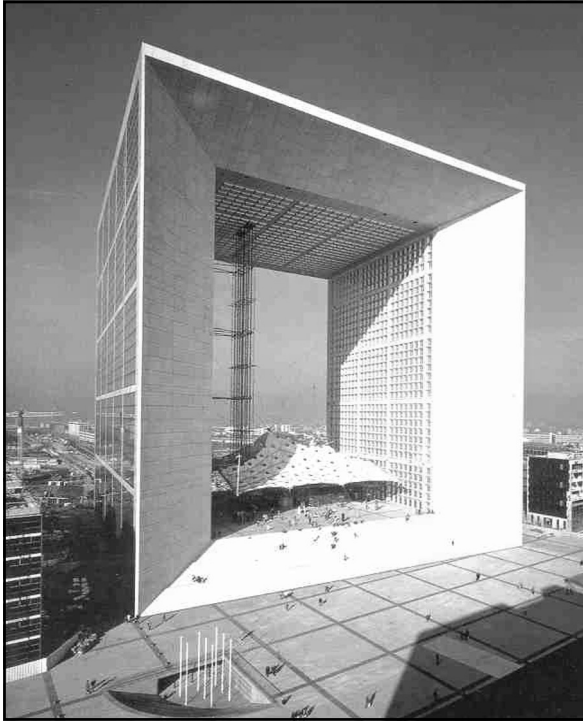
Bruno Contarini



Oscar Niemeyer

Superior Tribunal de Justiça

82



Grand Arch

La Defense

Paris

França 1990

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

**“high-tech
style”**

83



Petronas Towers

Cesar Pelli

Kuala Lumpur

Malasia 1.997

452m

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

before / after

84



TAIPEI 101

Shanghai World Financial Centre

Taiwan, China

2005

509m

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

steel / concrete

85

**Como será
o futuro?**

86

P&D em Concreto

SCIENTIFIC AMERICAN

232 documentos nos últimos 10anos

Building Better Concrete
July 25, 2009

Paulo Monteiro, UC Berkeley

87

Inovação em Concreto

SCIENCE NEWS ON LINE

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

88

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***

89

SCIENCE NEWS ON LINE

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

90

Concreto Estampado



91

Concreto estampado

➤ evolução, melhoria, inovação de processo



92

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.

93

Concreto Fotogravado



94

Concreto Fotogravado



95

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;



96

Concreto Translúcido

Arq. Aron Losonczy
(Hungaro)



97

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



98

Concreto Artístico



99

Concreto Artístico



100

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

101

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.



102

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.

103



Estação de trem, Calgary, Canadá

104

P & D em Concreto

Concreto de Alto Desempenho

SCC → Self –Compacting Concrete

HPC → High Performance Concrete

HSC → High Strength Concrete

CRC → Compact Reinforced Composite

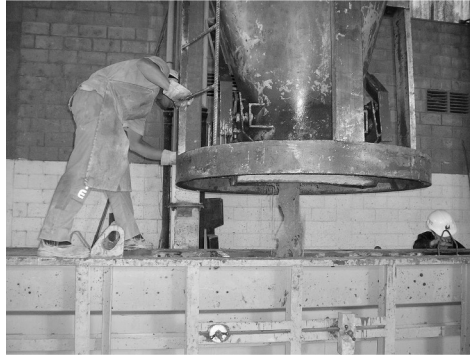
RPC → Reactive Powder Concrete

105



106

estudo comparativo



107



108

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

109



110



111



112



113

Desperdício

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



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

117

Venustas
Bonita !

118

*Oscar Niemeyer
Bruno Contarini*



Museu de Arte, Niemeyer / 1971

119

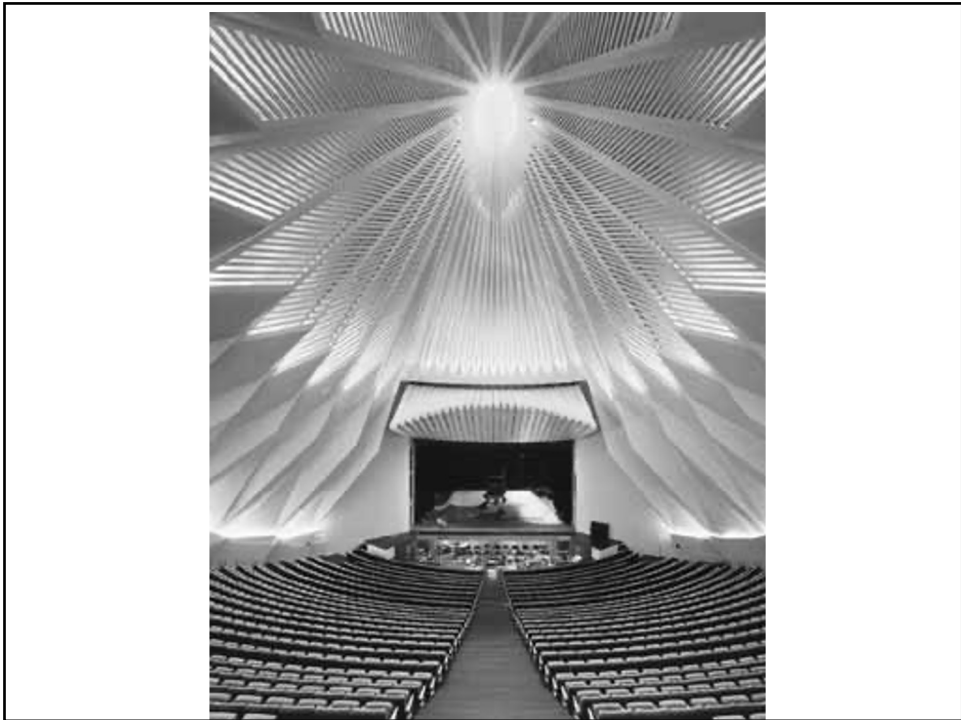
**Auditório de Tenerife
Espanha
2003
Santiago Calatrava**



120



121



122

China
World Trade Center

Pequim, China

2009

330m

74 andares



123

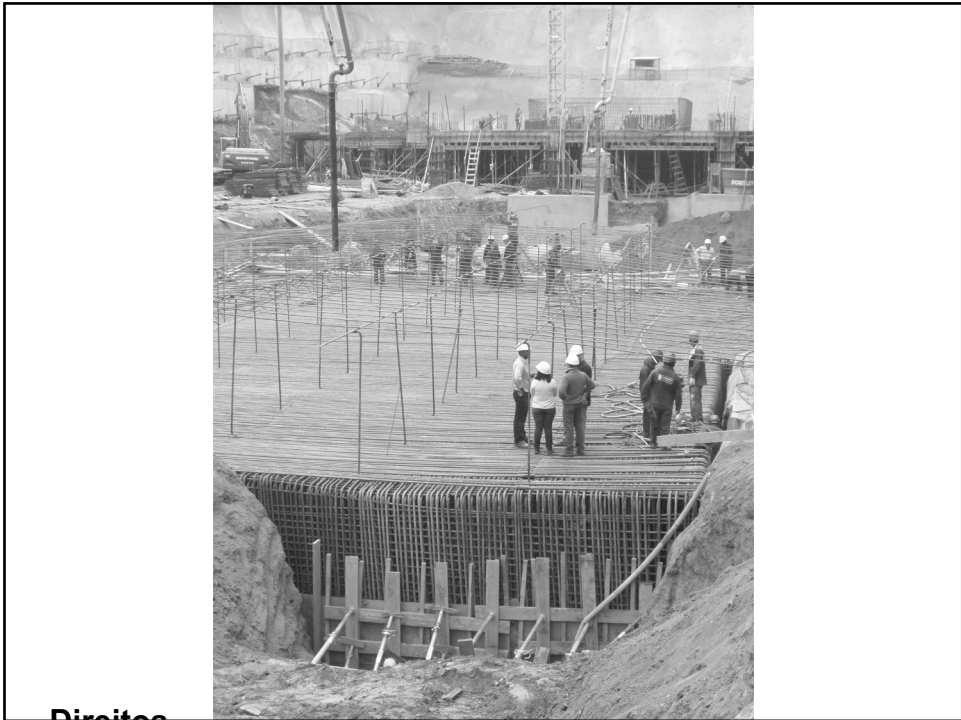


**22.800m³ de concreto com
4,5m de altura
C45 → $f_{ck} = 45\text{MPa}$
350m³/h
2,5 dias ininterruptos**

124



125



Dirites

126



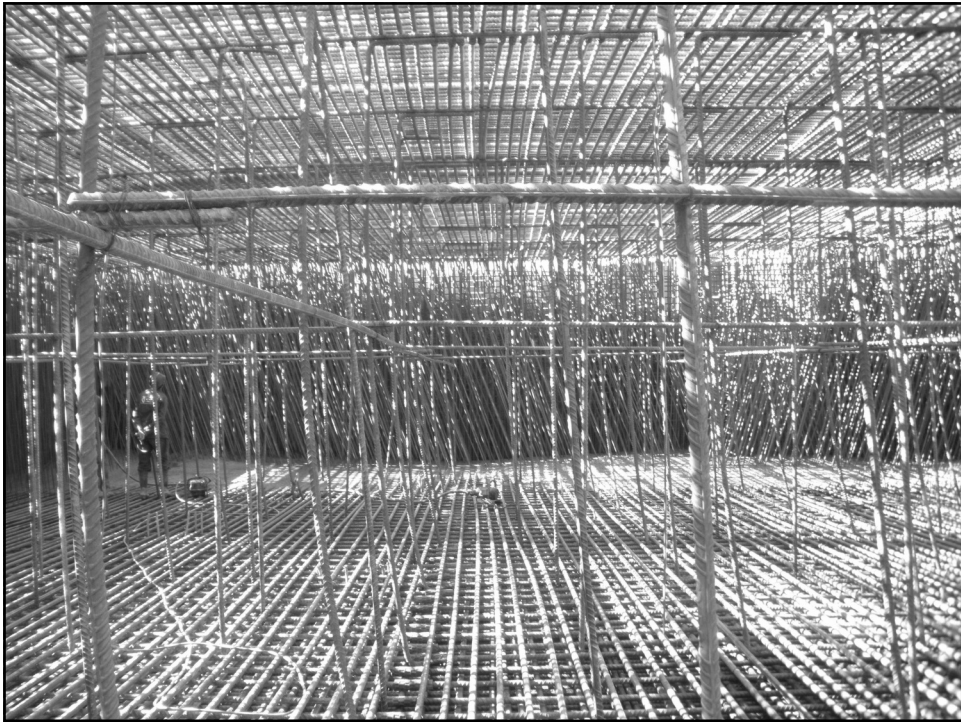
127



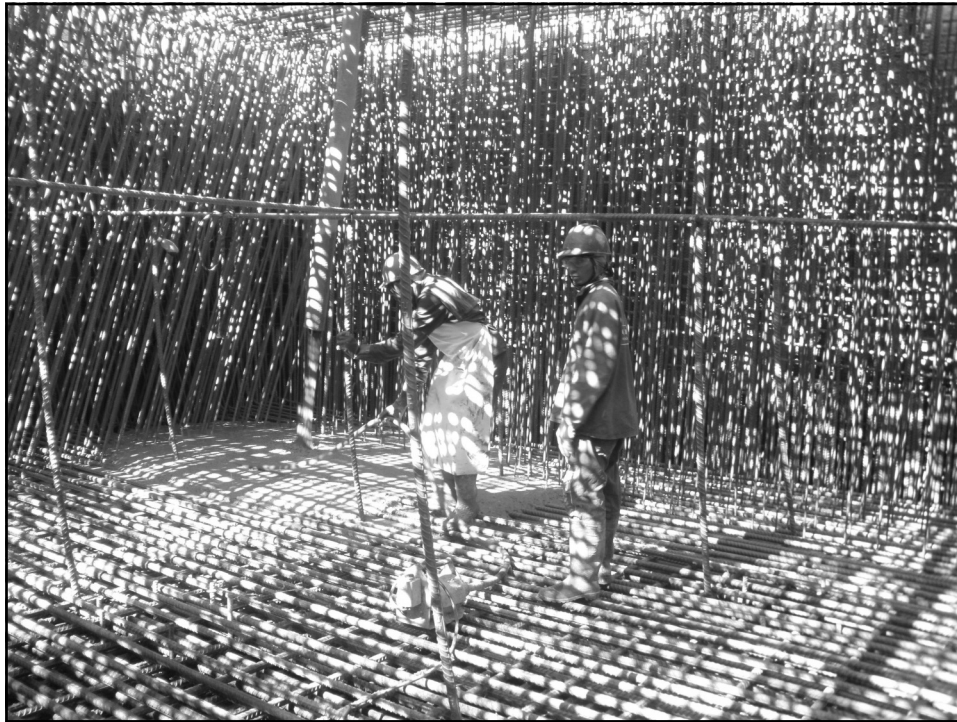
128



129



130



131

Firmitas
estável e durável

132



**Centro
Empresarial
Nações
Unidas**

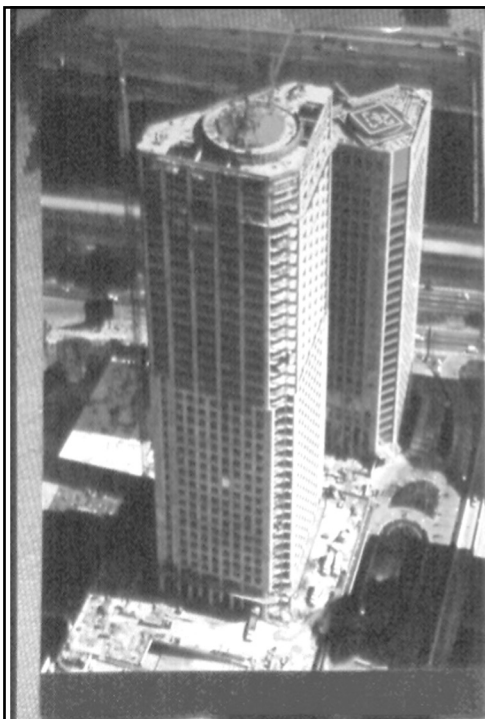
Torre Norte

**São Paulo
1997**

Altura 179 m

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

133



**250 anos
de garantia.**

Quando precisa de segurança, tecnologia e compromisso com o meio ambiente, chama a Mindo Engenharia. Porque, aqui, a inovação e a tecnologia se unem para criar soluções que garantem a segurança e a durabilidade das estruturas. O resultado é que, hoje, a Torre Norte é considerada uma das estruturas mais seguras do mundo. Isso graças ao uso do concreto Engemix, que oferece a máxima resistência e durabilidade. O concreto Engemix é produzido com os melhores materiais e processos, garantindo a máxima qualidade e segurança. Além disso, o concreto Engemix é produzido com uma tecnologia avançada que permite a produção de concreto com alta resistência e durabilidade. Isso garante a máxima segurança e durabilidade das estruturas. O resultado é que, hoje, a Torre Norte é considerada uma das estruturas mais seguras do mundo. Isso graças ao uso do concreto Engemix, que oferece a máxima resistência e durabilidade.



**CONCRETO
ENGEMIX**



134

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

135

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

136

Sustentabilidade



137

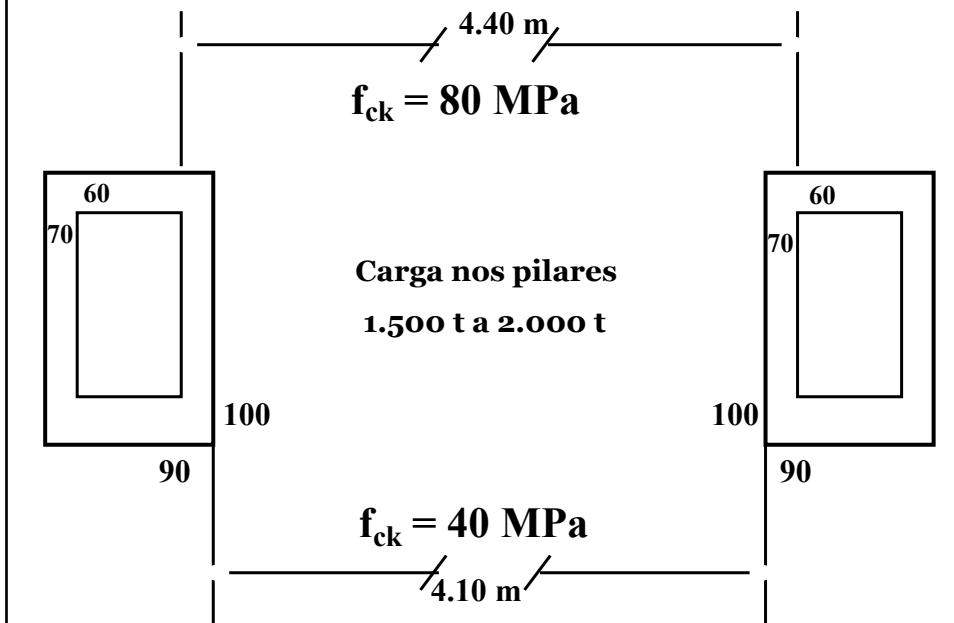
TECNUM
CONSTRUTORA

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



138

Projeto estrutural (*e-Tower*)



139



140



141



142

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

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

143

Economia de recursos naturais

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

144

Considerações Finais

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

145

Considerações Finais

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

146

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

147

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

148

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

149

Desse total de 57

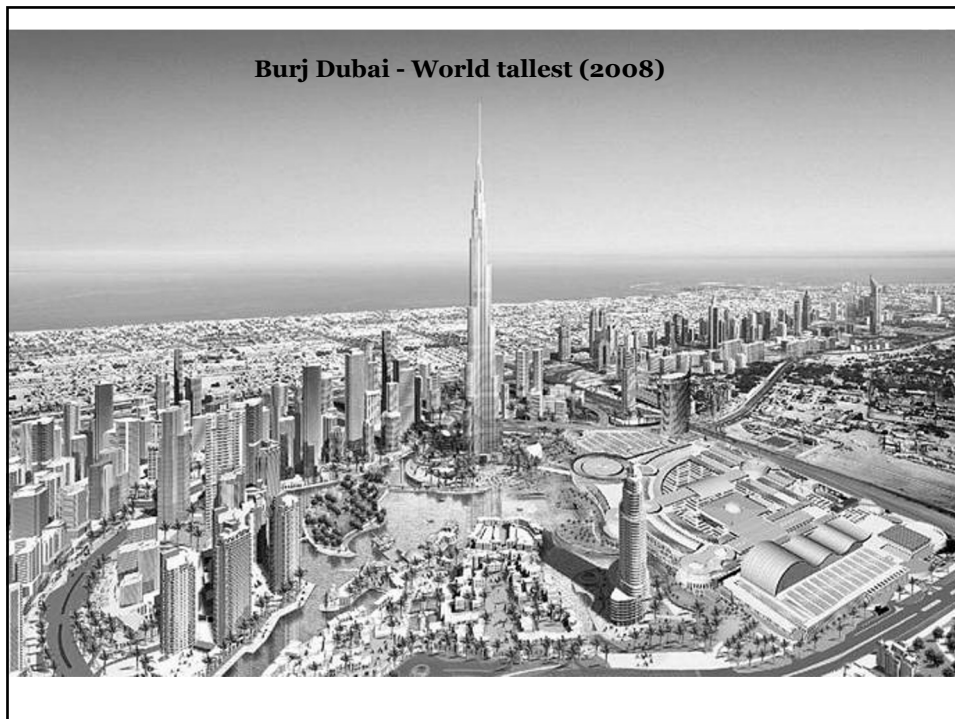
“arranha-céus”:

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

150

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

151



152

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

153

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

154

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 seus ideais em majestosas e duráveis obras que elevam a auto-estima de seu povo.

155



O estudo dos problemas patológicos , a pesquisa de como corrigir-los e principalmente como bem construir, com ética e qualidade, é uma das maiores oportunidades atuais de resgatar essa importância e vocação da arquitetura e engenharia civil brasileiras.

156



157



158