



# **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*

Teresina

04 de fevereiro de 2011

NovaFapi

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



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”

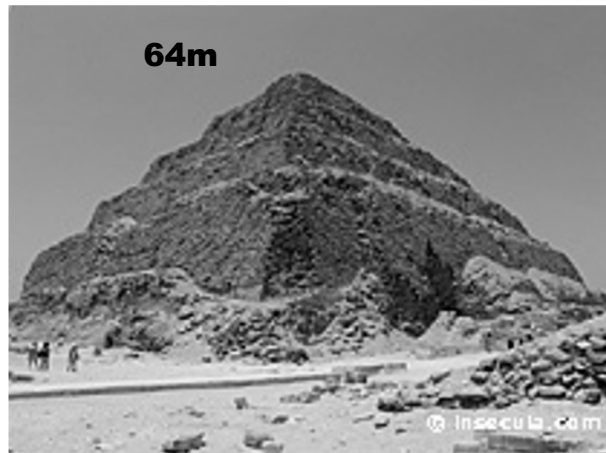
50 Congressos → > 3.000 artigos → práticas recomendadas → livros

13

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

14

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



**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!**

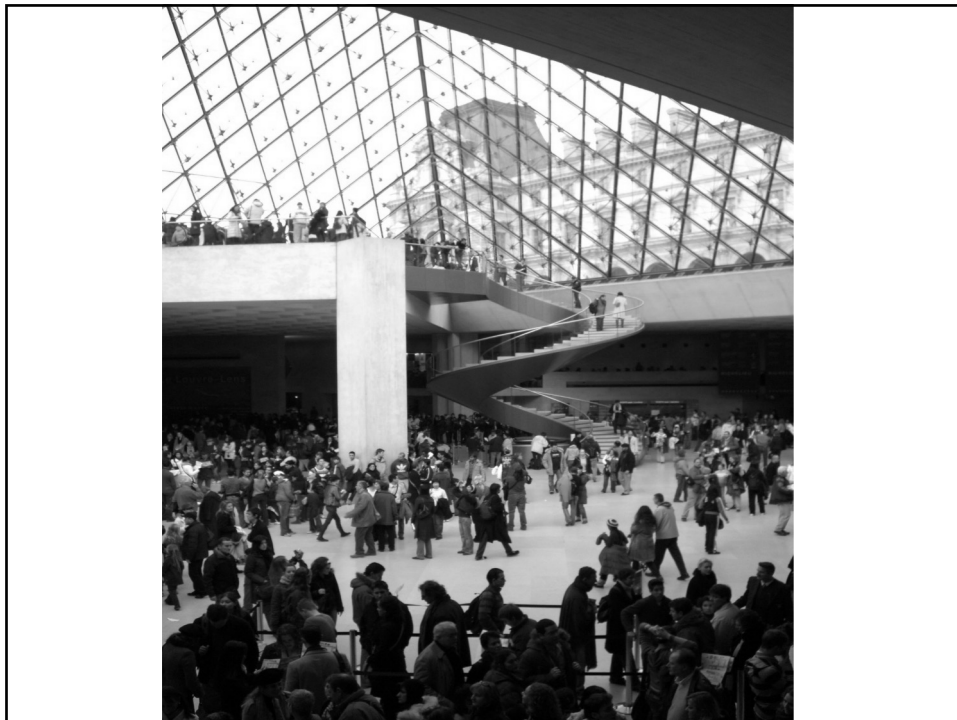
1. Madeira / bambú;
2. Barro / argila (+ fibra);
3. Cerâmica;
4. Rocha

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





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

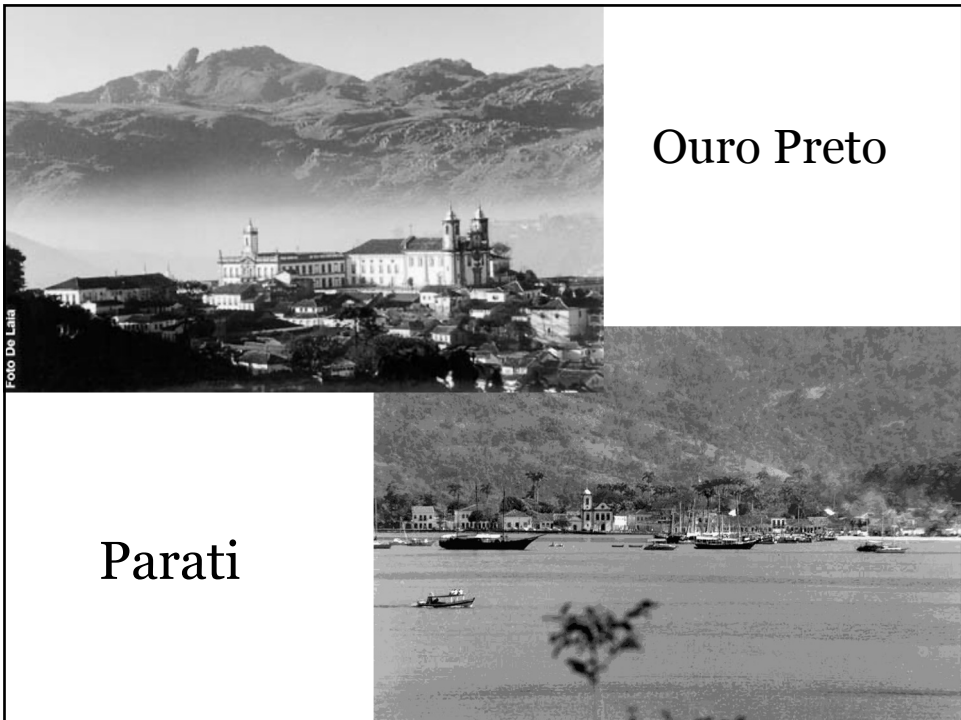
## Cartagena de Indias



30



31



Ouro Preto

Parati

32

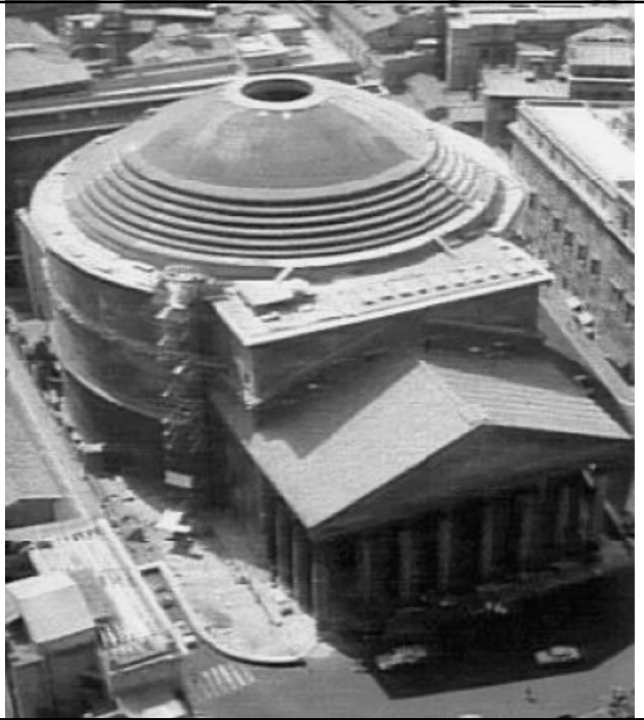


33

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

34

Panteão  
de  
Roma



35

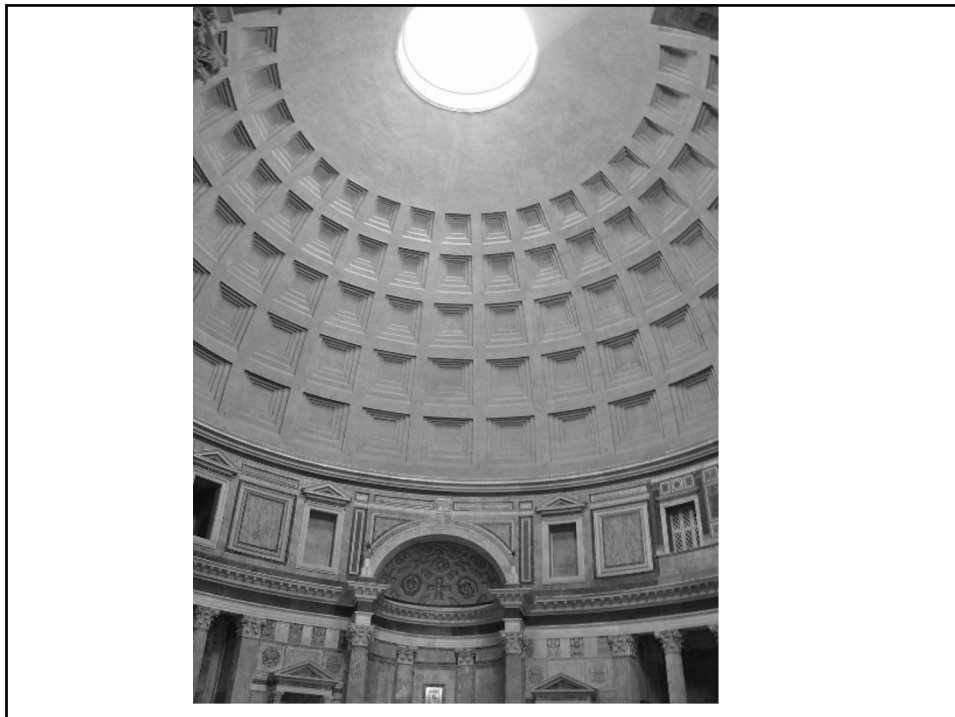


36

**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, Coloña

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*



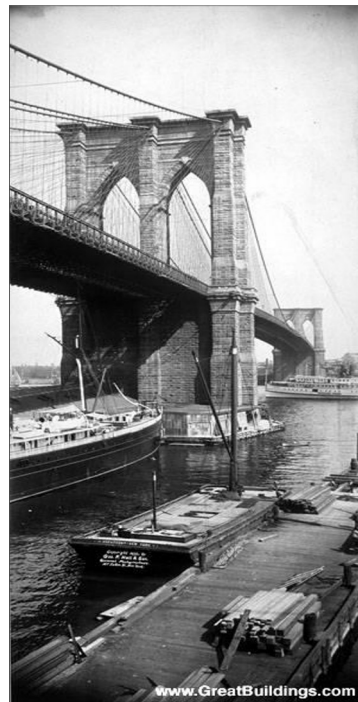
42



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

43

# Fundações em rocha e alvenaria



44

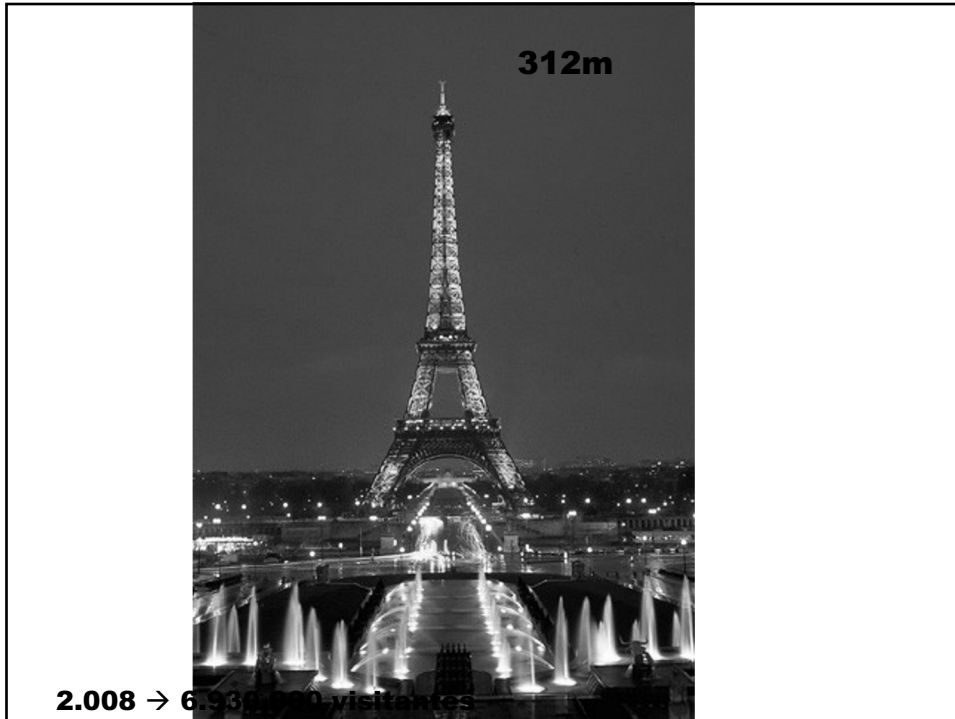
## **II Grande Revolução !**

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

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



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**

<b>1903</b>	<b>Suíça</b>
<b>1903</b>	<b>Alemanha</b>
<b>1906</b>	<b>França</b>
<b>1907</b>	<b>Inglaterra</b>

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**

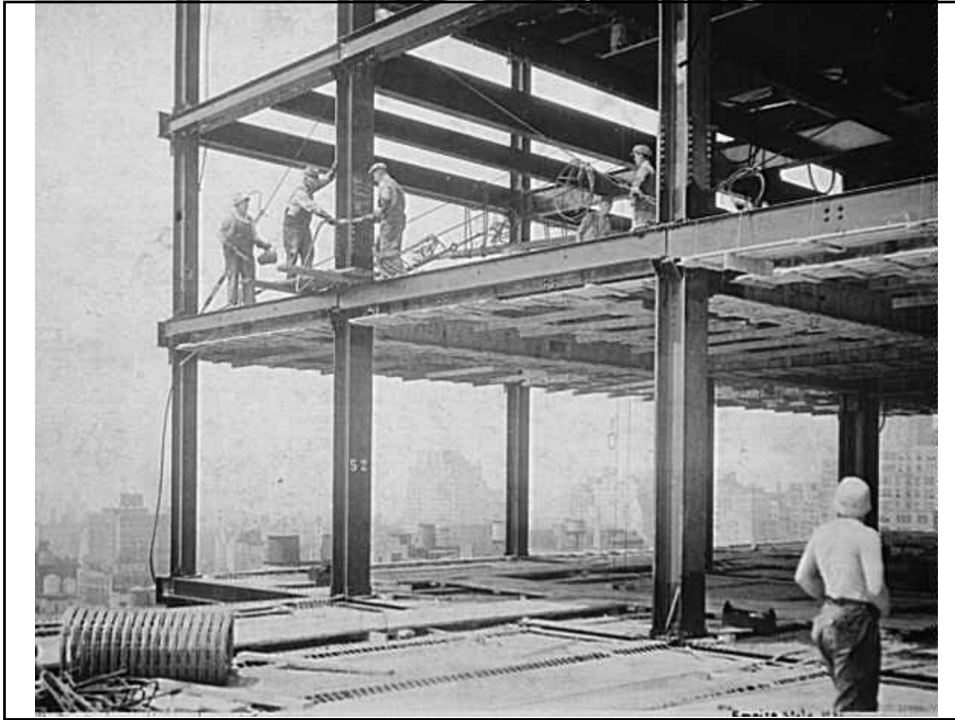
**Hoje com 76 anos de idade, a estrutura dessa estátua, requereu apenas duas intervenções para manutenção realizadas nas décadas de 80 e 90, o que a caracteriza como de exemplar vida útil.**

63

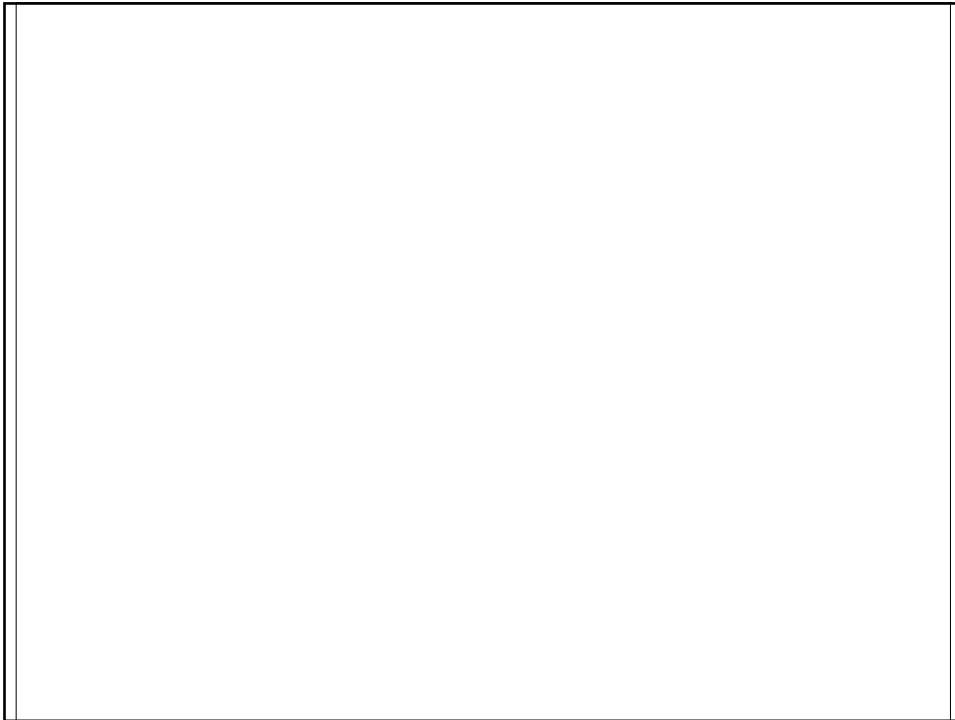


**Empire State Building  
381m , New York, 1.931**

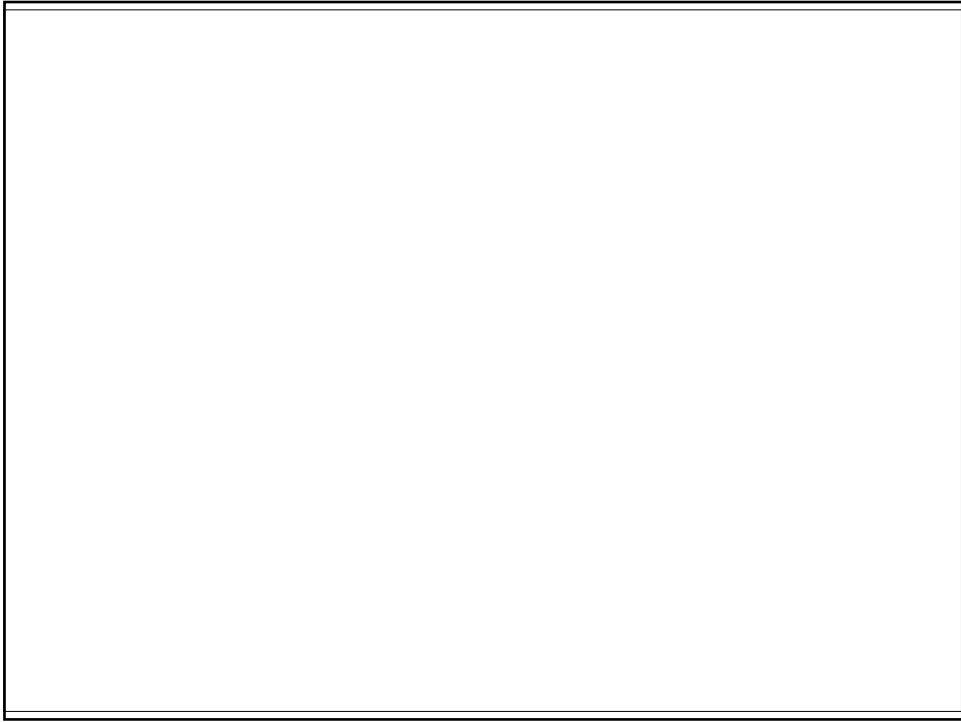
64



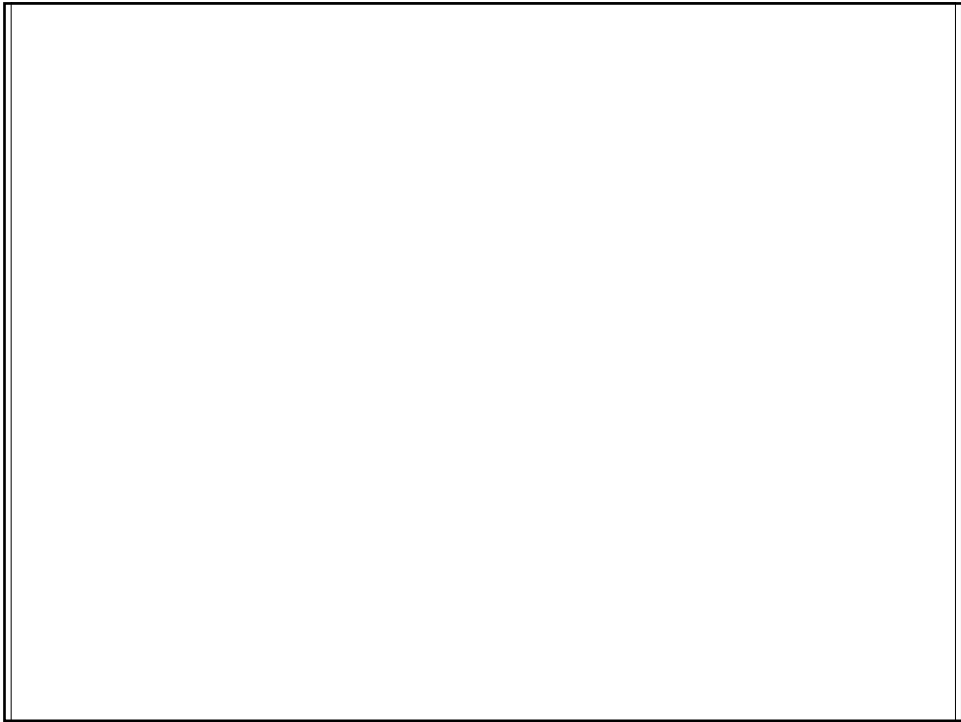
65



66



67



68



69

**Século XX**  
**1.928**

**“novo material estrutural”**

***Concreto***  
***Protendido***

Eugene Freyssinet

70



71

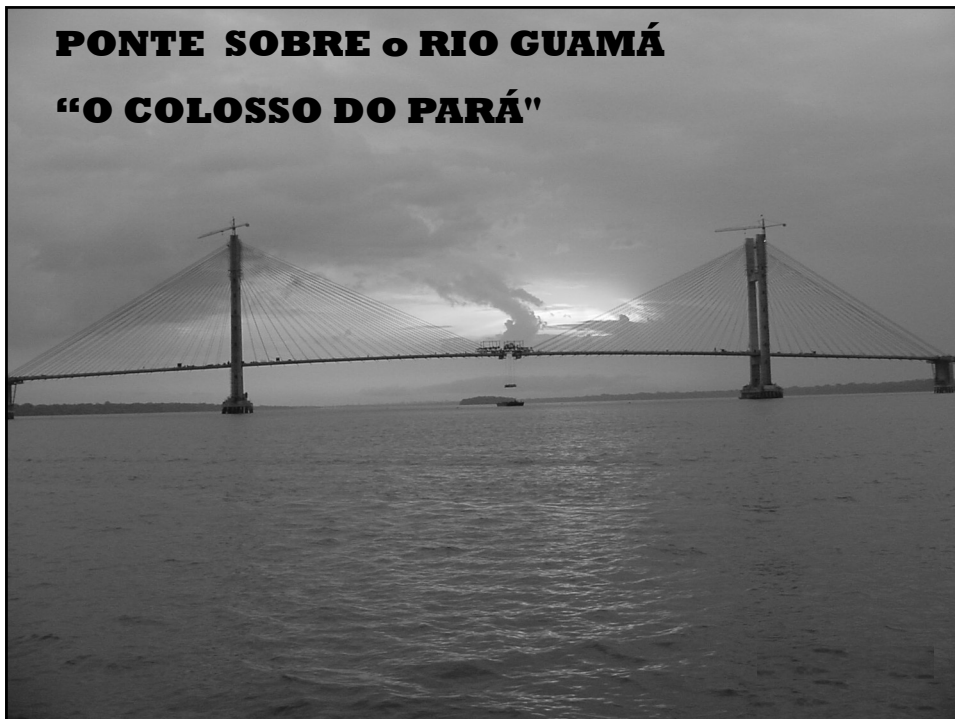


72





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

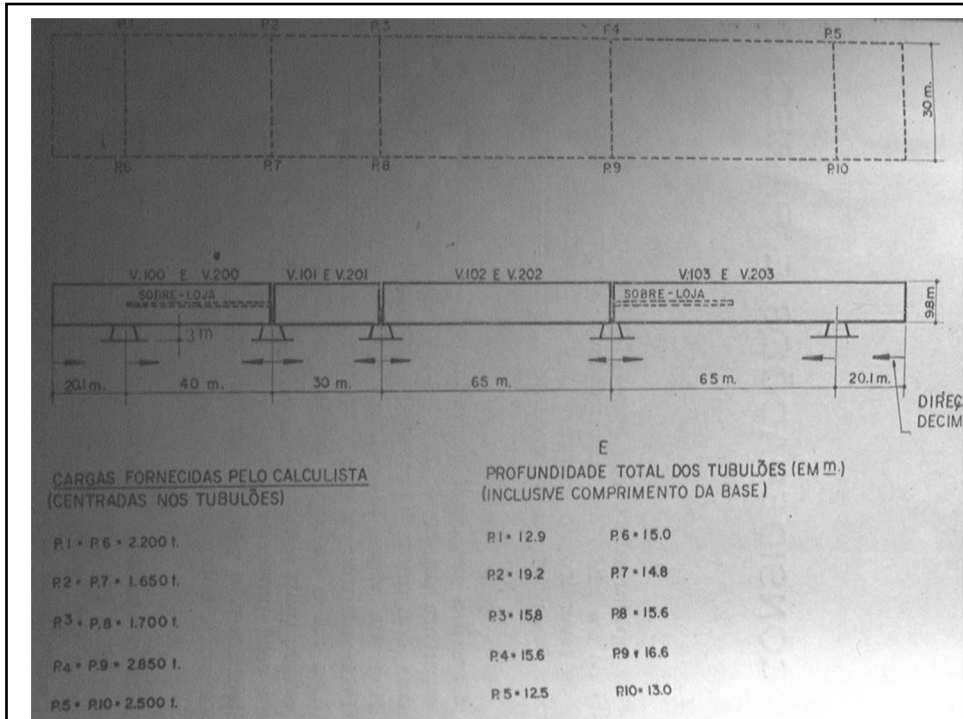


240m por 31m  
Vigas 9,8m de altura  
apoiadas em 5 pilares  
Desabou na hora do almoço

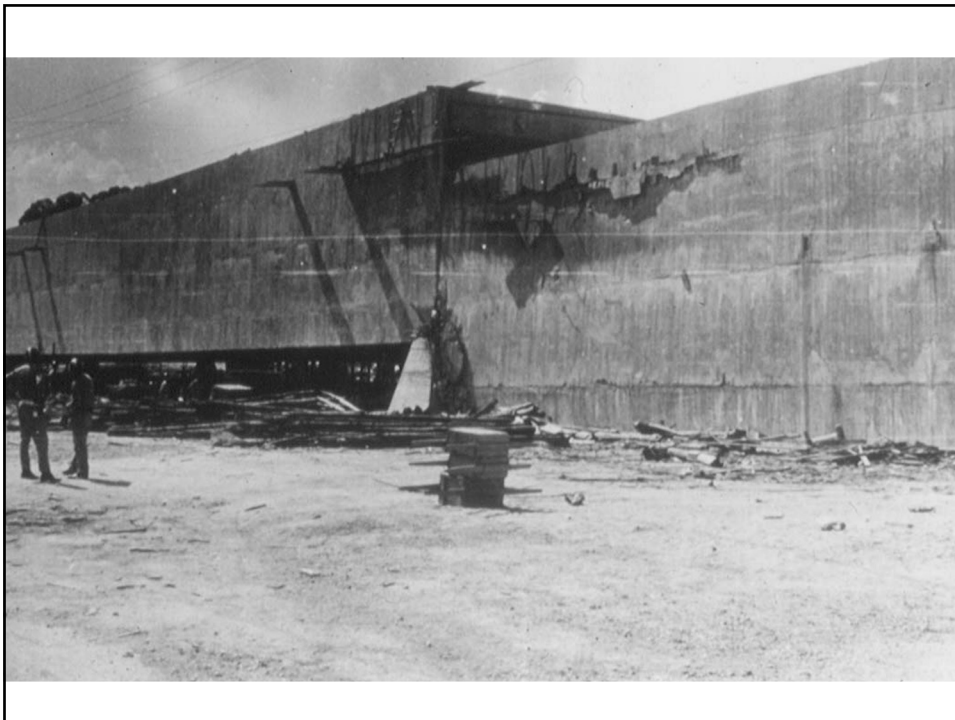
79



80



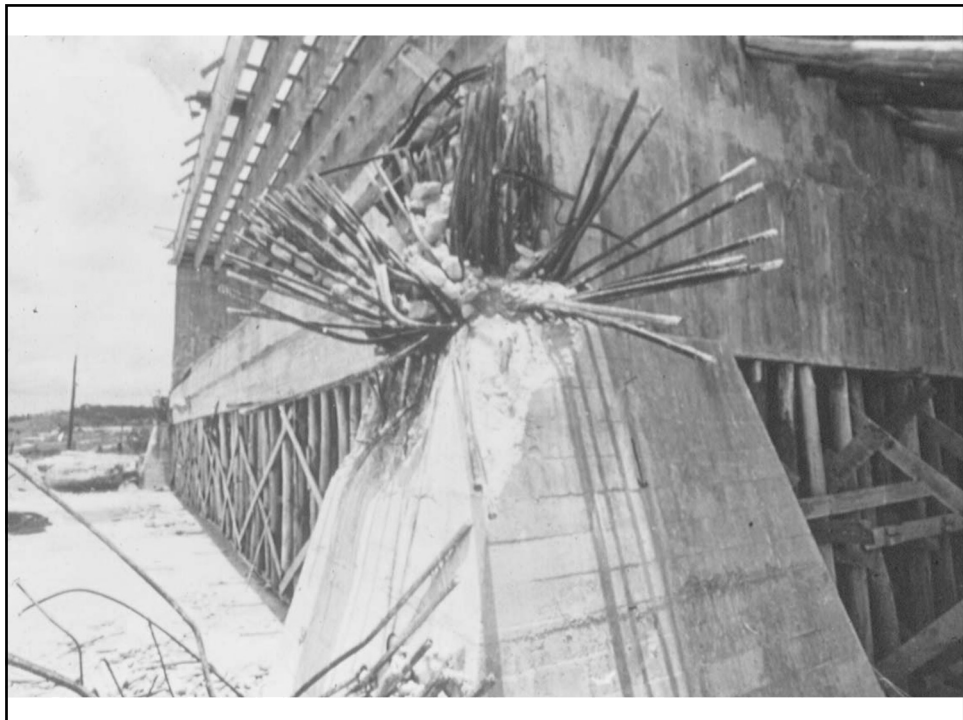
81



82



83



84

# Melhoria arquitetônica

Concreto aparente, grandes vãos

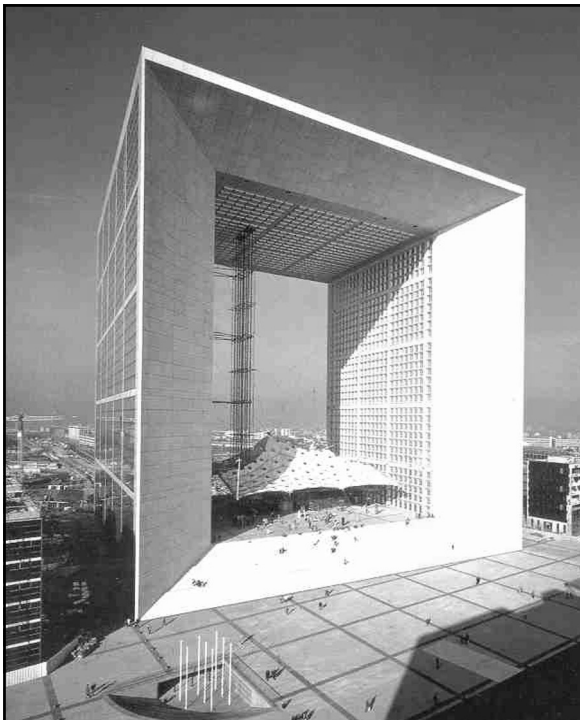
*Bruno Contarini*



*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**

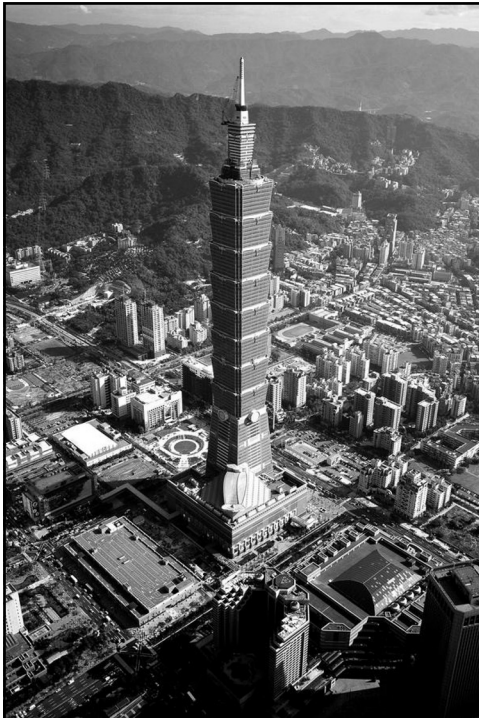
**Malasia 1.997**

**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***

- **TiO<sub>2</sub> 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**
- **TiO<sub>2</sub> Titânio Self-Cleaning Concrete**
- **Partículas Fotocatalíticas *absorver energia solar***

93

## Concreto Estampado



94

## **Concreto estampado**

- **evolução, melhoria, inovação de processo**



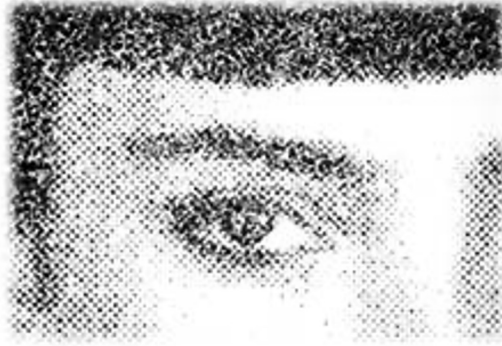
95

## **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

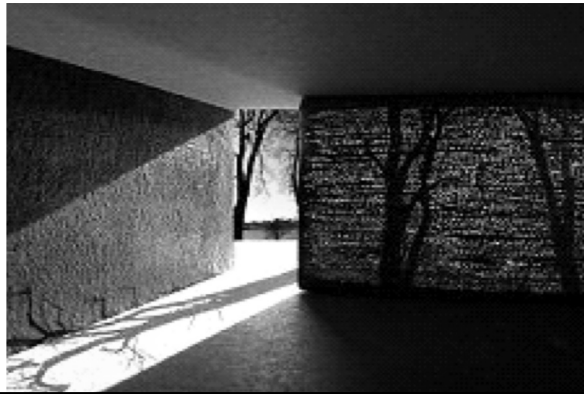
Arq. Aron Losonczi  
(Hungaro)



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 Artístico



102

## Concreto Artístico



103

## 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

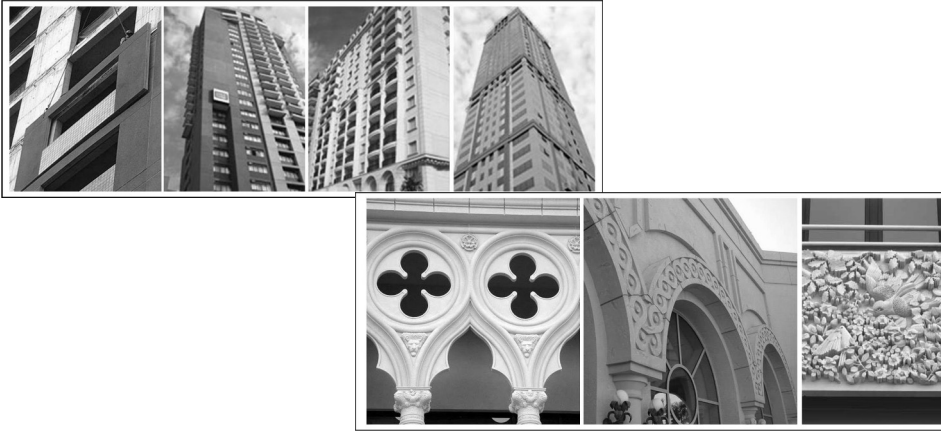
104



## **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**

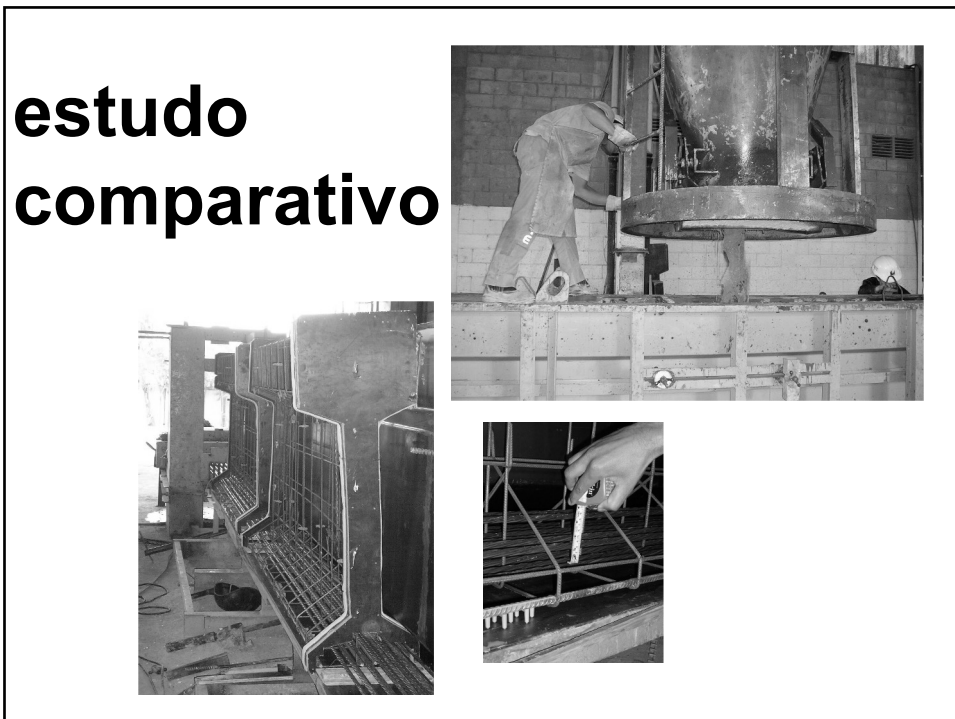
**CRC → Compact Reinforced Composite**

**RPC → Reactive Powder Concrete**

108



109



110



111

## **10 x** produtividade

**CC: moldagem: 4,4min;**

**acabamento: 3,3min;**

**n° de operários empregado: 5 no total; incluindo  
vibração (1), caçamba (2), acabamento (1) e  
ponteiro (1).**

**0,870 homens-hora / m<sup>3</sup> de concreto**

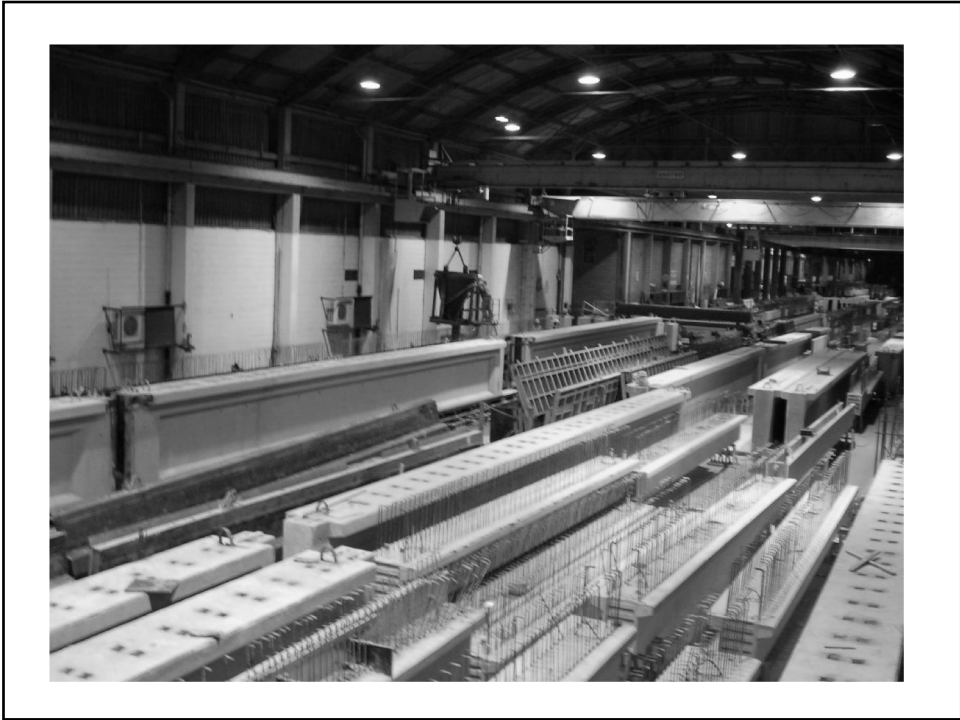
**CAA: moldagem: 1,2min**

**acabamento: não precisou**

**n° de operários empregado: três (3); com caçamba  
(2) e ponteiro (1).**

**0,081 h.h/ m<sup>3</sup> de concreto**

112



113



114



115



116

## Desperdício

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



117



118



119

## **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

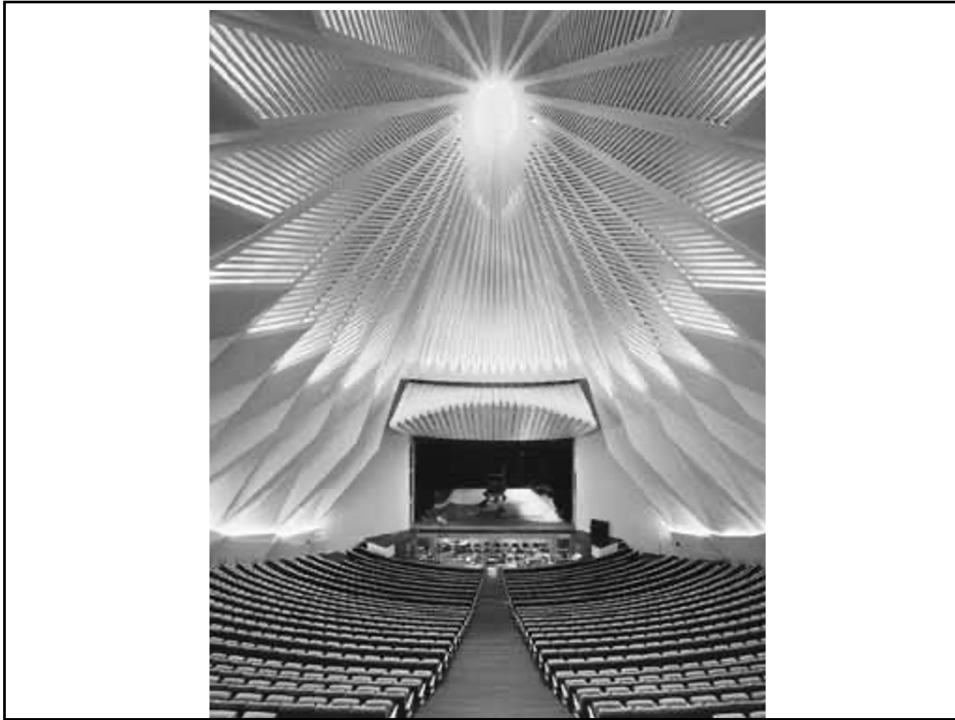
**Auditório de Tenerife**  
**Espanha**  
**2003**  
**Santiago Calatrava**



123



124



125

**China  
World Trade Center**

**Pequim, China**

**2009**

**330m**

**74 andares**



126



127



128



129



130

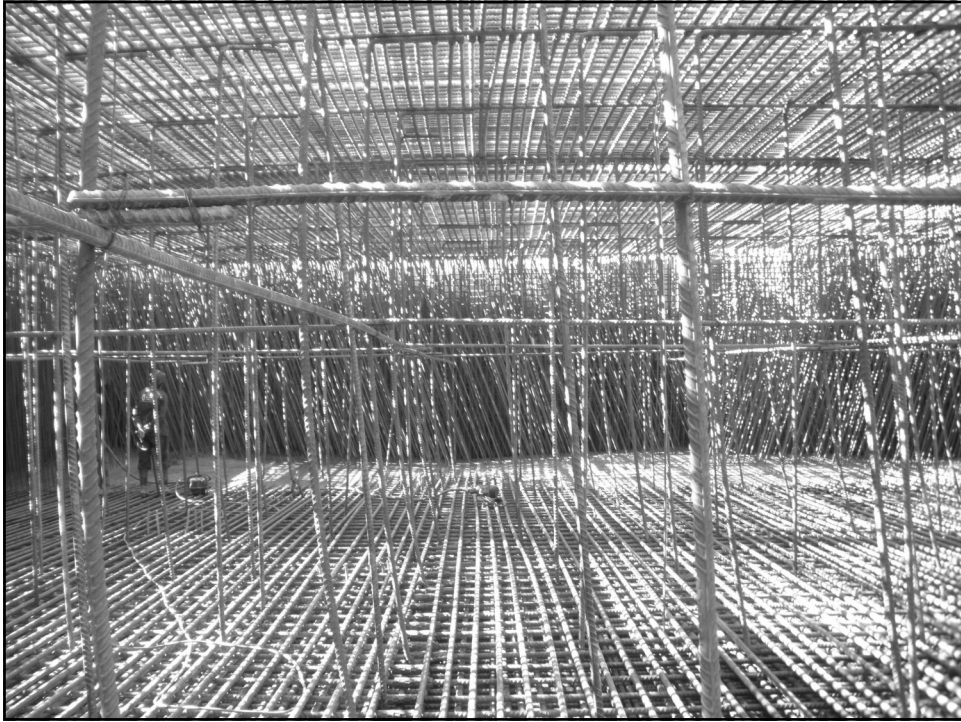


131



132





133



134

# *Firmitas*

*estável e durável*

135



**Centro  
Empresarial  
Nações  
Unidas**

**Torre Norte**

**São Paulo  
1997**

**Altura 179 m**

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

136



**250 anos de garantia.**

Quando precisava de segurança, tecnologia e desempenho, precisava do Engemix. Com a inovação Engemix, precisava, quando precisava de tecnologia e inovação, precisava do Engemix. Com a inovação Engemix, precisava, quando precisava de tecnologia e inovação, precisava do Engemix. Com a inovação Engemix, precisava, quando precisava de tecnologia e inovação, precisava do Engemix.

Um marco de 4 horas, superdimensionado, com 40% de concreto, 30% de aço, 30% de concreto de alto desempenho, equivalente a 100 toneladas.

O resultado é que, hoje, o Círculo Engemix, Nacional e Global, é uma referência para a tecnologia de concreto de alto desempenho.

Quando precisava de solução segura em concreto, precisava do Engemix. Com a inovação Engemix, precisava, quando precisava de tecnologia e inovação, precisava do Engemix. Com a inovação Engemix, precisava, quando precisava de tecnologia e inovação, precisava do Engemix.

**CONCRETO ENGEMIX**

137

## 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

138

## Arte e Ciência da Construção

**Marcus Vitruvius Pollio** (*Engenheiro / Arquiteto Romano*)

40 anos aC → "De Architectura"

10 princípios para a construção de edifícios  
1. Utilizar materiais de qualidade  
2. Construir sobre fundações sólidas  
3. Distribuir o peso corretamente  
4. Proteger contra o fogo  
5. Proteger contra o vento  
6. Proteger contra a umidade  
7. Proteger contra o frio  
8. Proteger contra o calor  
9. Proteger contra o ruído  
10. Proteger contra a poluição  
(bonita)

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

139



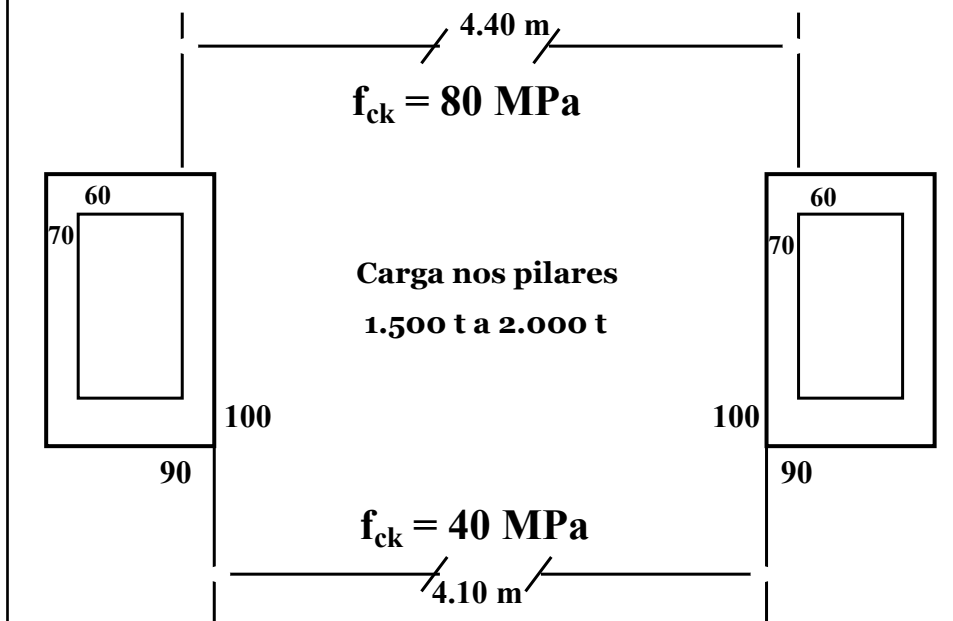
140

- ▼ 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*

148

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

149

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

150

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

151

Desse total de 57  
“arranha-céus”:

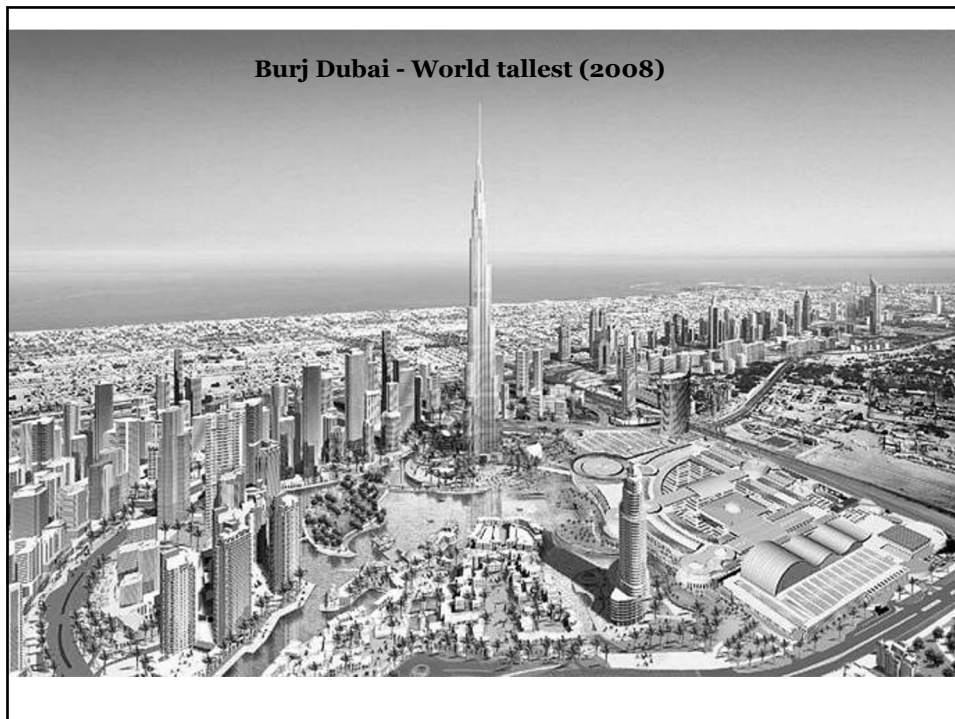
- 37 são em concreto
- 19 são mistos concreto / aço
- apenas 1 é metálico

152



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

153



154

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

155

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

156

**Não basta ser da NOVAFAPI**



157

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



158



159