



Sobre a Arte de Projetar e Construir Estruturas *passado, presente e futuro*

Paulo Helene

Prof. Titular da Universidade de São Paulo

Vice-Presidente do IBRACON

Diretor da PhD Engenharia e Consultoria

Membro do Model Code For Service Life

SindusCon  **SP**
o Sindicato da Construção

 **FUNDAÇÃO
GETÚLIO VARGAS**
FGV PROJETOS

1

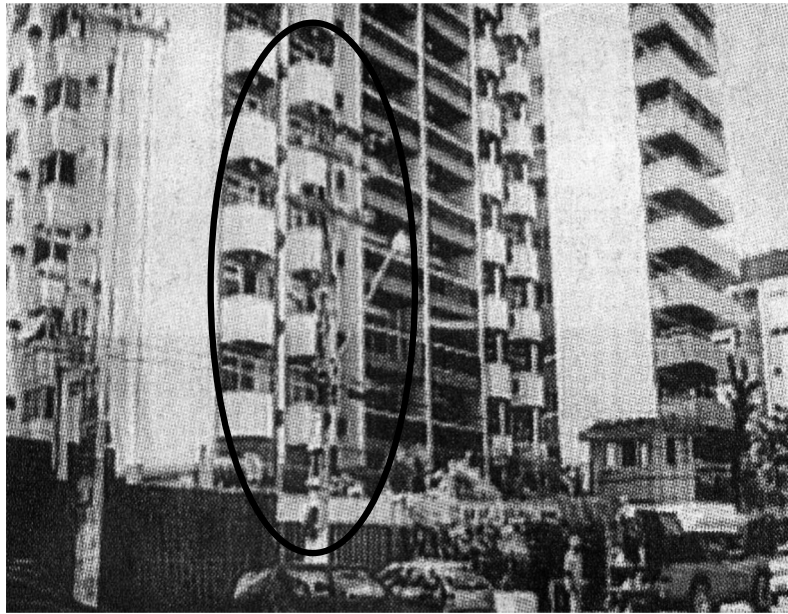


**Edifício
Palace II
Rio de Janeiro
1996
25 andares**

2

Edifício Areia Branca

Recife, 2004



3



4



Edifício de luxo

15 andares

Maringá PR

2008

5



6



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

7



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

8

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.

Béton 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.

9

Pesquisas em Concreto



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

10

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

11

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

12

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.

13

ACBM

Center for Advanced Cement-Based Materials



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

14

Pesquisas em Concreto



No Brasil, BR

2000, Ministério da Ciência e Tecnologia, MCT
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico, CNPQ, PADCT

Instituto do Milênio em Pesquisa Inovação e Difusão “Concreto Brasil”

Linhas de Pesquisa

1. Patologia, Manutenção e Recuperação das Estruturas de Concreto
2. Pré-Moldados de Concreto
3. O Concreto e o Desenvolvimento Sustentado
4. Desenvolvimento de Indicadores de Competitividade para Monitoramento da Cadeia Produtiva

15

Pesquisas em Concreto



Instituto do Milênio “Concreto Brasil”

Instituições Experientes:

Escola de Engenharia de São Carlos USP
Instituto de Pesquisas Tecnológicas
Instituto Tecnológico de Aeronáutica
Universidade de Campinas
Universidade de São Paulo
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Universidade Federal de Santa Catarina

Instituições emergentes:

Universidade de Pernambuco
Universidade Federal de Goiás

Associações e Entidades:

Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem – ABESC
Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP
Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON

18

Pesquisas em Concreto



BRASIL → Institutos do Milênio MSI (17 em 2001, hoje 33)

Advanced Technologies

1. Avanço Global e Integrado da Matemática Brasileira
2. Instituto do Milênio para Evolução de Estrelas e Galáxia
3. Instituto de Informação Quântica
4. Instituto de Nanociências

Engineering and Manufacturing

1. Fábrica do Milênio
2. Instituto do Milênio de Materiais Complexos
3. Instituto Multidisciplinar de Materiais Poliméricos
4. Rede de Pesquisa em Sistema em Chip, Microsistemas e Nanoeletrônica

Human Development and Biotechnology

1. Estratégias integradas para estudo e controle da tuberculose no Brasil
2. Instituto de Investigação em Imunologia
3. Bioengenharia e Terapias celulares para doenças crônico-degenerativas
4. Integração de melhoramento genético, genoma funcional e comparativo

Natural Resources and Environment

1. Água - uma visão mineral
2. Semi-Árido Biodiversidade, Bioprospecção e Conservação de Recursos
3. Mudanças de uso de solo na Amazônia
4. Núcleo de Estudos Costeiros
5. Oceanografia Uso e Apropriação de recursos costeiros

19

Pesquisas em Concreto



Brasil

- 131 grupos de pesquisa cadastrados em concreto na CAPES
- 22% de excelência
- 10 melhores escolas de engenharia MEC → coincidem com os melhores Centros de Excelência em Concreto

Instituto Brasileiro do Concreto IBRACON

Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento

Banco de Teses e Dissertações

“Concreto Brasil”

48 Congressos → 2.600 artigos → práticas recomendadas → livros

20



QUANDO FOI RECONHECIDA A PROFISSÃO DE ARQUITETO POR PRIMEIRA VEZ ?

21

Político, alquimista, primeiro
Arquiteto → Imhotep



2.790 aC

Pirâmide escalonada de Djeser

22

I Grande Revolução !



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

23

Piramides de Giza

Faraó Khufu

Queóps



Egito

2.580 aC

24



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

25

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



26



27



28



IBRACON

CONSTRUIR COM MATERIAIS RESISTENTES E DURÁVEIS

29

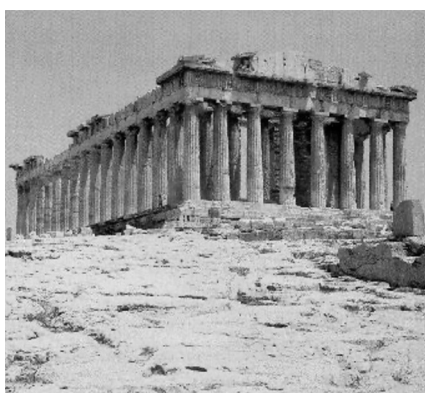
**O conceito de construir com durabilidade
existe nas obras desde a antiguidade**



IBRACON

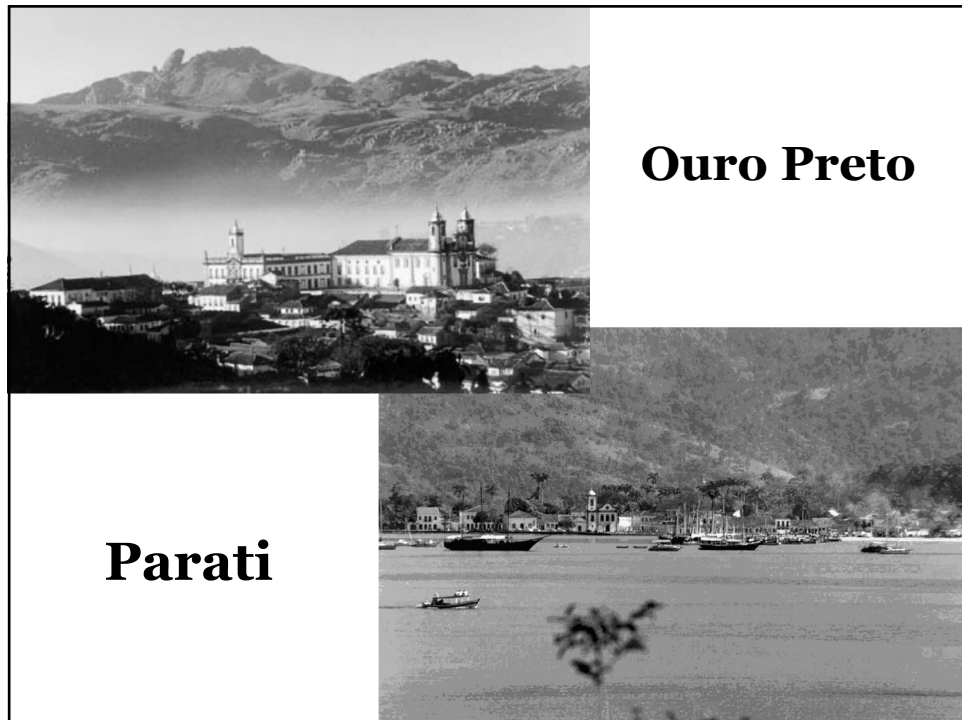


Pártenon, 440 aC
“século de Péricles”



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

30



Ouro Preto

Parati

31



32

QUANDO APARECEU O CONCRETO POR PRIMEIRA VEZ NA HISTÓRIA?

33

**Panteão
de
Roma**



34



35



36

Século



IV → Estilo Bizantino → Catedral Santa Sophia, Istambul

IX → Estilo Romano → Abadia Cluny, France

XII-XIV → Estilo Gótico → Catedral Notre Dame, Paris

XV → Estilo Renacentista

XVII → Estilo Barroco → Catedral São Pedro, Michelangelo

XVII → Estilo Neoclásico → Arco do Triunfo, Paris

37

Catedral de Notre Dame



Abóbada da nave central → 35 m de altura
1163-1330

38

Século



IV → Estilo Bizantino → Catedral Santa Sophia, Istambul

IX → Estilo Romano → Abadia Cluny, France

XII-XIV → Estilo Gótico → Catedral Notre Dame, Paris

XV → Estilo Renacentista

XVII → Estilo Barroco → Catedral San Pedro, Michelangelo

XVII → Estilo Neoclasico → Arco del Triunfo, Paris

XIX → Estruturas metálicas

39

Primeira Ponte Metálica → 1.779 d.C.

Coalbrookdale Bridge in Telford, Inglaterra
still in use today carrying occasional light transport and pedestrians



40

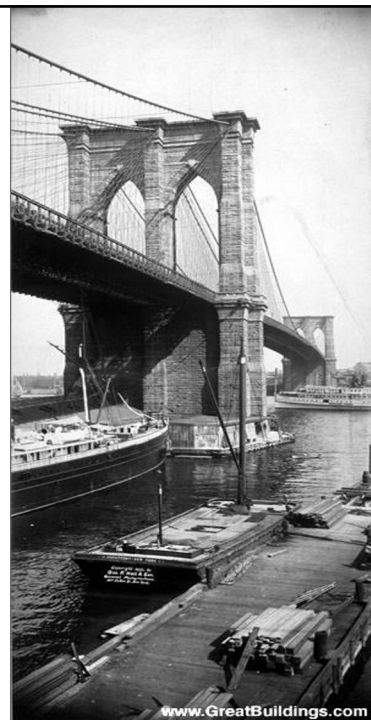
Ponte do Brooklin, New York, USA → 1.883

John Augustus Roebling
ponte suspensa com cabos de aço galvanizados



41

**Fundações
em rocha e
alvenaria**



42

II Grande Revolução !



A Engenharia estrutural (e a Arquitetura) podia projetar obras antes inimagináveis, com muito mais velocidade, segurança para vencer grandes vãos e podia construir em altura como nunca dantes.

43



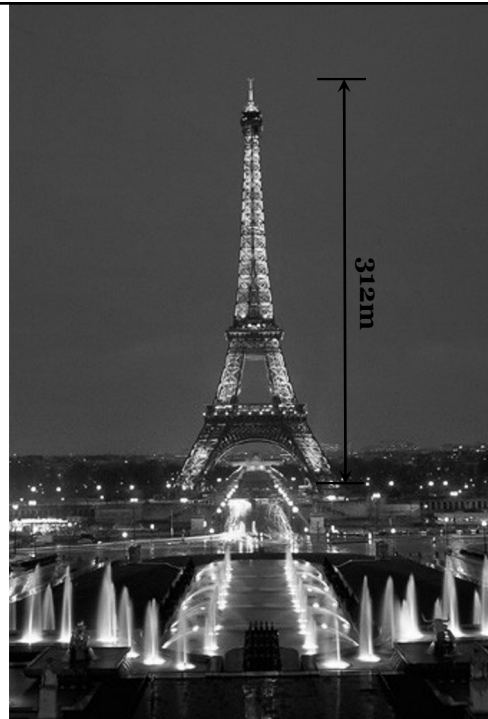
44

“Gustave Eiffel”

1.889 →

Torre Eiffel

6.30.050 visitantes
2008



45



**ONDE ESTÃO OS EDIFÍCIOS
DE ESCRITÓRIOS E
APARTAMENTOS?**

O QUE HOVE?

46



47



- 1.888 → Leroy Buffington USA, esqueleto reticular

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

48



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

49

Século XX 1.900



**APARECE UM
NOVO MATERIAL**

Concreto Armado

50

Primeiras Normas sobre Estruturas de Concreto



1903	Suiça
1903	Alemanha
1906	França
1907	Inglaterra

51



52



**Système
Hennebique**
Paris, Rue Danton 1

7 andares
França 1.901
30m

$f_{ck} = ?$
107 years !

**Oldest Building in
world**

53



Palácio Salvo
Montevideu

27 andares
Uruguai 1925

103m

$f_{ck} = ?$
83 anos !

world record

54



**Edifício
Martinelli**
São Paulo, Brasil

30 andares
Brasil 1.929
106m

78 anos

world record

55



**Cristo
Redentor**
Rio de Janeiro, Brasil

1931

**Concreto
armado**

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.

(pedra sabão)
39,6m

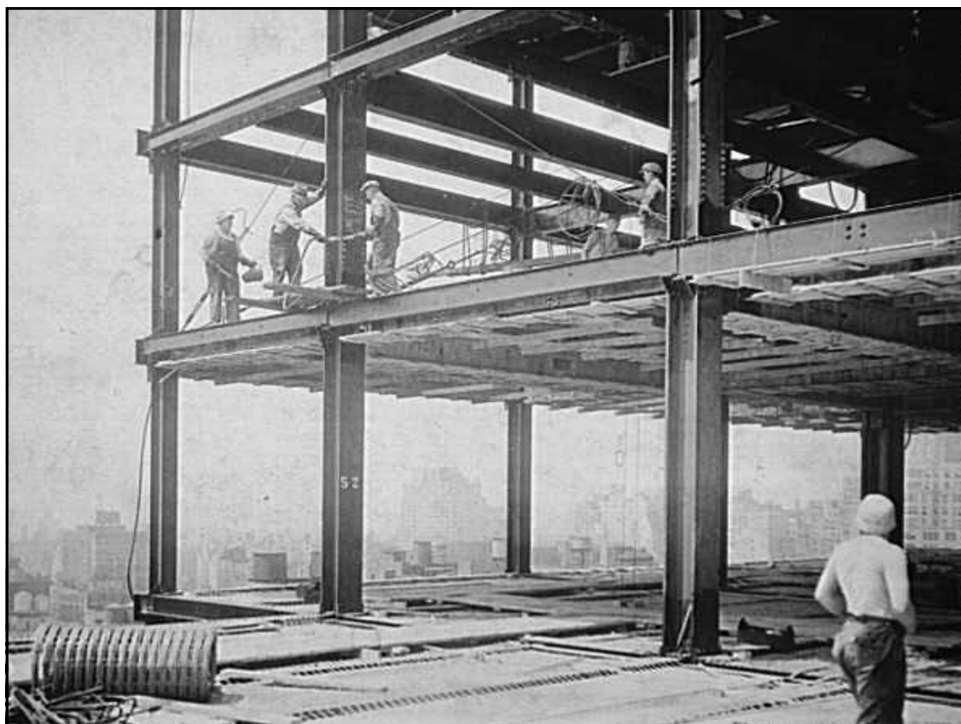
Corcovado, RJ 750m

56



Empire State Building
381m , New York, 1.931

57



58

Século XX 1.928



“novo material estrutural”

Concreto Protendido

Eugene Freyssinet

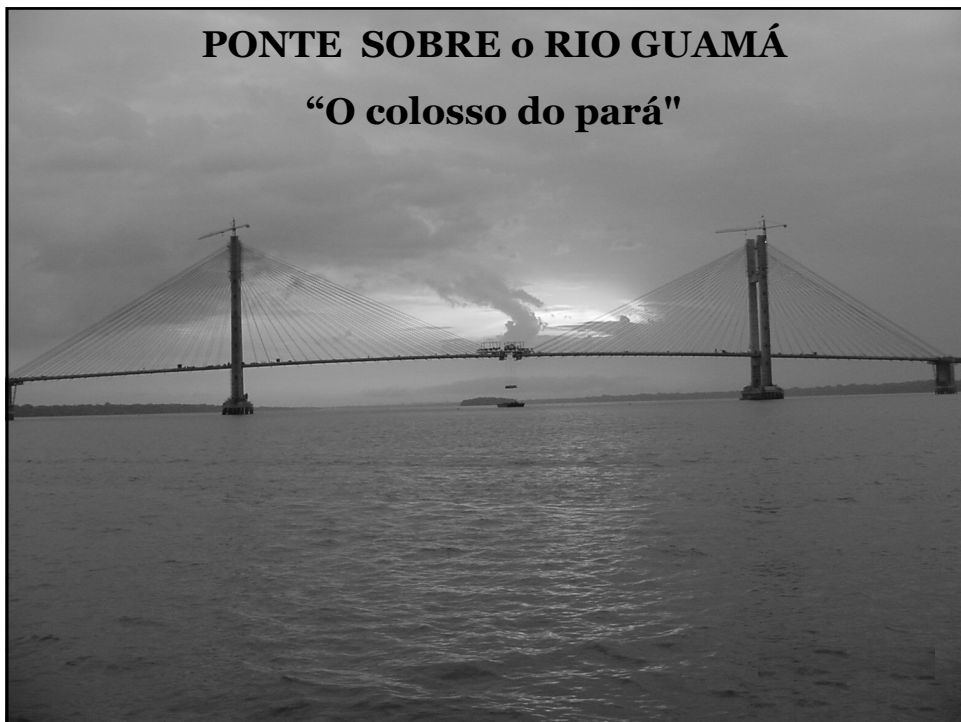
59



60



61



62



63



Aduelas prefabricadas

$f_{ck} = 45 \text{ MPa}$

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

**Vida Útil
 100 anos!**

64

III Grande Revolução !



A Engenharia estrutural podia ousar muito mais pois descobriu como combinar dois materiais fantásticos. O concreto tinha a durabilidade da rocha, era compatível com o aço e ainda o protegia “eternamente”

65

Melhoria arquitetônica

Concreto aparente, grandes vãos



Bruno Contarini



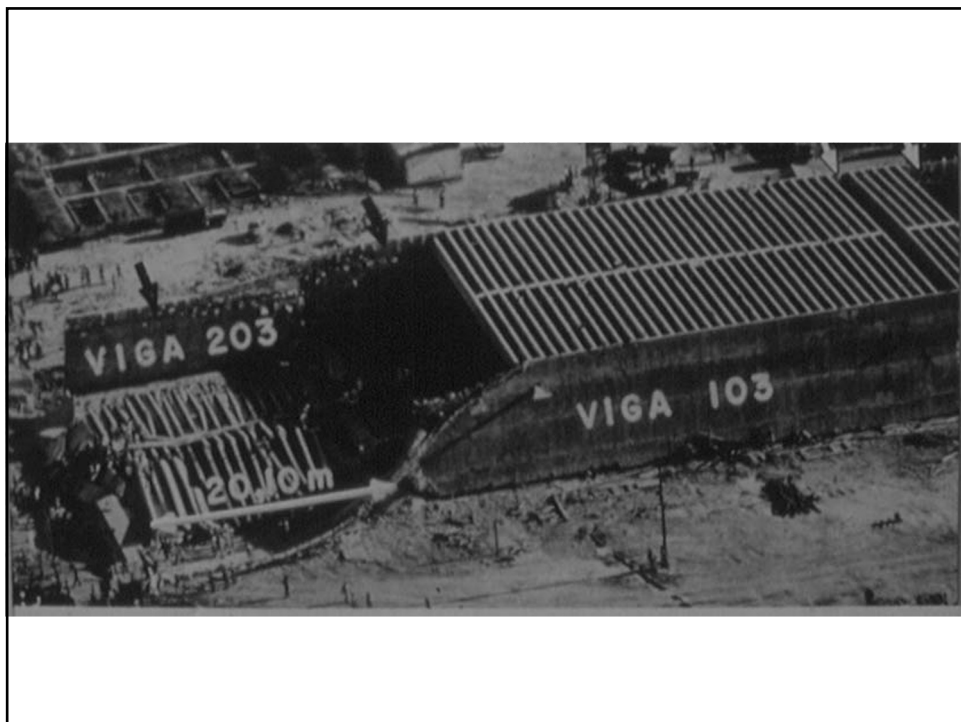
Oscar Niemeyer

Superior Tribunal de Justiça

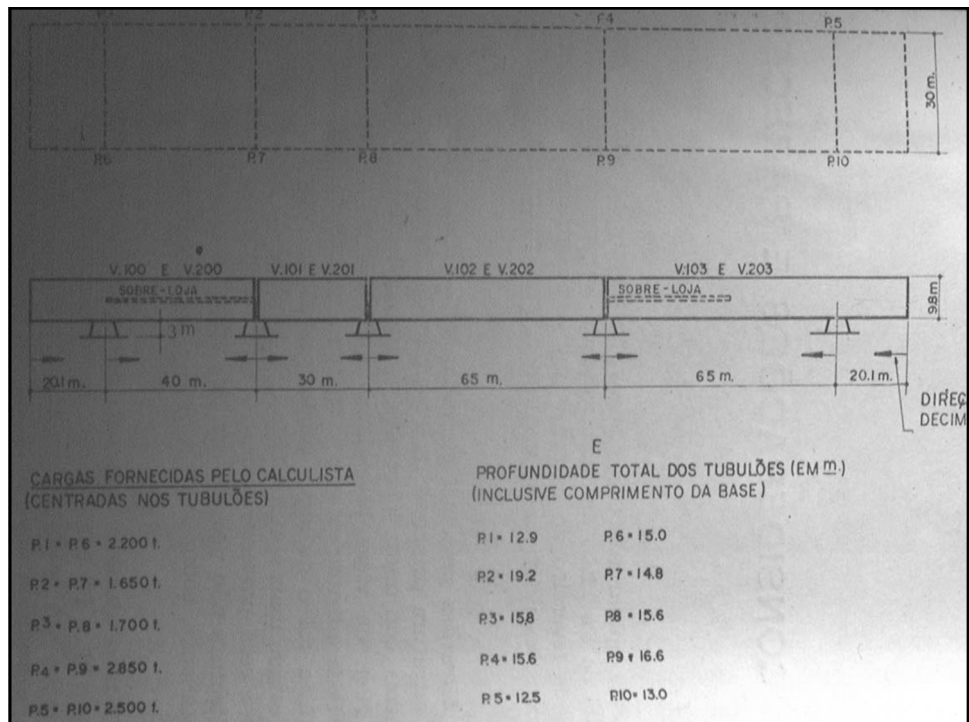
66



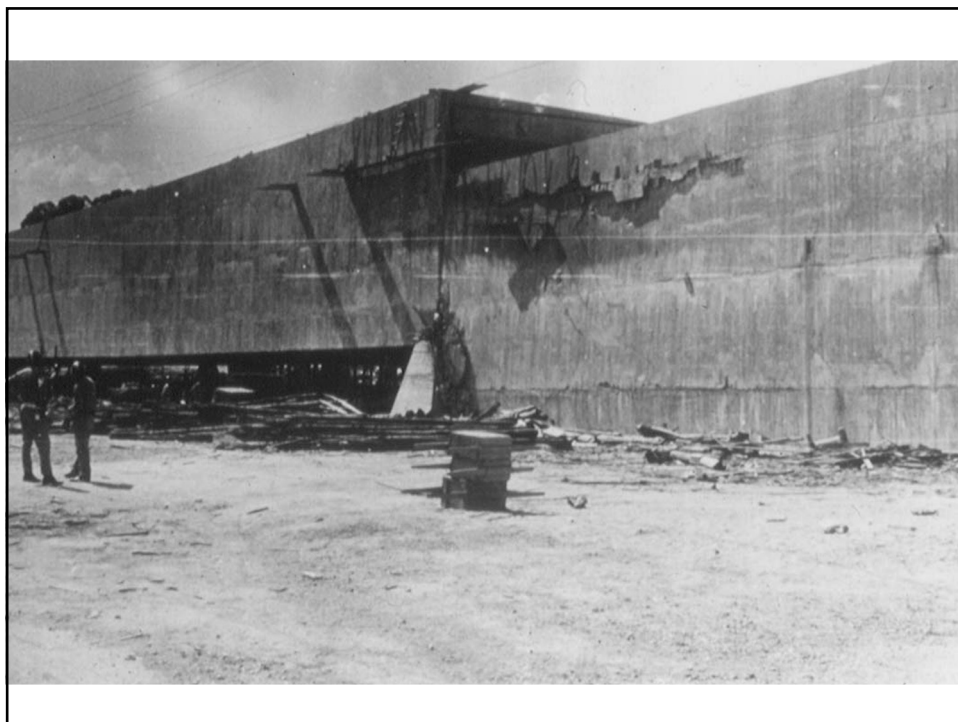
67



68



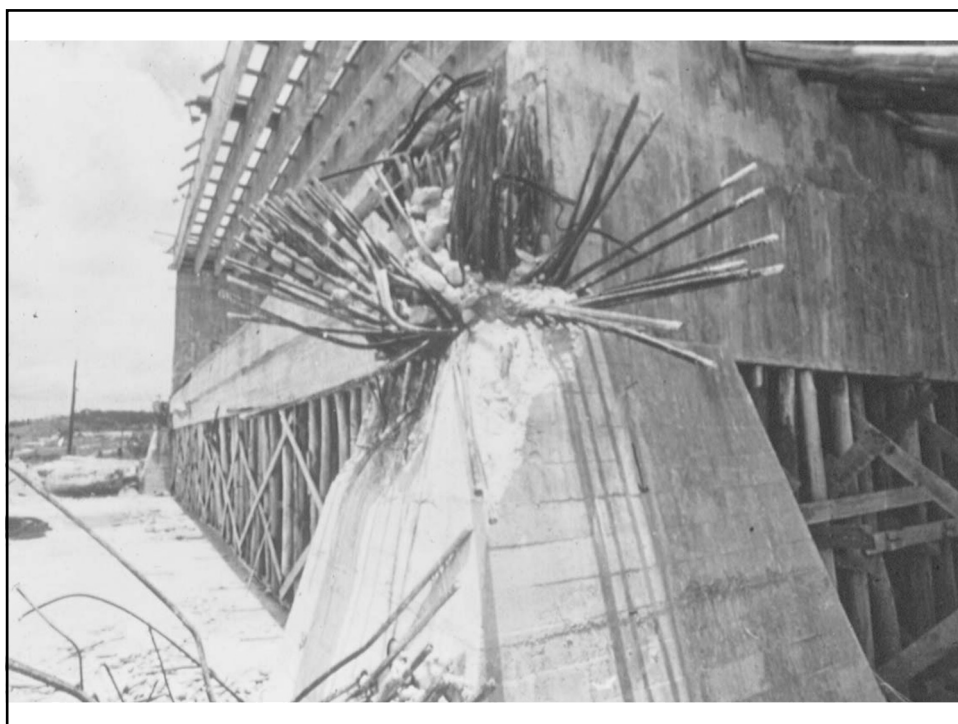
69



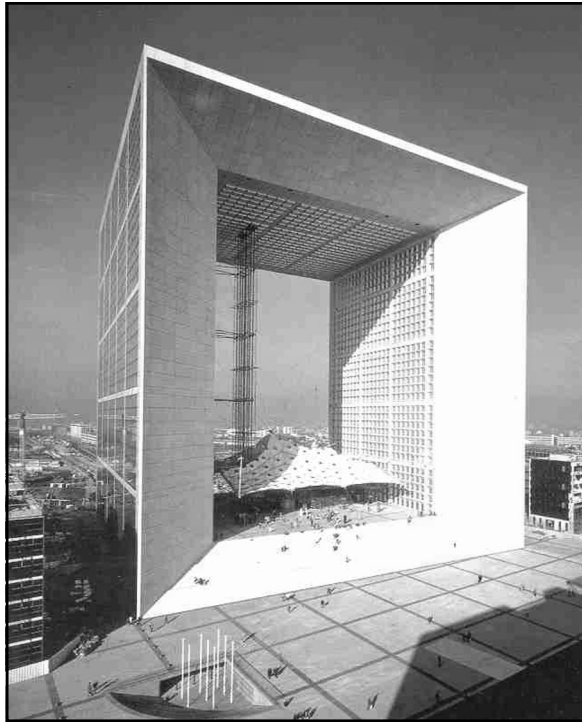
70



71



72



Grand Arch

Paris, França

La Défense

França 1990

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

**“high-tech
style”**

73



Petronas Towers

Malasia

Cesar Pelli

Kuala Lumpur

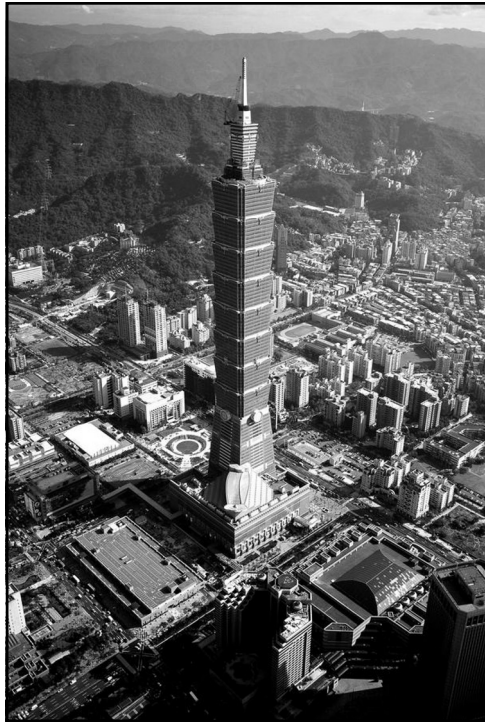
Malasia 1.997

452m

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

before / after

74



Taipei 101

*Shangai World Financial
Centre*

Taiwan, China

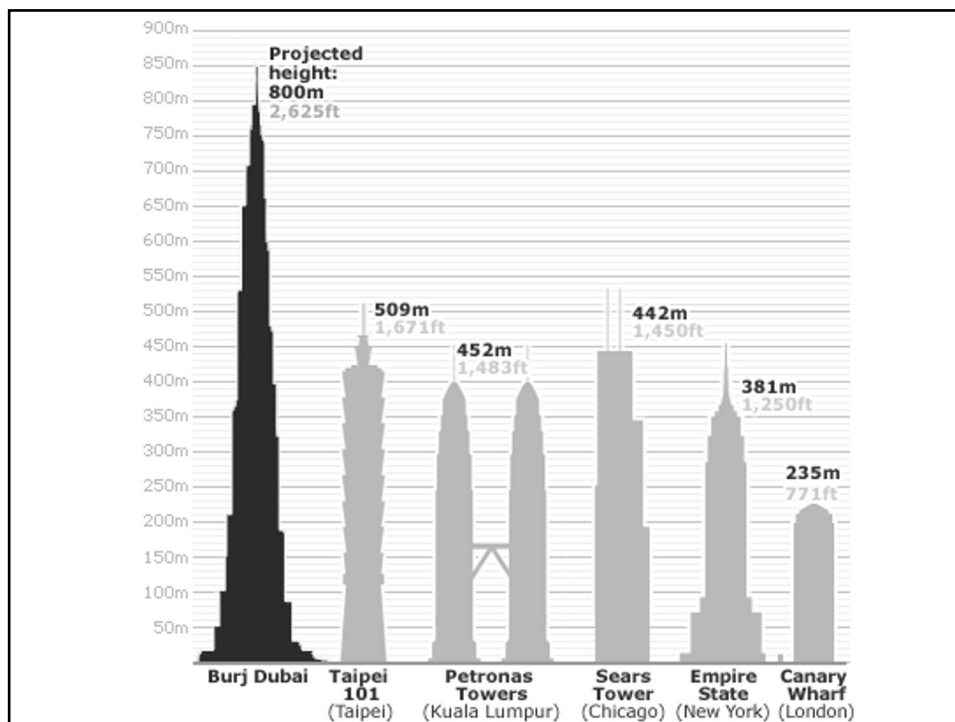
2005

509m

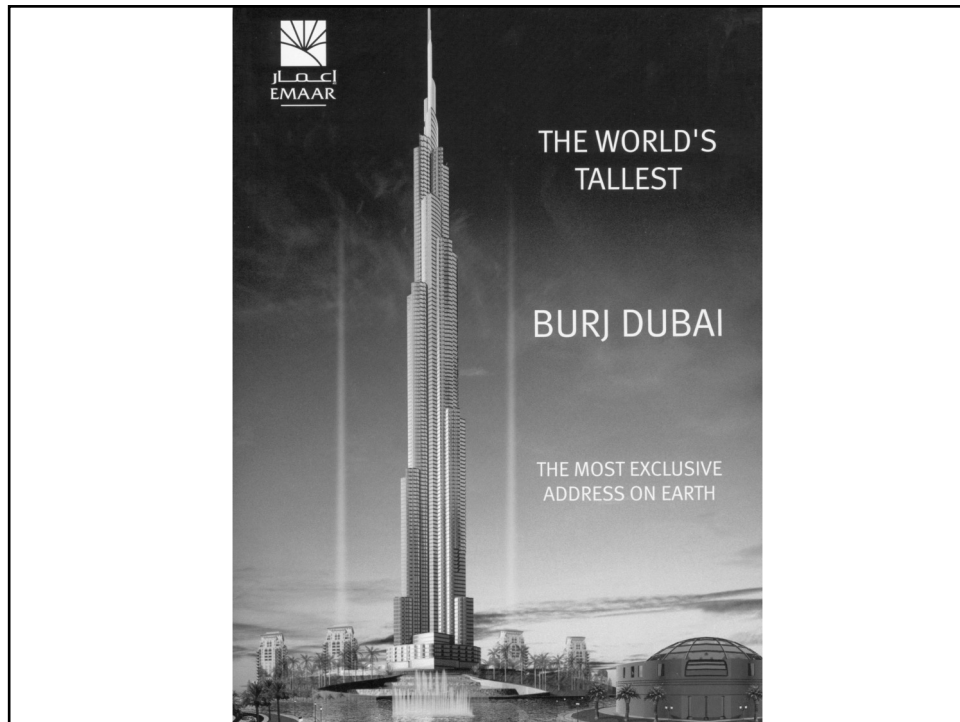
$f_{ck} = 80 \text{ MPa}$

steel / concrete

75



76



77

Como será o futuro?

78

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

79

Venustas

Bonita !

80

*Oscar Niemeyer
Bruno Contarini*

Art Museum, Rio de Janeiro

81

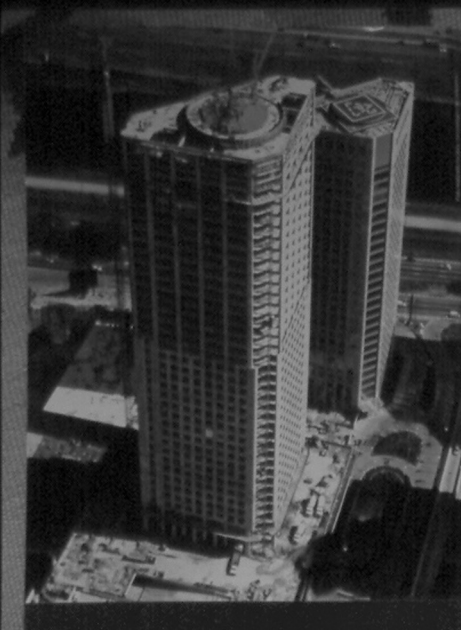


***Firmitas
estável e durável***

82



83



250 anos de garantia.

Quem precisa de segurança, tecnologia e competência, precisa da Engemix. Como a Melhor Engenharia, praticou, quando fez o maior e o mais complexo trabalho da Torre Norte do Centro Empresarial Nações Unidas, um bloco de 30m x 30m x 4m, correspondente a 7.000 m³ de concreto, lançado em 23 horas para controlar a temperatura do concreto, volume equivalente a um cubo de 4m x 4m x 4m. Ou ainda a Colônia Imperial, para a construção da estrutura da mesma dos, um edifício de 30 pavimentos e 150 metros, o mais alto de São Paulo, com 25.000 m³ de C40, o concreto de alto desempenho. Edifícios que não são sendo reconhecidos por especialistas e técnicos como um dos grandes avanços de aplicação do C40, a mais nova tecnologia em sistemas de concretagem, mesmo no 1º estágio. É a mais avançada do C40 do Brasil, e não deverá apresentar qualquer tipo de problema pelas próximas 250 anos, ou até 2046, segundo previsão e estudos realizados por especialistas e técnicas especializadas para o desenvolvimento e aplicação de ativos importantes. É na construção, o melhor desempenho, o melhor brasileiro de bombardeamento de concreto em altura 150 metros.

Em menos de 4 horas, foram bombeados quase 90 m³ de concreto para 30 metros de altura, com de concreto das seguintes cargas de 3 m³ de concreto na linha de lançamento, equivalentes a 7,5 toneladas.

O resultado é que, hoje, o Centro Empresarial Nações Unidas é também uma verdadeira obra de tecnologia da concretagem brasileira. É as soluções propostas para concretagem e controle de temperatura, graças à experiência e à competência da Engemix. Que garantem ao empreendimento não apenas redução de custos, mas também eliminação do tempo de concretagem, potencialização das propriedades dos agregados, redução da fissuração do concreto na furação, eliminação da ressecagem e da carbonatação do concreto na furação.

Quem precisa de solução segura em concretagem não corre riscos. Chama a Engemix.



CONCRETO
ENGEMIX®

84

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

85

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

86

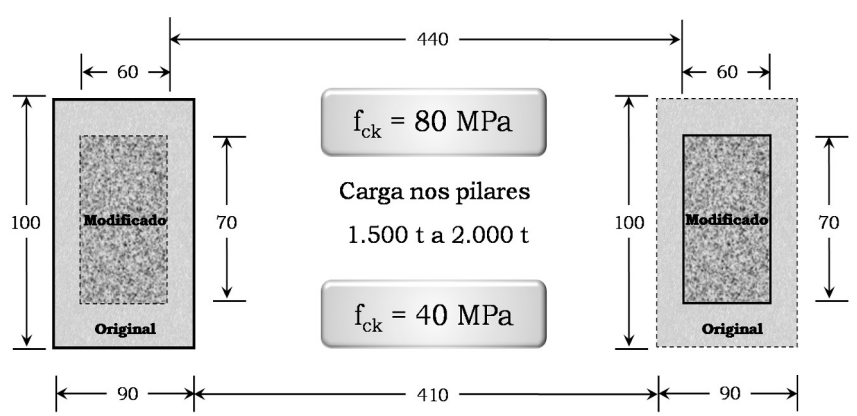



- Edifício e-Tower SP
- 42 andares
- Heliponto
- Piscina semi-olímpica
- Academia de ginástica
- 2 restaurantes
- Concreto colorido
- f_{ck} pilares = 80 MPa

87

Projeto estrutural (e-Tower)





Medidas em cm

Direitos Reservados 2009

88

88

Controle



89



90



Considerações Finais

baseadas no CTBUH → Council on Tall Buildings and Urban Habitat

91



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

92



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

93



Hoje há 22 edifícios em construção com altura superior a 300m (*novo patamar de arranha-céu*) e 14 outros já foram inaugurados... desde 1.997 !

94



Desse total de 36 “arranha-céus”:

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

95



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

96



97


IBRACON

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

98



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

99



OBRIGADO !

100