



# A Arte de Projetar e Construir Estruturas



"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

**Paulo Helene**

*Conselheiro IBRACON*

*Diretor PhD Engenharia*

*Miembro Red PREVENIR CYTED*

*Prof. Titular da Universidade de São Paulo USP*

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

*Presidente Asociación Latino Americana de Control de Calidad,*

*Patología y Recuperación de la Construcción ALCONPAT Int.*

*Teatro Zenira Figueire*

*12 de abril de 2013*

*São Luís - Maranhão*

1

# O que vocês estão fazendo aqui, em 2013, na Pitágoras num curso de Engenharia Civil?

2



**PITÁGORAS**  
FACULDADE

**Sejam muito  
bem vindos!**

3

**O Brasil precisa  
de vocês!**



**PITÁGORAS**  
FACULDADE

**Engenharia Civil**

4

**E está  
pagando bem!  
...cada dia  
melhor!**

5

**Folha de São Paulo  
Caderno de Empregos  
Bolsa de Salários**

*São Paulo  
nas engenharias, civil  
+ alto salários*

6

**Ser Engenheiro  
é bom... mas  
cuidado com os  
riscos!**

7



8



**Edifício de luxo**

**15 andares**

**12 anos!**

**Maringá PR**

**Outubro  
2008**

9



10

3-4 Sexta-Feira, 26 de fevereiro de 1993 cotia

## Dona-de-casa morre atingida por pedaço de reboco de prédio no Rio

Da Sucursal do Rio

A dona-de-casa Maria Borges Nascimento, 49, morreu ao ser atingida na cabeça por um pedaço de reboco do 12º andar de um prédio de apartamentos no centro da cidade, na av. Gomes Freire nº 740. A mulher morreu na hora, e teve a face desfigurada. O pedaço de reboco caiu, resvalou na marquise do prédio e acertou a dona-de-casa.

Maria estava voltando para casa com as compras feitas num supermercado da região. Ela morava sozinha com o filho, o estudante Nino André Borges Nascimento, 27. O síndico do prédio em que aconteceu o acidente, João Salvador, afirmou que a obra de recuperação da fachada já havia sido aprovada pelo condomínio, mas faltava orçar o serviço.

A Defesa Civil municipal interditou a área em torno do prédio, o que deve causar prejuízo aos estabelecimentos comerciais que funcionam no local. Segundo o diretor do Departamento de Engenharia do órgão municipal, Roberto Formiga Oberlaender, o local só será liberado após o condomínio contratar uma firma para retirar as partes da fachada que ofereçam risco de desabamento.

Na área térrea interdita funcionam uma padaria, uma distribuidora de bebidas. No prédio ao lado, em área também interdita, funcionam um pequeno hotel e um restaurante.



**Corpo de Maria Borges coberto em frente ao prédio**

Oberlaender afirmou que será dado ao condomínio um prazo para recuperação da fachada. Caso o prazo não seja cumprido, o condomínio terá que pagar multa. Muito abalado, o filho da dona-de-casa não quis comentar que providências legais tomará em relação ao caso.

Oberlaender disse que um dos problemas do centro são os prédios antigos em mau estado de conservação. Além da má conservação do reboco, as marquises velhas são problemas apontados pelo diretor da Defesa Civil.

Segundo ele, os proprietários são obrigados a realizar obras de recuperação, mas a fiscalização não cabe à Defesa Civil.

**28 anos!**

11

**05/04/2008, do Estado de S. Paulo**

**Expresso Tiradentes: TCU teria apontado sobrepreço**

*Técnicos do Tribunal de Contas da União (TCU) teriam aponta suspeitas de superfaturamento nas obras de prolongamento do Expresso Tiradentes (antigo Fura-Fila), em São Paulo. O processo foi encaminhado no dia 11 ao ministro Benjamin Zymler, de acordo com informações do jornal O Estado de S. Paulo.*

**25/12/2008, da Folha Online**

**TCU vê superfaturamento de R\$ 5,58 milhões em obra feita pelo Exército**

*Auditoria do TCU (Tribunal de Contas da União) apontou indício de superfaturamento de R\$ 5,58 milhões em uma obra realizada no Mato Grosso pelo 9º Batalhão de Engenharia de Construção do Exército, informa nesta quinta-feira reportagem de Elvira Lobato publicada pela Folha .*

12

*Folha de São Paulo*

## **Tribunal Regional do Trabalho (TRT/SP)**

Nicolau dos Santos Neto → conhecido por “Juiz Lalau”

*A construção da nova sede do TRT/SP, só começa em meados do ano de 1997 e de imediato os fiscais e auditores descobrem irregularidades, e delas logo dão conhecimento ao Tribunal de Contas da União (TCU).*

*O tamanho da fraude, porém, só viria a público em 1999, quando foi criada a CPI do Judiciário.*

*Nesse ano o TCU leva ao Congresso o resultado da auditoria, segundo a qual foram repassados 223,9 milhões de reais para a construção do edifício do TRT/SP e desse total foram desviados 169,5 milhões de reais, e a obra ainda está inacabada.*

13

***A profissão do Engenheiro  
Civil é uma profissão de***

***“confiança pública”***

***...e confiança não se  
impõem, deve ser  
conquistada...***

14

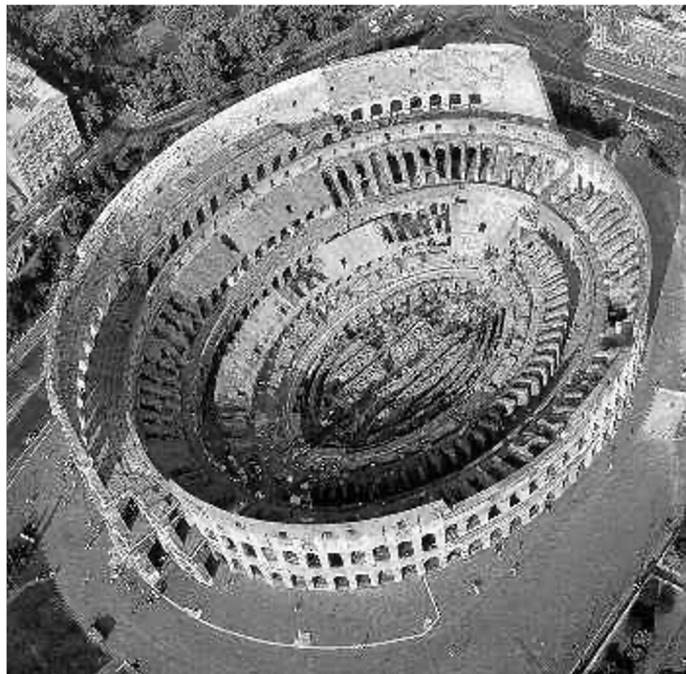
## Juramento do Engenheiro

***“ Prometo sob juramento observar os postulados da ética profissional, concorrer para o desenvolvimento da técnica, da ciência e da arte e bem servir aos interesses da sociedade e da nação”.***

*“este é o juramento dos engenheiros utilizado na colação de grau da POLI.USP”*

15

A origem da palavra ENGENHARIA foi devida ao Engenheiro Civil. Vem da Roma antiga da expressão “*Ingenium Civitas*”, ou seja, engenharia das cidades ou engenharia da civilização.



16



17



18

## Construtibilidade



Engenharia

19

## Construtibilidade

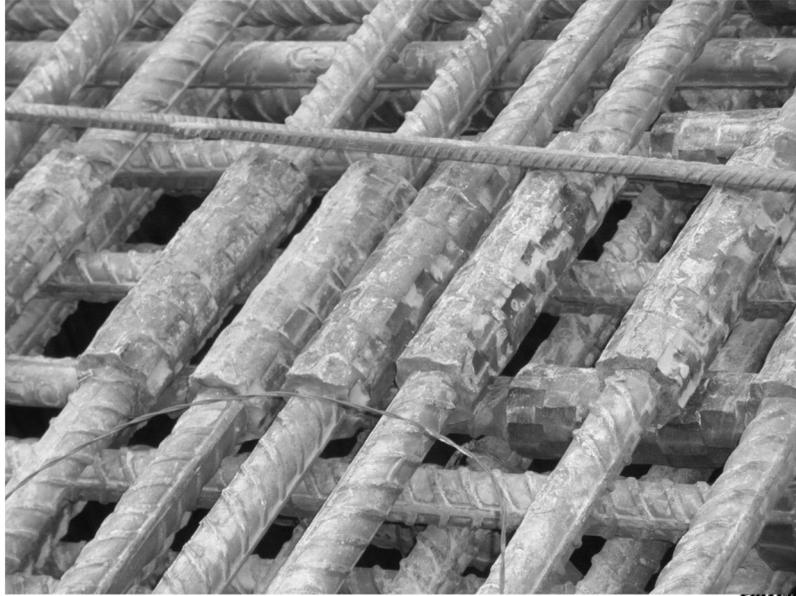


O concreto deve atravessar essa malha!

Engenharia

20

## Construtibilidade



Engenharia

21



22



23

## *Acompanhamento técnico*



**proteção contra a chuva**

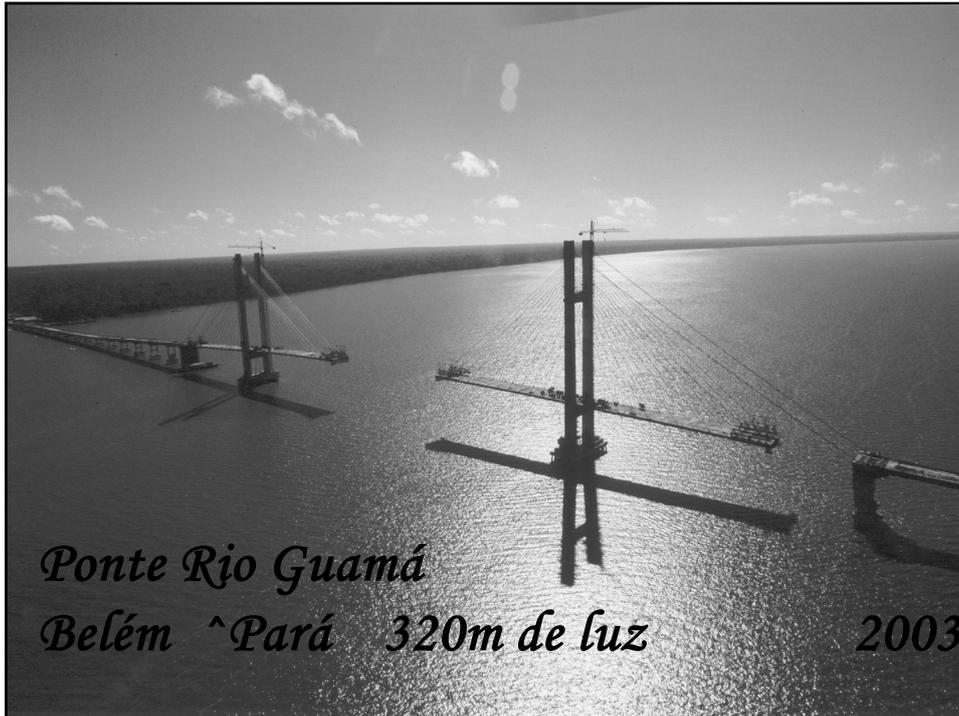
24



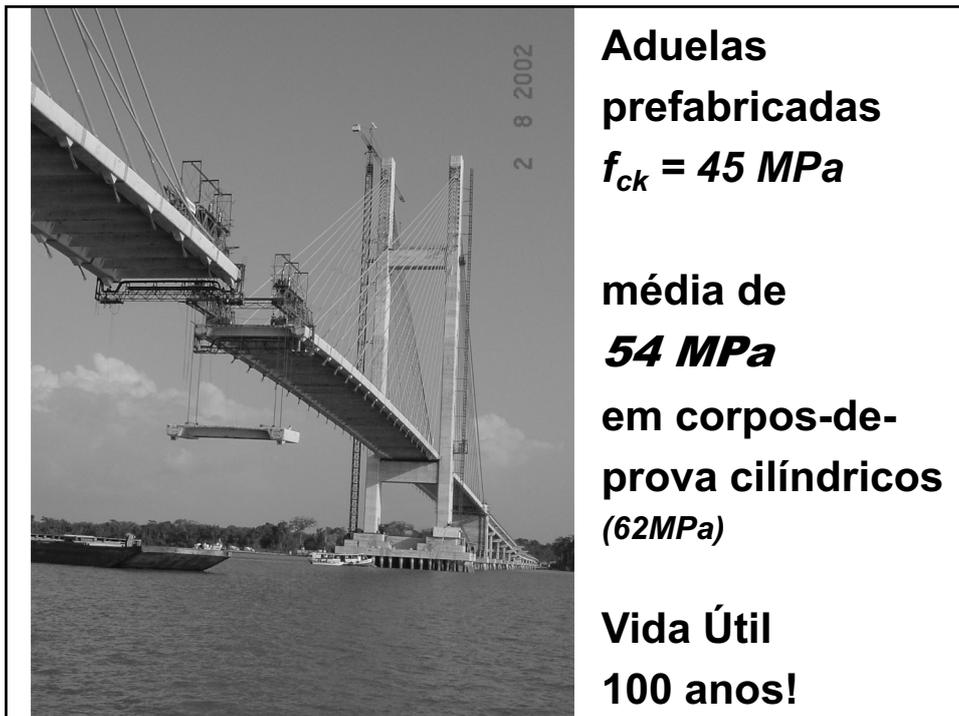
25



26



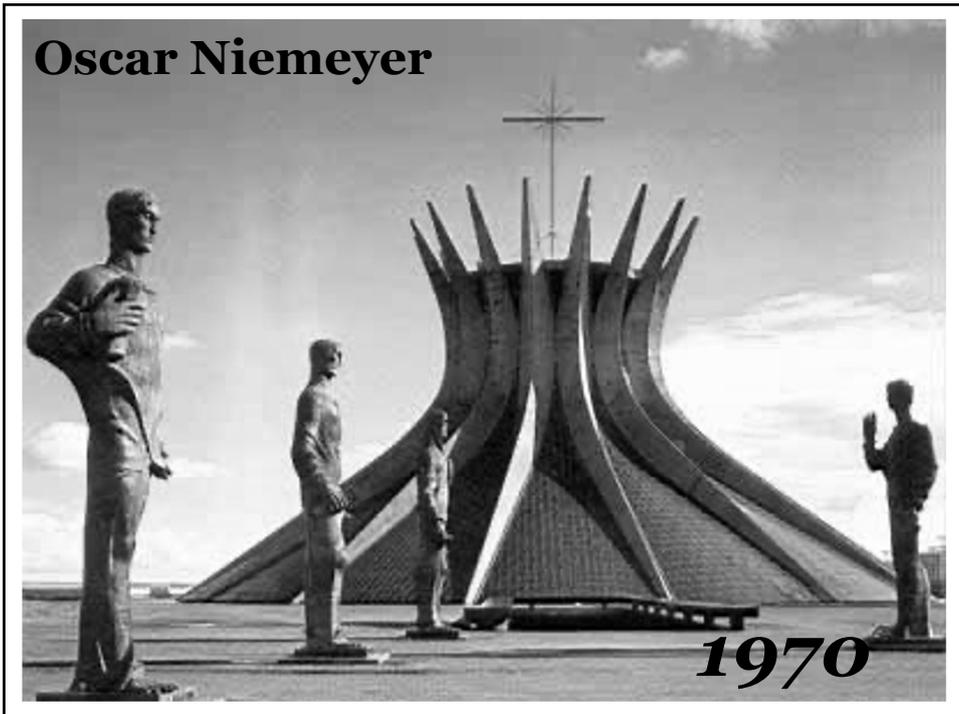
27



28



29



30



31

**Quando a profissão de  
arquiteto foi  
reconhecida pela  
primeira vez na história  
da humanidade?**

*PhD Engenharia*

32

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



Pirâmide escalonada de Djeser

33

**Piramides de Giza**

**Faraó Khufu**

**Queóps**



**Egito**

**2.580 aC**

34

## **Materiais Estruturais**

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

*PhD Engenharia*

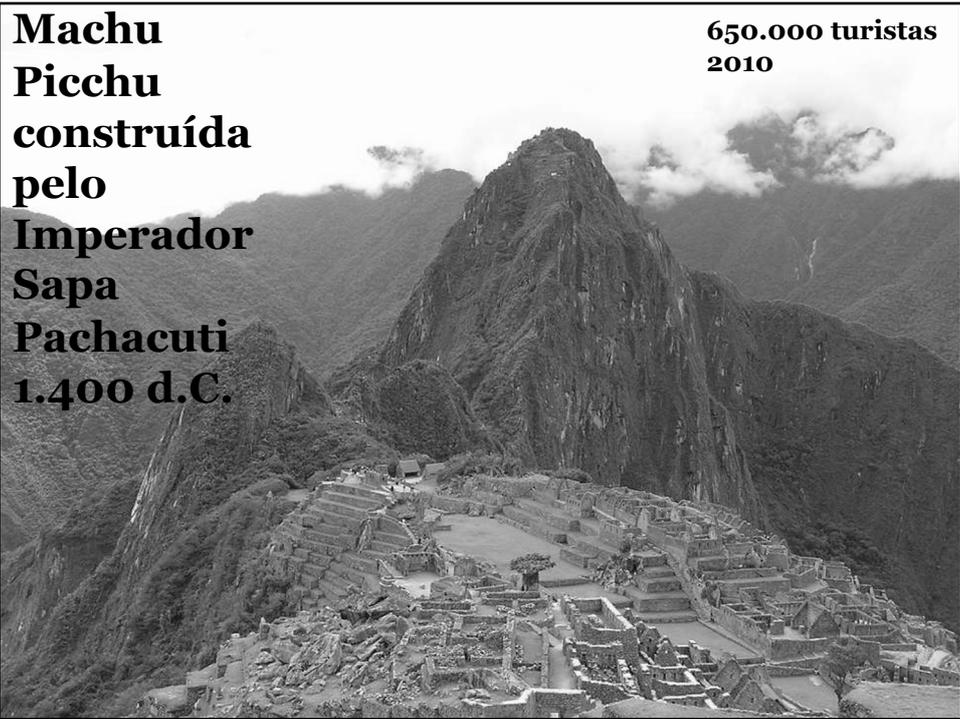
35

## **A Grande Revolução**

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

*PhD Engenharia*

36



37



38



39

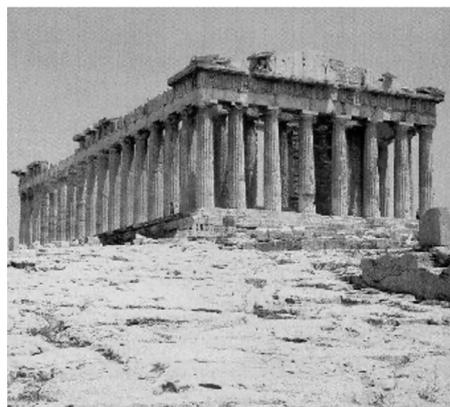
## **O conceito de construir com durabilidade existe desde a antiguidade**

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

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

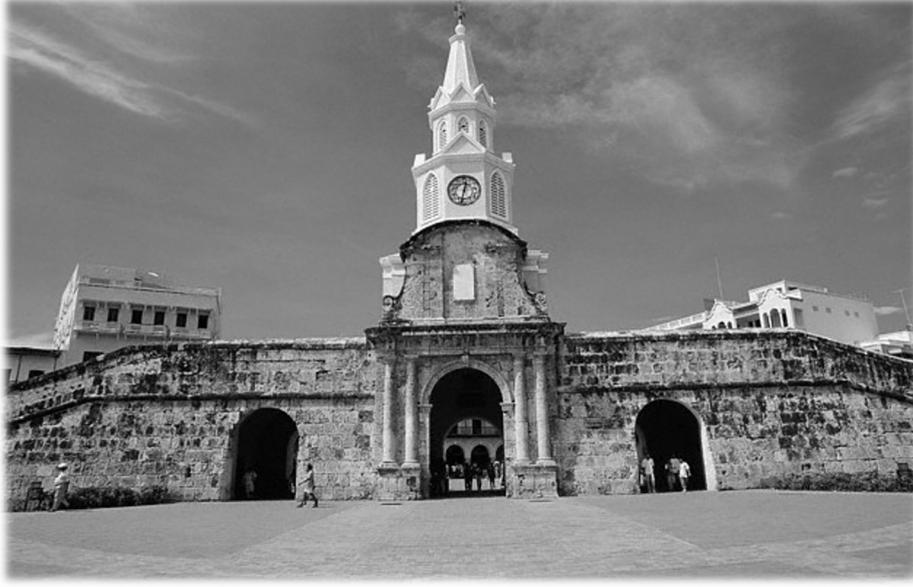


**Pártenon, 440 aC  
“século de Péricles”**



40

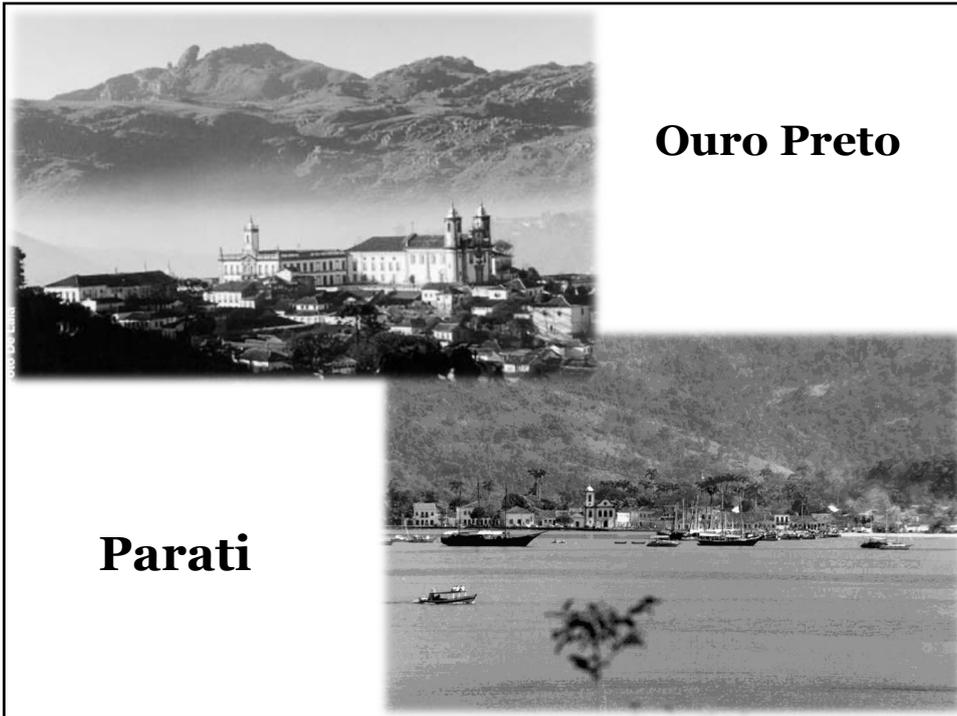
# Cartagena das Índias



41



42



43



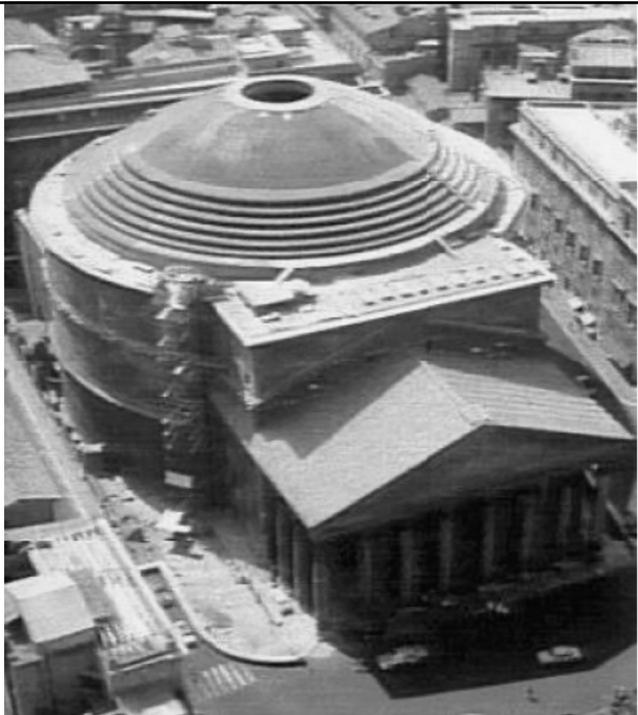
44

**Quando o concreto  
(estrutural) APARECEU  
PELA PRIMEIRA VEZ NA  
HISTÓRIA?**

*PhD Engenharia*

45

**Panteão  
de  
Roma**



46



47

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



48



49



50



51



52

## Séculos históricos

**IV → Estilo Bizantino → Catedral Santa Sophia, Istambul**

**IX → Estilo Românico → Abadia Cluny, França**

**XII-XIV → Estilo Gótico → Catedral Notre Dame, Colônia**

**XV → Estilo Renascentista**

**XVII → Estilo Barroco → Catedral São Pedro, Bernini**

**XVII → Estilo Neoclássico → Arco do Triunfo , Paris**

*PhD Engenharia*

53

## Catedral de Notre Dame



**1163-1330**

Abóbada da nave central → 35 m de altura

54

## **Séculos históricos**

**IV → Estilo Bizantino → Catedral Santa Sophia, Istambul**

**IX → Estilo Românico → Abadia Cluny, France**

**XII-XIV → Estilo Gótico → Catedral Notre Dame, Colônia**

**XV → Estilo Renascentista**

**XVII → Estilo Barroco → Catedral San Pedro, Bernini**

**XVII → Estilo Neoclássico → Arco do Triunfo , Paris**

**XIX → Estruturas metálicas**

*PhD Engenharia*

55

**Primeira Ponte Metálica → 1.779 d.C.  
Coalbrookdale Bridge em Telford, Inglaterra**

*Ainda hoje em uso suportando tráfego leve e de pedestres*



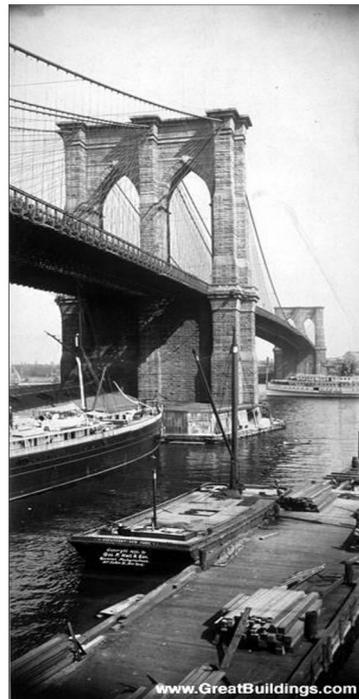
56



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

57

**Fundação  
em rocha e  
alvenaria de  
blocos de  
rocha**



58

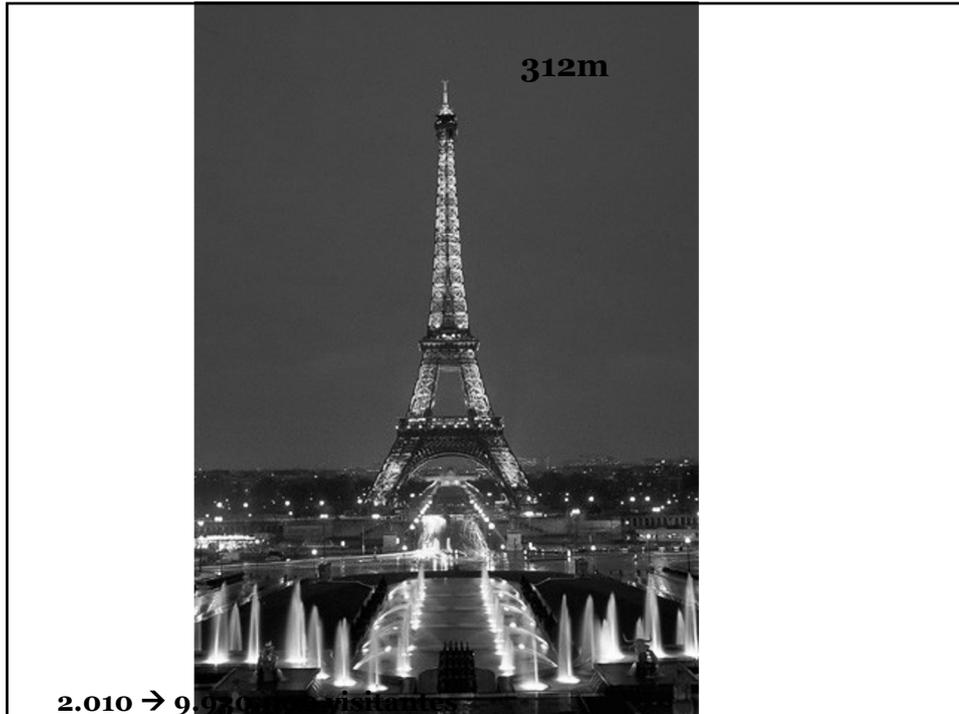
## II Grande Revolução

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

59



60



61

**Onde estão os  
edifícios  
comerciais e  
habitacionais?**

**O que aconteceu?**

*PhD Engenharia*

62



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

63

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

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

*PhD Engenharia*

64



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

65

**Século “XX”  
1892**

**Aparece um  
novo material**

***Concreto Armado***

66

## **Primeiras Normas sobre Estruturas de Concreto**

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

67



68



**Systeme  
Hennebique**  
*Paris, Rue Danton1*

7 andares  
França 1.901  
30m

$f_{ck} = ?$

*109 anos !*

*edifício em concreto mais  
antigo do mundo*

69



**Palácio Salvo**  
Montevideu

27 andares

Uruguai 1925

103m

$f_{ck} = ?$

*85 anos !*

**world record**

70



**Edifício  
Martinelli**

**1929**

**106m**

**81 anos**

**world record**

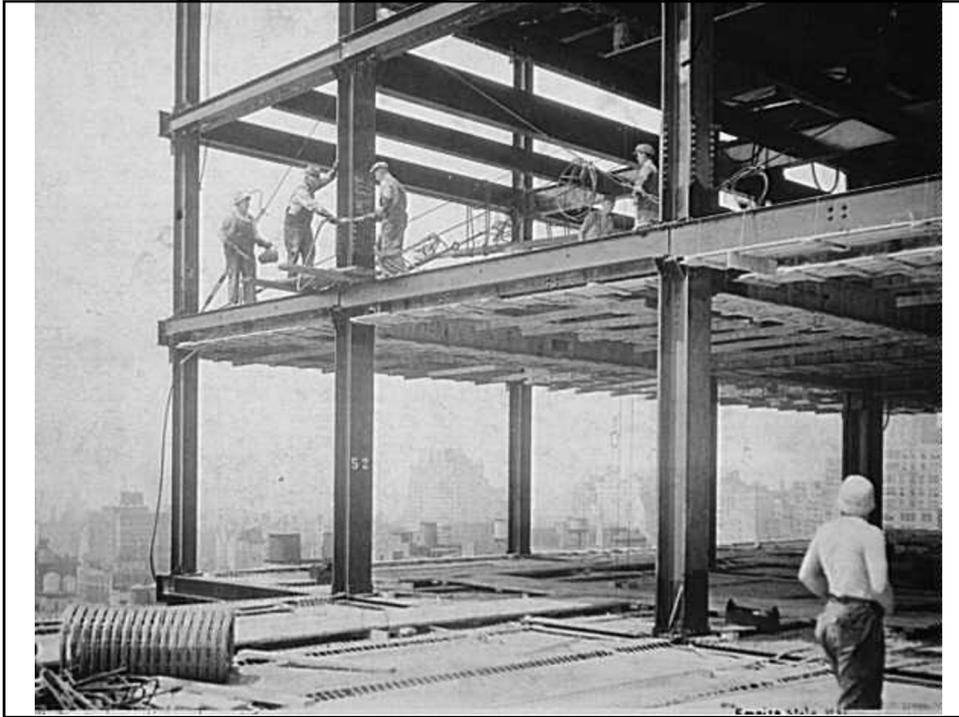
**São Paulo, Brasil**

71

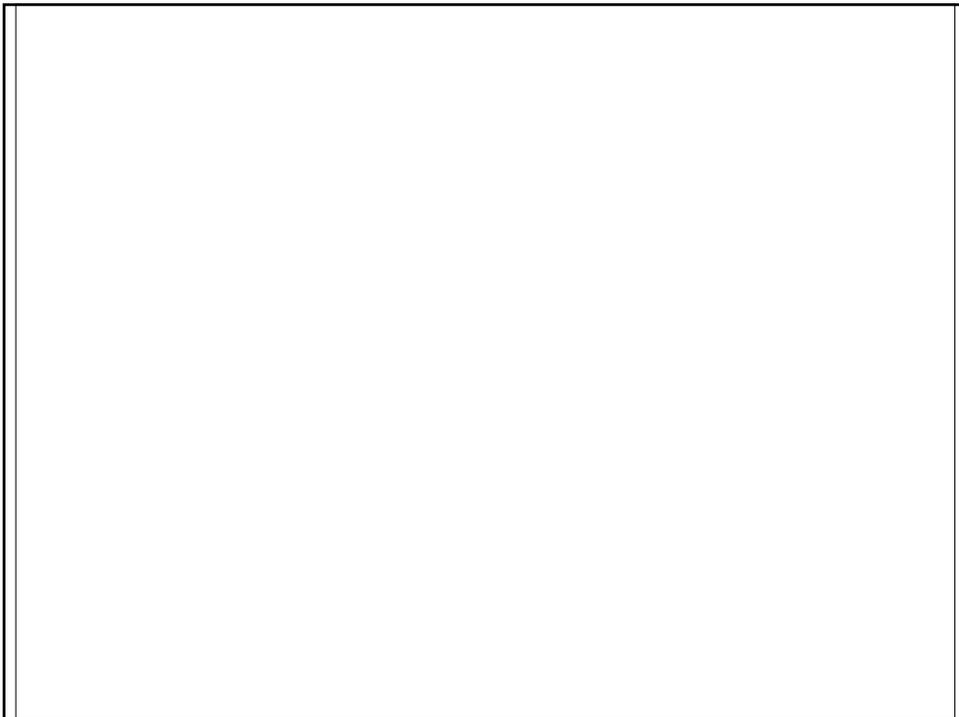


**Empire State Building  
381m , New York, 1.931**

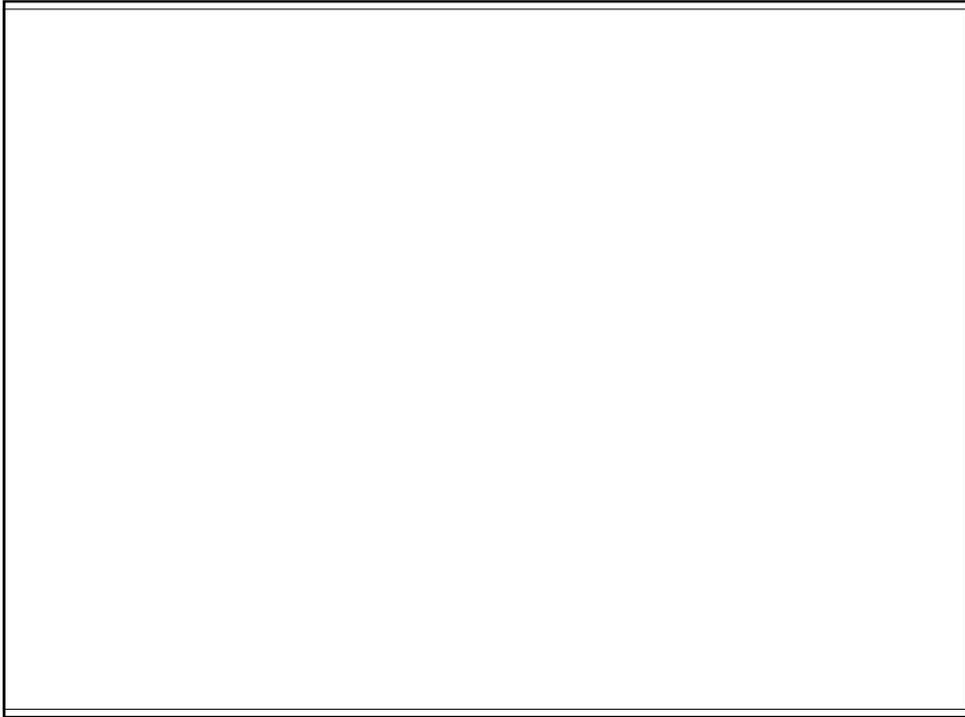
72



73



74



75



76

Siglo XX  
1.928

“novo material estrutural”

# *Concreto Protendido*

Eugene Freyssinet

**PhD Engenharia**

77



78



79

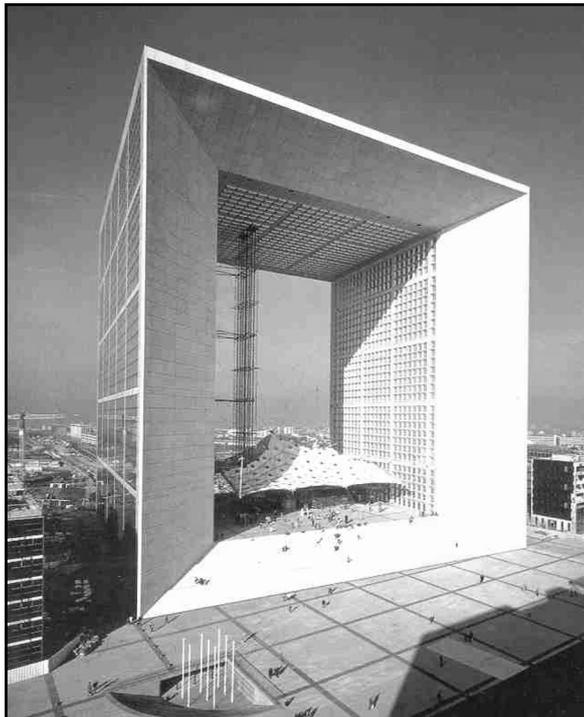


80

## III Grande Revolução

A Arquitetura de estruturas podia ousar muito mais pois se descobriu como combinar dois materiais fantásticos. O concreto teria a durabilidade da rocha, era compatível com o aço e ainda o protegia “eternamente”

81



### Grand Arch La Defense

Paris

França 1990

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

“high-tech  
style”

82



**Petronas Towers**  
*Cesar Pelli*

Kuala Lumpur

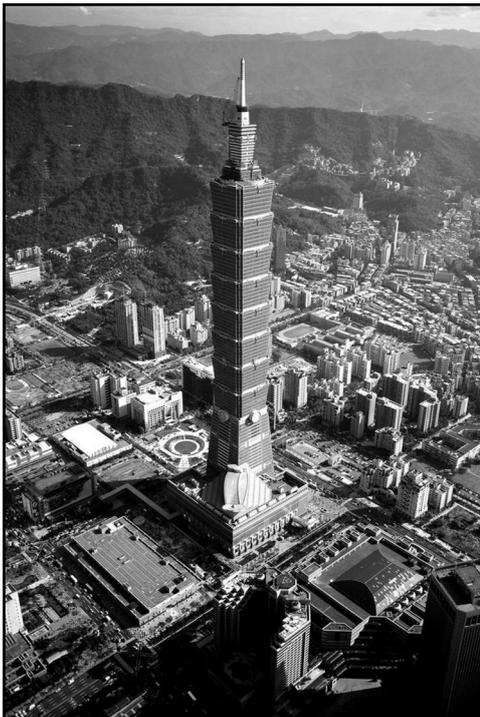
Malasia 1.997

452m

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

*before/after*

83



**TAIPEI 101**

*Shangai World Financial Centre*

Taiwan, China

2005

509m

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

*steel / concrete*

84

# Como pode ser o futuro?

*PhD Engenharia*

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

*PhD Engenharia*

86

# *Venustas*

## *Bonita !*

*PhD Engenharia*

87

*Oscar Niemeyer*  
*Bruno Contarini*



*Museu de Arte, Niterói / RJ*

88

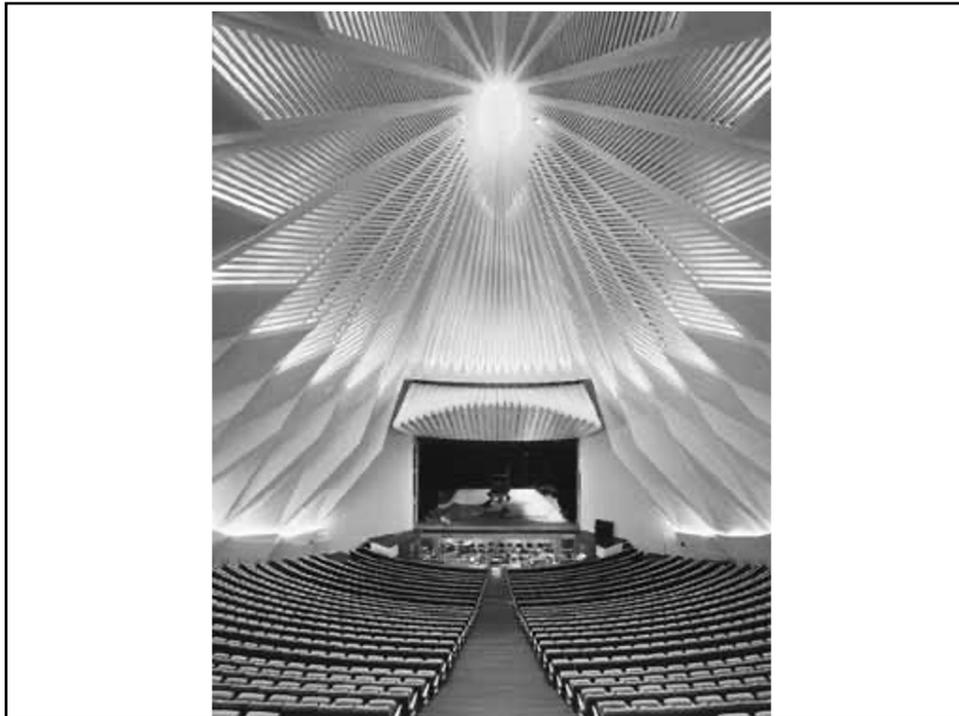
**Auditório de Tenerife**  
**Espanha**  
**2003**  
**Santiago Calatrava**



89



90



91

***Firmitas***  
*estável e durável*

**PhD Engenharia**

92



**Centro  
Empresarial  
Nações  
Unidas**

Torre Norte

São Paulo  
1997

Altura 179 m

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

**PhD Engenharia**

93

**250 anos de garantia.**

Quando precisa de segurança, tecnologia e comprometimento, precisa de Engemix. Com a Mixão Engemix, a produção, a distribuição e a aplicação de concreto são feitas com a mesma qualidade e segurança que você exige para o seu projeto. Engemix é a solução para quem precisa de concreto de alta resistência e durabilidade. Engemix é a solução para quem precisa de concreto de alta resistência e durabilidade. Engemix é a solução para quem precisa de concreto de alta resistência e durabilidade.

Engemix é a solução para quem precisa de concreto de alta resistência e durabilidade. Engemix é a solução para quem precisa de concreto de alta resistência e durabilidade. Engemix é a solução para quem precisa de concreto de alta resistência e durabilidade.

Engemix é a solução para quem precisa de concreto de alta resistência e durabilidade. Engemix é a solução para quem precisa de concreto de alta resistência e durabilidade. Engemix é a solução para quem precisa de concreto de alta resistência e durabilidade.

**CONCRETO ENGEMIX**

94

## Arte e Ciência da Construção

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

**40 anos aC** → “*De Architectura*”

10 volumes → 800 anos como best - seller

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

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

*PhD Engenharia*

95

## Arte e Ciência da Construção

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

**40 anos aC** → “*De Architectura*”

10 volumes → 800 anos como best - seller

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

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

*PhD Engenharia*

96

**Sustentável**



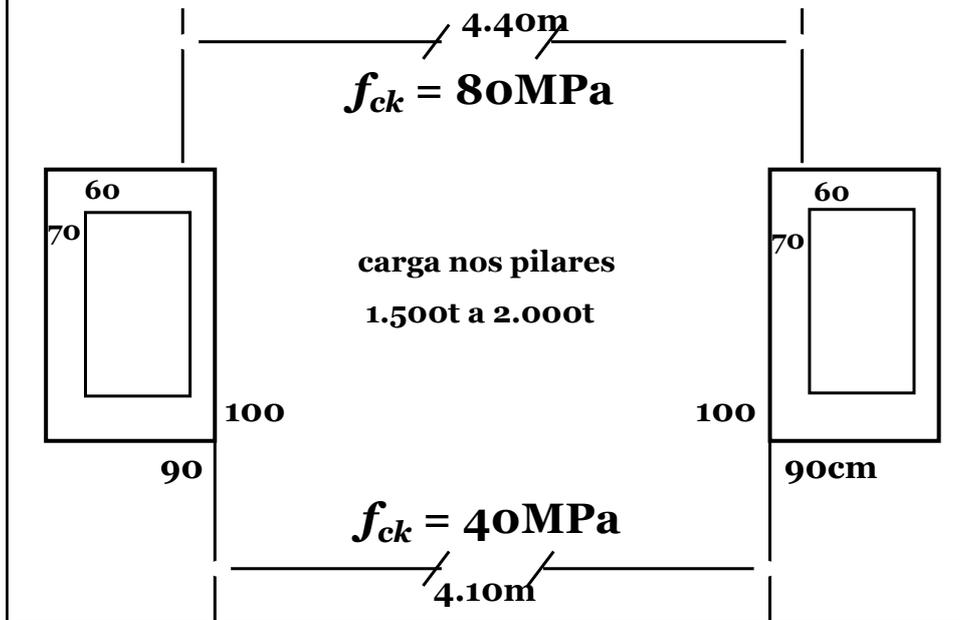
97

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



98

## Projeto estrutural (e-Tower)



99



100



101

## **Economia de recursos naturais**

**Original:**

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

**seção transversal  $\rightarrow$  90cm x 100cm  
0,90m<sup>2</sup>**

**HPC / HSC:**

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

**seção transversal  $\rightarrow$  60cm x 70cm  
0,42m<sup>2</sup>**

102

## **Economia de recursos naturais**

- **70% menos areia**
- **70% menos brita**
- **53% menos concreto**
- **53% menos água**
- **20% menos cimento**

*PhD Engenharia*

103

# **Considerações Finais**

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

*PhD Engenharia*

104

# Edifícios Altos

**Segundo o Council on Tall Buildings and Urban Habitat - CTBUH, um edifício é considerado arranha-céu quando sua altura supera os 300m (>75 andares)**

*PhD Engenharia*

105



## Edifícios Altos



**Tabela comparativa**

Material	Construídos		Em construção	Em projeto
	até 2002	de 2002 a 2012		até 2020
Aço	10	3	4	-
Concreto	8	18	18	4
Composto	14	13	32	4
<b>total</b>	<b>32</b>	<b>34</b>	<b>54</b>	<b>8</b>

fonte: <http://www.skyscrapercenter.com/>

106

Em 1.997 as torres gêmeas  
Petronas, em Kuala  
Lumpur, construídas em  
concreto, superaram em  
altura a torre metálica  
Sears em Chicago

107

Passados poucos  
anos e até 2020,  
haverá 96 novos  
edifícios com altura  
superior a 300m

*PhD Engenharia*

108

Desse total de 96

“arranha-céus”:

- 40 são em concreto
- 49 são compostos
- apenas 7 são de aço

109



## Edifícios Altos



Tabela comparativa

Materiais	edifícios			
	até 2002	%	de 2002 a 2012	%
Aço	10	31%	7	7%
Concreto	8	25%	40	42%
Composto	14	44%	49	51%

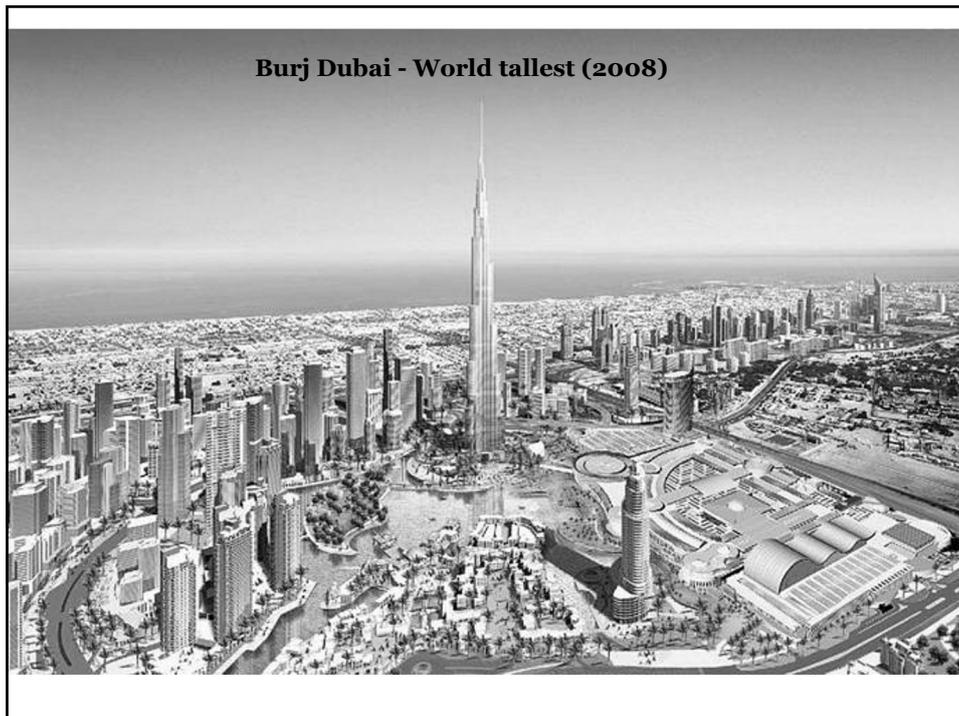
fonte:  
<http://www.skyscrapercenter.com/>

110

O mais alto edifício do mundo, o Burj Khalifa, em Dubai, com 820m, foi construído com concreto

*PhD Engenharia*

111



112

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

113

e... continua em  
franca evolução, sem  
previsão de limites ou  
de substituição!

*PhD Engenharia*

114

***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.***

115



***A Educação Continuada, a responsabilidade e o comprometimento no exercício profissional, a pesquisa e o bem projetar, controlar e construir, com ética e qualidade, é a chave para manter essa importância e vocação da arquitetura e engenharia civil brasileiras.***

116

**Não basta ser  
estudante  
da Faculdade  
Pitágoras**



117

*Tem que ser*  
**Civil**



*PhD Engenharia*

118



119