



Parceiros:
COOPERCON | PA SINDUSCON PARA SENAI FIEPA ADEMI-PA

VOTORANTIM cimentos

SENAI Getúlio Vargas
13/06/2023

Workshop
Tecnologia e Desafios na
Construção Civil
Rumo a um Setor Sustentável



Prof. Paulo Helene
Presidente IBRACON

1



Concreto de Alta Resistência

Vilão ou Herói?

2

HPC e HSC

1. História

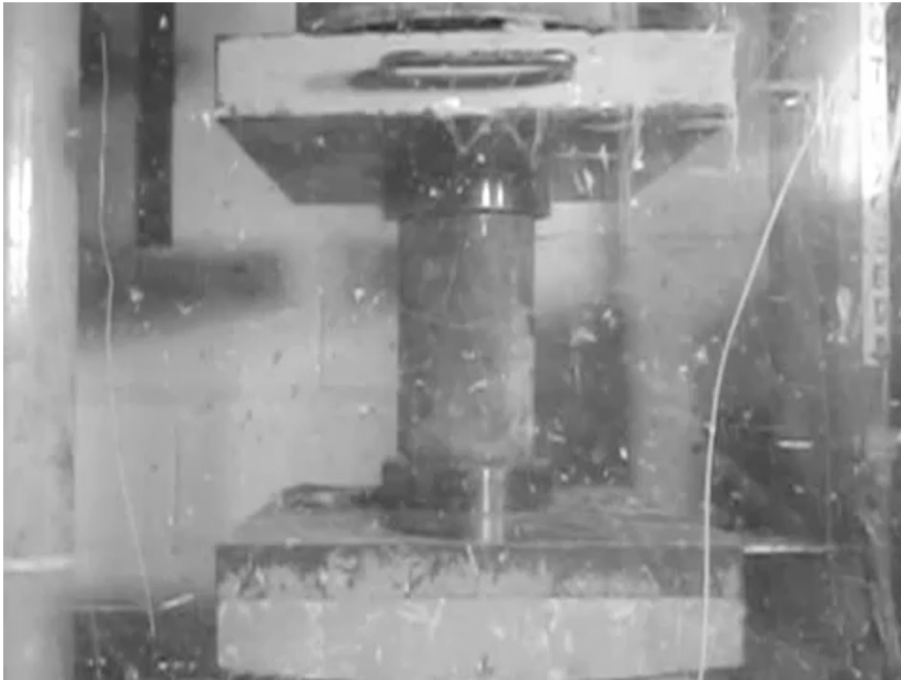
2. 1997 → Edifício CENU $f_{ck} = 50$ MPa

3. 2002 → Edifício e-Tower $f_{ck} = 80$ MPa

4. 2020 → Edifício Leopoldo $f_{ck} = 90$ MPa

5. Como pode ser o futuro?

3



Mito ou Verdade?

*concreto de alta
resistencia e o de
alto desempenho
explodem !*

4

Panteão de Roma

8 MPa ?



5



6

Cúpula do Panteão de Roma

Século II dC

Diâmetro
de 44m



7



8

Edifício Martinelli

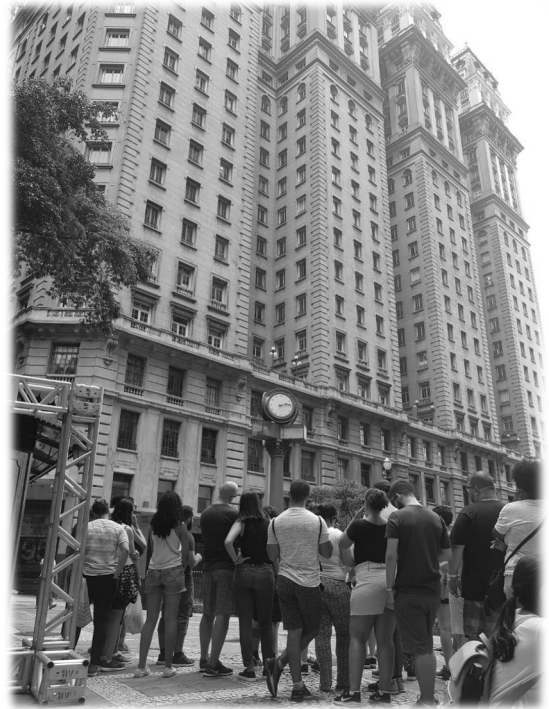
1929 13,5 MPa

106m

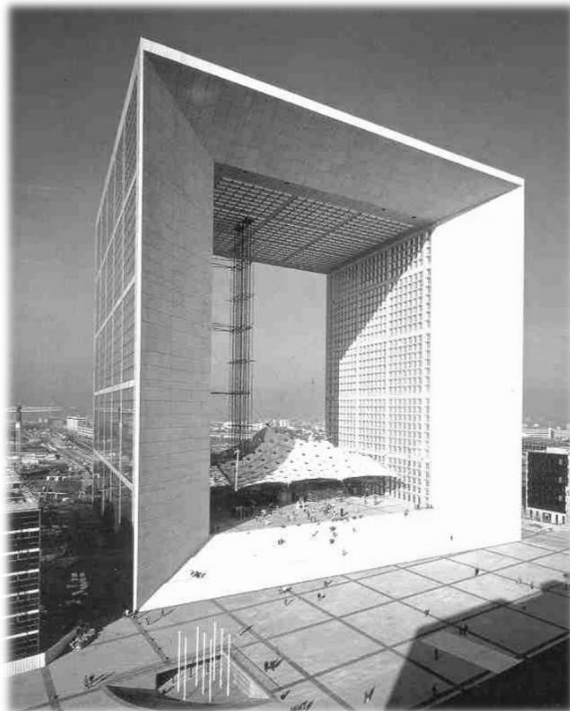
94 anos

world record

São Paulo, Brasil



9



Grand Arche

La Defense

Paris

França 1990

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

“high-tech style”

10



Petronas Towers
Cesar Pelli

Kuala Lumpur

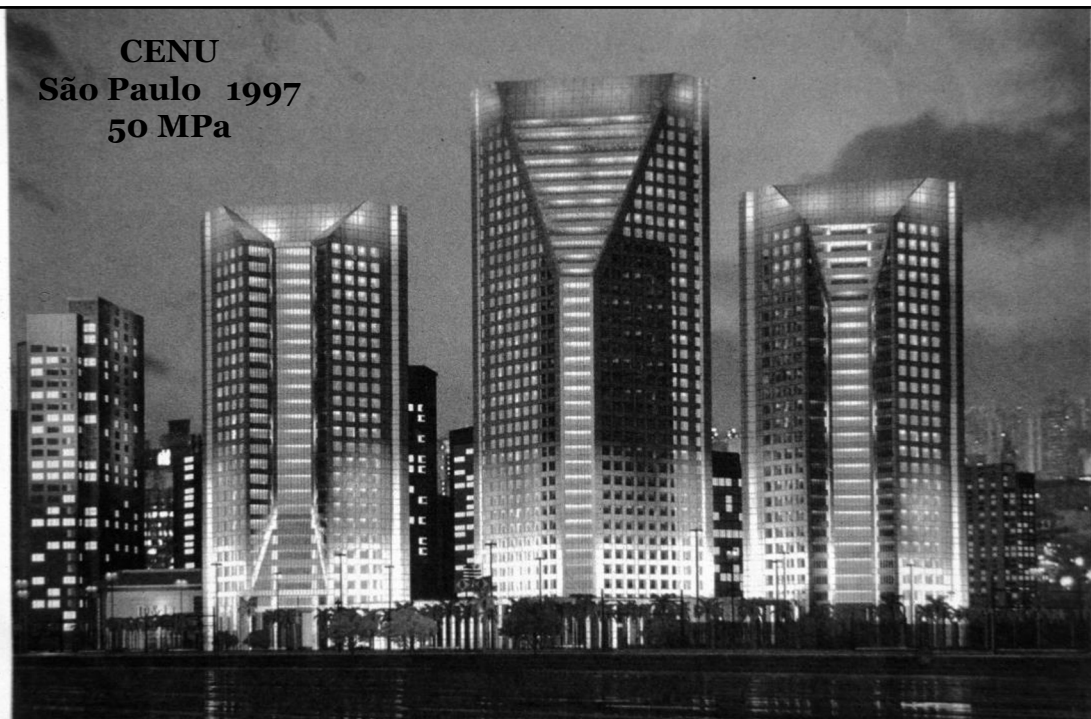
Malasia 1.997

452 m

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

before / after

11



CENU
São Paulo 1997
50 MPa

12

Edifício CENU → Intervenientes

Proprietário	FUNCEF
Gestão	Tishman Speyer
Construtoras	Método, Hochtief(HB) & AKYO
Arquitetura	Alberto Botti e Marc Rubin
Projetista Estrutural	JKMF
Consultor Concreto	PhD Engenharia
Concreto	ENGEMIX
Laboratório	Testin
Qualidade ISO 9002	Richard Vasquez RV
Formas	Peri & Mills
Protensão	MAC
Contrapiso Zero	TEMCO
Armadura	ARMATEC

13

Centro Empresarial das Nações Unidas CENU – Torre Norte – São Paulo

Início: abril 1997

Término: maio 1998 (13 meses)

Altura: 160 m

44 pavimentos

9.000 m³ → pilares (50 MPa)

22.000 m³ → lajes e vigas (**35 MPa**)

14



15

Forma Voadora



16

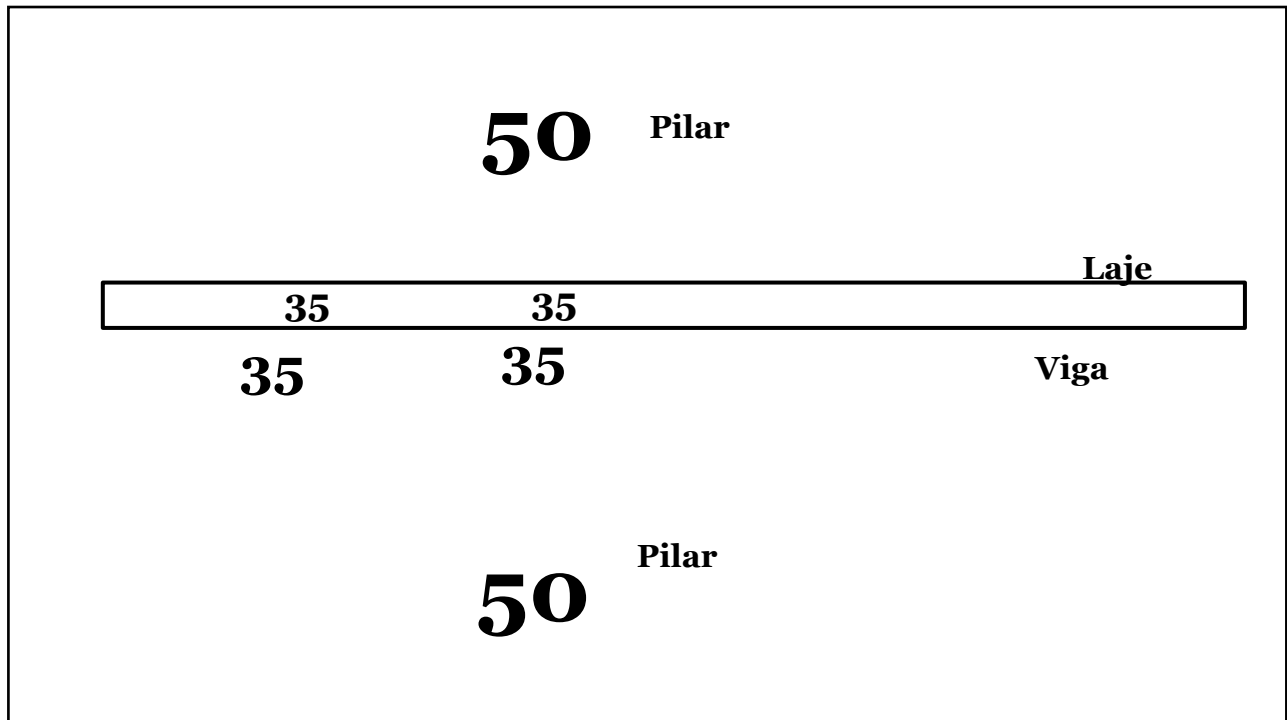
Forma Voadora



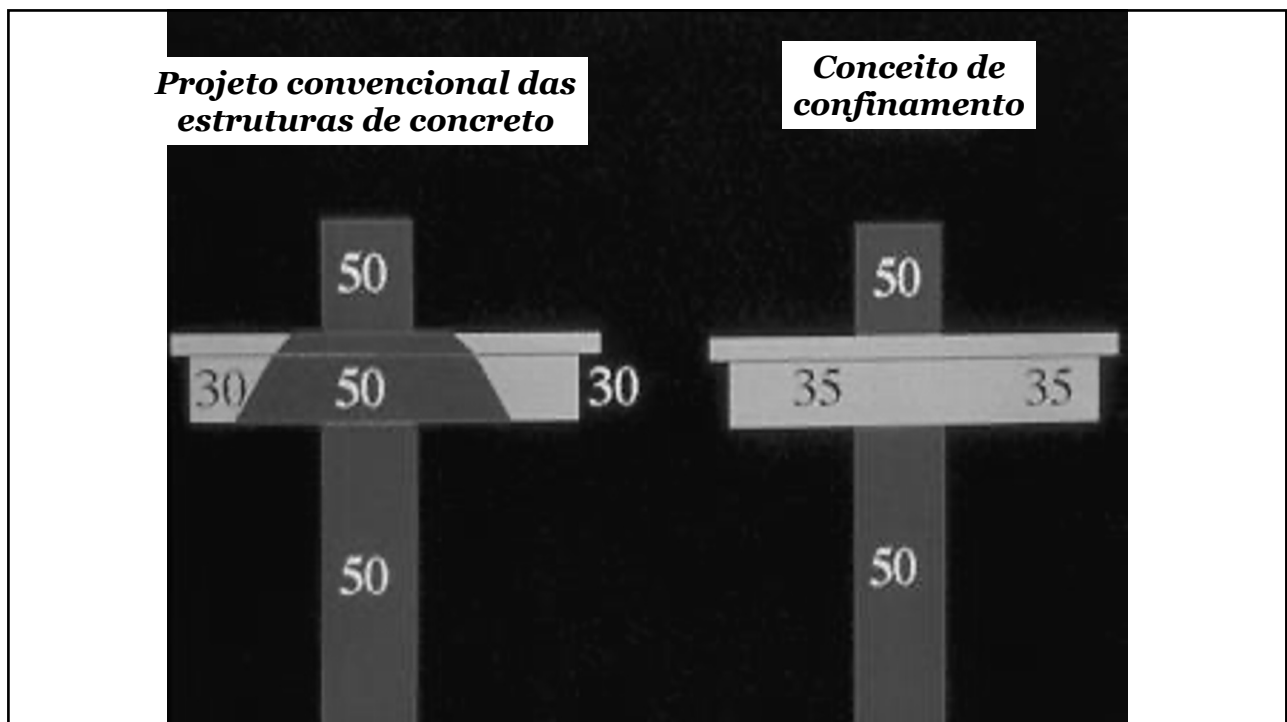
17



18



19



20

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO CONFINADO

Leonel Tula¹; Paulo Helene²; Nelson Diaz³; Antônio Bortolucci⁴

¹ Pesquisador Dr. ² Prof. Titular - Departamento de Engenharia de Construção Civil, USP.

³ MSc. Doutorando USP - Fac. Ing. Civil, Instituto Politécnico José A. Echevarria, Havana.

⁴ Prof. Dr. - Departamento de Geotecnia, EESC, USP.

Resumo

O aumento da resistência à compressão do concreto em condição de confinamento é raramente considerado nos projetos de estruturas de concreto armado. É o caso, por exemplo, dos cruzamentos de pilares de concreto de alta resistência e lajes de concreto de resistência normal, em que são adotados procedimentos de baixa produtividade para dar continuidade aos pilares. Embora existam já recomendações de alguns autores e normas técnicas, não se dispõe ainda de modelos suficientemente esclarecedores, questão que se deve, principalmente, à pouca quantidade de trabalhos que tratam do assunto. Entre os ensaios programados neste estudo esteve o de compressão em câmara triaxial, e os corpos-de-prova de concreto não foram armados como em algumas das pesquisas relatadas na bibliografia sobre o tema. A condição de confinamento neste caso foi obtida também em ensaio axial, utilizando modelo de conjunto, composto de pilar cilíndrico ($f_{ck} = 60$ MPa) interceptado por laje plana ($f_{ck} = 30$ MPa). Foi determinada a contribuição das lajes para o confinamento do concreto na região da interseção. O maior confinamento com o aumento da espessura da laje pode ser explicado pelo alívio das tensões internas, distribuídas numa área maior. Foi possível também quantificar o efeito de confinamento das lajes correlacionando os resultados dos ensaios de compressão axial e triaxial, obtendo-se resultados promissores de até 2 vezes a resistência do concreto não confinado.

Introdução

A resistência a compressão do concreto tem-se consagrado como a propriedade mais abrangente deste material, relacionada direta ou indiretamente aos requisitos de desempenho

IBRACON CBC 2000

Figura 2. Geometria e detalhes dos corpos-de-prova das Séries I e II.

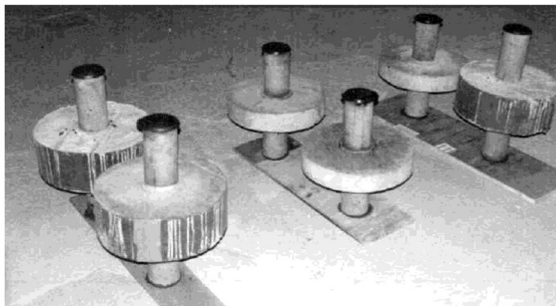


Foto 1. Corpos-de-prova do ensaio de compressão axial. Modelos físicos.

Lajes de 7 e 14 cm
60 MPa e 30 MPa

CRISTIANA FURLAN CAPORRINO

CONFINAMENTO DADO POR LAJES E VIGAS MELHORANDO A RESISTÊNCIA DO PILAR QUE AS CRUZA

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do Título de Mestre em Engenharia

Área de Concentração:
Engenharia de Estruturas

Orientador:
Prof. Doutor Fernando Rebouças Stucchi

São Paulo
2007

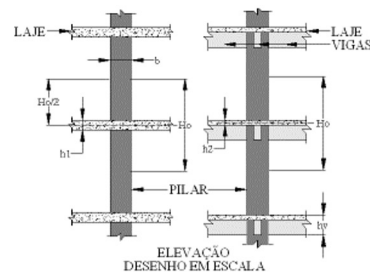


Figura 1.2 Protótipo

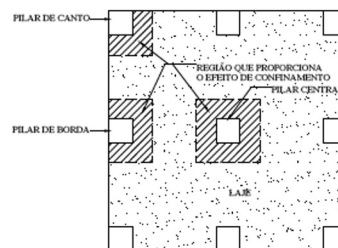


Figura 1.3 Posições de pilares

O objetivo principal é analisar até quanto o efeito do confinamento é capaz de compensar a diferença de resistência dos concretos na interface pilar-laje, considerando-se os casos de um pilar central, caso mais favorável de confinamento, e pilar de canto, no qual estudaram-se algumas soluções para melhorar o confinamento.

Pilar Voador



23



Operário Voador

24

**6 (seis) primeiros meses
21 pavimentos construídos**

média mensal

→ 2.242 m³ → 95% do previsto

- **360 caminhões betoneira/mês → 15/día**
- **1.500 cps/mês → 60/día**
- **5,4 t de concreto em cps/mês**

25

Resultados de controle, média, MPa

idade	3d	7d	28d	63d	91d
f_{cm}	33,6	42,0	58,4	63,7	64,3
s_c	7,1	7,2	6,1	6,7	6,8
v_c	21%	17%	10%	10%	10%
E_c	30,9	33,4	33,8	35,0	35,4

26



27



28

Fixação da fachada



29

e-Tower



30

Edifício e-Tower São Paulo 2002 Intervenientes

Investidor:	Munir Abbud
Construtor:	Tecnum Engenharia
Arquiteto:	Aflalo & Gasperini
Projetista Estrutural:	França & Associados
Consultor Concreto:	PhD Engenharia
Concreto:	ENGEMIX
Laboratório:	L. A. Falcão Bauer
Mestrado:	Carine Hartmann

31

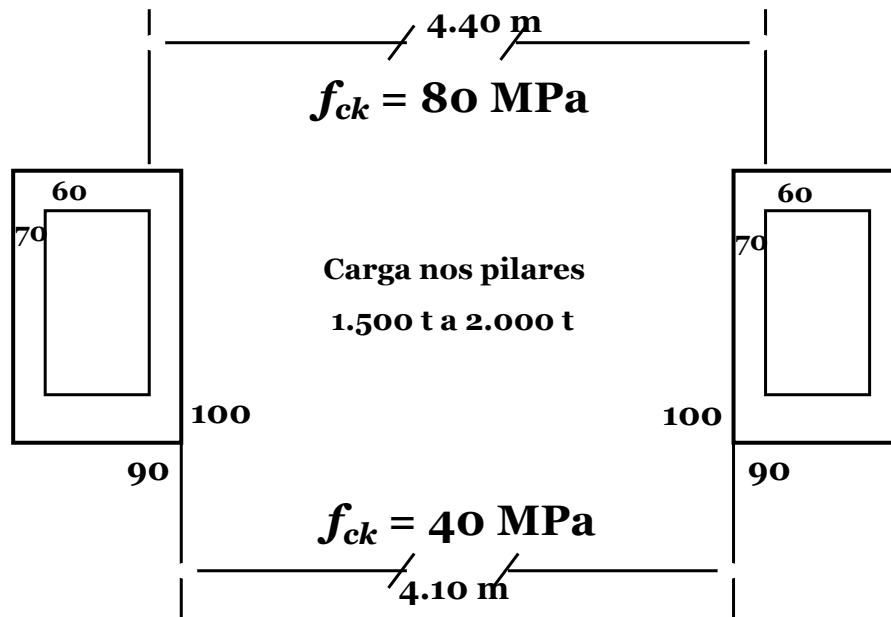


- Edifício e-Tower SP
- 46 (42 + 4) pavimentos
- Heliponto
- Piscina semi-olímpica
- Academia de ginástica
- 2 restaurantes
- Concreto colorido
- f_{ck} pilares = 80 MPa
- f_{ck} geral = 40 MPa



32

Projeto estrutural (*e-Tower*)



33



34

CONTROLE



35



36



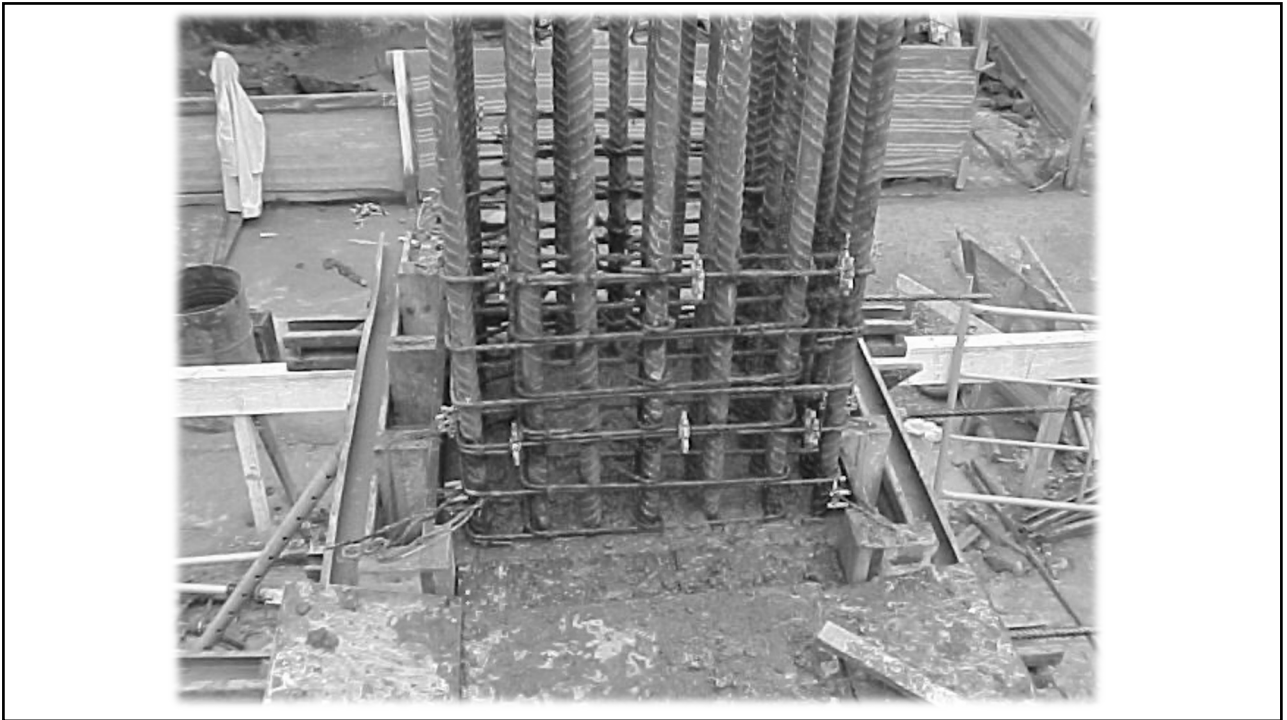
37



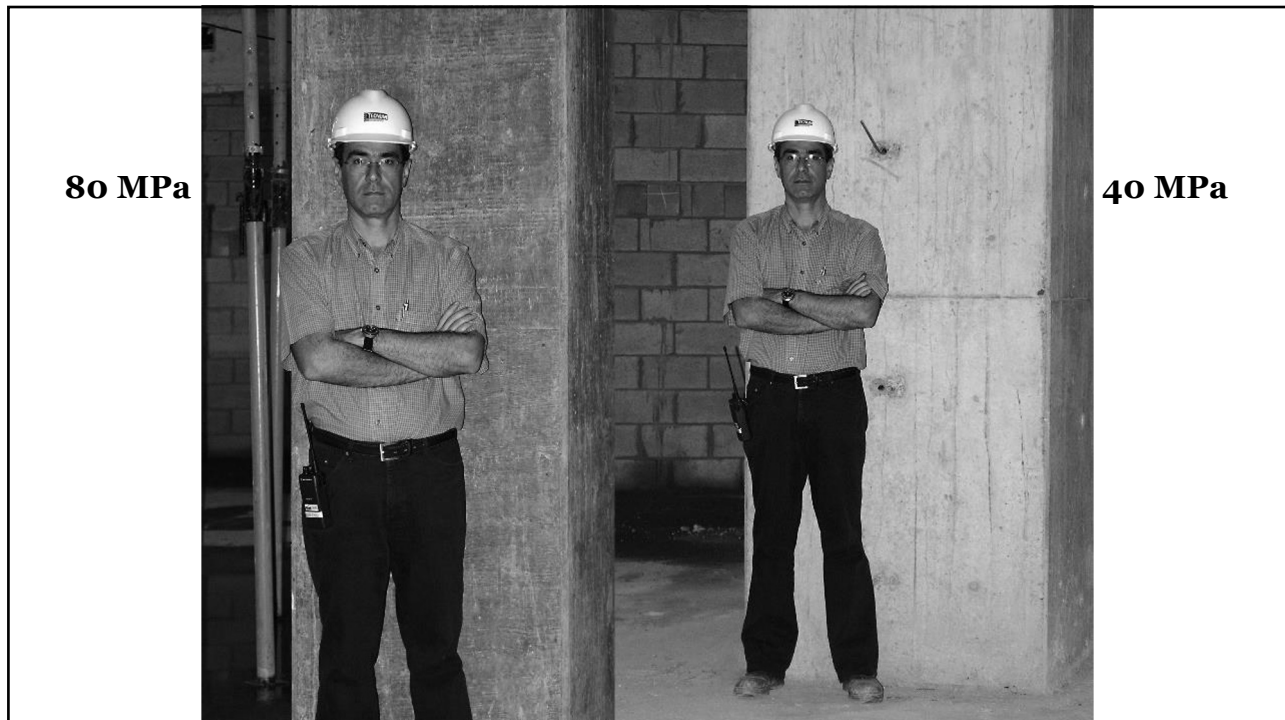
38



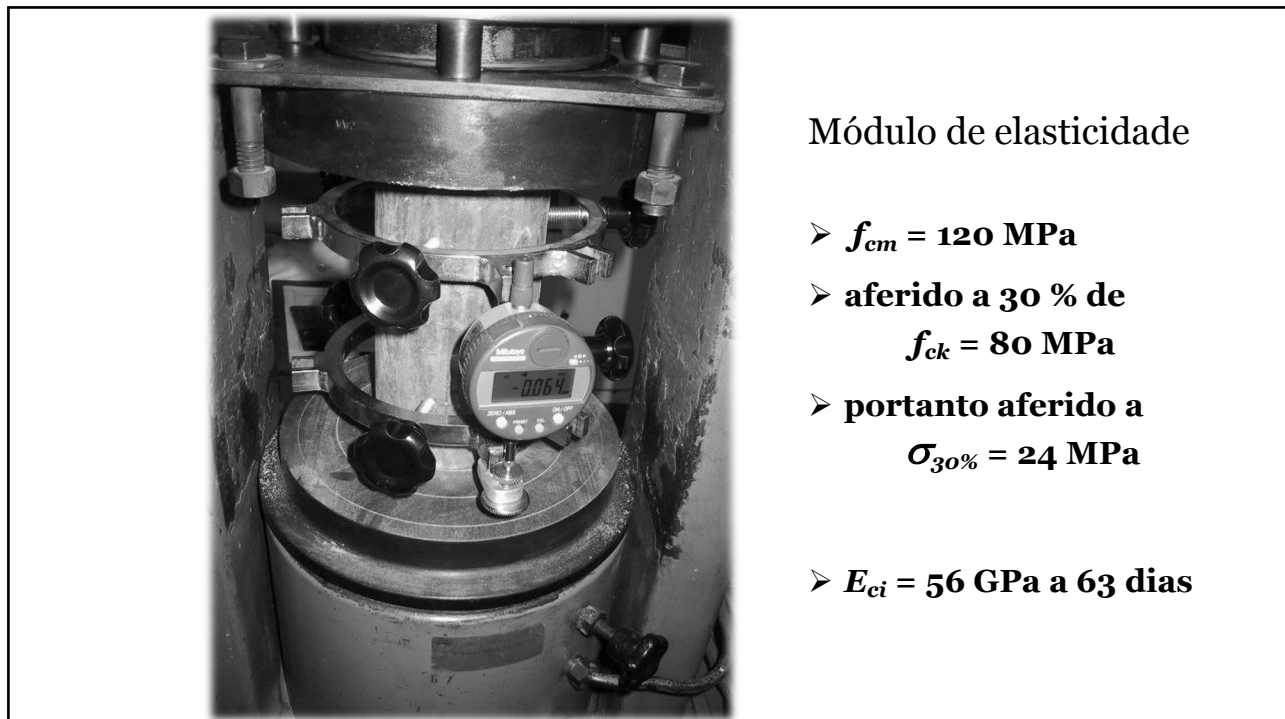
39



40



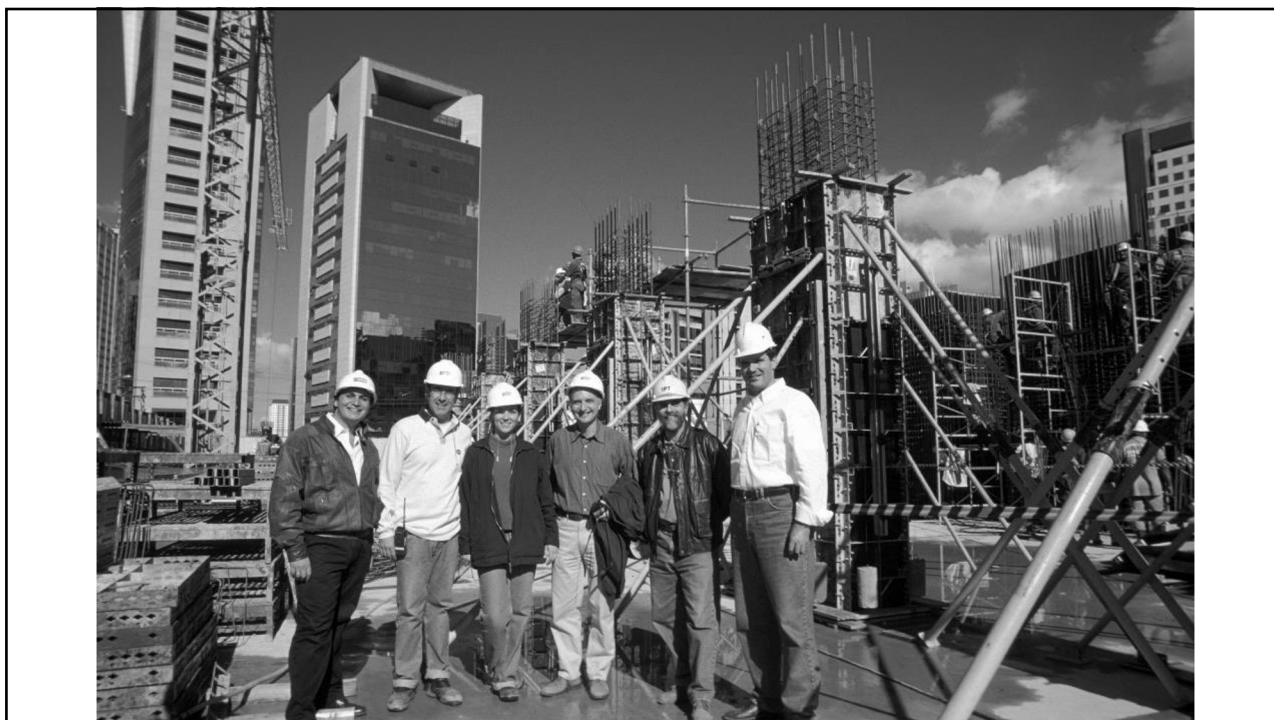
41



Módulo de elasticidade

- $f_{cm} = 120 \text{ MPa}$
- aferido a 30 % de
 $f_{ck} = 80 \text{ MPa}$
- portanto aferido a
 $\sigma_{30\%} = 24 \text{ MPa}$
- $E_{ci} = 56 \text{ GPa}$ a 63 dias

42



43

Resistência à Compressão, MPa

lote	local	exemplar	média	desvio padrão	coef. variação	$f_{ck,est}$
1	4º SS	4	142,6	7	5%	133
2	3º SS	4	127,0	5	4%	122
3	2º SS	4	124,6	7,5	6%	119
4	1º SS	4	126,6	5,5	5%	120
5	Térreo	8	128,4	7,5	6%	123
6	1º Pav	7	127,4	7,9	6%	110
7	2º Pav	4	125,4	7,1	6%	118
desvio padrão e coef. Variação, média ponderada				7	5,5%	112

44



45

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

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

46

Economia de recursos naturais

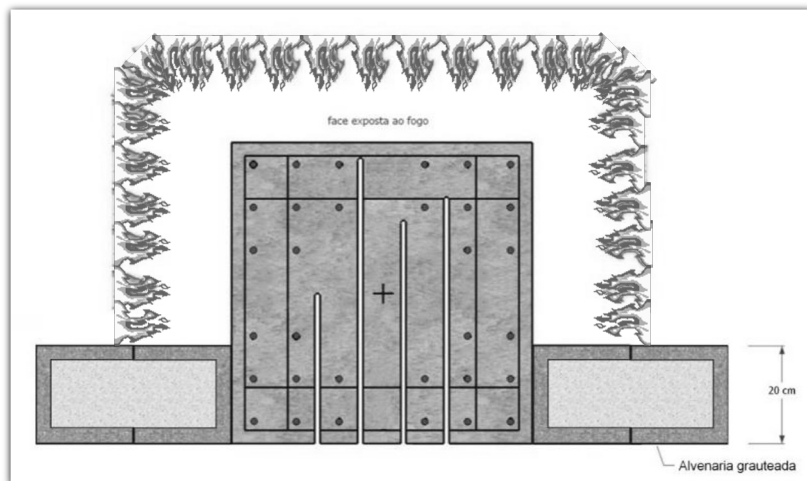
- 50% menos areia
- 50% menos pedra
- 50% menos concreto
- 60% menos água
- 20% menos cimento

47

Economia de recursos naturais

- 35% menos aço
- 31% menos forma
- 5 vezes maior vida útil

48



ISO 834 standard fire

51



***Integridade
180 min (3 h)***

52

Indicadores de Impacto ambiental

- **Emissão de CO₂ (GWP)?**
- **Energia? Água?**
- **Recursos naturais?**
- **Vida útil?**

53

Exemplo

Pilar para 500 tf

$$f_{ck} = 20 \text{ MPa}$$

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

54

**Considerando um pilar típico de um edifício de 20 andares
seção quadrada, 3m de altura, armadura principal**

Força normal característica = 500 tf			
f_{ck} (MPa)	taxa de aço (%)	seção quadrada (cm)	adotado (cm)
20	0.4	71.8 x 71.8	72 x 72
50	0.4	46.9 x 46.9	50 x 50
20	4.0	51.2 x 51.2	52 x 52
50	4.0	39.5 x 39.5	40 x 40

55

**Considerando um pilar típico de um edifício de 20 andares
seção quadrada, 3m de altura, armadura principal**

força normal característica = 500 tf			economia	economia
f_{ck} (MPa)	taxa de aço (%)	adotado (cm)	aço (kg)	concreto (m³)
20	0.4	72 x 72	49 (100%)	1,56 (100%)
50	0.4	50 x 50	24 (49%)	0,75 (48%)
20	4.0	52 x 52	253 (100%)	0,81 (52%)
50	4.0	40 x 40	150 (59%)	0,48 (30%)

56

Composição do concreto

$$***f_{ck} = 20\text{MPa}***$$

$$***Cimento = 280\text{ kg/m}^3***$$

$$***Areia = 845\text{ kg/m}^3***$$

$$***Brita = 1036\text{ kg/m}^3***$$

$$***Água = 210\text{ kg/m}^3***$$

57

Composição do concreto

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

$$***Cimento = 420\text{ kg/m}^3***$$

$$***Areia = 801\text{ kg/m}^3***$$

$$***Brita = 1010\text{ kg/m}^3***$$

$$***Água = 160\text{ kg/m}^3***$$

58

Emissões Gasosas

Material	CO ₂ equivalente GWP (kg/t)	Fonte
Cimento Portland CP III	384	EPD Votorantim
Areia	2,39	CECarbon
Brita	4,27	CECarbon
Água	-	-
Aço Ferro gusa (minério) CA 50 & CA 60 (sucata)	1910	Worldsteel Association
Compensado de madeira	550,90 (kg/m ³)	CECarbon

**Global warming potential (GWP) is a measure of how much a given mass of greenhouse gas is estimated to contribute to global warming. It is a relative scale which compares the gas in question to that of the same mass of carbon dioxide.*

59

1 m³ → Concreto estrutural f_{ck} 20MPa

	1 m ³	GWP kg/t	GWP kg/m ³
Cimento CPIII	280kg	384	108
Areia	845kg	2,39	2,02
Brita	1036kg	4,27	4,42
Água	210kg	-	-
Armadura	0,4% → 32kg	1910	61
	4,0% → 315kg		602
Fôrma 12 m ² /m ³ Chapa de 1.4 cm	0,168 m ³	550,90 (kg/m ³)	92,55
TOTAL			268
			809

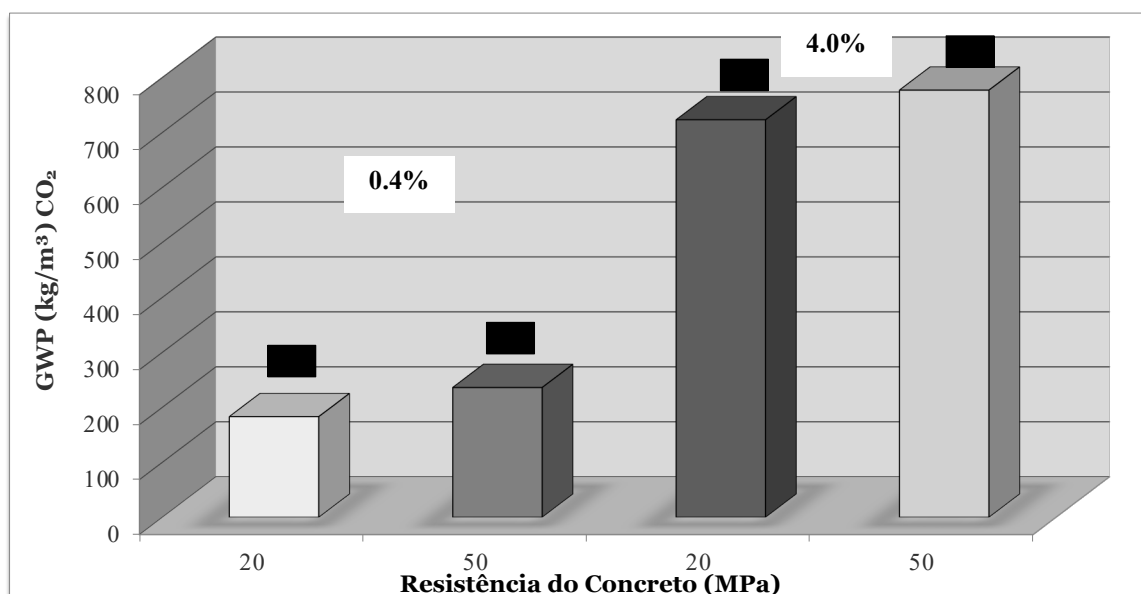
60

1 m³ → Concreto estrutural f_{ck} 50MPa

	1 m ³	GWP kg/t	GWP kg/m ³
Cimento	420kg	384	161
Areia	801kg	2,39	1,91
Brita	1010kg	4,27	4,31
Água	160kg	-	-
Armadura	0,4% → 32kg	1910	61
	4,0% → 315kg		602
Fôrma 12 m ² /m ³ Chapa de 1.4 cm	0,168 m ³	550,90 (kg/m ³)	92,55
TOTAL			321
			862

61

1 m³ de concreto estrutural



62

Conclusão

20MPa com a taxa mínima de armadura é mais sustentável!!

EPD1 (cradle to gate !)

Maneira errada, porque 1m³ não é funcional

63

Pilar com 3m 0,4% armadura, 500tf			
Material	f_{ck}	secção quadrada	GWP
	MPa	cm	kg
Concreto armado (1,55 m ³ → 100)	20	72x72	415 → (100%)
Concreto armado (0,75 m ³ → 48)	50	50x50	241 → (58%)

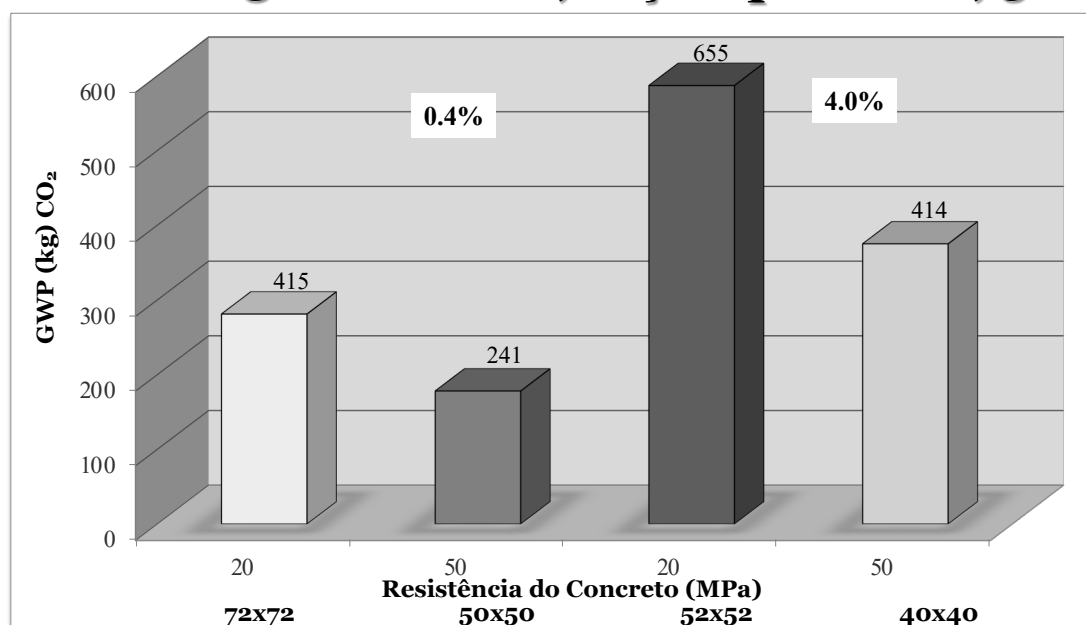
64

Pilar com 3m 4,0% armadura, 500tf

Material	f_{ck}	seção	GWP
	MPa	cm	kg
Concreto armado (0,81 m ³ → 100)	20	52x52	655 → (100%)
Concreto armado (0,48 m ³ → 59)	50	40x40	414 → (63%)

65

Pilar com 3m de altura, seção quadrada, 500tf



66

Pilar com 3m de altura, seção quadrada, 500tf

Material	20 MPa 0,4%	50 MPa 0,4%	benefício ao planeta
concreto m^3	1,55	0,75	- 51,6%
cimento kg	434	315	- 27,4%
areia kg	1.319	601	- 54,4%
brita kg	1.606	756	- 52,9%
água L	325	120	- 63,1%
armadura kg	49	24	- 51,0%
fôrmas (6 reusos) m^2	1,44	1,00	- 30,6%
vida útil ano	50	250	- 80,0%
gases estufa kg	415	241	- 41,9%

67

Pilar com 3m de altura, seção quadrada, 500tf

Material	20 MPa 4,0%	50 MPa 4,0%	benefício ao planeta
concreto m^3	0,81	0,48	- 40,7%
cimento kg	227	201	- 11,4%
areia kg	684	385	- 43,7%
brita kg	839	485	- 42,2%
água L	170	77	- 54,7%
armadura kg	255	151	- 40,8%
fôrmas (6 reusos) m^2	1,04	0,80	-23,1%
vida útil ano	50	250	- 80%
gases estufa kg	655	414	- 36,8%

68

Pilar com 3m de altura, seção quadrada, 500tf

Material	50 MPa 4,0%	50 MPa 0,4%	benefício ao planeta
concreto <i>m³</i>	0,48	0,75	+ 56,3%
cimento <i>kg</i>	201	315	+ 56,7%
areia <i>kg</i>	385	601	+ 56,1%
brita <i>kg</i>	485	756	+ 55,9%
água <i>L</i>	77	120	+ 55,8%
armadura <i>kg</i>	151	24	- 84,1%
formas6 <i>m²</i>	0,80	1,00	+ 20,0%
vida útil <i>ano</i>	250	250	nihil
gases estufa <i>kg</i>	414	241	- 41,8%

69

ACI Fall Convention 2021
Atlanta, GA. Oct. 17th – 22nd

aci CONCRETE
CONVENTION

Leopoldo 1201

A SUSTAINABLE ICONIC ARCHITECTURAL
AND HIGH-PERFORMANCE CONCRETE
BUILDING IN THE NEW SAO PAULO SKYLINE

Douglas Couto
PhD Engenharia
São Paulo, Brazil

70

The ACI Excellence in Concrete Construction Awards



The ACI Excellence in Concrete Construction Awards celebrate innovation and inspire excellence throughout the global concrete design and construction community.

Join us for the 2023 ACI Excellence in Concrete Construction Awards on Monday, October 30, 2023.

Now more than ever, concrete design and construction projects must

2023 EXCELLENCE AWARDS

The next annual ACI Excellence in Concrete Construction Awards will be held October 30, 2023, during the ACI Concrete Convention in Boston, MA, USA.

SUPPORT THE EXCELLENCE GALA

Place your company at the forefront of the gala, gaining exposure to industry professionals when you sponsor the ACI Excellence in Concrete Construction Gala.

[LEARN MORE NOW »](#)

2022 WINNERS

View the most recent Excellence Award winners.

[SEE MORE »](#)

71

Join us for the 2023 ACI Excellence in Concrete Construction Awards on Monday, October 30, 2023.

Now more than ever, concrete design and construction projects must integrate creative techniques and technologies to keep up with ever-evolving economic, environmental, and aesthetic demands. The ACI Excellence in Concrete Construction Awards provides a platform to recognize concrete projects at the forefront of innovation and technology and showcases these projects to inspire excellence in concrete design and construction around the world.

The awards program will call upon the global network of ACI chapters to submit award-winning projects in the following seven categories:

- Low-Rise Structures (up to three stories)
- Mid-Rise Structures (4-15 stories)
- High-Rise Structures (more than 15 stories)
- Decorative Concrete
- Flatwork
- Infrastructure
- Repair and Restoration

Additional Information

Learn more about the ACI Excellence in Concrete Construction Awards by clicking the links below, or by contacting Esther Beery at Esther.Beery@concrete.org or by phone +1.248.848.3162.

2022 WINNERS

View the most recent Excellence Award winners.

[SEE MORE »](#)

72

First Place – High-Rise Structures



Leopoldo 1201, São Paulo, Brazil. The Leopoldo 1201 residential building has a total built area of 10,974 m² (118,120 ft²) within 1125 m² (12,100 ft²) of land, with four underground floors, a ground floor, and 23 stories. This building has one house/apartment per floor and a penthouse at the top. The architectural concrete façades emphasize the biophilic design of the terraces that have varied designs that vary in thickness and span. The building columns have reduced cross sections to increase the internal free space and to provide more parking spaces; and the architectural concrete of the terraces was formed with a slatted wood texture. These characteristics posed great challenges for the structural design and development of the concrete mixtures.

Project Team Members: *Owner:* Nortis Incorporadora e Construtora Ltda.; *Architectural Firm:* aflalo/gasperini arquitetos; *Engineering Firm:* Ávila Engenharia de Estruturas Ltda.; *General Contractor:* Nortis Incorporadora e Construtora S.A. *Concrete Contractor:* PhD Engenharia Ltda.; *Concrete Supplier:* Votorantim Cimentos S.A. – Engemix.

Nominator: Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), ACI International Partner

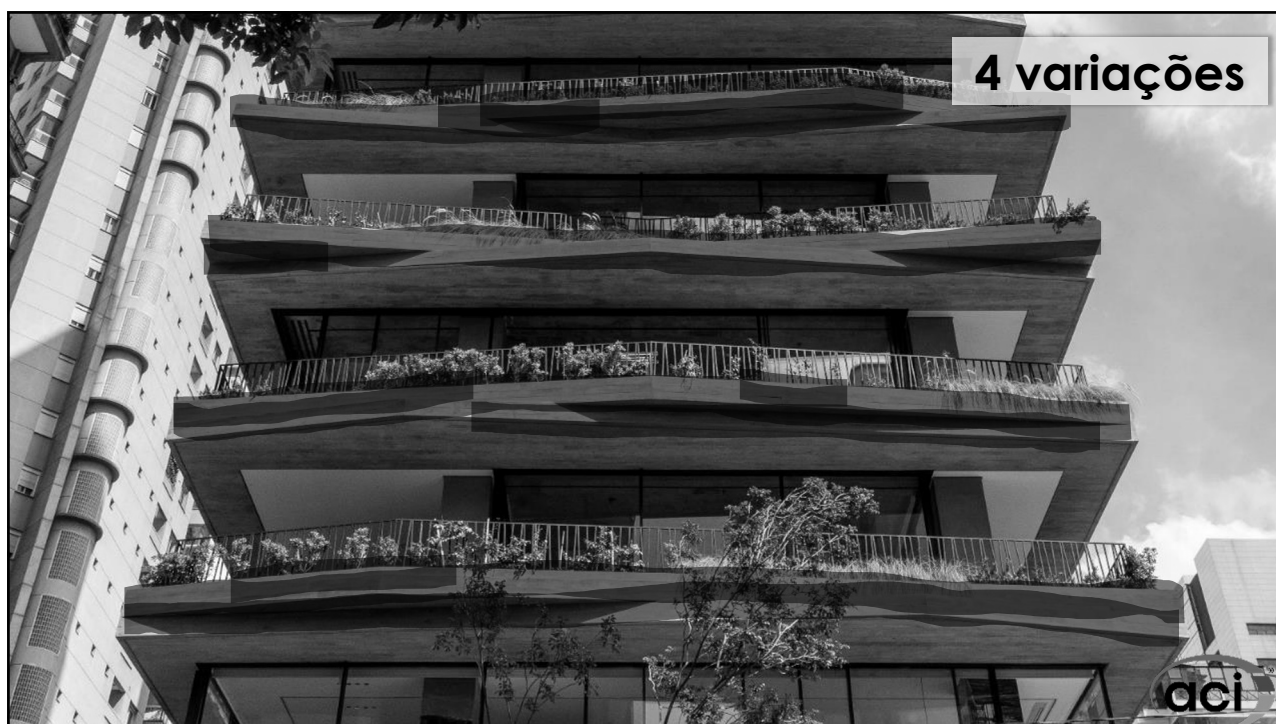
73



74



75



76



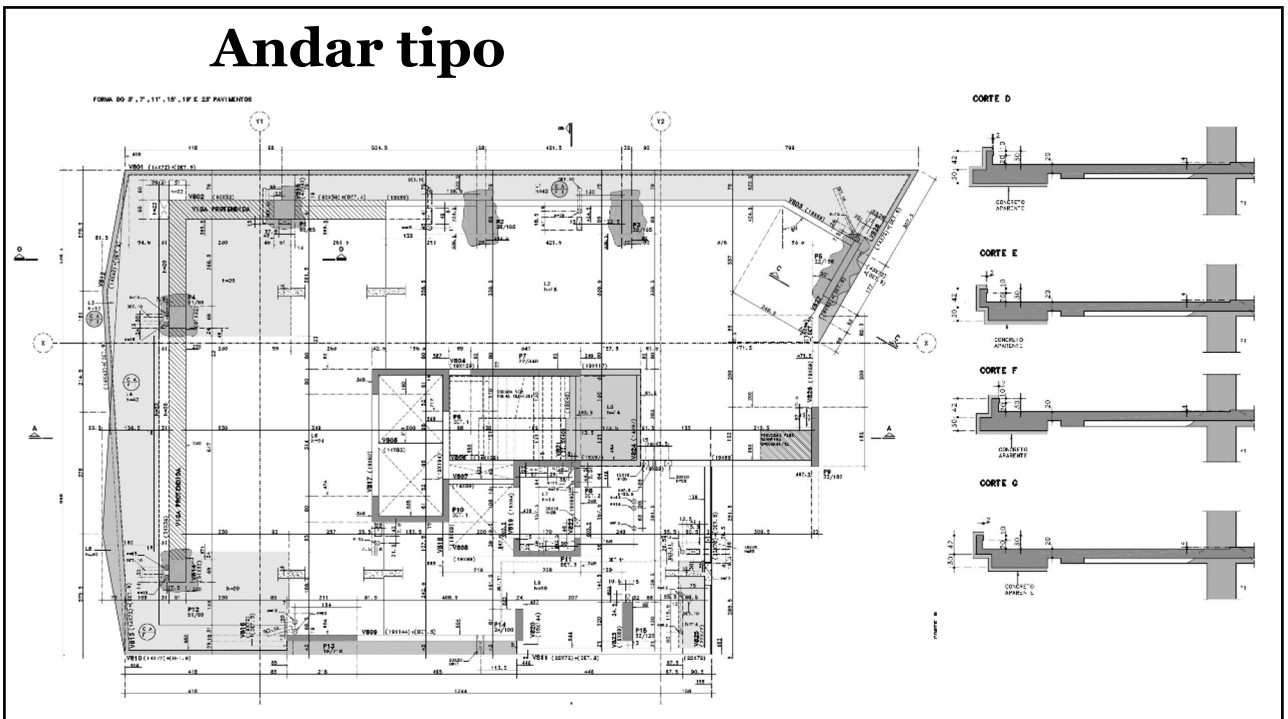
77



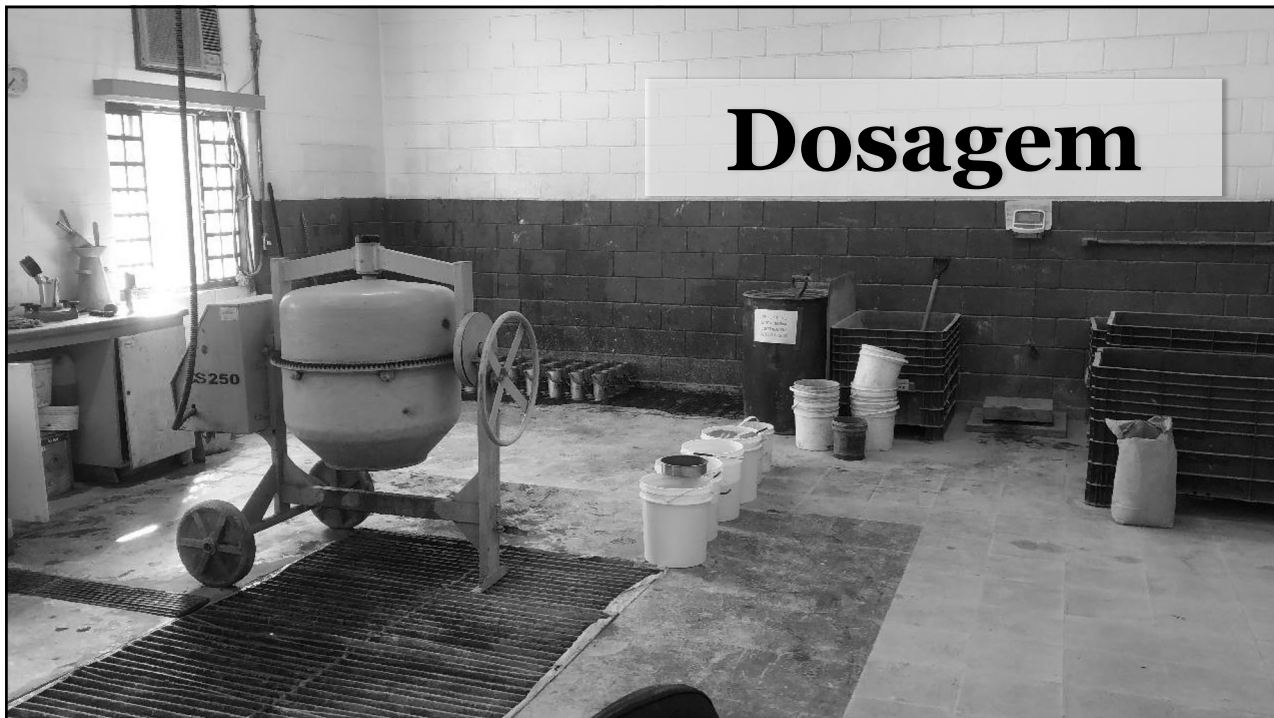
78



79



80



81

Traço do concreto C90



Clinker Portland:	438 kg/m³
Escória de alto forno:	91 kg/m³
Filler calcário :	49 kg/m³
Silica ativa:	84 kg/m³
a/cm:	0.25
Aditivo 1:	1.7%
Aditivo 2:	0.9%
Aditivo 3:	0.1%
Aditivo 4:	0.1%
Pigmento vermelho:	1%
Agregado graúdo:	calcário
Agregado miúdo:	quartzito

82

Protótipos



83

Protótipos



84

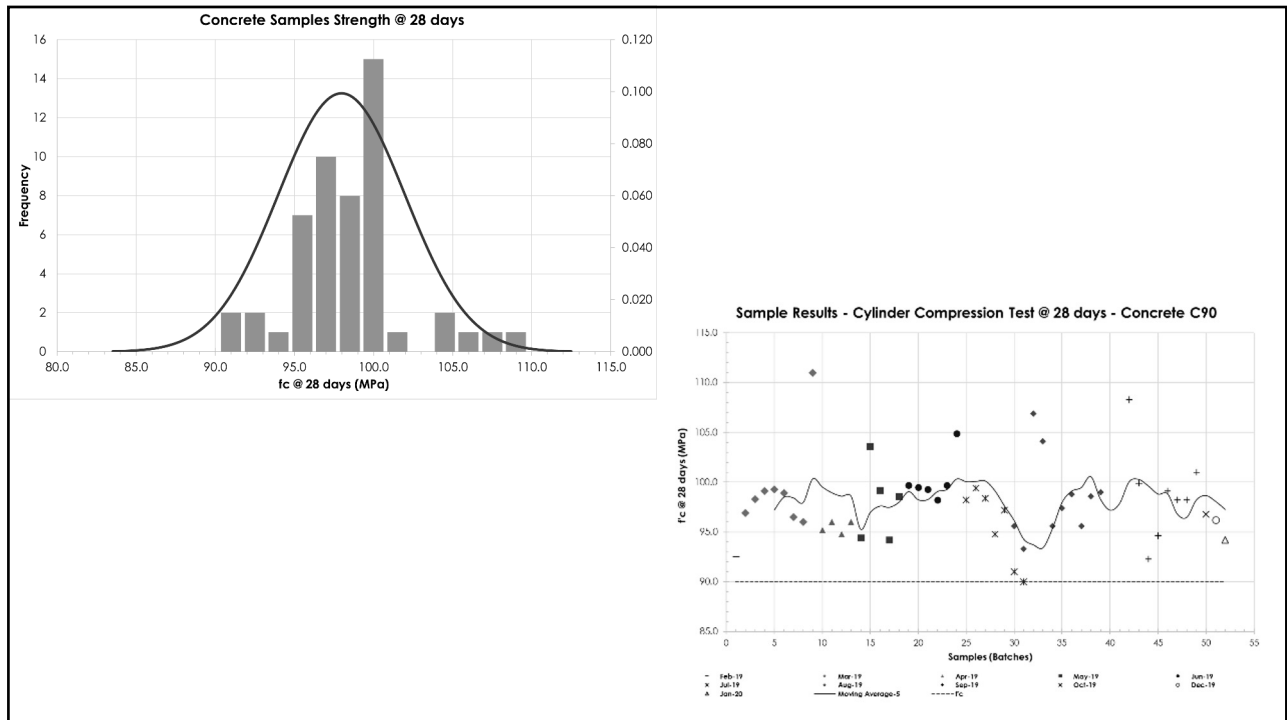
Protótipos



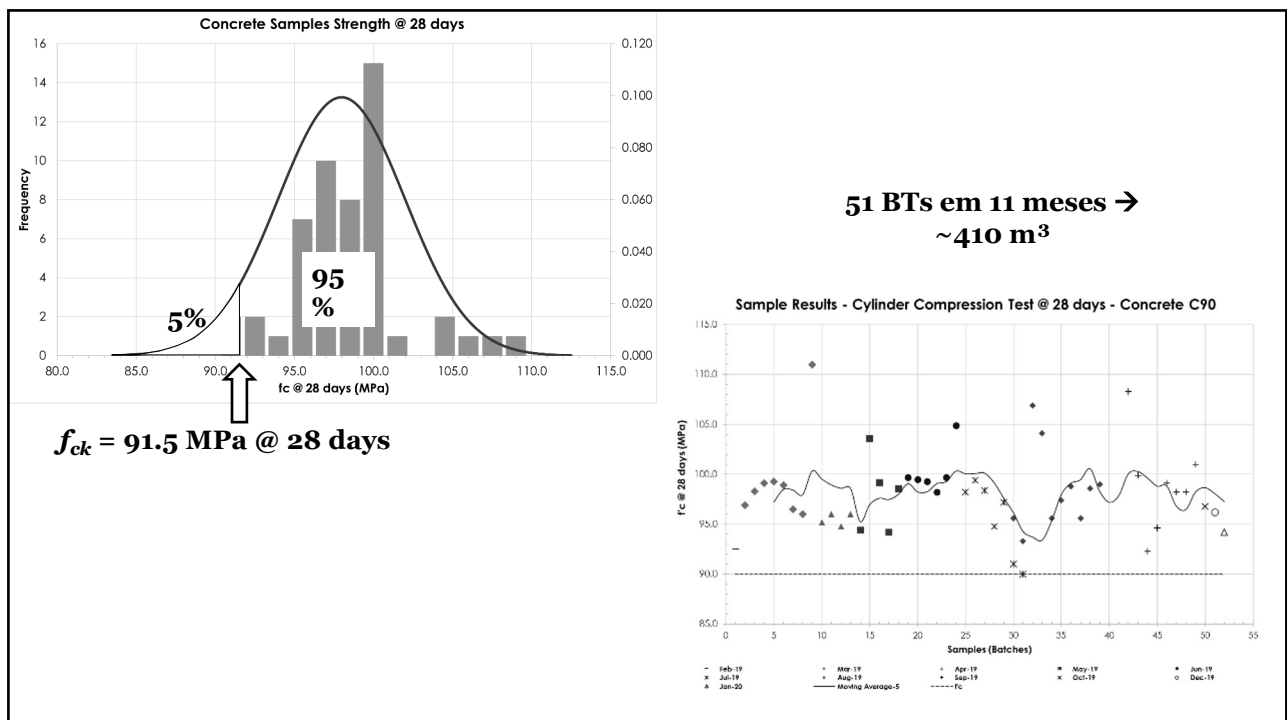
85



86



87



88

Controle:

28 dias f_{cm} :	98 MPa
63 dias f_{cm} :	105 MPa
Desvio padrão:	4.01 MPa
Variabilidade:	4.1%
$f_{ck,est}$:	91.5 MPa
Módulo @ 28 days:	48.5 GPa
Módulo @ 91 days:	50.0 GPa

89

Traço do concreto

C90

Clinker Portland:	438 kg/m³
Slag:	91 kg/m³
Filler (limestone) :	49 kg/m³
Silica Fume:	84 kg/m³
Water/Cement ratio:	0.25
Admixture 1:	1.7%
Admixture 2:	0.9%
Admixture 3:	0.1%
Admixture 4:	0.1%
Pigment:	1%
Aggregate:	Limestone
Sand:	Quartz

C90: 4.87 kg clínquer/MPa

C50

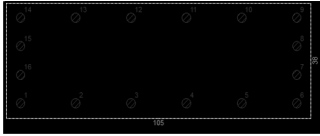
Clinker Portland:	303 kg/m³
Slag:	63 kg/m³
Filler (limestone) :	34 kg/m³
Silica Fume:	22 kg/m³
Water/Cement ratio:	0.45
Admixture 1:	0.35%
Admixture 2:	0.93%
Aggregate:	Limestone
Sand:	Quartz

C50: 6.06 kg clínquer/MPa

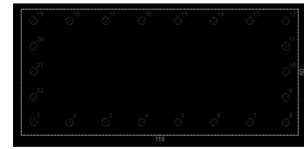
90

Comparação (pilar altura 3,35m)

C90 (105 x 38)



C50 (110 x 50)



Item	C90	C50	benefício ao planeta
concreto	1.34 m ³	1.85 m ³	- 28%
forma	9.61 m ²	10.75 m ²	-11%
aço	340 kg	447 kg	- 27%
cimento	774 kg	740 kg	+ 5%
areia	713 kg	1689 kg	-58%
brita	1351 kg	1672 kg	-20%
água	221 L	351 L	- 37%
CO ₂ emissão	1.42 ton	1.72 ton	-17%
vida útil de projeto	1000	200	- 80,0%

91

HPC → Vilão ou Herói

Sustentabilidade tem tudo a ver com
empregar concreto de alto desempenho
(HSC/ HPC)

92

Reflexões

- 1. Planejar com antecedência**
- 2. Envolver equipe multidisciplinar**
- 3. Escolher bem os parceiros**
- 4. Fazer protótipos**
- 5. Estar atualizado**
- 6. Gostar de avanços tecnológicos**

93



94

OBRIGADO!



"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

paulo.helene@concretophd.com.br

www.phd.eng.br

55.11.2501.4822