

PhD
Engenharia

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Lecciones de Fallas y Accidentes en Estructuras de Hormigón

Paulo Helene
Diretor PhD Engenharia
Prof. Titular Universidade de São Paulo USP
Conselheiro Instituto Brasileiro do Concreto IBRACON
Member fib(CEB-FIP) Service Life of Concrete Structures
Presidente ALCONPAT

USP Universidade de São Paulo
ESCOLA POLITÉCNICA DA USP
IBRACON
fib
ALCONPAT

Alicante 14 de dezembro de 2011 España

1

Errores, Fallas, Omisiones, Colapsos, Accidentes, Frustraciones, Retrasos, Constreñimientos, Decepciones, Vergüenza...

2

**“Duro”
Aprendizaje!**

3

**“Duro”
Aprendizaje!**
*vitórias/soluciones/desafio
s*

4

Robert Stephenson discurso de posse presidência Instituto dos Engenheiros Civis da Grã-Bretanha. 1856:

“...tenho esperança de que todos os acidentes e problemas que tem ocorrido nos últimos anos sejam registrados e divulgados.

Nada é tão instrutivo para jovens e experientes engenheiros como o estudo dos acidentes e da sua correção.

O diagnóstico desses acidentes, o entendimento dos mecanismos de ocorrência, é mais valioso que a descrição dos trabalhos bem sucedidos.

Com esse objetivo nobre é que proponho a catalogação , discussão e divulgação desses problemas através desta reconhecida Instituição...”

5

✓ Postura

✓ com experiência de um CONSTRUTOR

✓ conhecimento de quem atende casos de colegas

✓ com a humildade de quem já errou...

6

Edifício Comercial

2009

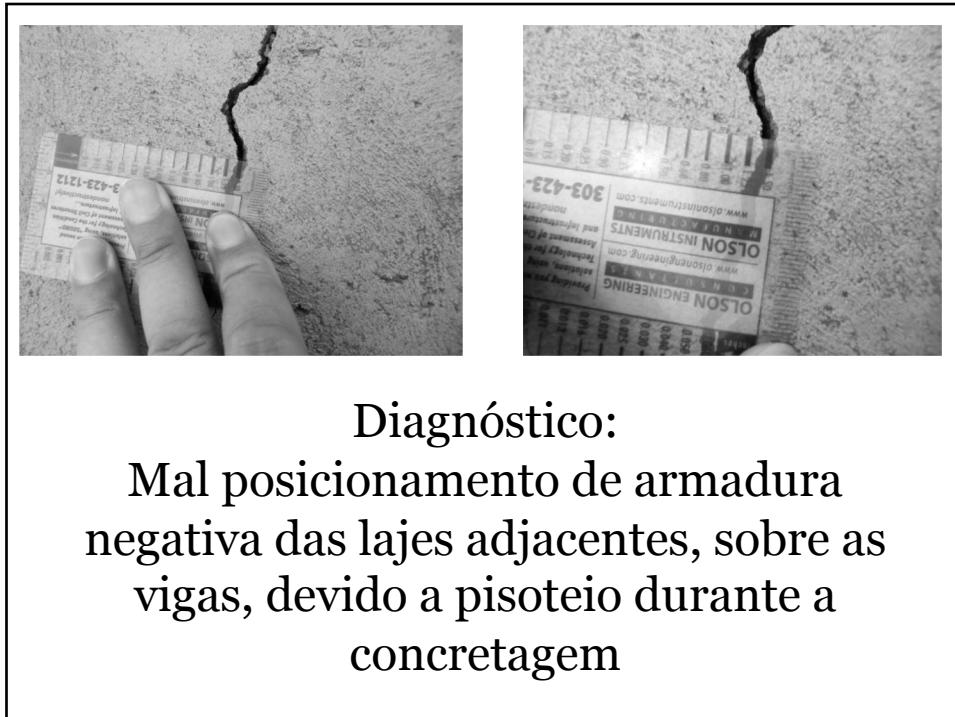
fisuras em losas

obra nova

7



8



9



10



11

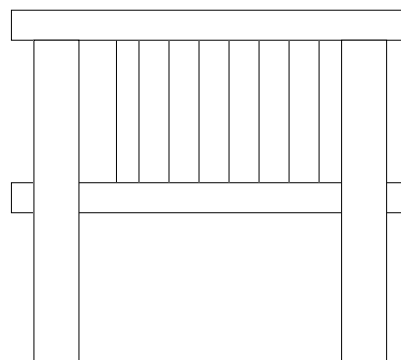


12

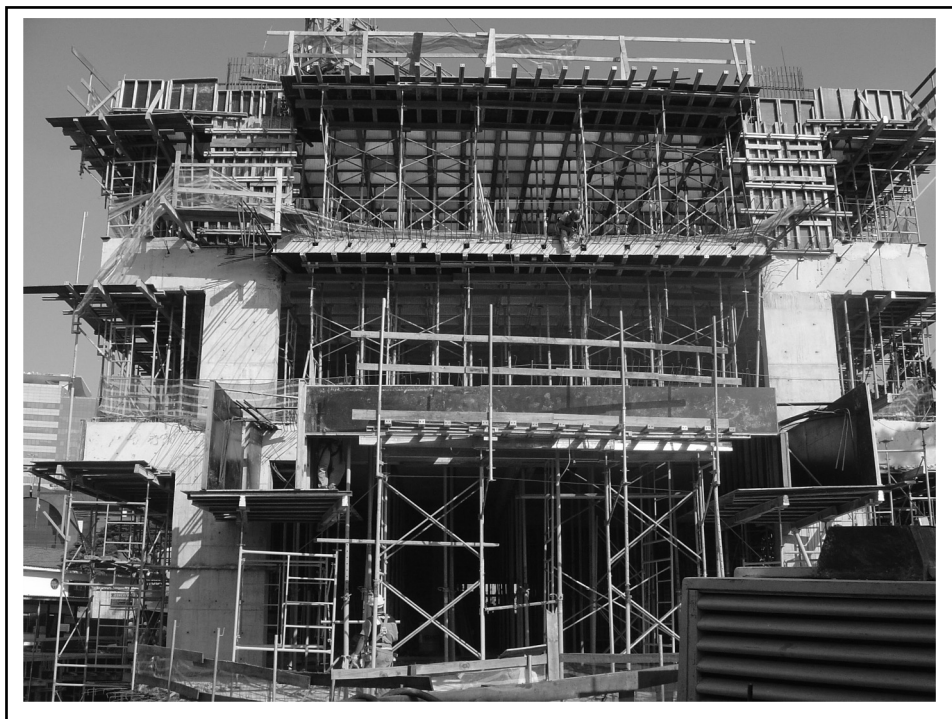
Lasa de 15cm de espessura :
 375kg/m^2

Dimensionada para 150kg/m^2

1 ano de idade



13



14

***Irresponsabilidade
ou
Incompetência?***

**Caso 1:
bloque de cimentación
350m³
 $f_{ck} = 35\text{MPa}$
39 caminhões OK**

**6 caminhões
com f_{ck} de 8MPa a 12MPa**

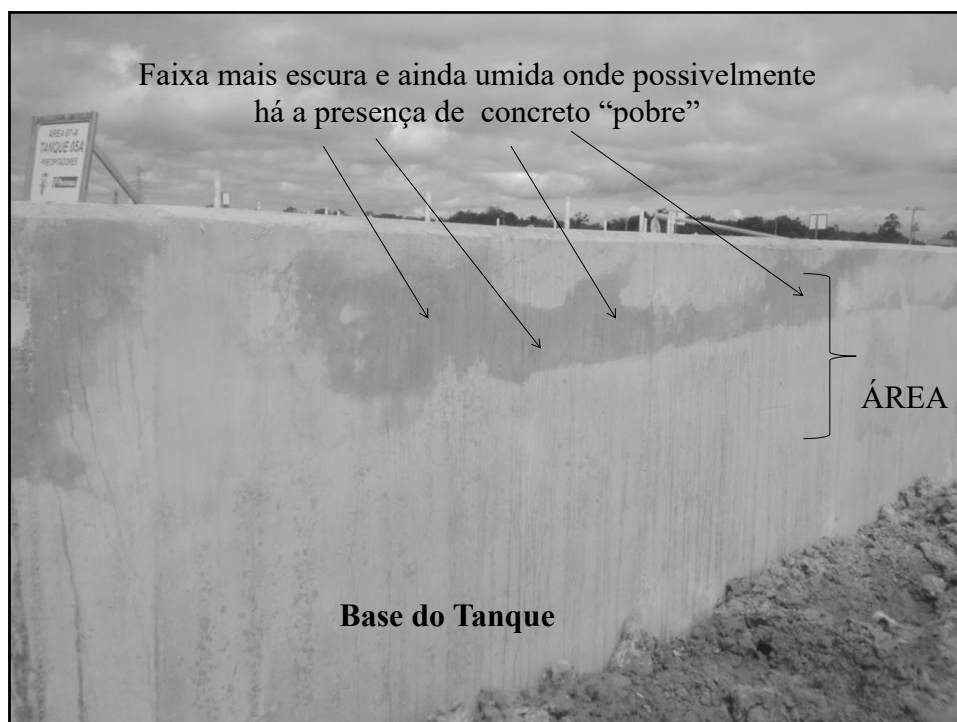
15



16



17



18

- **o Motorista não percebeu?**
- **quem realizou o controle de aceitação do concreto?**
 - **o bombista não reclamou?**
- **O Encargado de obras não percebeu?**
- **o Engenheiro Director de obras viu?**

**OMISSÃO
IGNORÂNCIA
FALTA de COMPROMISO**

19

Resposta do Engenheiro Construtor:

**Nós percebemos mas decidimos colocar
250kg de cimento (5sacos) dentro do
balão para compensar...**

**Depois de 28dias deu no que deu!
e ainda queria cobrar da Concreteira...**

20

***Irresponsabilidade
ou
Incompetência?***

Caso 2:

edifício da Diretoria da Construtora

8º andar

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

1 caminhão com 10MPa

9 pilares!

21



22



23



24



25



26



27



28



29



30



31



32

MARTES 13 de Marzo de 2001 ABC Madrid

En los últimos 26 años han fallecido 33 personas a consecuencia de derrumbes de inmuebles, cornisas, marquesinas y muros en Madrid.

El pasado 7 de marzo, un ingeniero moría al derrumbar-se un edificio de cuatro plantas en la confluencia de Gaztambide con Alberto Aquilera, en pleno centro de la capital y una docena de personas resultaron heridas.

33

El 22 de enero de 1999 murió una joven de 18 años al caer sobre el coche en el que viajaba un trozo de la cornisa del teatro Calderón de Madrid.

El 27 de enero de 1993, murieron 6 personas al desplomarse la marquesina del cine Bilbao, situado en la calle Fuencarral, cuando hacían cola para comprar entradas.

34

seria un caso
de sabotage???

!!!

35

Dados do Edifício:

Localização: Rio de Janeiro, RJ.

36pavimentos + 5subsolos

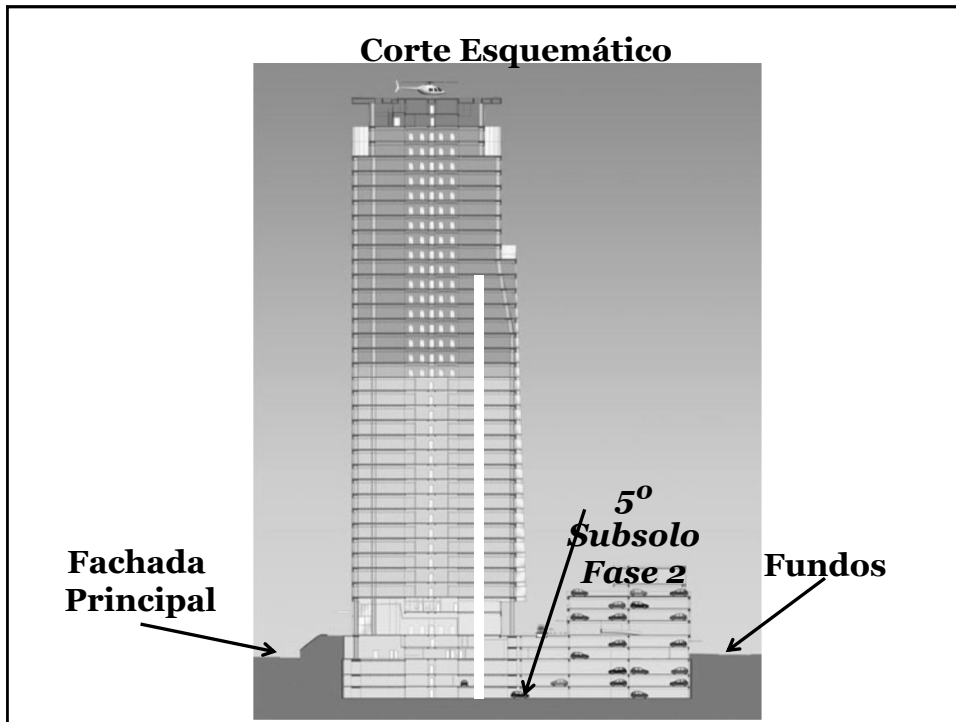
Pilar P1 Esforços de projeto:

Normal: 1.253tf

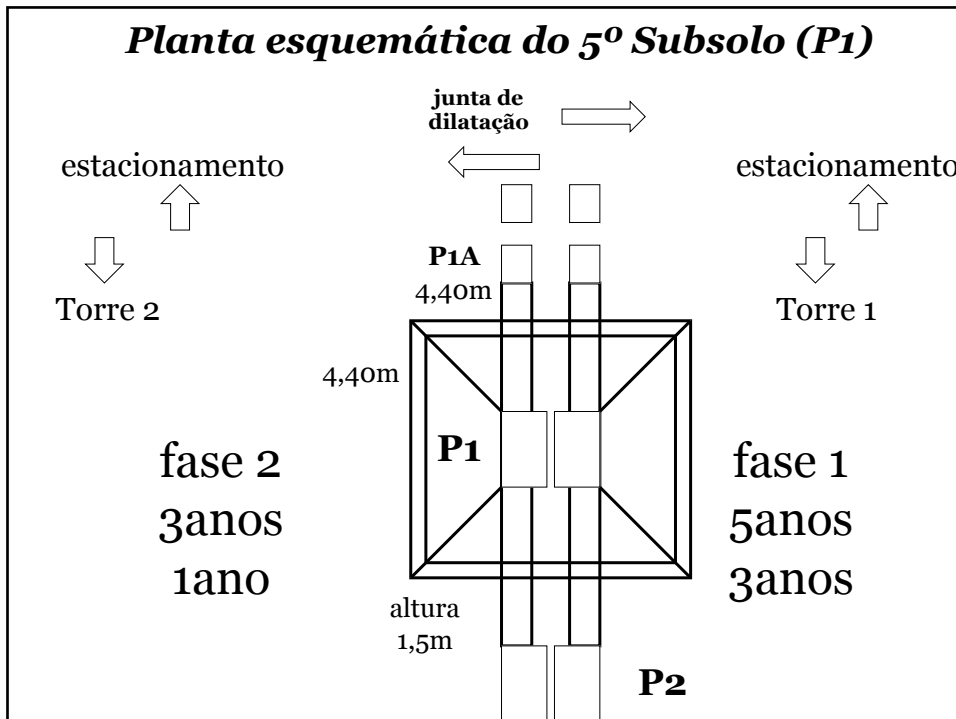
Mx: 55tf.m

My: 8tf.m

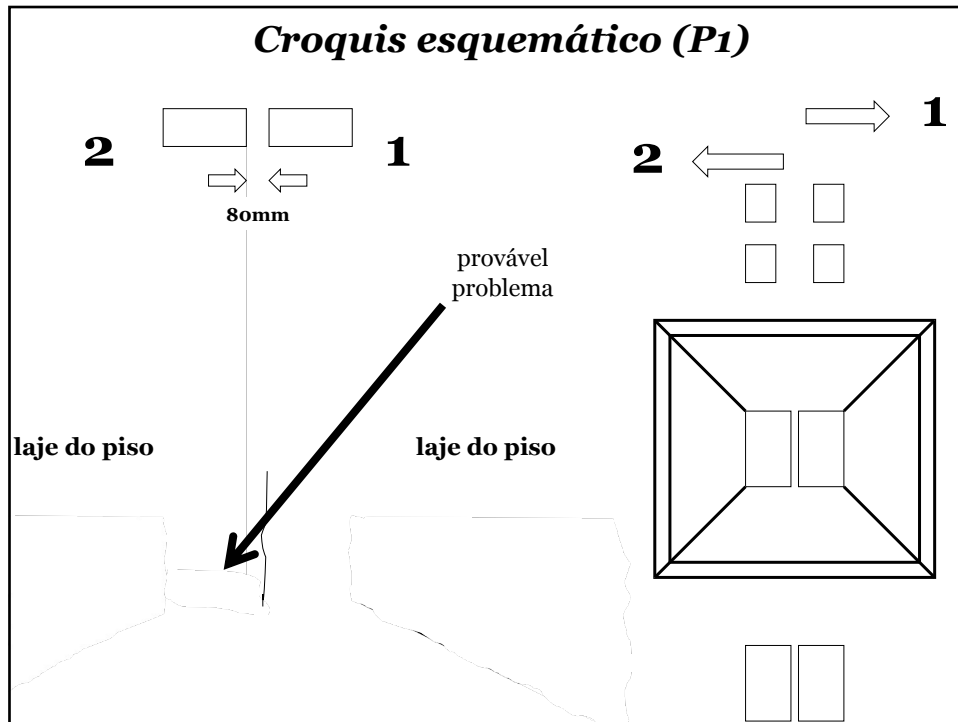
36



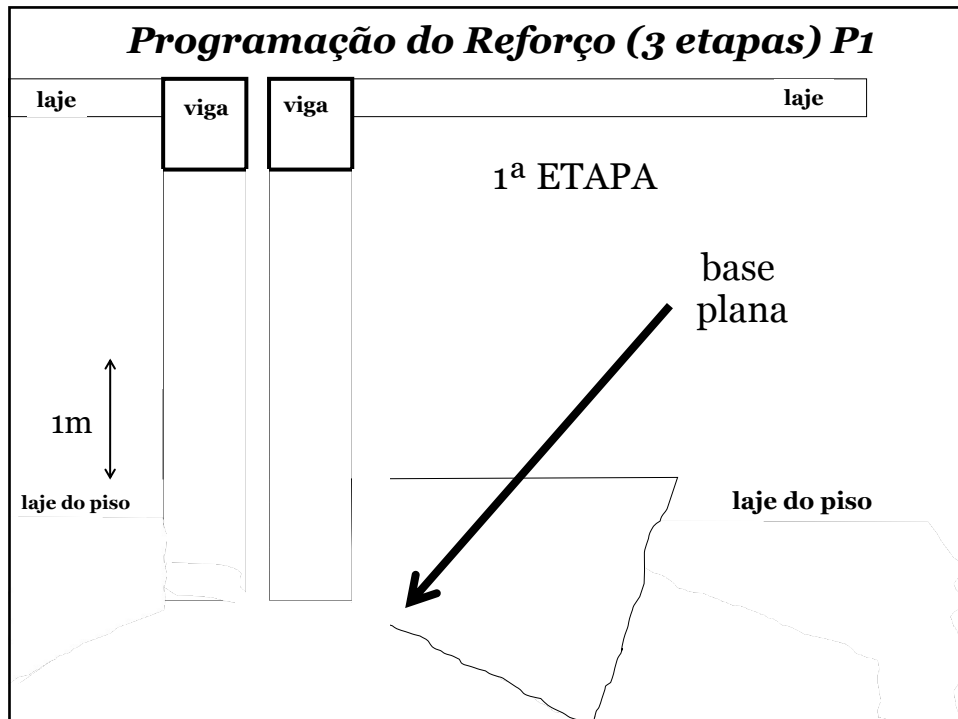
37



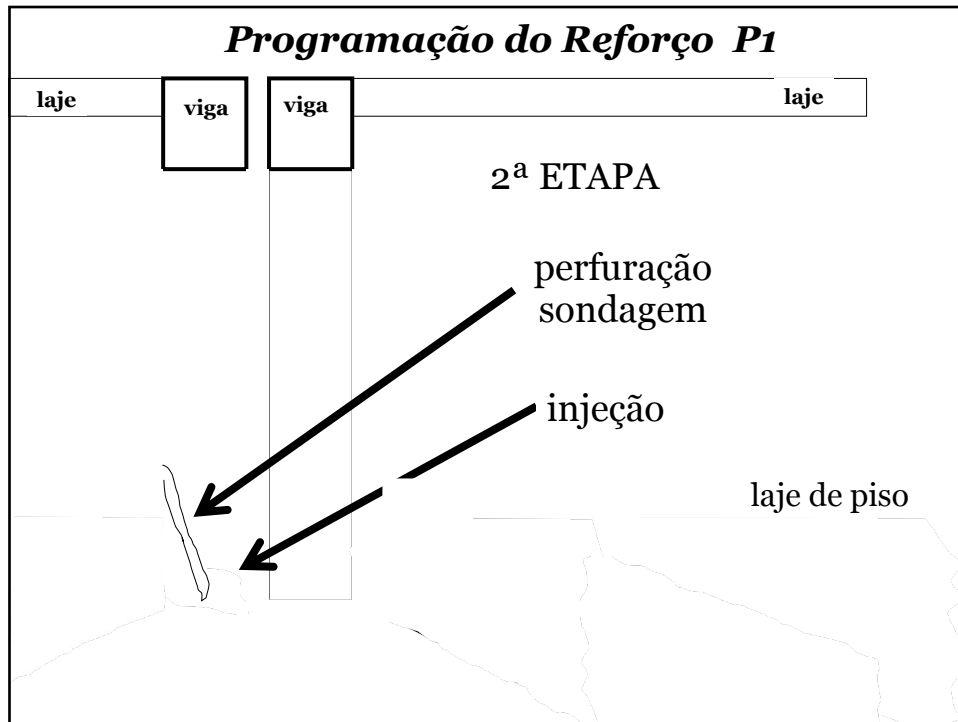
38



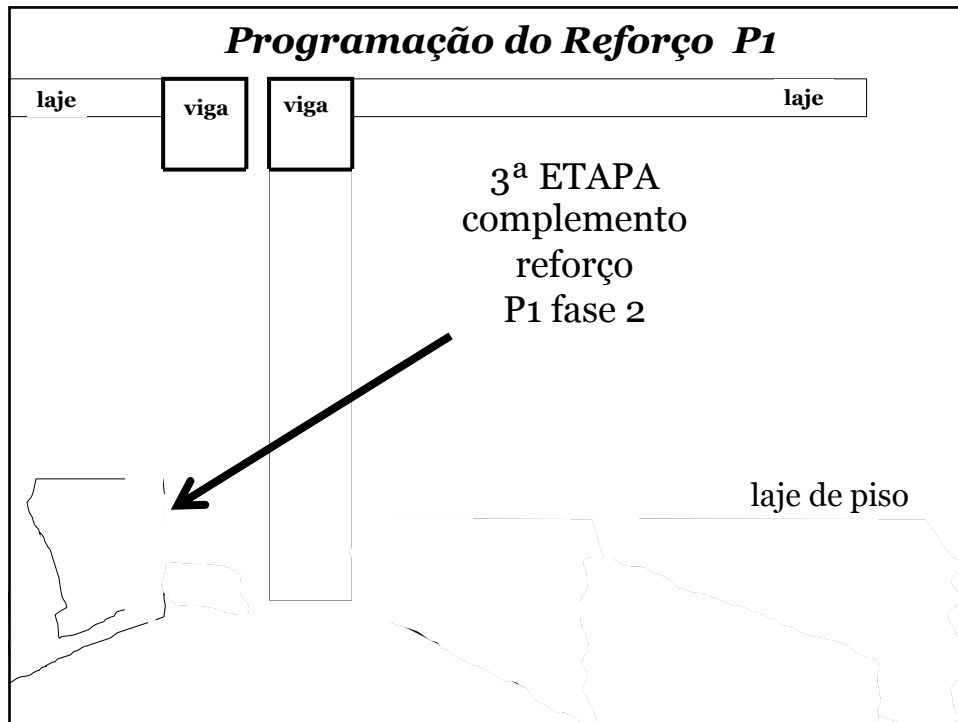
39



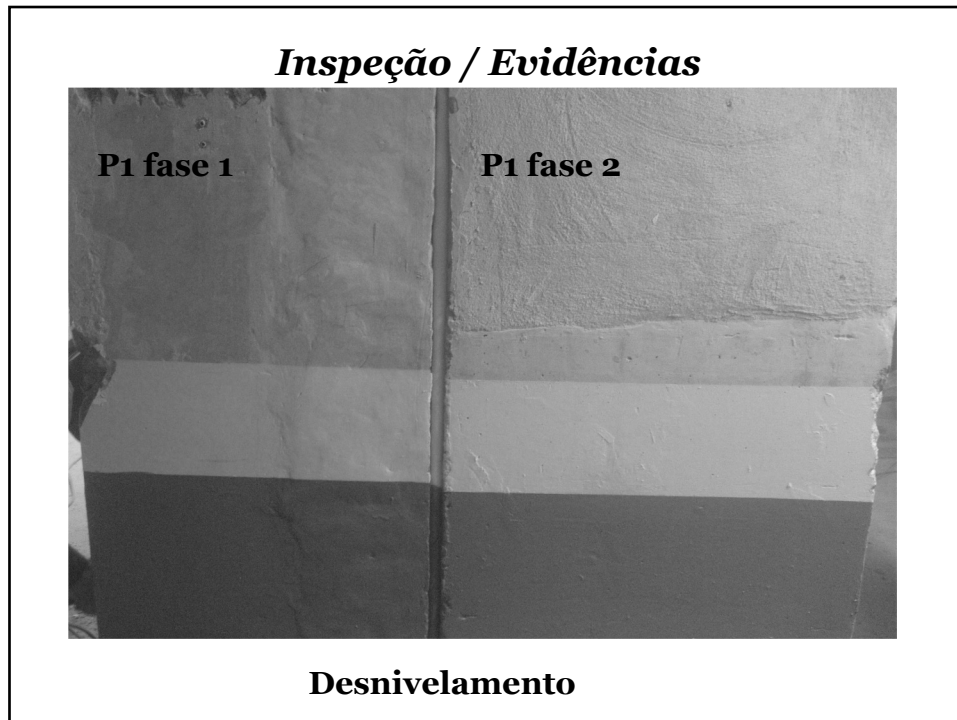
40



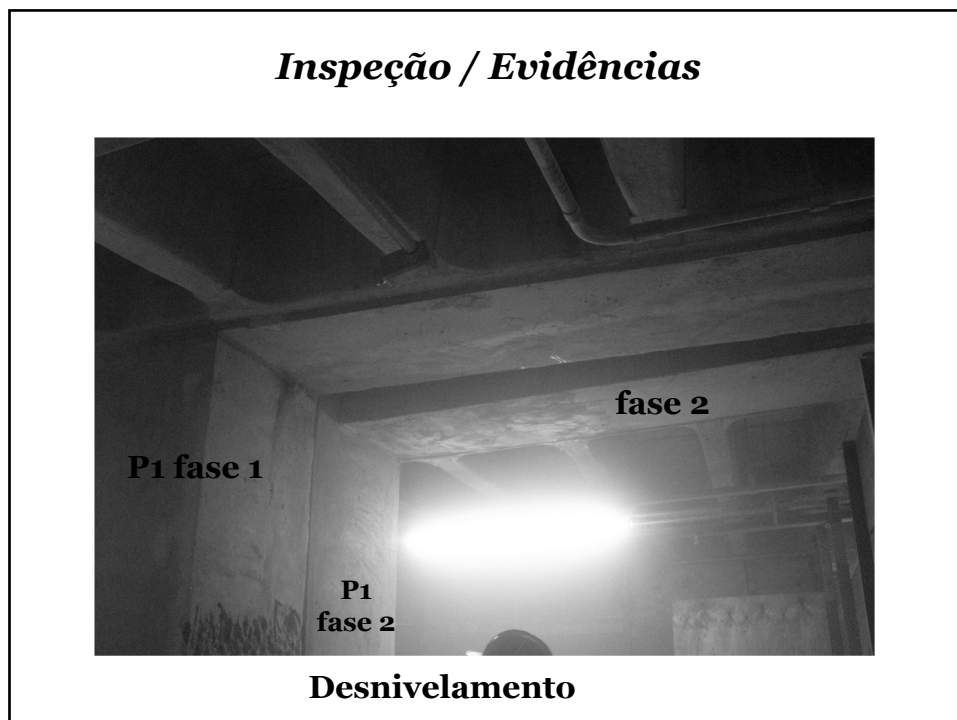
41



42



43



44



45



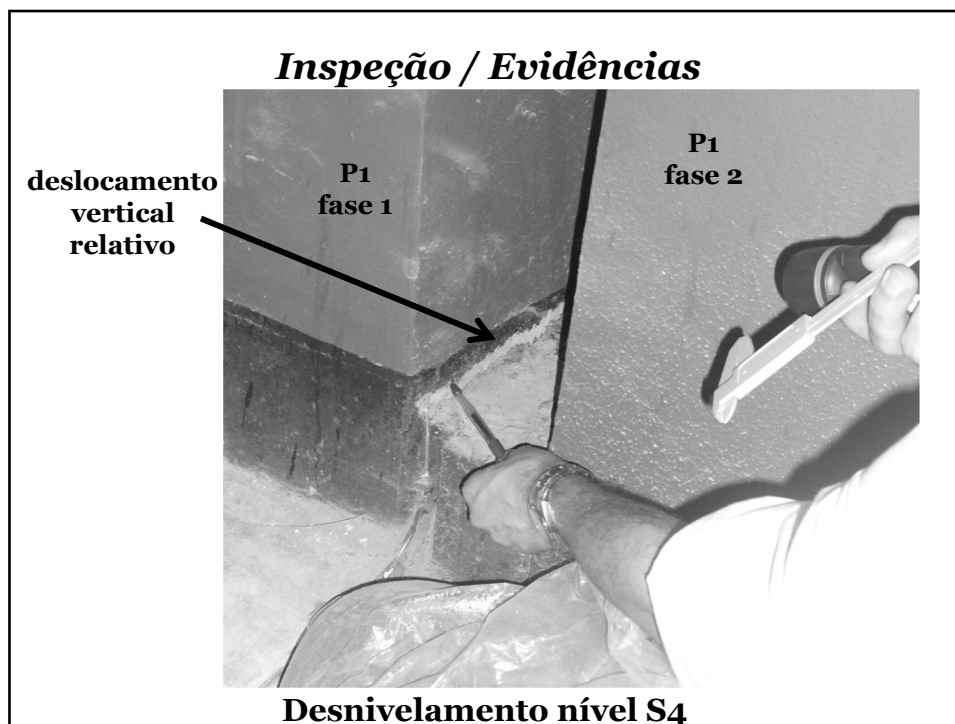
46



47



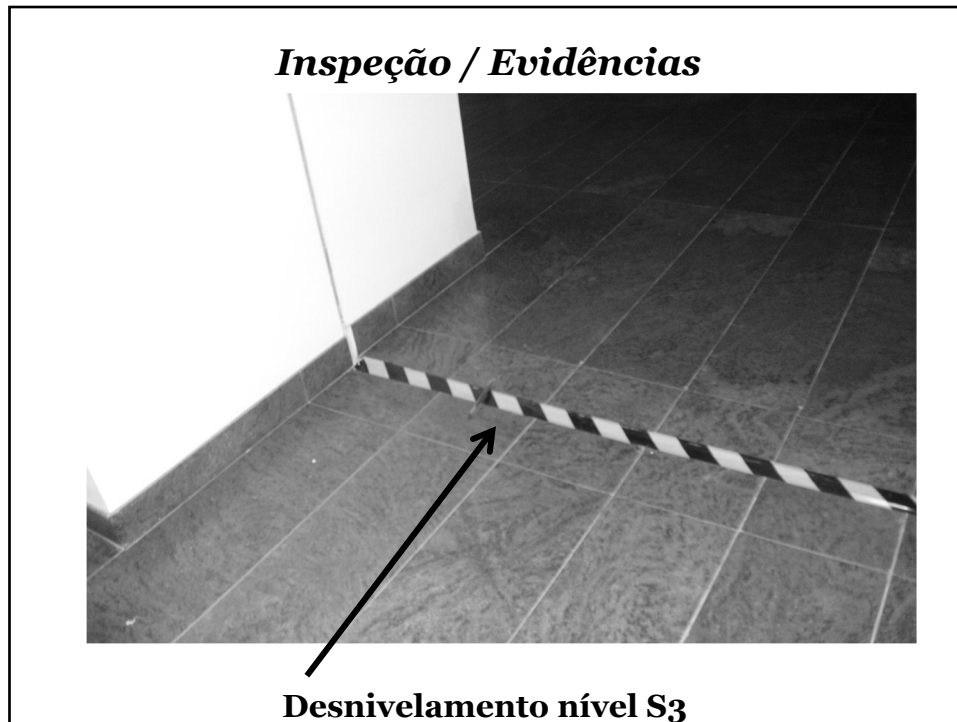
48



49



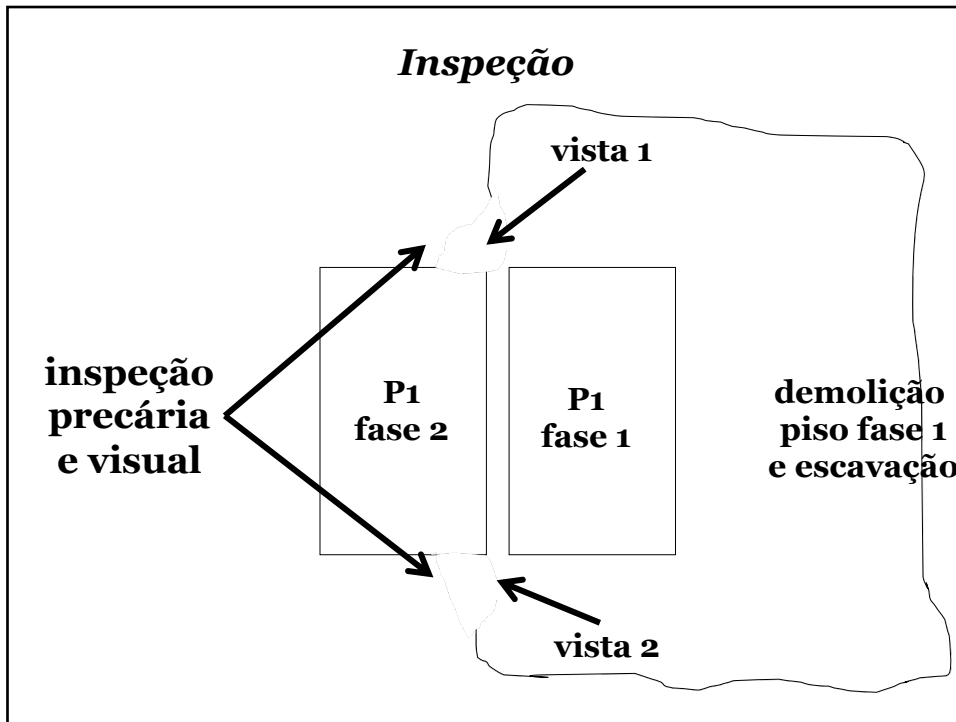
50



51



52



53



54

Inspeção



Escavação Piso fase 1

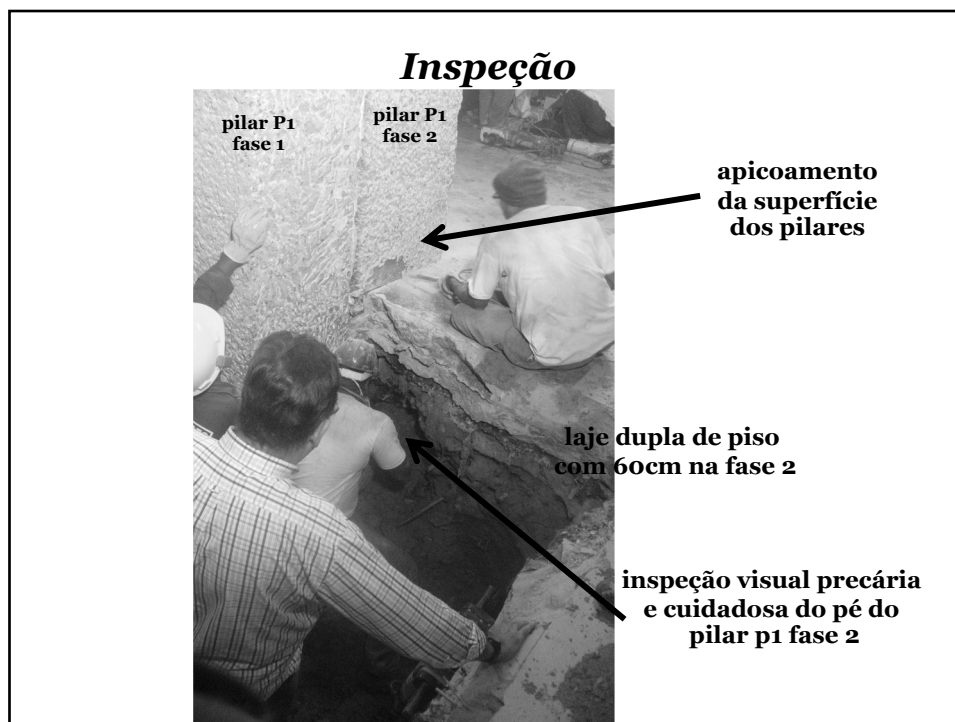
55

Inspeção

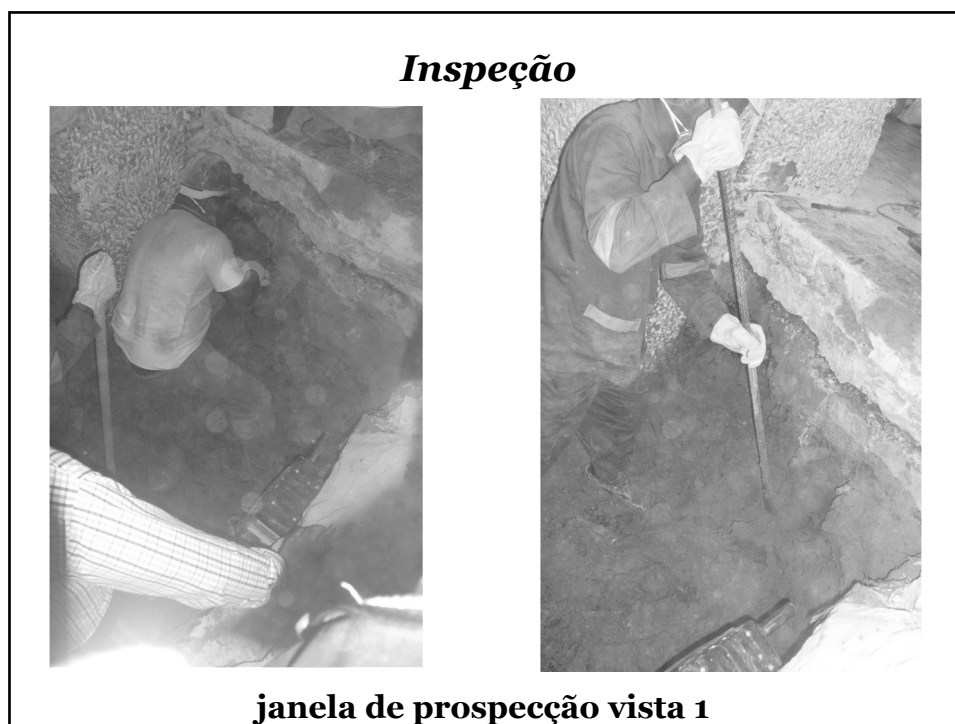


Escavação Piso fase 1

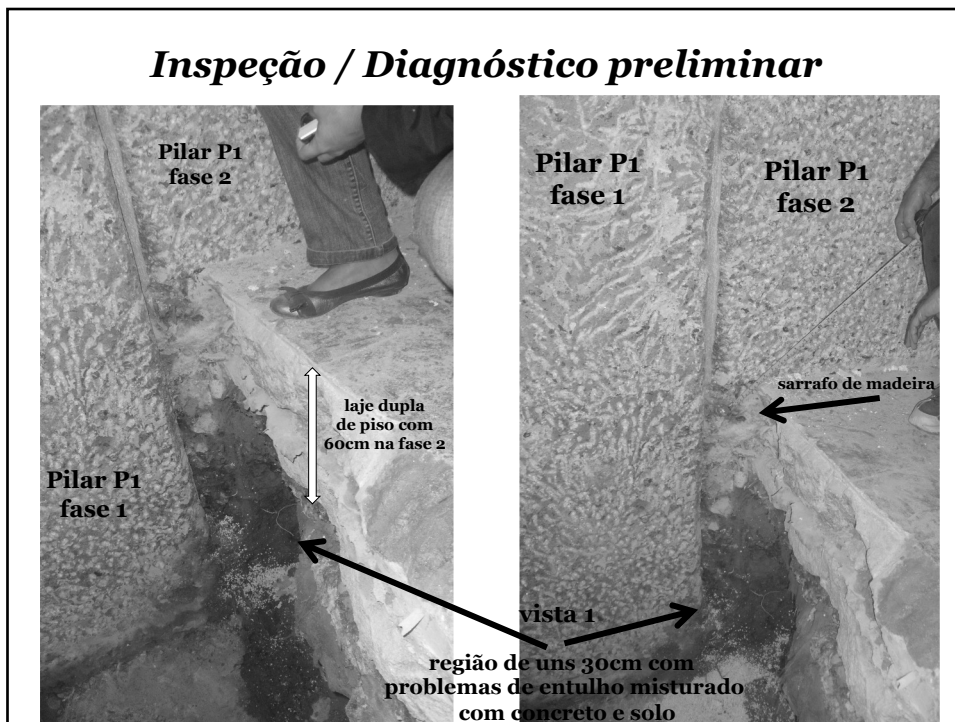
56



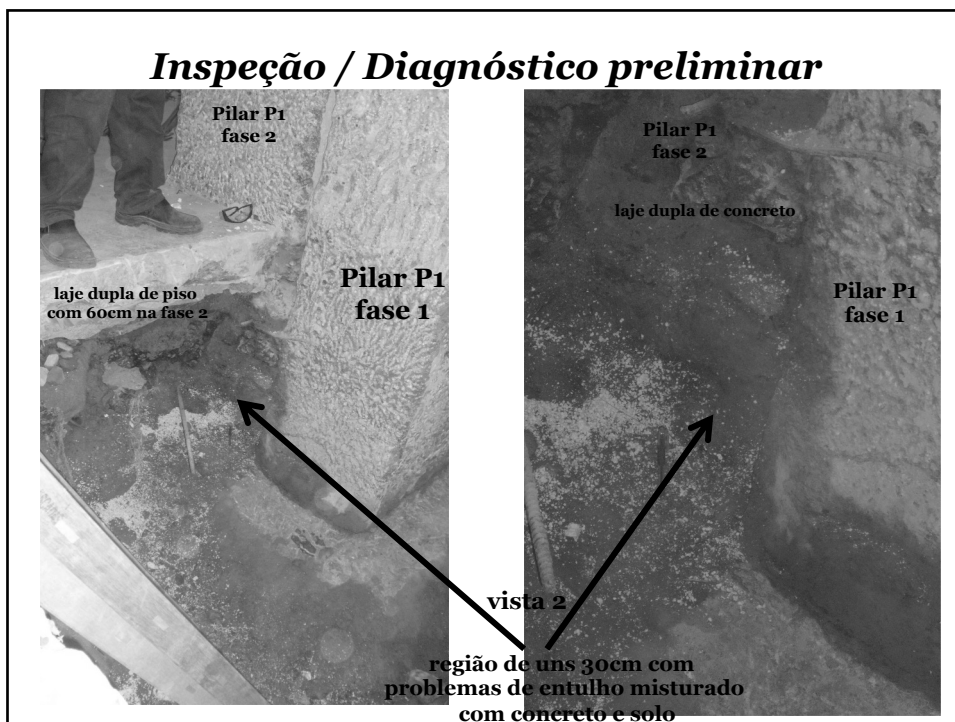
57



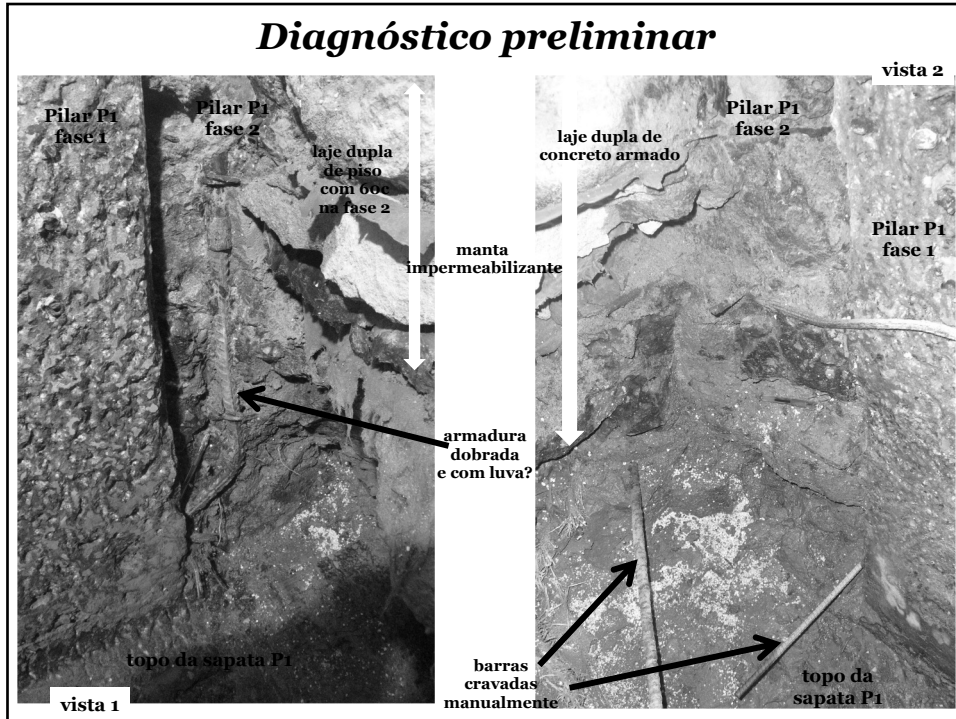
58



59



60



61



62

Inspeção

**nesse momento o grupo
encarregado da observação
por topografia da
movimentação da estrutura
informou que o pilar P1 fase
2 desceu 3mm!!**

63

Inspeção

o encarregado
da observação
do selo
de
gesso
confirmou
rompimento
do gesso

64

Inspeção

**imediatamente os
serviços de
escavação e
prospecção foram
interrompidos**

65

Inspeção



**colagem de plaquetas de
vidro 2mm para controle
de eventual movimento
de fissuras**

66

Inspeção

o reforço foi iniciado logo após observação de que o processo de recalque havia estabilizado (1,5h)

67

Procedimento Padrão para Reforço do Pilar P1 com Problema

1. Inspeção / diagnóstico;
2. Escavação;
3. Preparação do substrato;
4. Montagem da armadura;
5. Preparação da fôrma;
6. Preparação do graute;
7. Concretagem;
8. Desfôrma;
9. Cura.

68

4.Preparação da fôrma



69

5.Preparação do Graute



70



71



72

7.Desfôrma



73



74



75



76



77



78



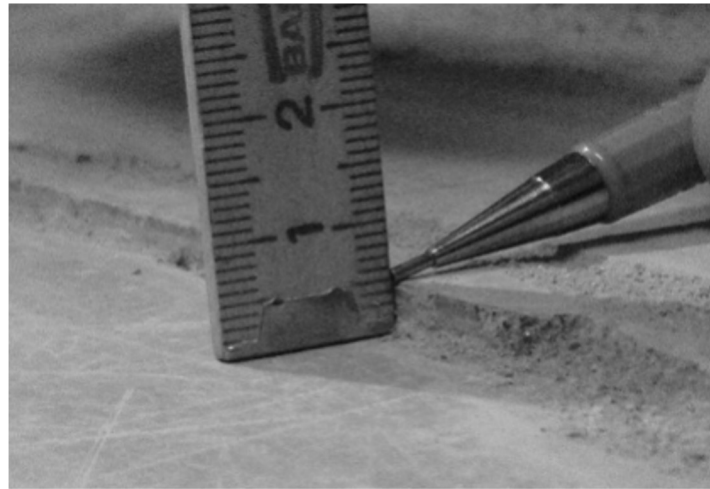
79

Após concretagem piso desceu 4mm



80

Após concretagem piso desceu 4mm



81



82

Pilar P1 acabado



83



IBRACON

Controles

84



85



86

Resistência a Compressão Axial

Pilar	Resistência a compressão axial - MPa				
	24h.	2dias	3dias	7dias	28dias
P4	57,3	59,9	61,2	68,2	73,6
	59,5	62,4	63,7	68,8	73,6
	-	51,3	51,5	54,9	77,1
	-	52,2	55,5	57,6	73,8
Piso	-	54,1	46,4	57,4	75,9
	-	55,2	48,3	56,4	74,3

87

Hipóteses prováveis...

88

Hipóteses prováveis...

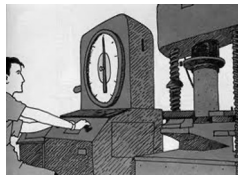


89

A origem e os intervenientes



**projetista
estrutural**



**tecnologista
de concreto**



**fornecedor do
material**



**construtor
(execução)**

***atribuição de responsabilidades
NBR 12655:2006***

90

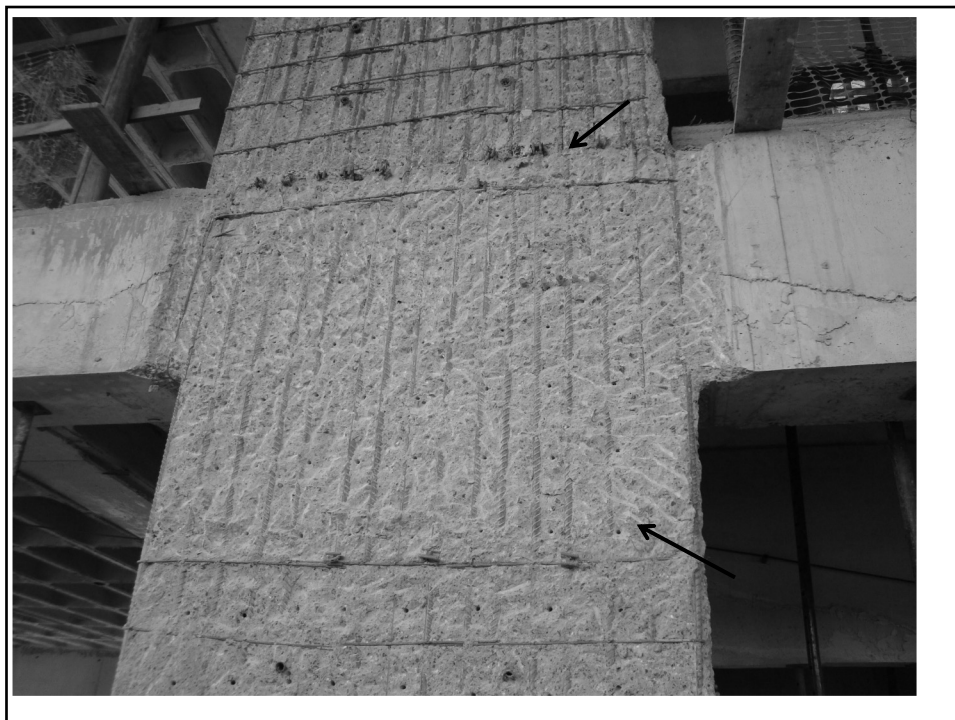
Edifício Habitacional

armadura de pilares *obra nova*

91



92



93



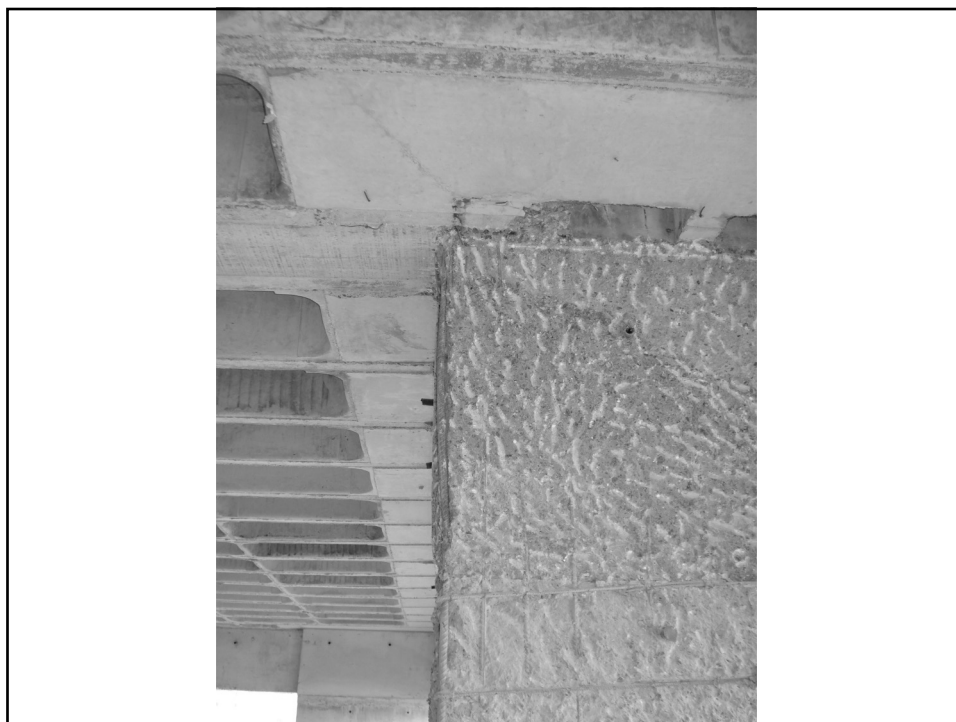
94



95



96



97



98

Qual o papel do Construtor?

99

- ✓ Tornar realidade um Projeto
- ✓ Compatibilizar sonhos (projetos)
- ✓ Realizar expectativas
- ✓ Liderar operários (dar o exemplo, saber fazer, dar importância ao que eles fazem)
- ✓ Não é gerenciar, nem projetar!

100

terceirizar um
serviço ≠
terceirizar
responsabilidade

101

**outro caso
desastroso!**

102

LEVANTAMENTO DE CAMPO DAS ARMADURAS PILARES				
PILAR	DIMENSÃO PILAR NO SUBSOLO (cm)	FERRO LONGITUDINAL EXECUTADO (QUANT./mm)	FERRO LONGITUDINAL PROJETADO (QUANT./mm)	diferença
01	(20 x 100)	10 Ø 12.5	14 Ø 10.0	+12 %
02	(30 x 50)	22 Ø 12.5	16 Ø 16.0	- 16 %
03	(20 x 100)	48 Ø 16.0	50 Ø 16.0	- 4 %
04	(20 x 100)	24 Ø 16.0	36 Ø 16.0	- 33 %
05	(30 x 50)	24 Ø 12.5	18 Ø 16.0	- 19 %
06	(20 x 100)	10 Ø 12.5	14 Ø 10.0	+12 %
07	(20 x 70)	10 Ø 10.0	10 Ø 10.0	-----
08	(20 x 70)	08 Ø 12.5	08 Ø 10.0	+ 56 %
09	(25 x 80)	28 Ø 16.0	20 Ø 20.0	- 10 %

103

Registrado em 06 de abril de 2011. Livro: 010/ENG.				
				diferença
10	(20 x 100)	34 Ø 12.5	34 Ø 16.0	- 39 %
11	(25 x 125)	18 Ø 12.5	28 Ø 10.0	+5 %
12	(25 x 178)	38 Ø 10.0	38 Ø 10.0	-----
13	(25 x 178)	16 Ø 16.0	38 Ø 10.0	+8 %
14	(25 x 125)	18 Ø 12.5	28 Ø 10.0	+0,5 %
15	(20 x 218)	34 Ø 10.0	34 Ø 10.0	-----
16	(20 x 218)	Ø 10.0	34 Ø 10.0	-----
17	(20 x 70)	10 Ø 10.0	10 Ø 10.0	-----
18	(30 x 70)	18 Ø 12.5	28 Ø 10.0	+0,5 %
19	(30 x 70)	08 Ø 16.0	20 Ø 10.0	+2 %
20	(20 x 70)	08 Ø 12.5	08 Ø 10.0	+56 %
21	(20 x 70)	12 Ø 12.5	30 Ø 10.0	- 37 %
22	("25" x 100)	42 Ø 16.0	30 Ø 20.0	- 10 %
23	("25" x "208")	34 Ø 12.5	76 Ø 10.0	- 30 %
24	("25" x 100)	42 Ø 16.0	34 Ø 20.0	- 21 %
25	(20 x 70)	08 Ø 12.5	16 Ø 10.0	- 22 %

Obs: Foi constatado que todos os estribos possuíam bitolas de 4.2mm com espaçamento entre eles de 15cm exceto o pilar P15 que possui estribos de 6.3mm e espaçamento igual aos demais.

104



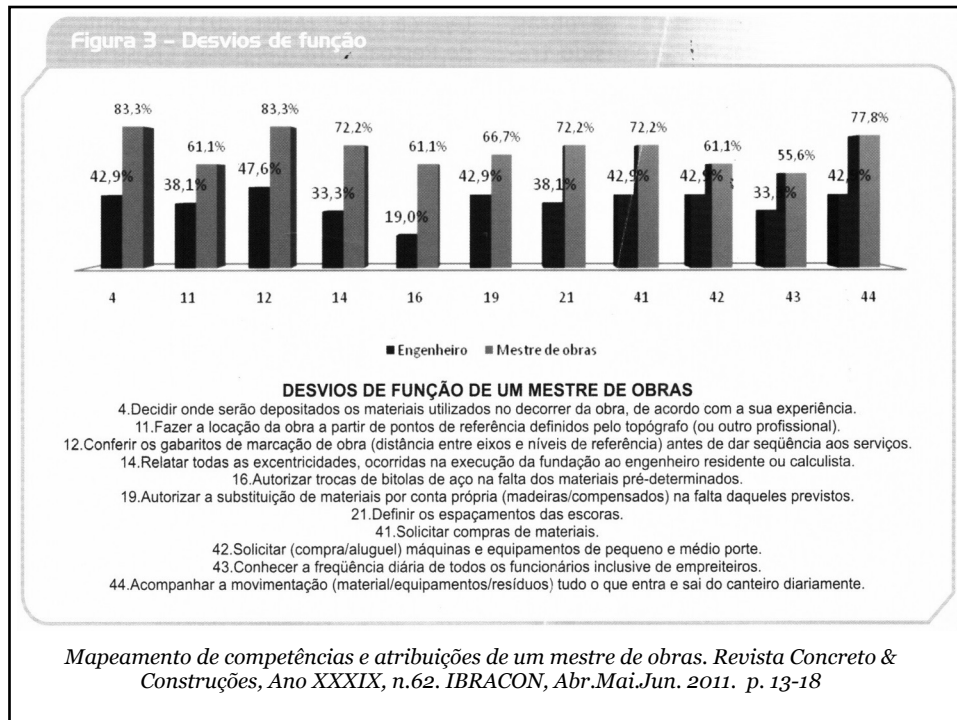
105

Edifício Real Class

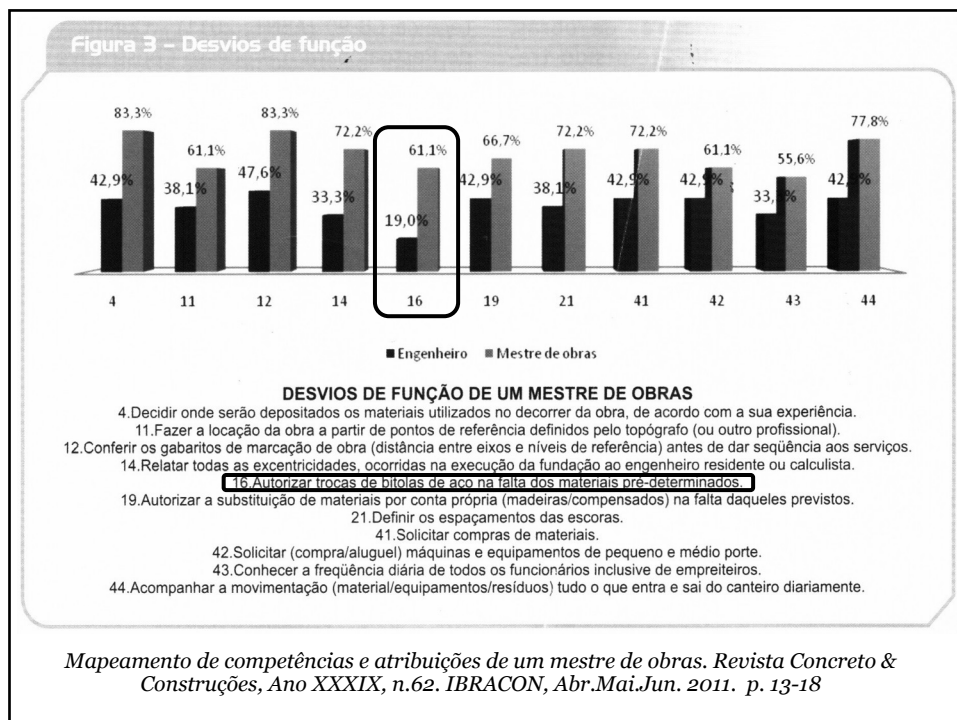


Belém do Pará
34 pavimentos
105m 20.01.2011 35MPa

106



107

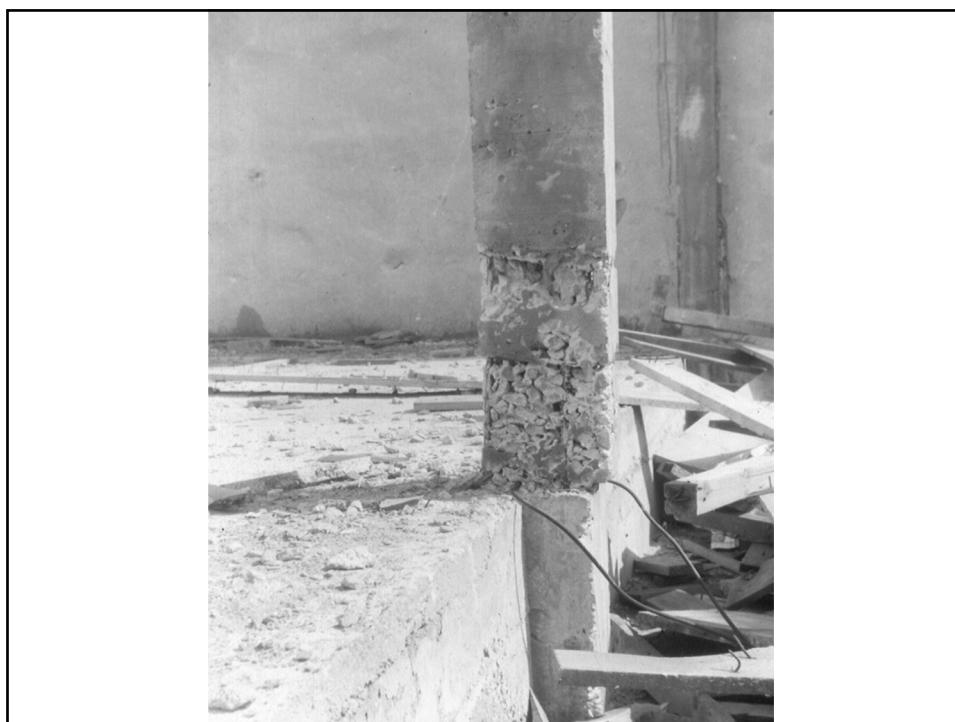


108

Edifício Habitacional

concretagem de pilares *obra nova*

109



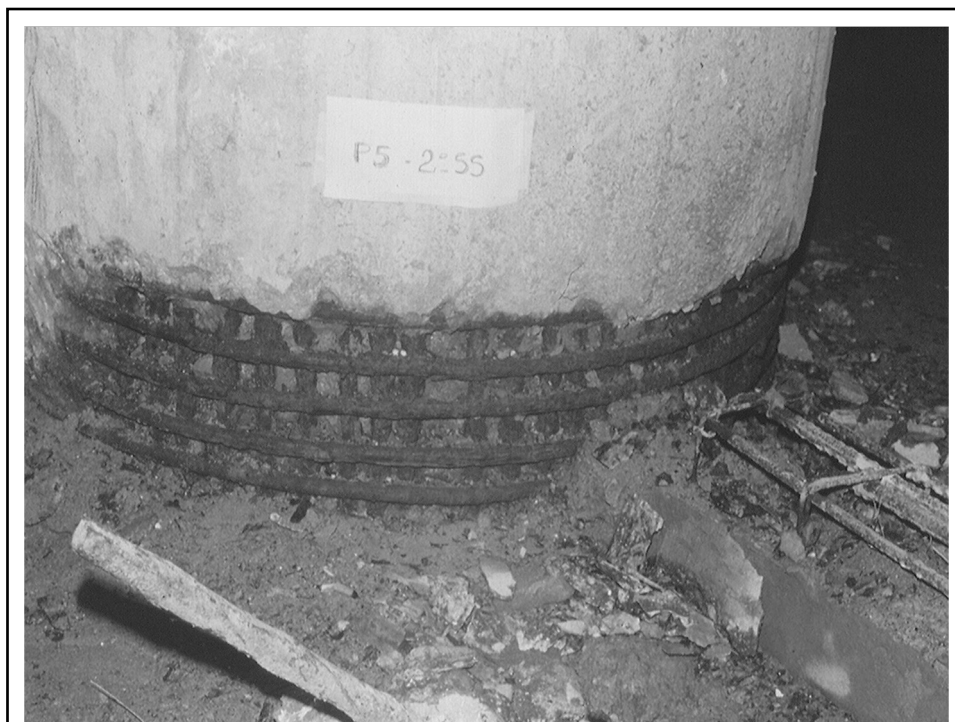
110



111



112



113



114

CONSTRUTOR

precisa ter consciência
de que a consequência
de seus atos pode levar
anos para aparecer!

115

Edifício Areia Branca

Recife, Pernambuco
14 de outubro de 2004
quinta-feira às 20:30h
1977 → 1979
25 anos
12 andares + térreo + 1 garagem

116



117



118



119



120



121

Cronologia:

- 10 → domingo → estrondo;
- 12 → terça → síndico ao estacionar observa alagamento e fissuras na parede da cisterna
- 13 → quarta → calculista inspeciona: fissuras vigas, esmagamento alvenaria. Recomenda reforçar
- 13/14 → quarta/quinta → muitos ruídos de rupturas metálicas secas não deixam moradores dormir
- 14 → quinta 1:30h da madrugada → Síndico registra ocorrência e chama defesa civil
- 14 → quinta 2:40h → Defesa civil inspeciona e não encontra evidências.

122



123



124



125



126

Cronologia:

14 → quinta 8h → Síndico e moradores decidem deixar o prédio

14 → quinta de manhã → Síndico desliga elevadores e esvazia os reservatórios de água

14 → quinta 10:20h → Defesa civil inspeciona o prédio junto com moradores. Calculista e empresa de reforço aguardam no local autorização para iniciar trabalhos

14 → quinta 15h → início dos trabalhos com escavação dos pilares centrais junto à cisterna

14 → quinta 17h → fissura aparece na viga de contorno, escavação de 1,40m mostra armaduras flambadas no pilar

14 → quinta 19h → início do reforço do pilar com cintamento e graute. Escavação do segundo pilar que estava íntegro

127



128

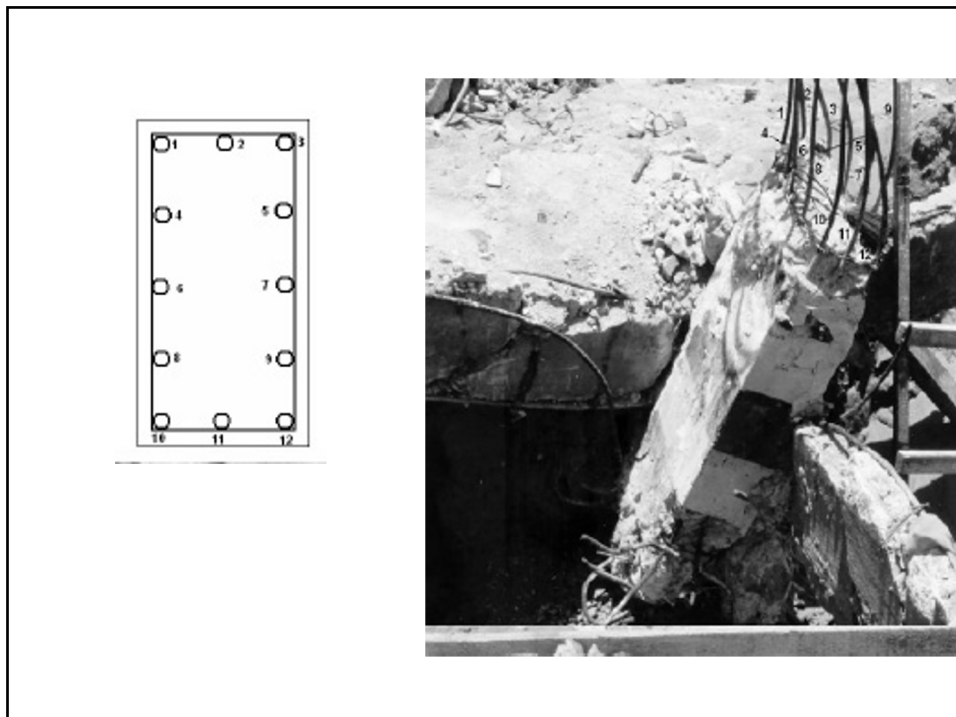
Cronologia:

14 → quinta 20:20h → segundo pilar apresenta estrondo e o concreto começa a destacar fissurar. Operários e uma moradora que acompanhava os trabalhos correm para a rua;

14 → quinta 20:25h → uma série de estrondos precede o desabamento do edifício que dá uma “paradinha” no 6 andar, gira uns poucos graus e segue colapsando;;

14 → quinta 20:30h → edifício totalmente desabado, 4 vítimas e inúmeros sonhos destruídos

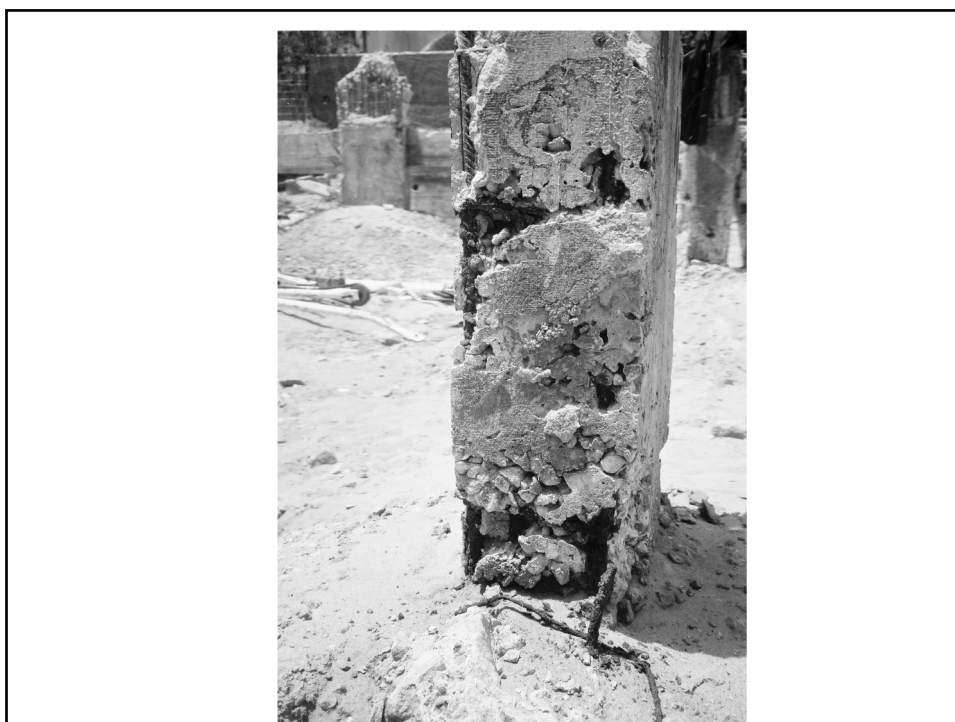
129



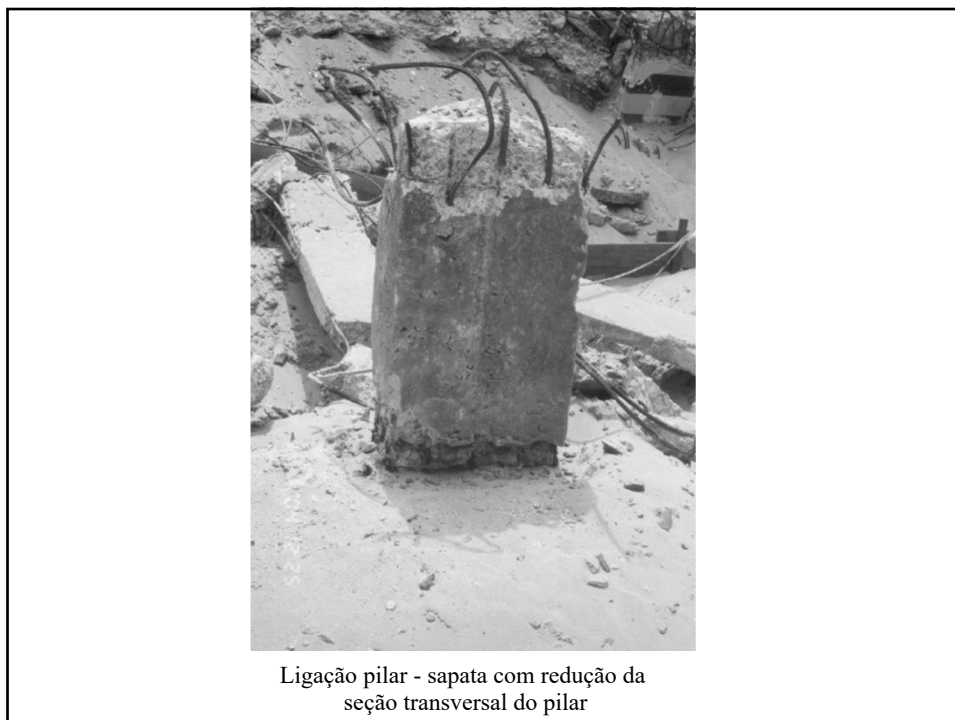
130



131



132



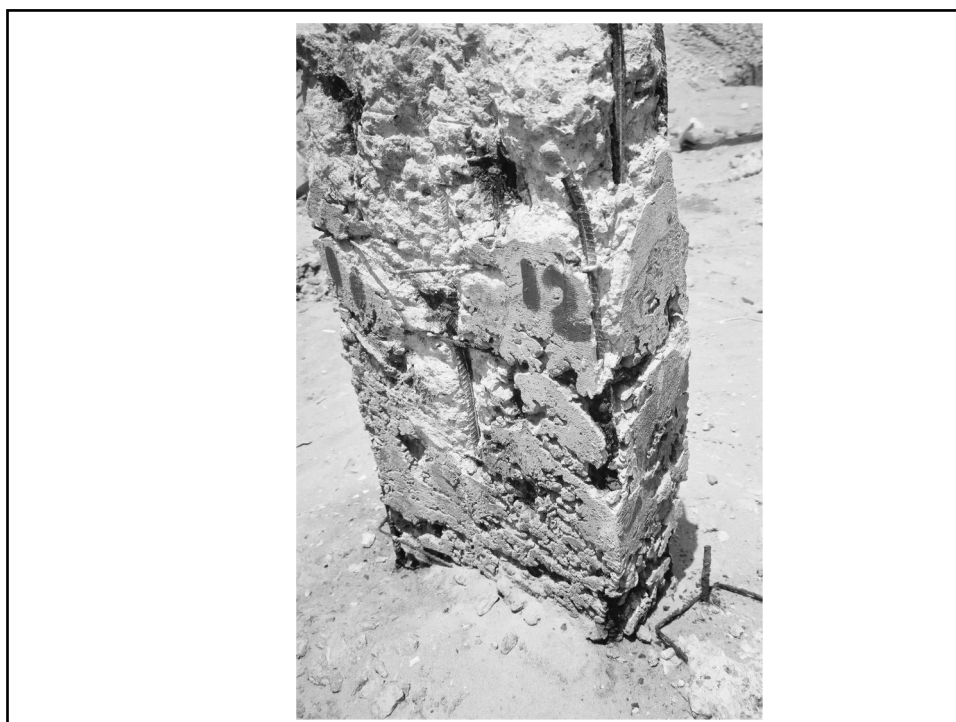
133



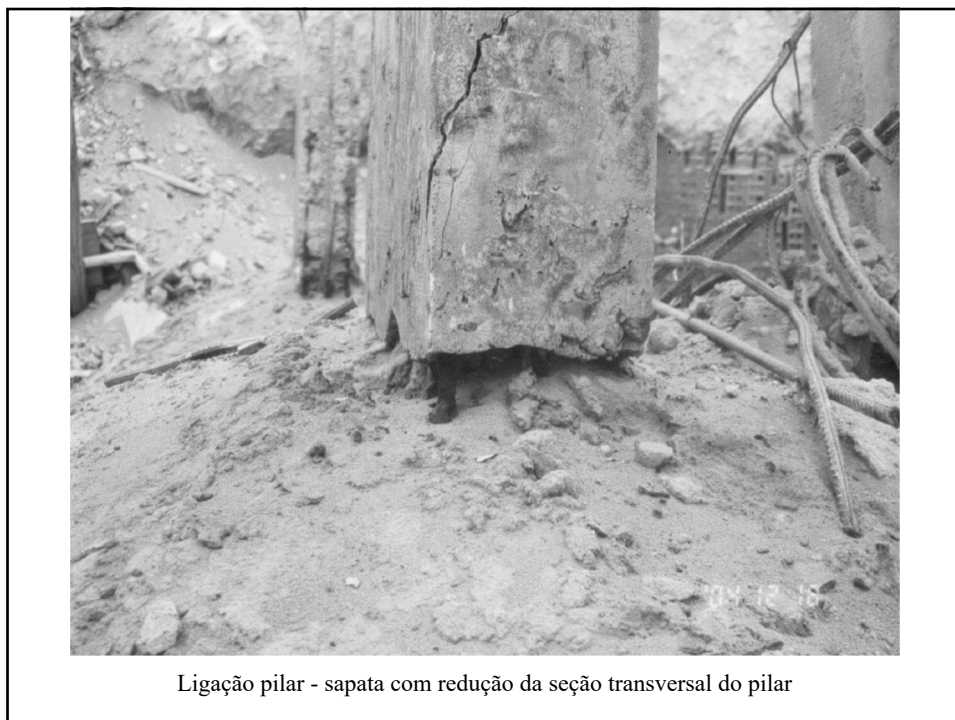
134



135



136



137



138

CONSTRUTOR

precisa ter consciência
de que as consequências
de seus atos podem ser
desastrosas e onerosas!

139

Edifício Emblemático

Alphaville, São Paulo

50MPa

35 andares

Comercial

ninho de concretagem

140



141



142



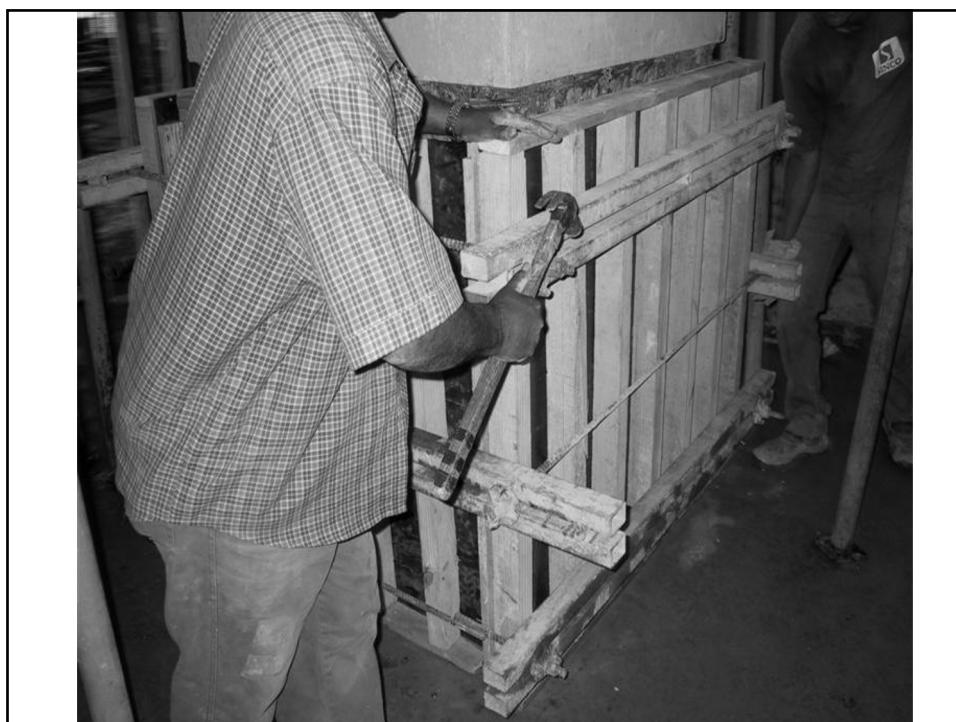
143



144



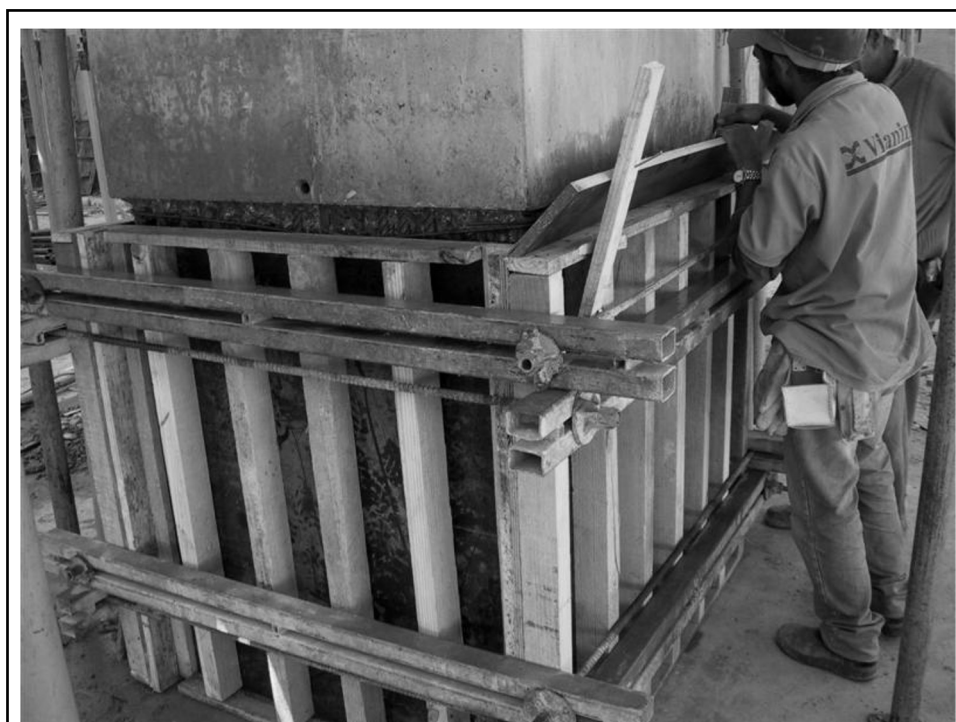
145



146



147



148



149

CONSTRUTOR

Não entendeu → PERGUNTA

Não achou o detalhe → COBRA

Deve estudar os projetos e
antecipar-se aos problemas!

150

Pavilhão de Exposições da Gameleira

Arq. Oscar Niemeyer

Belo Horizonte, MG

Obra em Construção

04 de fevereiro de 1971

64 mortos

mais de 100 feridos

151



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

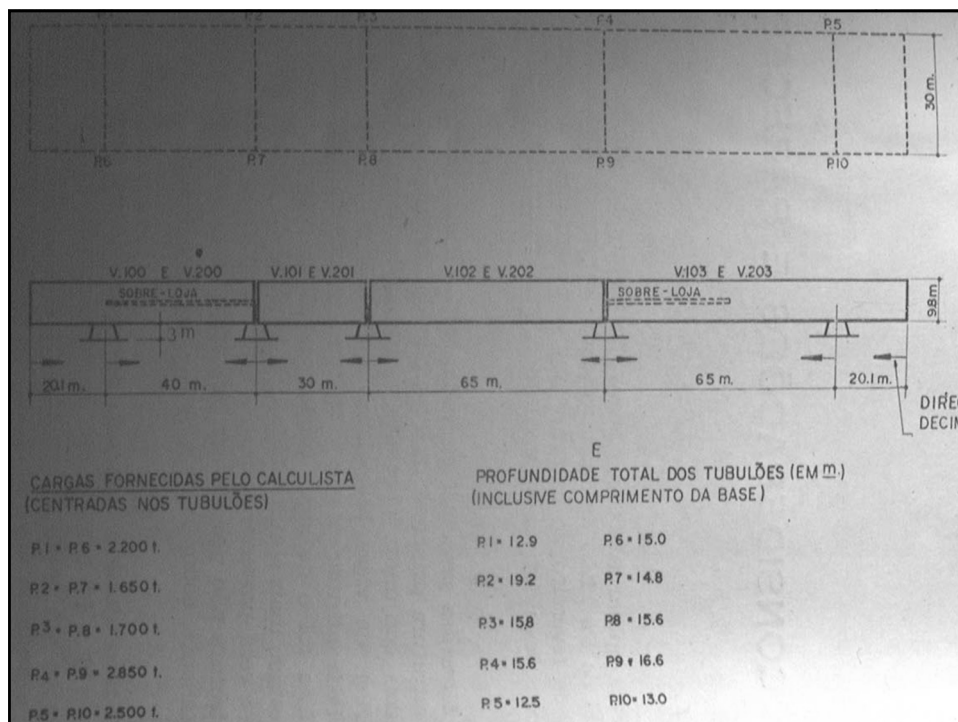
152



153



154



155



156

Sintomas:

- ❖ Fissuras nas vigas, inclinadas finas e próximas dos apoios;
- ❖ Escoramento “preso”;
- ❖ *Ausência plano de descimbramento*
- ❖ *Pilares com até 2.850 tf*

157

**PAVILHÃO DA GAMELEIRA**

4 de Fevereiro de 1971

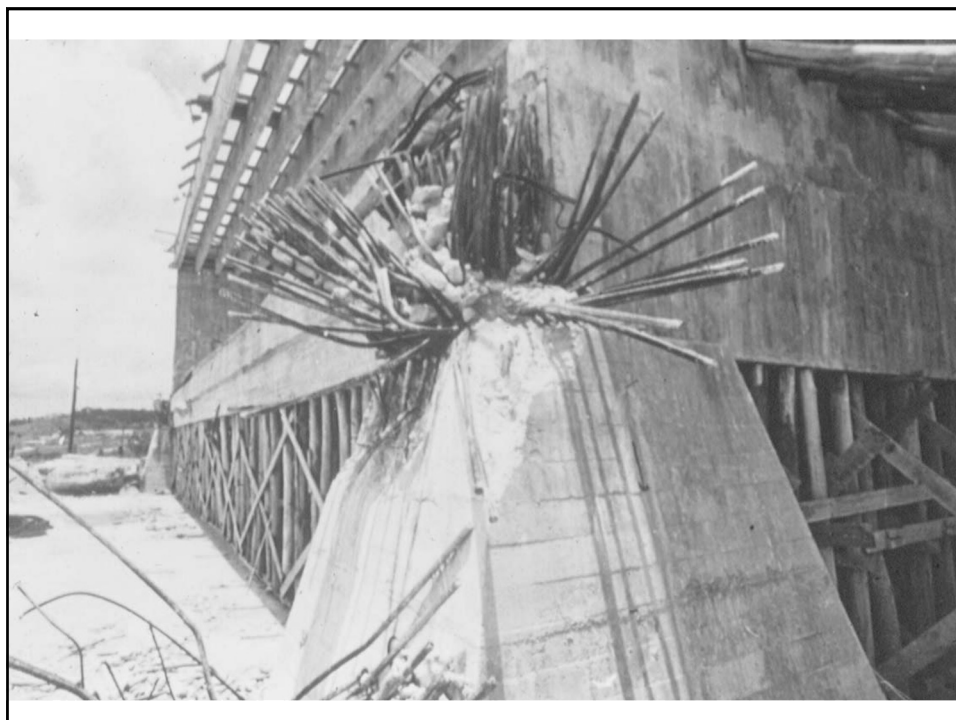
158



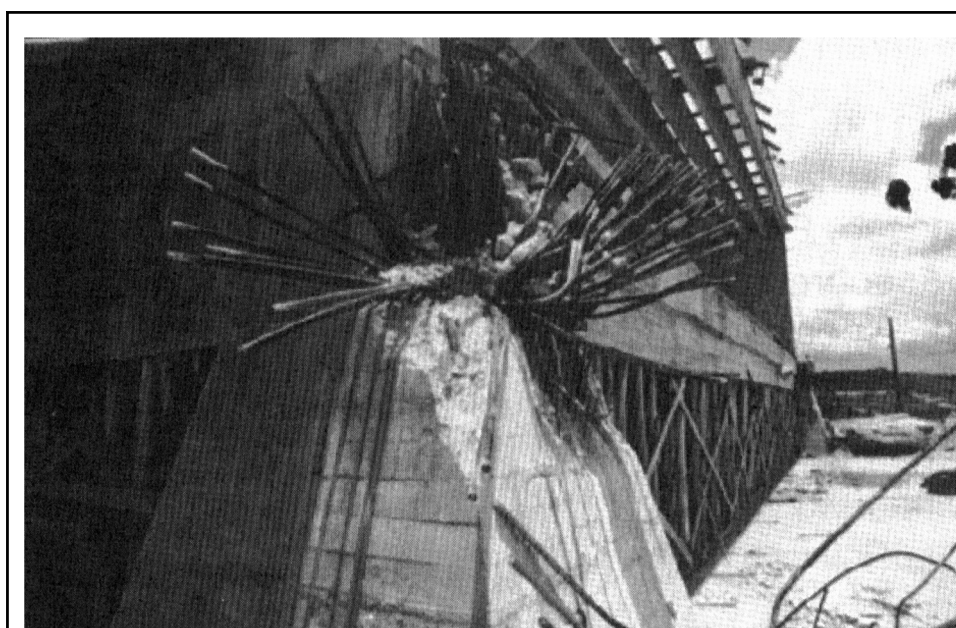
159



160



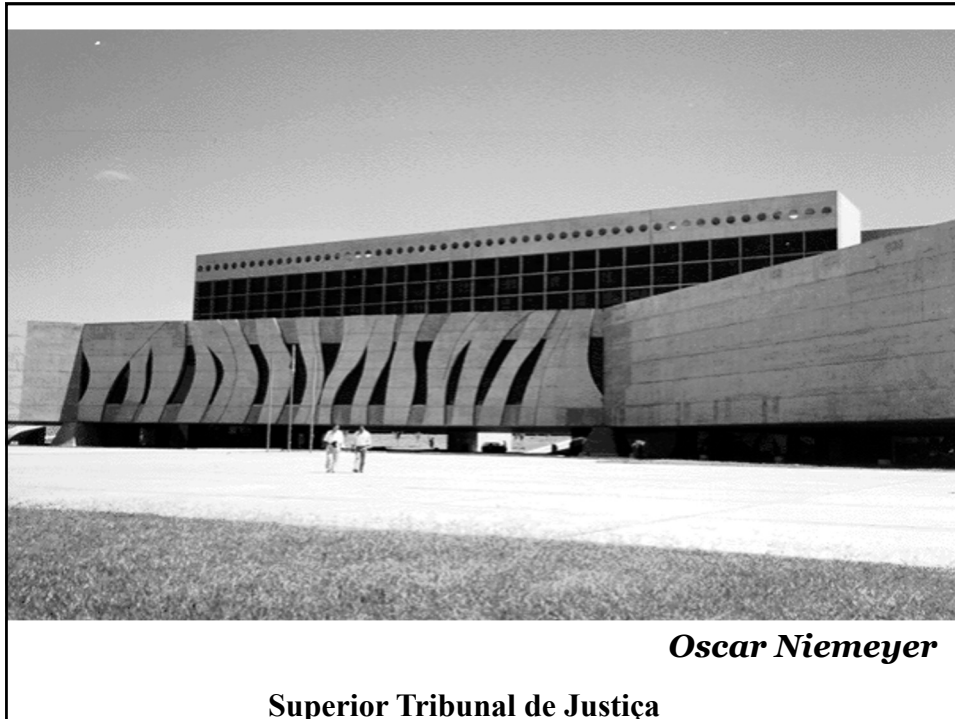
161



PAVILHÃO DA GAMELEIRA

4 de Fevereiro de 1971

162



163

**Qual a
MISSÃO do
Construtor?**

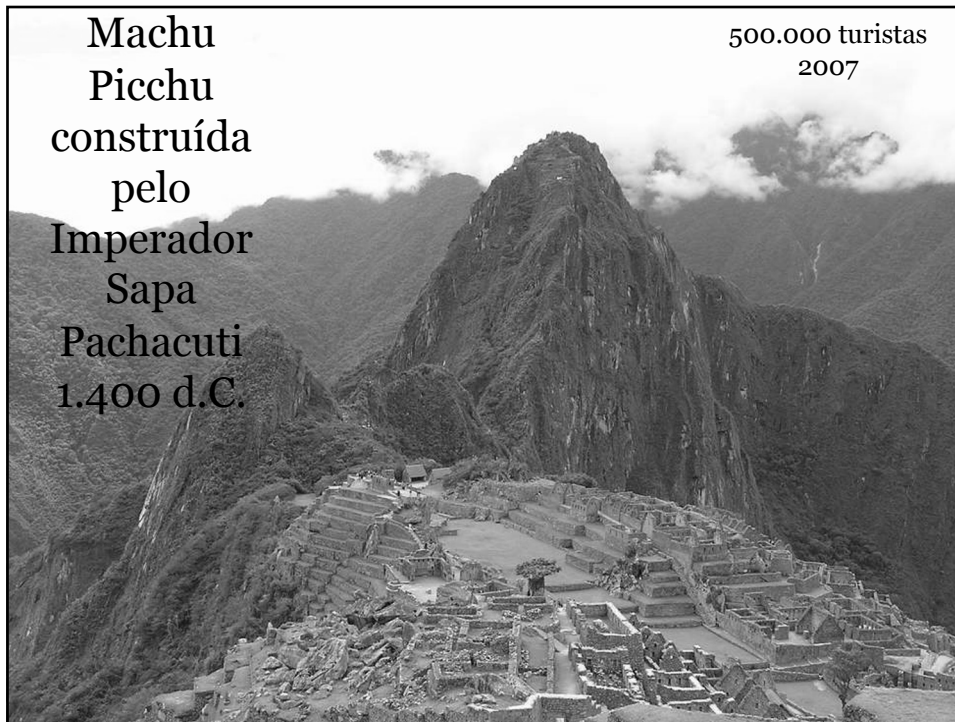
164



165



166



167



168



169

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”

170



171

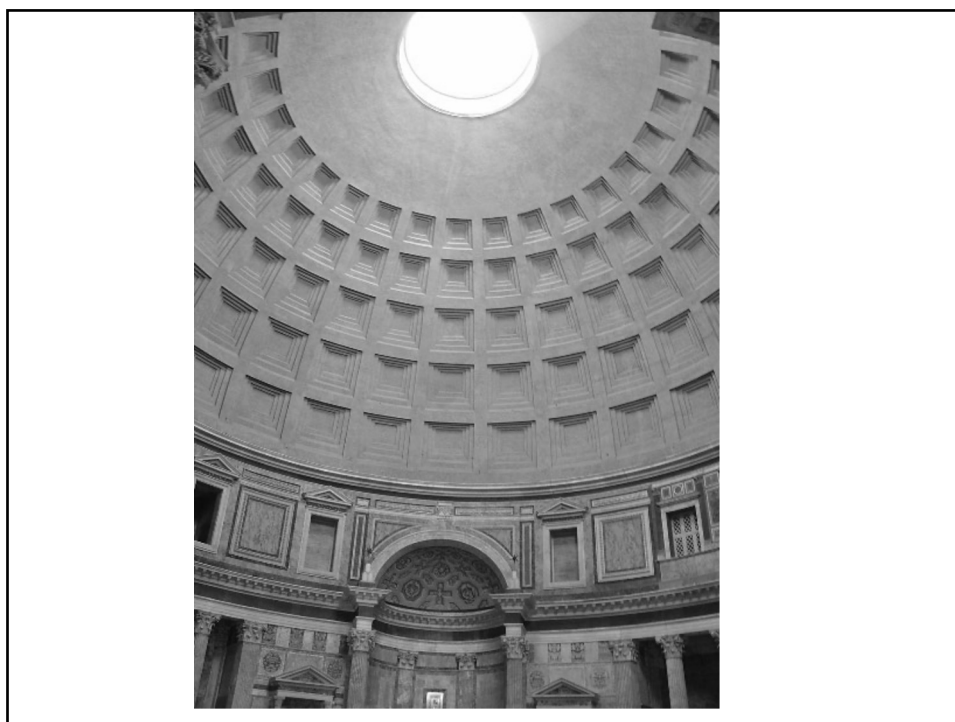


172

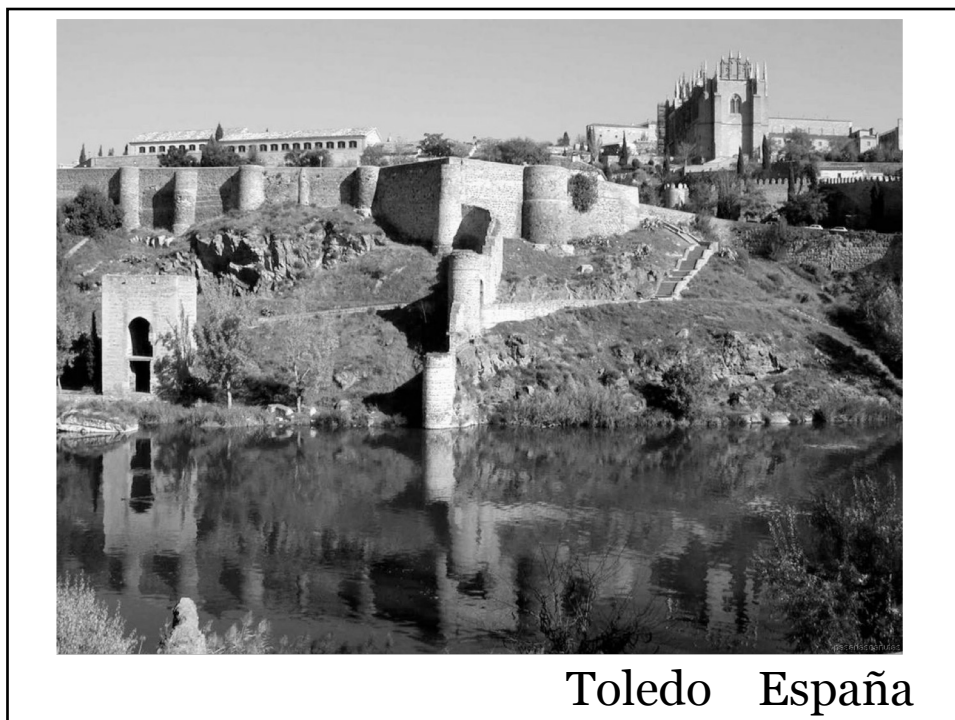
Cúpula do Panteão de Roma
Século II dC → Diâmetro de 44m



173



174



175

Catedral de Notre Dame



1163-1330

Abóbada da nave central → 35 m de altura

176

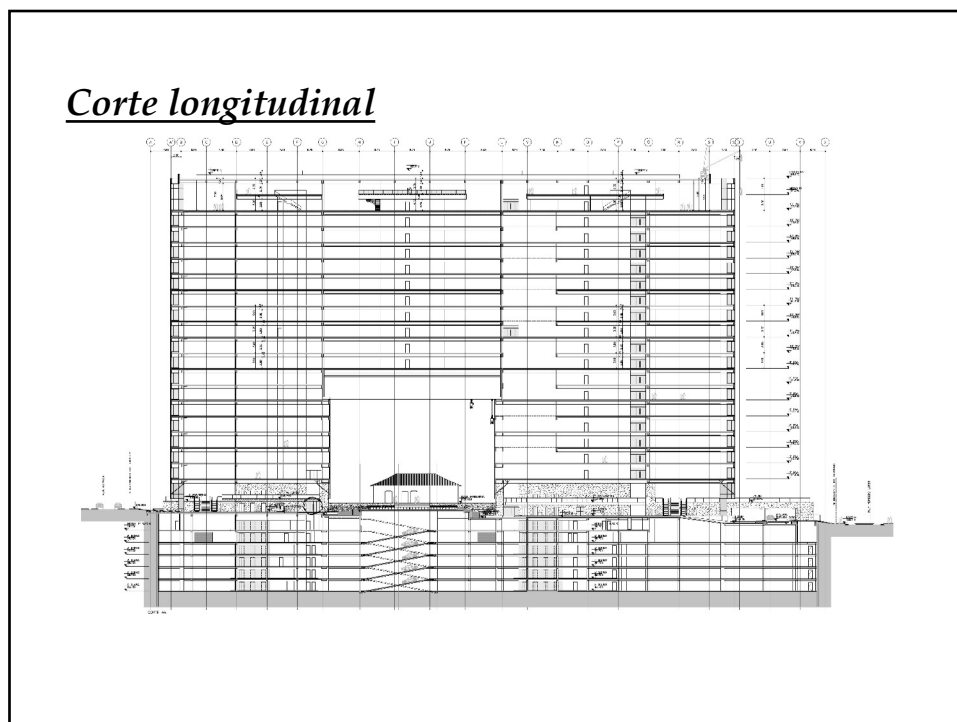


177

Qual a MISSÃO do Construtor?

- ✓ Sem dúvida a mais nobre
- ✓ Sem dúvida a mais importante
- ✓ Sem dúvida a mais difícil
 - ✓ Sem dúvida a mais cara
 - ✓ Sem dúvida a de maior responsabilidade

178



179



180



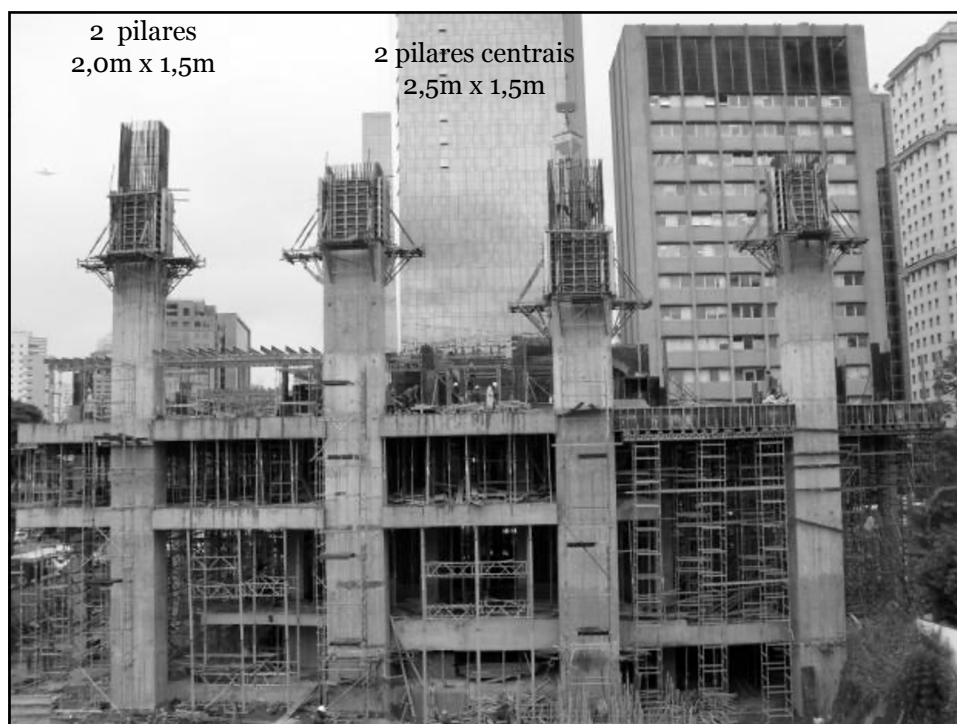
181



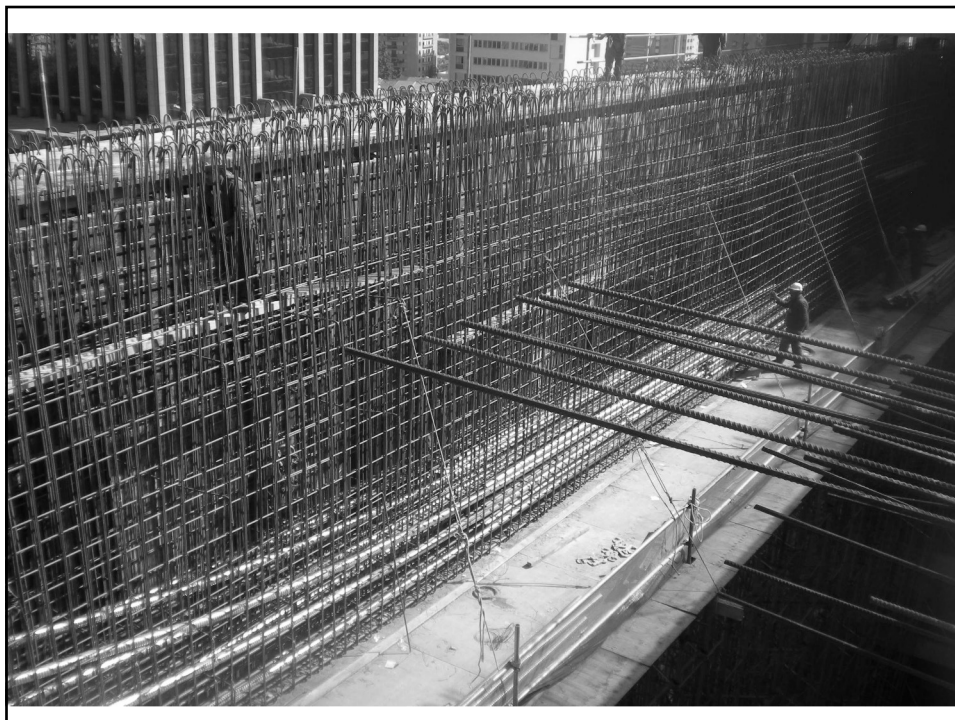
182



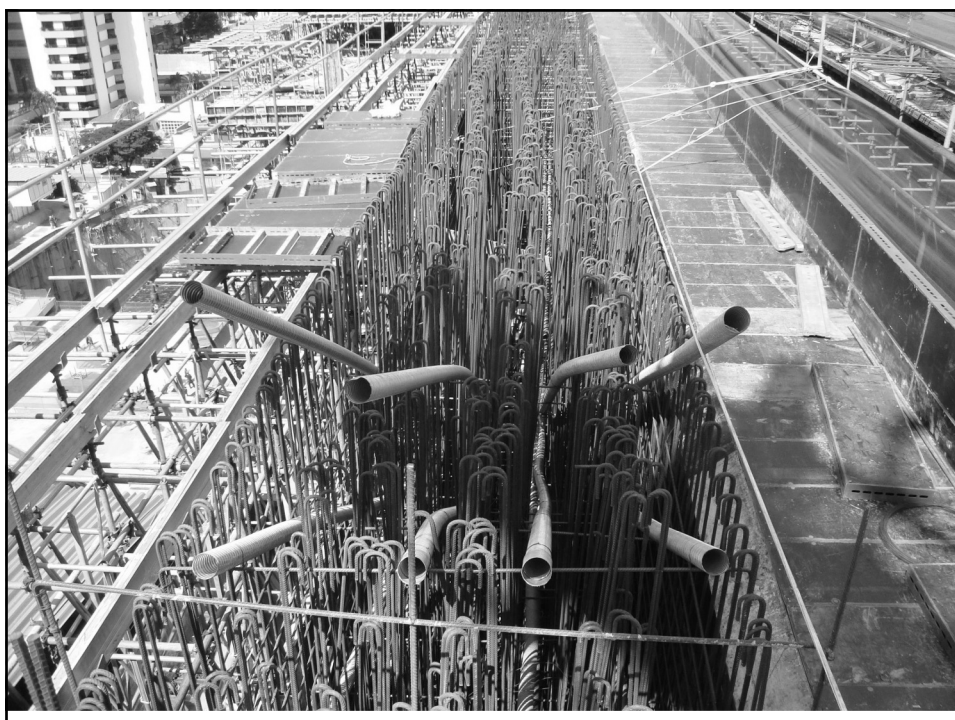
183



184



185



186



187



188



189



190



escoramento em balanço

191

Temperatura de lançamento

- ✓ **depende do consumo dos materiais (traço)**
- ✓ **depende do calor específico dos materiais**
- ✓ **depende da temperatura natural dos materiais**
- ✓ **depende da logística (fator tempo)***

** tempo associado a transporte e descarga do concreto*

dato de entrada mutável

192

192

Temperatura de lançamento

Material	Consumo kg/m³	Calor específico kcal/kg.°C	q=m.c (kcal/m³.°C)	T (°C)	Q (kcal/m³)
Cimento.CP II E-40	365	0,240	87,60	55	4818
Microssilica	29,6	0,200	5,92	40	236,8
Areia Artif.	525,3	0,200	105,06	22	2311,32
Areia Nat.	525,3	0,200	105,06	22	2311,32
Brita 0	336,5	0,200	67,30	22	1480,6
Brita 1	504,7	0,200	100,94	22	2220,68
Água	119,8	1,000	119,84	25	2996,1
Umidade Miúdo Art.	13,1	1,000	13,13	25	328,3
Umidade Miúdo Nat.	42,0	1,000	42,02	25	1050,6
Umidade Graúdo	0	1,000	0	25	0
Betoneira					2000
Total			646,88		19753,72
Transporte (Ganho)		10,0°C			
T Lançamento=		40,5°C			

sem gelo

193

193

Temperatura de lançamento

Material	Consumo kg/m³	Calor específico kcal/kg.°C	q=m.c (kcal/m³.°C)	Ti (°C)	Tf (°C)	Ti -Tf (°C)	Q (kcal/m³)
Cimento.CP II E-40	365	0,240	87,60	55	0	55	4818
Microssilica	29,6	0,200	5,92	40	0	40	236,8
Areia Artif.	525,3	0,200	105,06	22	0	22	2311,32
Areia Nat.	525,3	0,200	105,06	22	0	22	2311,32
Brita 0	336,5	0,200	67,3	22	0	22	1480,6
Brita 1	504,7	0,200	100,94	22	0	22	2220,68
Água	0	1,000	0	25	0	25	0
Umidade Miúdo Art.	13,1	1,000	13,13	25	0	25	328,31
Umidade Miúdo Nat.	42,0	1,000	42,02	25	0	25	1050,6
Umidade Graúdo	0	1,000	0	25	0	25	0
Gelo	119,8	0,500	59,92	0	0	0	0
Fusão Gelo	119,8	1,000	119,84	0	0	0	-9587,48
Gelo + Água	119,8	1,000	119,84	0	18	-18	-2157,18
Betoneira							2000
Total			826,65				5012,97
Transporte (Ganho)		10,0°C					
T Lançamento=		16,1°C					

com gelo: redução de 60%

194

194

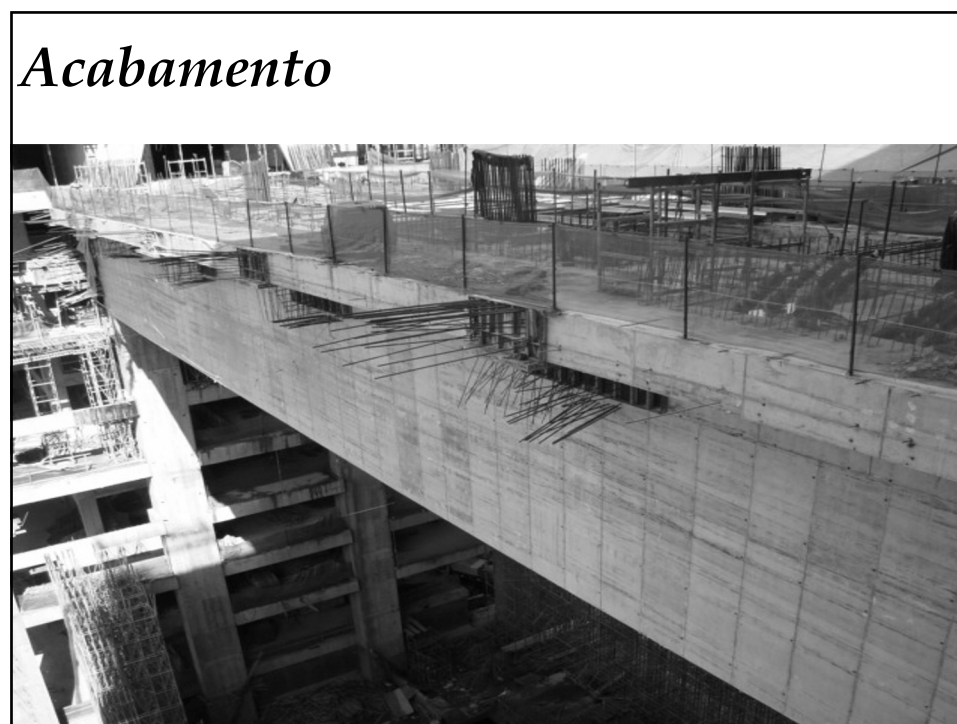
Temperatura de lançamento



é possível ...

195

195



196



197



198



199



200



201



202



203

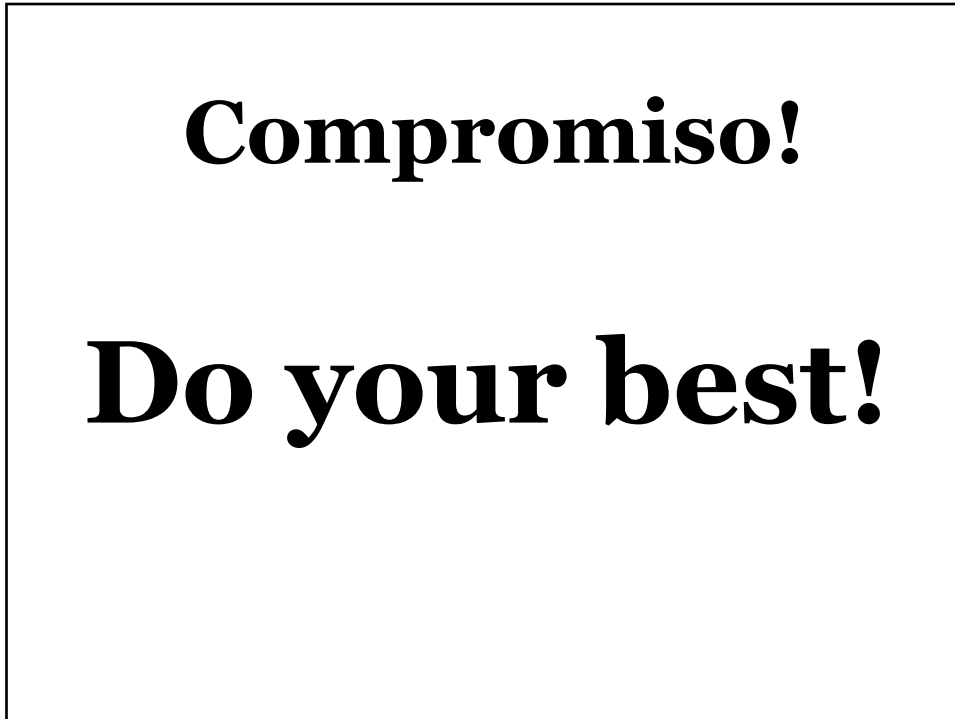
Estou enviando algumas fotos de uma ponte que visitei ontem. A mesma está implantada na Rodovia que liga Joinville a Curitiba.

Observe o enchimento que foi feito na laje do tabuleiro para adequação do greide!!! Tem regiões que o mesmo chega a 80cm!!! Cabe uma pessoa no enchimento !!!

Veja também a flecha observada no meio do vão da Ponte!!

Interditamos inteiramente a pista e estamos iniciando o alívio da estrutura, removendo o enchimento

204



205



206