



**Aprendendo com Falhas e
Acidentes nas Estruturas de
Concreto**

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*



São Paulo 09 de novembro de 2011 Rossi Residencial

1

**Erros, Falhas,
Omissões, Colapsos,
Acidentes, Frustrações,
Atrasos, Retrabalho,
Constrangimentos,
Decepções, Vergonha...**

2

**“Duro”
Aprendizado!**

3

**“Duro”
Aprendizado!**
vitórias/soluções/desafios

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 dos Organizadores deste evento

✓ com experiência de um CONSTRUTOR

✓ conhecimento de quem atende casos de colegas

✓ com a humildade de quem já errou...

6

✓ Postura dos Organizadores

✓ compareço aqui com experiência de um CONSTRUTOR

✓ conhecimento de quem atende casos de colegas

✓ com a humildade de quem já errou...

7

✓ Postura dos Organizadores

✓ com experiência de um CONSTRUTOR

✓ conhecimento de quem atende casos de colegas

✓ com a humildade de quem já errou...

8

✓ **Postura dos Organizadores**

✓ **com experiência de um
CONSTRUTOR**

✓ **conhecimento de quem atende
casos de colegas**

✓ **com a humildade de quem já
errou...**

9

Edifício Comercial

2009
fissuras em lajes
obra nova

10



11



Diagnóstico:
Mal posicionamento de armadura negativa das lajes adjacentes, sobre as vigas, devido a pisoteio durante a concretagem

12



13



14



15

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

Dimensionada para 150kg/m^2

1 ano de idade

 A schematic diagram of a chair with a wooden seat and backrest, supported by four legs. The chair is positioned to the right of the text.

16



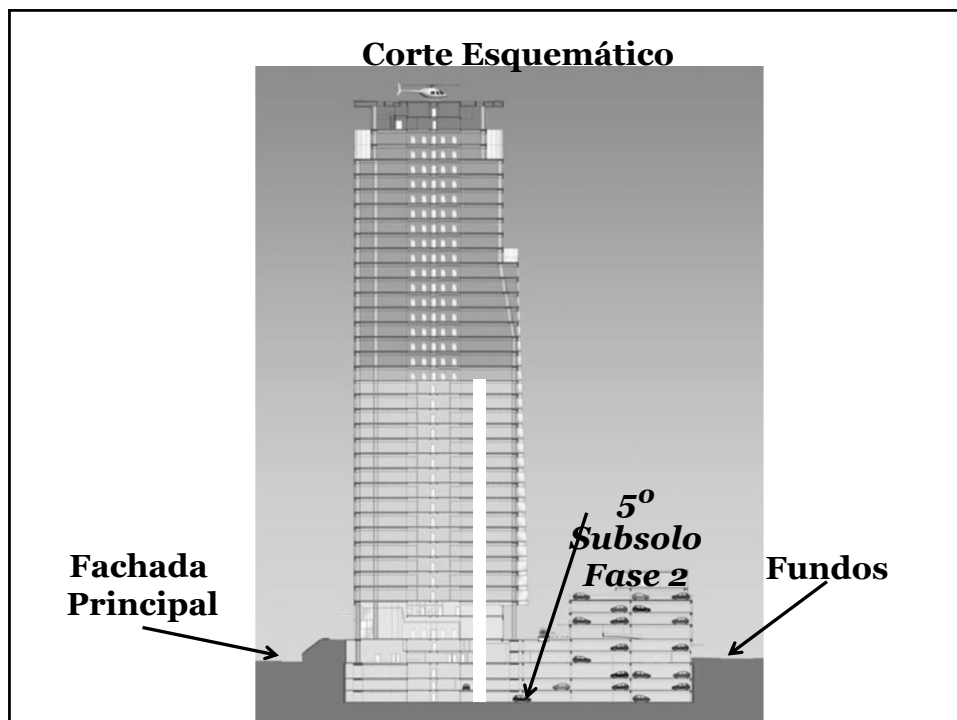
17

**seria um caso
de sabotagem
??? !!!**

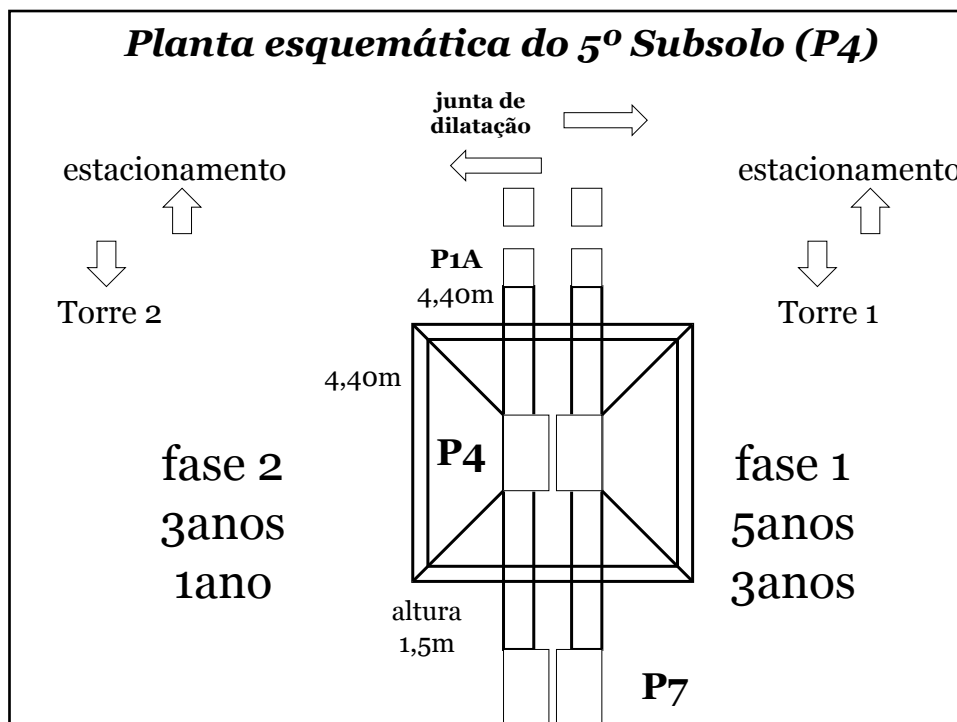
18

Dados do Edifício:**Localização: Centro – Rio de Janeiro, RJ.****36 pavimentos + 5 subsolos****Pilar P4 – Esforços de projeto:****Normal: 1.253tf****Mx: 55tf.m****My: 8tf.m**

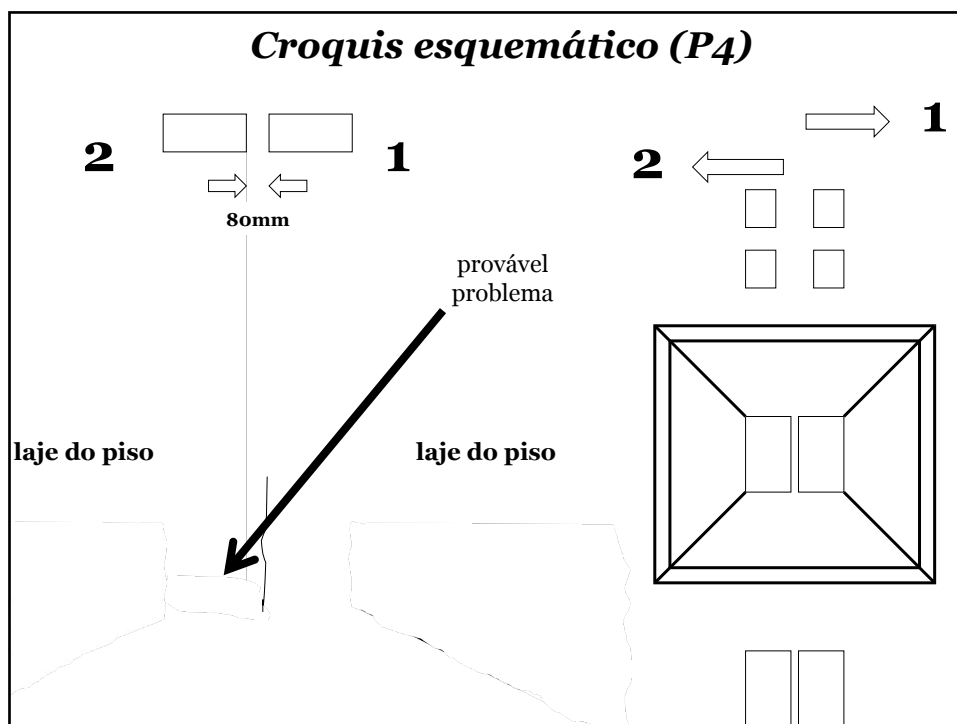
19



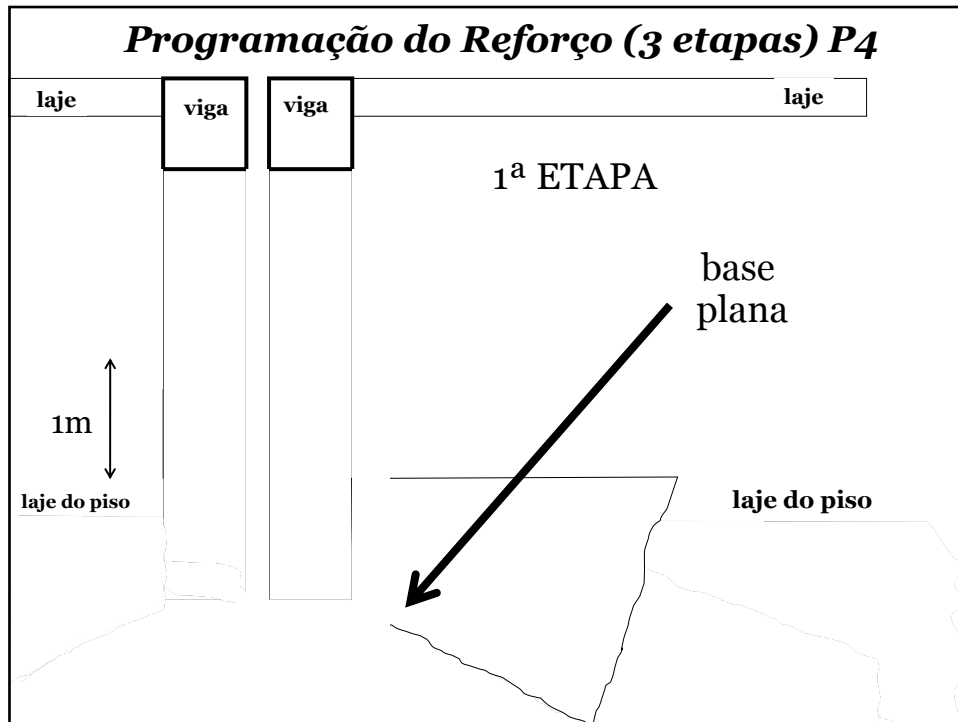
20



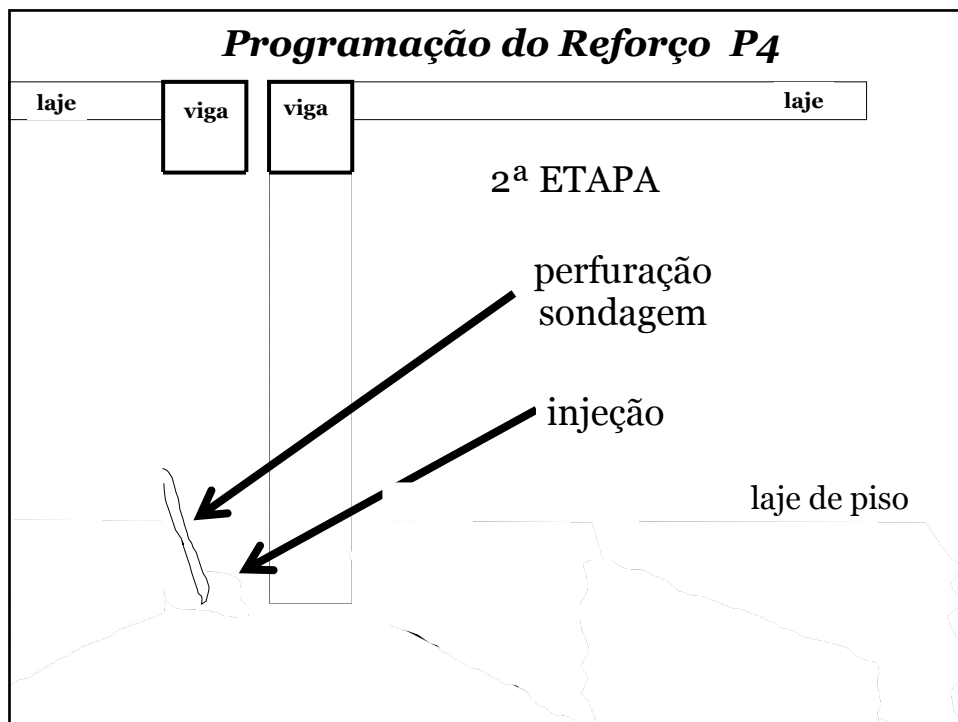
21



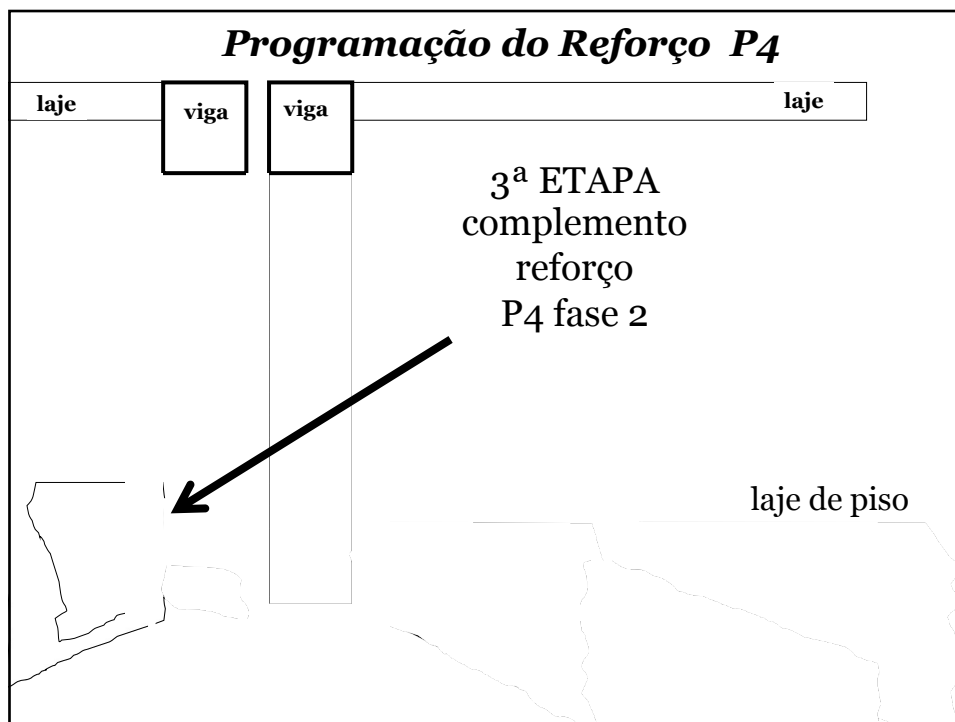
22



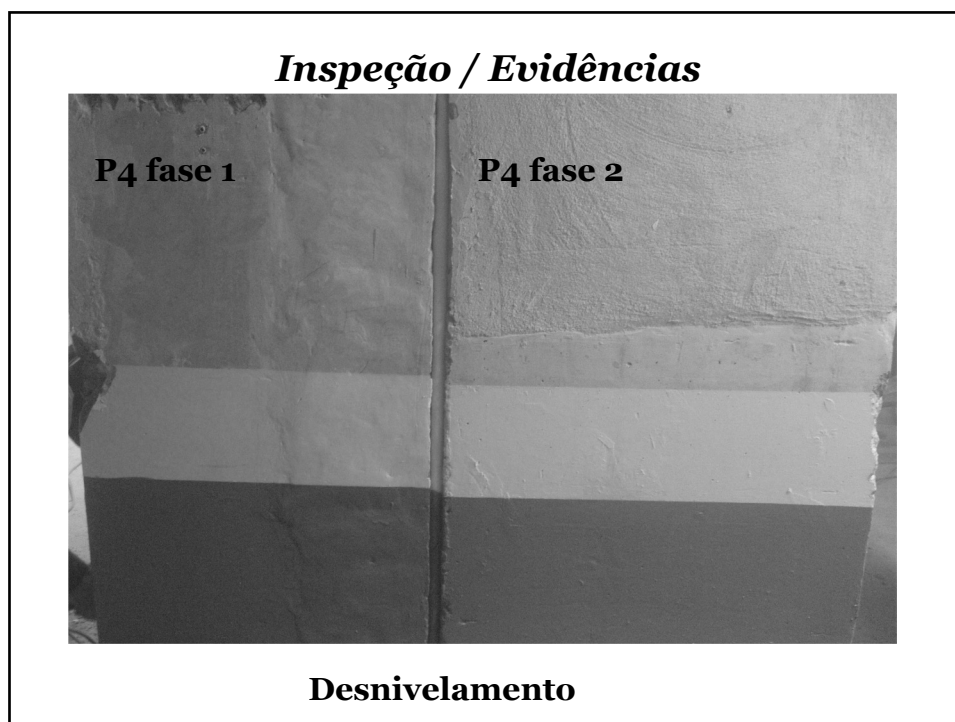
23



24



25



26



27



28

Inspeção / Evidências



Fissuras em Vigas

29

Inspeção / Evidências

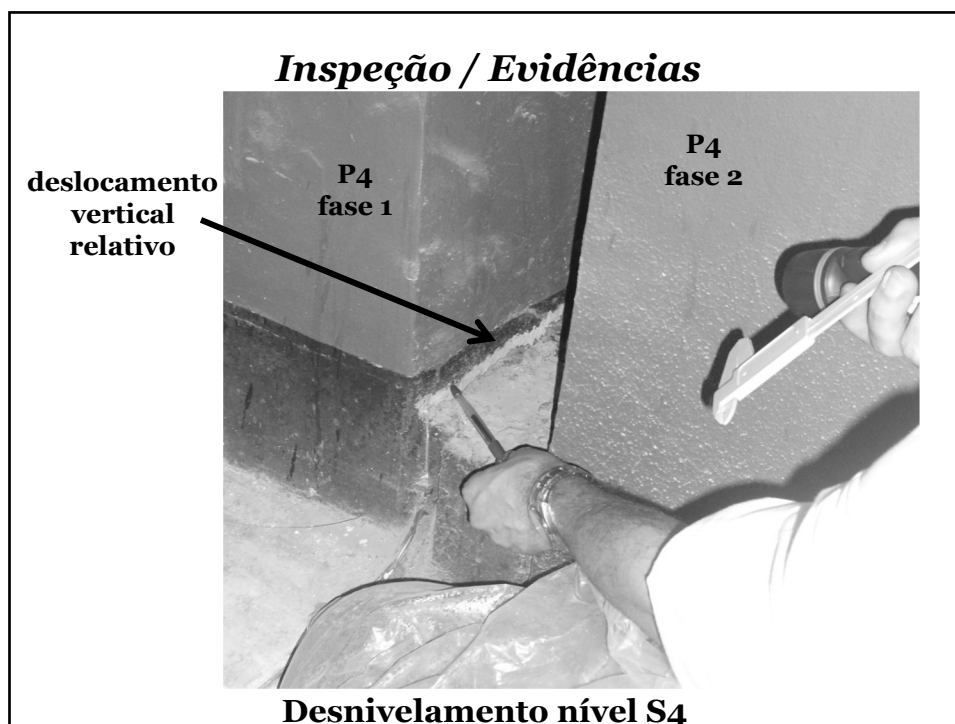


Fissuras em Vigas

30



31



32



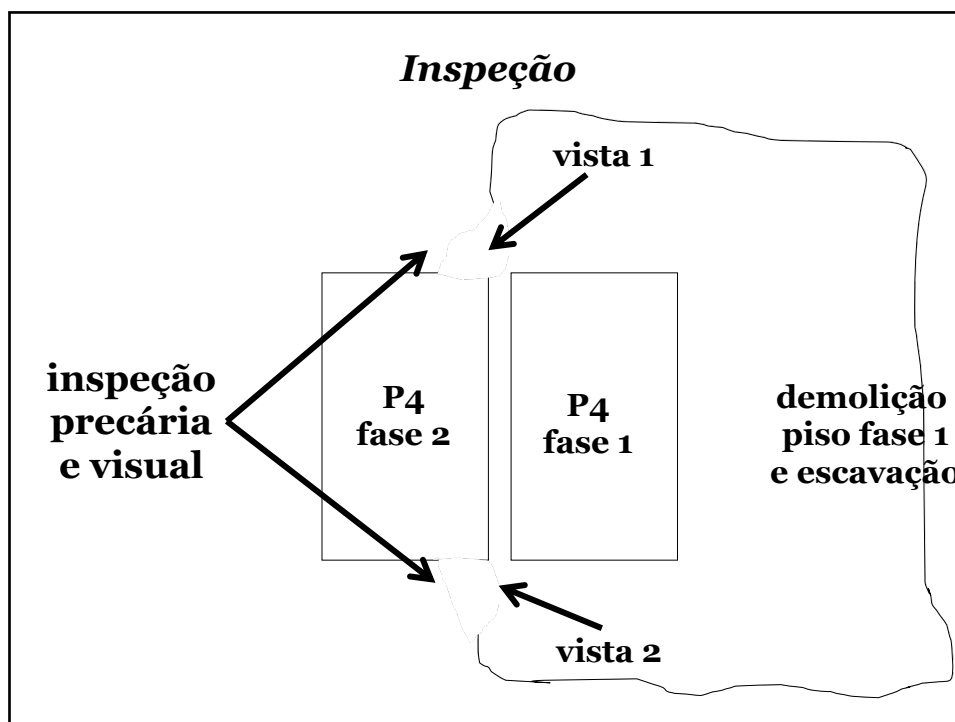
33



34



35



36

Inspeção



Demolição Piso fase 1

37

Inspeção

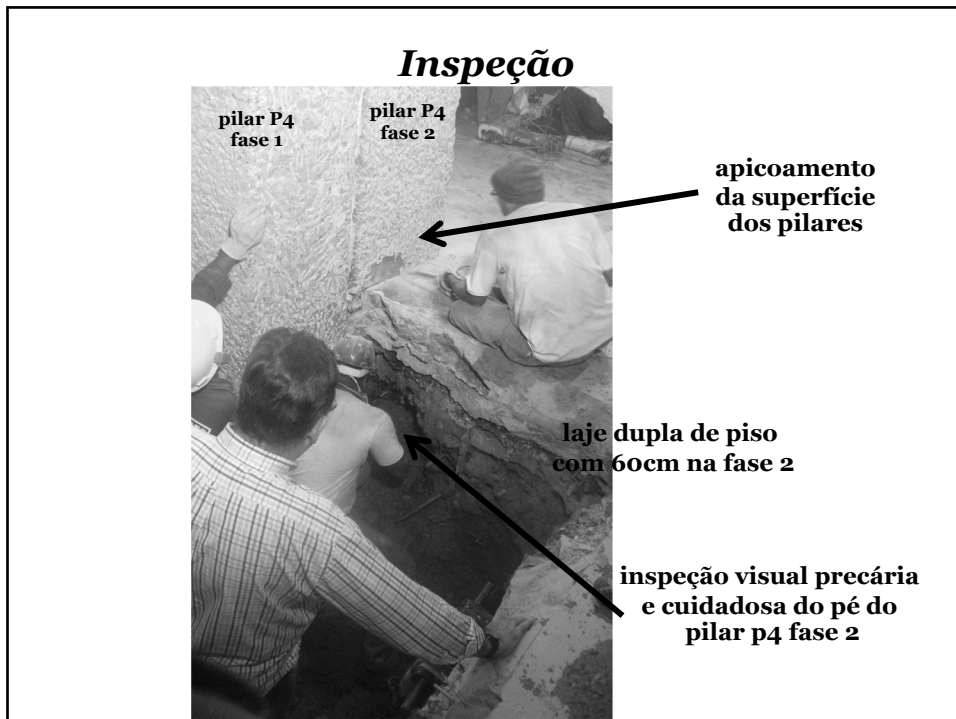


Escavação Piso fase 1

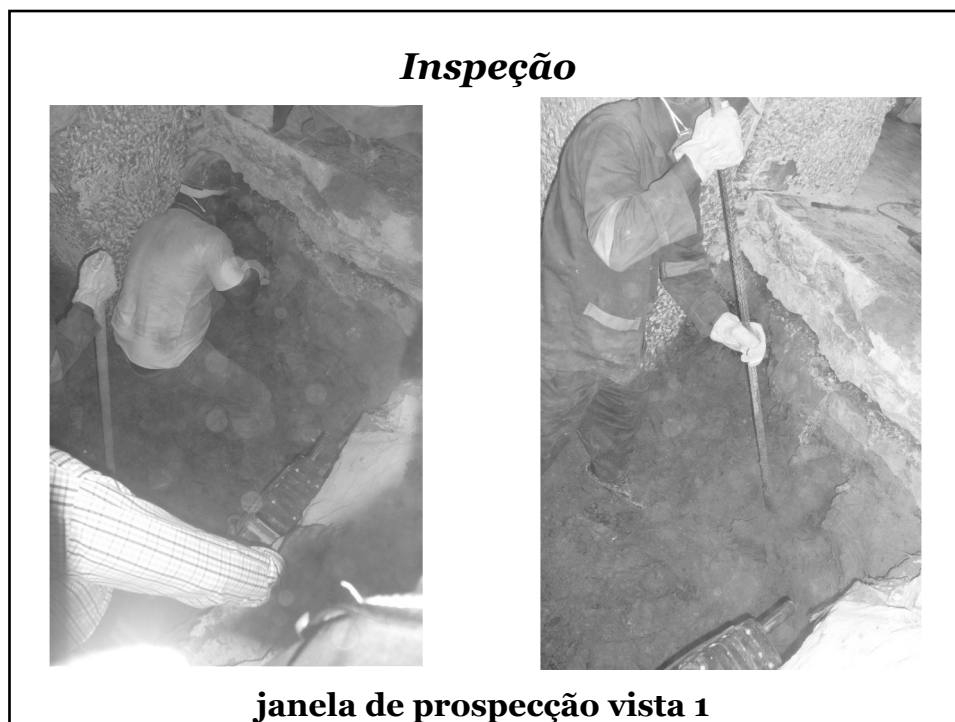
38



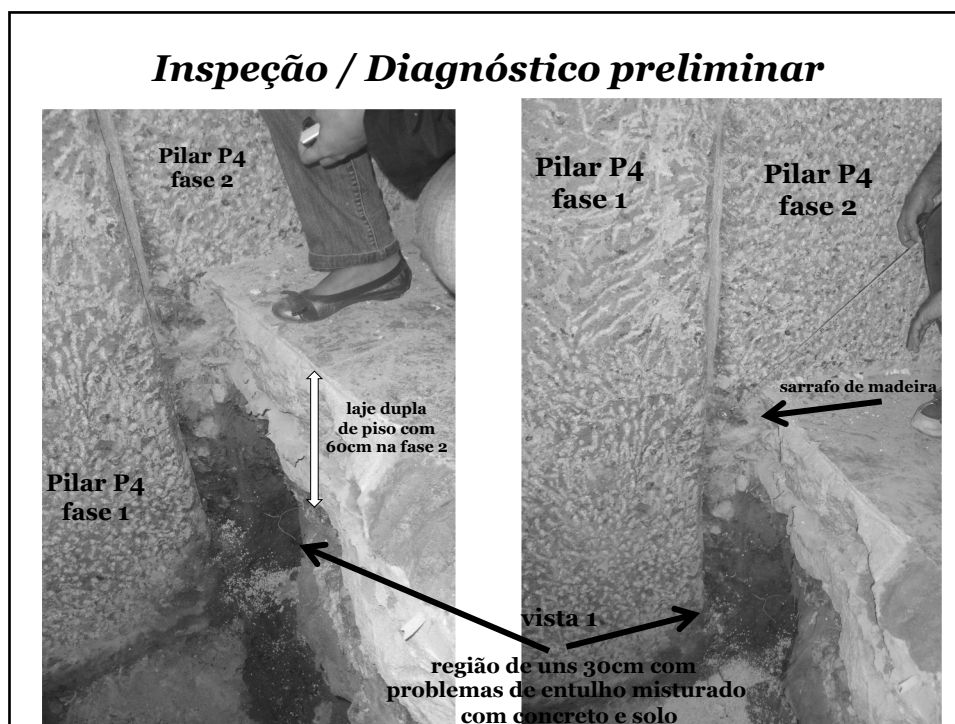
39



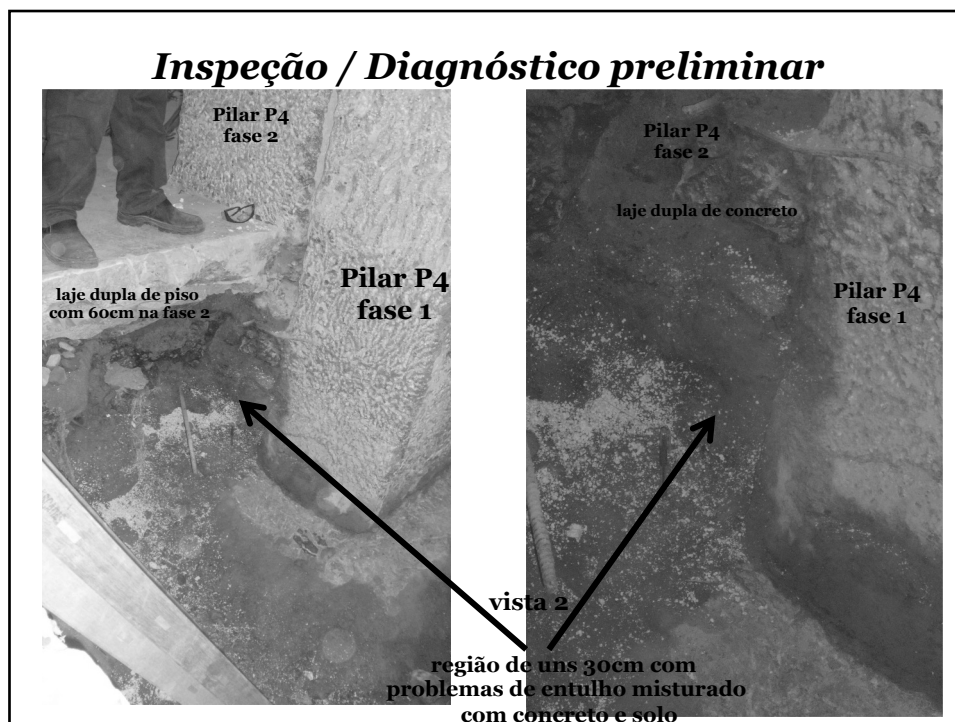
40



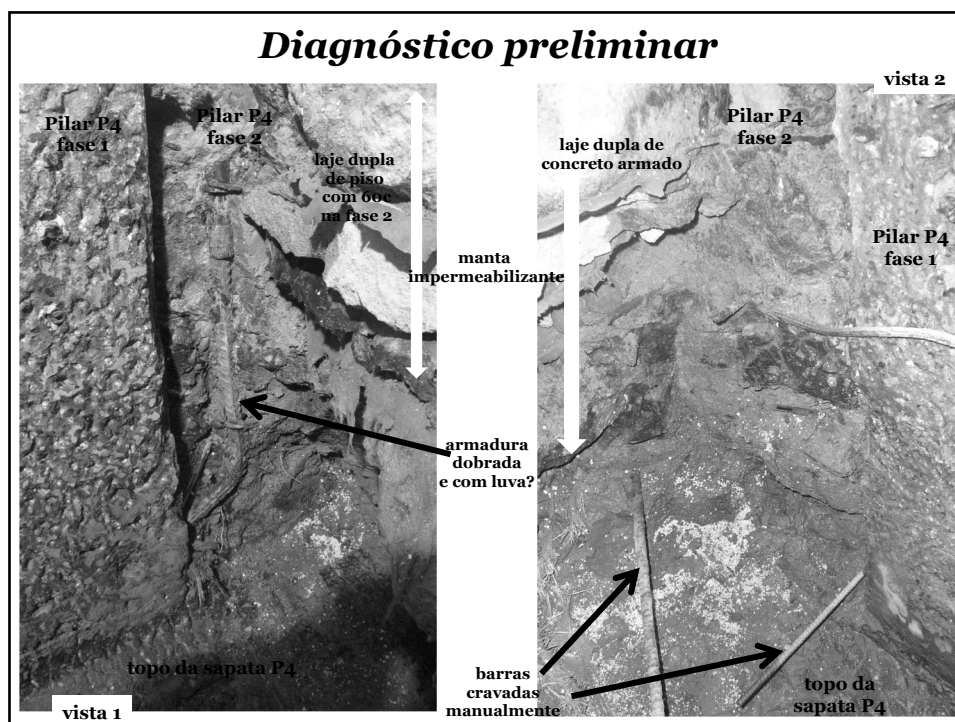
41



42



43



44

Inspeção



Controle contínuo de deslocamento vertical (recalque) dos pilares P4, P1A e P7

45

Inspeção

**nesse momento o grupo
encarregado da observação
da movimentação da
estrutura informou que os
selos de gesso romperam e o
pilar P4 fase 2 desceu
3mm!!**

46

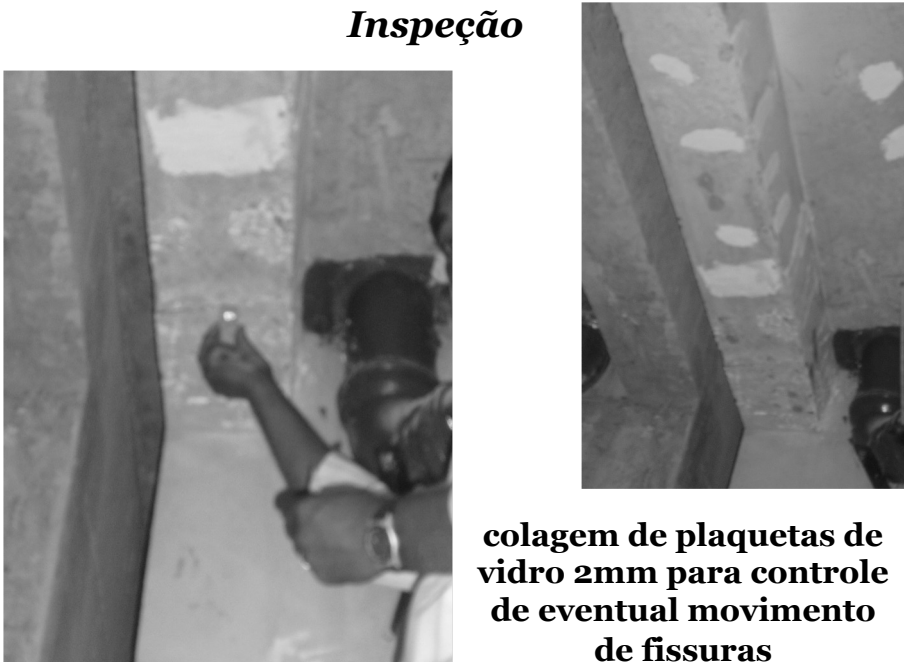


47



48

Inspeção



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

49

Inspeção

o reforço foi iniciado logo após observação de que o processo de recalque havia estabilizado

50

Procedimento Padrão para Reforço do Pilar P4 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.

51

4. Preparação da fôrma



52

5.Preparação do Graute



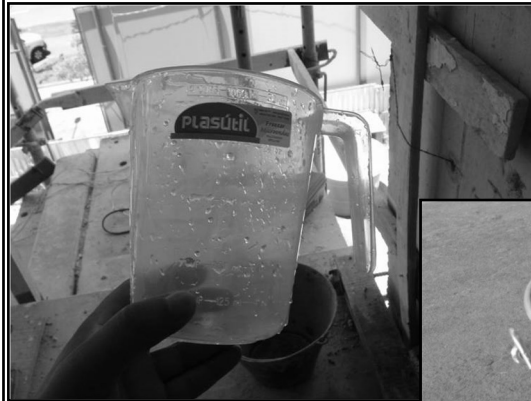
53

5.Preparação do Graute



54

5. Equipamentos para Preparo do Graute



medidor de água

balde metálico de fundo reto



55

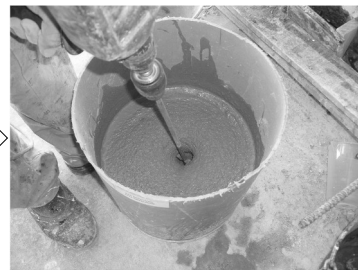
5. Preparação do Graute



graute industrializado



água

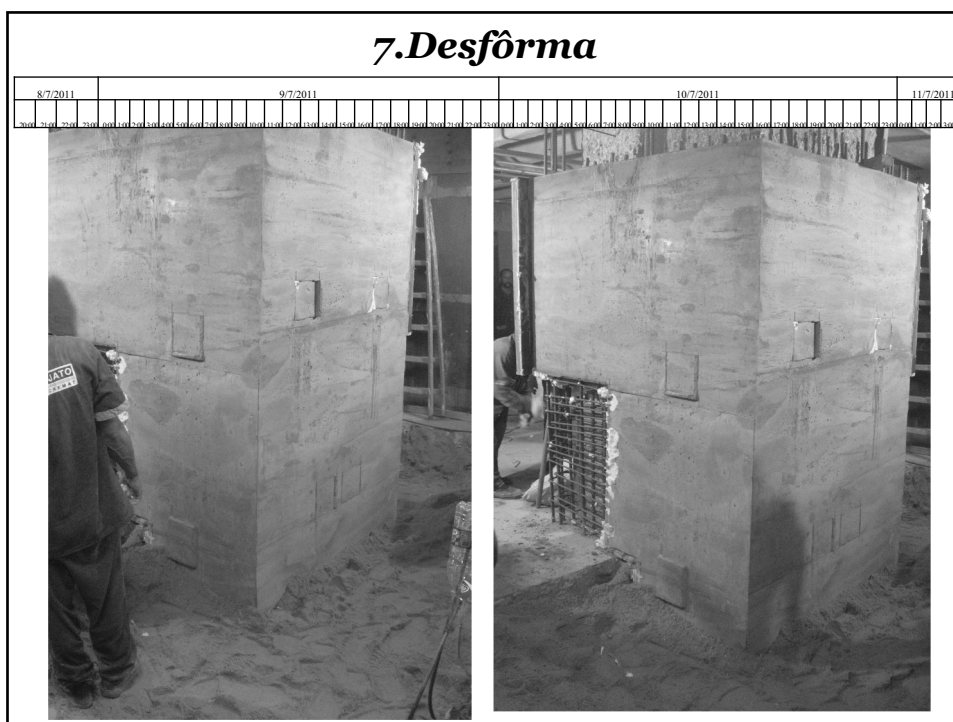


graute pronto para aplicação

56



57



58

7.Desfôrma



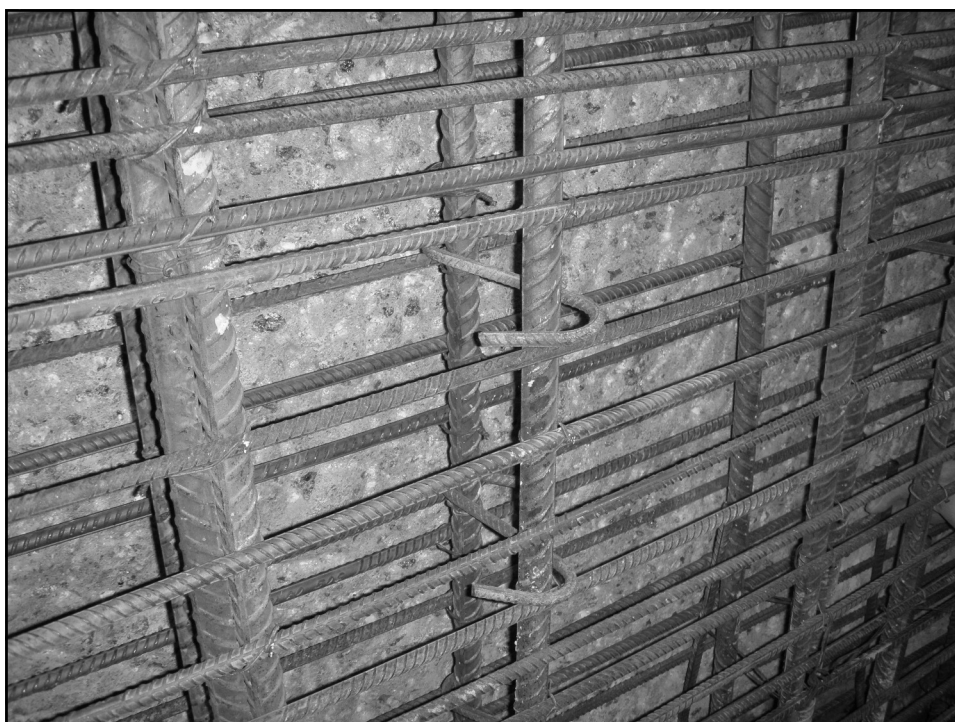
59



60



61



62

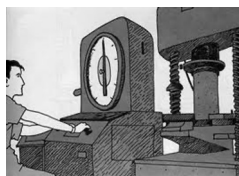


63

A origem e os intervenientes



**projetista
estrutural**



**tecnologista
de concreto**



**fornecedor do
material**



**construtor
(execução)**

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

64

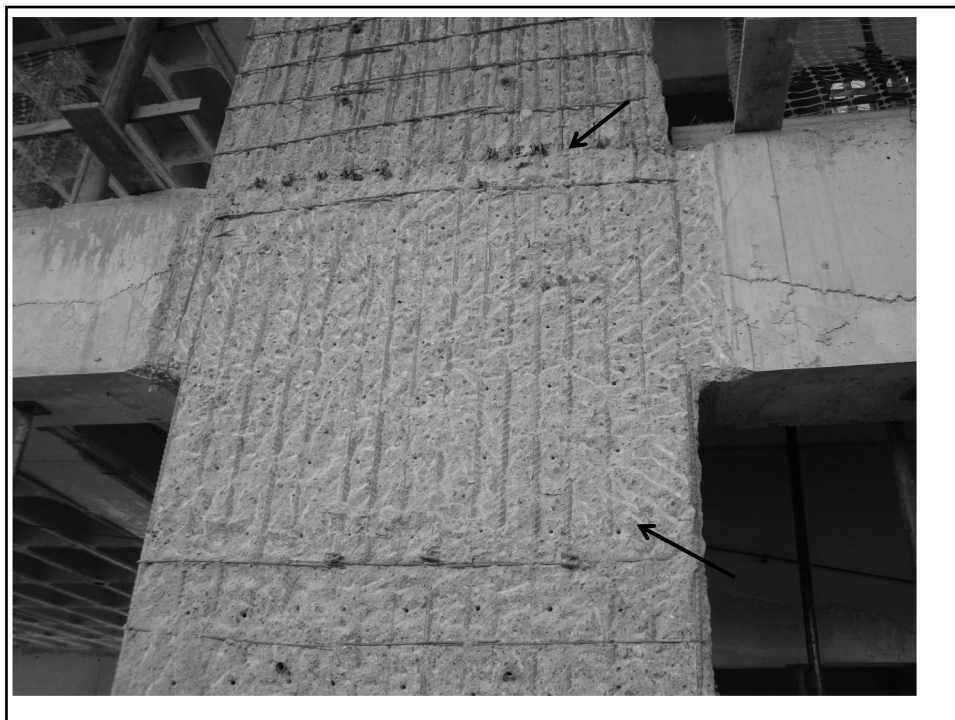
Edifício Habitacional

armadura de pilares *obra nova*

65



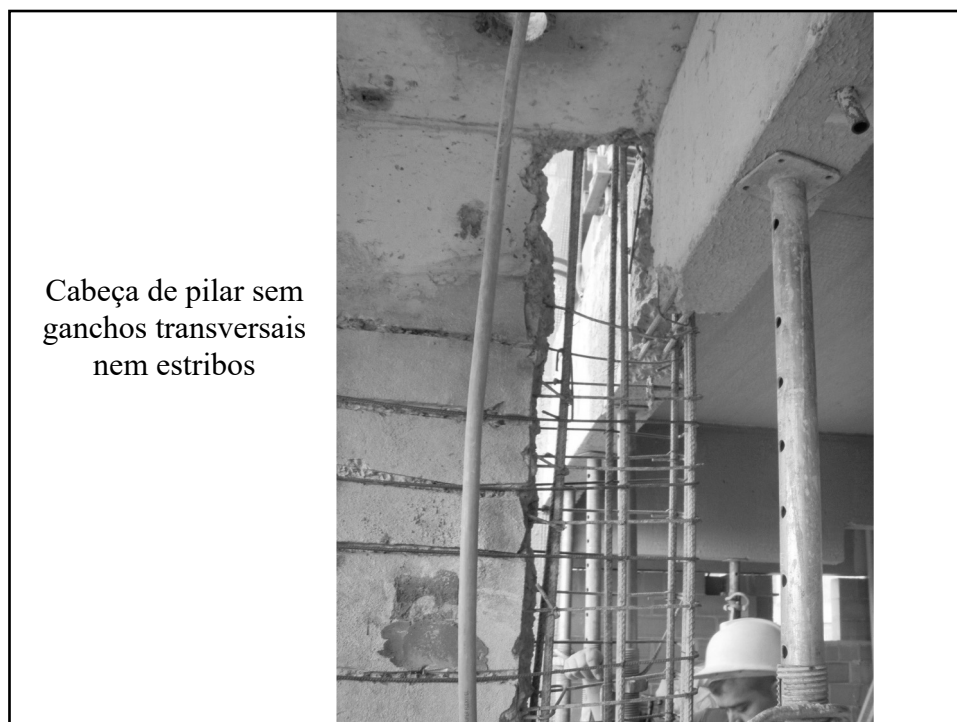
66



67



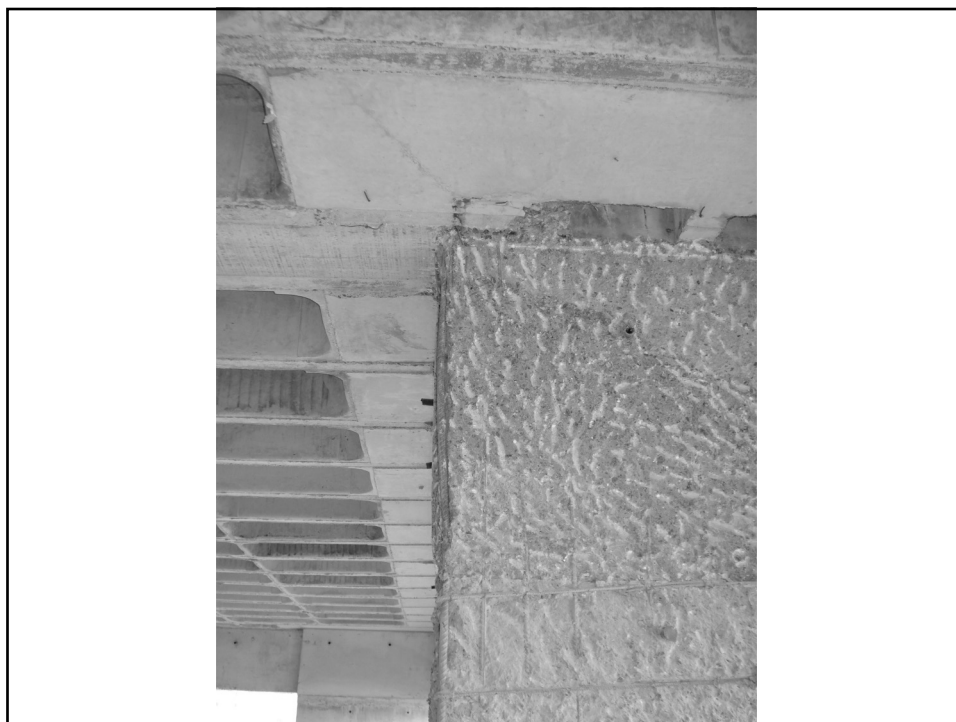
68



69



70



71



72

Qual o papel do Construtor?

73

- ✓ 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!

74

terceirizar um
serviço \neq
terceirizar
responsabilidade

75



76

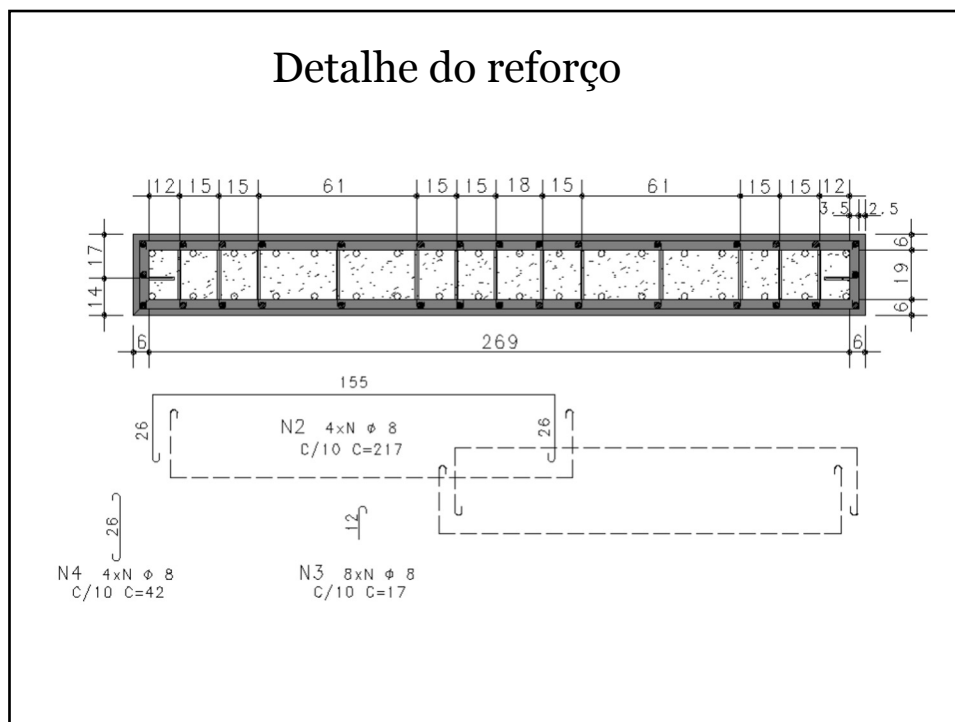


77

Solução adotada:

recompor a armadura transversal acrescentando estribos e ganchos passantes ao reforço, conforme critério da NBR6118:2007 – com espaçamento máx. de $20.\phi$

78



79



80

outro caso desastroso!

81

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 %

82

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.

83



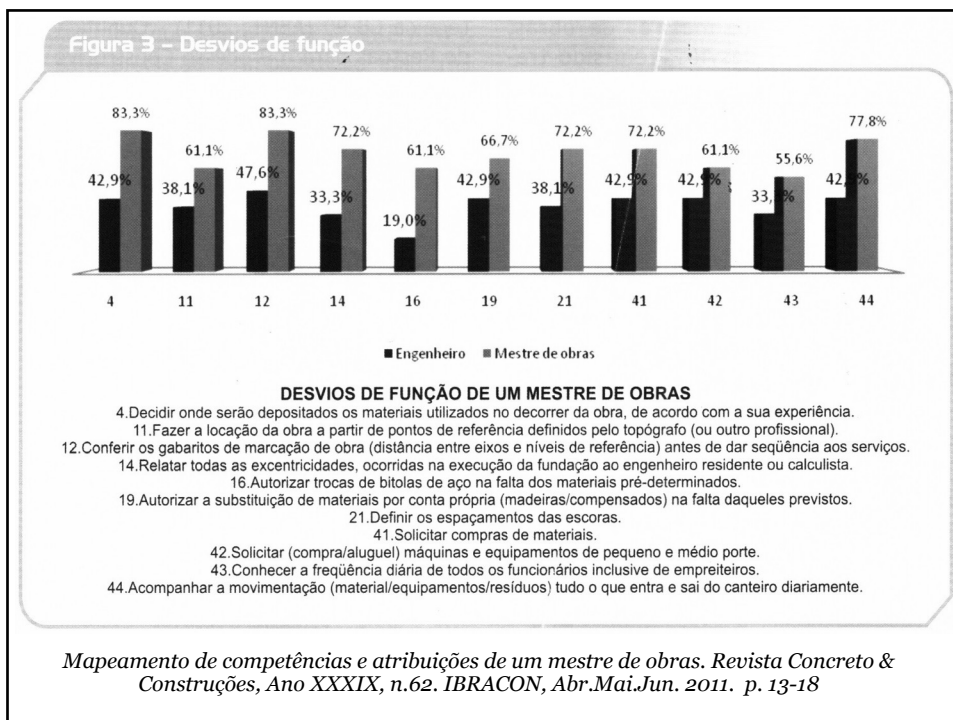
84

Edifício Real Class

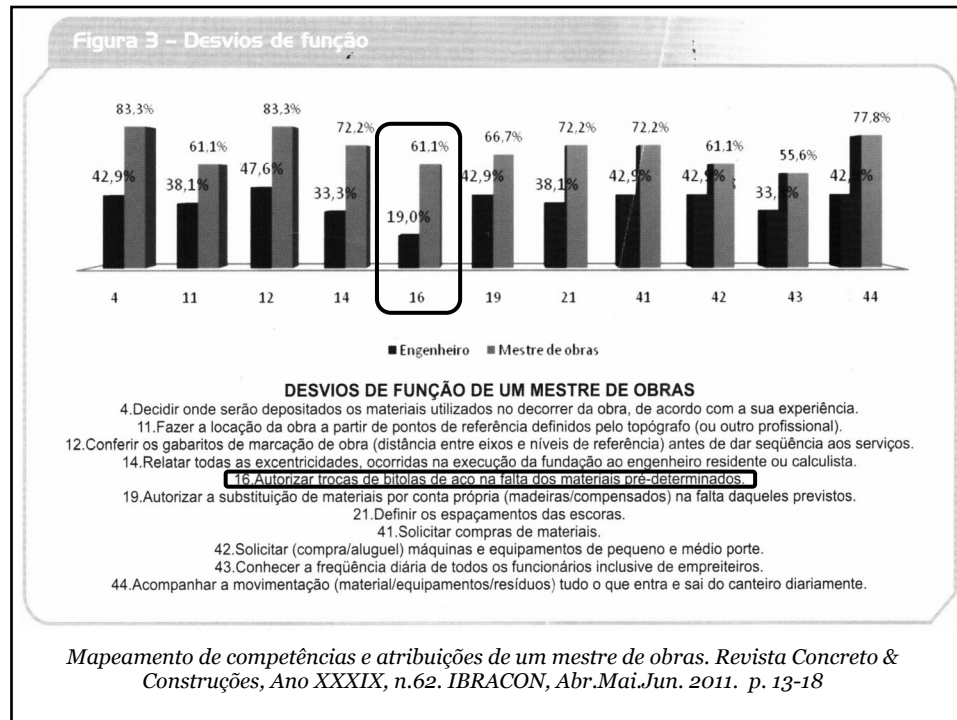



Belém do Pará
34 pavimentos
105m 20.01.2011 35MPa

85



86



87

Edifício Habitacional

concretagem de pilares *obra nova*

88



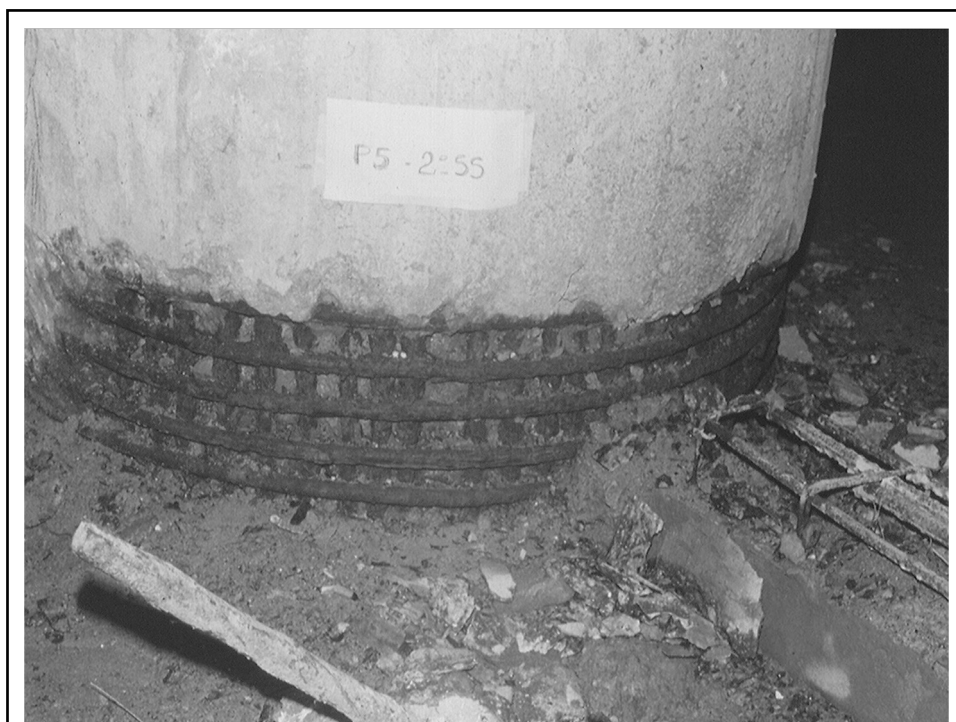
89



90



91



92



93

CONSTRUTOR

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

94

Edifício Areia Branca

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

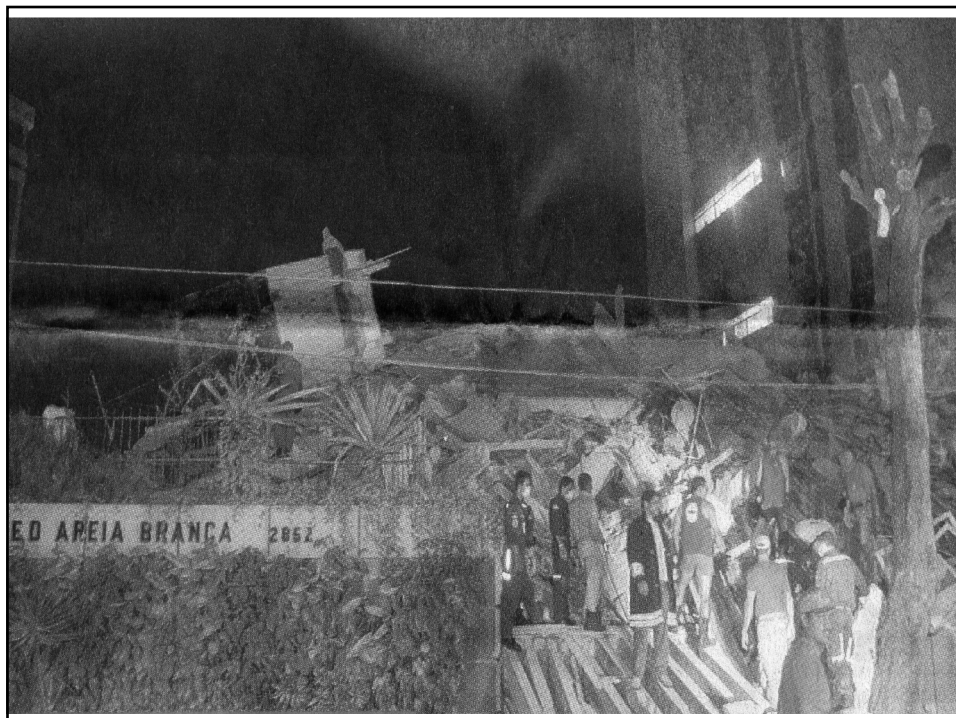
95



EDIFÍCIO AREIA BRANCA – Pernambuco

semanas antes

96



97



Escombros - manhã seguinte do desabamento

98



99

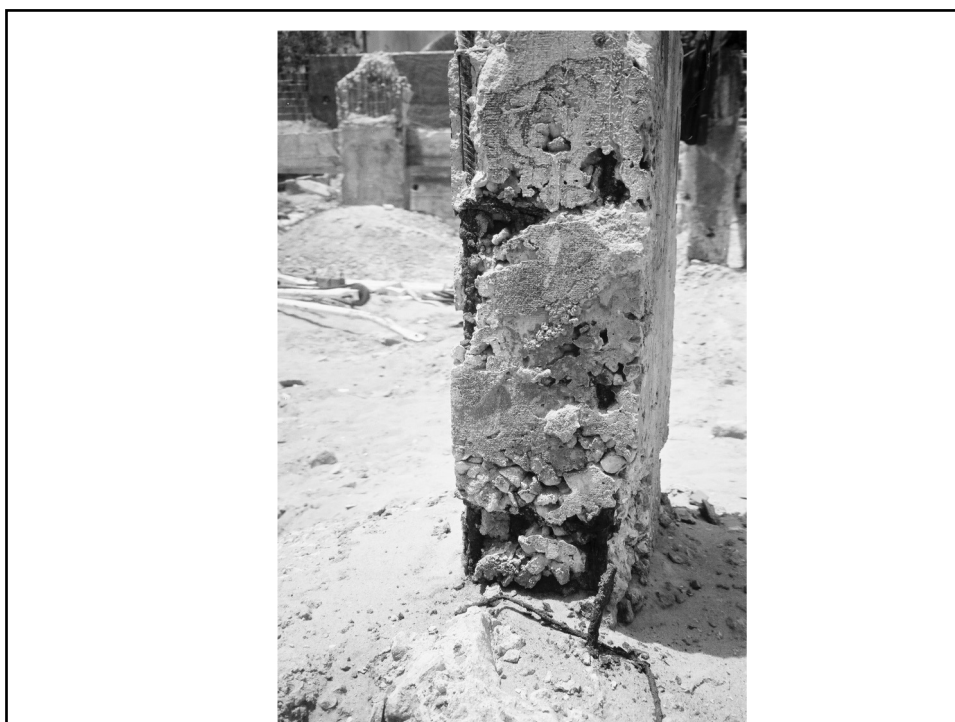


Edificações Vizinhas

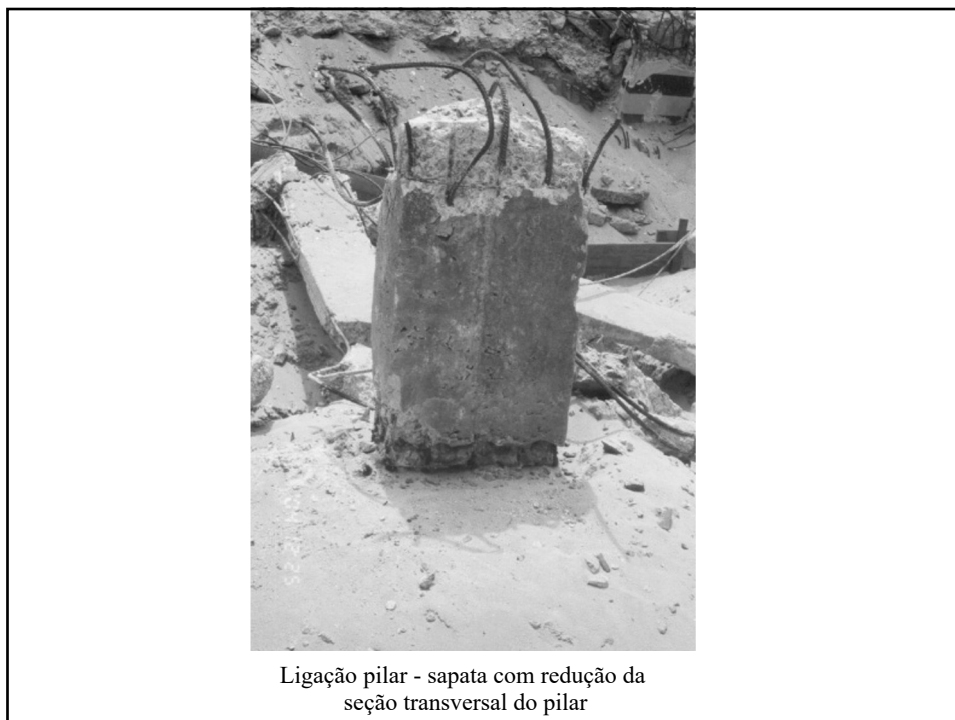
100



101



102



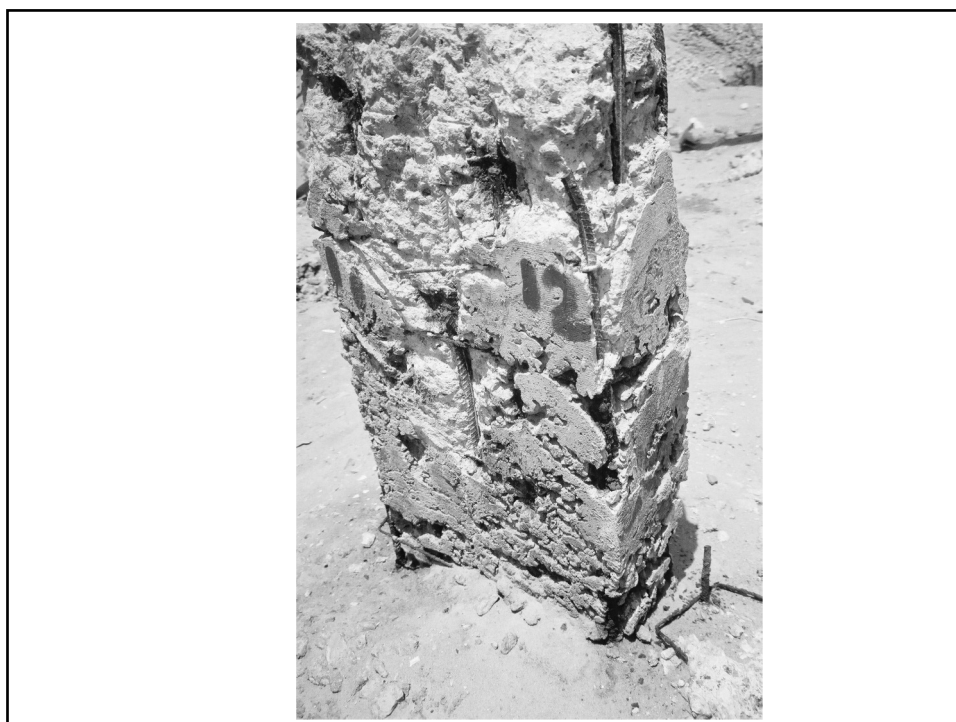
103



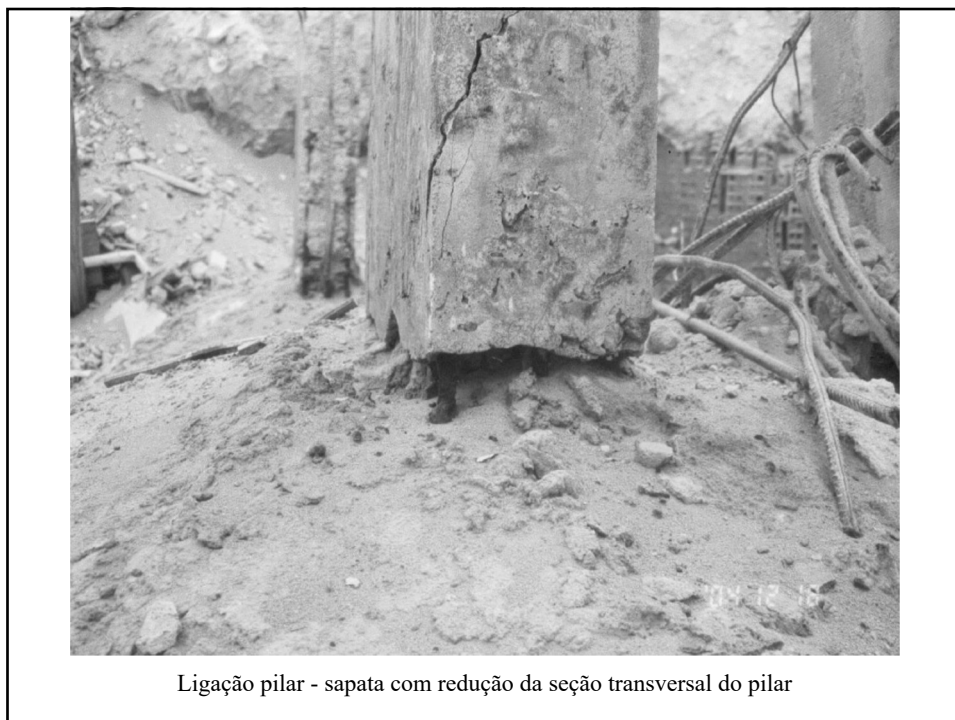
104



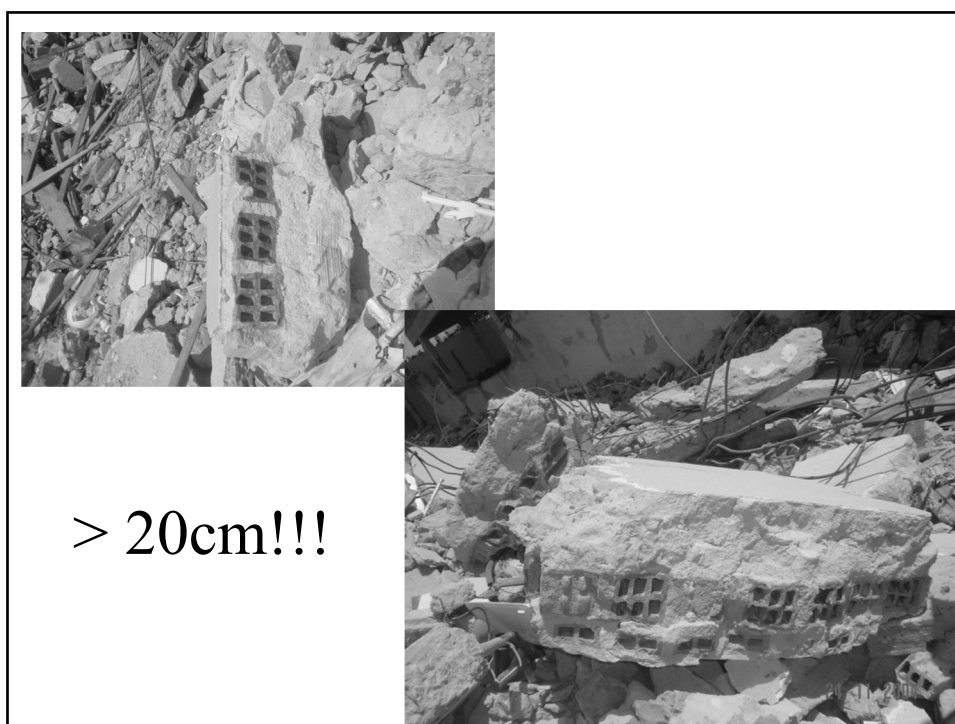
105



106



107



108

Edifício Solar da Piedade
vizinho ao
Areia Branca
Recife, Pernambuco
novembro de 2004
inspeção impede colapso

109

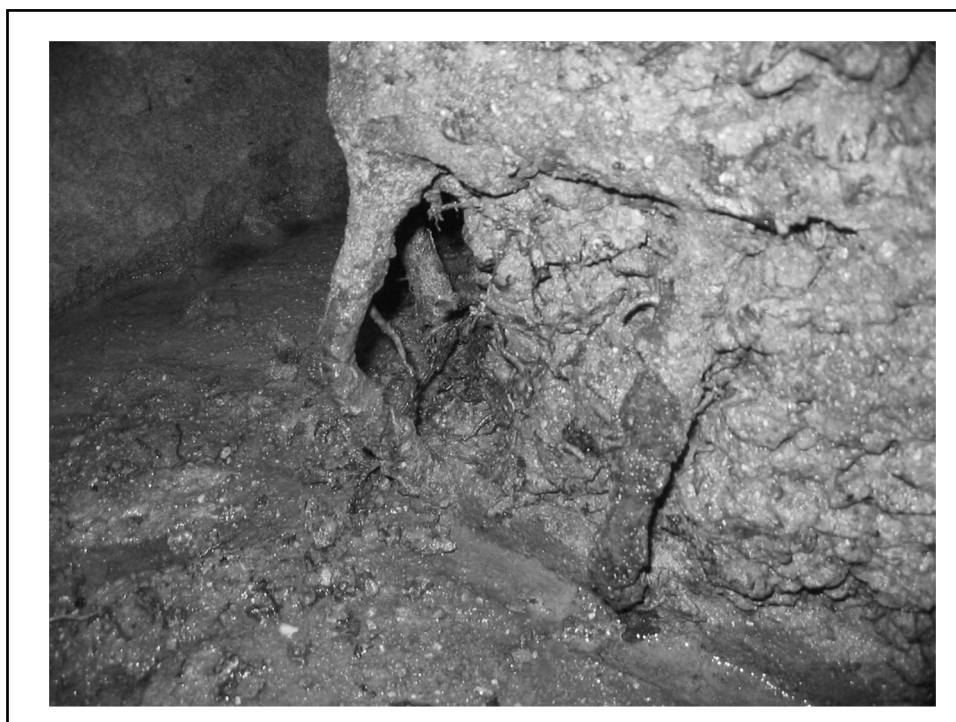


Edifício Solar da Piedade, Boa Viagem, Recife PE

110



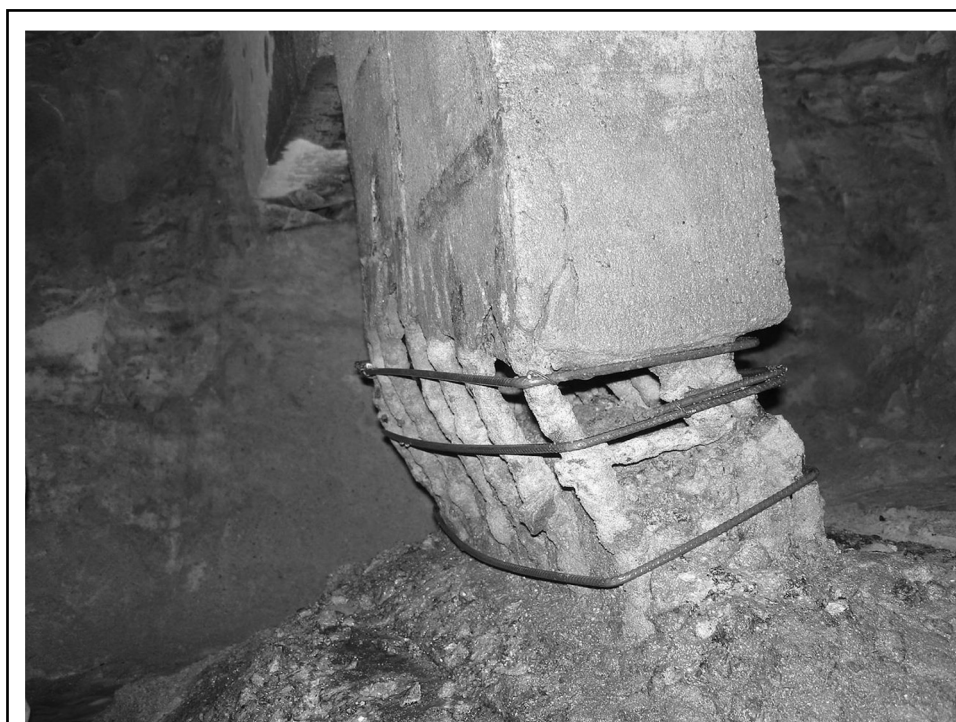
111



112



113



114

CONSTRUTOR

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

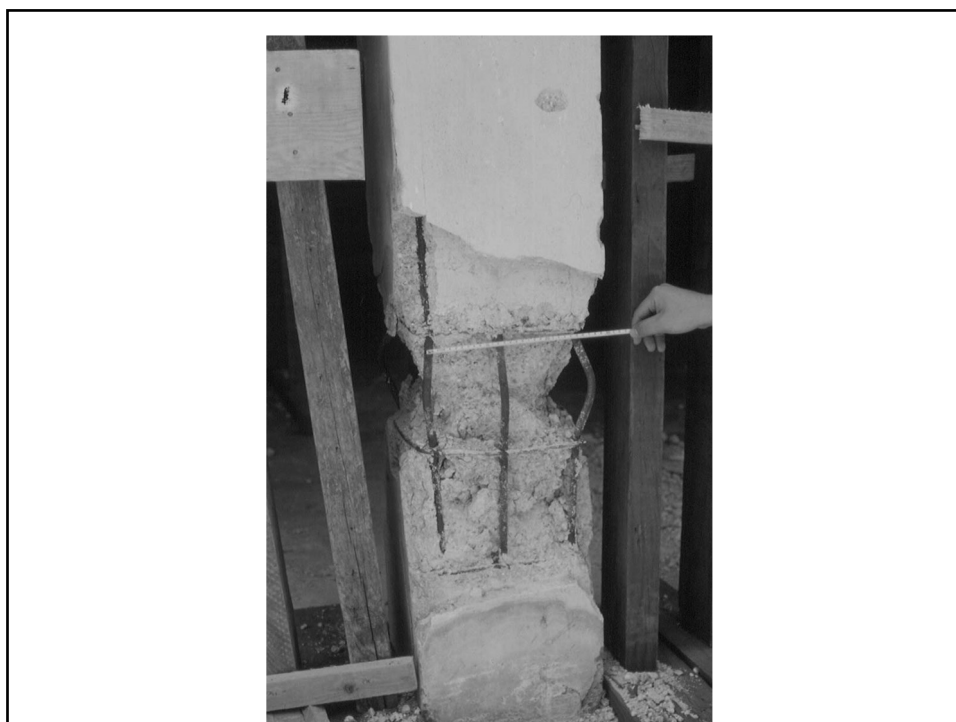
115

Edifício de
apartamentos
Jaguapé, São Paulo
58 anos
Pilar rompido

116



119



120



121

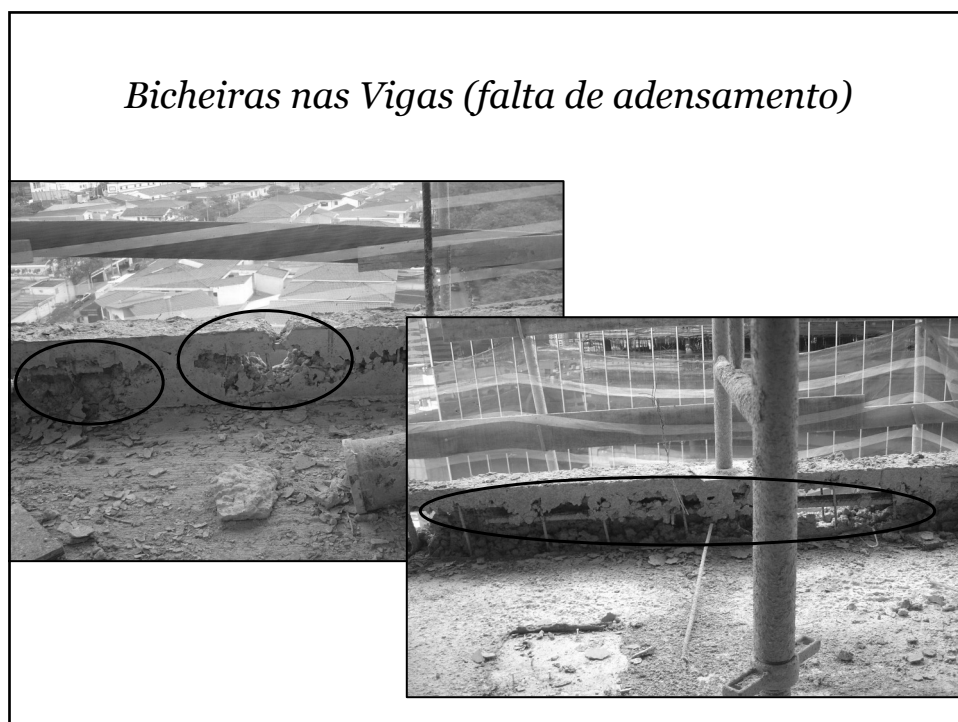
Shopping Center

bicheiras e ninhos de
concretagem em vigas

122

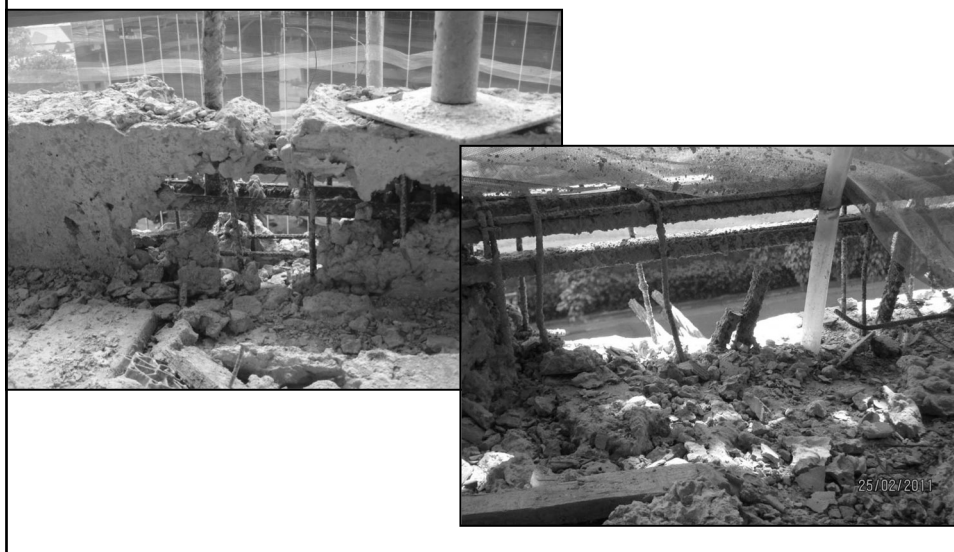


123



124

Bicheiras nas Vigas (falta de adensamento)

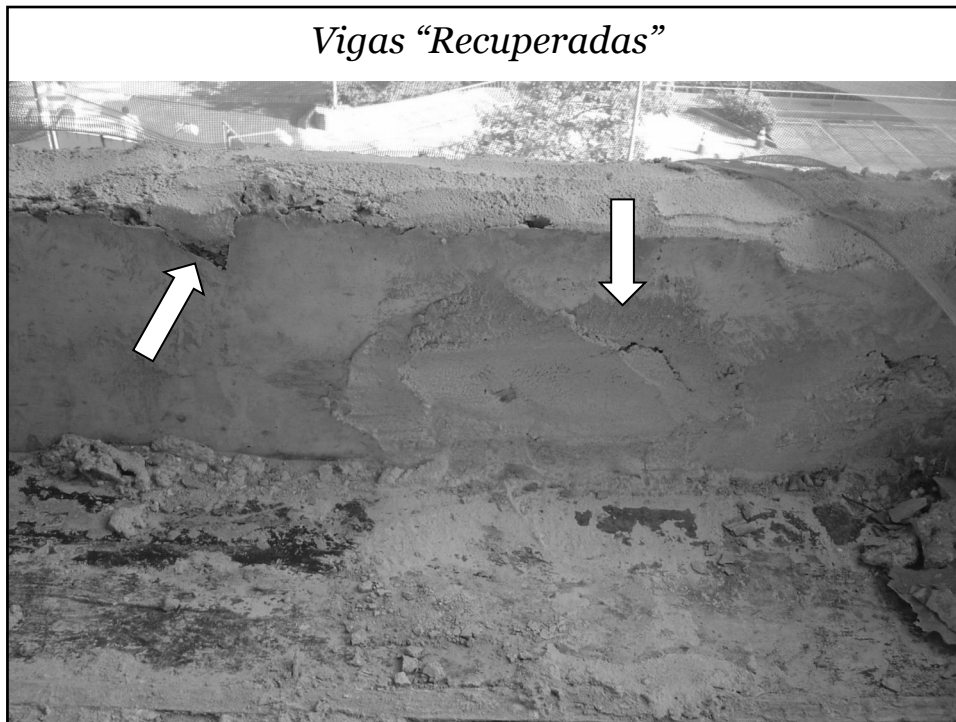


125

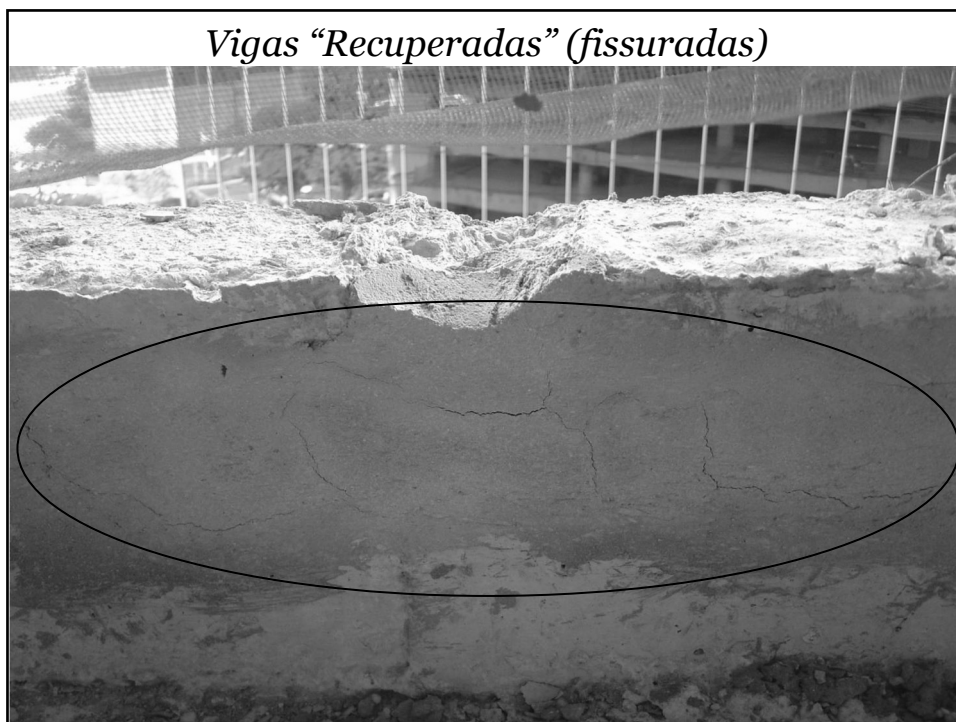
“Recuperação” das Bicheiras com Argamassa Comum



126



127



128

Edifício Emblemático
Alphaville, São Paulo
50MPa
35 andares
Comercial
ninho de concretagem

129



130



131



132



133



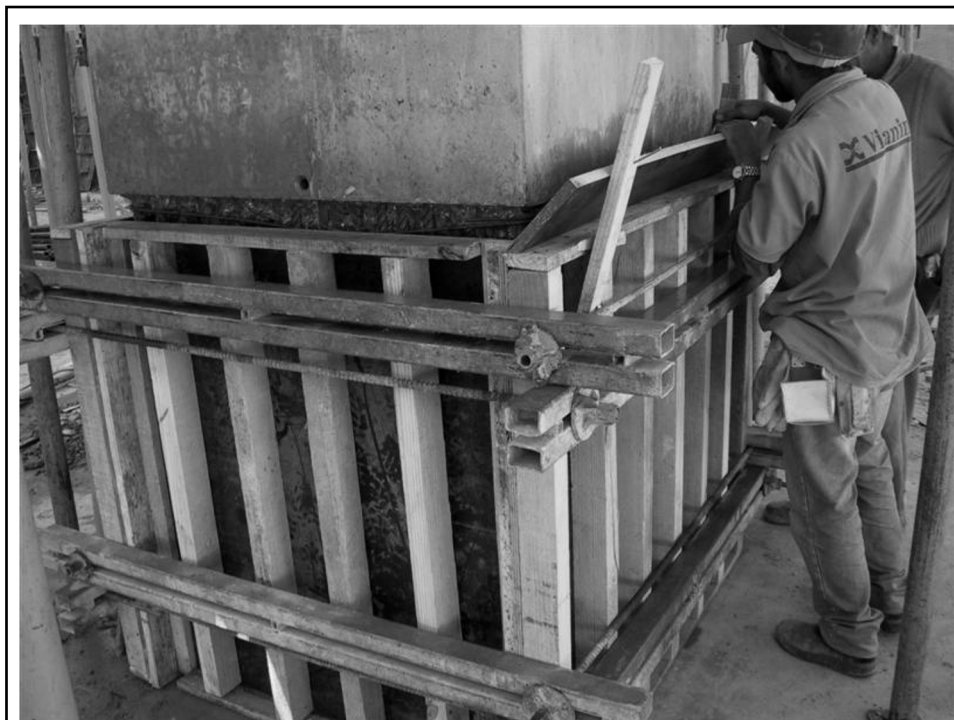
134



135



136



137



138

alinhamento de pilares, excentricidade

139

Pilar executado com um tramo deslocado dos demais em 8cm:



8cm

The diagram shows a small arrow pointing downwards and to the left, with the text '8cm' positioned above it, indicating a specific displacement or offset.

140



141

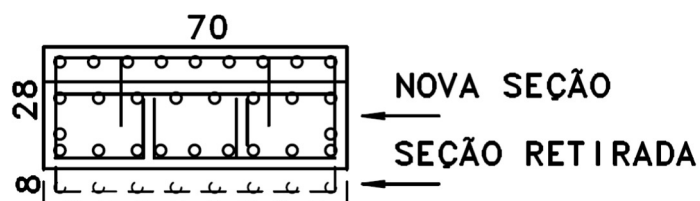


142

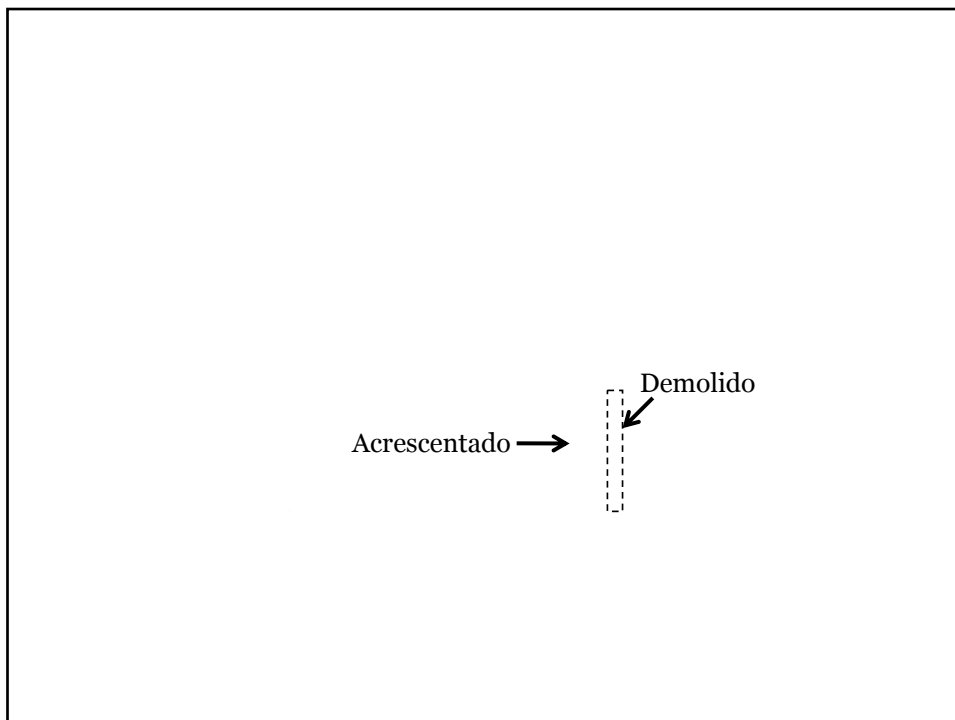


143

Solução: Demolição do excedente e aumento da seção do lado oposto para trazer o pilar a sua posição original de projeto.



144



145



146

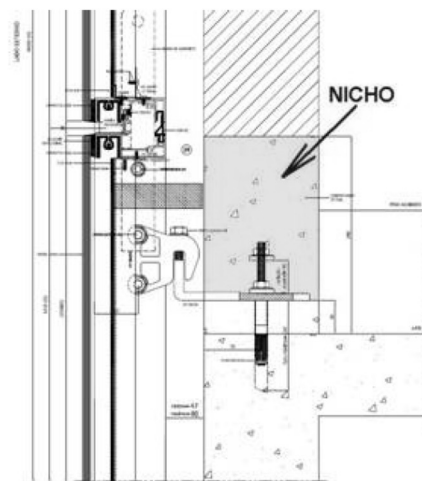
Compatibilidade de Projetos

147

Incompatibilidade de Projetos (estrutura x caixilhos)

➤ Não foi analisado em conjunto o projeto de caixilho e o projeto da estrutura;

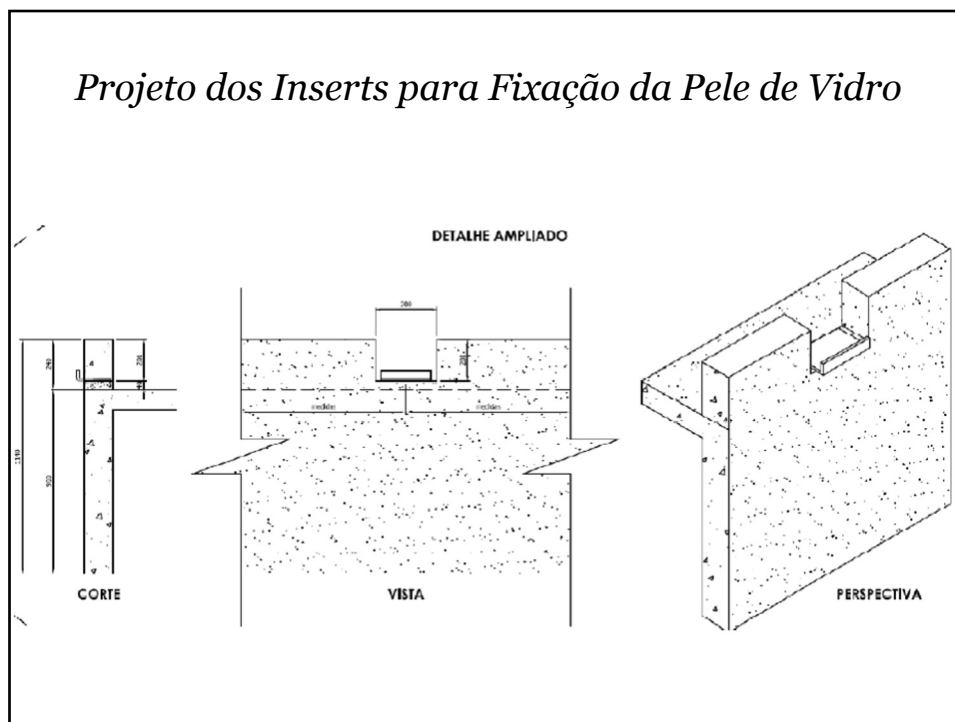
➤ As vigas invertidas foram quebradas para inserir os inserts de fixação da pele de vidro na fachada;



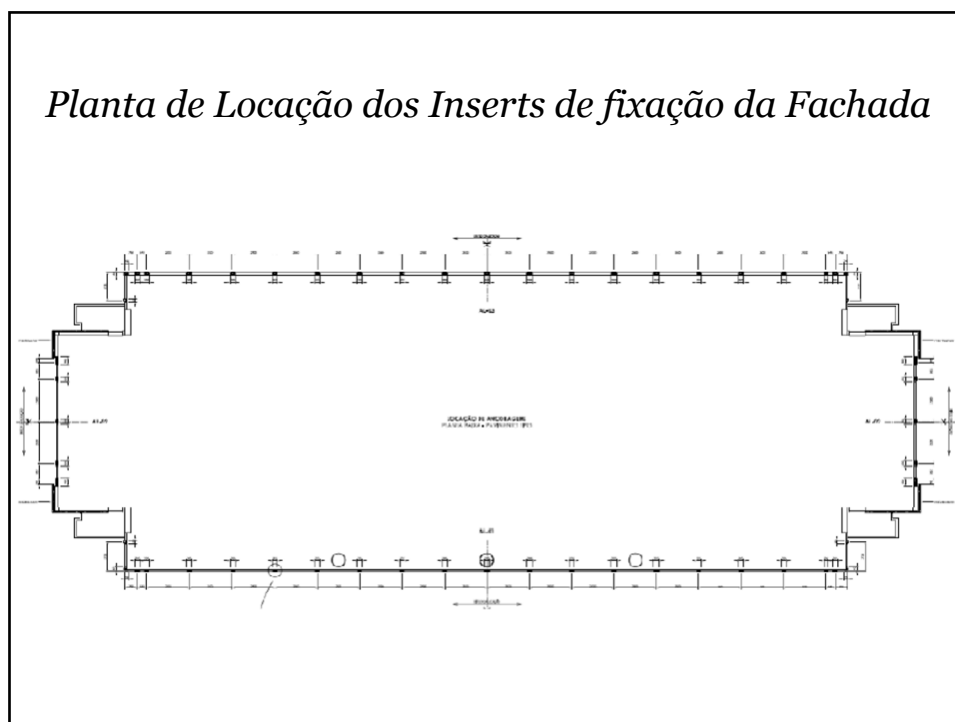
Projeto do Caixilho →

Detalhe do nicho e ancoragem

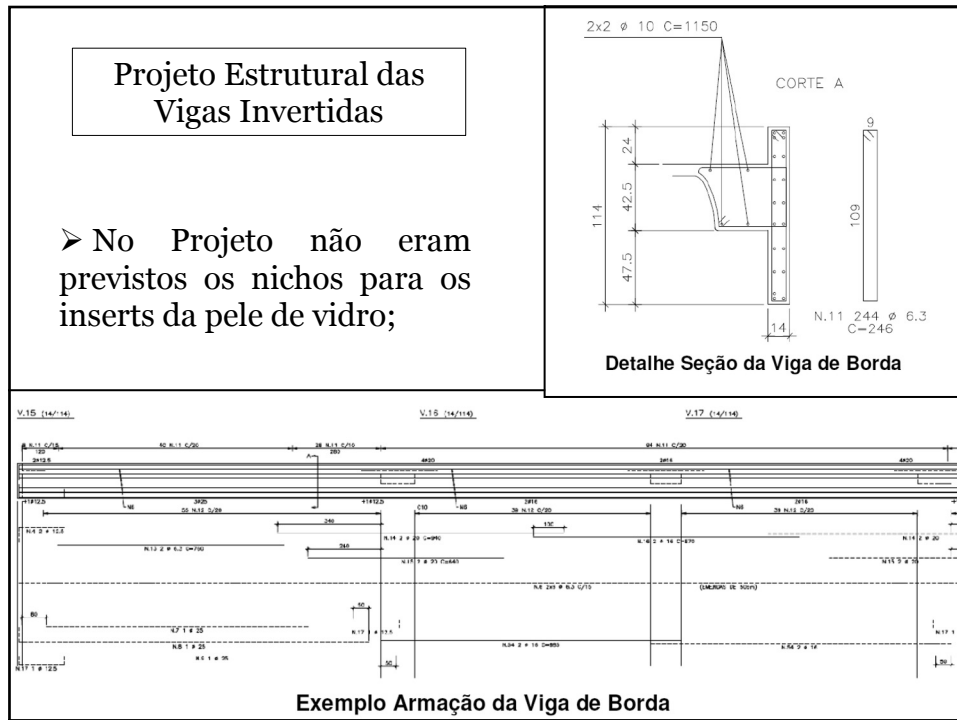
148



149



150



Vigas sendo Demolidas e Cortadas suas Armaduras sem Consentimento do Projetista



153

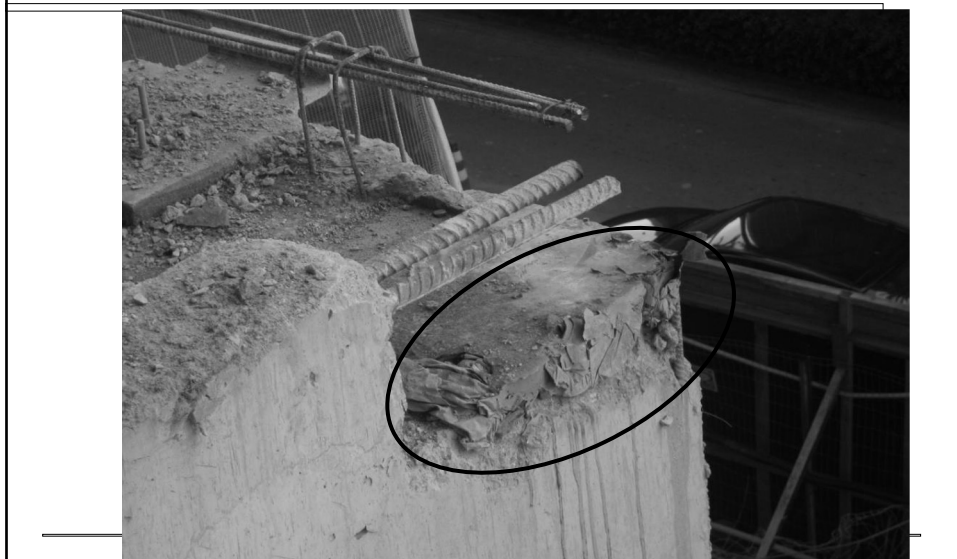


154

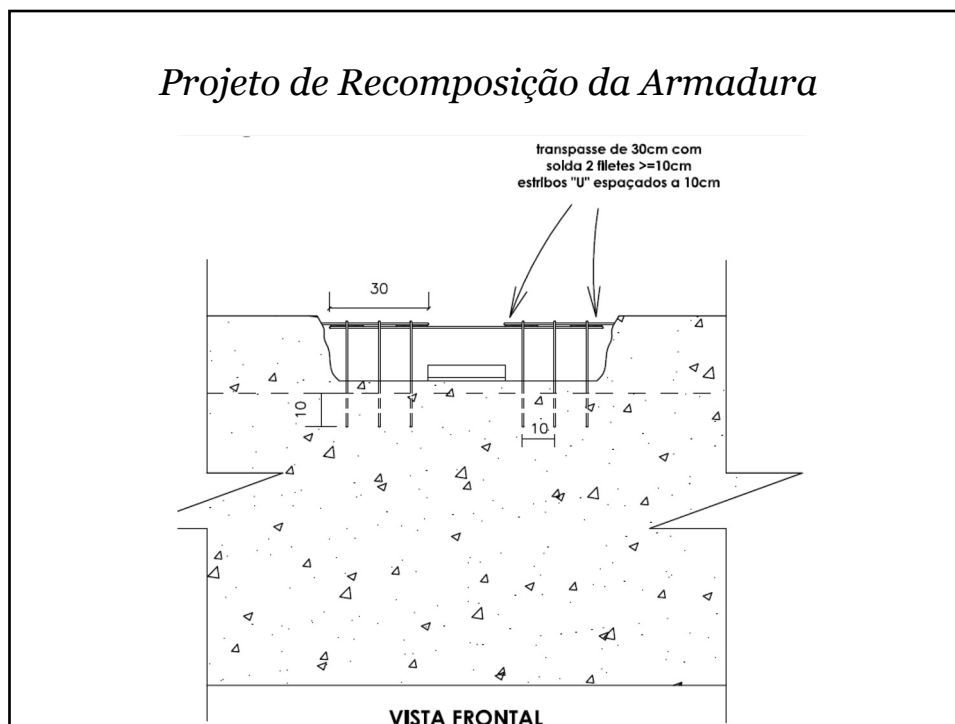


155

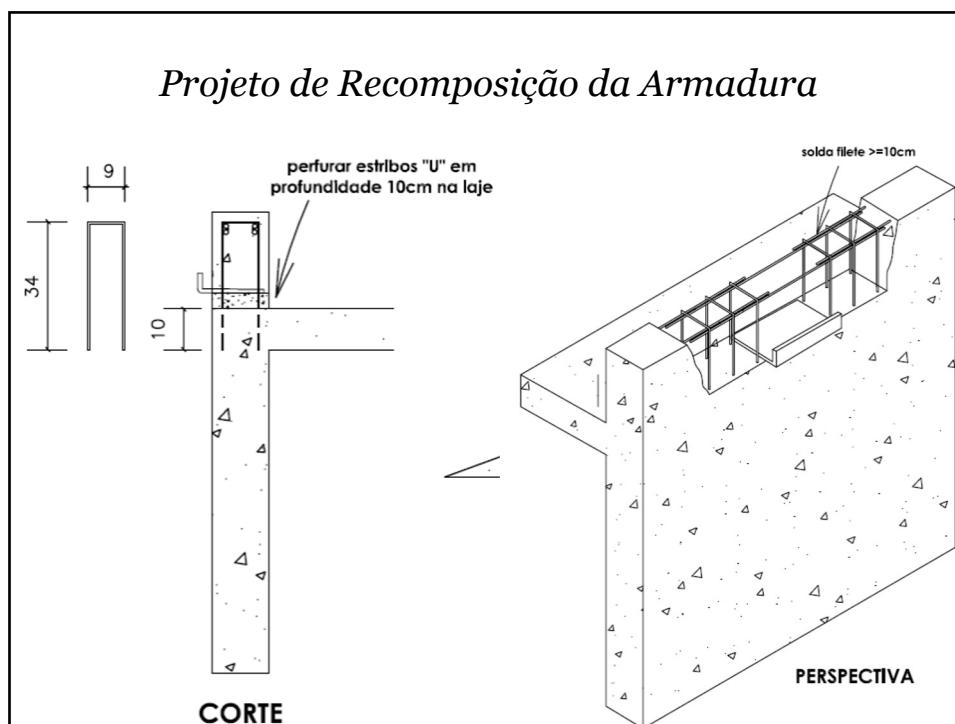
Recomposição com Graute e Sacos de Papel Vazios



156



157



158



Reconstituição das armaduras

IBRACON



159

Recomposição das Armaduras Cortadas



160

CONSTRUTOR

Não entendeu → PERGUNTA

Não achou o detalhe → COBRA

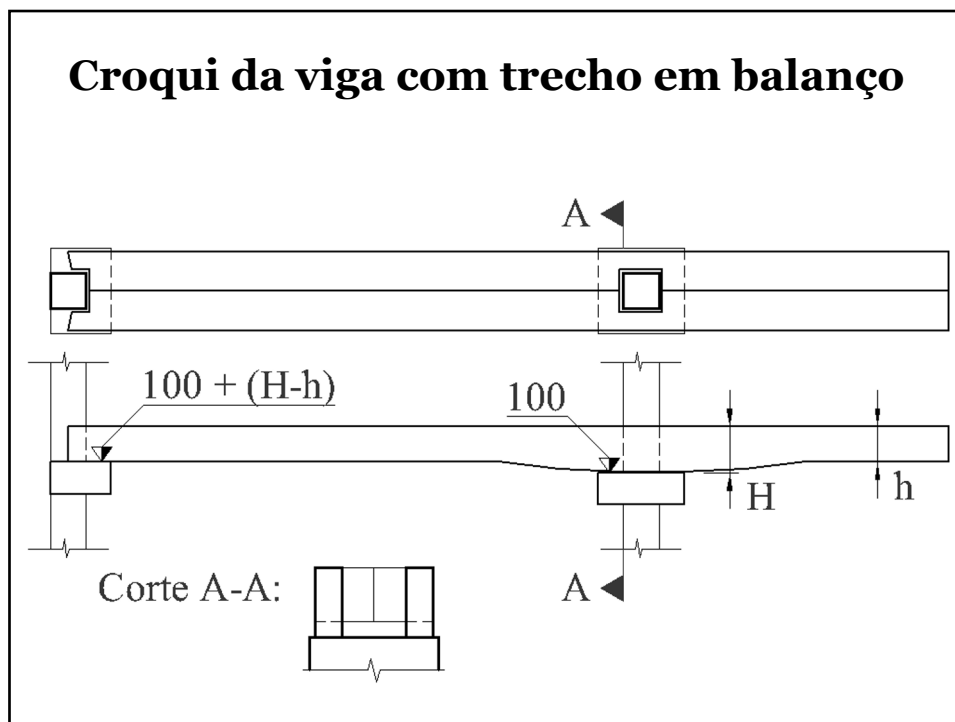
Deve estudar os projetos e
antecipar-se aos problemas!

161

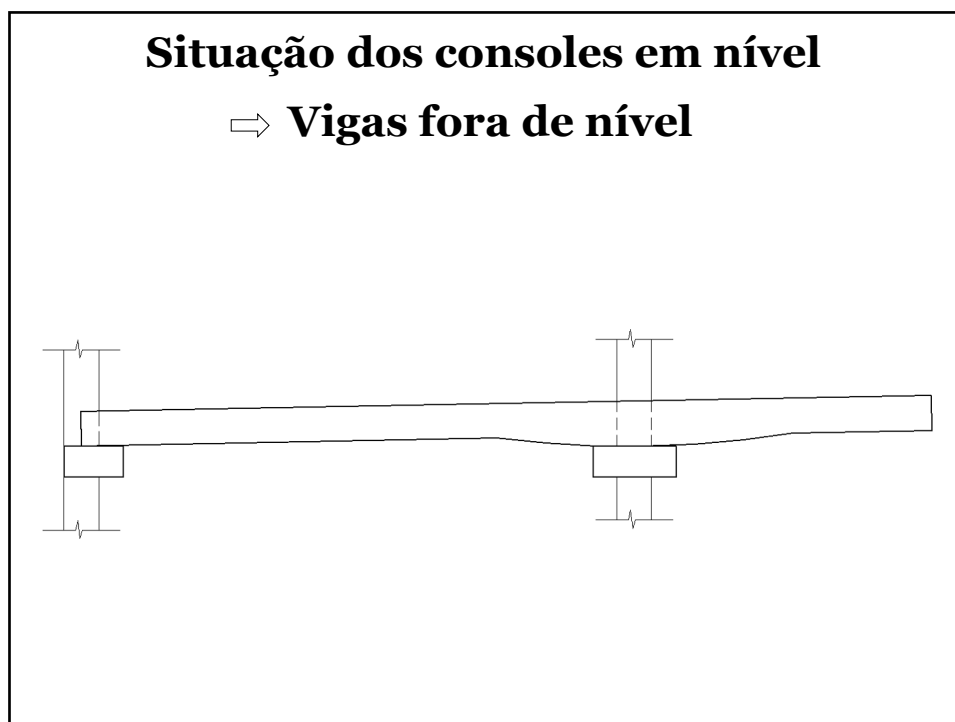
Caso dos capitéis com cota incorreta



162

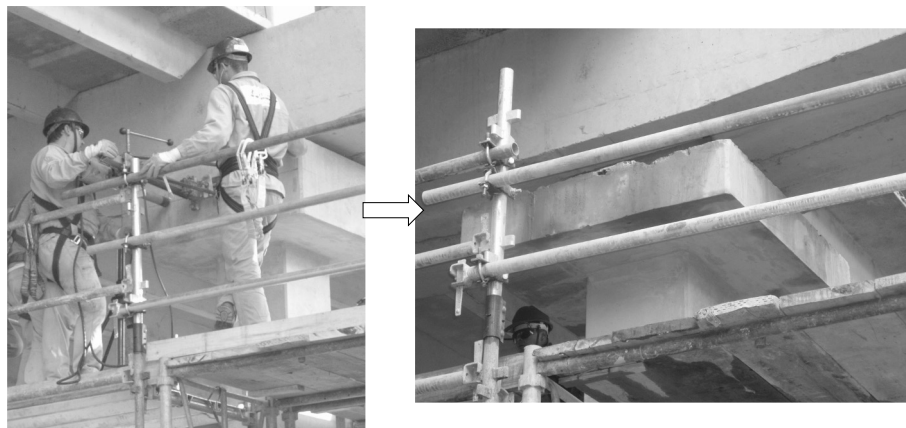


163



164

Macaqueamento da viga e corte parcial do console



165

Apicoamento superfície do console



166

Armadura adicional do console fôrmas + grauteamento



167

Custos

Segundo o Engenheiro da Construtora o custo direto da correção desse problema foi de 250 mil reais e atraso estimado de 10 dias, graças a uma manobra de remanejamento das equipes de montagem para outros setores da obra.

168

Lições Aprendidas

1. É melhor aprender com os erros dos outros;
2. Sem conhecimento não há evolução;
3. Vale a pena desenvolver o prazer por aprender;
4. Sempre é bom pensar holísticamente.

169

**Qual a
MISSÃO do
Construtor?**

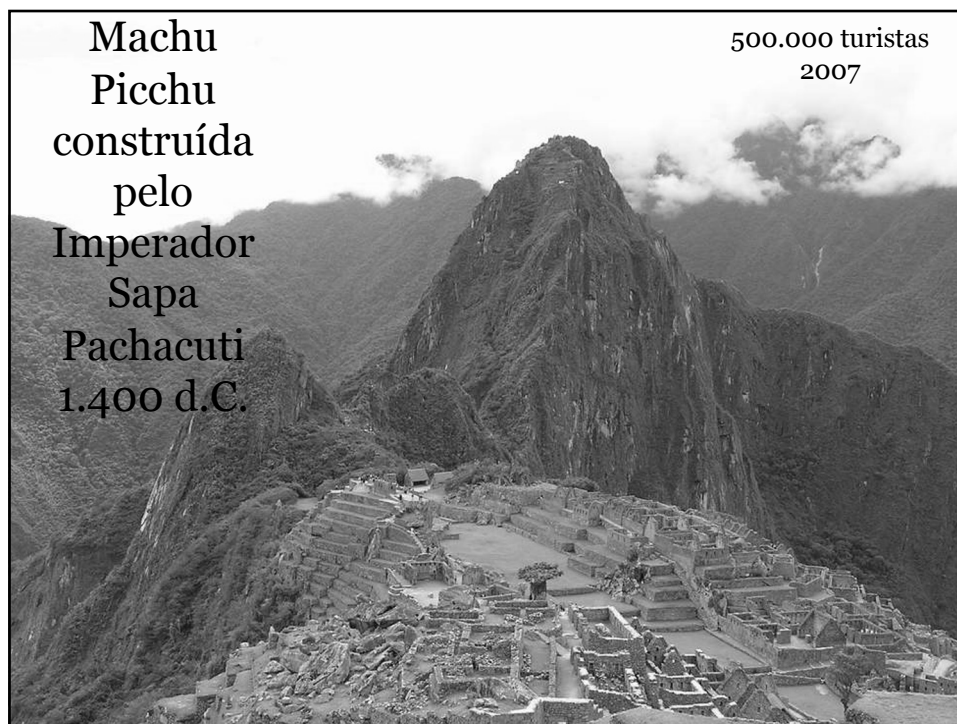
170



171



172



173



174



175

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”

176



177

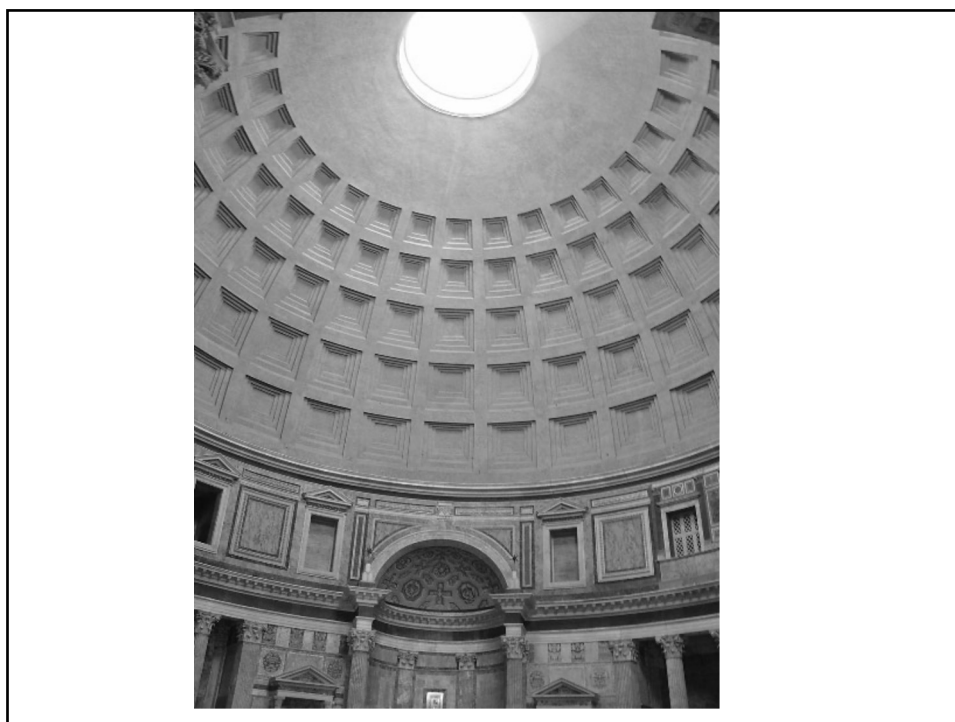


178

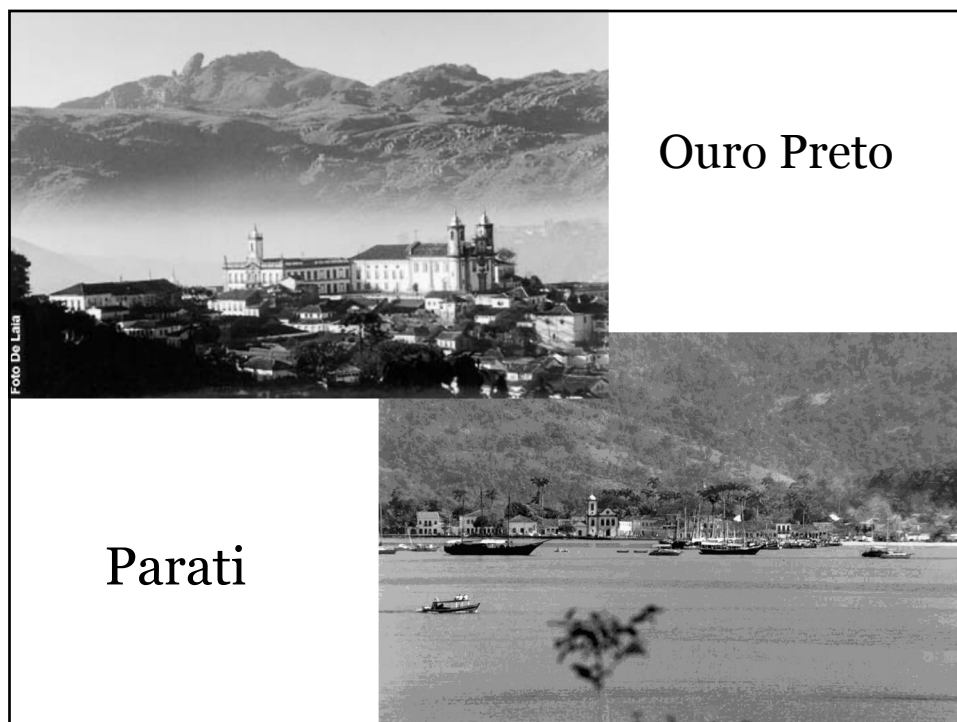
Cúpula do Panteão de Roma
Século II dC → Diâmetro de 44m



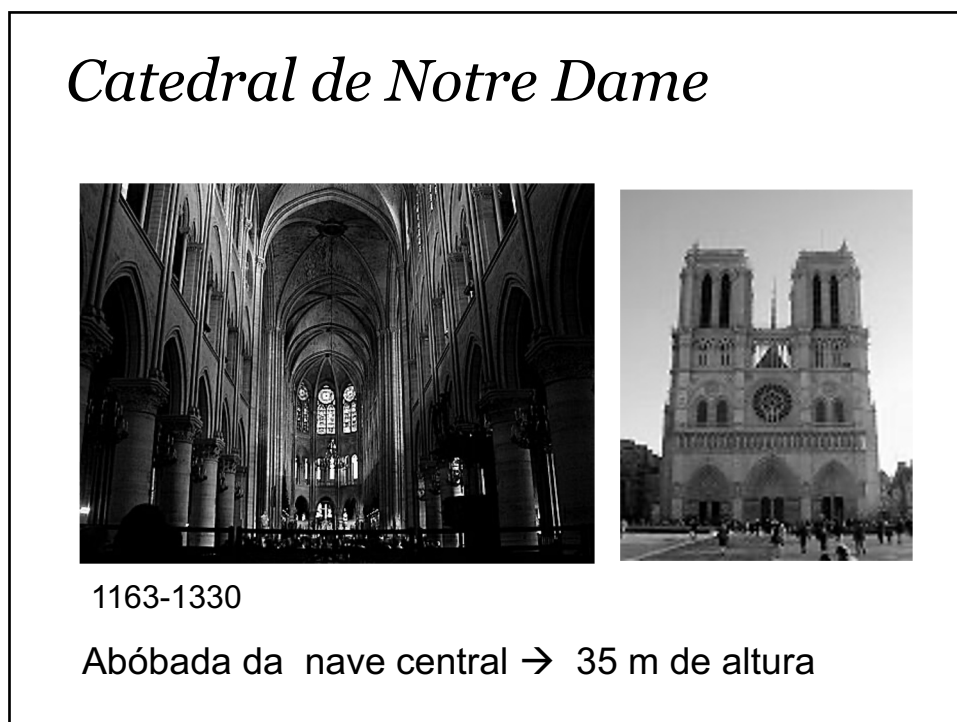
179



180



181



182

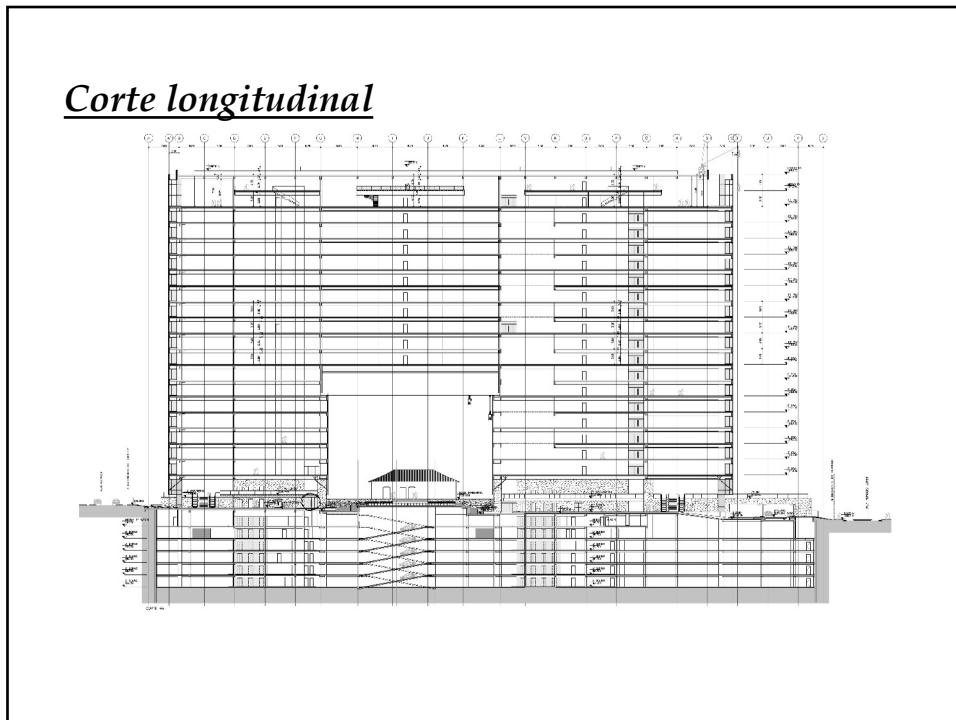


183

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

184



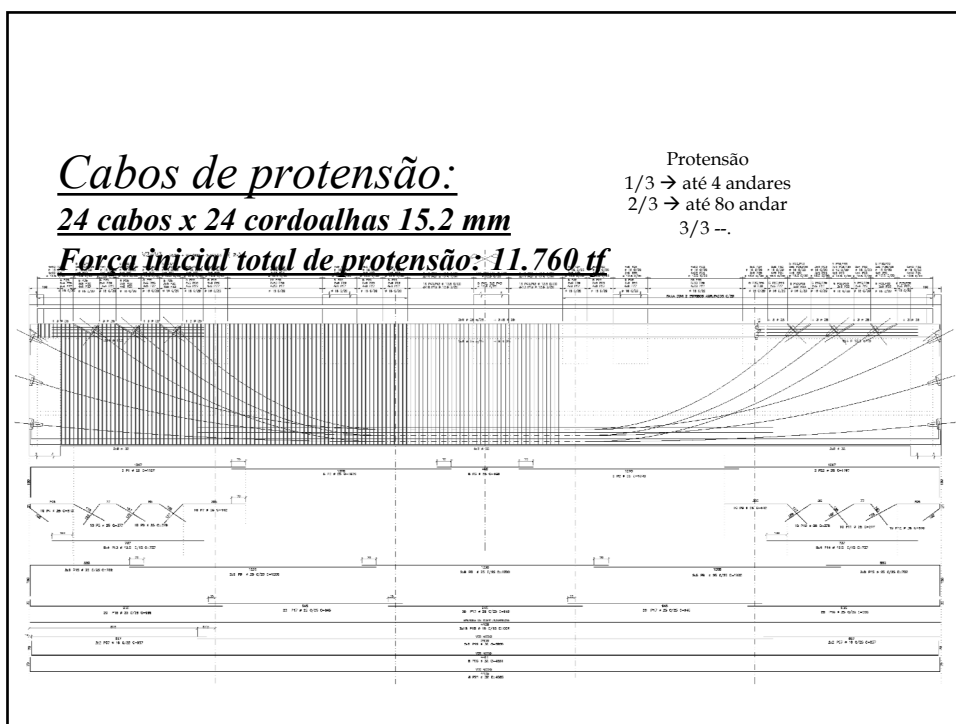
185



186



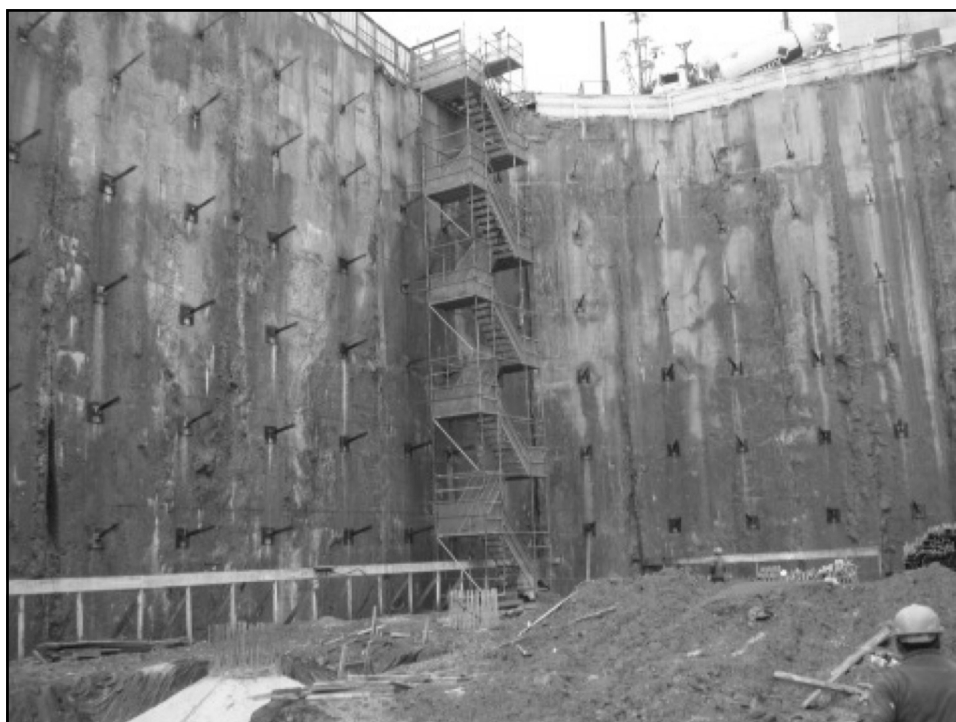
187



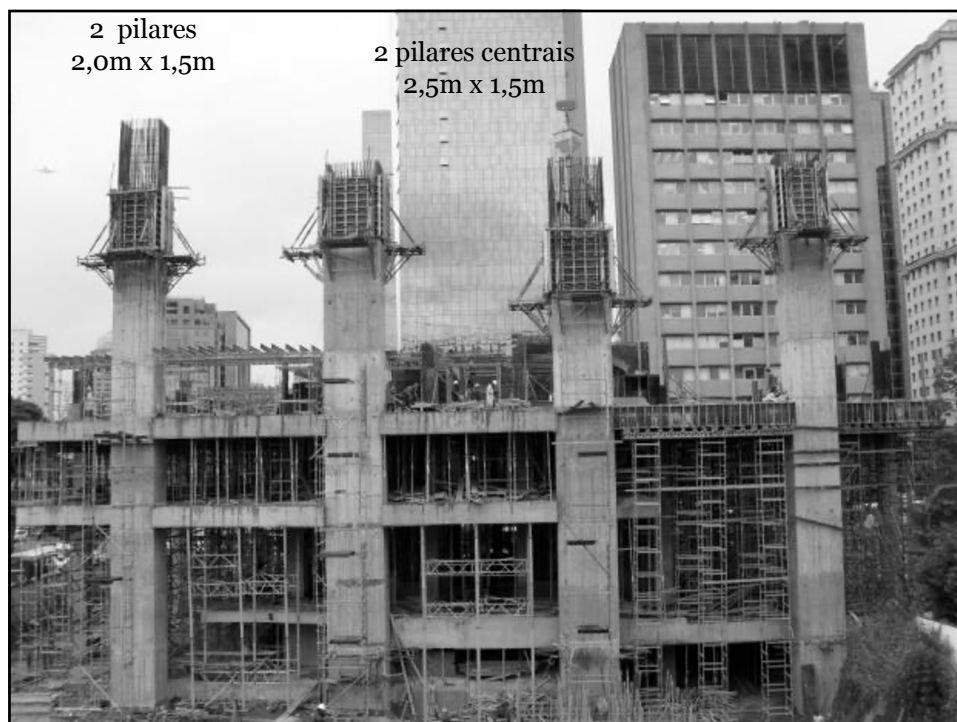
188



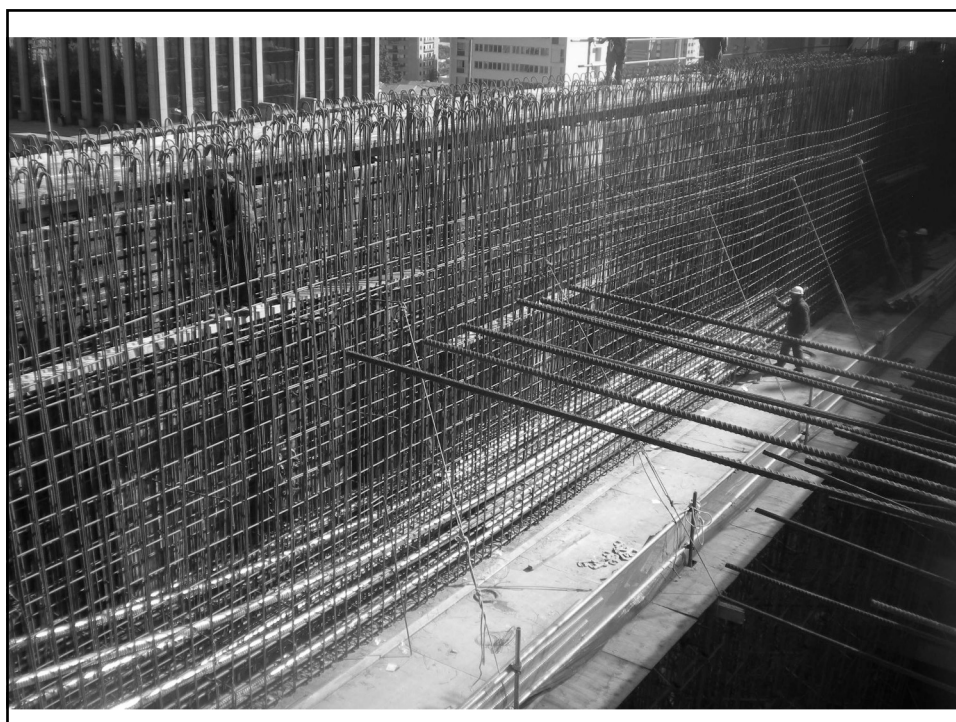
189



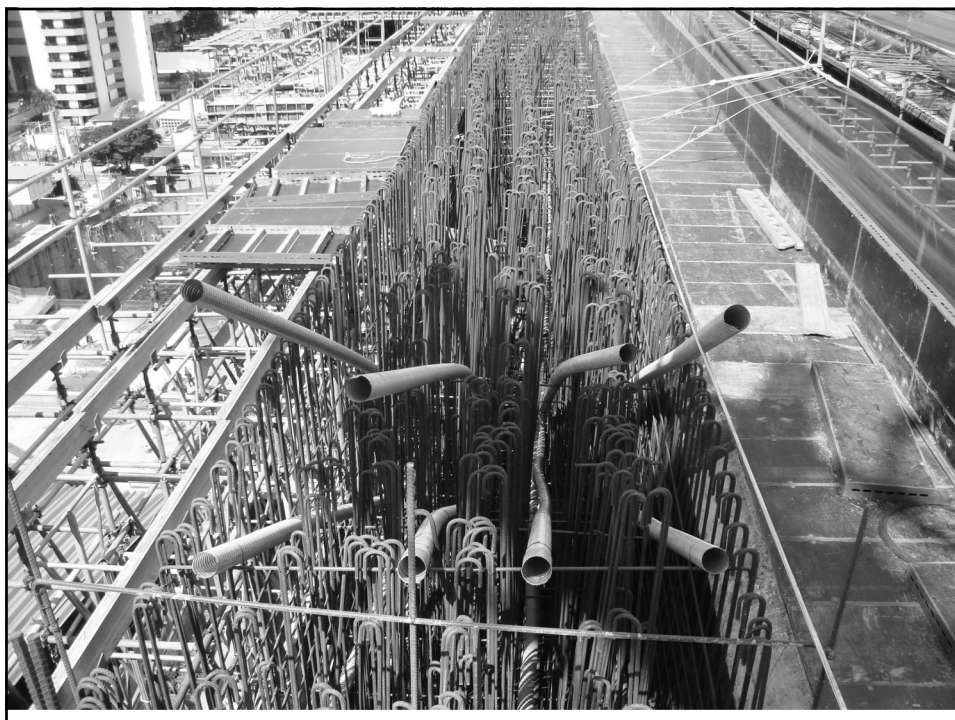
190



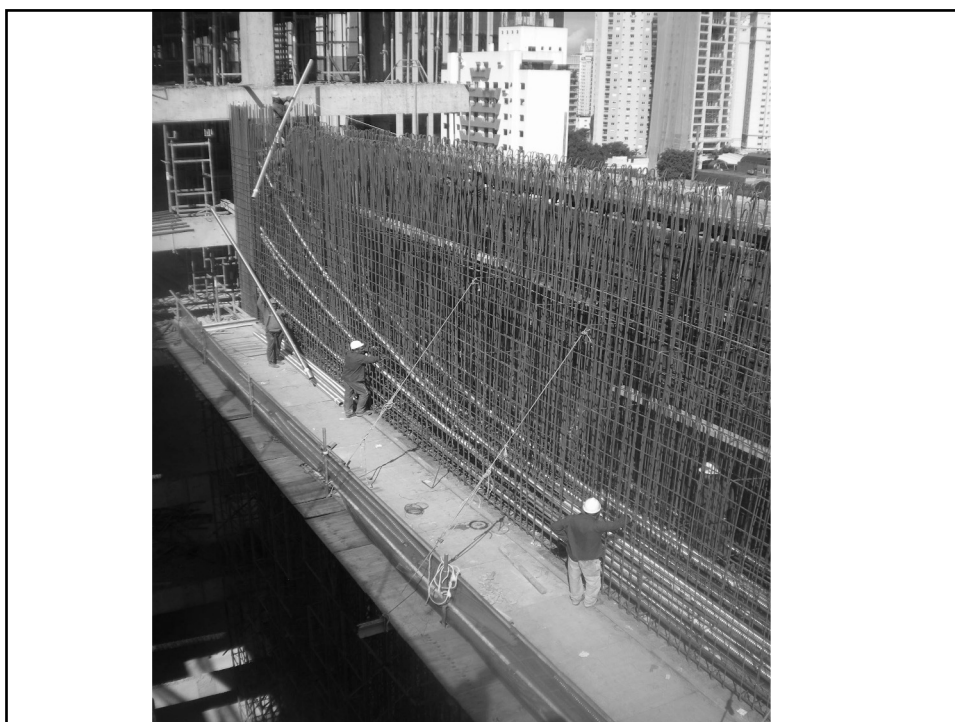
191



192



193



194



195



196



proteção contra a chuva

197



escoramento em balanço

198

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

dado de entrada mutável

199

199

Temperatura de lançamento

Material	Consumo kg/m³	Calor específico kcal/kg.°C	q=m.c (kcal/m³.°C)	T (°C)	Q (kcal/m³)
Cimento.CPII E-40	365	0,240	87,60	55	4818
Microsilica	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

200

200

Temperatura de lançamento

Material	Consumo kg/m ³	Calor específico kcal/kg.°C	q=m.c (kcal/m ³ .°C)	Ti (°C)	Tf (°C)	Ti -Tf (°C)	Q (kcal/m ³)
Cimento.CPIL E-40	365	0,240	87,60	55	0	55	4818
Microsilica	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%
201

201

Temperatura de lançamento




é possível ...

202

202



203



204

Acabamento



205

O concreto autoadensável



*CEB-FIP
Bulletin 38, 2007*

206

206



207

Comprometimento!

Do your best!

208



209