



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

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

Campinas. SP. 29 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

QUEM RECEBE o CONCRETO?

QUEM APLICA o CONCRETO?

Caso 1: bloco de fundação

350m³

$f_{ck} = 35\text{MPa}$

39 caminhões OK

6 caminhões

com f_{ck} de 8MPa a 12MPa

18



19



20



21

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

OMISSÃO
IGNORÂNCIA
FALTA de COMPROMETIMENTO

22

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...**

23

Caso 2:

edifício Diretoria da Construtora

8º andar

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

1 caminhão com 10MPa

9 pilares!

24



25



26



27



28



29



30



31



32



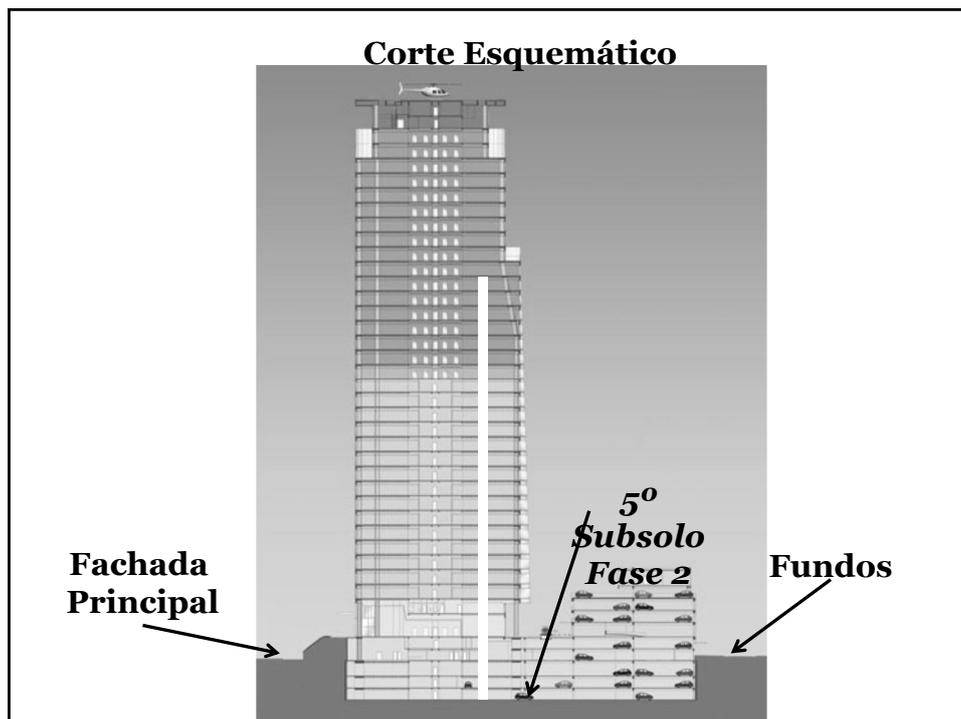
33

seria um caso
de sabotagem
??? !!!

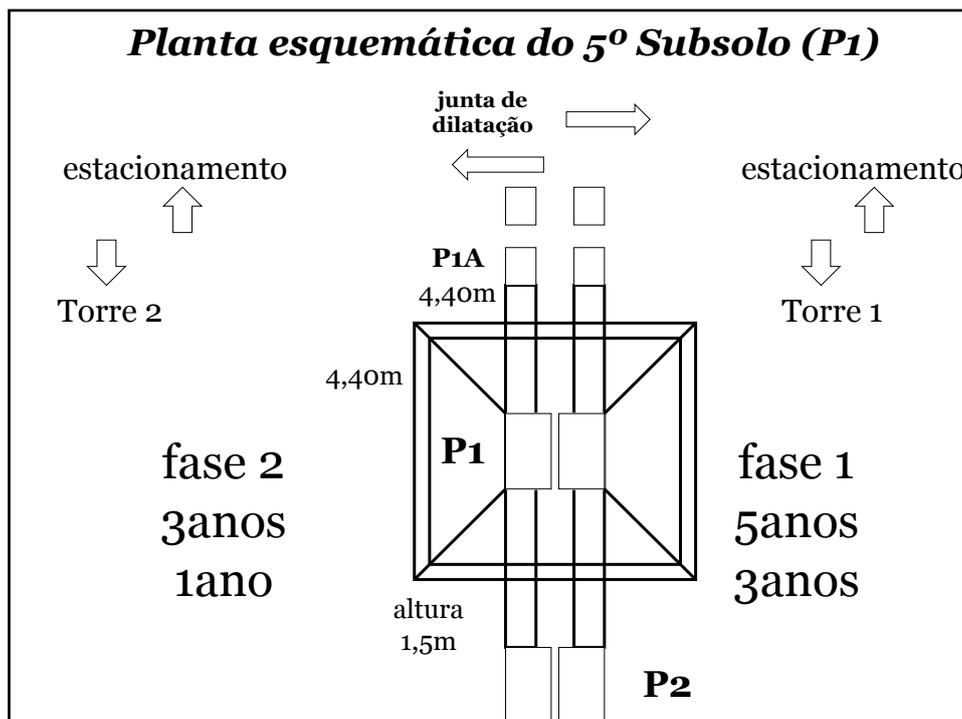
34

Dados do Edifício:**Localização: Rio de Janeiro, RJ.****36 pavimentos + 5 subsolos****Pilar P1 Esforços de projeto:****Normal: 1.253tf****Mx: 55tf.m****My: 8tf.m**

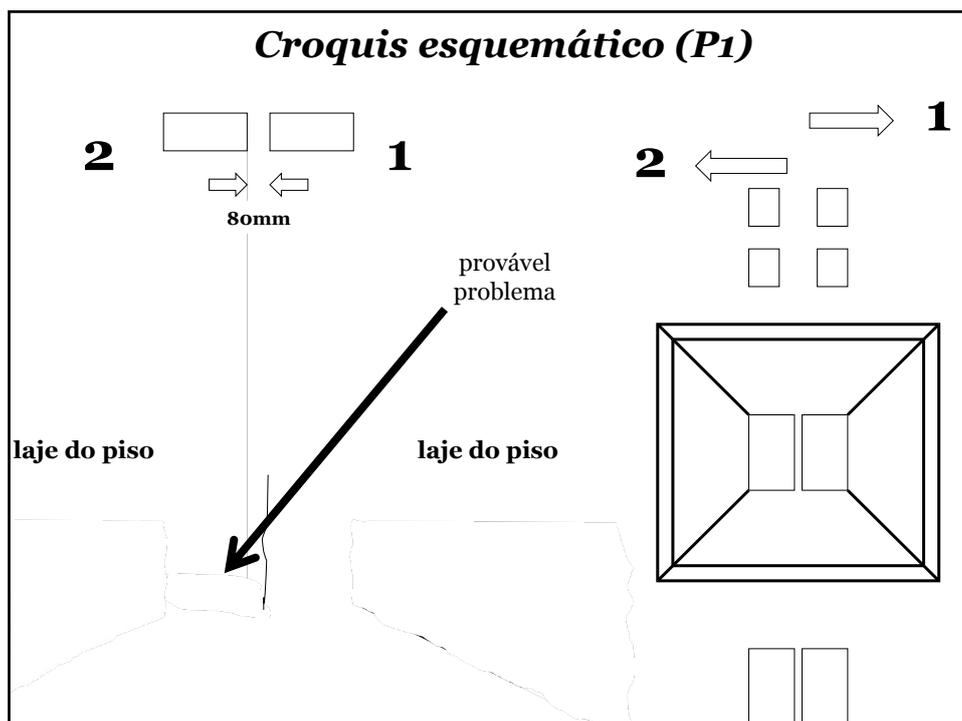
35



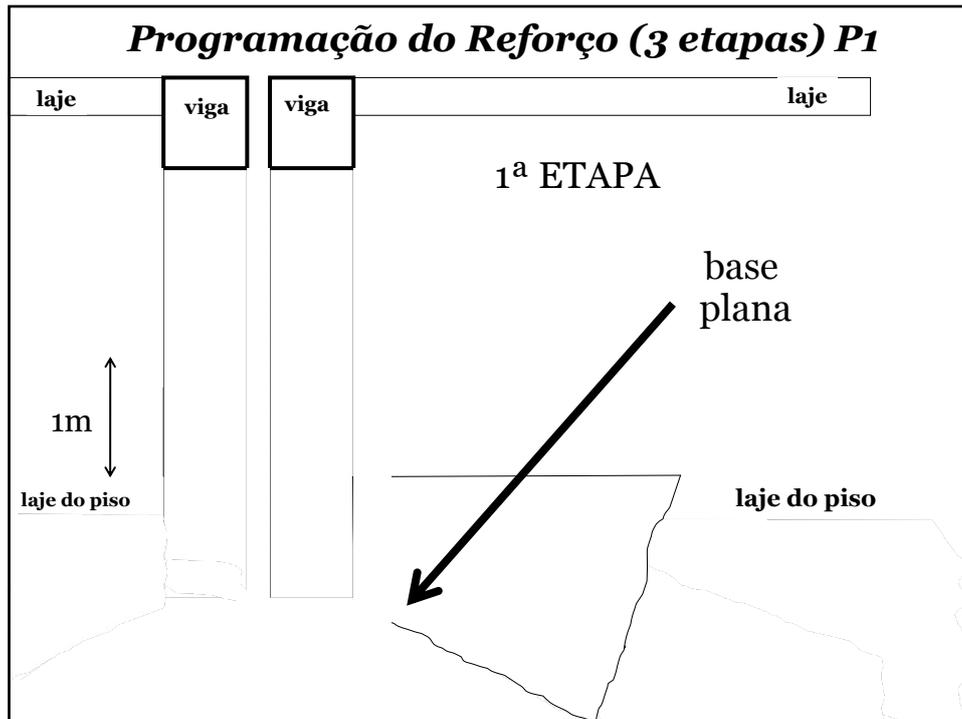
36



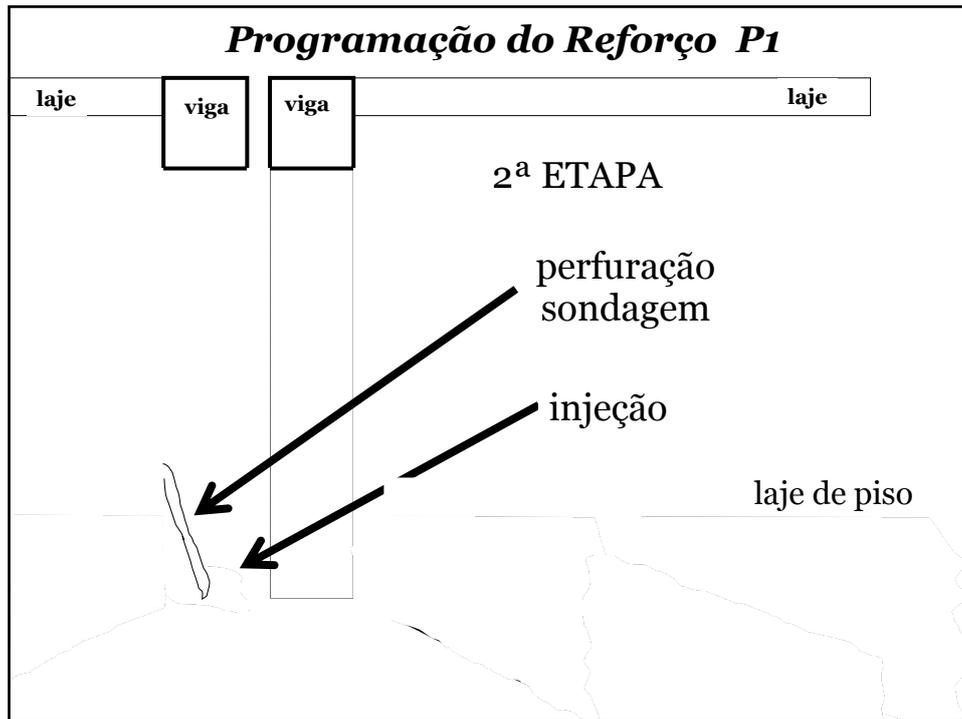
37



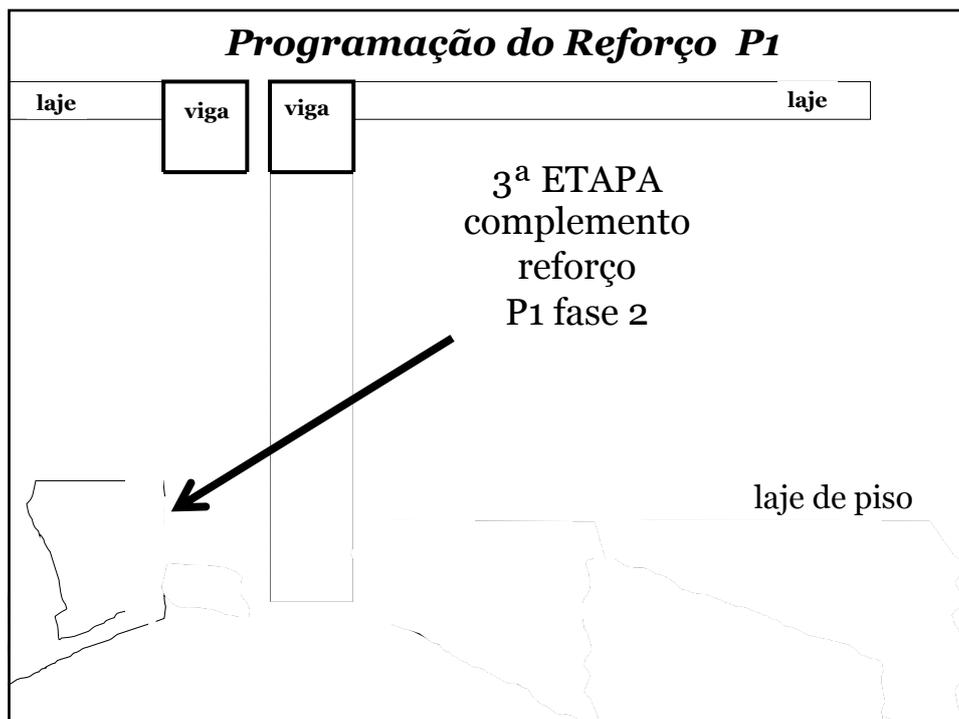
38



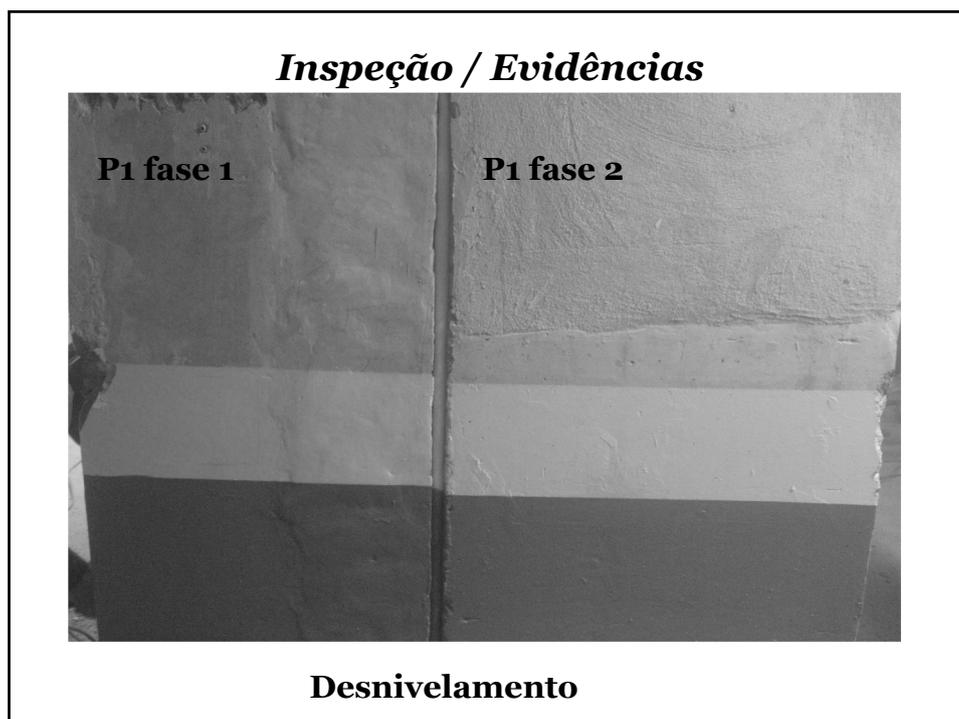
39



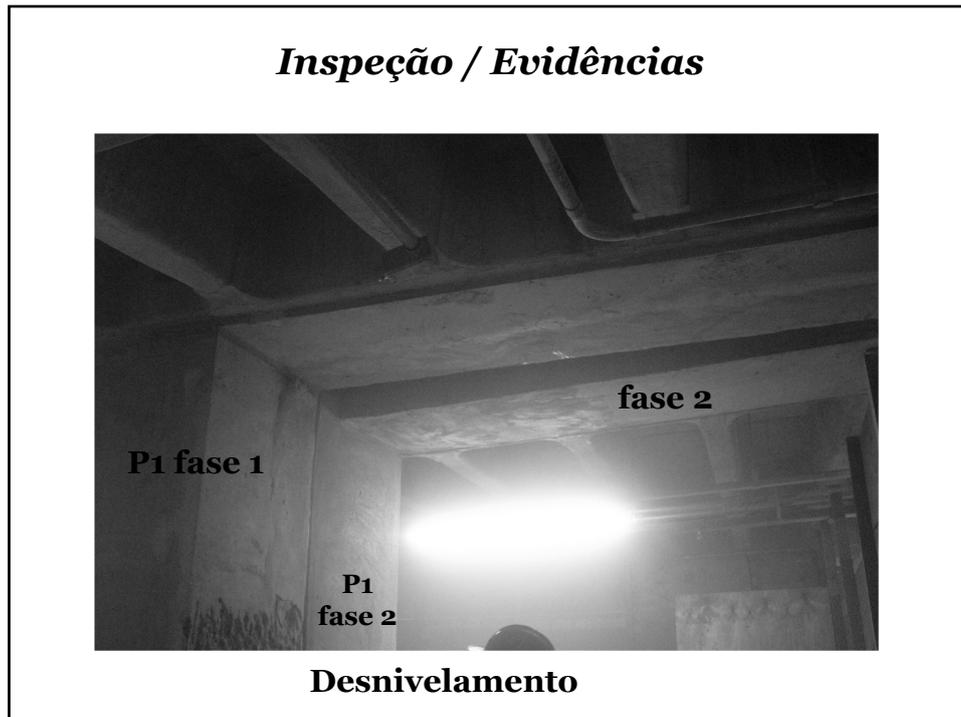
40



41



42



43



44

Inspeção / Evidências



Fissuras em Vigas

45

Inspeção / Evidências

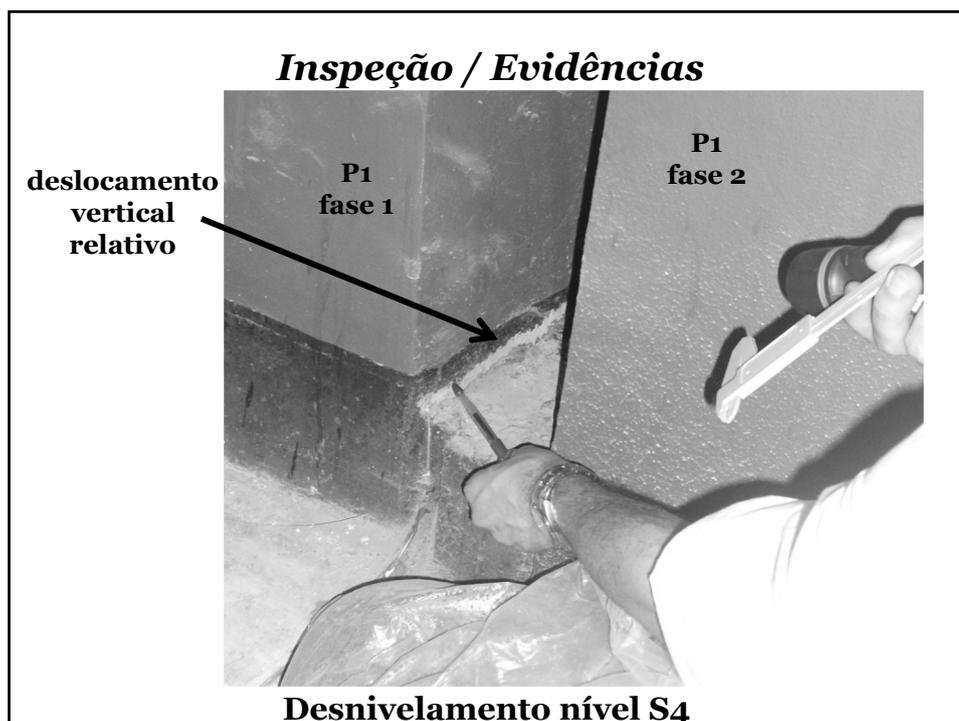


Fissuras em Vigas

46



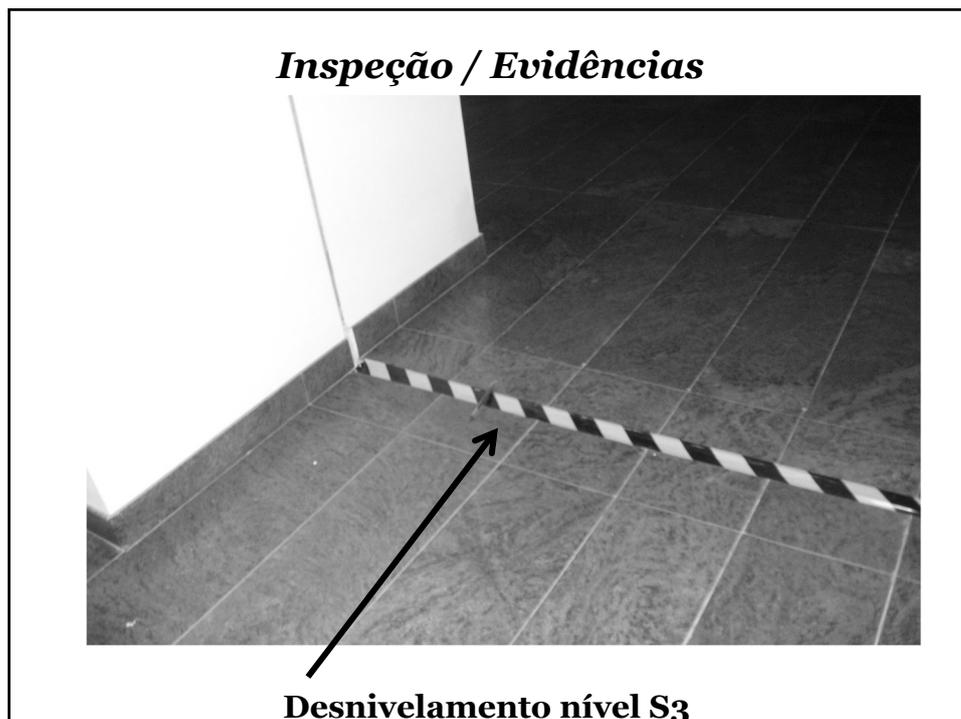
47



48



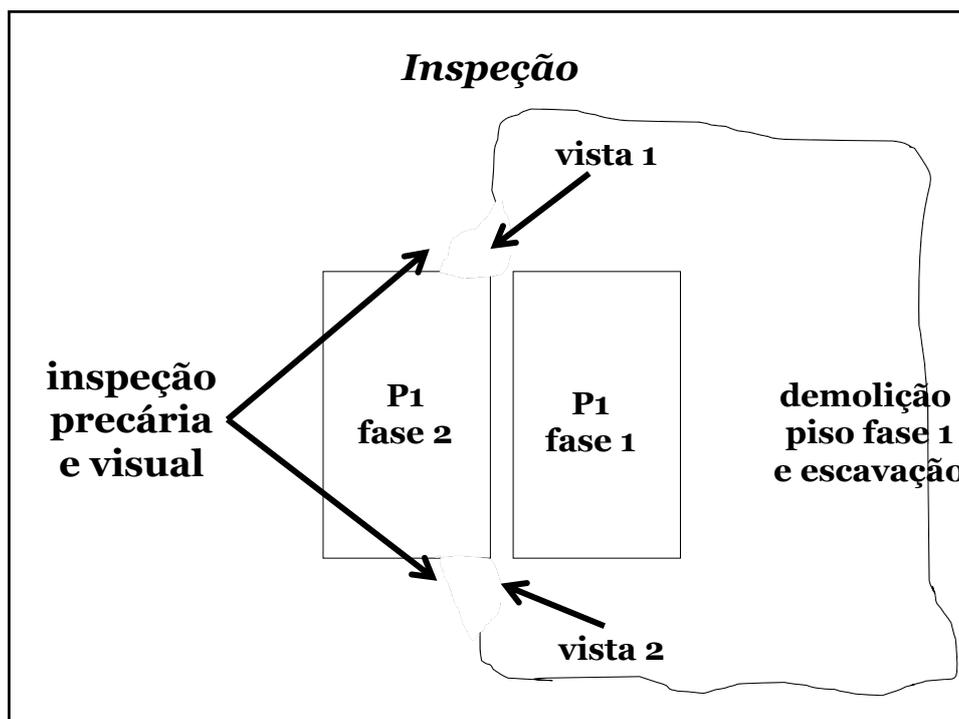
49



50



51



52

Inspeção



Demolição Piso fase 1

53

Inspeção

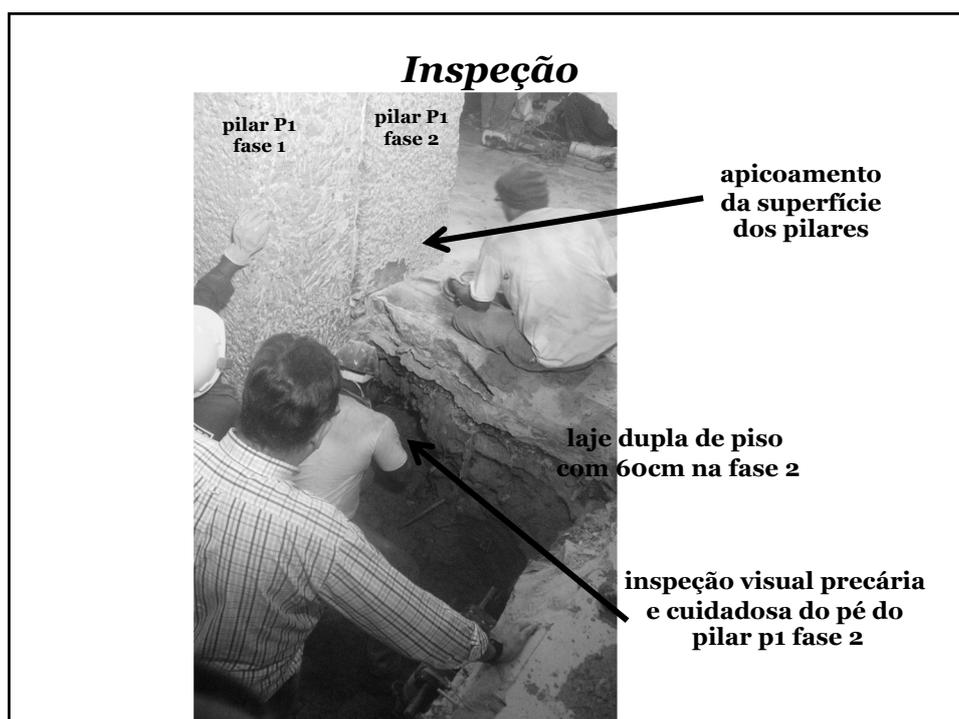


Escavação Piso fase 1

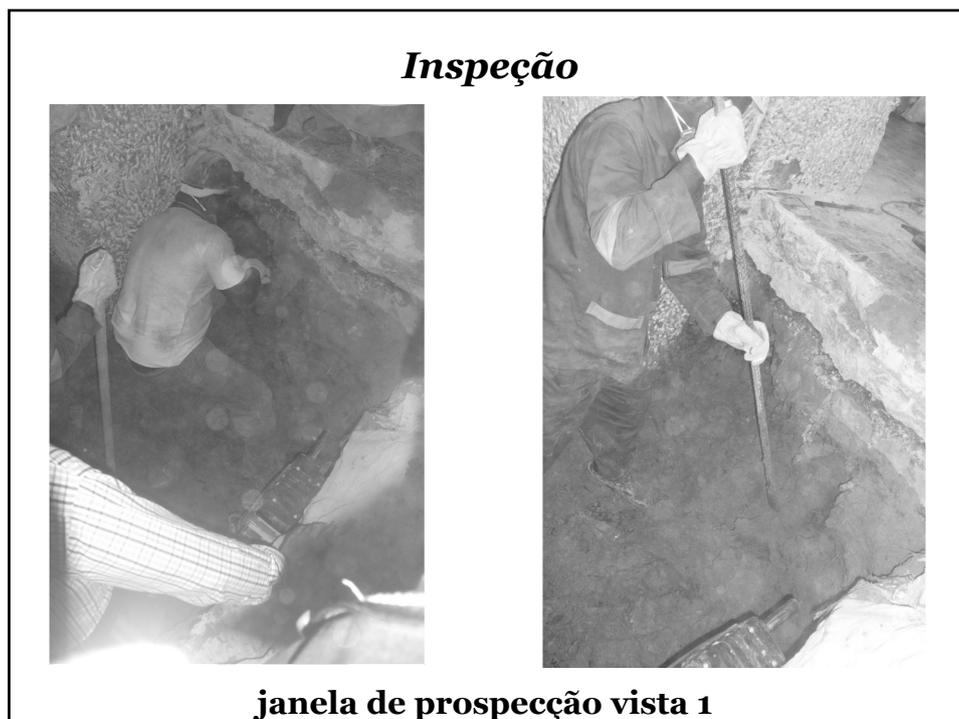
54



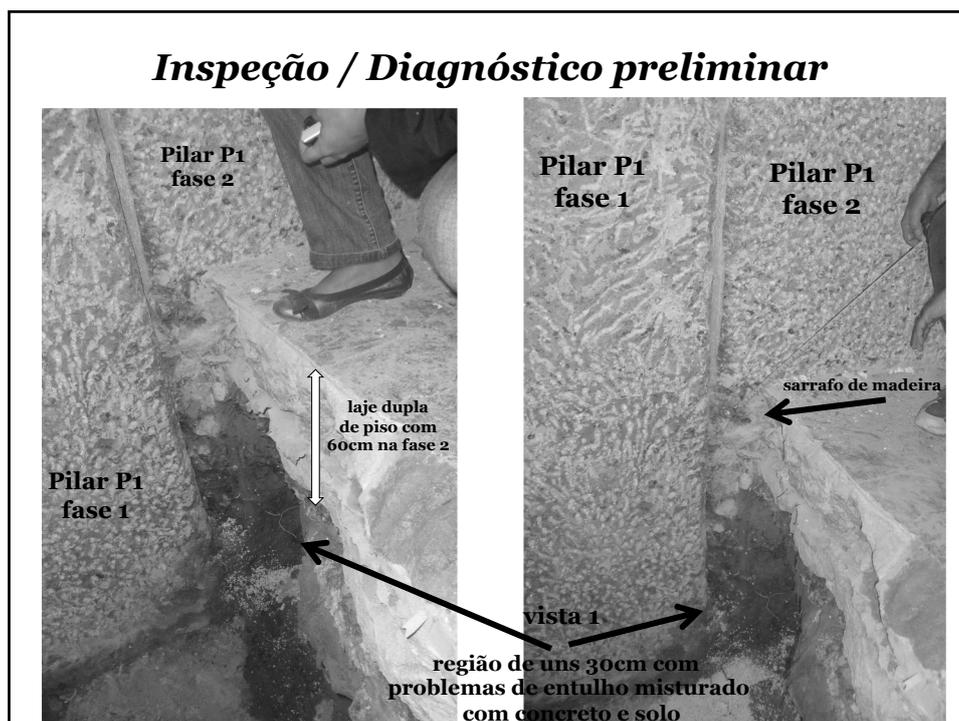
55



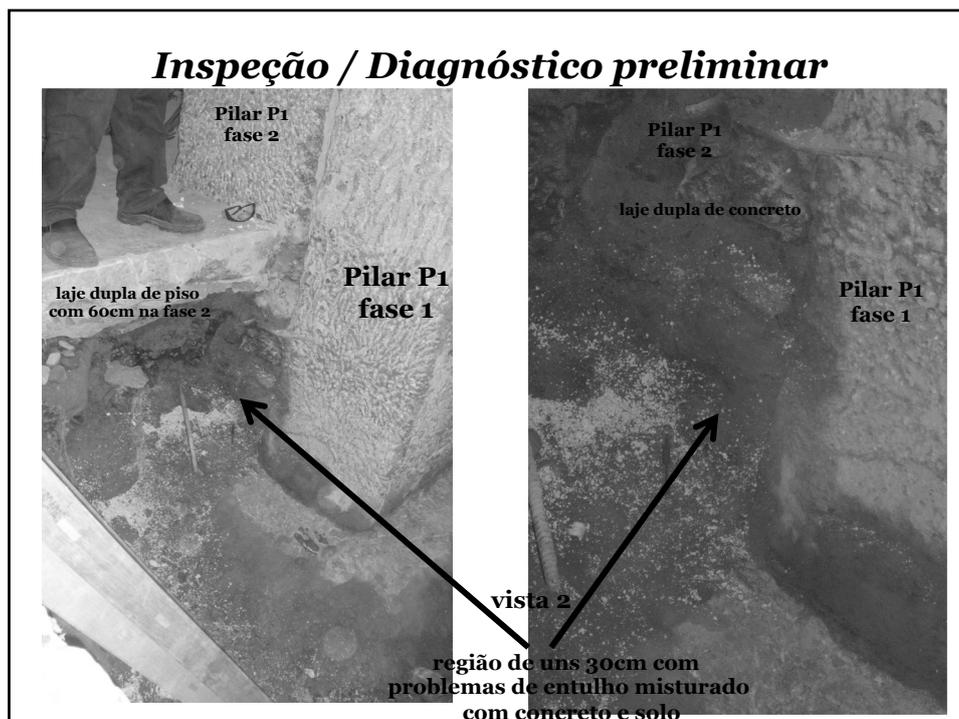
56



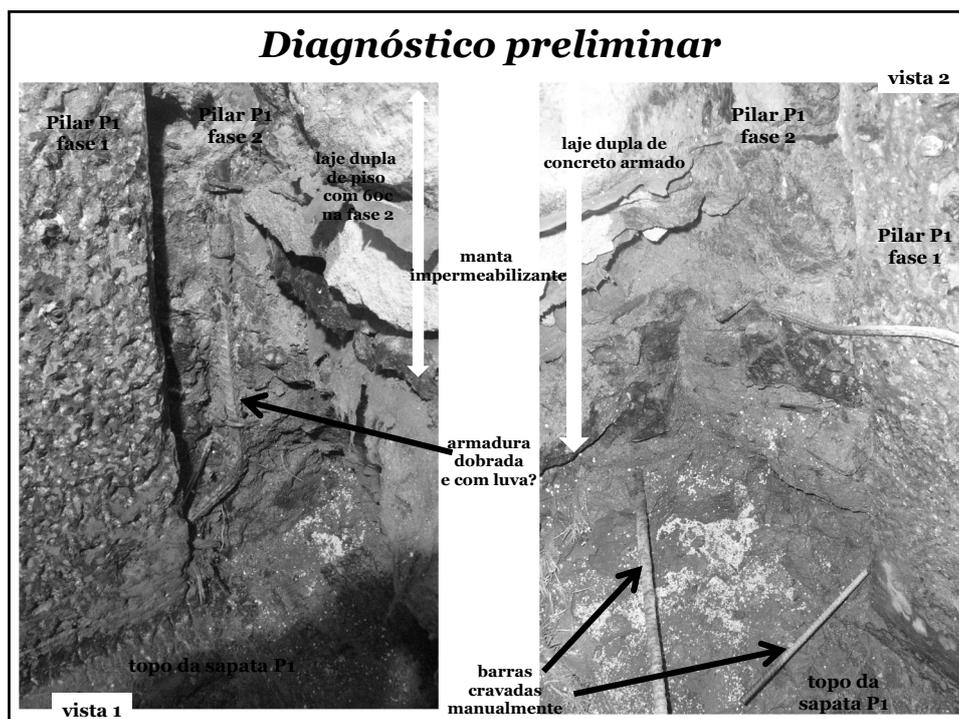
57



58



59



60

Inspeção



Controle contínuo de deslocamento vertical (recalque) dos pilares P1, P1A e P2

61

Inspeção

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

62

Inspeção



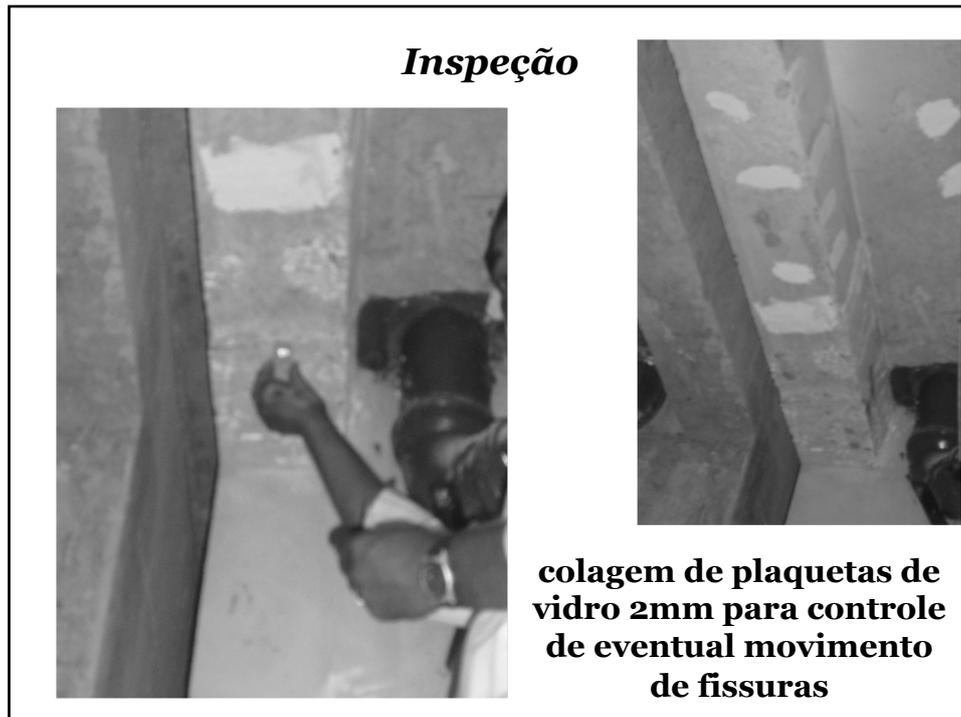
o encarregado
da observação
do selo
de
gesso
confirmou
rompimento
do gesso

63

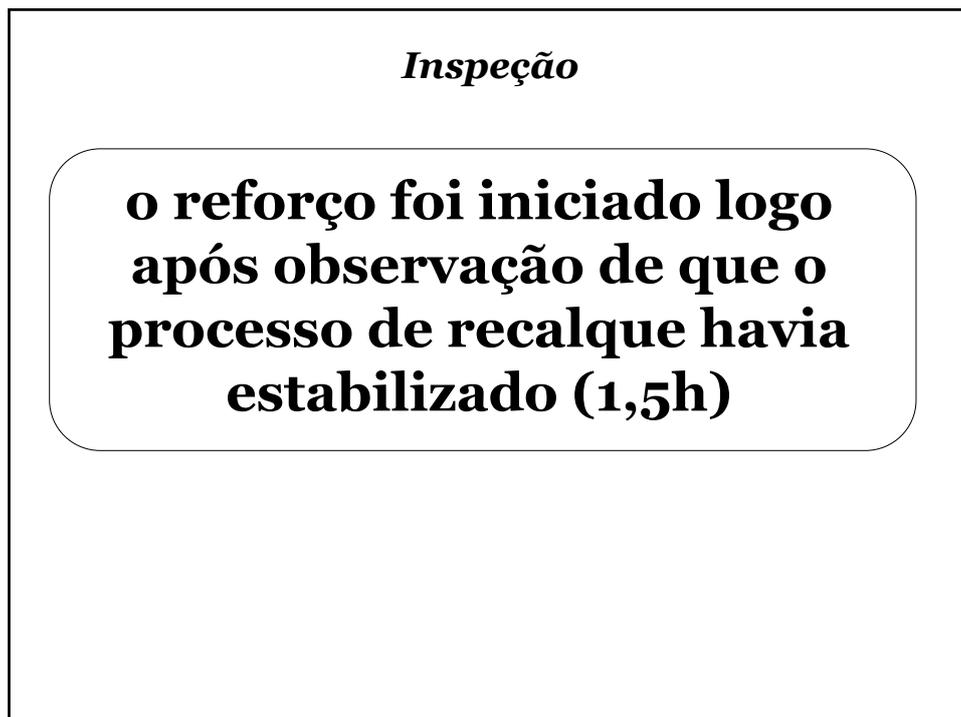
Inspeção

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

64



65



66

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.

67

4. Preparação da fôrma



68

5.Preparação do Graute



69

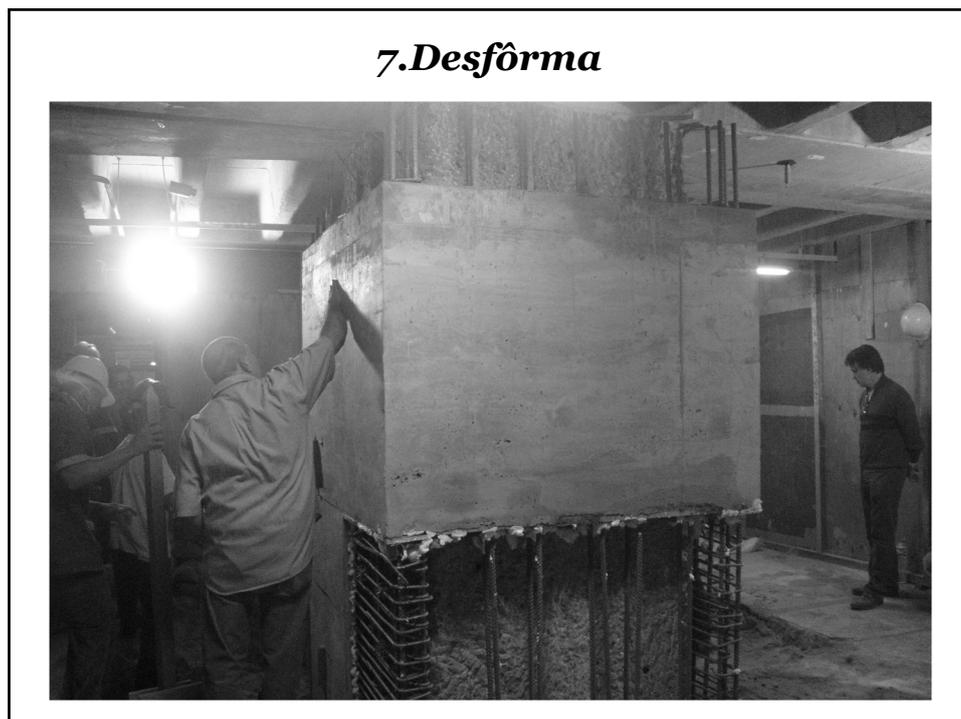
5.Preparação do Graute



70



71



72



73



74



75



76



77



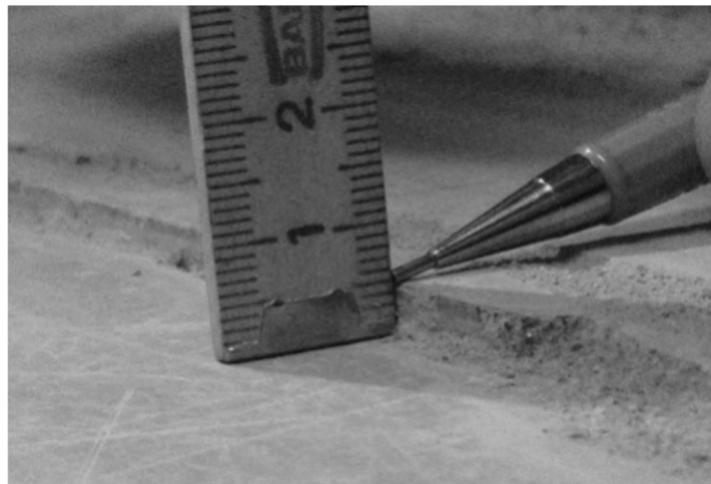
78

Após concretagem piso desceu 4mm



79

Após concretagem piso desceu 4mm



80



81



82



83



84



85

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 |

86

Hipóteses prováveis...

87

Hipóteses prováveis...

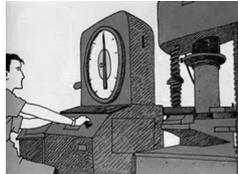


88

A origem e os intervenientes



**projetista
estrutural**



**tecnologista
de concreto**



**fornecedor do
material**



**construtor
(execução)**

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

89

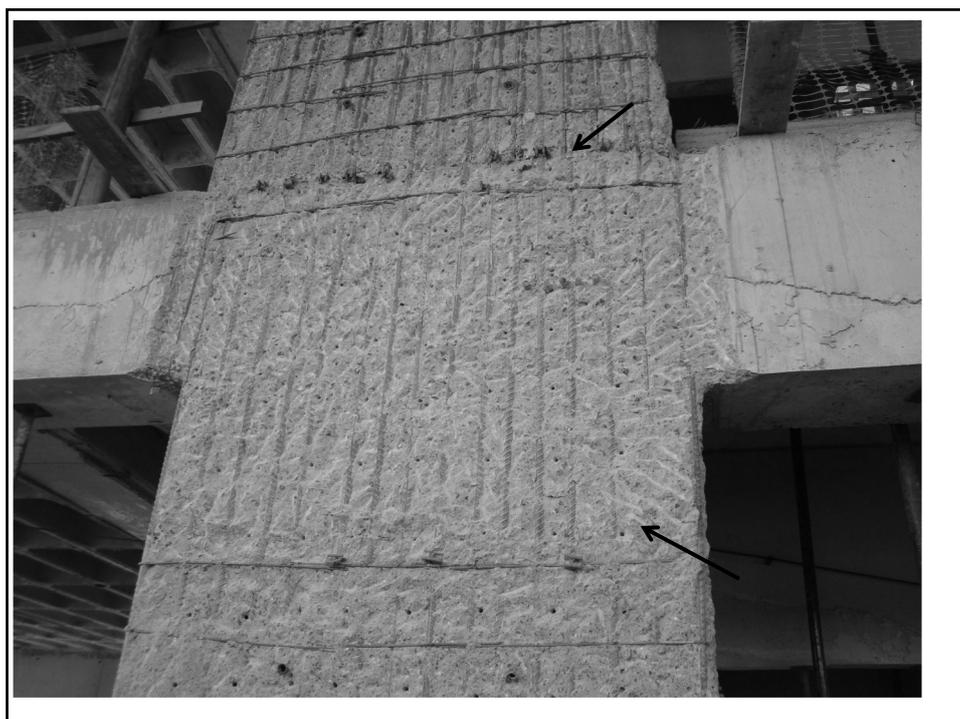
Edifício Habitacional

**armadura de
pilares
*obra nova***

90



91



92



93

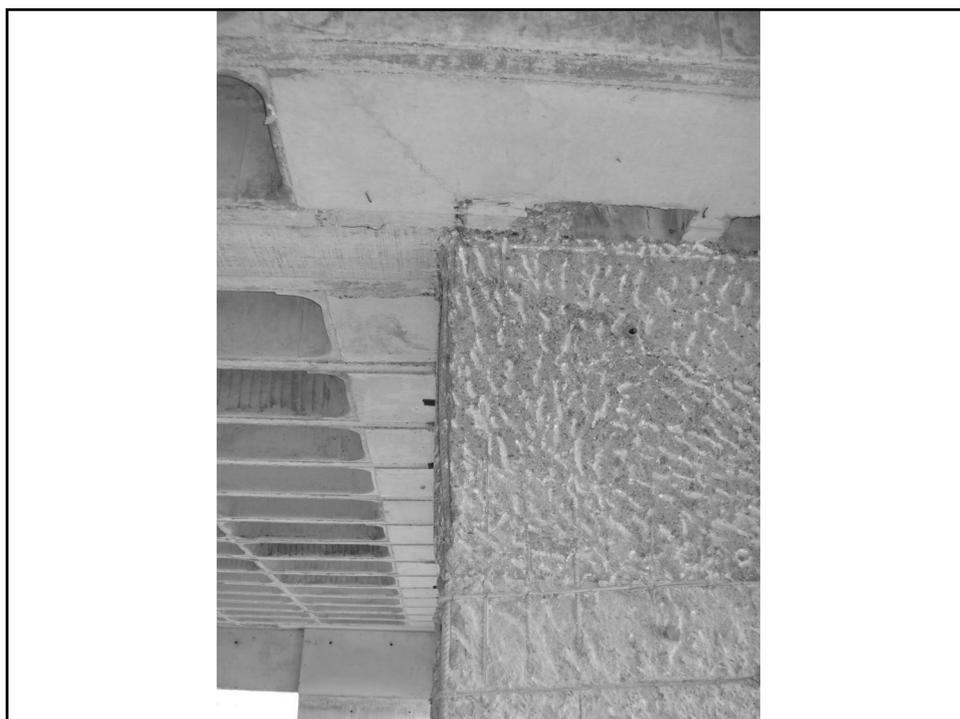


Cabeça de pilar sem
ganchos transversais
nem estribos

94



95



96



97

Qual o papel
do
Construtor?

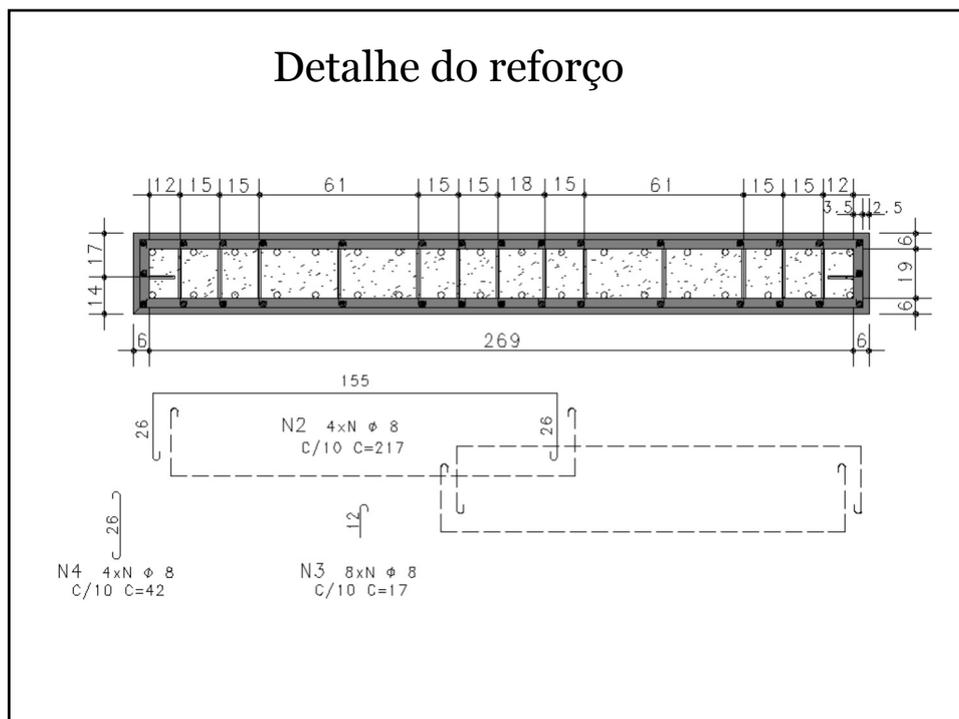
98

- ✓ 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!

99

terceirizar um
serviço ≠
terceirizar
responsabilidade

100



101



102

outro caso desastroso!

103

| 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 % |

104

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.

105



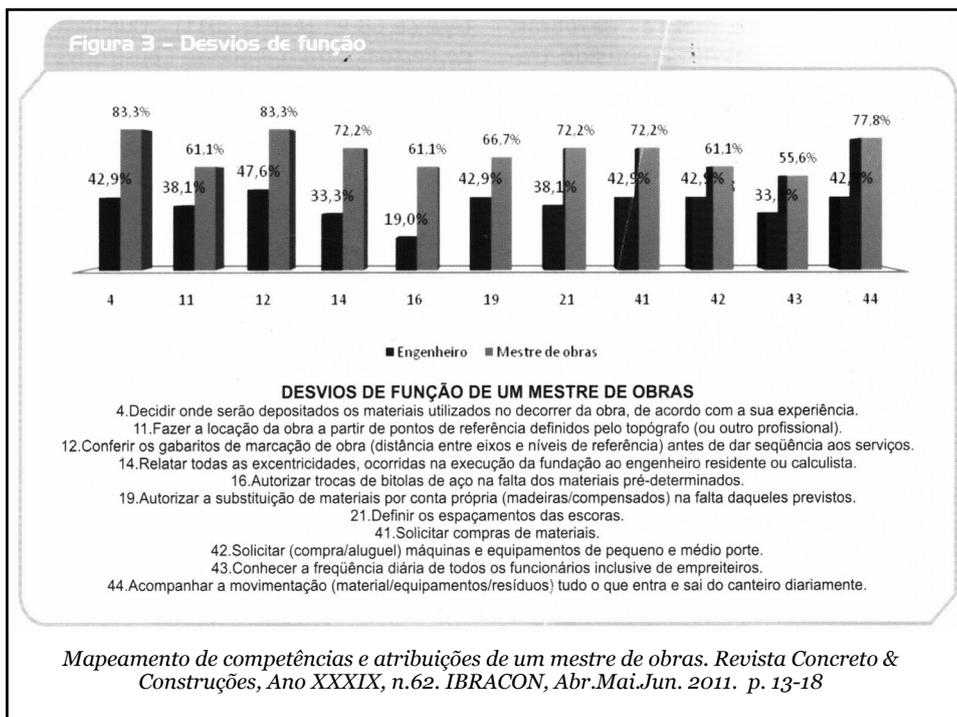
106

Edifício Real Class

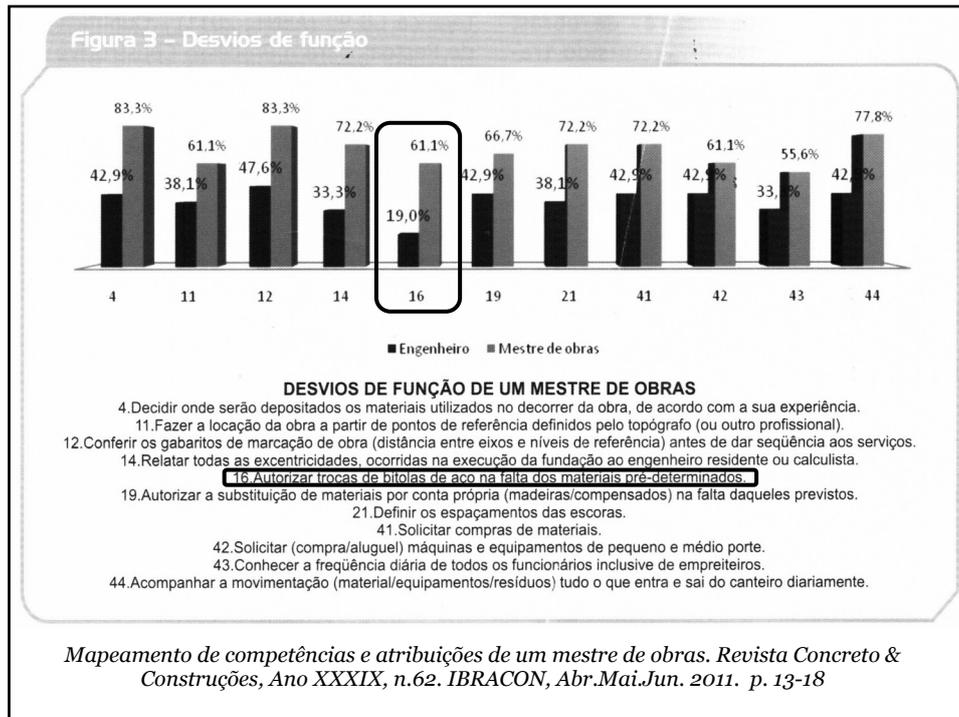



Belém do Pará
34 pavimentos
105m 20.01.2011 35MPa

107



108



109

Edifício Habitacional

concretagem de pilares *obra nova*

110



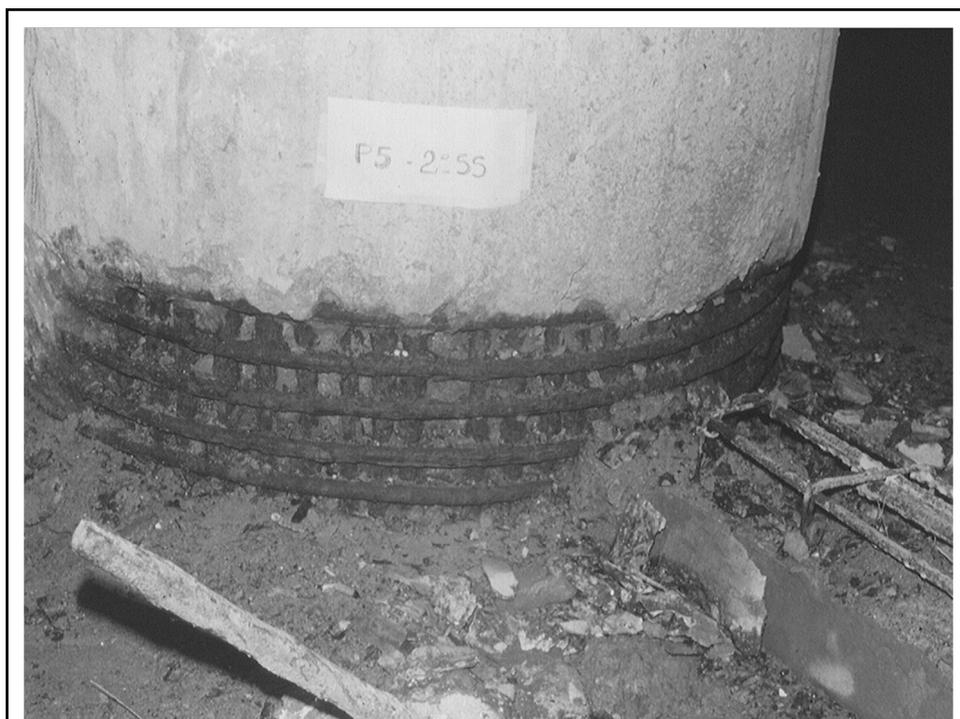
111



112



113



114



115

CONSTRUTOR

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

116

Edifício Areia Branca

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

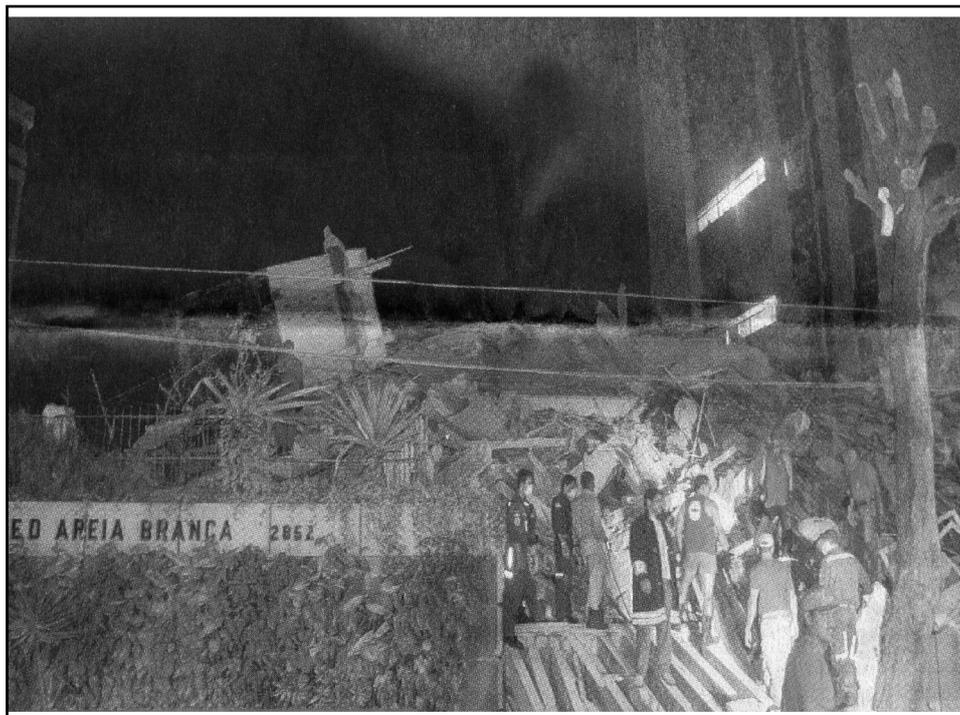
117



EDIFÍCIO AREIA BRANCA – Pernambuco

semanas antes

118



119



Escombros - manhã seguinte do desabamento

120



121

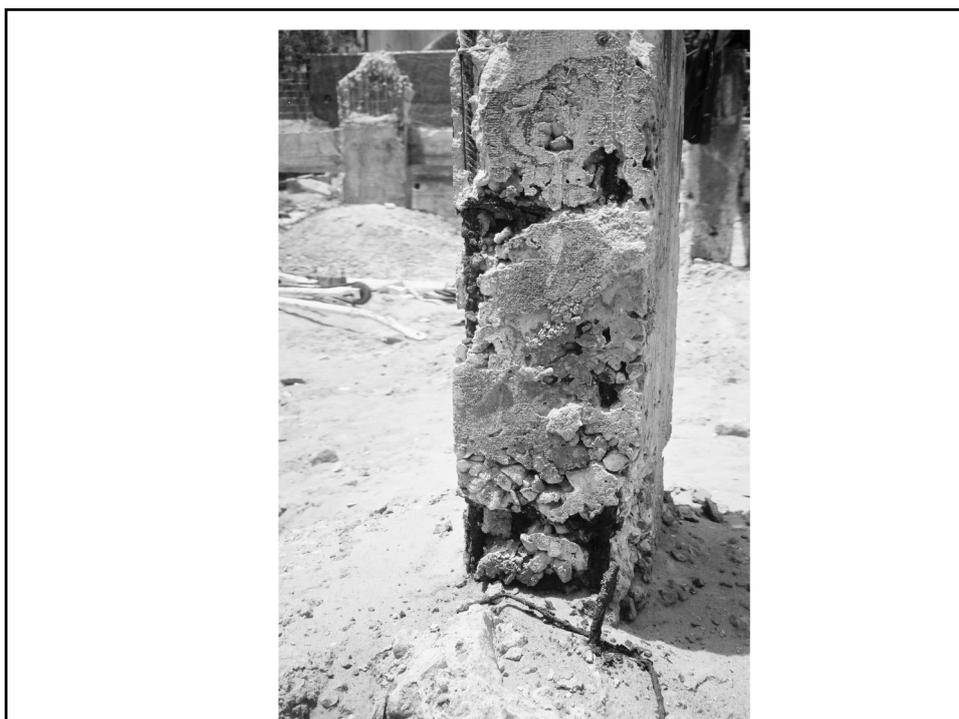


Edificações Vizinhas

122



123



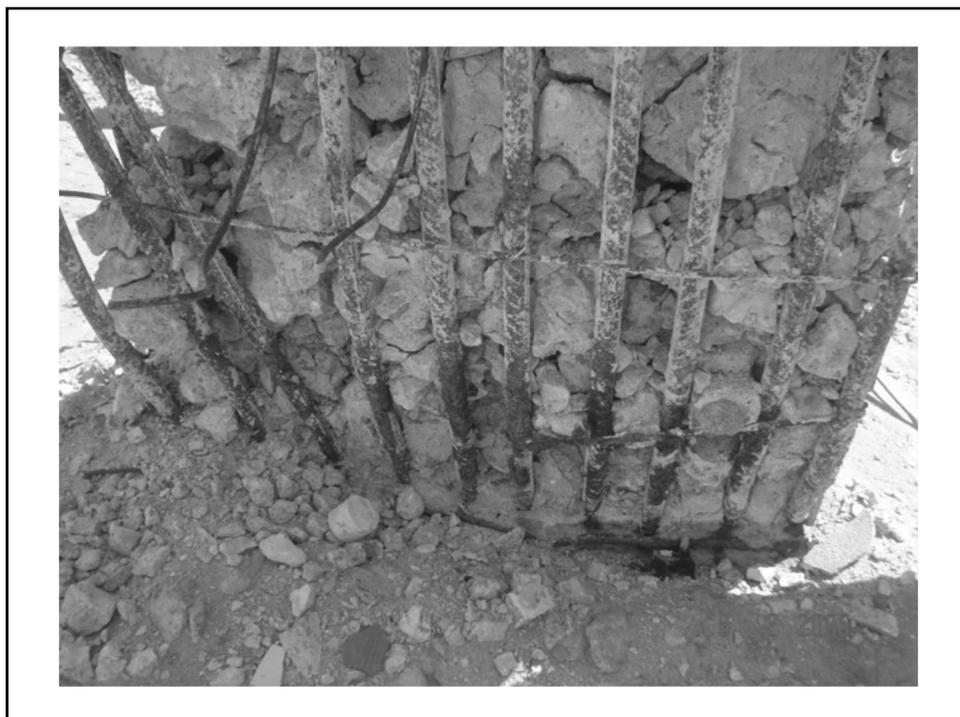
124



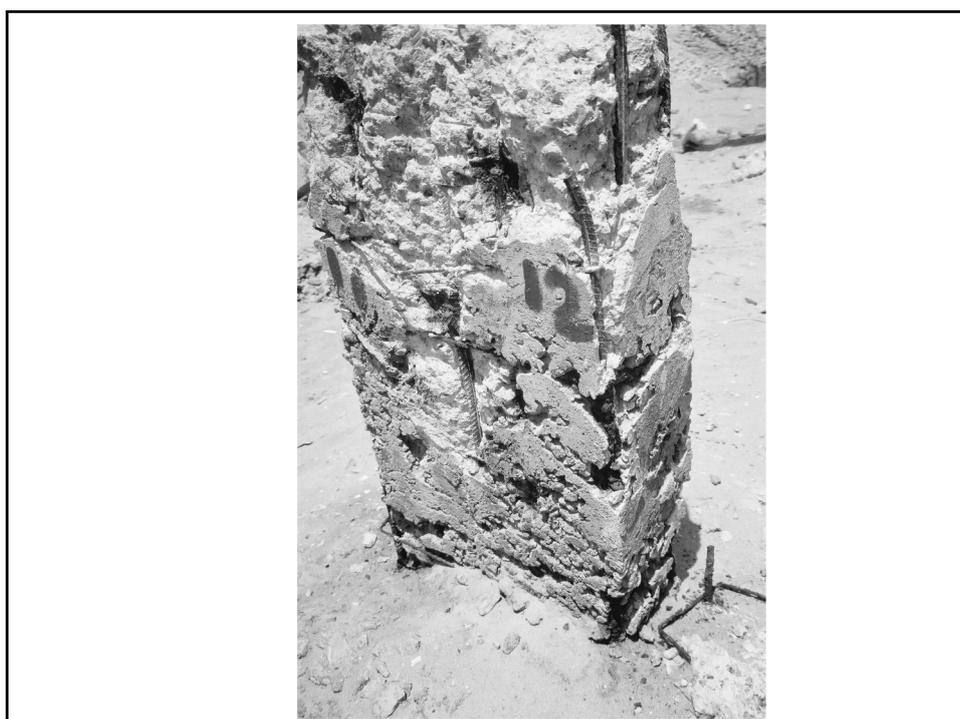
125



126



127



128



129



130

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

131



Edifício Solar da Piedade, Boa Viagem, Recife PE

132



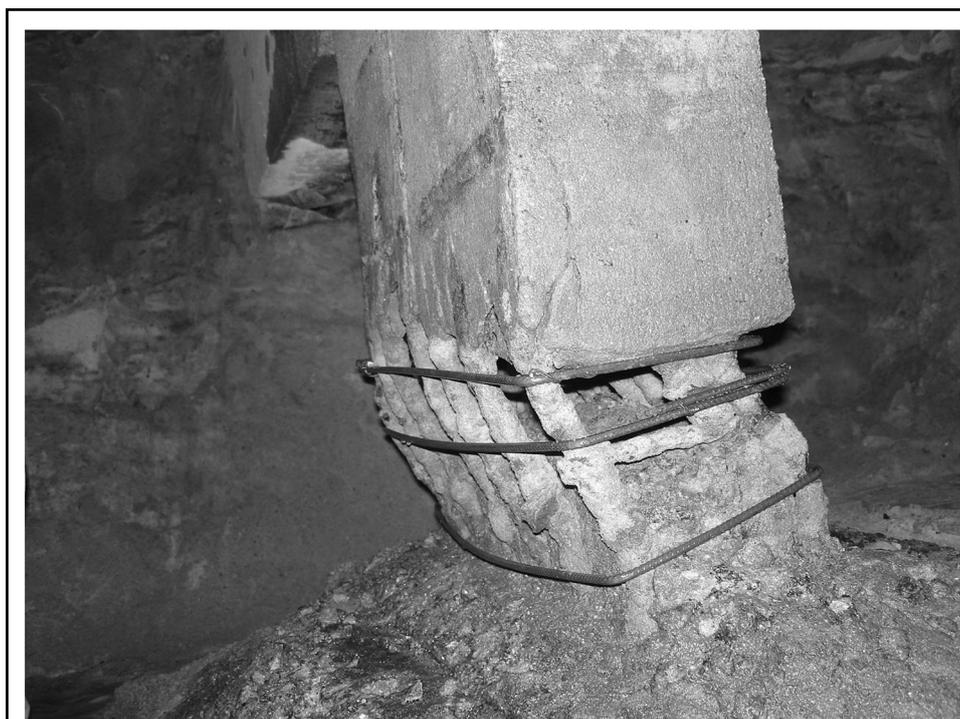
133



134



135



136

CONSTRUTOR

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

137

Shopping Center

bicheiras e ninhos de
concretagem em vigas

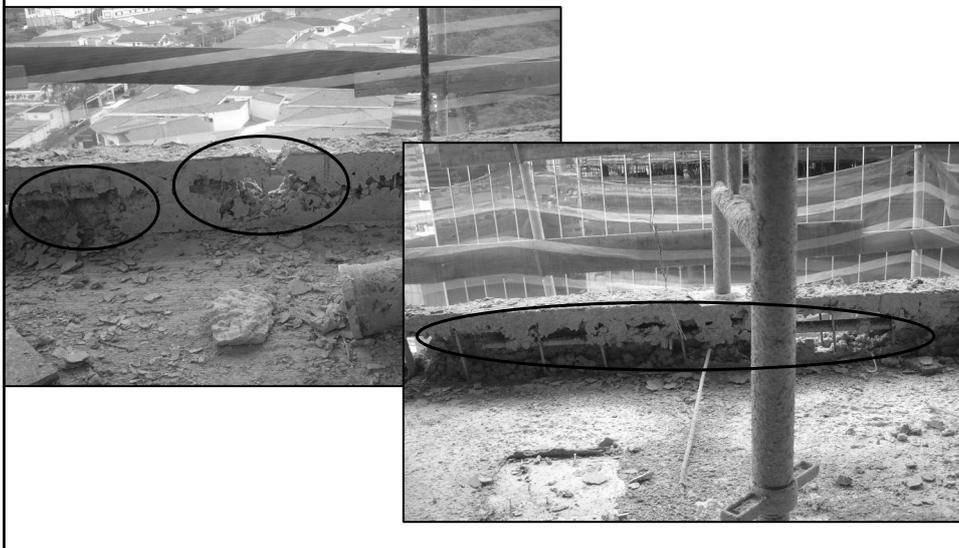
138

Bicheiras nas Vigas (falta de adensamento)



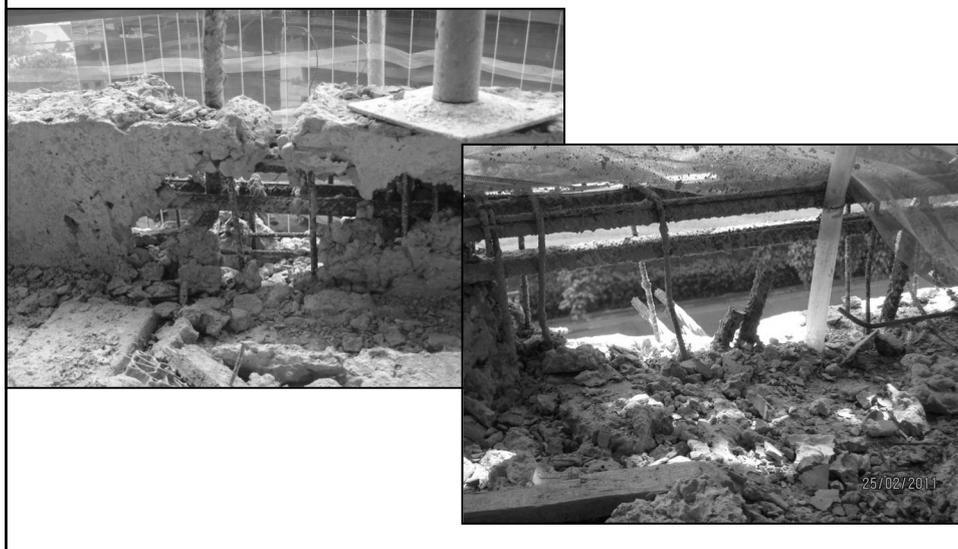
139

Bicheiras nas Vigas (falta de adensamento)



140

Bicheiras nas Vigas (falta de adensamento)

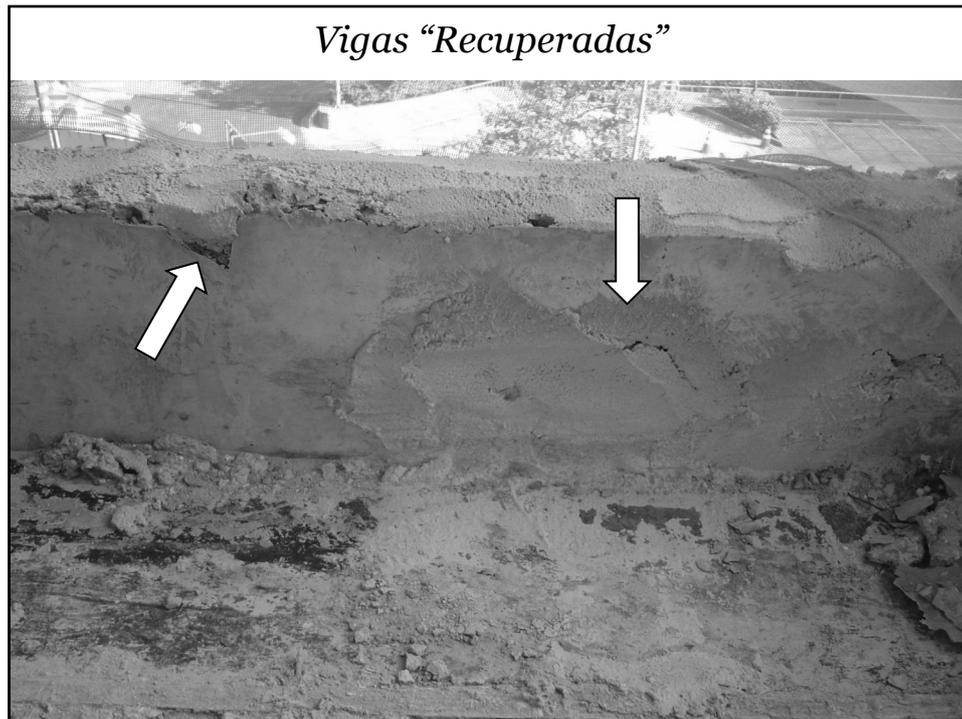


141

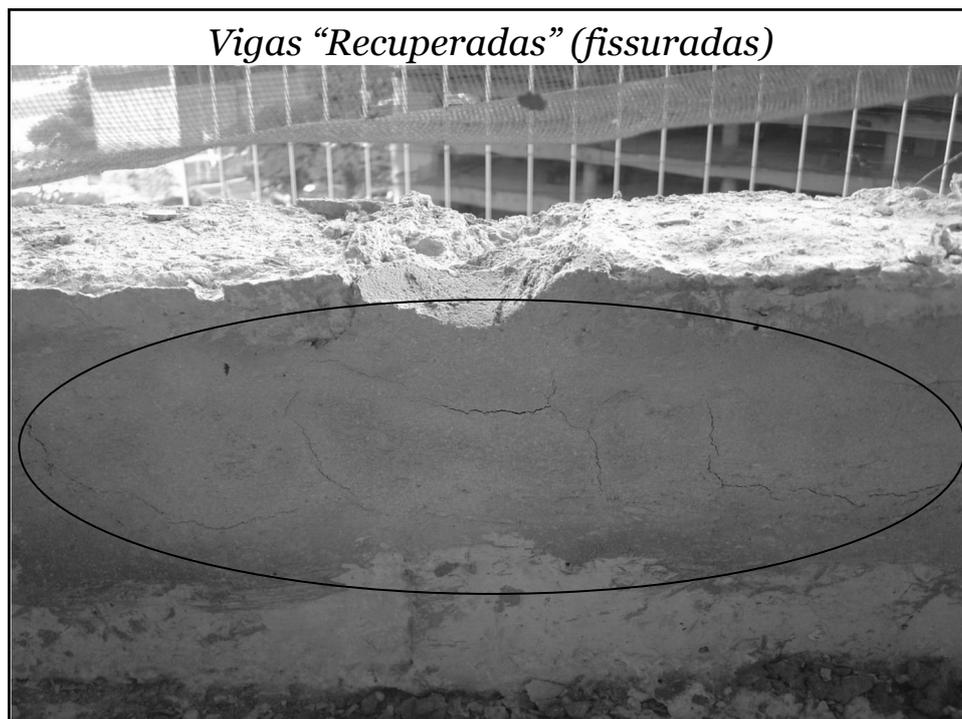
“Recuperação” das Bicheiras com Argamassa Comum



142



143



144

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

145



146



147



148



149



150



151



152



153



154

alinhamento de pilares, excentricidade

155

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.

156



157

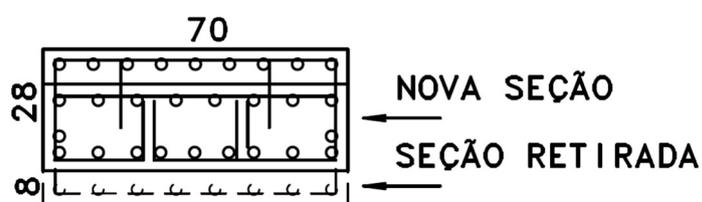


158

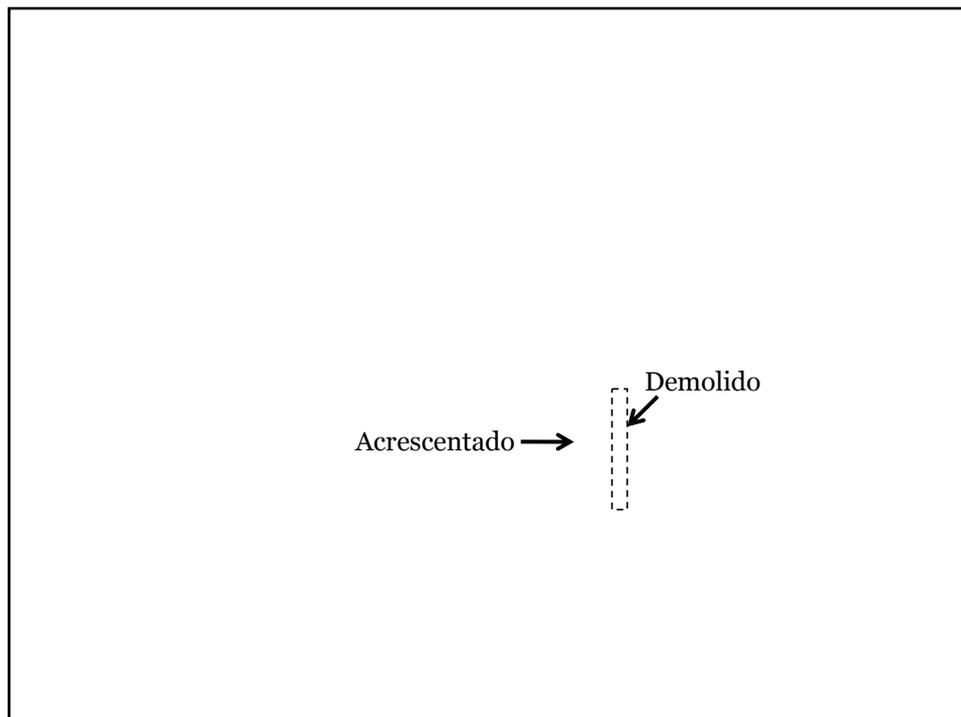


159

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



160



161



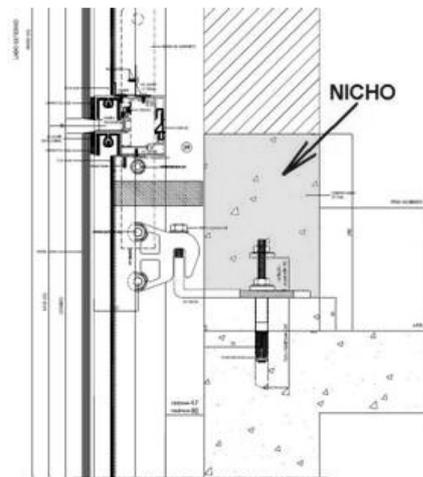
162

Compatibilidade de Projetos

163

Incompatibilidade de Projetos (estrutura x caixilhos)

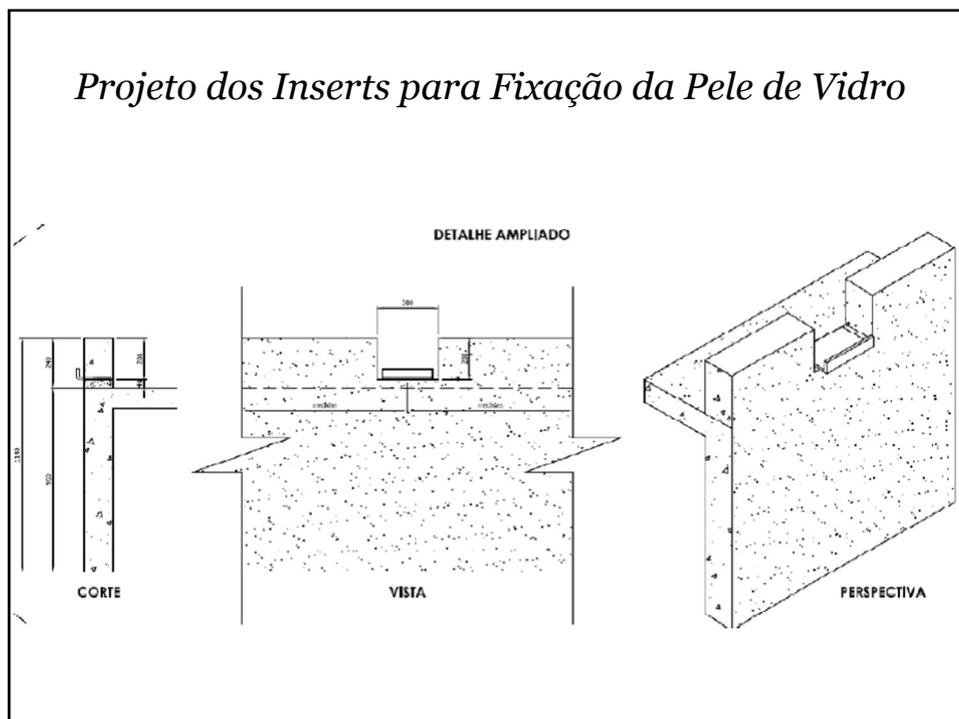
- Não foi analisado em conjunto o projeto de caixilho e o projeto da estrutura;
- As vigas invertidas foram quebradas para inserir os inserts de fixação da pele de vidro na fachada;



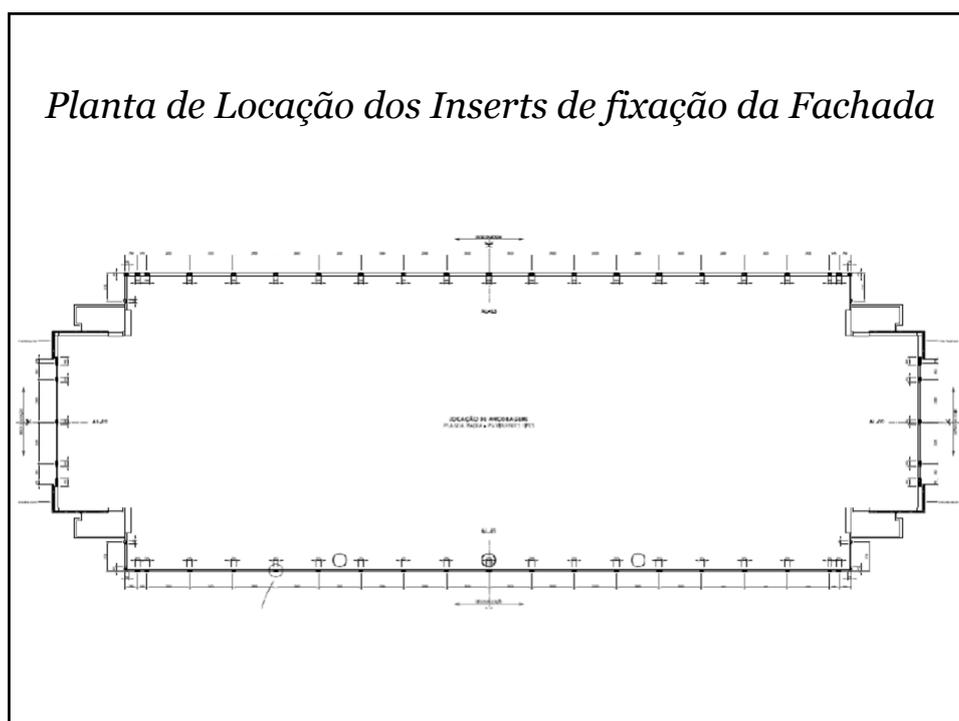
Projeto do Caixilho →

Detalhe do nicho e ancoragem

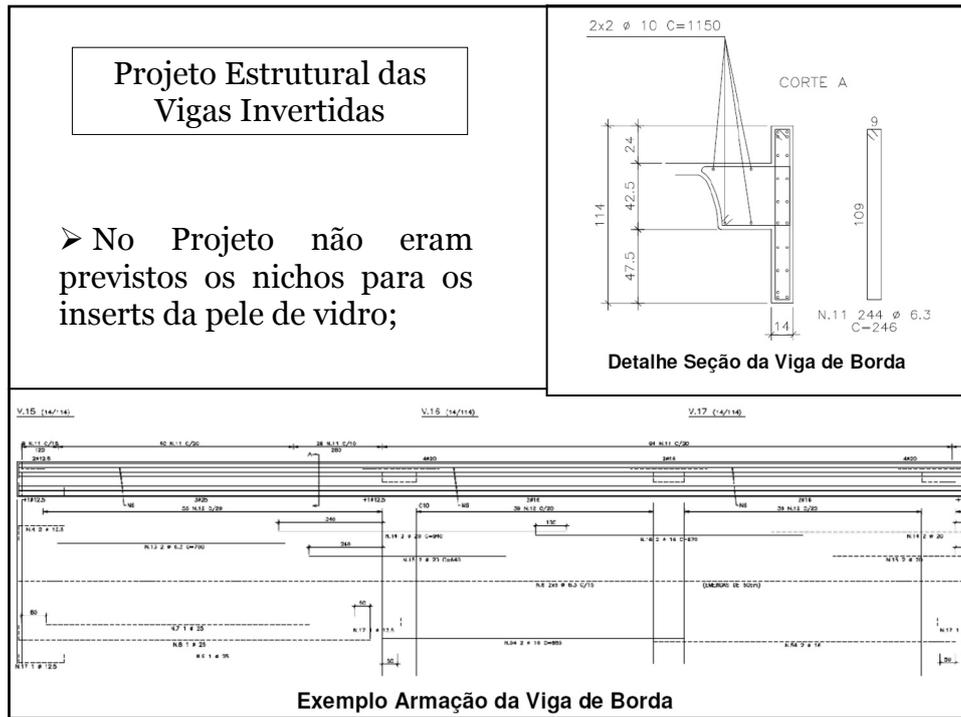
164



165



166



167



168

Vigas sendo Demolidas e Cortadas suas Armaduras sem Consentimento do Projetista



169

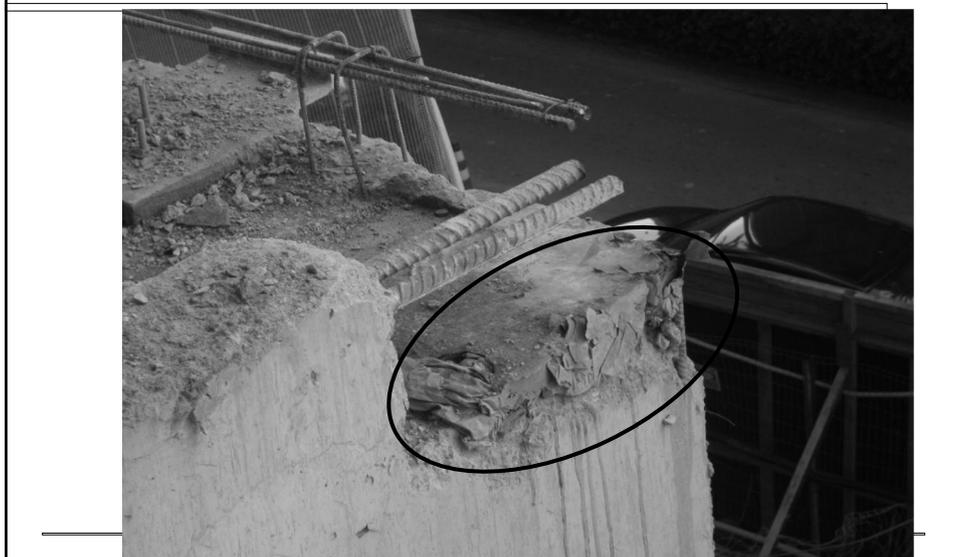


170

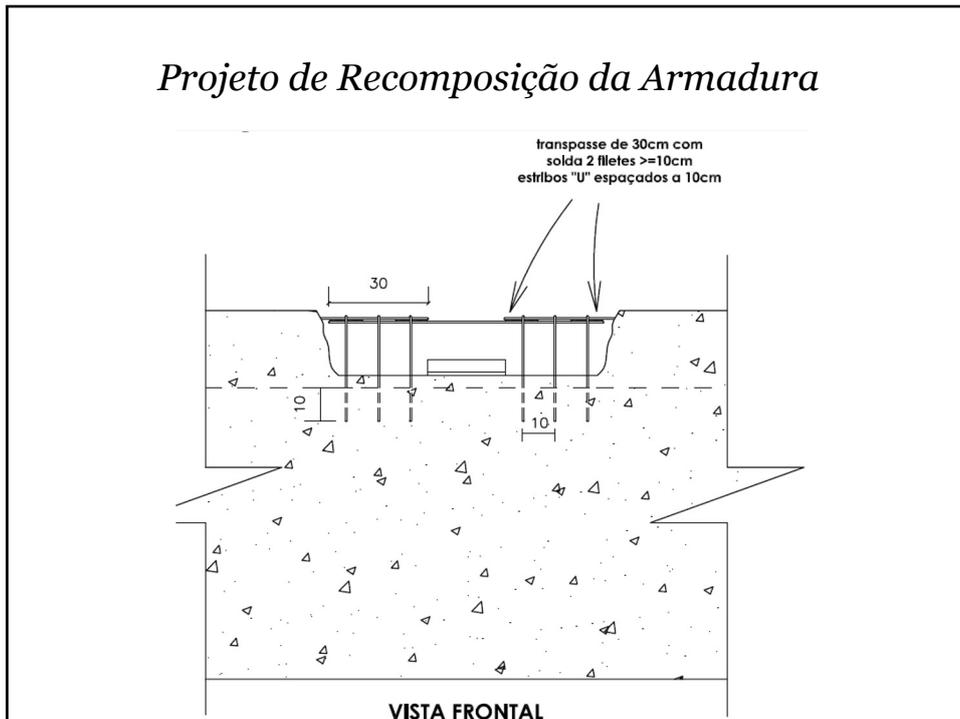


171

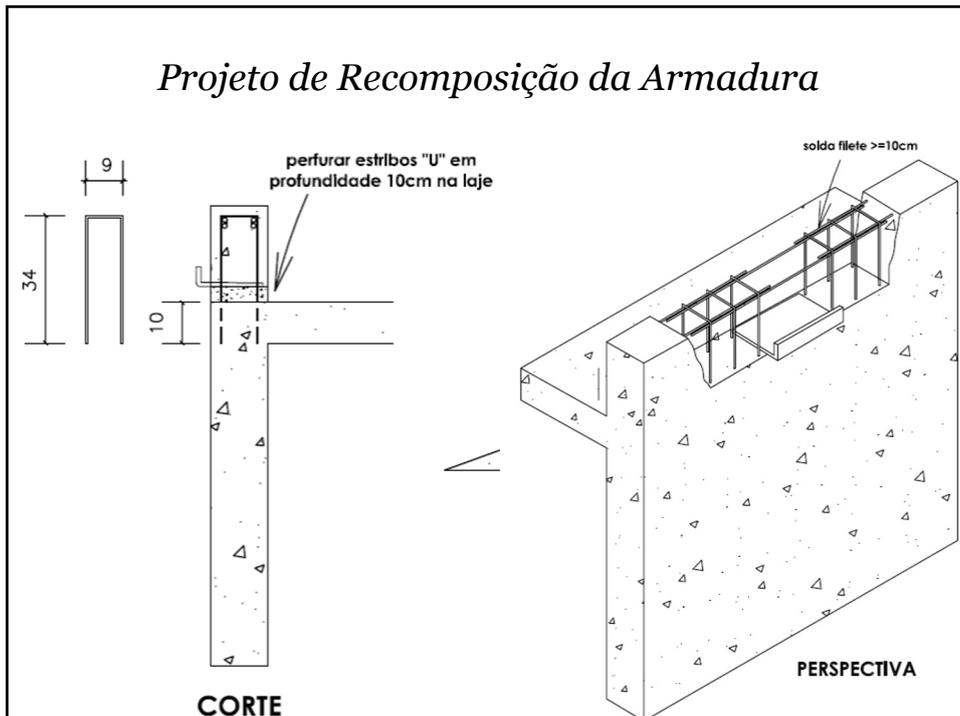
Recomposição com Graute e Sacos de Papel Vazios



172



173



174



Reconstituição das armaduras

IBRACON



175

Recomposição das Armaduras Cortadas



176

CONSTRUTOR

Não entendeu → PERGUNTA

Não achou o detalhe → COBRA

Deve estudar os projetos e
antecipar-se aos problemas!

177

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.

178

Qual a MISSÃO do Construtor?

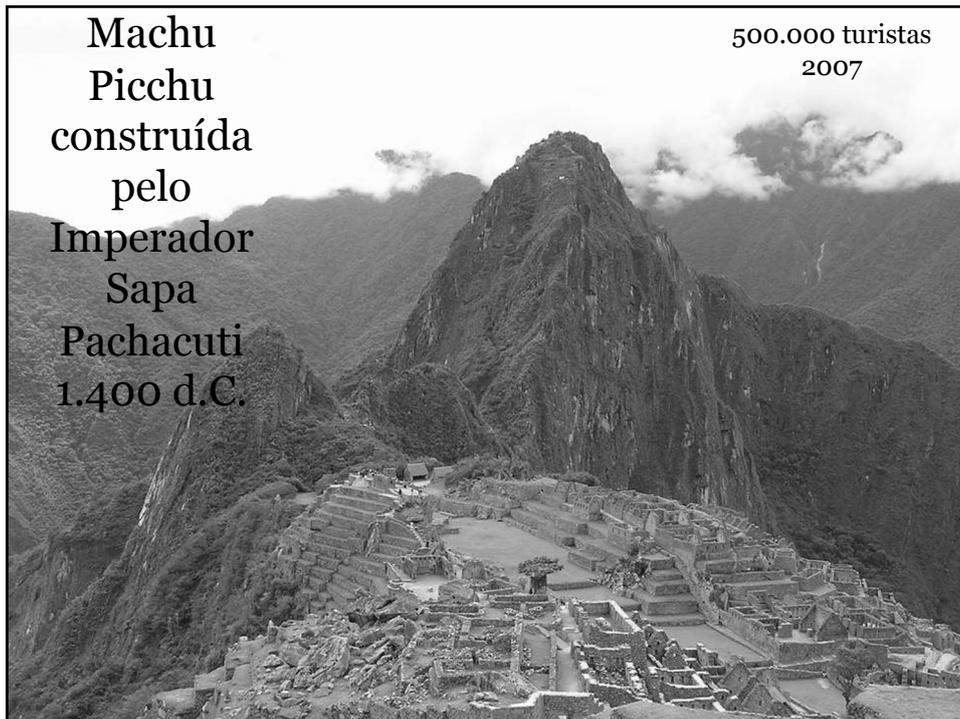
179



180



181



182



183



184

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”

185

Panteão de Roma



186

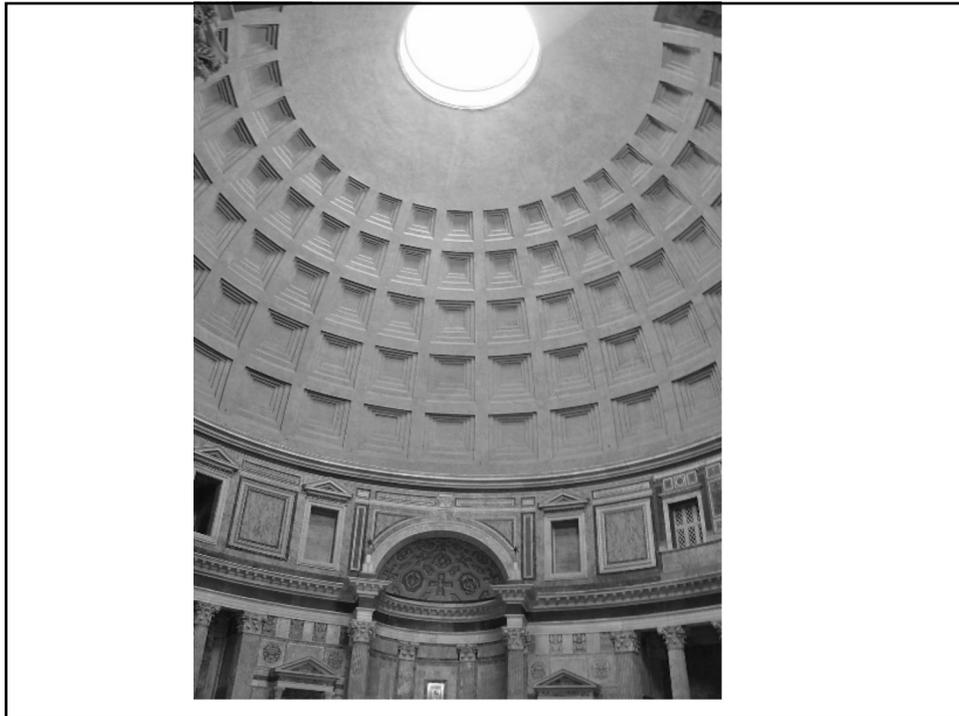


187

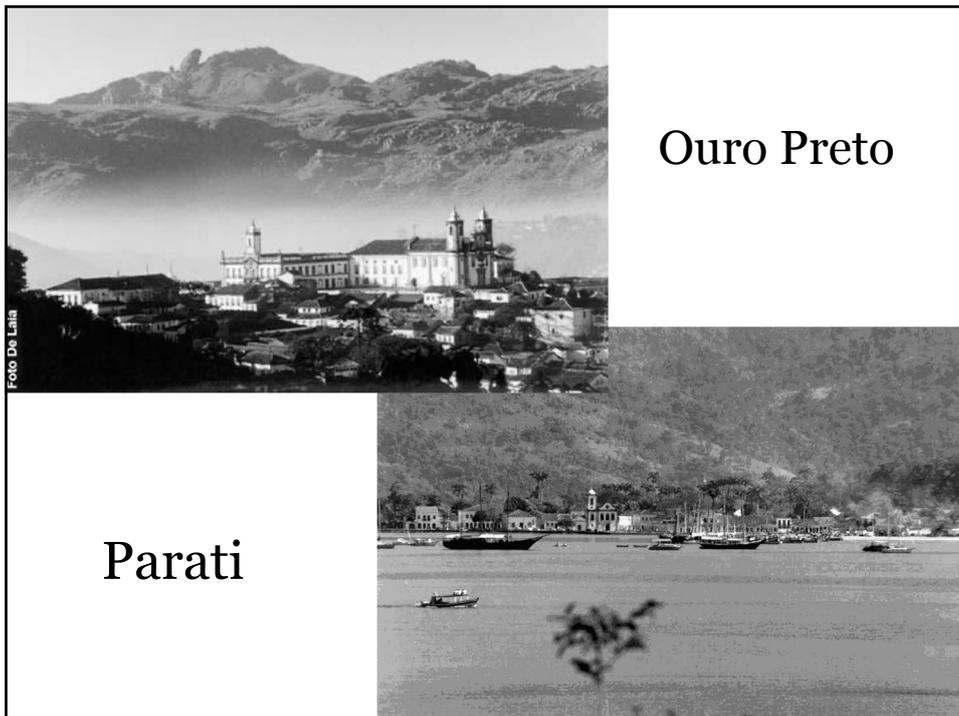
Cúpula do Panteão de Roma
Século II dC → Diâmetro de 44m



188



189



190

Catedral de Notre Dame



1163-1330

Abóbada da nave central → 35 m de altura

191



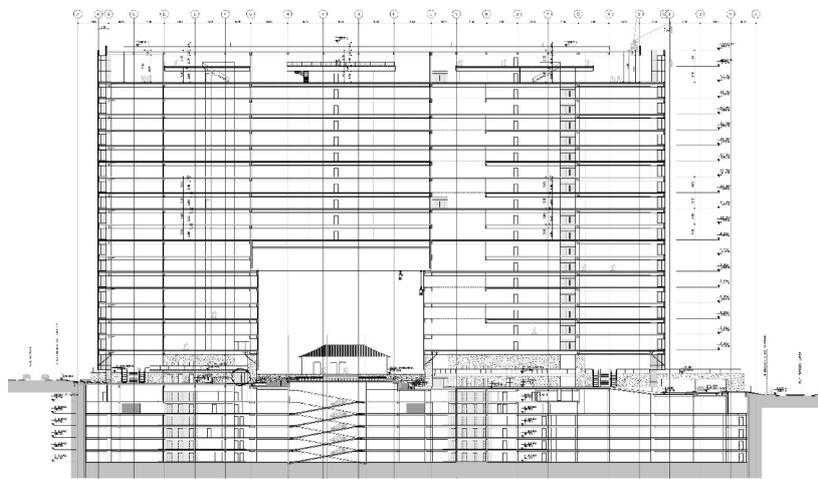
192

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

193

Corte longitudinal



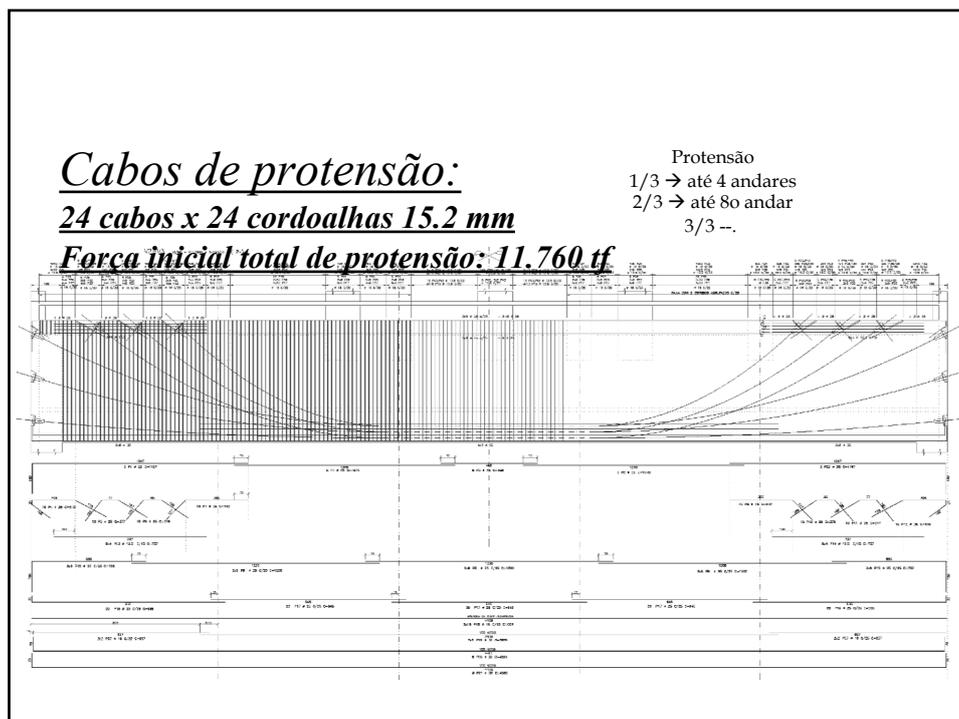
194



195



196



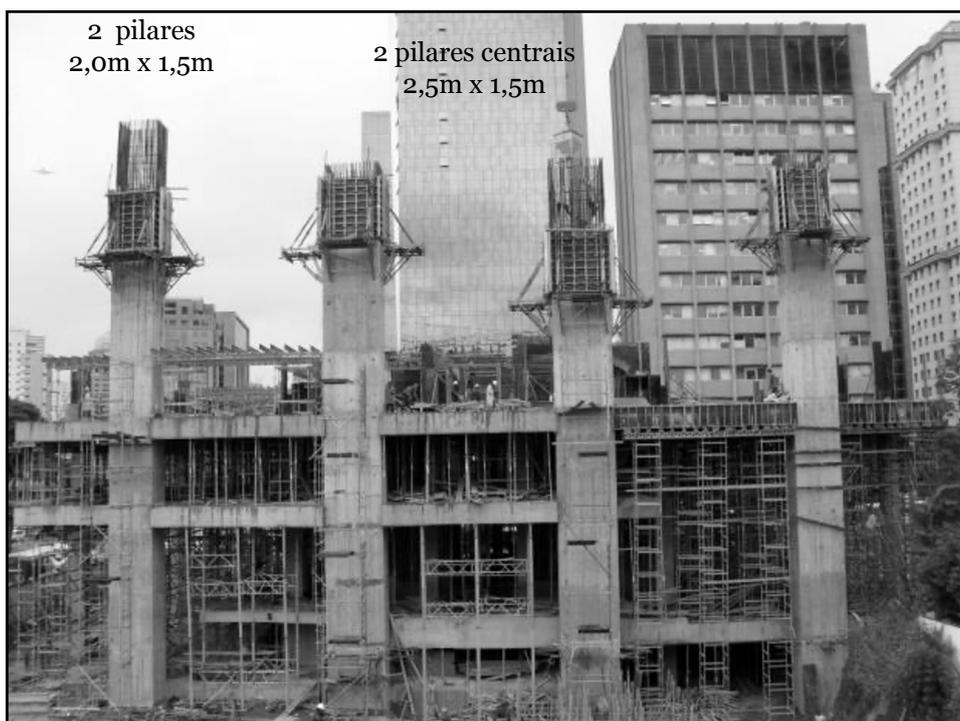
197



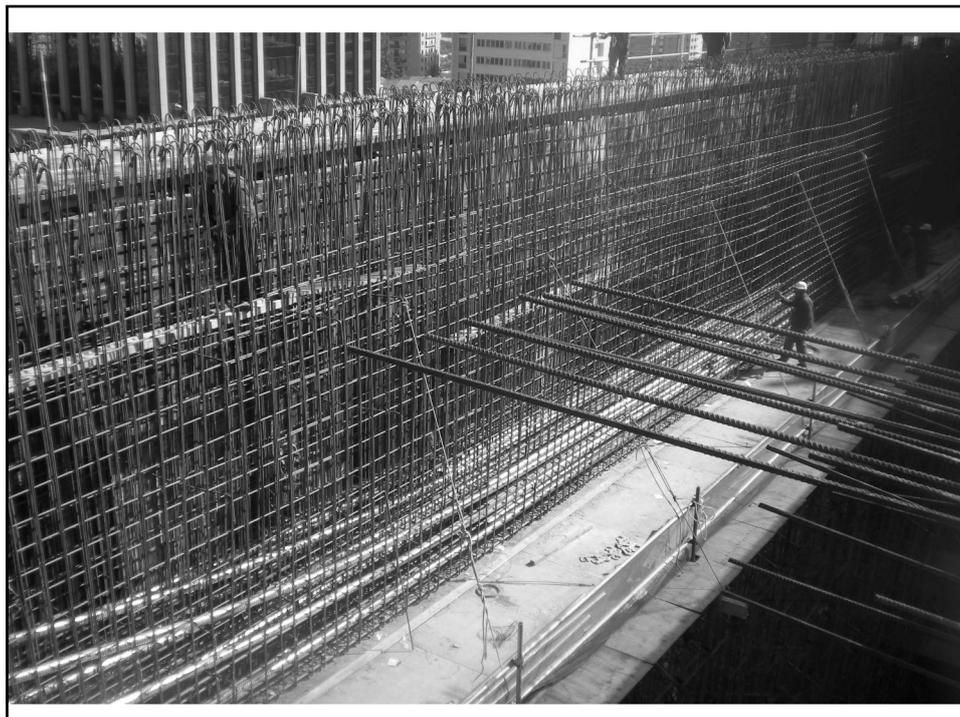
198



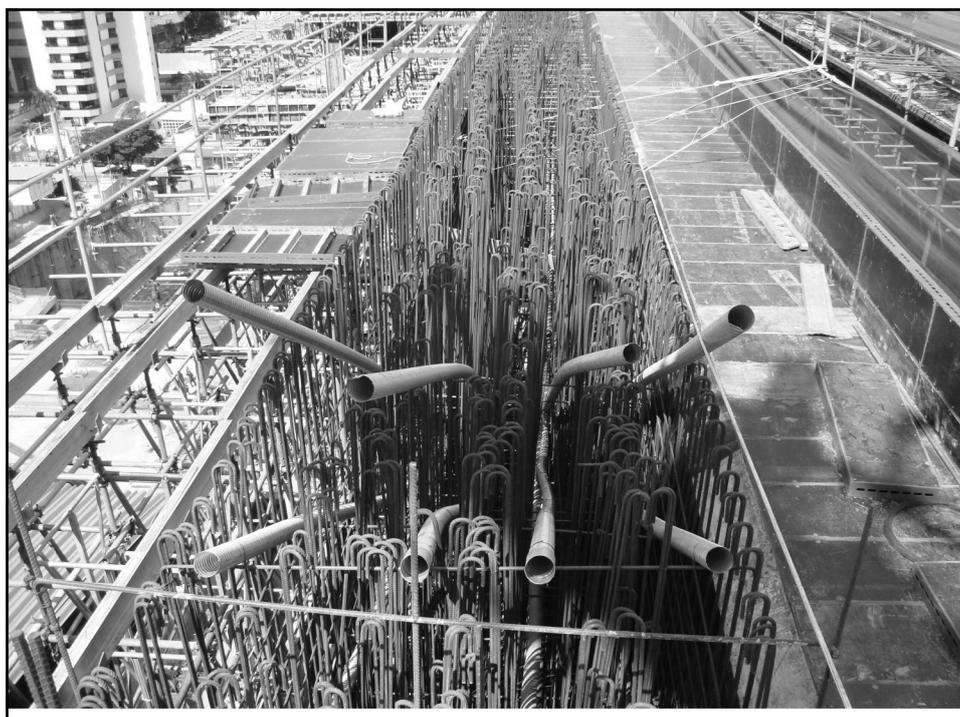
199



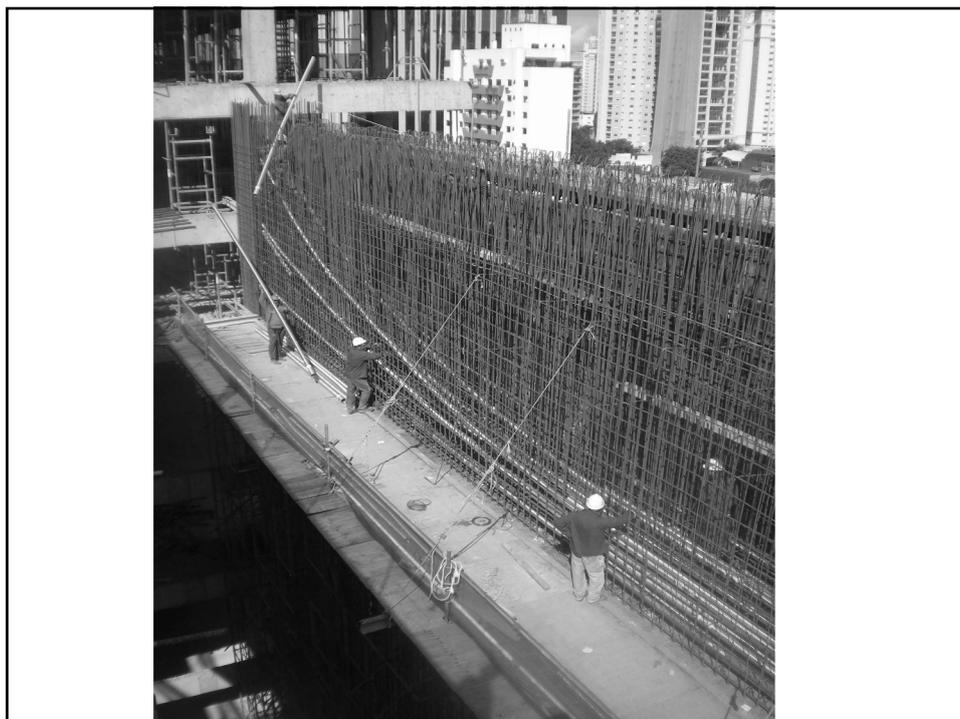
200



201



202



203



204



205



206



escoramento em balanço

207

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

208

208

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 |
| 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

209

209

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.CPII 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%

210

210

Temperatura de lançamento



é possível ...

211

211

Acabamento



212



213



214



215



216

Comprometimento!

Do your best!

217