



**Reforço Estrutural  
Pilar P4 – Fase 2**

Paulo Helene & Douglas Couto



1

***Dados do Edifício:***

***Localização: Centro – Rio de Janeiro, RJ.***

***36pavimentos + 5subsolos***

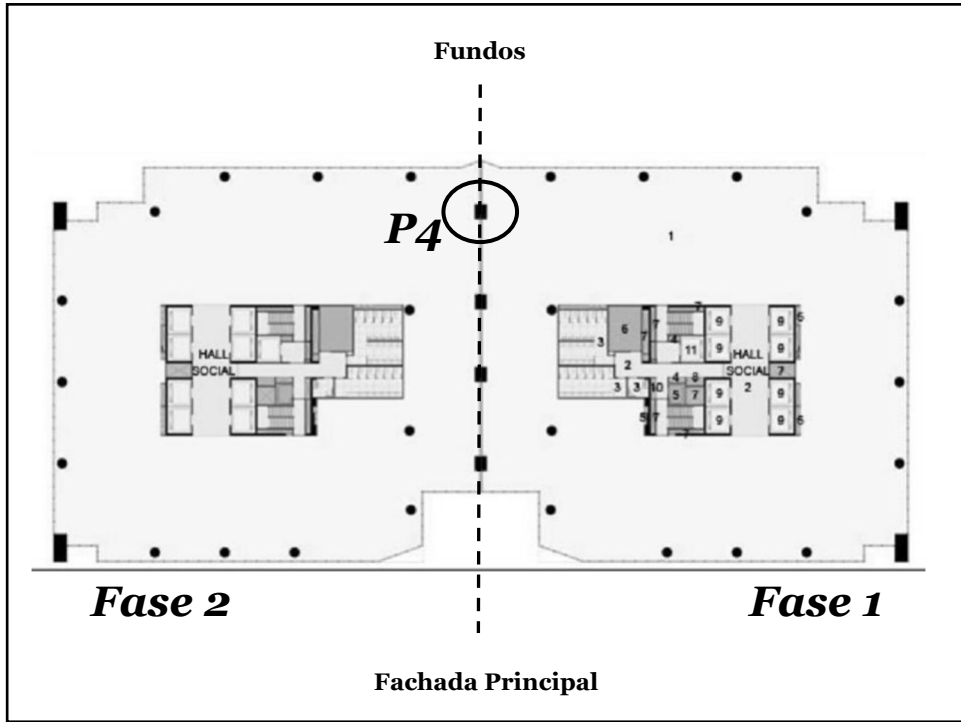
***Pilar P4 – Esforços de projeto:***

***Normal: 1.253tf***

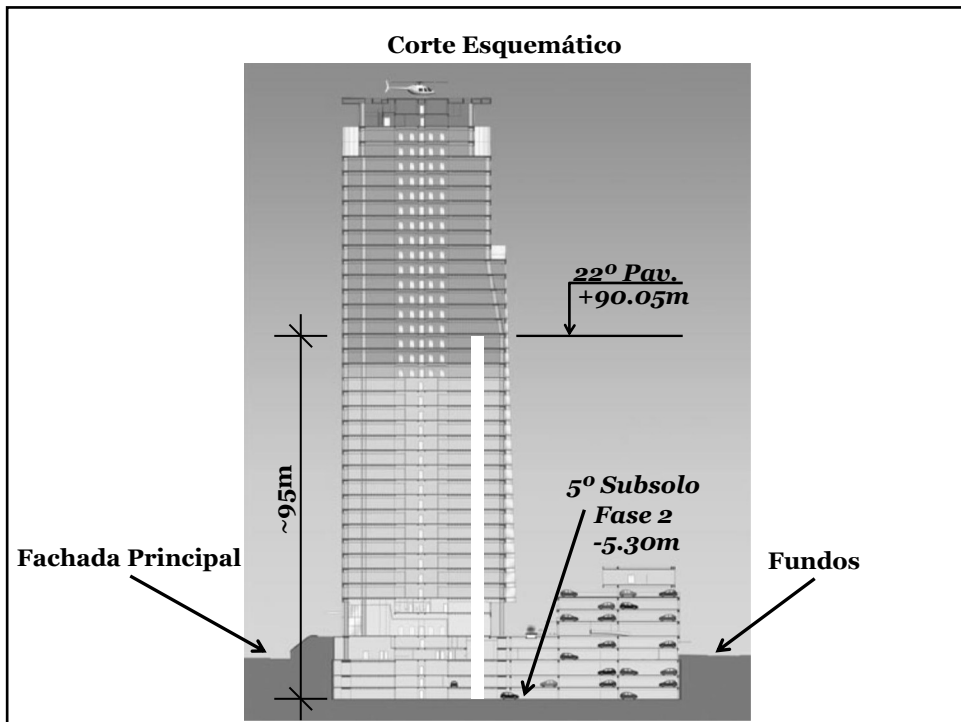
***Mx: 55tf.m***

***My: 8tf.m***

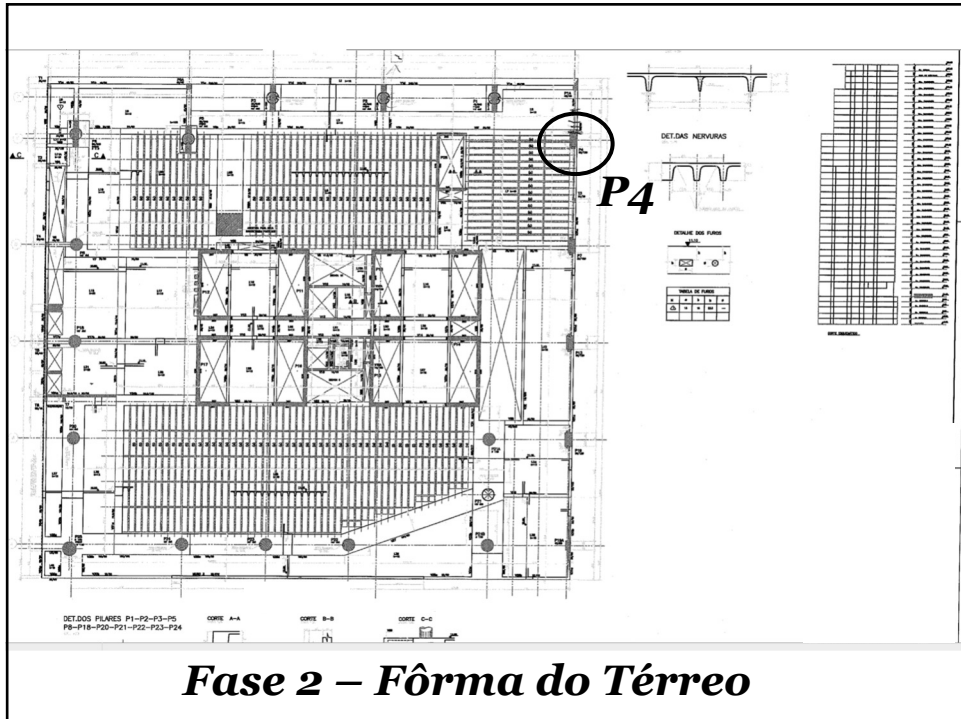
2



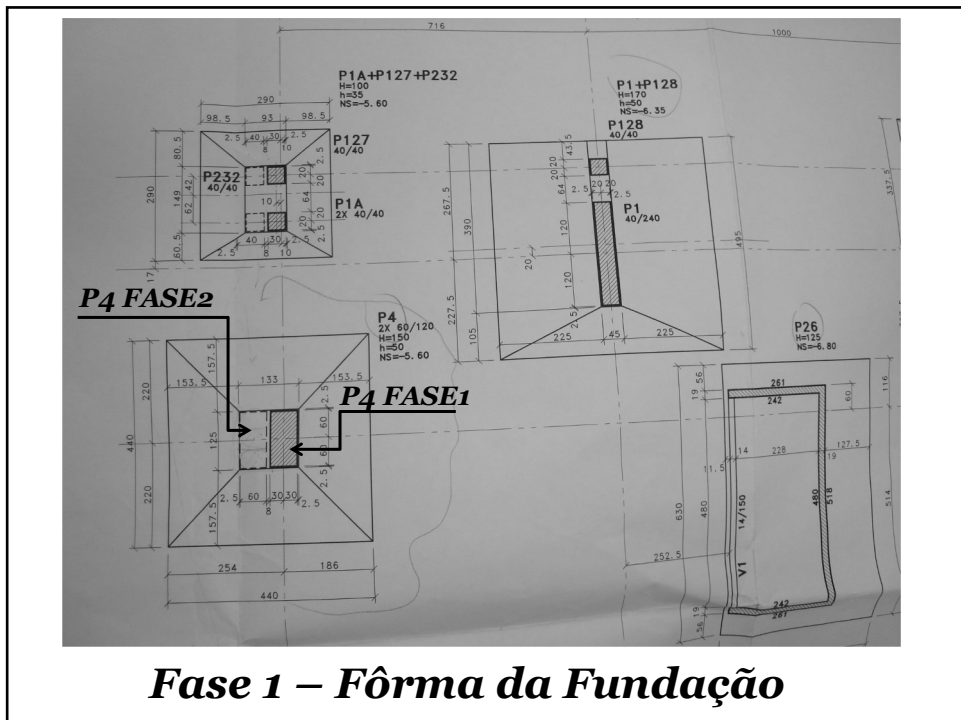
3



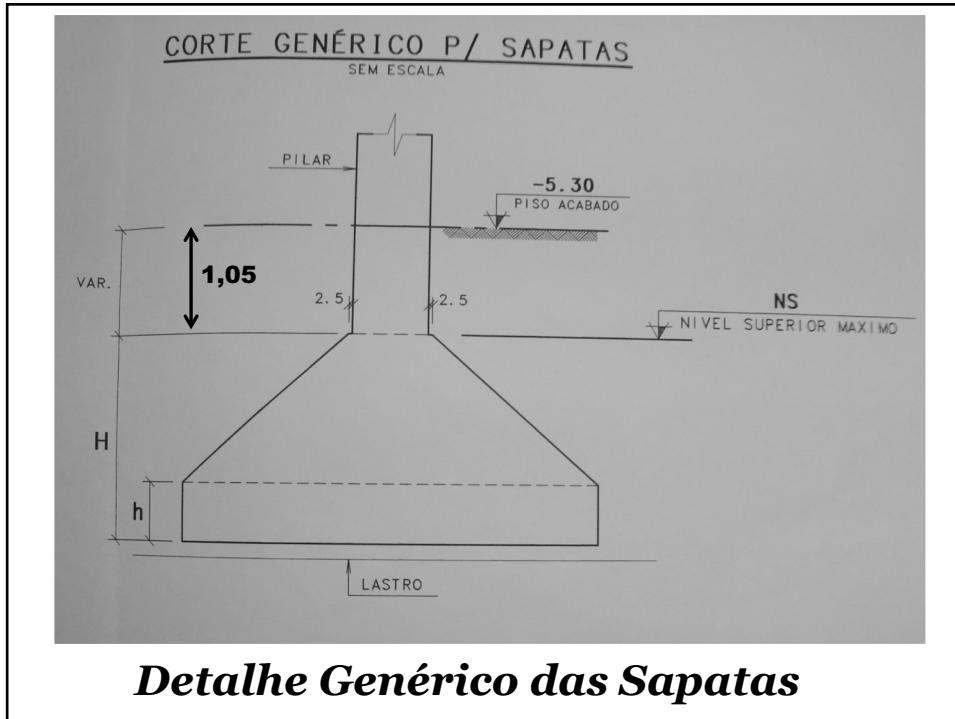
4



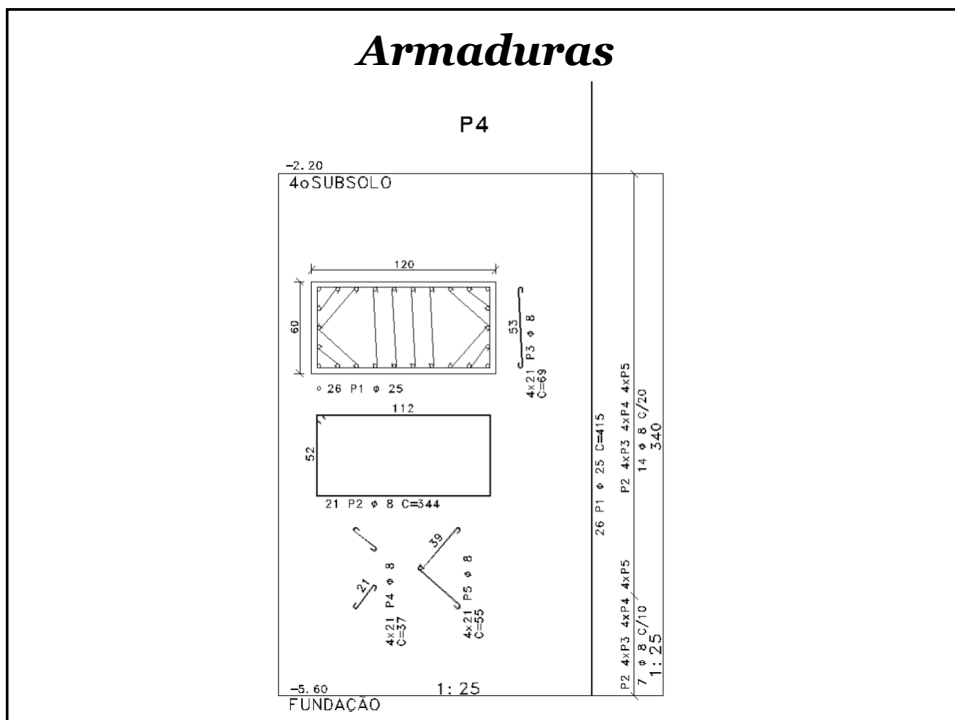
5



6



7



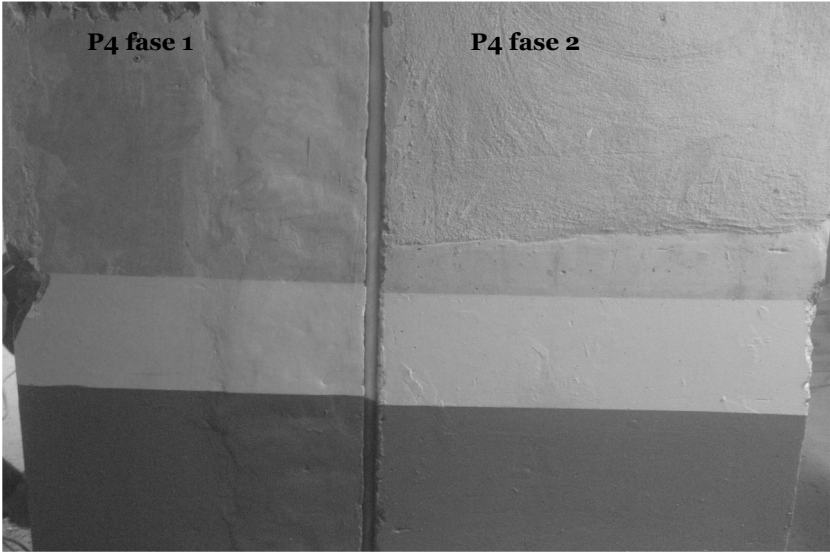
8

# *Antecedentes*

9

***Inspeção / Evidências***

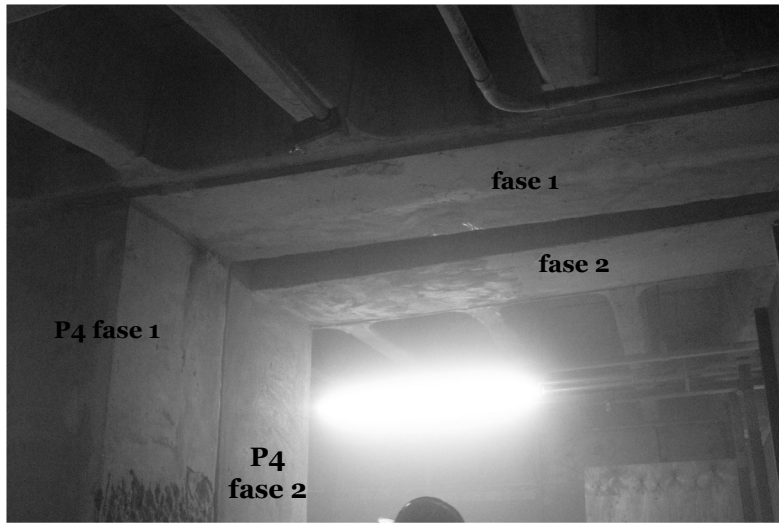
8/7/2011	9/7/2011	10/7/2011	11/7/2011
2000 2100 2200 2300 2400 2500 2600 2700 2800 2900 3000 3100 3200 3300 3400 3500 3600 3700 3800 3900 4000 4100 4200 4300 4400 4500 4600 4700 4800 4900 5000 5100 5200 5300 5400 5500 5600 5700 5800 5900 6000 6100 6200 6300 6400 6500 6600 6700 6800 6900 7000 7100 7200 7300 7400 7500 7600 7700 7800 7900 8000 8100 8200 8300 8400 8500 8600 8700 8800 8900 9000 9100 9200 9300 9400 9500 9600 9700 9800 9900 10000			



**Desnivelamento**

10

***Inspeção / Evidências***



**Desnivelamento**

11

***Inspeção / Evidências***



**Fissuras em Vigas**

12

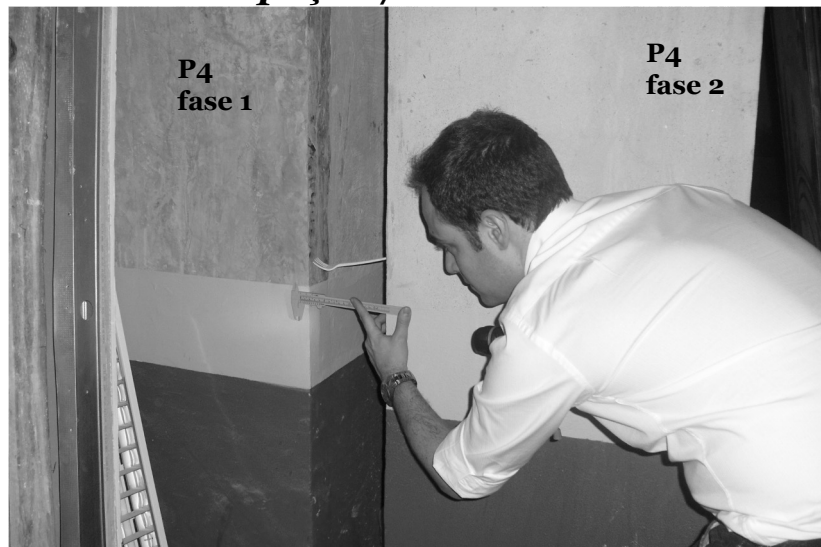
***Inspeção / Evidências***



**Fissuras em Vigas**

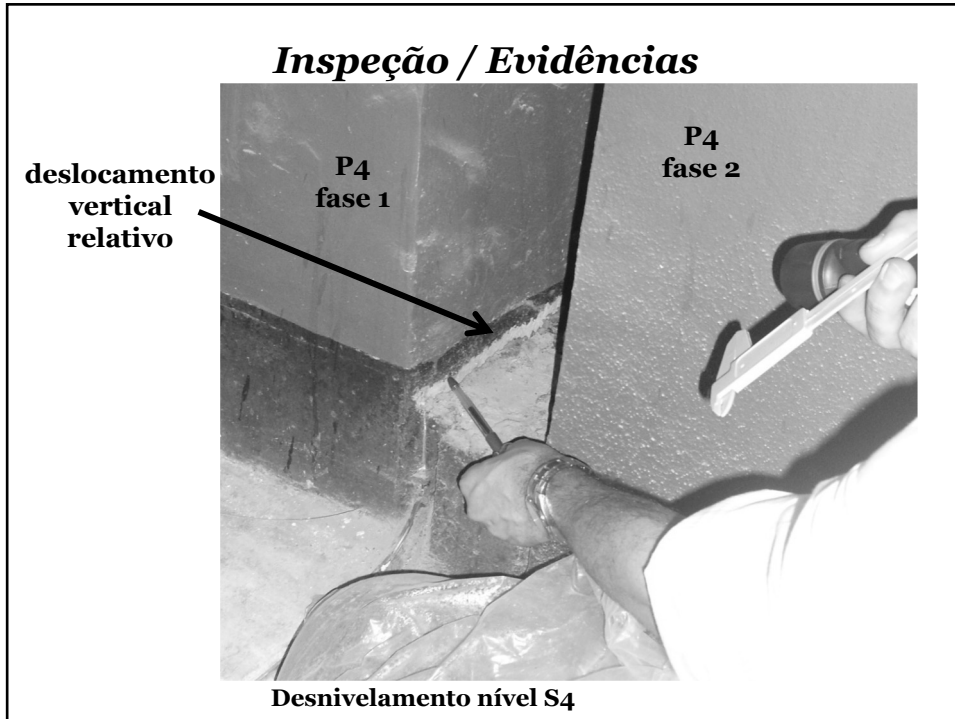
13

***Inspeção / Evidências***



**Desnívelamento nível S4**

14

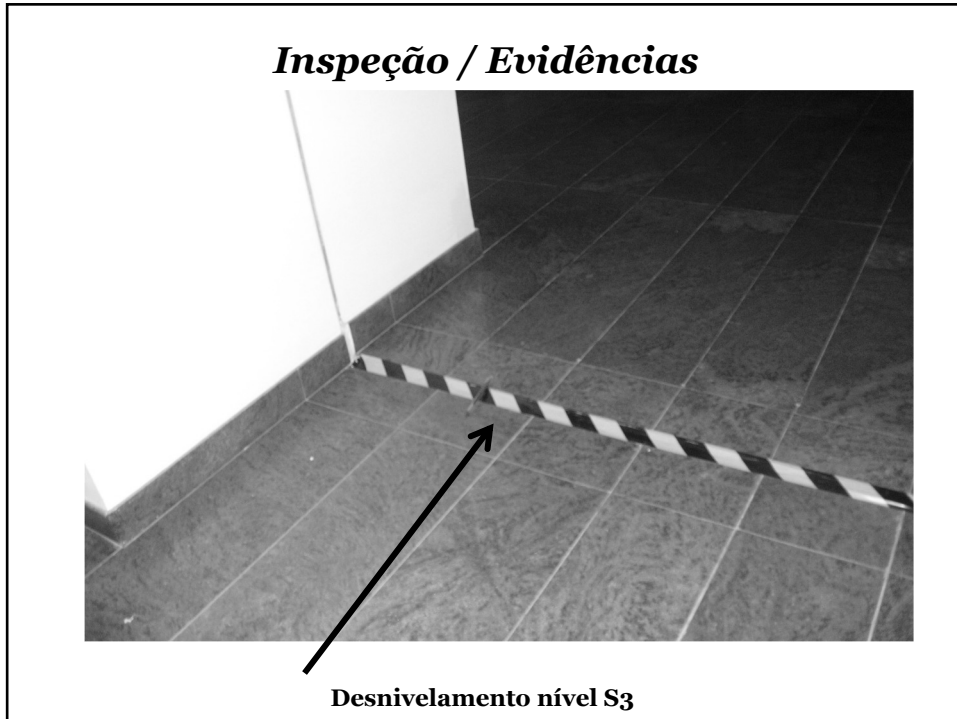


15

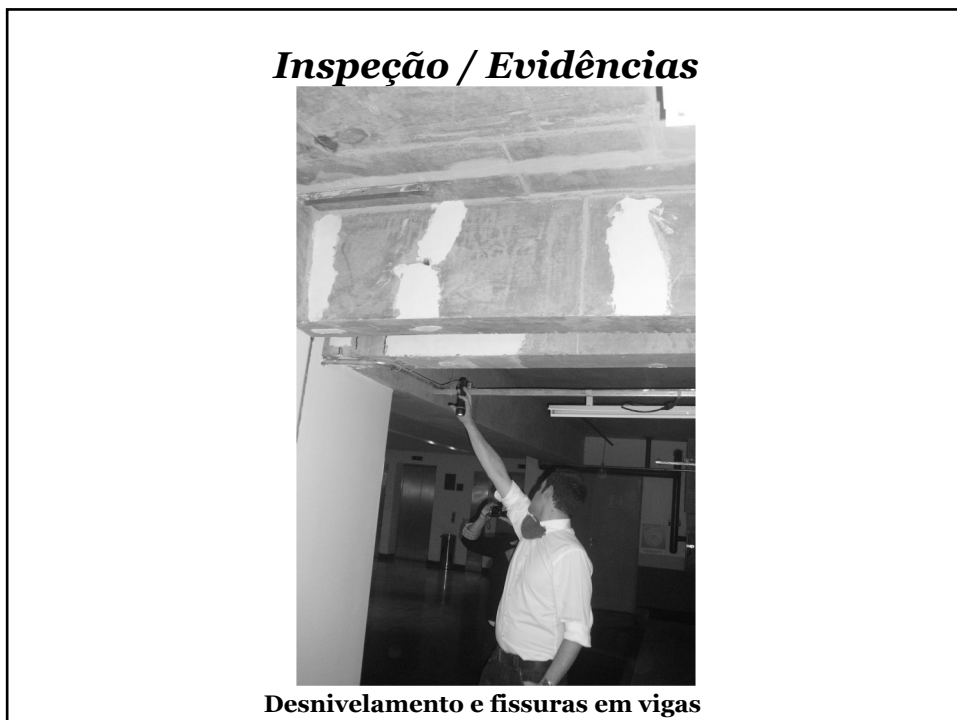


16





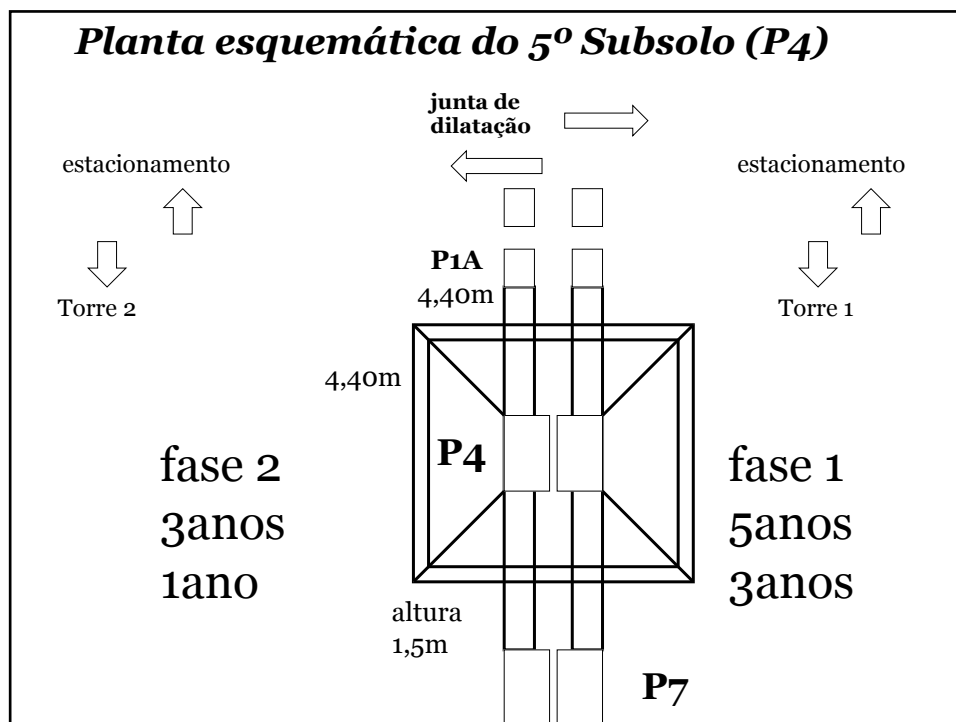
17



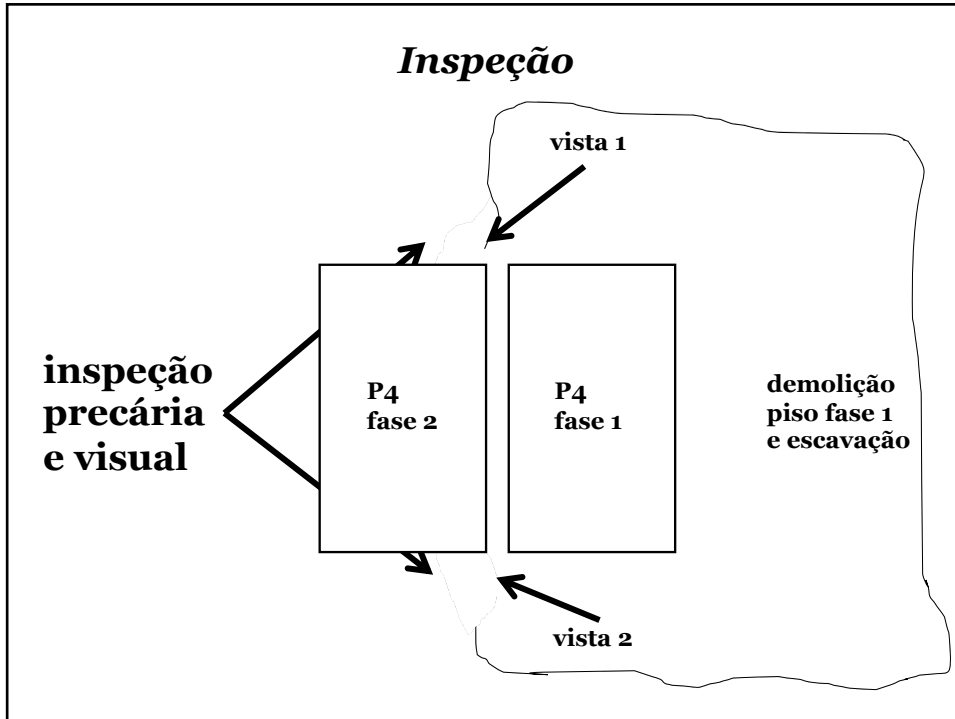
18

# *inspeção detalhada*

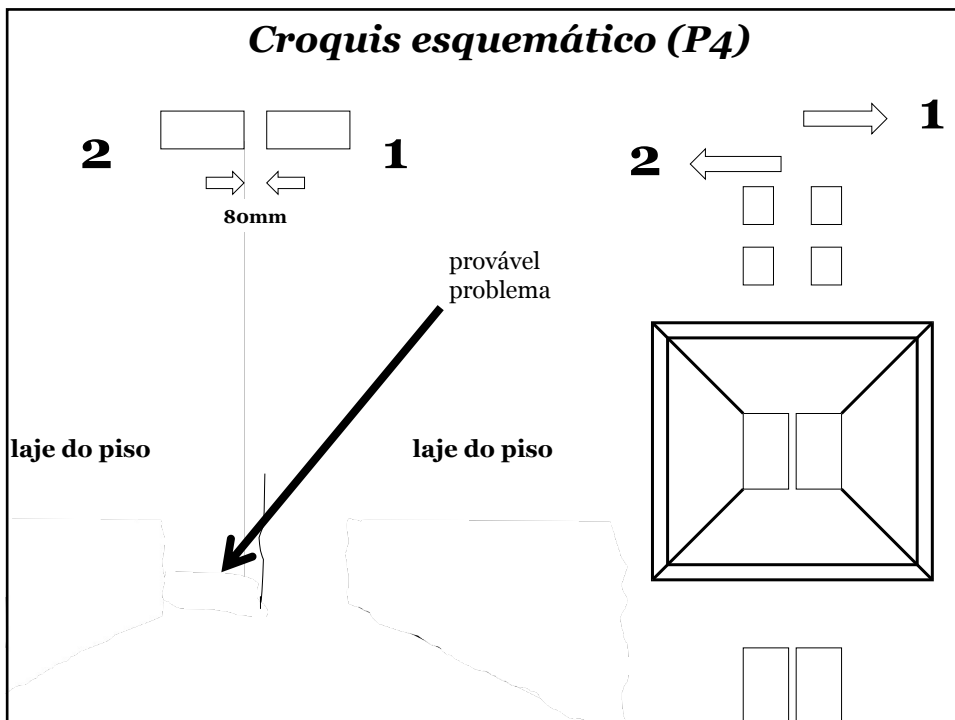
19



20



21



22

**Inspeção Detalhada**

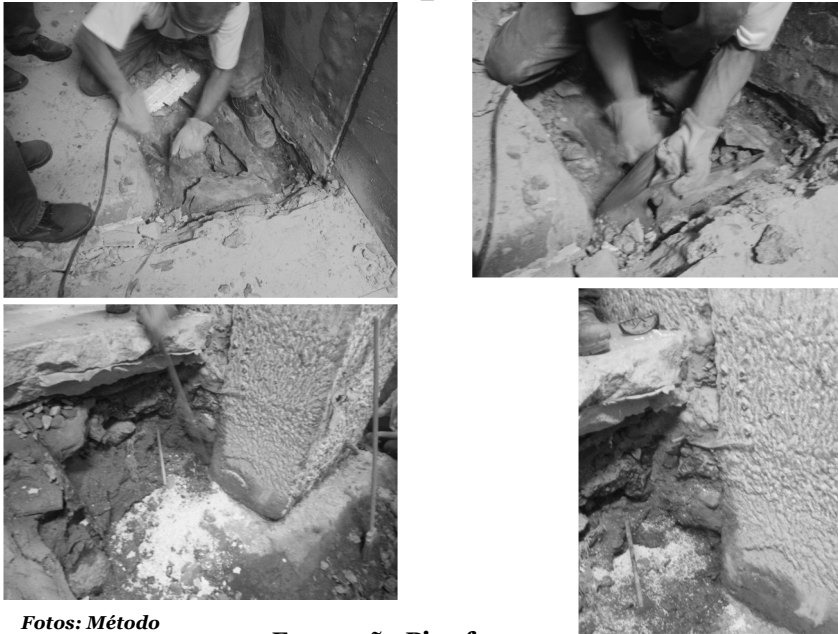
8/7/2011	9/7/2011	10/7/2011	11/7/2011



**Demolição Piso fase 1**

23

**Inspeção**



**Fotos: Método****Escavação Piso fase 1**

24

***Inspeção***

8/7/2011	9/7/2011	10/7/2011	11/7/2011
			

**Escavação Piso fase 1**

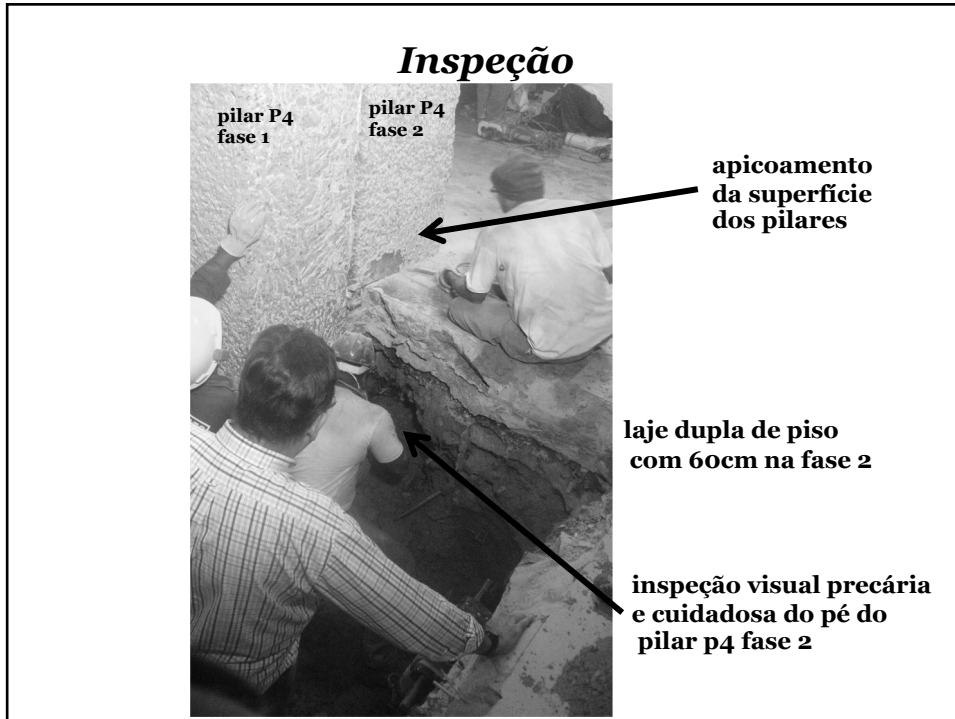
25

***Inspeção***

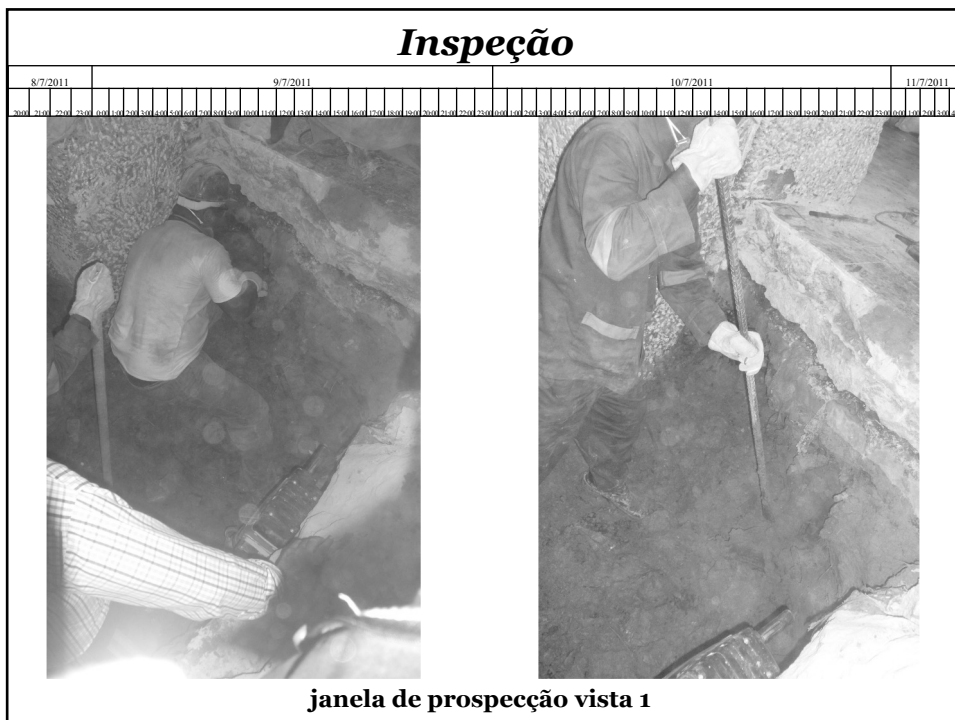


**Escavação Piso fase 1**

26



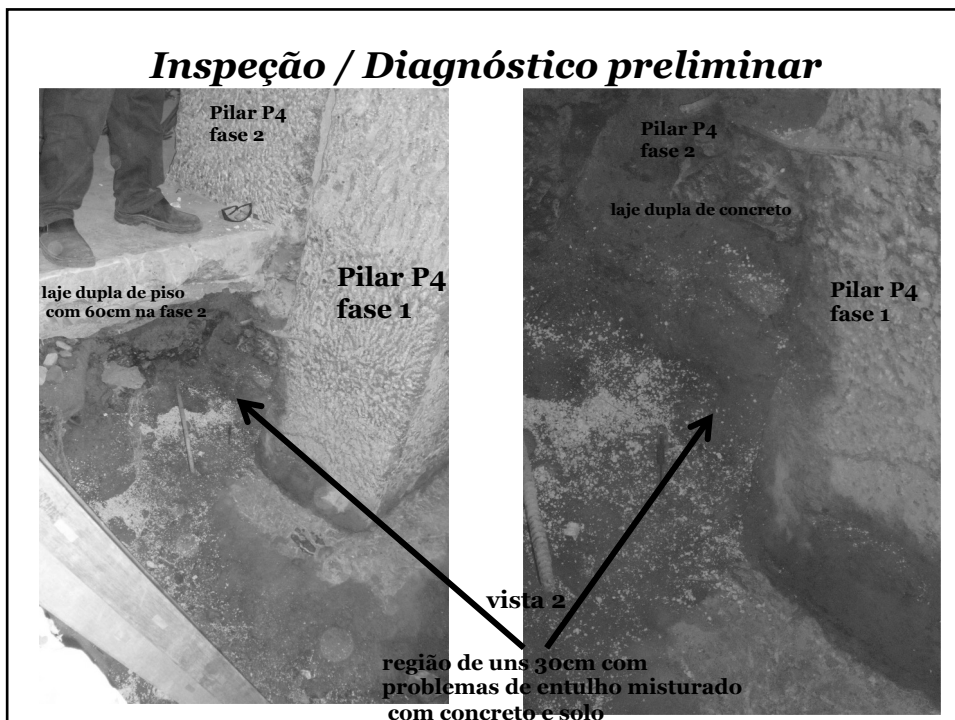
27



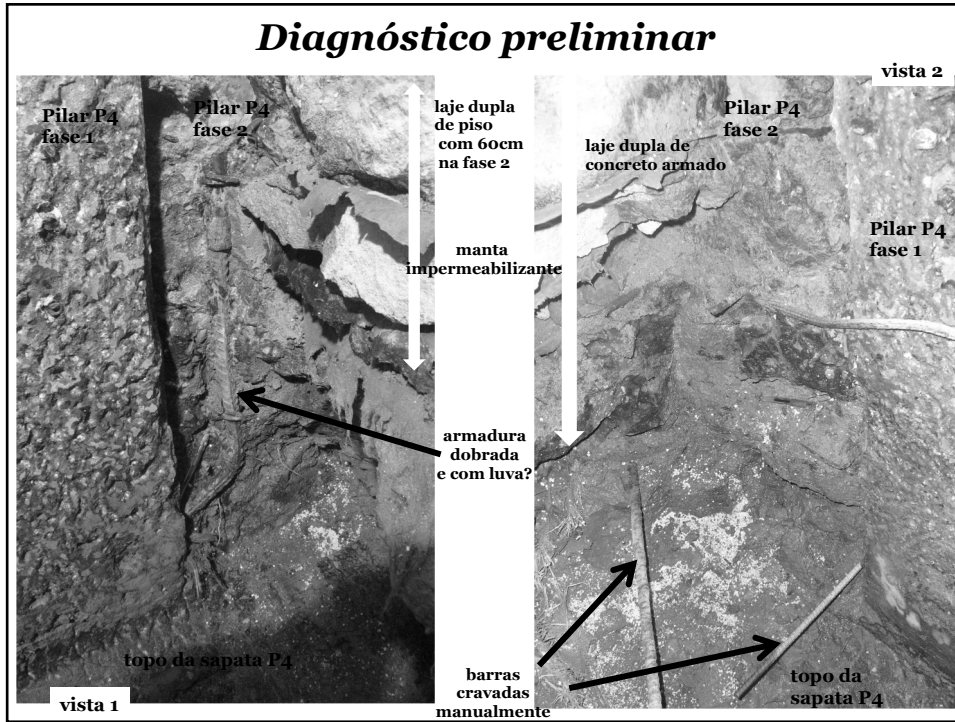
28



29



30



31



32

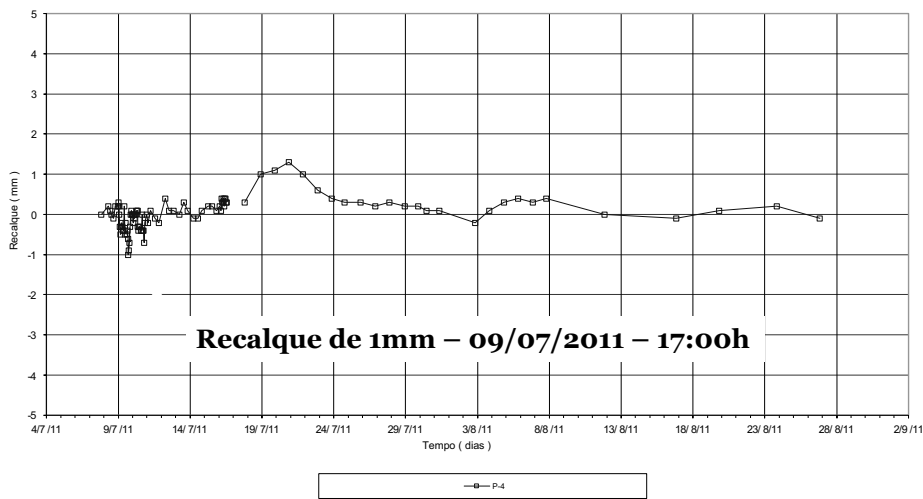


## *Inspeção*

**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  
**1mm!!****

33

## *Medições dos Recalques*



34

*Inspeção*



selo  
de  
gesso  
rompido



35

*Inspeção*

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

36

**Inspeção**

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

37

**Inspeção**

8/7/2011	9/7/2011	10/7/2011	11/7/2011
300 250 200 150 100 50 0 50 100 150 200 250 300	300 250 200 150 100 50 0 50 100 150 200 250 300	300 250 200 150 100 50 0 50 100 150 200 250 300	300 250 200 150 100 50 0 50 100 150 200 250 300

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

38

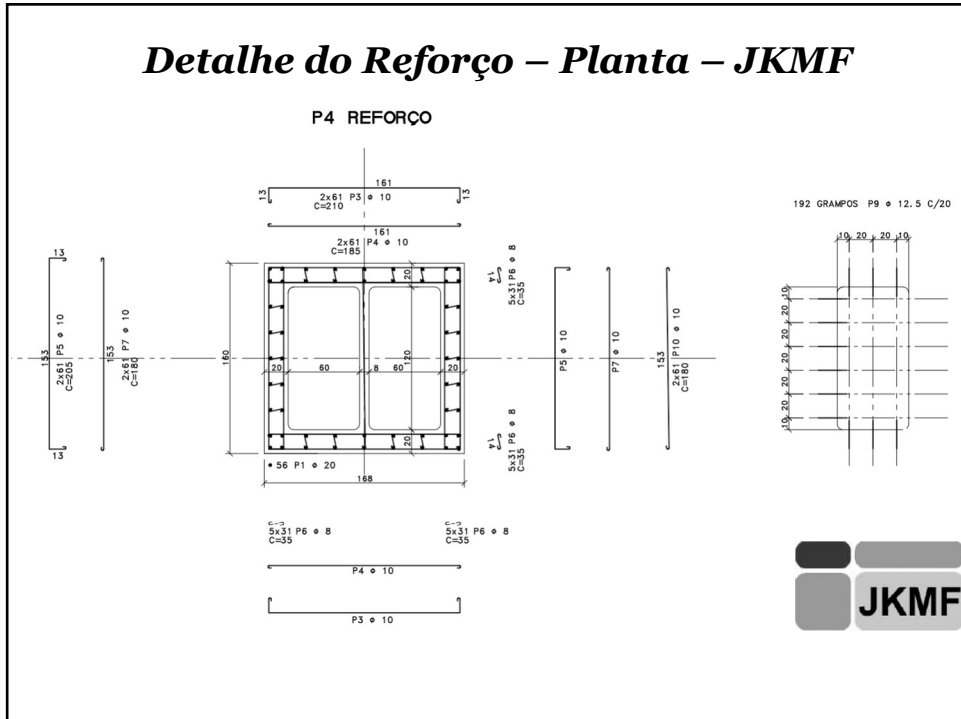
# ***Reforço 1ª etapa***

39

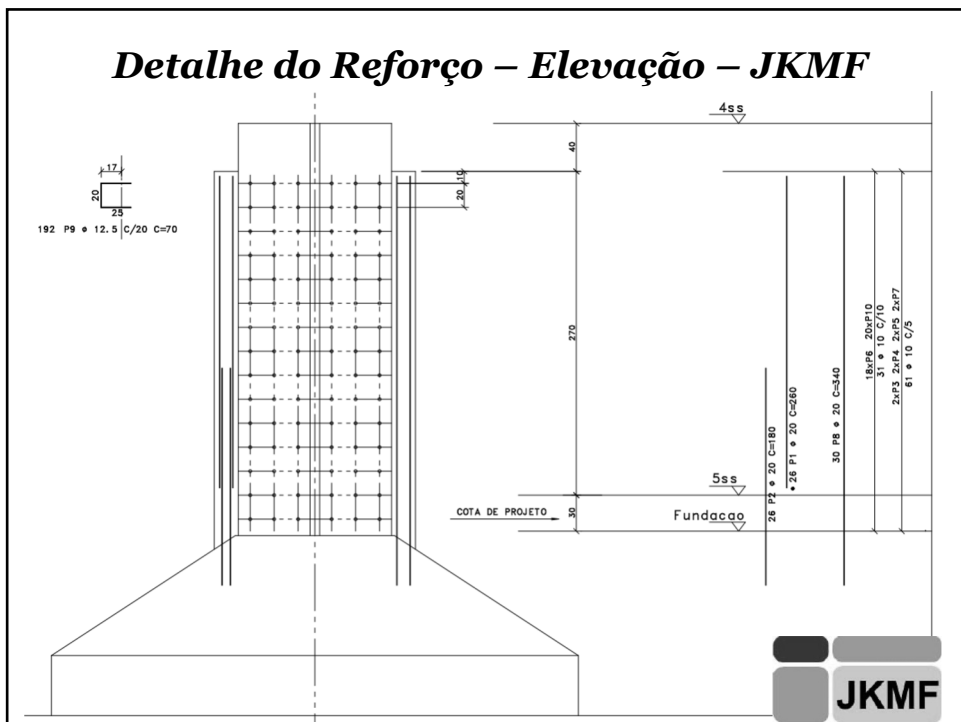
## ***Procedimento Padrão para Reforço do Pilar P4 com Problema***

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.

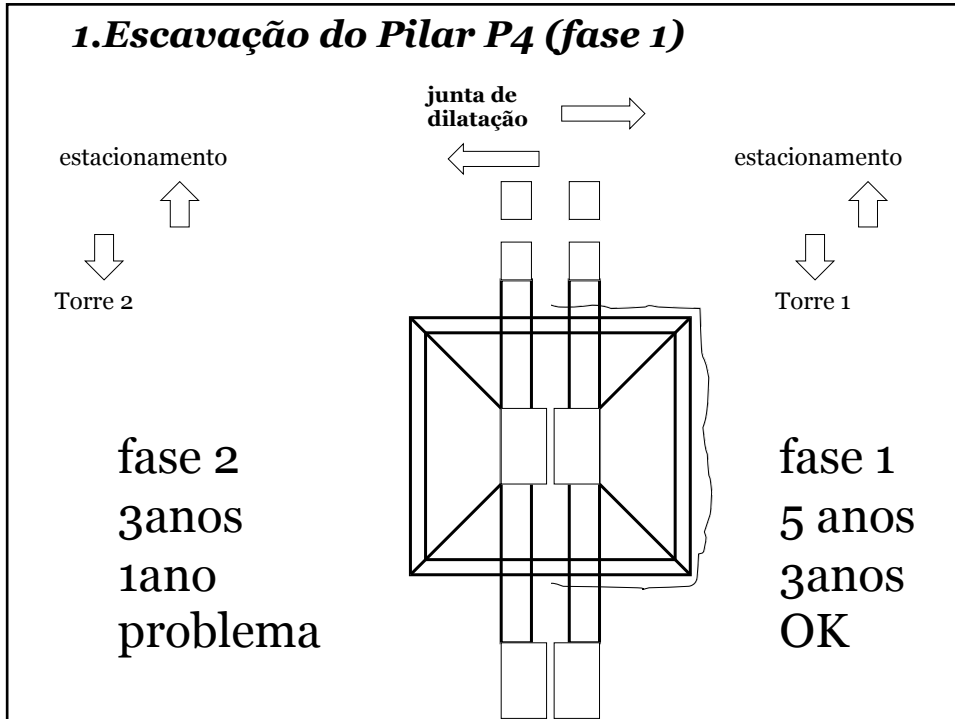
40



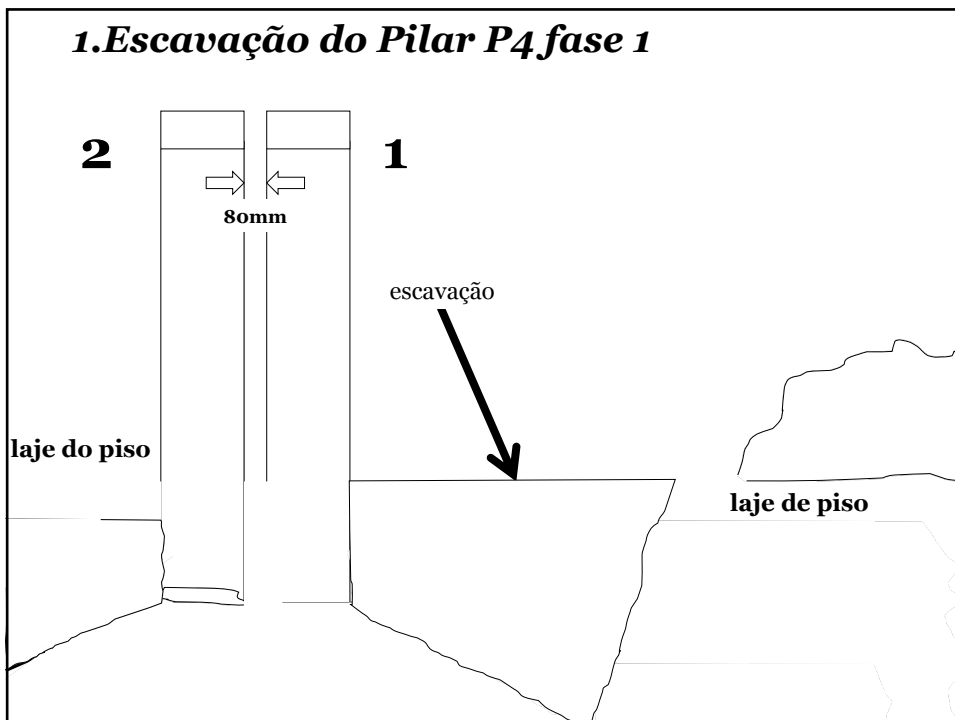
41



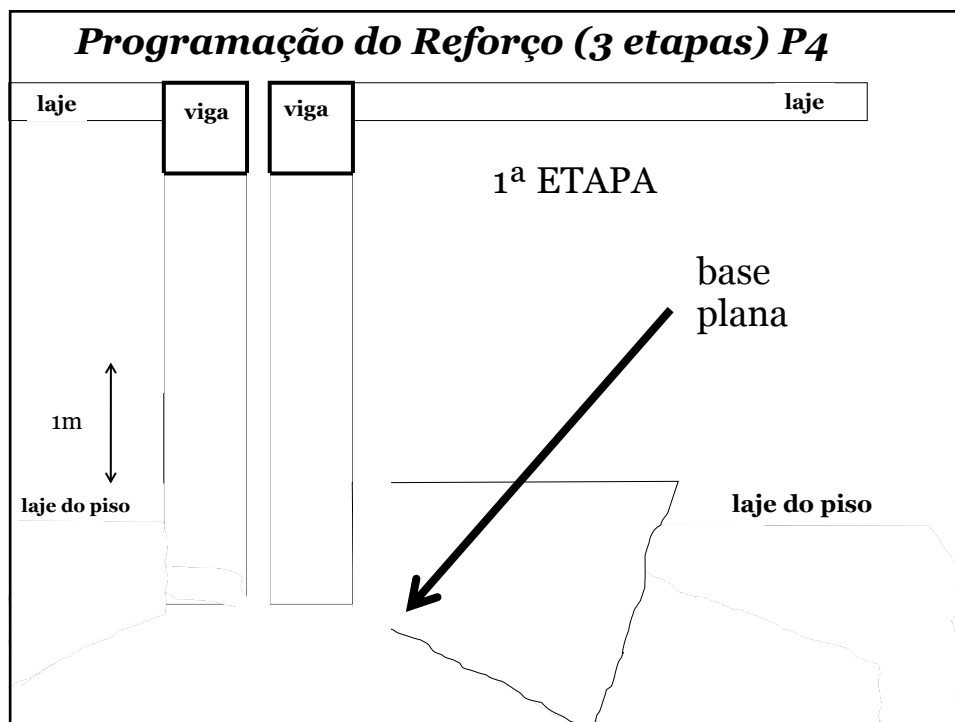
42



43



44



45

### **1. Escavação do Pilar P4 (fase 1)**

- Demolir o piso e escavar ao redor do pilar íntegro (fase 1) até alcançar sapata;
- Retirar o entulho do local e guardar esse material para posterior reposição no buraco;
- Abrir pelo menos 1,5m ao redor desse pilar (só 3 faces);
- A junta entre pilares deve estar perfeitamente limpa até o fundo, junto à sapata;
- Fazer o controle visual e com trena.

46

### ***1. Escavação do Pilar P4 (fase 1)***

- Lavar bem a superfície do concreto da sapata, limpando-a;
- Demolir cuidadosamente o concreto da sapata numa largura de 25cm ao redor dessas 3 faces livres desse pilar, de modo a obter um plano horizontal para posterior apoio do anel/coroa de cinto a ser construído;
- Controle visual, com trena e nível;

47

### ***2. Preparação do Substrato***

- Arredondar as arestas (8 arestas) dos 2 pilares de cima (fundo da viga) abaixo (sapata);
- Retirar a argamassa, pintura e outros revestimentos "estranhos" do pilar;
- Fazer o apicoamento geral, rigoroso e caprichoso de toda a superfície exposta;
- Utilizar "ponteira de agulha", jato úmido de "quartzo" sob pressão, jato de água sob elevada pressão, ou qualquer outro procedimento equivalente que retire toda a camadinha superficial atual do concreto e crie pequenas cavidades de "ancoragem" e aderência ao substrato

48



## ***2.Preparação do Substrato***



49

## ***2.Preparação do Substrato***



50

## ***2.Preparação do Substrato***

- Esta operação é muito importante e deve ser exigido um apicoamento a 100%, ou seja, toda a superfície deve estar apicoada retirando-se a camada superficial existente;
- Não é lixar, proibido lixar;
- Controle visual e táctil;
- Lavar com água potável toda a superfície tratada, utilizando jato de água a moderada pressão, permanecendo em cada área pelo menos 5 minutos;
- Controle visual.

51

## ***2.Preparação do Substrato***



**bomba de água sob pressão**



52

## ***2.Preparação do Substrato***



53

## ***2.Preparação do Substrato***



**detritos decorrentes da limpeza com jato de água sobpressão**

54

### ***3. Montagem da Armadura***

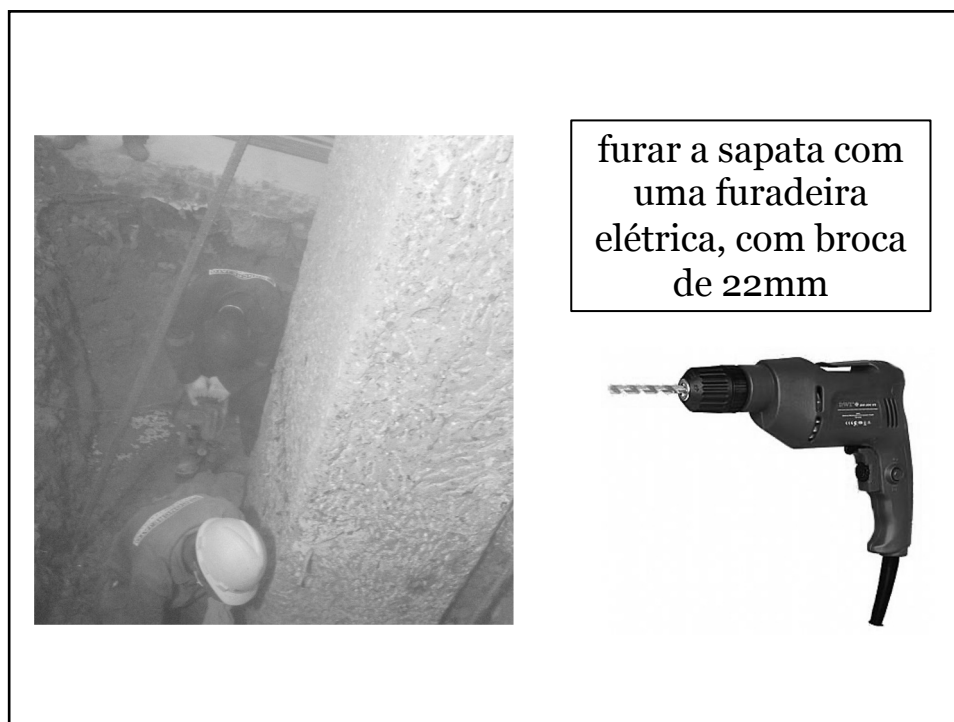


55

### ***3. Montagem da Armadura***

- Perfurar sapata para injeção e fixação das armaduras longitudinais, conforme previsto no projeto, um furo a cada 20cm;
- Como a bitola é de 20mm usar broca uma bitola superior. Profundidade de 30cm. Sempre furar um sim dois não;
- Preencher com chumbador de base epóxi Hilti-HIT-RE- 500 ou similar da ANCHORTEC (não pode usar outro tipo) e posicionar sob pressão a barra;
- Fixar a barra na parte superior para que esta não se movimente.

56

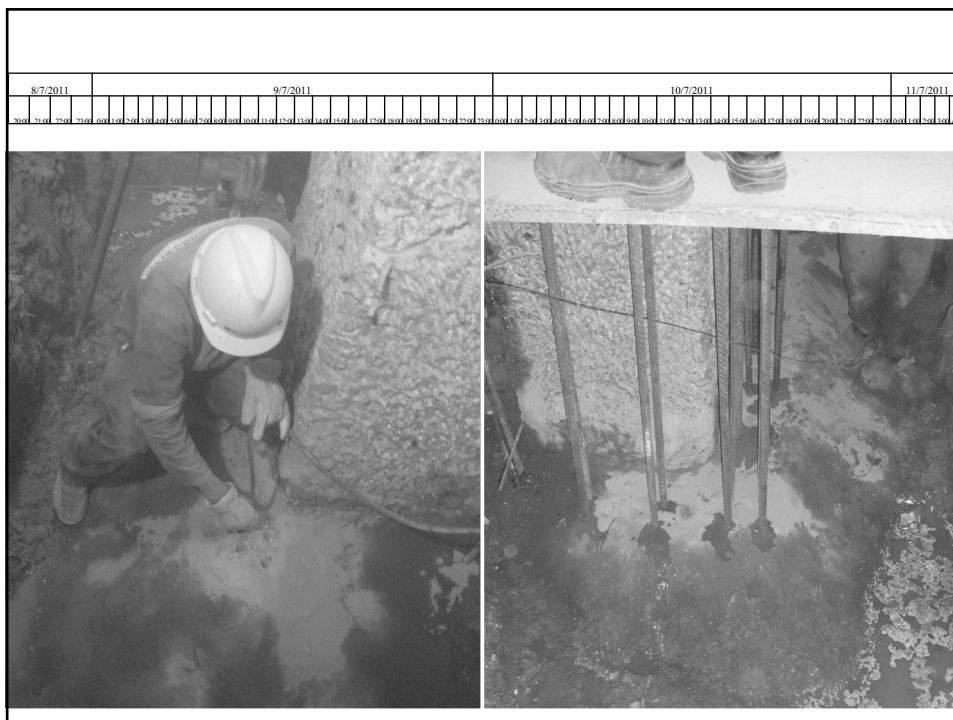


57

### ***3. Montagem da Armadura***

- Seguir procedimento até terminar de chumbar todos. Observar que no outro pilar (fase 2) nesta etapa não há chumbamento de barras, só posicionamento;
- Controle visual e com trenas, cálibre, metro;
- Os furos para chumbamento das armaduras longitudinais na sapata devem ser realizados a SECO. Portanto todas as operações de limpeza já devem ter sido realizadas e não pode usar água nesse momento;
- Os furos antes de injetar a resina de chumbar devem estar limpos e sem pó, ou seja, precisa de ar comprimido limpo para retirar pó desses furos;

58



59

### ***3. Montagem da Armadura***

- O material de chumbar da HILTI e /ou da ANCHORTEC é de base epóxi e não pode ter água, pois prejudicará a aderência;
- Teria sido bom dispor na obra de um SECADOR de Cabelos tipo PROFISSIONAL de 2000watts, poderoso, 220V, para ajudar a ventilar furos para limpeza e secar ao mesmo tempo;
- Também teria sido bom um aspirador de pó poderoso, 220v, de alta capacidade. Mínimo de 2 peças.

60

### ***3. Montagem da Armadura***



Broca perdida porque errou na bitola do furo, preencheu com epóxi e decidiu-se re-furar no mesmo furo que já tinha epóxi.

61

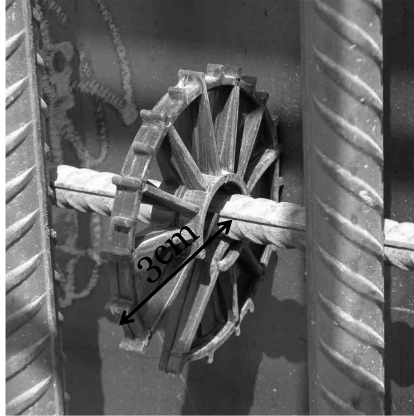
### ***3. Montagem da Armadura***

- Posicionar estribos um a cada 5cm. Sempre intercalando, tipo "U", ou seja, um pralá, um pracá;
- Controle visual e com trena;
- Na montagem da armadura para ajudar na sua fixação é permitido inserir ganchos tipo com pistola WALSYWA para "pendurar" e fixar armadura, assim como é obrigatório usar pastilhas de plástico para assegurar cobrimento (em relação à fôrma) e distanciamento (em relação ao núcleo);
- Uma pastilha a cada 30cm. Considerar que serão muitas;

62

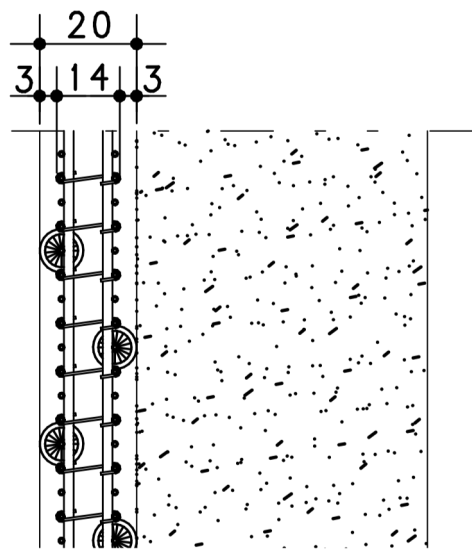
### **3. Montagem da Armadura Cobrimento**

- Cobrimento interno e externo:
- 3cm (pastilha no estribo);



63

### **3. Montagem da Armadura Cobrimento → espaçadores**



64

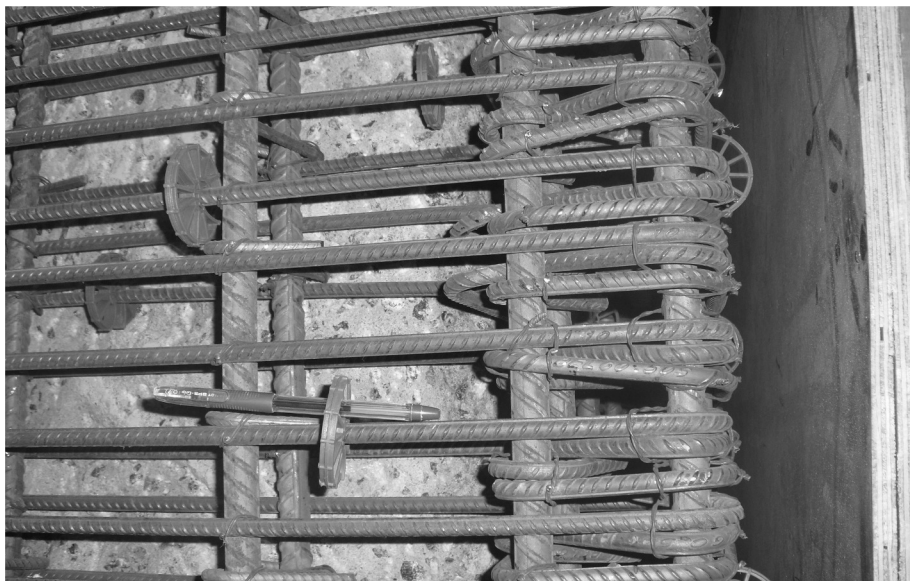


**3. Montagem da Armadura  
Cobrimento**



65

**3. Montagem da Armadura  
Cobrimento**



66

### ***3. Montagem da Armadura***



67

### ***3. Montagem da Armadura***



68

#### ***4.Preparação da fôrma***



69

#### ***4.Preparação da fôrma***



70

#### ***4.Preparação da fôrma***

- Ajustar fôrma e cuidar muito da estanqueidade da fôrma e da sua rigidez pois o graute vaza fácil e gera pressão elevada;
- Observar que do lado do pilar da fase 2 (com problema) a fôrma deverá ficar no "ar" ou seja deve ter um fundo tipo fôrma "pente" que deixe passar as armaduras longitudinais e não deixe passar o graute. Vai exigir muito rigor e capricho para assegurar estanqueidade;

71

#### ***4.Preparação da fôrma***



72

#### ***4.Preparação da fôrma***



Fôrma tipo “pente”

73

#### ***4.Preparação da fôrma***

- O fundo deve ficar inclinado num plano de 1/3 mais ou menos;
- As armaduras longitudinais e estribos devem passar direto e estar posicionados até o piso da laje;
- Controle visual e com trena;

74

#### ***4.Preparação da fôrma***



75

#### ***4.Preparação da fôrma***



76

#### ***4. Preparação da fôrma***



77

#### ***5. Preparação do Graute***



78

### **5.Preparação do Graute**

- Utilizado graute EMCEKRTE 40 da MC-Bauchemie com  $f_{ck}$  de 70MPa a 28dias. Adicionado a cada saco 30% em peso de pedrisco lavado e limpo de granito ou basalto ou diabásio de boa procedência;
- Usar estritamente a água indicada pelo fabricante;
- Misturar um saco por vez num recipiente (balde adequado);
- Dispor de no mínimo dois baldes e duas misturadores com hélice acoplada a uma furadeira ou equipamento específico;

79

### **5.Preparação do Graute**



80



### ***5. Equipamentos para Preparo do Graute***



misturadora de  
hélice metálica  
helicoidal dupla

81

### ***5. Preparação do Graute***



82

### 5. Equipamentos para Preparo do Graute



medidor de água

balde metálico de fundo reto



83

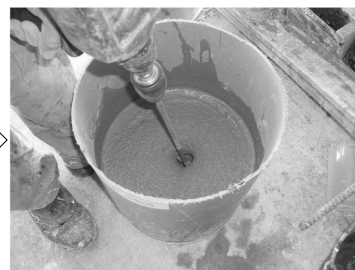
### 5. Preparação do Graute



graute industrializado



água



graute pronto para aplicação

84

### **5.Preparação do Graute**

- Não pode usar betoneira de eixo inclinado tipo mistura por tombo. Tem de ser mistura forçada com hélice. Pode ser betoneira de eixo vertical com mistura forçada;
- Sempre misturar um saco+pedrisco+água, por vez e aplicar.
- Controle com balança, e recipientes volumétricos aferidos previamente;
- Controle visual e através de moldagem de cps cilíndricos de 10cm por 20cm ou de 7,5cm por 15cm (preferível) para as idades de 24h, 2d, 3d, 7d, 28d e 63d (2cps por idade);

85

### **5.Preparação do Graute**



86

### 5.Preparação do Graute

- Usar, necessariamente água gelada ou com gelo em escamas ou pequenos cubinhos;
- A temperatura final do concreto no balde, após misturado, não deve superar 15 graus Celsius (na verdade teremos de medir na situação local mas 15 graus é um bom referencial) apesar que quanto menos MELHOR;
- O saco do graute deve ser armazenado em local fresco ou frio;
- Controle visual e com termômetros de imersão ou tipo laser.

87



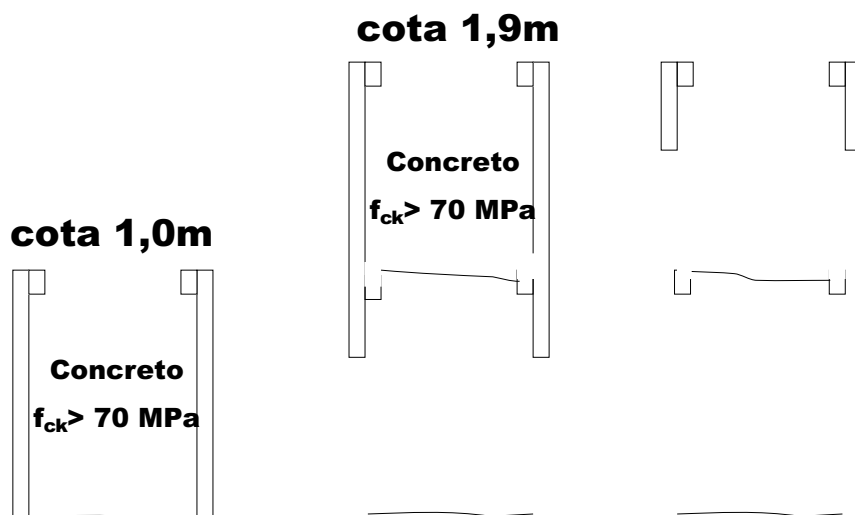
88

## 6. Concretagem

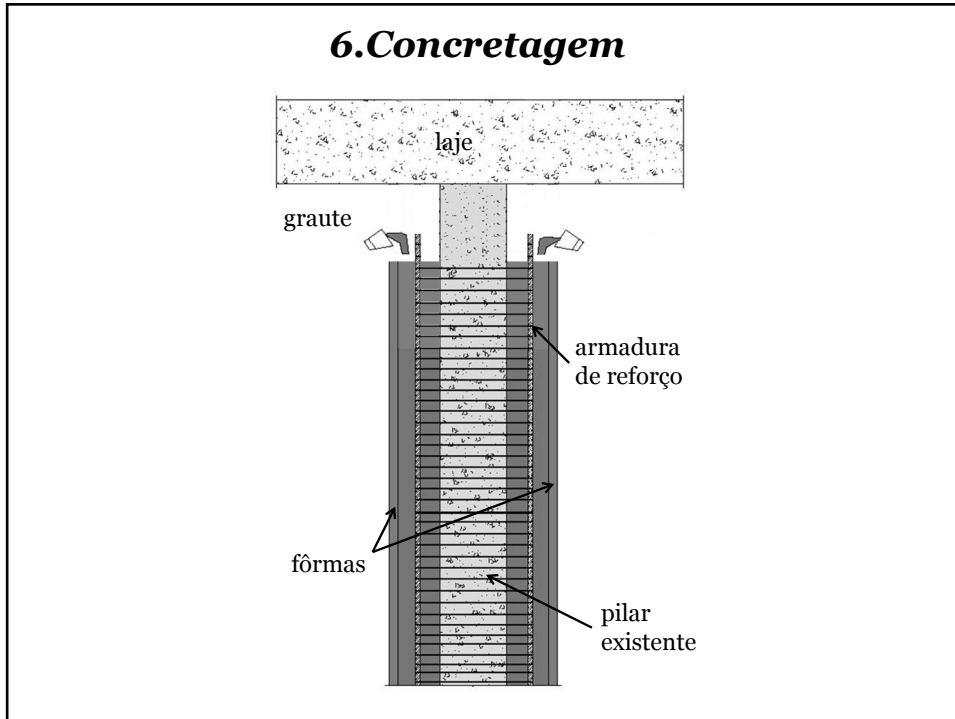
- O primeiro lance de concretagem com graute deve ter altura da ordem de 1,0m a 1,5m. Vai precisar de martelo de borracha (>4ud) e vibrador (>2ud) pequeno de 1 polegada de diâmetro;
- Controle visual.

89

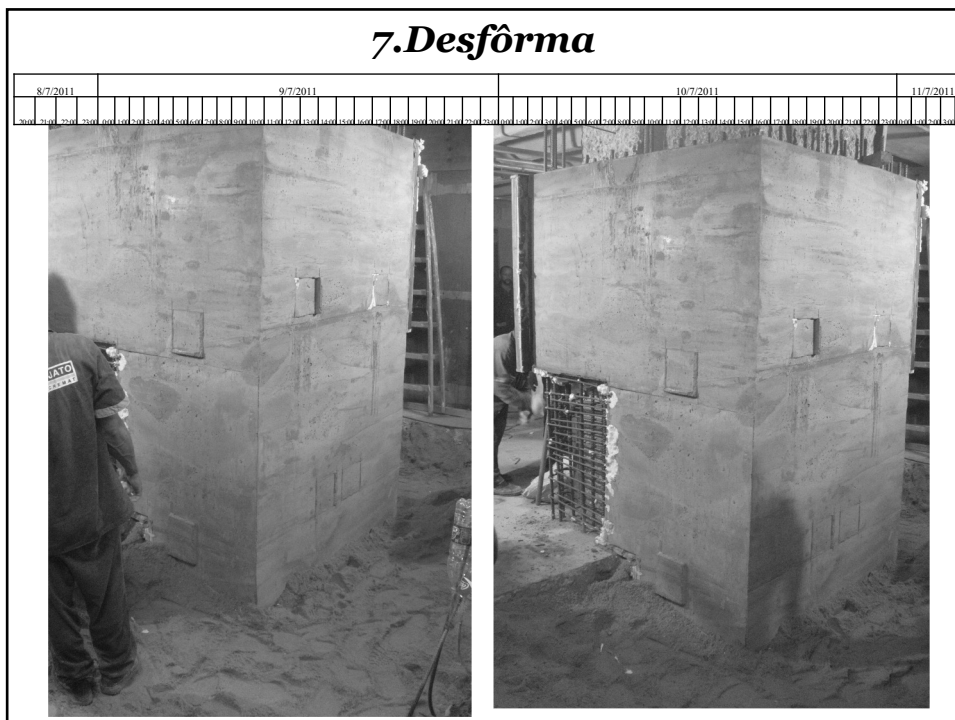
## 6. Concretagem



90



91



92

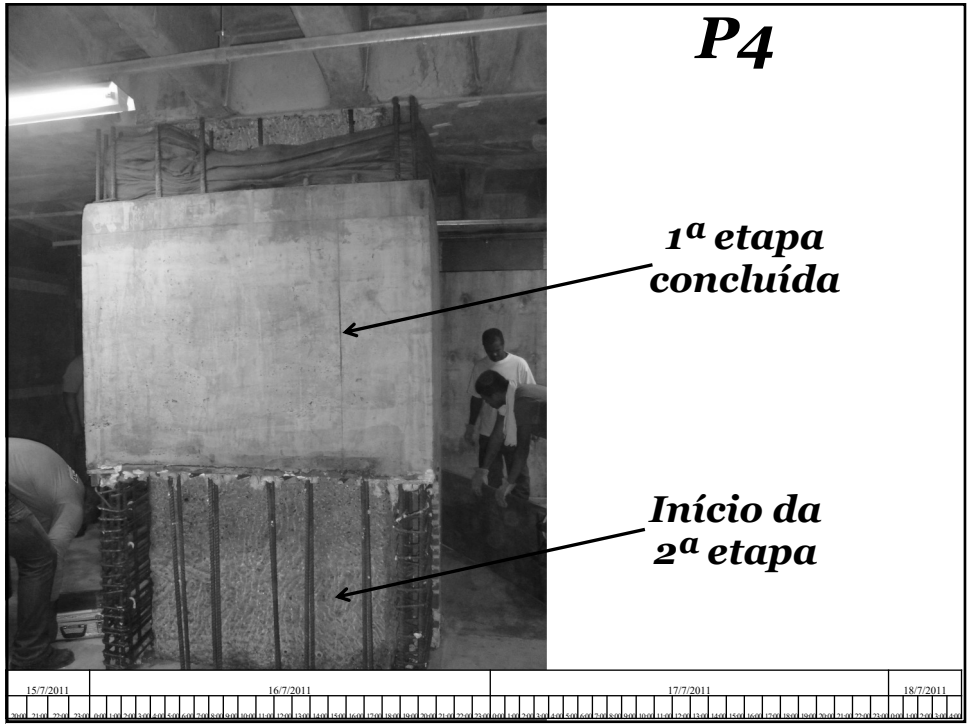
### ***7.Desfôrma***



93

## ***Reforço 2ª etapa***

94



95

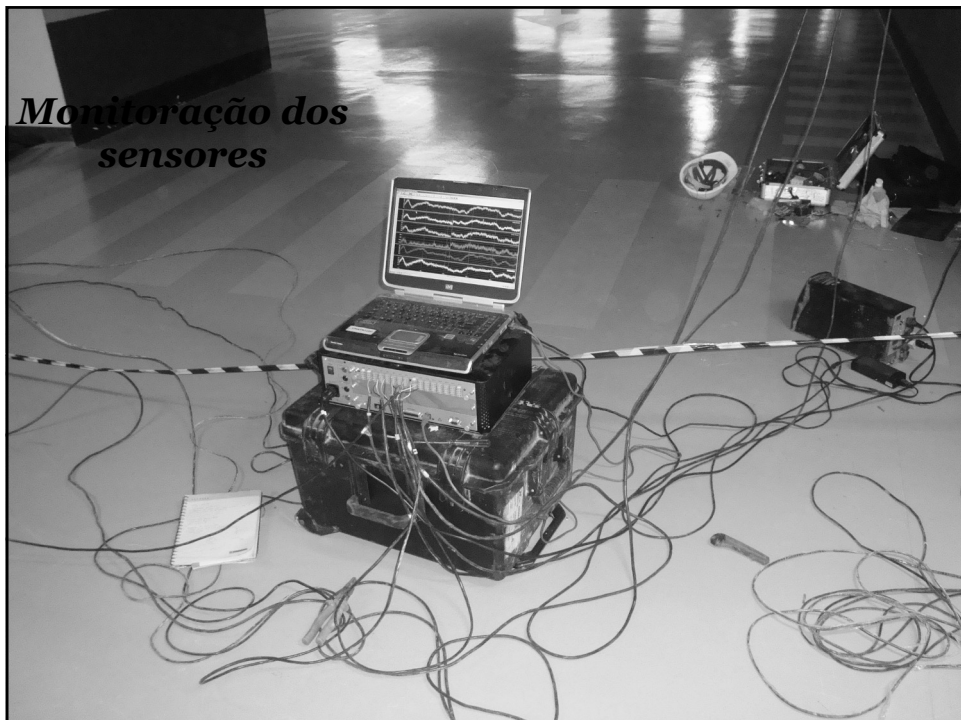


96

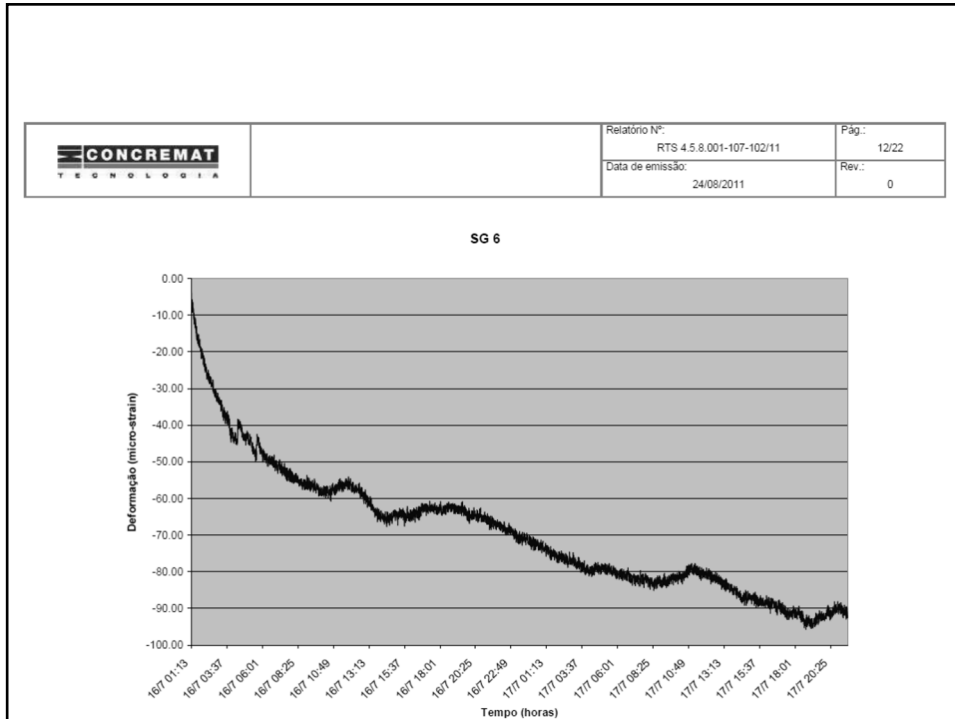




97



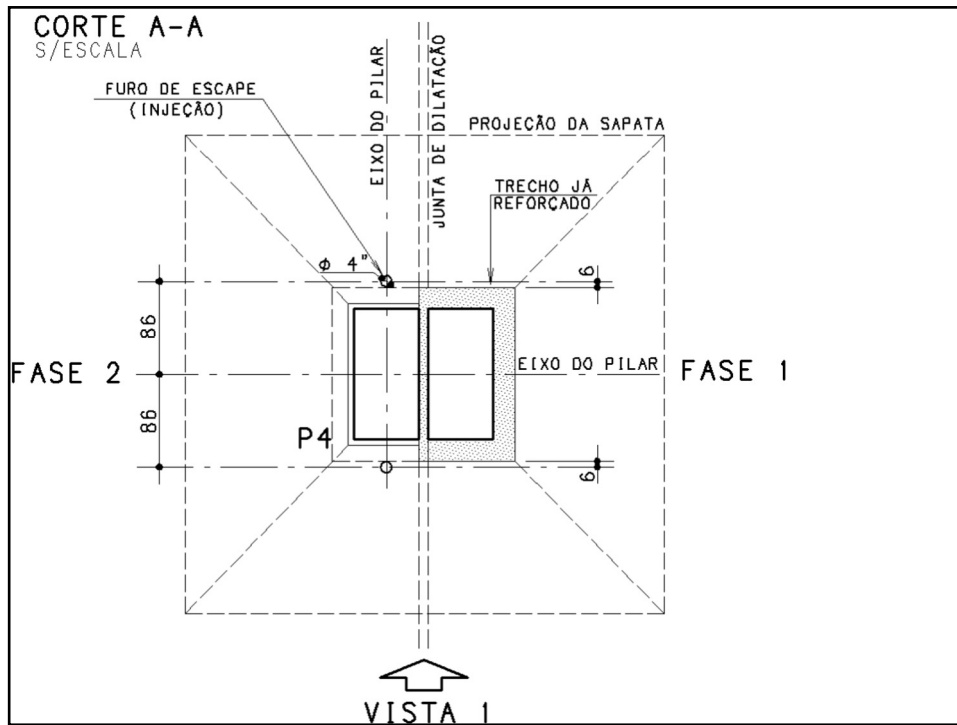
98



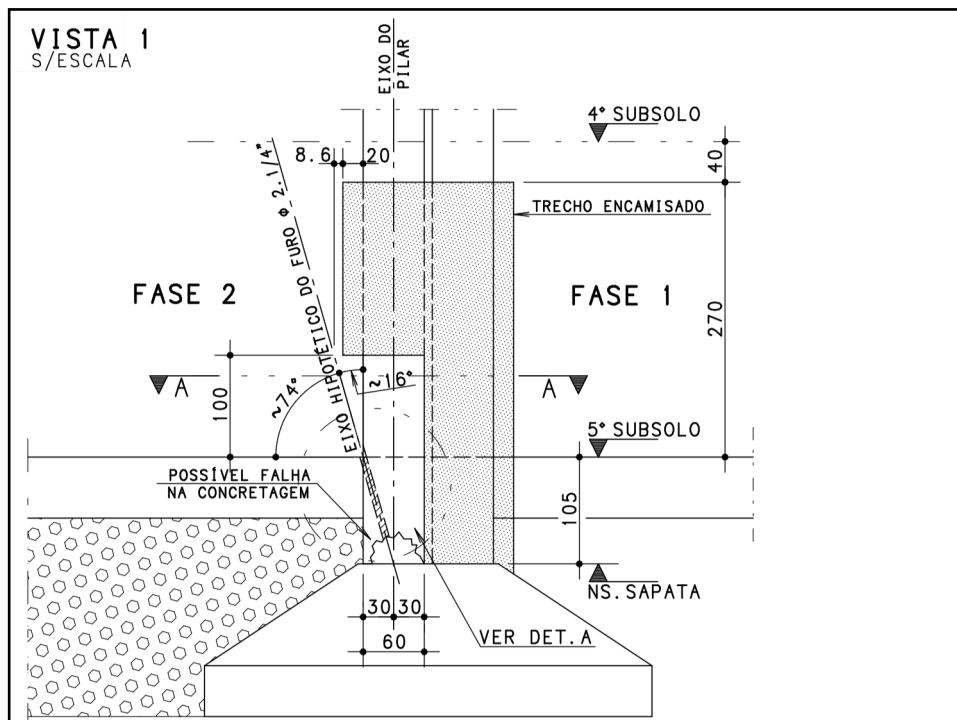
99

Prospecção

100



101



102



103



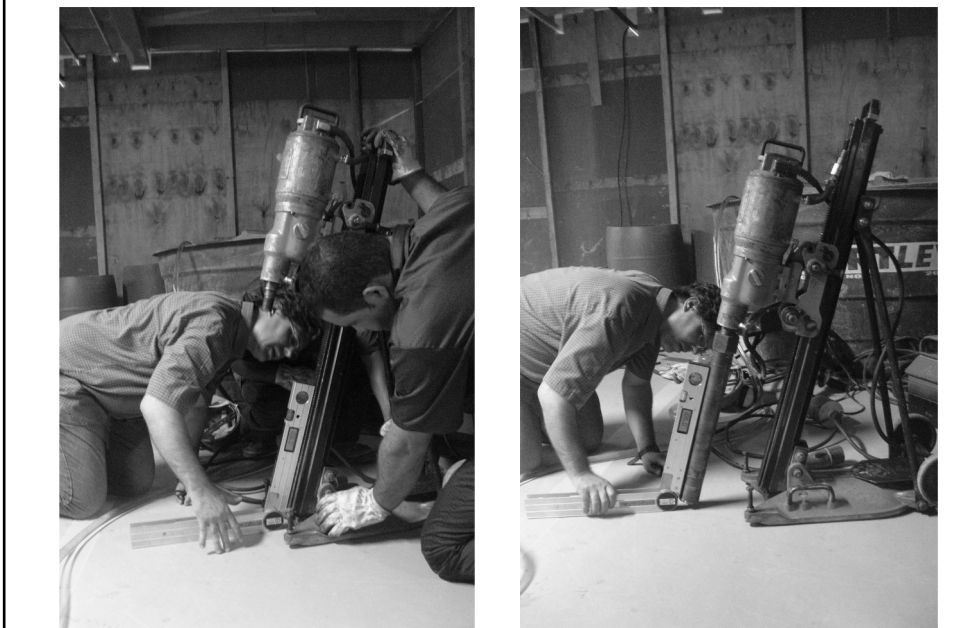
104

***Locação das armaduras para posterior execução de furo de prospecção e injeção.***



105

***Aferição do ângulo de entrada do cálice.***



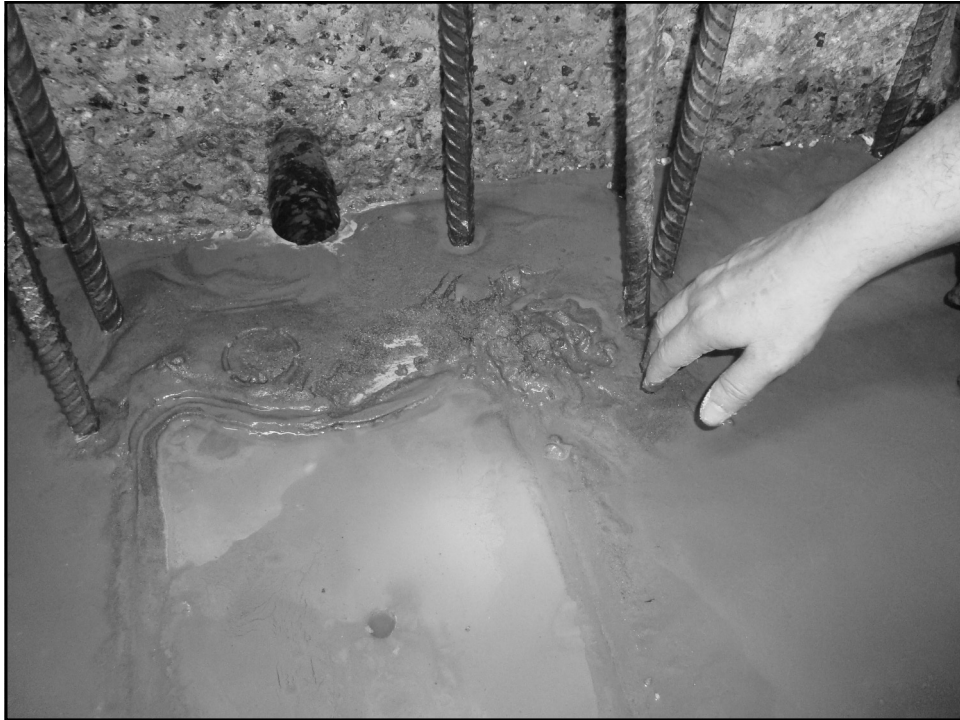
106



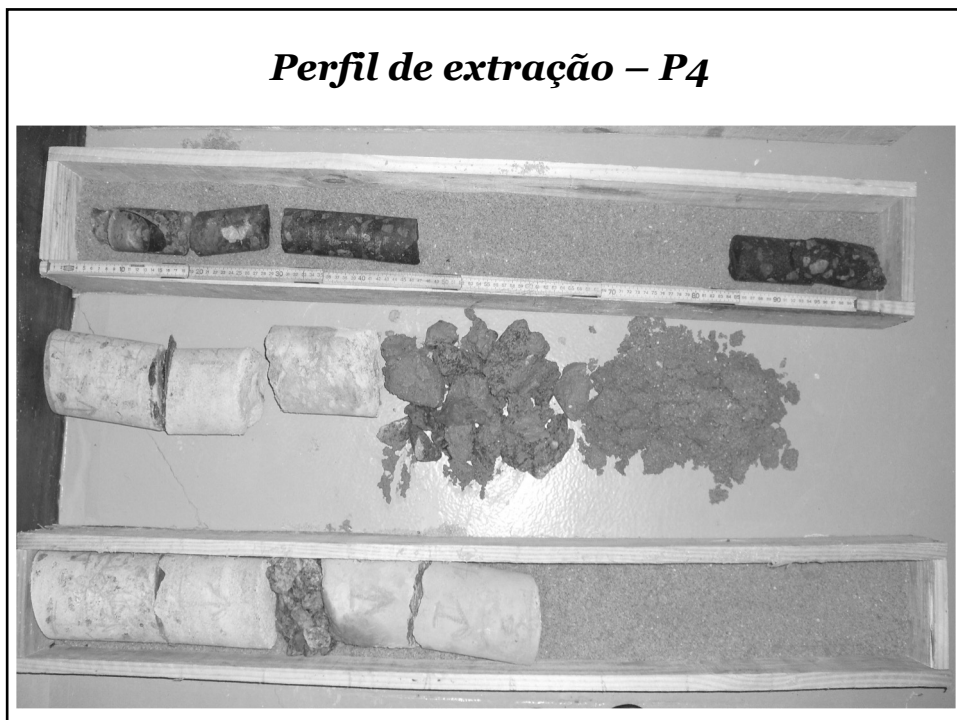
107



108



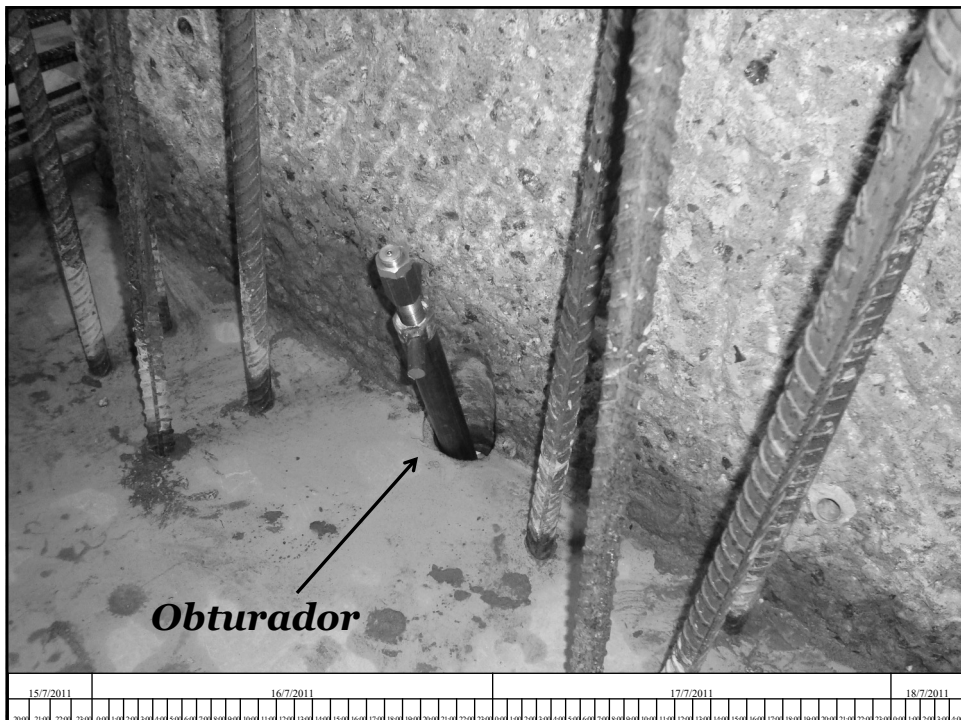
109



110

# *Injeção de Poliuretano Estrutural*

111



112



## ***Injeção de PU e moldagem de CPs***



113

## ***Extravase da resina PU***



114

## ***Resultados – Resina PU.***

MATERIAL:	Resina de poliuretano	SÉRIE:	1	Fak:	-	MPa
FORNECEDOR:	MC Inkjet 2700	DATA DA MOLDAGEM:	17/7/2011			
TRAÇO:	-					

CP	HORA DA MOLDAGEM	LOCAL DE APLICAÇÃO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL (MPa)			
			27/7/2011	-	-	-
			10 Dias	-	-	-
1	ND	Pilares do 5º subsolo	36,5	-	-	-
2	ND	Pilares do 5º subsolo	30,9	-	-	-
3	ND	Pilares do 5º subsolo	23,6	-	-	-
4	ND	Pilares do 5º subsolo	33,6	-	-	-
5	ND	Pilares do 5º subsolo	35,7	-	-	-
6	ND	Pilares do 5º subsolo	27,6	-	-	-
<b>MÉDIA</b>			<b>31,3</b>	-	-	-
<b>DESVIO RELATIVO MÁXIMO</b>			<b>16,6</b>	-	-	-
<b>Obs.:</b> Metodologia de ensaio utilizada: NBR-7215/96						

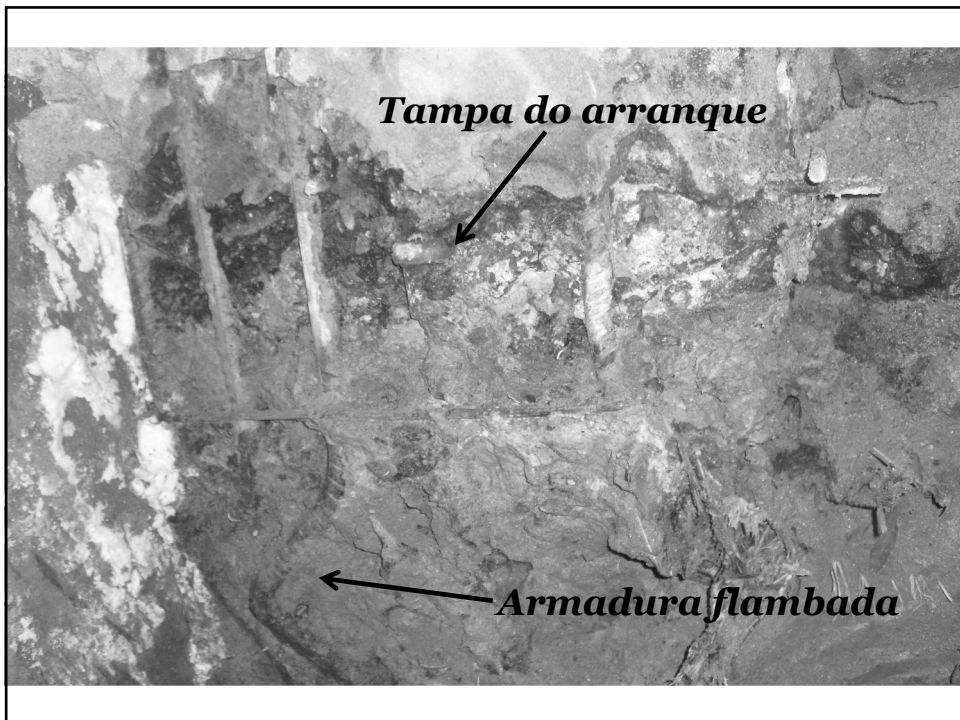
115

# ***Retirada parcial do contrapiso***

116



117



118



119

## ***Posicionamiento de armaduras***

120



121



122



123



124



125



126

# *Grauteamento*

127

<b>Dados Técnicos – Emckrete 40</b>			
<b>Característica</b>	<b>Unidade</b>	<b>Valor</b>	<b>Observações</b>
Maior tamanho de grão	mm	2	
Densidade	g/cm <sup>3</sup>	2,30	argamassa fresca
Consumo	kg/m <sup>3</sup>	2.000	
Resistência à compressão	MPa	44,0	1 dia
	MPa	68,0	7 dias
	MPa	70,0	28 dias
Tempo de trabalhabilidade	minutos	30	20°C e 50 % de umidade relativa
Espessura	mm	100 mm	máxima total
Proporção de mistura	partes em peso	100	Emckrete 40
		10 – 12	água
Condições de aplicação	°C	> 5 < 35	temperatura do ar e substrato

128

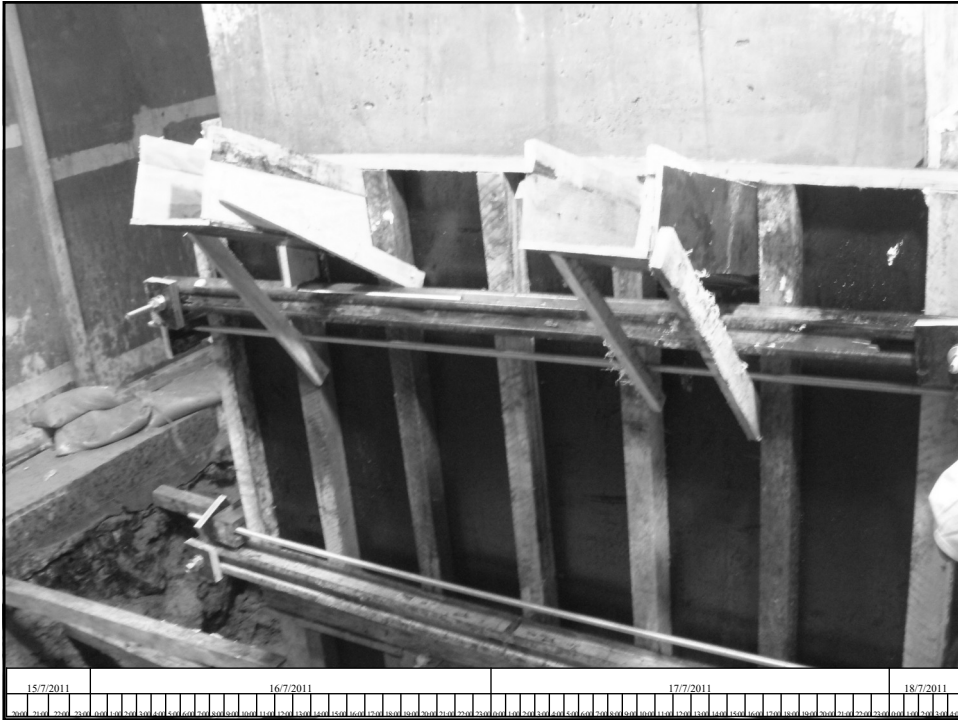




129



130



131



132



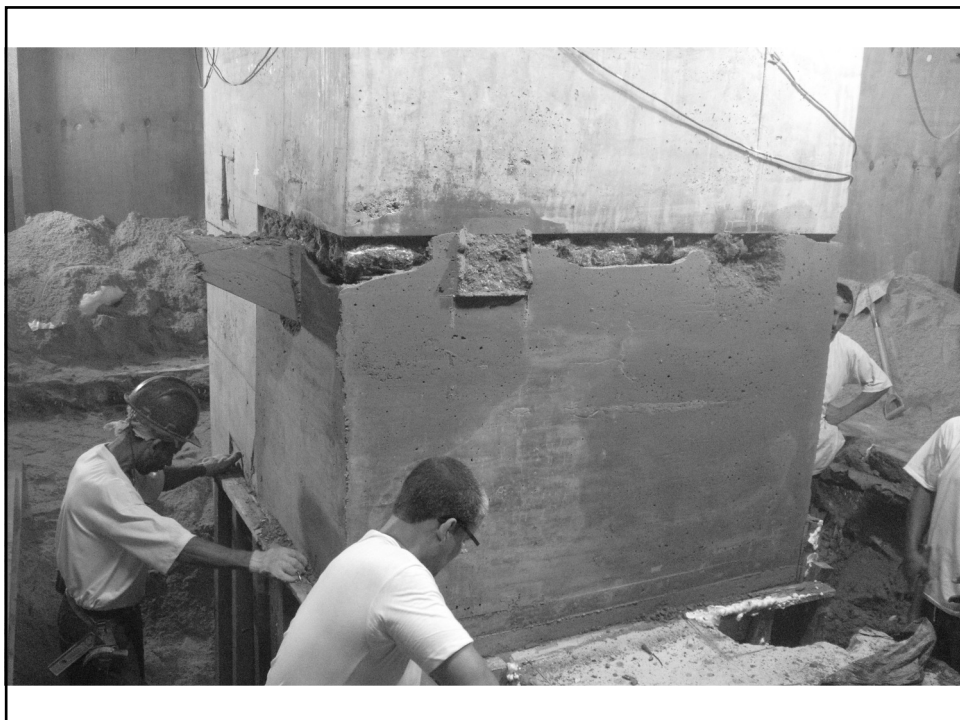
133



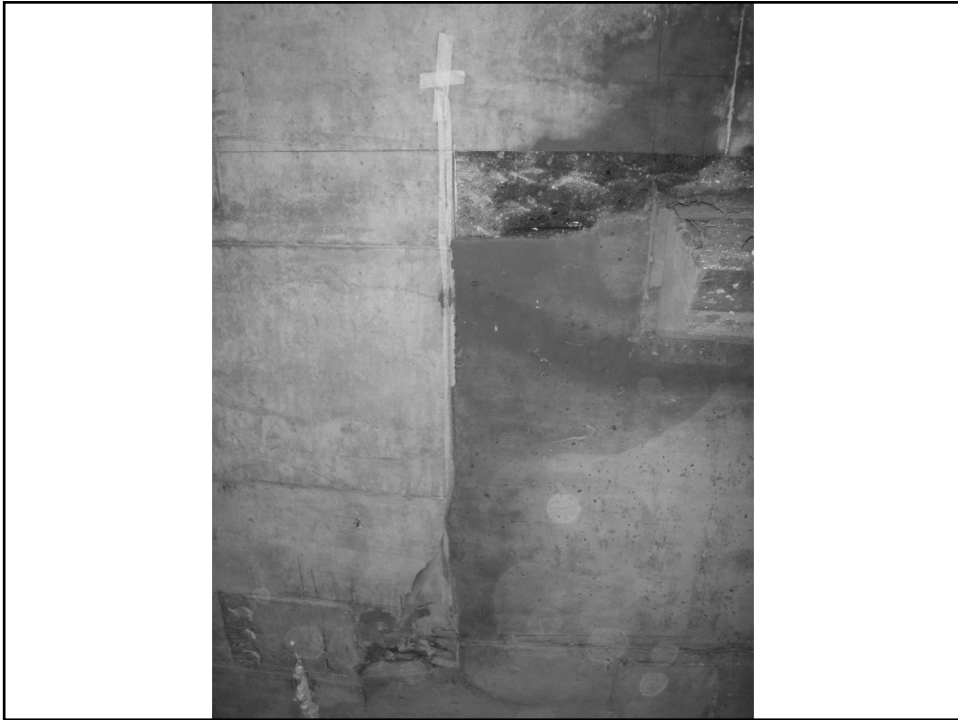
134



135



136



137



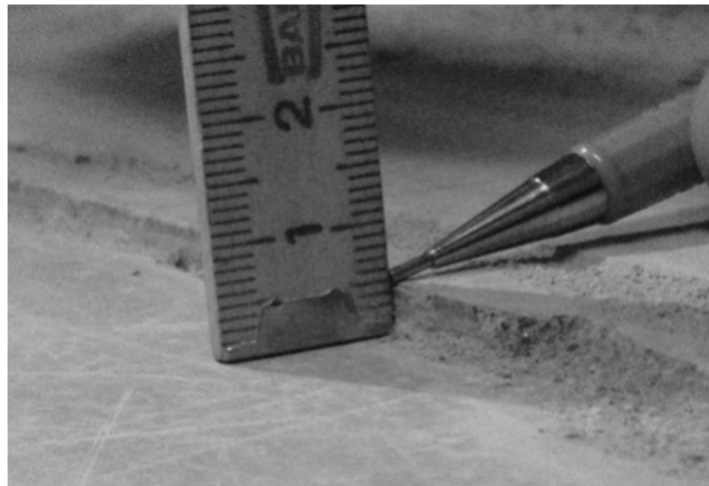
138

***Após concretagem piso desceu 4mm***



139

***Após concretagem piso desceu 4mm***



140

# *Recomposição do piso*

141



142

## ***Concretagem do Piso***



143



144





145

### ***Pilar P4 acabado***



***Foto: Método***

146

***Pilar P4 acabado***



***Foto: Método***

147

***Pilar P4 acabado***



***Foto: Método***

148

# *Controles*

149



150



151

### ***Resistência a Compressão Axial***

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

152

## **Resistência a Compressão Diametral (argamassa - piso)**

<b>Pilar</b>	<b>Resistência a compressão diametral - MPa</b>				
	<b>24h.</b>	<b>2dias</b>	<b>3dias</b>	<b>7dias</b>	<b>28dias</b>
<b>Piso</b>	-	-	-	-	<b>6,45</b>
	-	-	-	-	<b>6,59</b>
	-	-	-	-	<b>6,79</b>

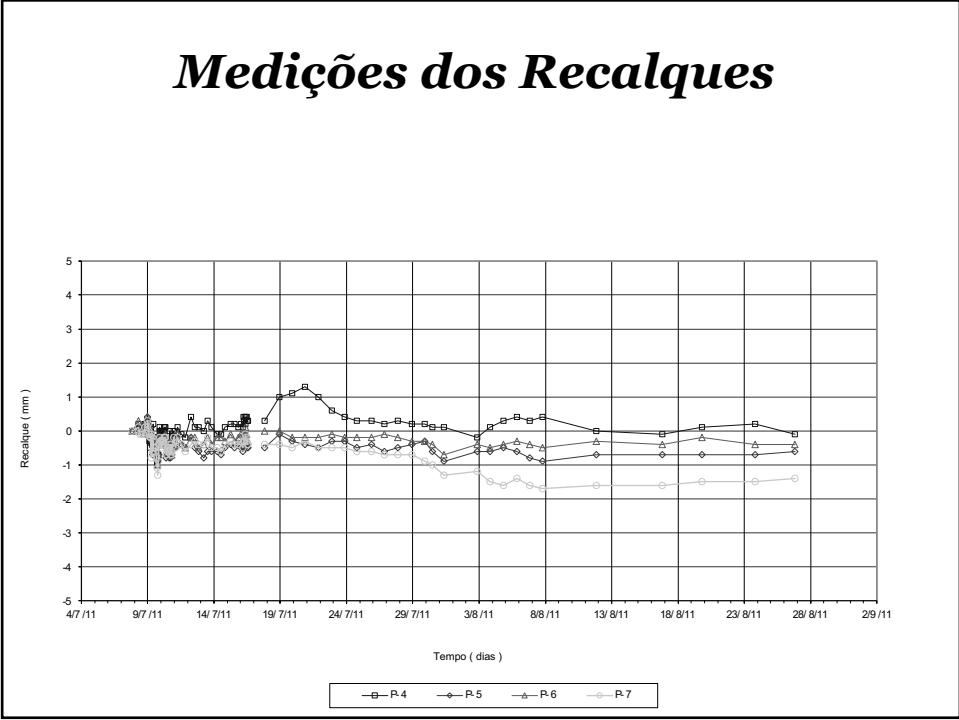
153

## **Resultados – Resina PU.**

<b>MATERIAL:</b>	Resina de poliuretano	<b>SÉRIE:</b> 1	<b>Fak:</b> -	<b>MPa</b>
<b>FORNECEDOR:</b>	MC Inkjet 2700	<b>DATA DA MOLDAGEM:</b>	17/7/2011	
<b>TRAÇO:</b>	-			

CP	HORA DA MOLDAGEM	LOCAL DE APLICAÇÃO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL (MPa)			
			27/7/2011	-	-	-
			10 Dias	-	-	-
1	ND	Pilares do 5º subsolo <input type="text"/>	36,5	-	-	-
2	ND	Pilares do 5º subsolo <input type="text"/>	30,9	-	-	-
3	ND	Pilares do 5º subsolo <input type="text"/>	23,6	-	-	-
4	ND	Pilares do 5º subsolo <input type="text"/>	33,6	-	-	-
5	ND	Pilares do 5º subsolo <input type="text"/>	35,7	-	-	-
6	ND	Pilares do 5º subsolo <input type="text"/>	27,6	-	-	-
<b>MÉDIA</b>			<b>31,3</b>	-	-	-
<b>DESVIO RELATIVO MÁXIMO</b>			<b>16,6</b>	-	-	-
<b>Obs.:</b> Metodologia de ensaio utilizada: NBR-7215/96						

154



155

# *Hipóteses prováveis...*

156

***Hipóteses prováveis...***



***Foto tirada em abril/2010  
Reforço do P13***

157

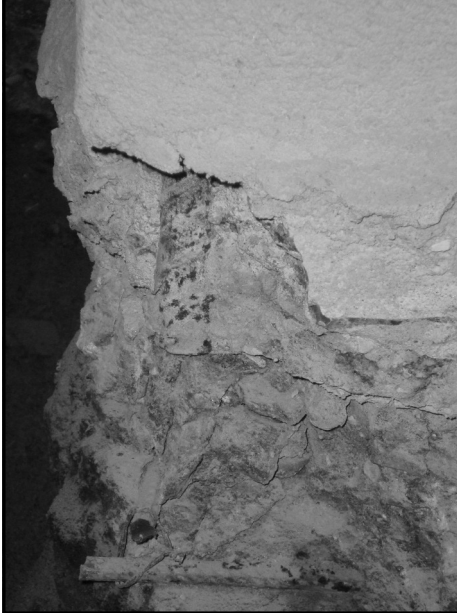
***Hipóteses prováveis...***



***Foto tirada em abril/2010  
Reforço do P13***

158

## ***Hipóteses prováveis...***



***Foto tirada em abril/2010  
Reforço do P13***

159

## ***Hipóteses prováveis...***



160



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

161

**“Duro”  
Aprendizado!**

162

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

163

## **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...”*

164

## Edifício Habitacional

# concretagem de pilares *obra nova*

165



166



167



168



169



170

## **CONSTRUTOR**

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

171

## **Edifício Areia Branca**

Recife, Pernambuco

14 de outubro de 2004

quinta-feira às 20:30h

1977 → 1979

**25 anos**

12 andares + térreo + 1 garagem

172



173



174



Escombros - manhã seguinte do desabamento

175



176





177



178



179

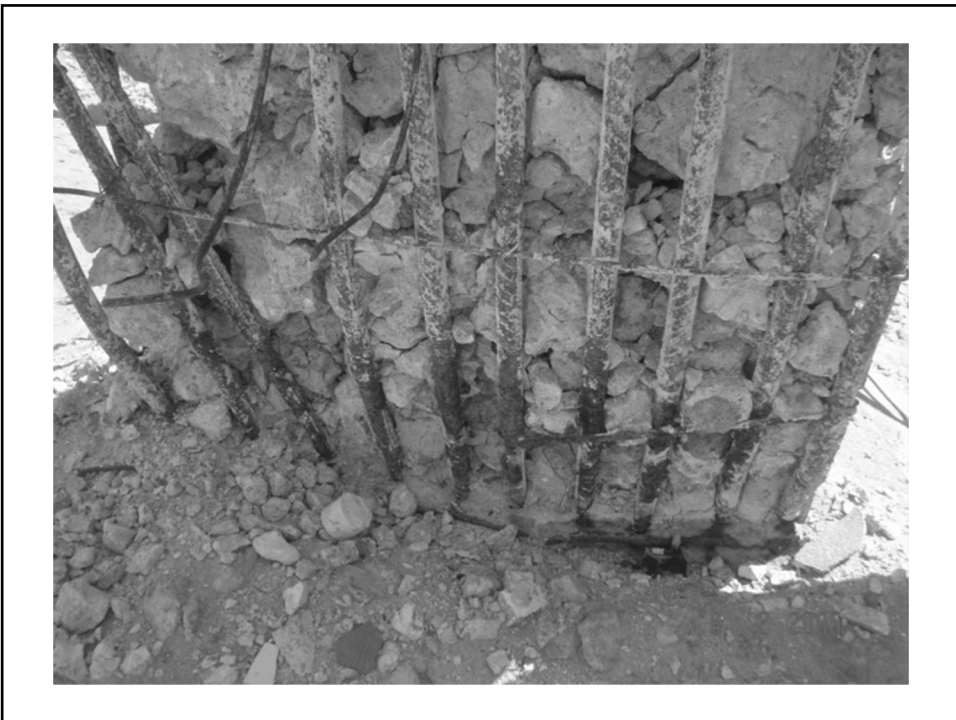


Ligação pilar - sapata com redução da seção transversal do pilar

180



181



182



183



Ligação pilar - sapata com redução da seção transversal do pilar

184



185

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

186



Edifício Solar da Piedade, Boa Viagem, Recife PE

187



188



189



190



191

## **CONSTRUTOR**

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

192



**Comprometimento!**

**Do your best!**

193



194