



*Semana da Engenharia Civil 2011*  
*Escola de Engenharia de Piracicaba - EEP*

# **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*



Piracicaba 29 de agosto de 2011 EEP

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 desta Semana de Engenharia**

**✓ com experiência de um CONSTRUTOR**

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

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

6

**✓ Postura dos Organizadores  
desta Semana de Engenharia**

**✓ 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  
desta Semana de Engenharia**

**✓ com experiência de um  
CONSTRUTOR**

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

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

8

✓ **Postura dos Organizadores  
desta Semana de Engenharia**

✓ **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

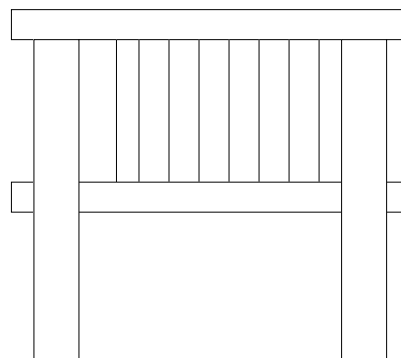


15

Laje de 15cm de espessura :  
 $375\text{kg/m}^2$

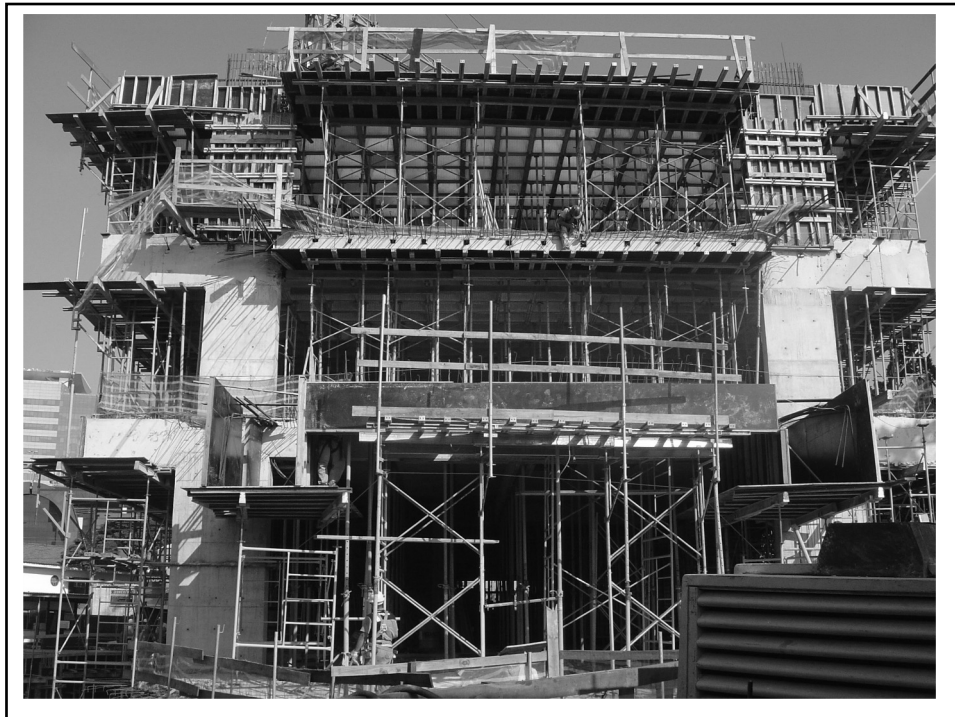
Dimensionada para  $150\text{kg/m}^2$

1 ano de idade



16



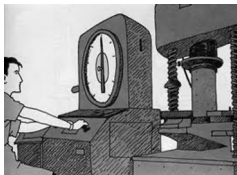


17

## *A origem e os intervenientes*



**projetista  
estrutural**



**tecnologista  
de concreto**



**fornecedor do  
material**



**construtor  
(execução)**

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

18

## Edifício Habitacional

# armadura de pilares *obra nova*

19



20



21



22

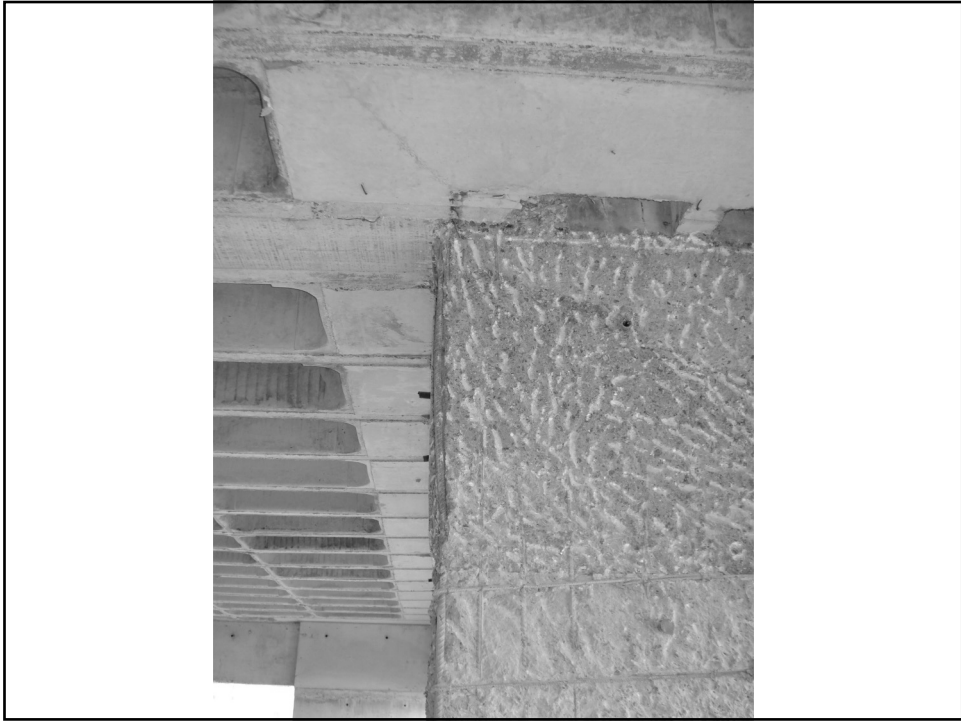
Cabeça de pilar sem  
ganchos transversais  
nem estribos



23



24



25



26

# Qual o papel do Construtor?

27

- ✓ 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!

28

terceirizar um  
serviço ≠  
terceirizar  
responsabilidade

29



30



31

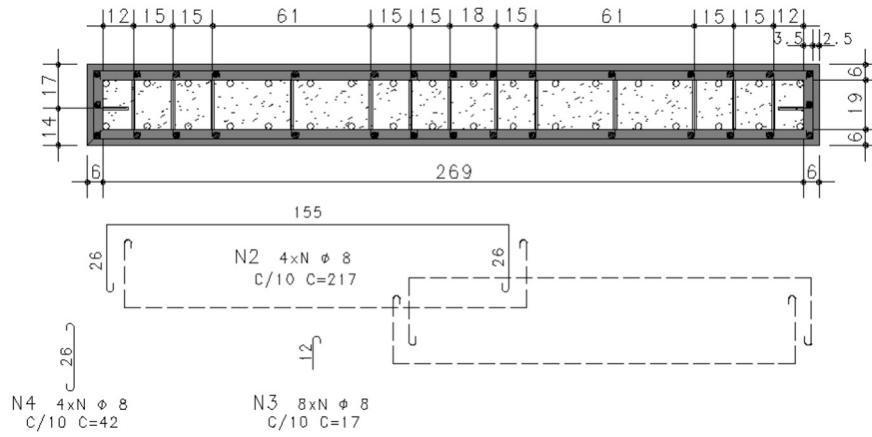
### Solução adotada:

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

32



## Detalhe do reforço



33

## Detalhe do reforço



34

# outro caso desastroso!

35

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	<b>+12 %</b>
02	(30 x 50)	22 Ø 12.5	16 Ø 16.0	<b>- 16 %</b>
03	(20 x 100)	48 Ø 16.0	50 Ø 16.0	<b>- 4 %</b>
04	(20 x 100)	24 Ø 16.0	36 Ø 16.0	<b>- 33 %</b>
05	(30 x 50)	24 Ø 12.5	18 Ø 16.0	<b>- 19 %</b>
06	(20 x 100)	10 Ø 12.5	14 Ø 10.0	<b>+12 %</b>
07	(20 x 70)	10 Ø 10.0	10 Ø 10.0	-----
08	(20 x 70)	08 Ø 12.5	08 Ø 10.0	<b>+ 56 %</b>
09	(25 x 80)	28 Ø 16.0	20 Ø 20.0	<b>- 10 %</b>

36

Registrado em 06 de abril de 2011.  
Livro: 010/ENG.

				<b>diferença</b>
<b>10</b>	(20 x 100)	34 Ø 12.5	34 Ø 16.0	<b>- 39 %</b>
<b>11</b>	(25 x 125)	18 Ø 12.5	28 Ø 10.0	<b>+5 %</b>
<b>12</b>	(25 x 178)	38 Ø 10.0	38 Ø 10.0	-----
<b>13</b>	(25 x 178)	16 Ø 16.0	38 Ø 10.0	<b>+8 %</b>
<b>14</b>	(25 x 125)	18 Ø 12.5	28 Ø 10.0	<b>+0,5 %</b>
<b>15</b>	(20 x 218)	34 Ø 10.0	34 Ø 10.0	-----
<b>16</b>	(20 x 218)	Ø 10.0	34 Ø 10.0	-----
<b>17</b>	(20 x 70)	10 Ø 10.0	10 Ø 10.0	-----
<b>18</b>	(30 x 70)	18 Ø 12.5	28 Ø 10.0	<b>+0,5 %</b>
<b>19</b>	(30 x 70)	08 Ø 16.0	20 Ø 10.0	<b>+2 %</b>
<b>20</b>	(20 x 70)	08 Ø 12.5	08 Ø 10.0	<b>+56 %</b>
<b>21</b>	(20 x 70)	12 Ø 12.5	30 Ø 10.0	<b>- 37 %</b>
<b>22</b>	("25" x 100)	42 Ø 16.0	30 Ø 20.0	<b>- 10 %</b>
<b>23</b>	("25" x "208")	34 Ø 12.5	76 Ø 10.0	<b>- 30 %</b>
<b>24</b>	("25" x 100)	42 Ø 16.0	34 Ø 20.0	<b>- 21 %</b>
<b>25</b>	(20 x 70)	08 Ø 12.5	16 Ø 10.0	<b>- 22 %</b>

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.

37



38

# Edifício Real Class



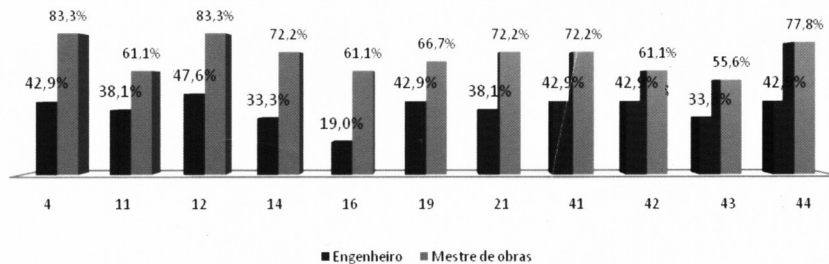
**Belém do Pará**

**34 pavimentos**

**105m 20.01.2011 35MPa**

39

Figura 3 – Desvios de função



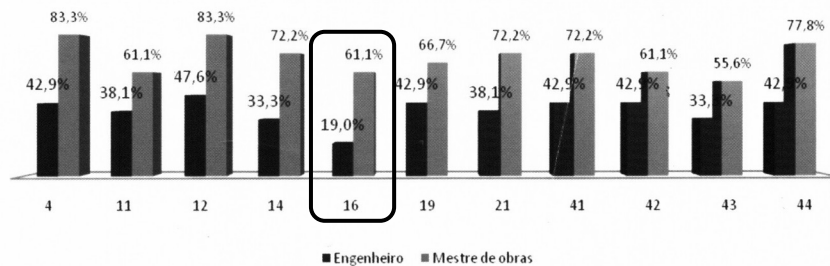
### DESVIOS DE FUNÇÃO DE UM MESTRE DE OBRAS

- 4. Decidir onde serão depositados os materiais utilizados no decorrer da obra, de acordo com a sua experiência.
- 11. Fazer a locação da obra a partir de pontos de referência definidos pelo topógrafo (ou outro profissional).
- 12. Conferir os gabaritos de marcação de obra (distância entre eixos e níveis de referência) antes de dar sequência aos serviços.
- 14. Relatar todas as excentricidades, ocorridas na execução da fundação ao engenheiro residente ou calculista.
- 16. Autorizar trocas de bitolas de aço na falta dos materiais pré-determinados.
- 19. Autorizar a substituição de materiais por conta própria (madeiras/compensados) na falta daqueles previstos.
- 21. Definir os espaçamentos das escoras.
- 41. Solicitar compras de materiais.
- 42. Solicitar (compra/aluguel) máquinas e equipamentos de pequeno e médio porte.
- 43. Conhecer a frequência diária de todos os funcionários inclusive de empreiteiros.
- 44. Acompanhar a movimentação (material/equipamentos/resíduos) tudo o que entra e sai do canteiro diariamente.

Mapeamento de competências e atribuições de um mestre de obras. Revista Concreto & Construções, Ano XXXIX, n.62. IBRACON, Abr.Mai.Jun. 2011. p. 13-18

40

Figura 3 – Desvios de função



**DESVIOS DE FUNÇÃO DE UM MESTRE DE OBRAS**

- 4. Decidir onde serão depositados os materiais utilizados no decorrer da obra, de acordo com a sua experiência.
- 11. Fazer a locação da obra a partir de pontos de referência definidos pelo topógrafo (ou outro profissional).
- 12. Conferir os gabaritos de marcação de obra (distância entre eixos e níveis de referência) antes de dar seqüência aos serviços.
- 14. Relatar todas as excentricidades, ocorridas na execução da fundação ao engenheiro residente ou calculista.
- 16. Autorizar trocas de bitolas de aço na falta dos materiais pre-determinados.
- 19. Autorizar a substituição de materiais por conta própria (madeiras/compensados) na falta daqueles previstos.
- 21. Definir os espaçamentos das escoras.
- 41. Solicitar compras de materiais.
- 42. Solicitar (compra/aluguel) máquinas e equipamentos de pequeno e médio porte.
- 43. Conhecer a freqüência diária de todos os funcionários inclusive de empreiteiros.
- 44. Acompanhar a movimentação (material/equipamentos/resíduos) tudo o que entra e sai do canteiro diariamente.

Mapeamento de competências e atribuições de um mestre de obras. Revista Concreto & Construções, Ano XXXIX, n.62. IBRACON, Abr.Mai.Jun. 2011. p. 13-18

## Edifício Habitacional

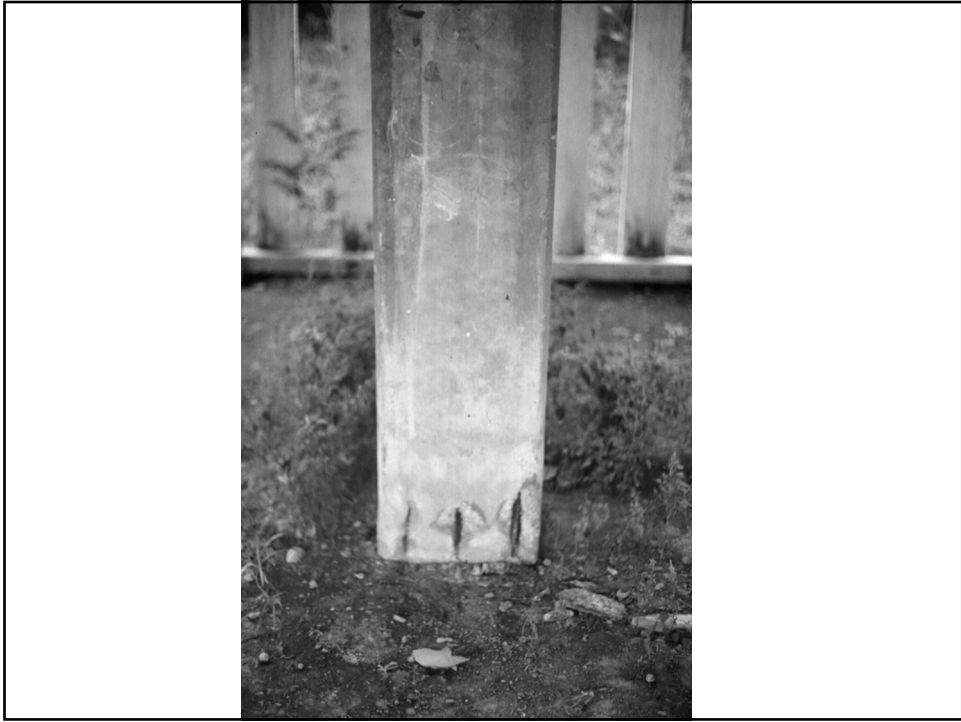
# concretagem de pilares *obra nova*



43



44



45



46



47

## **CONSTRUTOR**

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

48



## **Edifício Areia Branca**

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

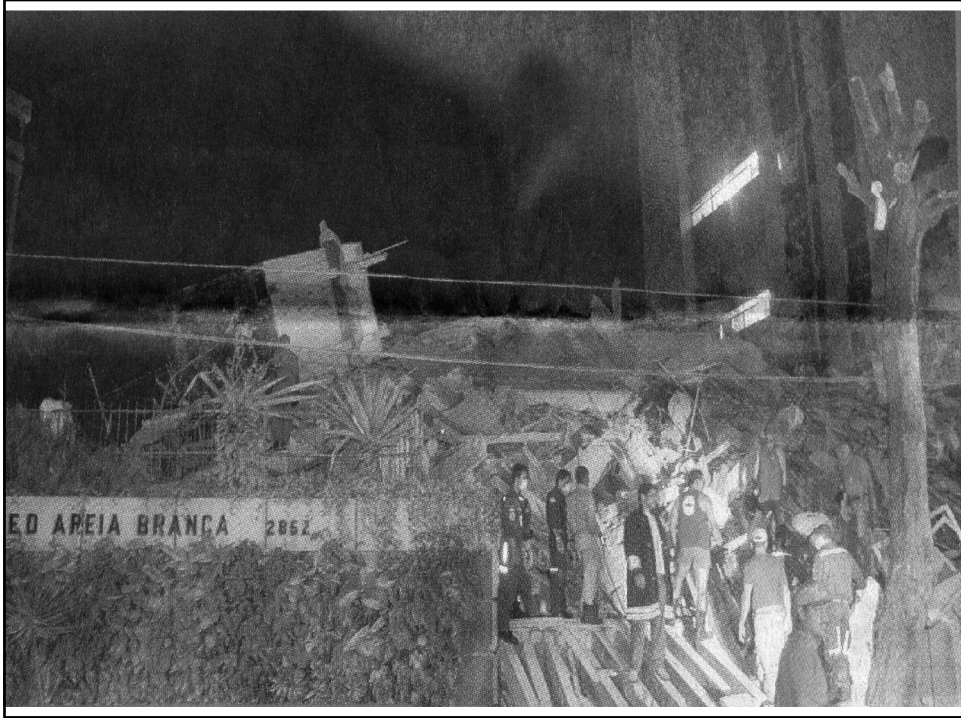
49



EDIFÍCIO AREIA BRANCA – Pernambuco

semanas antes

50



51



Escombros - manhã seguinte do desabamento

52



53



Edificações Vizinhas

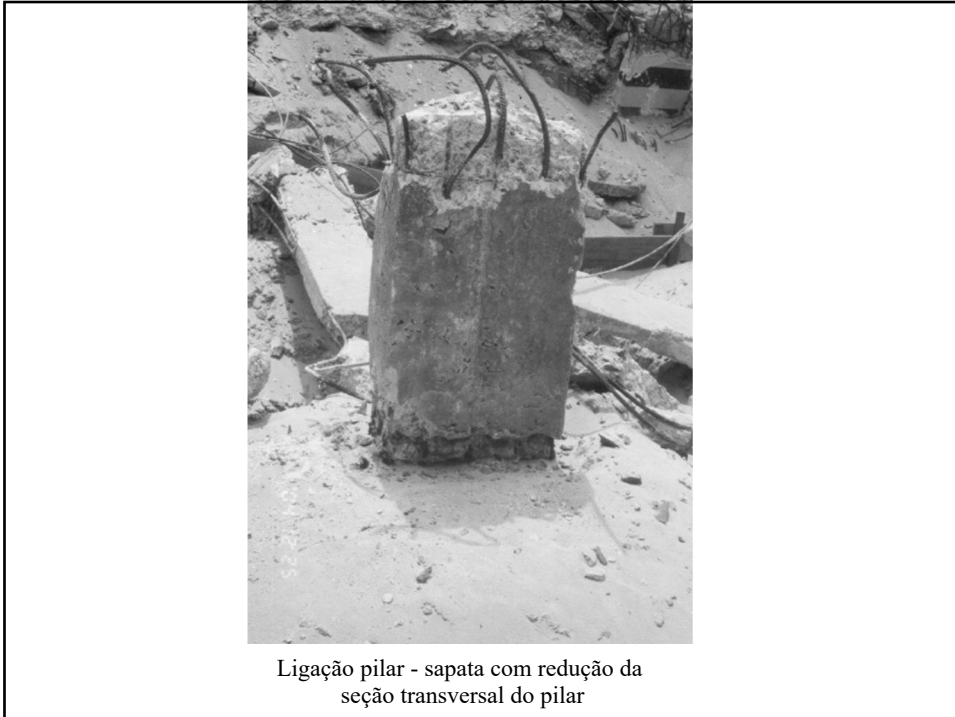
54



55



56



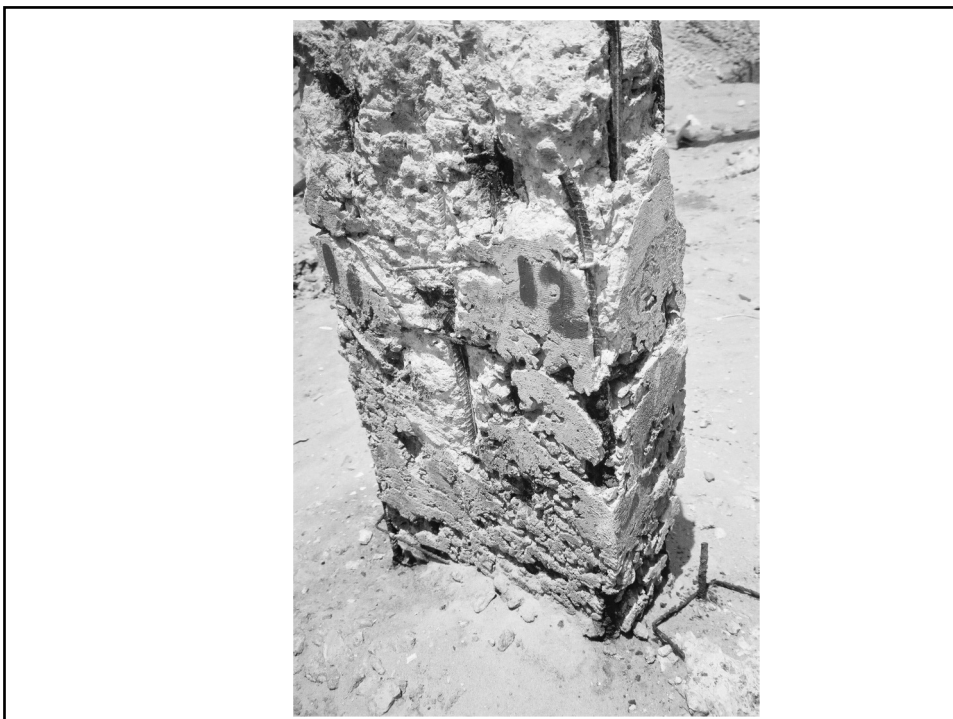
57



58



59



60



Ligação pilar - sapata com redução da seção transversal do pilar

61



$> 20\text{cm!!!}$



62

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

63



Edifício Solar da Piedade, Boa Viagem, Recife PE

64





65



66



67



68

## **CONSTRUTOR**

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

69

## **Shopping Center**

bicheiras e ninhos de  
concretagem em vigas

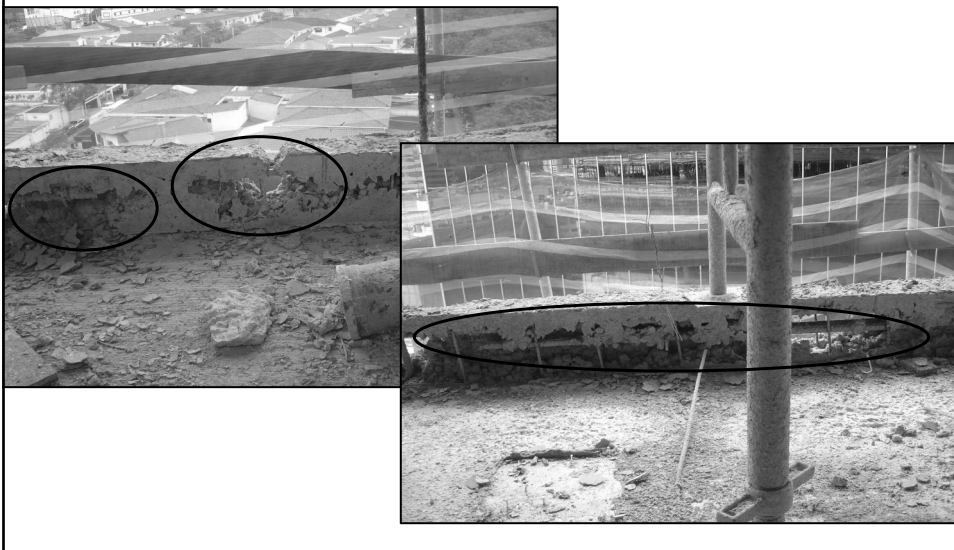
70

*Bicheiras nas Vigas (falta de adensamento)*



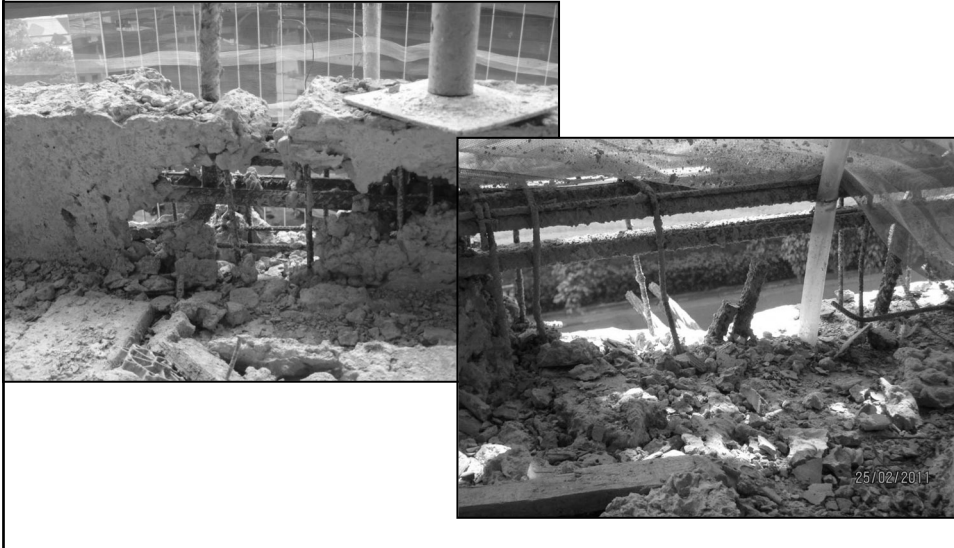
71

*Bicheiras nas Vigas (falta de adensamento)*



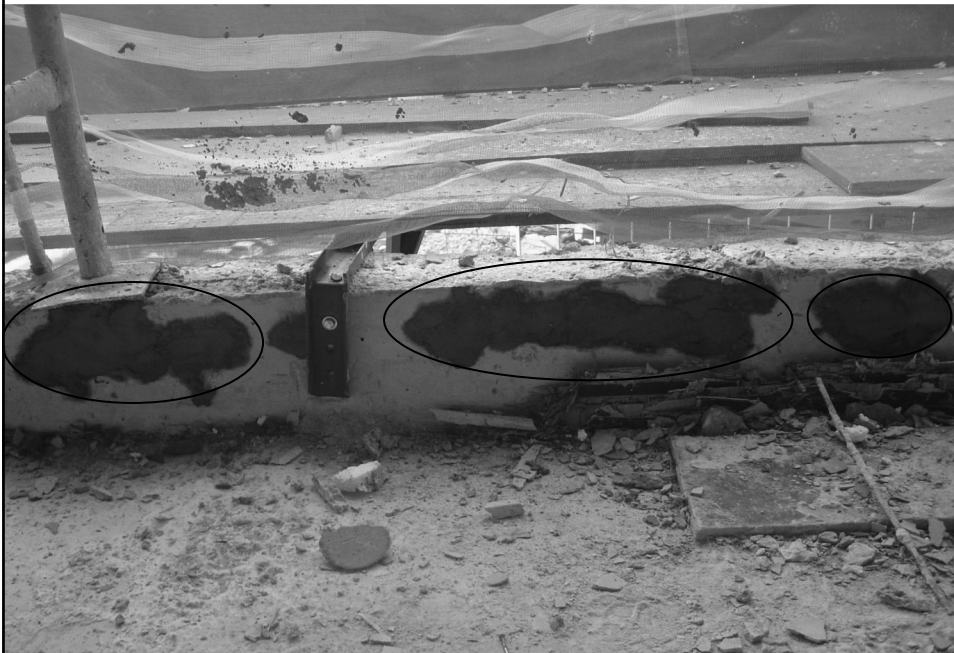
72

*Bicheiras nas Vigas (falta de adensamento)*



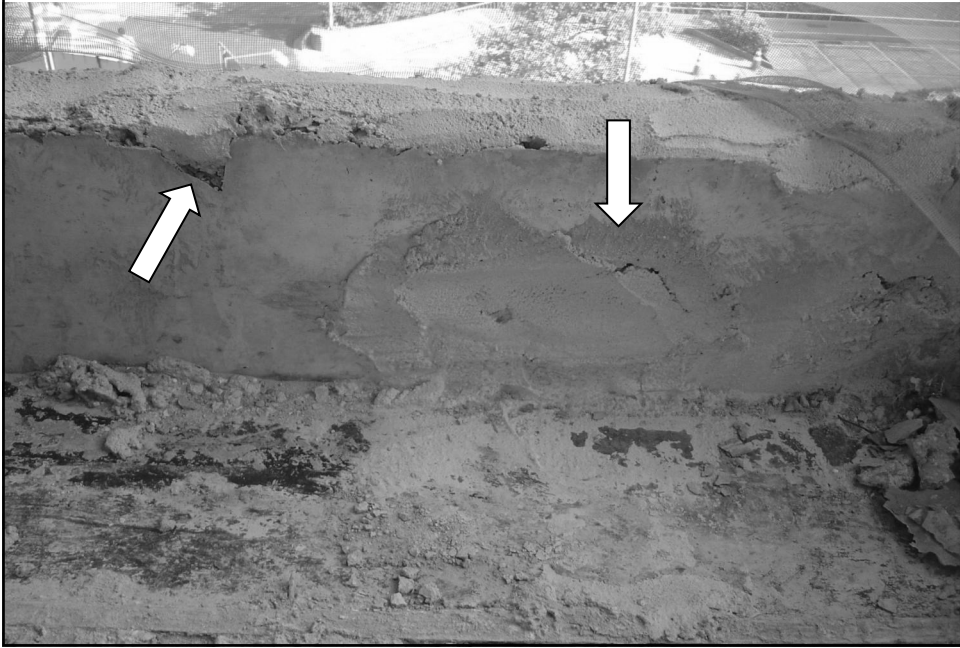
73

*“Recuperação” das Bicheiras com Argamassa Comum*



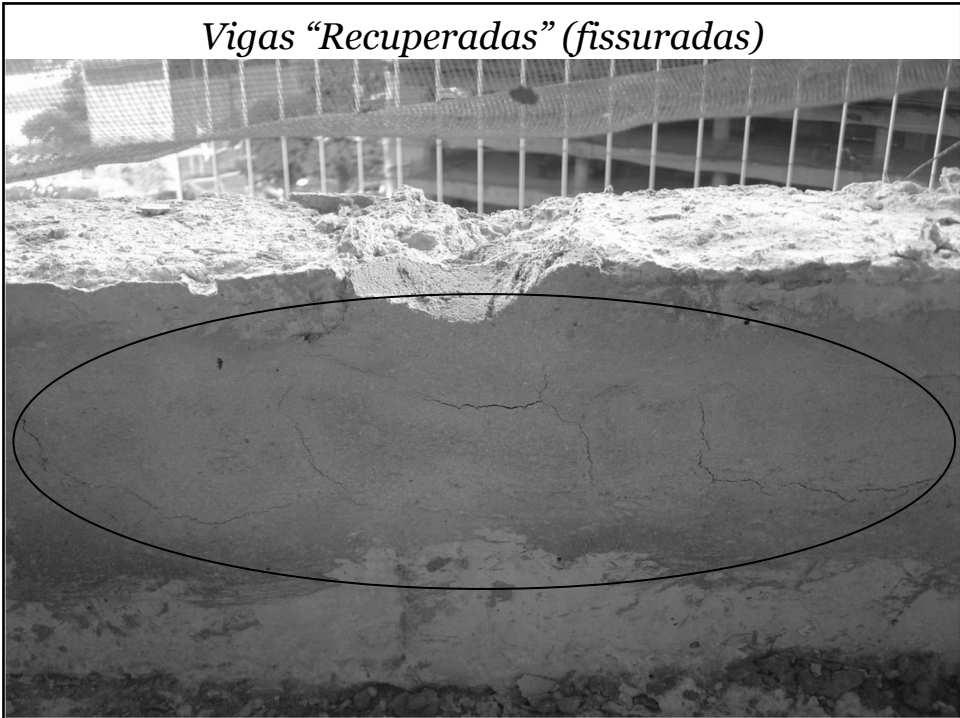
74

*Vigas “Recuperadas”*



75

*Vigas “Recuperadas” (fissuradas)*



76

# Edifício Emblemático

Alphaville, São Paulo

50MPa

35 andares

Comercial

ninho de concretagem

77



78



79



80





81



82



83



84



85



86

# alinhamento de pilares, excentricidade

87

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



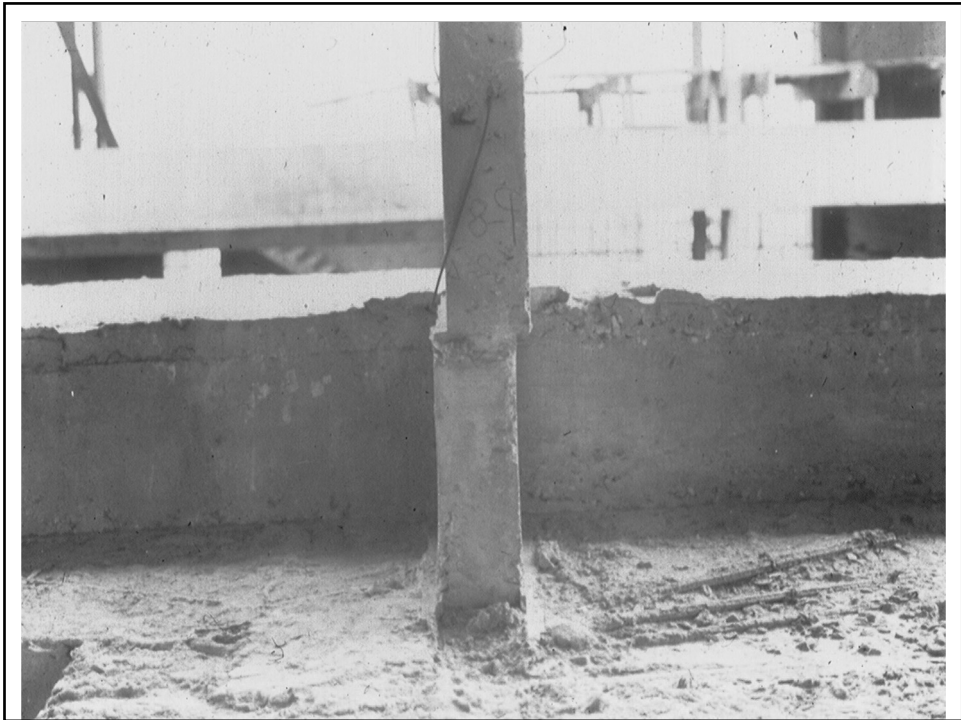
8cm

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

88



89

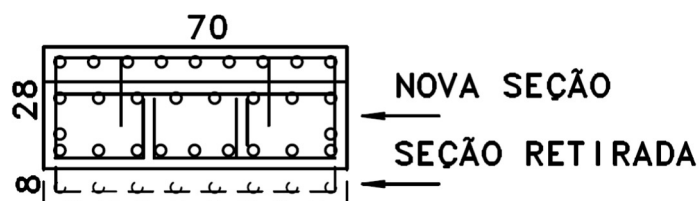


90

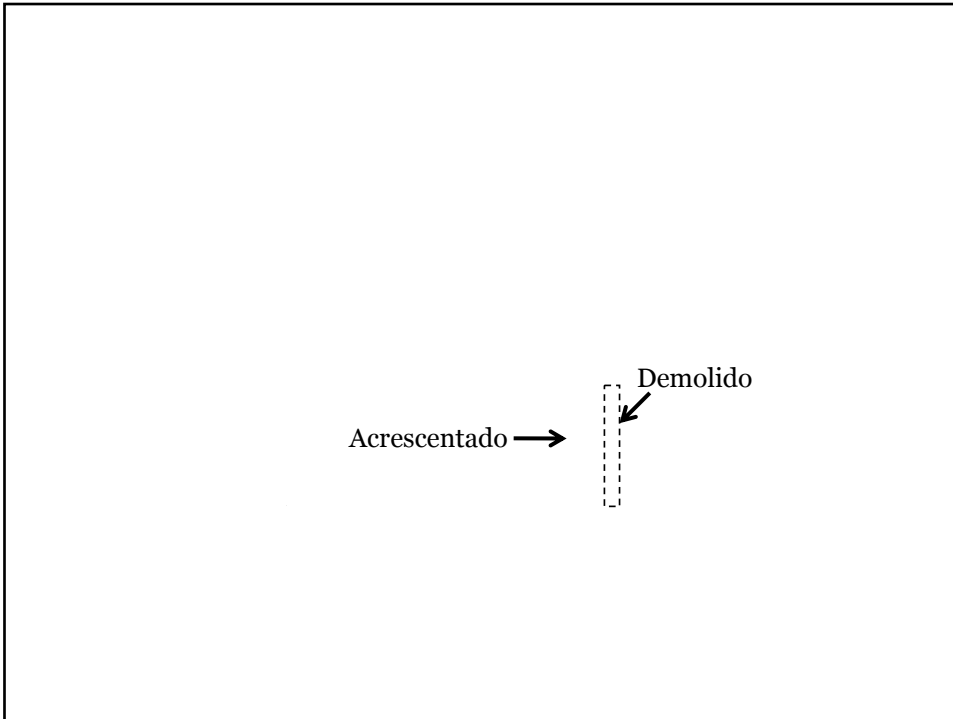


91

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



92



93



94

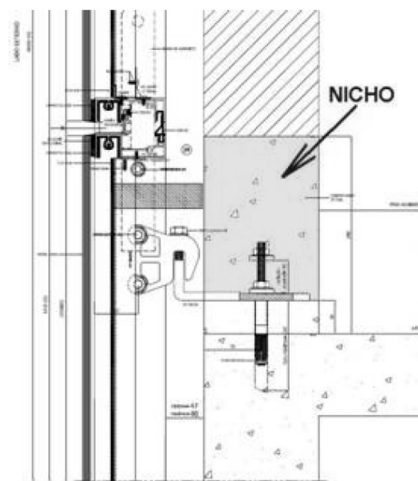
# Compatibilidade de Projetos

95

## *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;



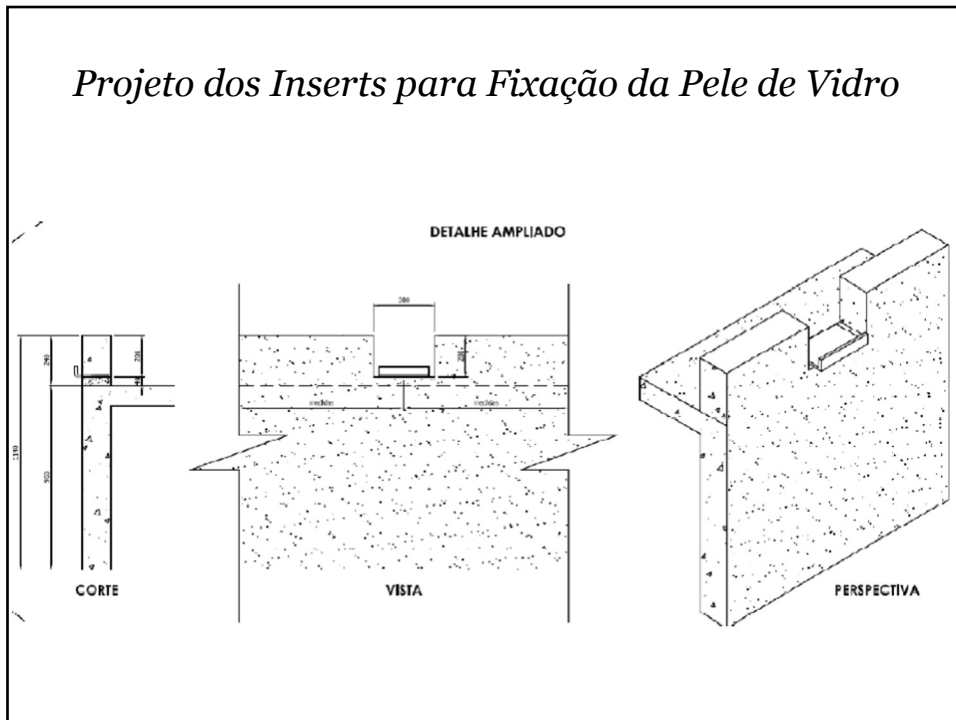
Projeto do Caixilho →

Detalhe do nicho e ancoragem

96

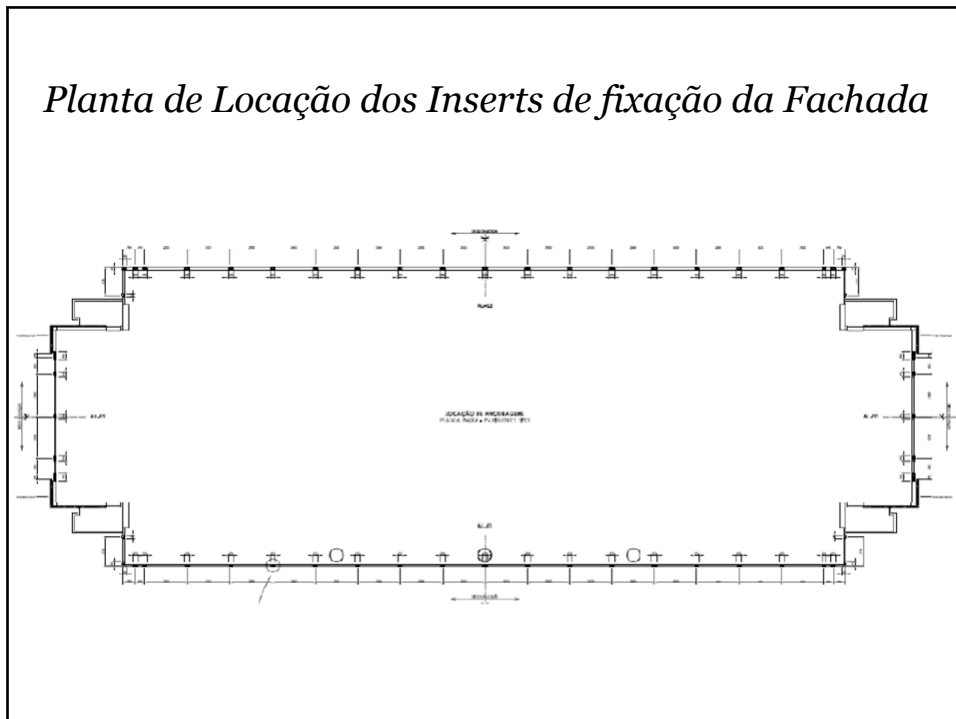


## *Projeto dos Inserts para Fixação da Pele de Vidro*



97

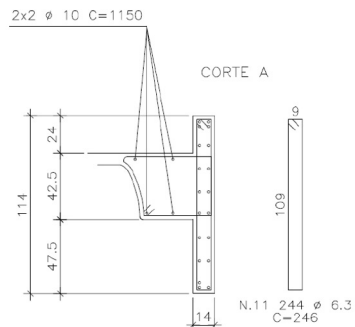
## *Planta de Locação dos Inserts de fixação da Fachada*



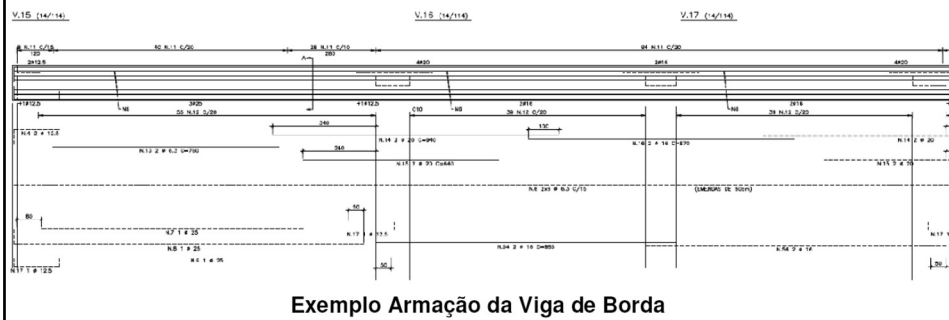
98

## Projeto Estrutural das Vigas Invertidas

➤ No Projeto não eram previstos os nichos para os inserts da pele de vidro;



Detalhe Seção da Viga de Borda



Exemplo Armação da Viga de Borda

99

## Vigas sendo Demolidas e Cortadas suas Armaduras sem Conhecimento do Projetista



100

*Vigas sendo Demolidas e Cortadas suas Armaduras  
sem Consentimento do Projetista*



101

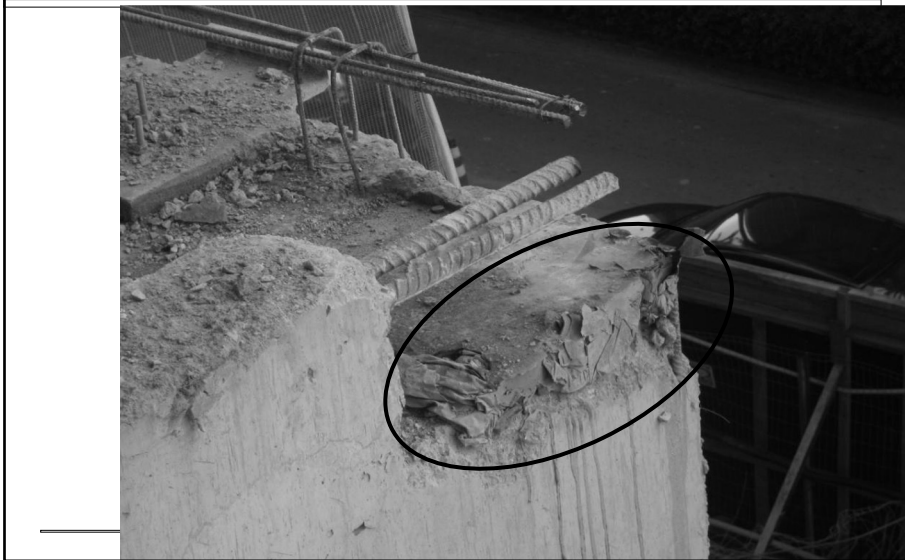


102



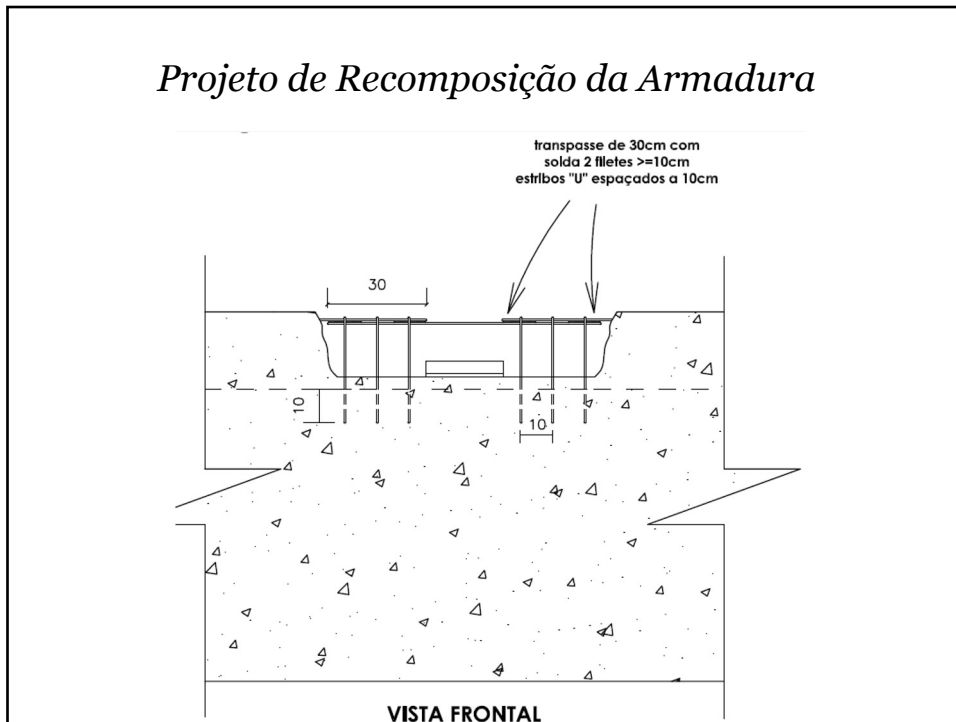
103

*Recomposição com Graute e Sacos de Papel Vazios*



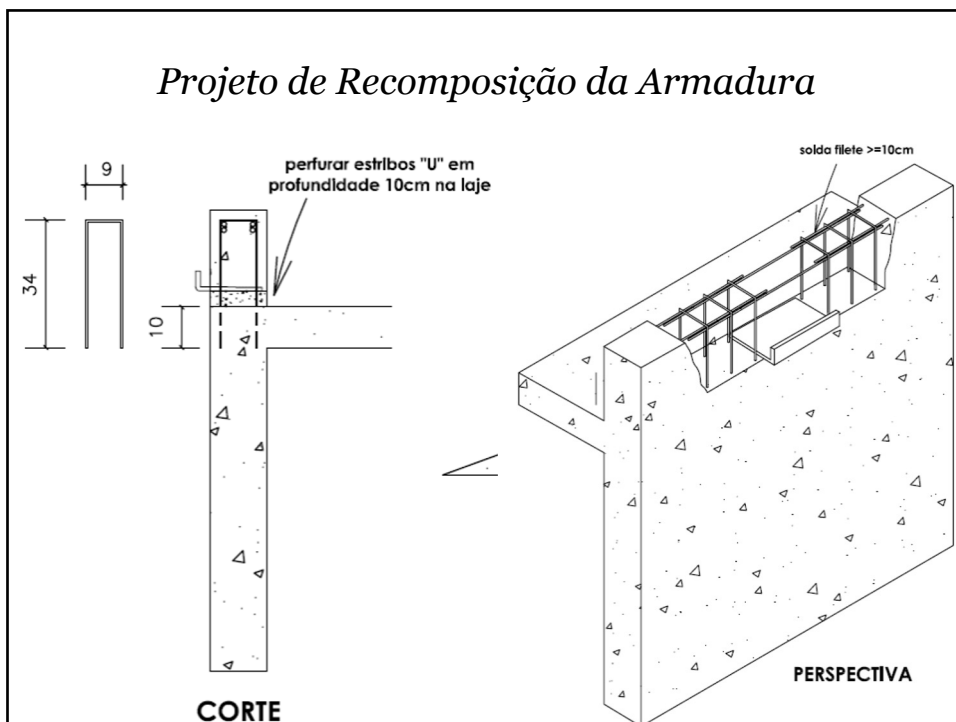
104

## Projeto de Recomposição da Armadura



105

## Projeto de Recomposição da Armadura



106



## *Reconstituição das armaduras*

**IBRACON**



107

## *Recomposição das Armaduras Cortadas*



108

## **CONSTRUTOR**

Não entendeu → PERGUNTA

Não achou o detalhe → COBRA

Deve estudar os projetos e  
antecipar-se aos problemas!

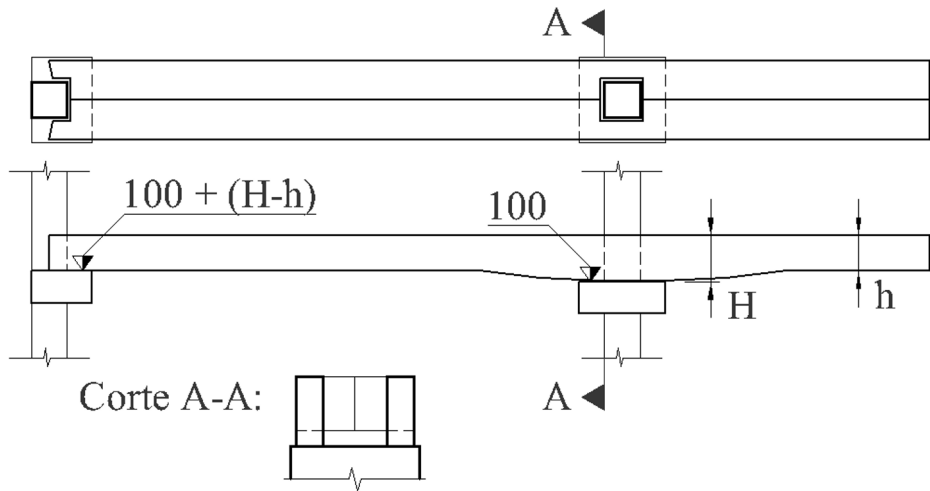
109

### **Caso dos capitéis com cota incorreta**



110

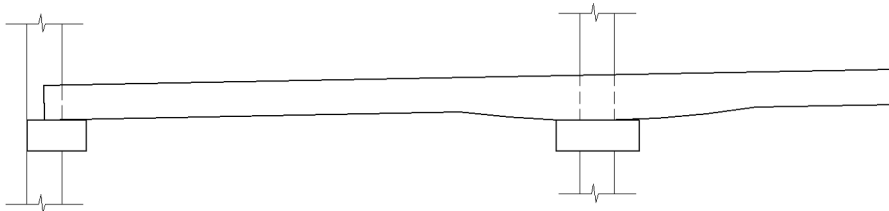
## Croqui da viga com trecho em balanço



111

## Situação dos consoles em nível

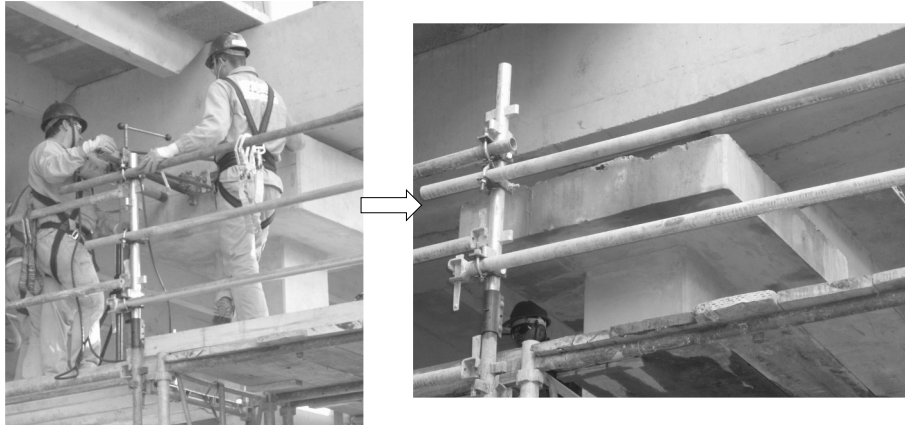
⇒ Vigas fora de nível



112



## **Macaqueamento da viga e corte parcial do console**



113

## **Apicoamento superfície do console**



114

## **Armadura adicional do console fôrmas + grauteamento**



115

## **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.**

116

## **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.

117

**Qual a  
MISSÃO do  
Construtor?**

118



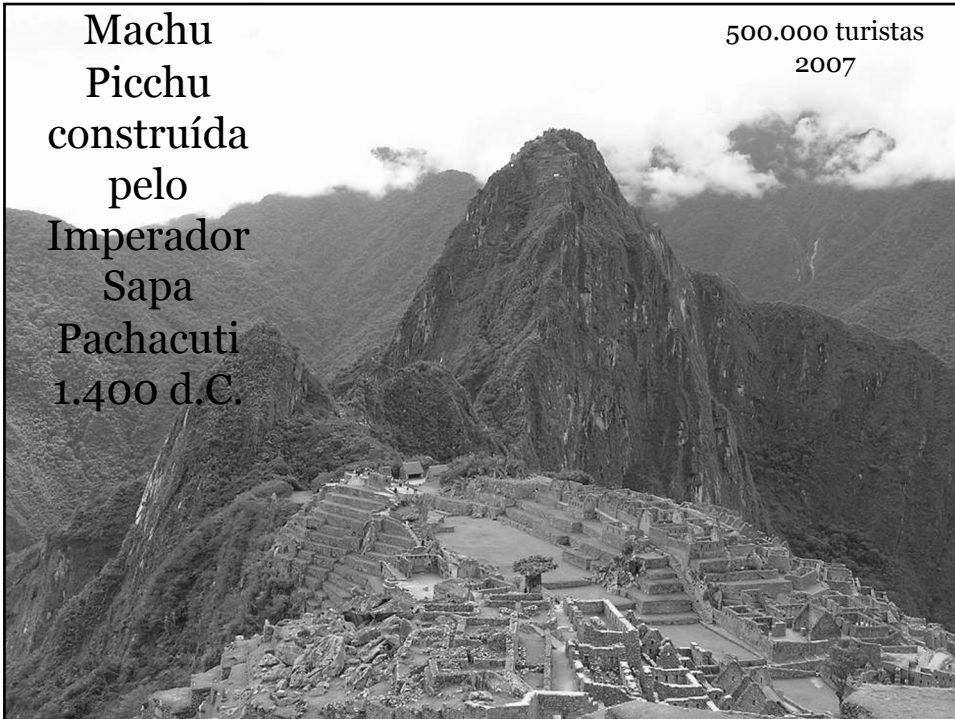
119



120

Machu  
Picchu  
construída  
pelo  
Imperador  
Sapa  
Pachacuti  
1.400 d.C.

500.000 turistas  
2007



121



122



123

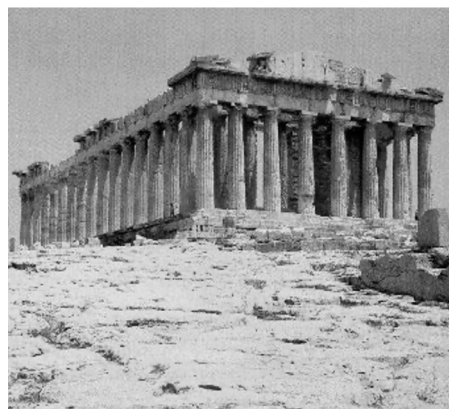
## O CONCEITO DE CONSTRUIR COM DURABILIDADE EXISTE NAS OBRAS DESDE A ANTIGUIDADE

*razão áurea  $C/L = 1,618$  número phi (Phidias)*

*Arquitetos Ictinos de Mileto e Calícrates (escultor Fídias)*

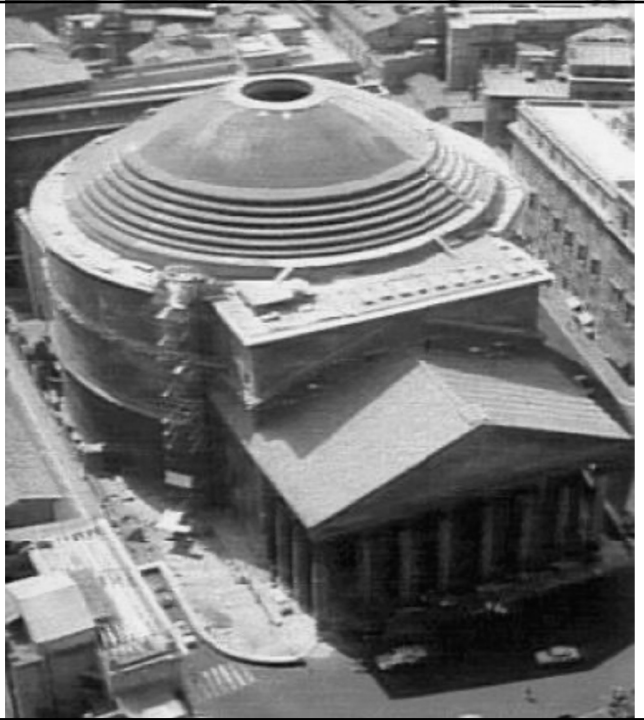


**Pártenon, 440 aC**  
**“século de Péricles”**



124

Panteão  
de  
Roma



125

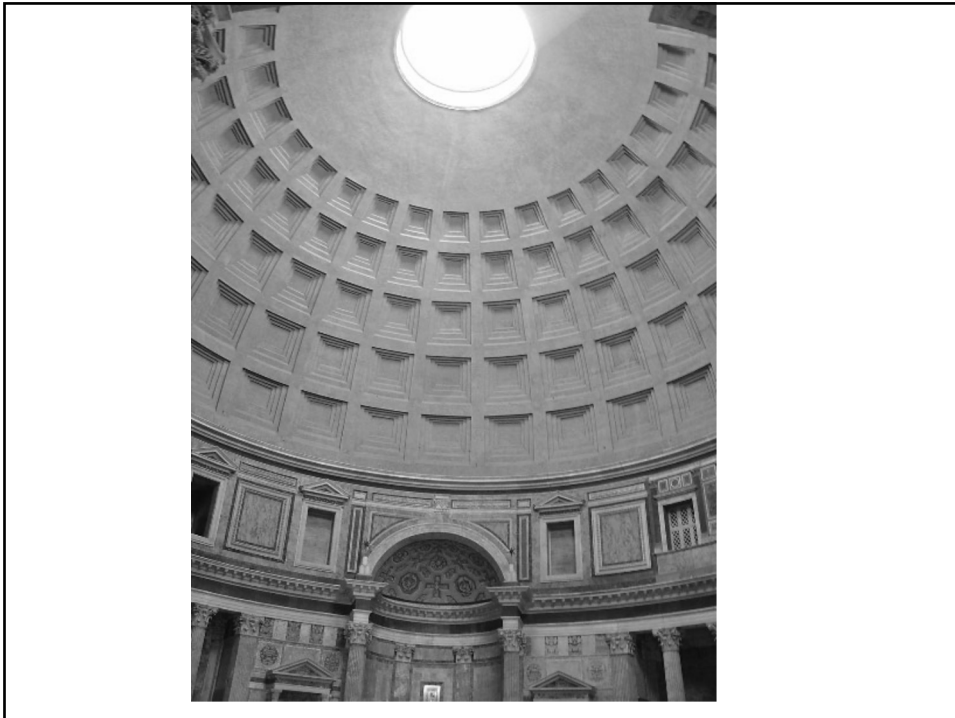


126

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

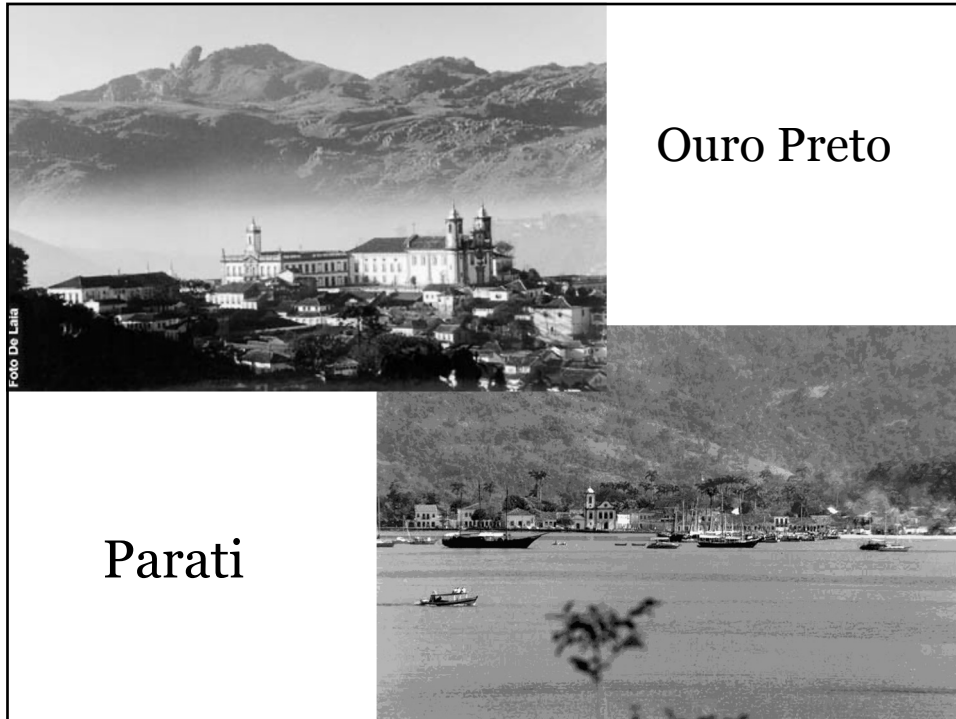


127



128





129

## *Catedral de Notre Dame*



1163-1330

Abóbada da nave central → 35 m de altura

130



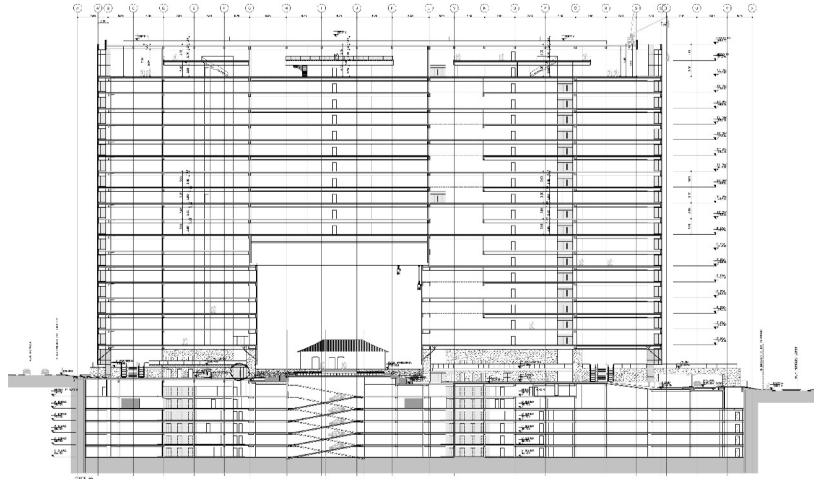
131

## 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

132

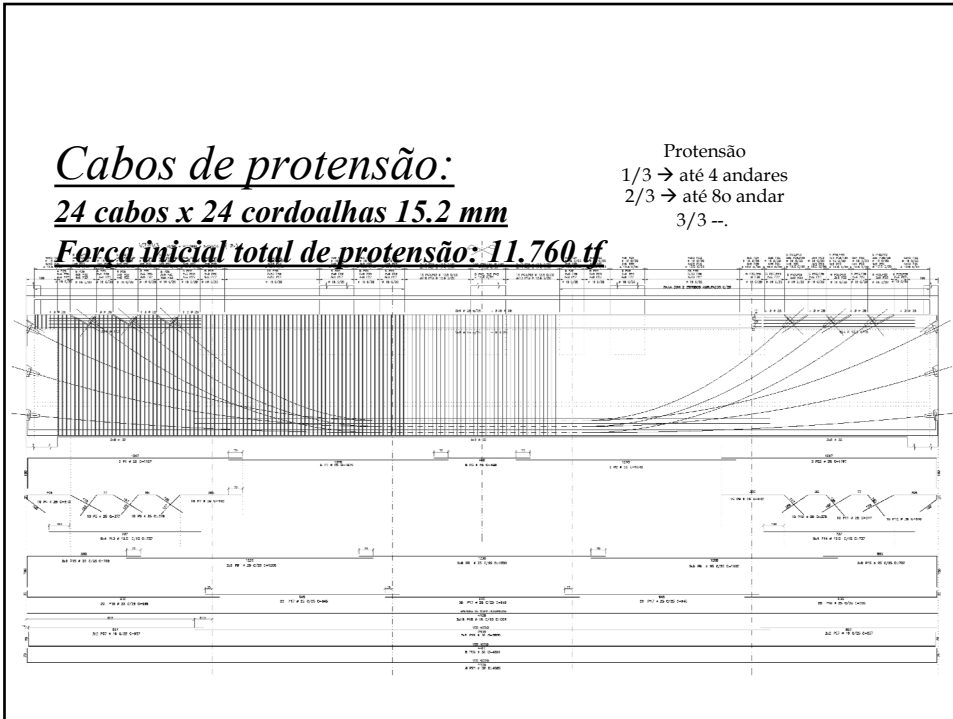
*Corte longitudinal*



133



134



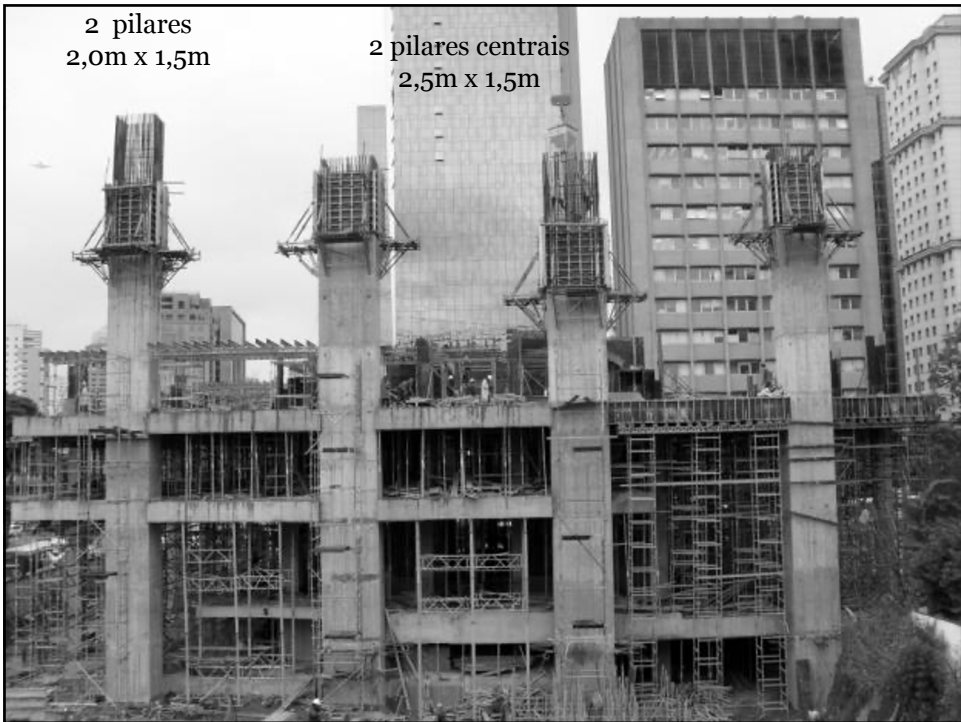
135



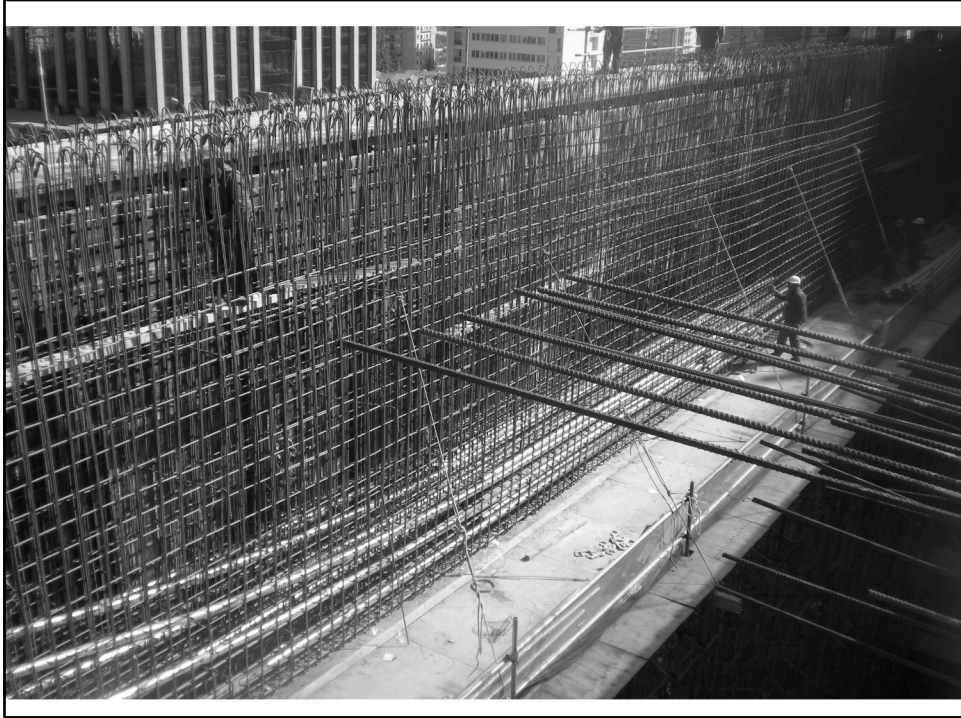
136



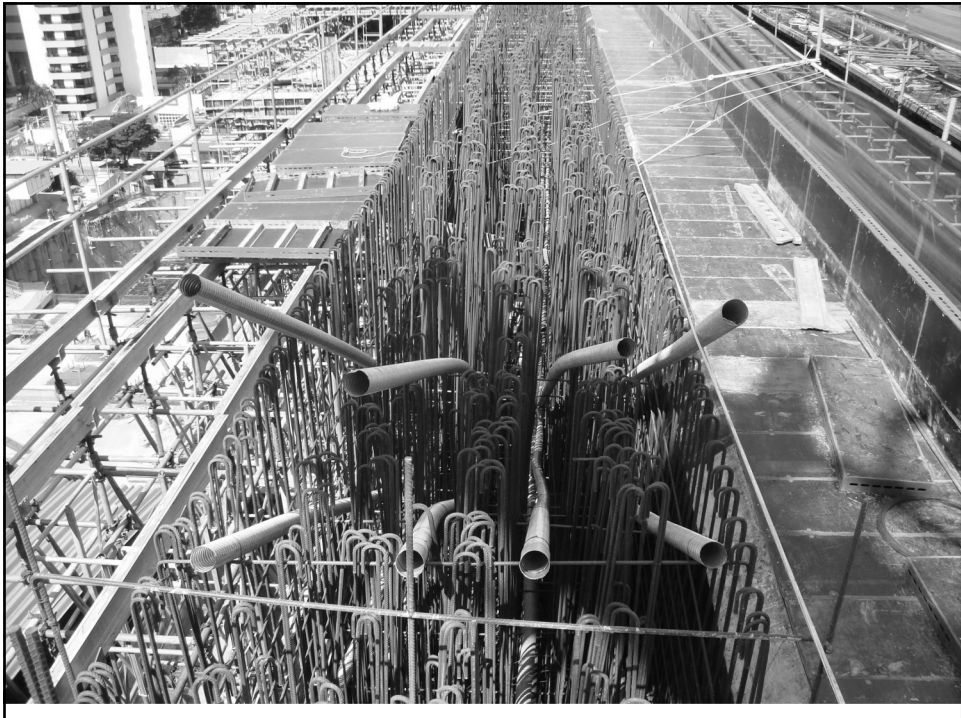
137



138



139



140



141



142



143



**proteção contra a chuva**

144





**escoramento em balanço**

145



146

**Comprometimento!**

**Do your best!**

147



148