



Patrocinadores:



45° Congresso Brasileiro do Concreto

45° Congresso Brasileiro do Concreto

CONGRESSO
BRASILEIRO
DO CONCRETO



VITÓRIA - ESPÍRITO SANTO
16 a 20 de agosto de 2003

Realização:



IBRACON

INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO

Av. Prof. Almeida Prado, 532 - casa 44 - cep: 05508-901 - São Paulo - SP

Telefax: (11) 3714-2149 - (11) 3765-0099

Site: <http://www.ibracon.org.br> - e-mail: office@ibracon.org.br

Produzido por Arte Interativa - arteinterativa@uol.com.br

ENSAIO DE LIGAÇÃO PILAR PRÉ-MOLDADO X FUNDAÇÃO MEDIANTE CHAPA DE BASE

Mounir K. El Debs (1); Toshiaki Takeya (1); Rejane M. Fernandes Canha (2)
Luiz Cholfé (3); Waldemar Ueda (3); Luciana A. S. Bonilha (3)

- (1) Docentes do Departamento de Engenharia de Estruturas
Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo*
*(2) Doutorado do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Estruturas
Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo*
*(3) Engenheiros da Statuta Engenharia de Projetos S/C Ltda
São Paulo - SP*

E37e

destinatário para correspondência

Mounir K. El Debs

*Departamento de Engenharia de Estruturas da EESC/USP
Av. Trabalhador Sancarlense, 400, São Carlos - SP, CEP 13566-590
Tel: (16) 273 9481 Fax: (16) 273 9482
e-mail: mkdebs@sc.usp.br*

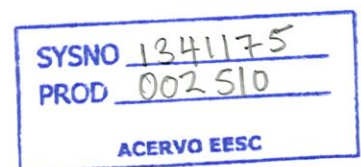
Palavras Chaves: concreto pré-moldado; ligações; chapa de base; ensaio

Resumo

O objetivo deste trabalho é apresentar os resultados de ensaio de ligação pilar pré-moldado com a fundação mediante chapa de base, realizado no Laboratório de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos. A ligação em questão foi utilizada em uma estrutura de pilares pré-moldados de seção 44 cm x 80 cm, com altura de cerca de 9,0 metros, sobre os quais é apoiada uma cobertura metálica de 60 metros de vão. Foram ensaiados dois modelos em escala 1:1, mas com a altura do pilar no modelo de 2,60 m. A chapa de base tinha 32 mm de espessura, enrijecida com nervuras. O carregamento para simular os esforços previstos na ligação foi aplicado por meio de dois atuadores hidráulicos utilizando uma estrutura metálica fixada na extremidade superior do pilar. A excentricidade da força resultante aplicada nos ensaios tinha o valor de 140 cm em relação ao eixo longitudinal do pilar, e correspondeu à situação de projeto para o dimensionamento do pilar. Os resultados dos dois ensaios indicam que: a) os dois modelos tiveram comportamentos muito próximos, mostrando que houve uma boa reprodutividade nos ensaios; b) nos dois modelos a ruptura da ligação foi causada pelo escoamento dos chumbadores; c) a armadura do pilar mais tracionada estava na iminência do escoamento quando ocorreu o escoamento dos chumbadores; d) não foi observada nenhuma deformação localizada significativa na chapa de base.

1341175
101103

45º Congresso Brasileiro do Concreto



1 Introdução

O presente artigo apresenta os resultados dos ensaios de dois modelos, realizados no Laboratório de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos, para analisar o comportamento da ligação pilar-fundação de um edifício com pilares pré-moldados e cobertura em estrutura metálica, atendendo à solicitação das empresas STATURA Engenharia de Projetos, Construtora TODA do Brasil, e DURATEX Comercial Exportadora. A descrição detalhada dos ensaios está apresentada no relatório técnico EL DEBS et al (2002).

A ligação em questão foi utilizada em uma estrutura de pilares pré-moldados de seção 44 cm x 80 cm, com altura de cerca de 9,0 metros, sobre os quais é apoiada uma cobertura metálica de 60 metros de vão. Nas Figuras 1 e 2 apresentam-se as características principais do pilar pré-moldado e da sua ligação com a fundação, conforme especificações de projeto do edifício.

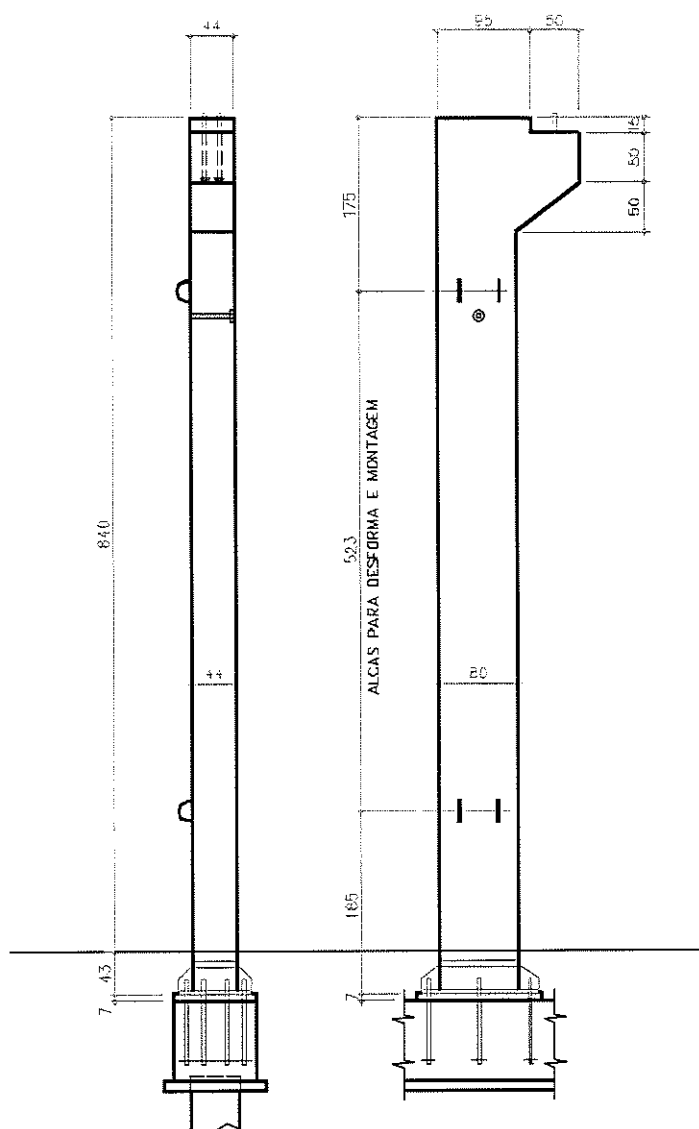


Figura 1 – Características principais do pilar pré-moldado

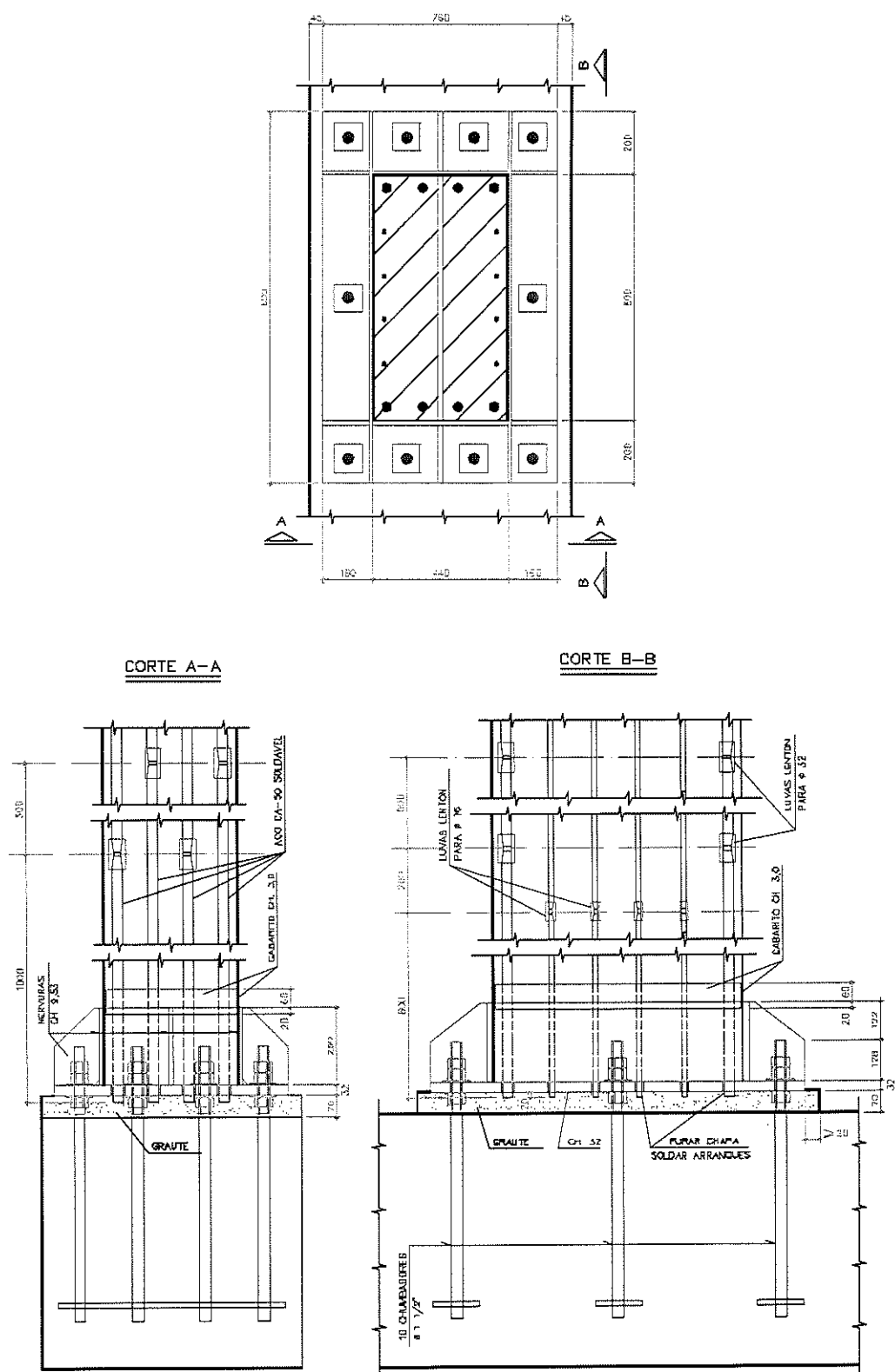


Figura 2 – Detalhe da ligação do pilar pré-moldado com a fundação

2 Descrição e construção dos modelos

Foram construídos e ensaiados dois modelos idênticos, conforme esquema apresentado na Figura 3.

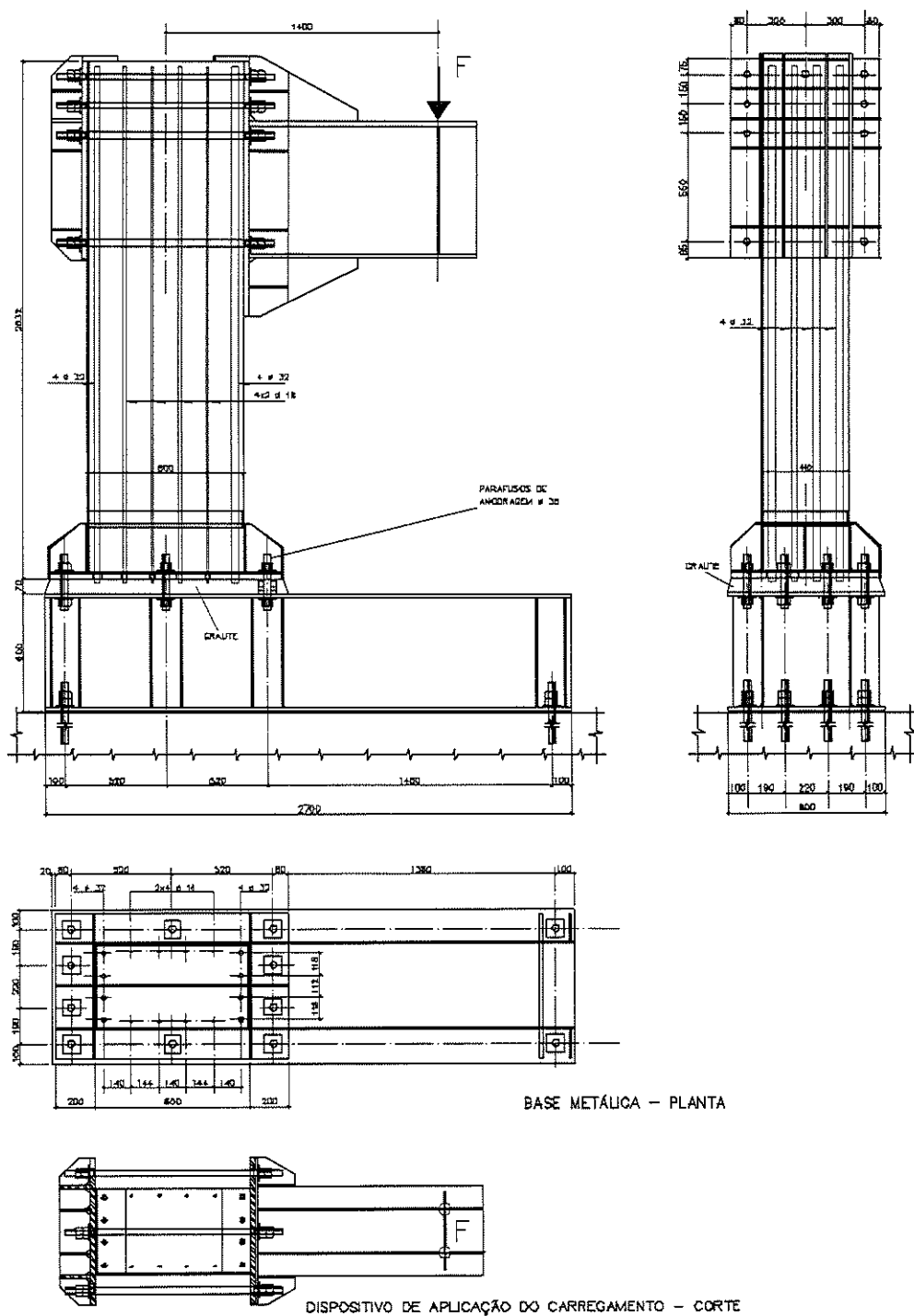


Figura 3 - Esquema da montagem de ensaio:
ligação pilar-base metálica e dispositivo de aplicação do carregamento

Os modelos tinham pilar com seção transversal 44 cm x 80 cm e comprimento 260 cm, e a ligação com a fundação é feita por uma chapa de aço de espessura 32 mm enrijecida com nervuras (que será denominada de chapa de base neste trabalho), na qual a armadura longitudinal do pilar está soldada. A fundação foi simulada no ensaio por meio de uma plataforma construída com chapas de aço (será denominada de base metálica), apoiada e fixada por meio de tirantes na laje de reação do laboratório. A ligação do pilar à base metálica que simula a fundação, foi feita como estava prevista no projeto do edifício, por meio de chumbadores e grauteamento do espaço livre entre o pilar e a base metálica.

O carregamento para simular os esforços previstos na ligação foi aplicado por meio de dois atuadores hidráulicos utilizando uma estrutura metálica fixada na extremidade superior do pilar. A excentricidade da força resultante aplicada nos ensaios tinha o valor de 140 cm em relação ao eixo longitudinal do pilar, e correspondeu à situação de projeto para o dimensionamento do pilar.

Na especificação do projeto do pilar pré-moldado o concreto era da classe C-30 e a armadura longitudinal da classe CA-50 soldável.

Para a moldagem do pilar foi utilizado concreto dosado em central para resistência à compressão nominal de 30 MPa.

Conforme previsto no projeto, foi utilizado aço CA-50 soldável para a armadura longitudinal do pilar, que era constituída por 8 barras de 32 mm e 8 barras de 16 mm; essas barras foram soldadas à chapa de base do pilar. Os estribos eram de aço CA-50 convencional de 8 mm, espaçados de 10 cm.

O graute utilizado para preencher o espaço entre o pilar e a base metálica que simula a fundação foi o mesmo especificado no projeto: Fosgrout Plus da marca Fosroc Reax.

A moldagem do pilar foi feita na posição horizontal conforme especificação do projeto, moldando-se simultaneamente doze corpos-de-prova cilíndricos 15 x 30 para controle da sua resistência. Os dois modelos foram moldados em datas defasadas de uma semana.

A montagem do pilar sobre a base metálica foi feita aos 14 dias, realizando-se também nessa data o grauteamento da base. Foram moldados na ocasião corpos-de-prova cilíndricos 5 x 10 do graute utilizado para determinação da sua resistência no dia do ensaio do modelo.

Na Figura 4 apresenta-se a documentação fotográfica de diversos aspectos da construção e da montagem dos modelos.

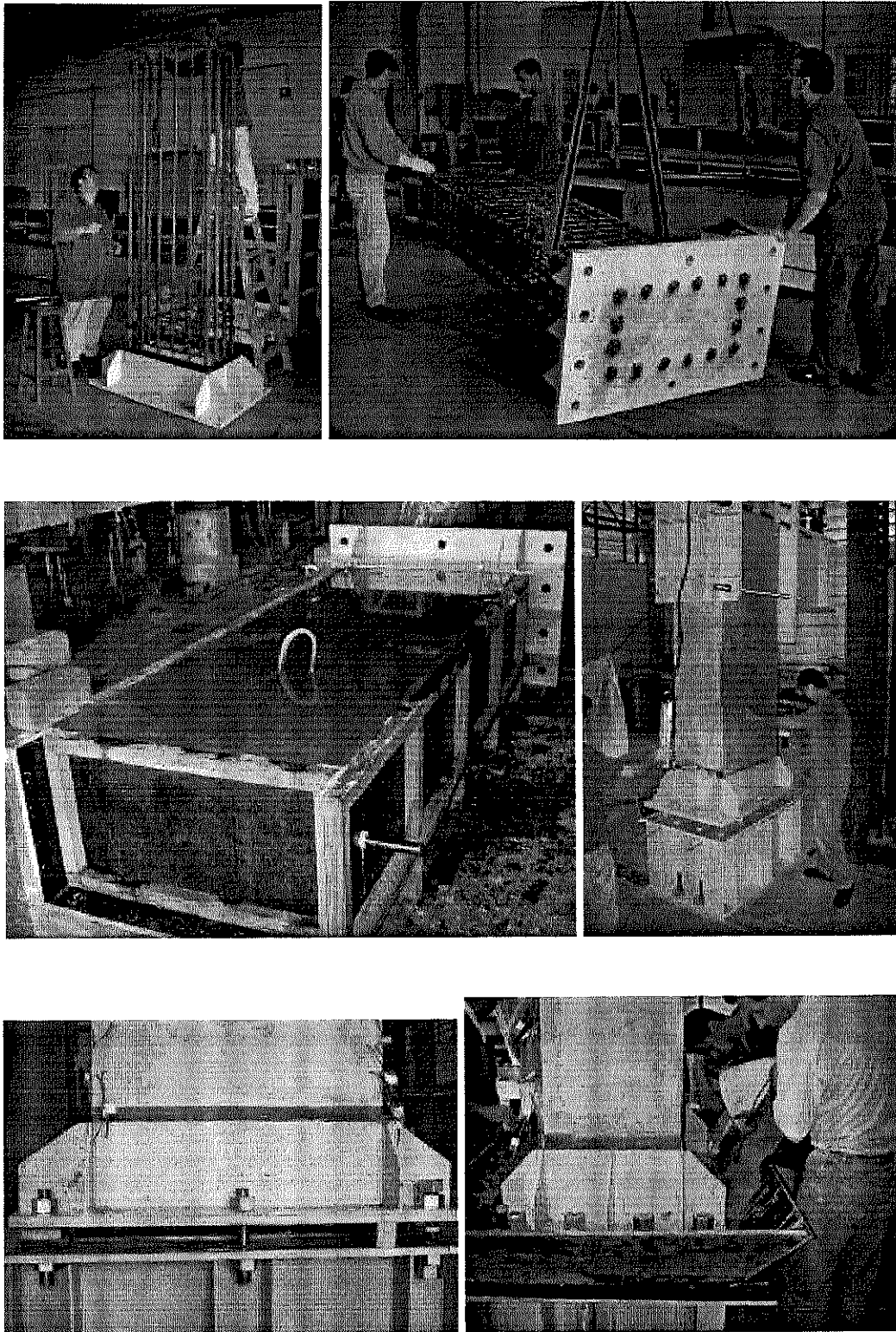


Figura 4 – Aspectos da construção e da montagem dos modelos

3 Descrição dos ensaios

Para a aplicação das solicitações no modelo utilizou-se a laje de reação do LE-EESC e dois atuadores hidráulicos de 1000 kN.

No monitoramento dos ensaios empregou-se: a) extensômetros elétricos de resistência com base de medida de 5 mm, colados nas armaduras longitudinais do pilar e nos chumbadores para medição da sua deformação (20 em cada modelo); b) extensômetros elétricos de resistência com base de medida de 10 mm, colados na superfície do concreto do lado comprimido para medição da sua deformação (2 em cada modelo); c) oito transdutores resistivos de deslocamento com curso de 10 mm e 20 mm, para medição dos deslocamentos relativos entre a chapa de base do pilar e a base metálica no lado comprimido e d) dois transdutores resistivos de deslocamento com curso de 100 mm, para medição dos deslocamentos horizontais do topo do pilar e do pórtico de reação no ponto de fixação dos atuadores hidráulicos;

Na Figura 5, indicam-se os pontos de medição dos deslocamentos relativos entre a chapa de base do pilar e a base metálica. No lado tracionado a medição foi feita em cinco pontos: três junto às nervuras de enrijecimento (D 1, D 3, e D 5) e dois no vão entre essas nervuras (D 2 e D 4) no intuito de avaliar o efeito da flexão da chapa de base. No lado comprimido a medição foi feita em três pontos junto às nervuras de enrijecimento (D 6, D 7, e D 8).

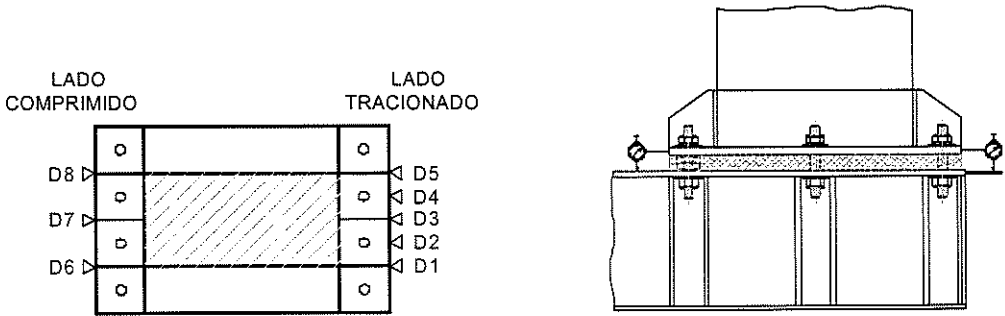


Figura 5 – Posição de medição dos deslocamentos relativos entre a chapa de base do pilar e a base metálica

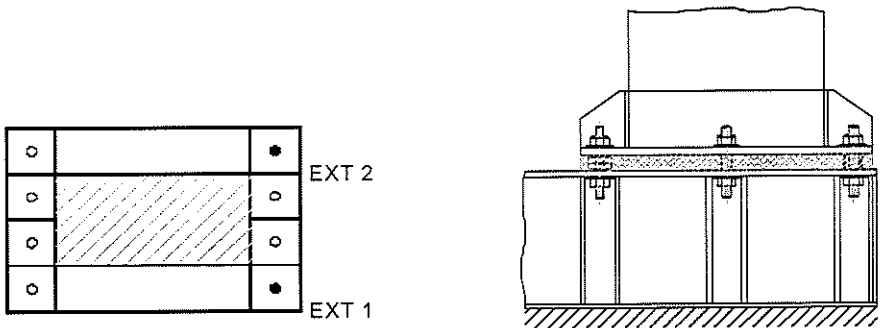


Figura 6 – Posição de medição da deformação nos chumbadores tracionados

Os chumbadores do lado tracionado foram instrumentados com extensômetros elétricos posicionados conforme mostrado na Figura 6. Foram instrumentados apenas os dois chumbadores dos cantos (EXT 1 e EXT 2), utilizando-se em cada chumbador dois extensômetros diametralmente opostos, no intuito de corrigir o efeito da flexão na deformação medida.

Os pontos de medição das deformações na armadura longitudinal do pilar e no concreto feita por meio dos extensômetros elétricos de resistência estão indicados na Figura 7

A armadura longitudinal foi instrumentada em duas seções, uma seção localizada a 44 cm da chapa de base e a outra a 80 cm, no intuito de avaliar a eventual influência da perturbação provocada pela proximidade da ligação. Apenas as barras de 32 mm dos quatro cantos da seção foram instrumentadas (EXT 3, EXT 4, EXT 5, e EXT 6 no lado tracionado, e EXT 7, EXT 8, EXT 9, e EXT 10 no lado comprimido), utilizando-se, como no caso do chumbador, dois extensômetros diametralmente opostos em cada seção da barra instrumentada.

No concreto, a instrumentação foi feita apenas no lado comprimido, na seção localizada a 80 cm da chapa de base, utilizando-se dois extensômetros um em cada canto da seção (EXT 11 e EXT 12).

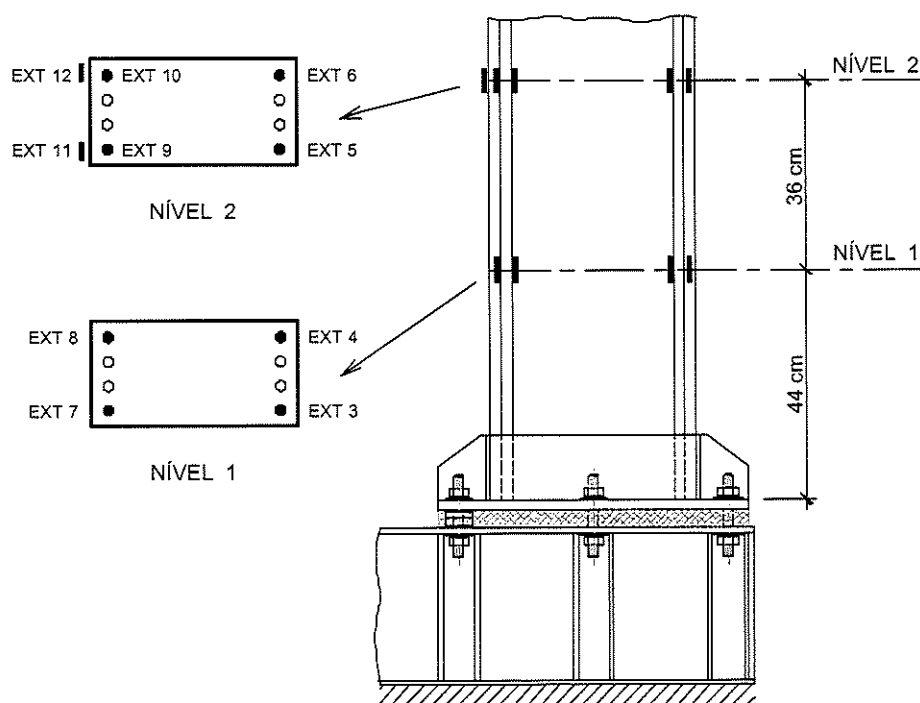


Figura 7 – Pontos de medição das deformações na armadura longitudinal e no concreto comprimido

O aspecto geral da montagem para o ensaio dos modelos pode ser visto nas Figura 8 e 9.

A aplicação do carregamento foi feita de forma progressiva em etapas de 50 kN, realizando-se o registro das medições dos diversos instrumentos e a marcação das fissuras, após a estabilização da carga de cada etapa.

Preliminarmente, antes do ensaio propriamente dito, realizou-se o ensaio de "escorvamento", que consistiu na aplicação de três etapas do carregamento e posterior descarregamento, para eliminação de folgas nos sistemas de apoios, carregamento, e medição, e também para teste geral da montagem de ensaio.

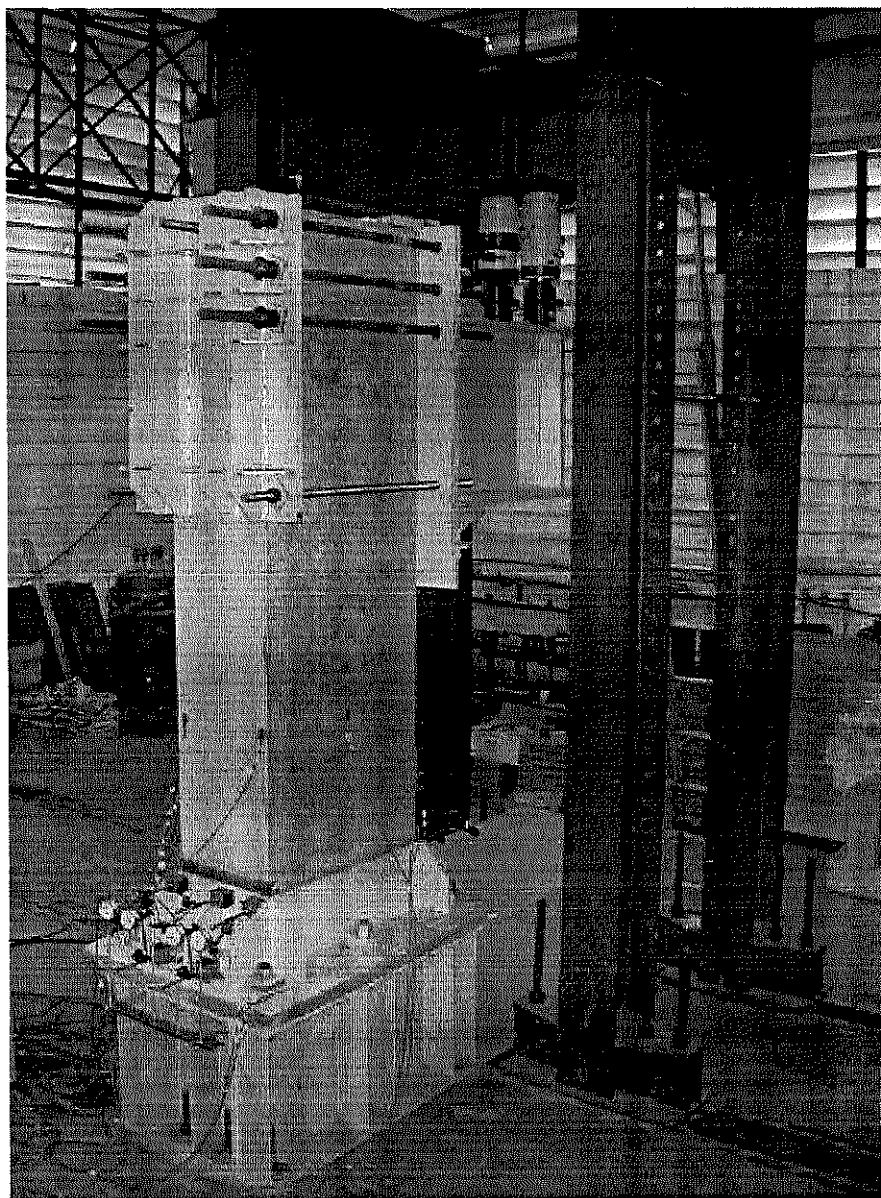


Figura 8 – Montagem do ensaio

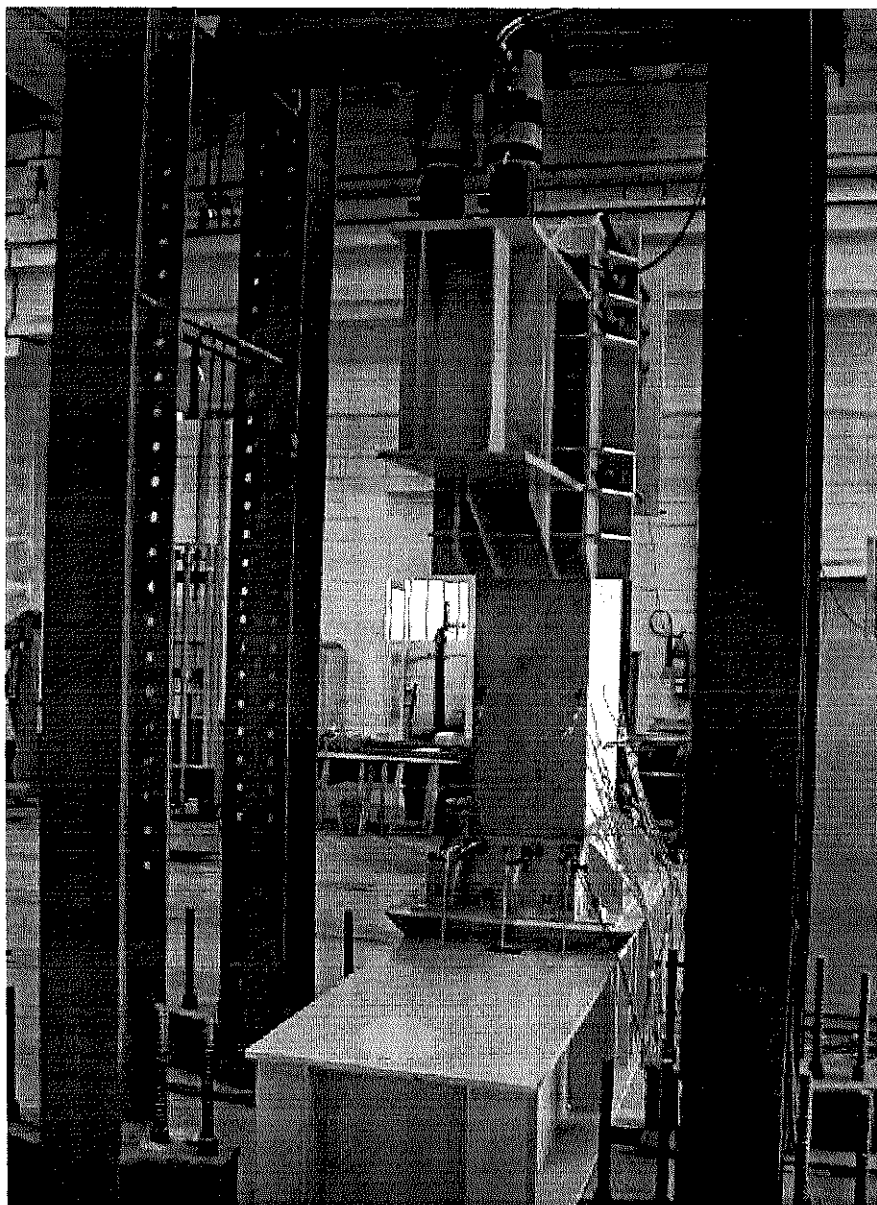


Figura 9 – Outra vista da montagem do ensaio

A caracterização dos materiais constituintes dos modelos foi realizada de modo tradicional: a) ensaio de compressão simples e compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos 15x30 do concreto utilizado nos pilares para obtenção das resistências à compressão e à tração; b) ensaio de tração simples de corpos-de-prova das armaduras dos pilares para obtenção das resistências de escoamento e de ruptura; c) ensaio de compressão simples de corpos-de-prova cilíndricos 5x10 do graute para obtenção da resistência à compressão.

4 Resultados obtidos

4.1 Corpos-de-prova do concreto

Tabela 1 – Resultados dos corpos-de-prova do concreto do Modelo 1

C.P.	Tipo de ensaio	Idade (dias)	f_{cj} (MPa)	$f_{ct,sp,j}$ (MPa)	Médias (MPa)
1	compressão simples	3	23,4	-	24,5
2			25,7	-	
3	compressão simples	7	31,0	-	32,3
4			33,6	-	
5	compressão simples	22	42,7	-	43,5
6			43,1	-	
7			44,7	-	
8	compressão diametral	22	-	3,06	3,15
9			-	3,17	
10			-	3,23	

Tabela 2 – Resultados dos corpos-de-prova do concreto do Modelo 2

C.P.	Tipo de ensaio	Idade (dias)	f_{cj} (MPa)	$f_{ct,sp,j}$ (MPa)	Médias (MPa)
1	compressão simples	3	22,1	-	22,4
2			22,7	-	
3	compressão simples	7	29,6	-	29,8
4			30,0	-	
5	compressão simples	22	37,0	-	37,6
6			37,9	-	
7			37,9	-	
8	compressão diametral	22	-	2,32	2,79
9			-	2,81	
10			-	3,24	

4.2 Corpos-de-prova da armadura

Tabela 3 – Resultados dos corpos-de-prova da armadura longitudinal

C.P.	ϕ (mm) nominal	ϕ (mm) efetivo	f_v (MPa)		f_t (MPa)		E_s (GPa)	
			C.P.	Médias	C.P.	Médias	C.P.	Médias
1	16	15,70	641,5	641,0	764,6	767,5	207,6	207,3
2	16	15,74	640,5		770,3		207,0	
3	32	31,94	630,2	628,7	797,5	796,7	202,8	203,7
4	32	31,93	627,2		795,8		204,7	

4.3 Corpos-de-prova do graute

Tabela 4 – Resultados dos corpos-de-prova do graute do Modelo 1

C.P.	Tipo de ensaio	Idade (dias)	f_{cj} (MPa)	Média (MPa)
1	compressão simples	8	55,9	59,8
2			59,5	
3			61,8	
4			62,2	

Tabela 5 – Resultados dos corpos-de-prova do graute do Modelo 2

C.P.	Tipo de ensaio	Idade (dias)	f_{cj} (MPa)	Média (MPa)
1	compressão simples	5	46,2	53,1
2			51,8	
3			55,0	
4			59,6	

4.4 Quadro-resumo das cargas de ensaio

Na Tabela 6 apresentam-se as cargas de fissuração e de ruptura dos modelos ensaiados.

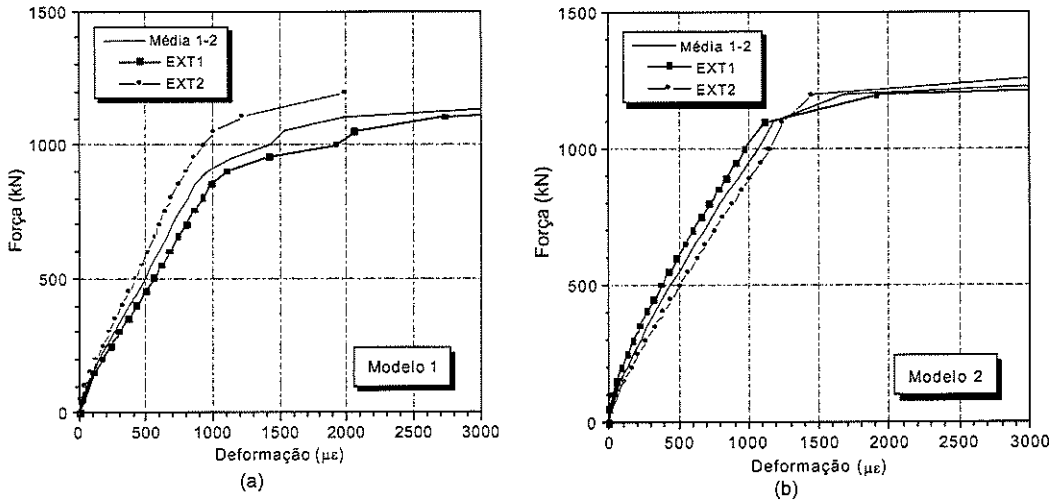
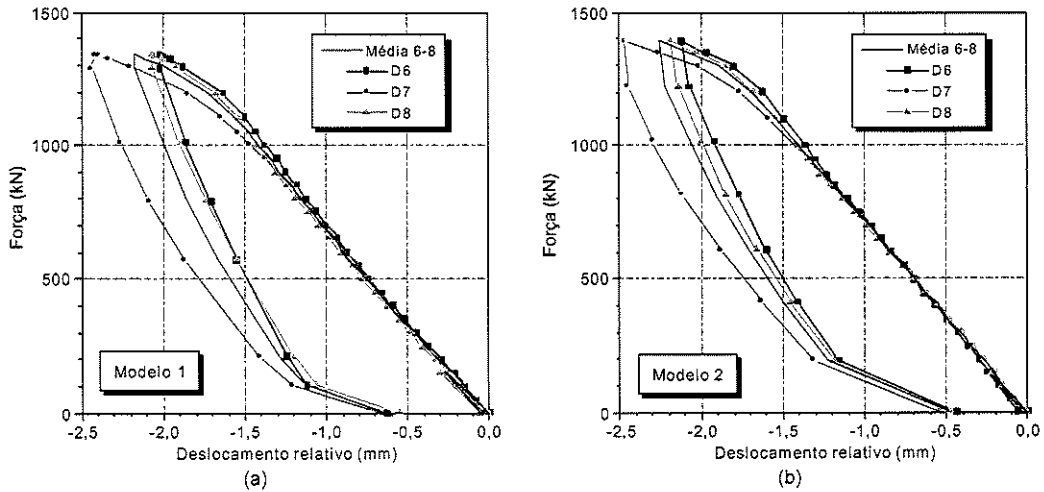
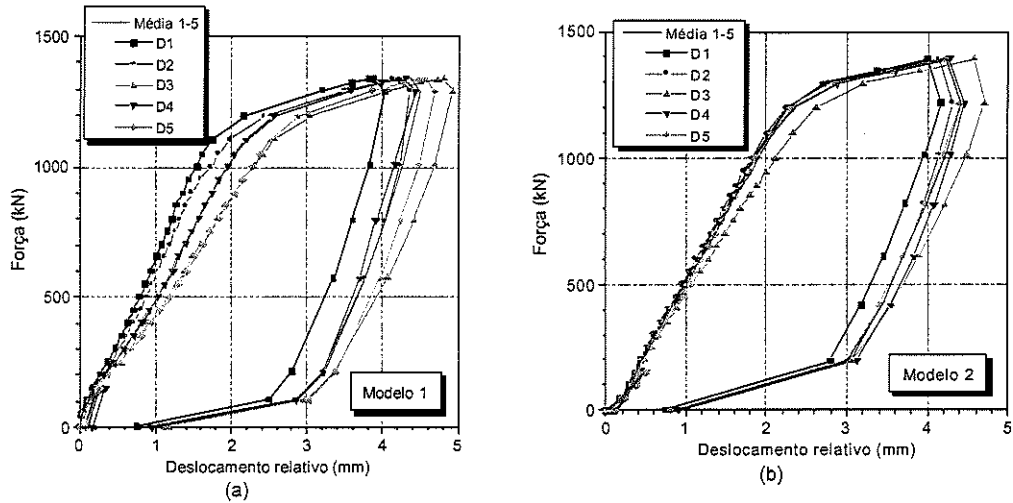
A carga de fissuração (1) corresponde ao valor da primeira fissura visível, e a carga (2) é o valor obtido a partir da análise do diagrama de deformação da armadura tracionada. A carga de ruptura é o valor máximo atingido no ensaio.

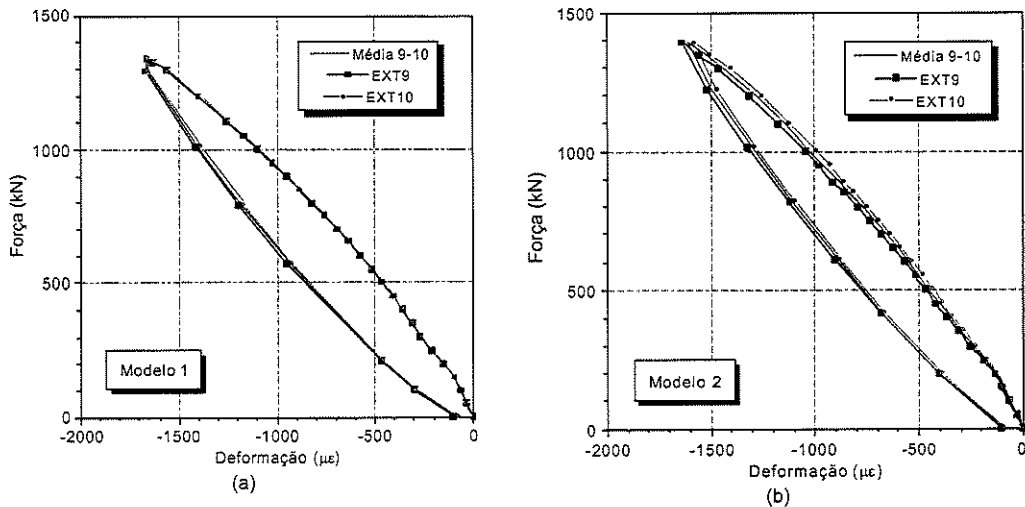
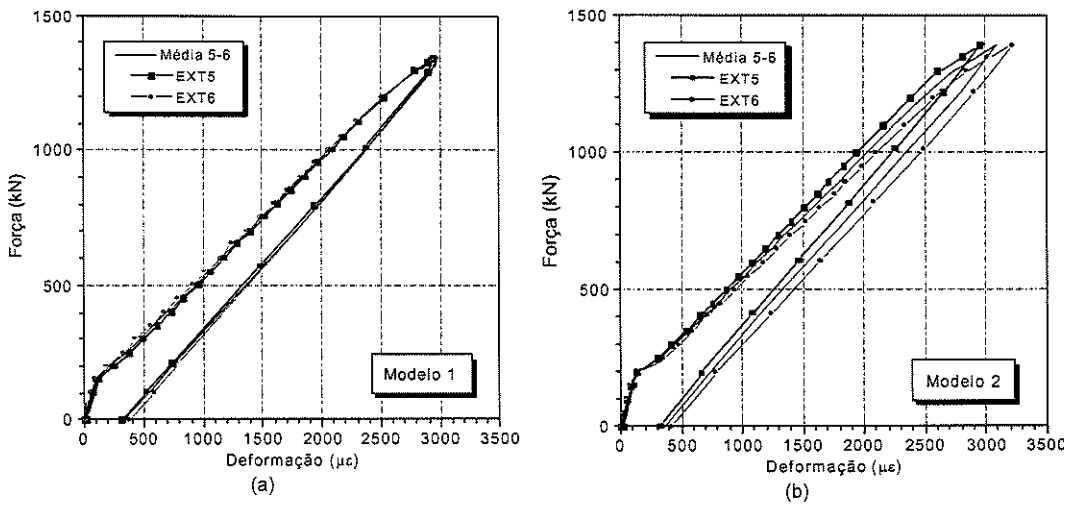
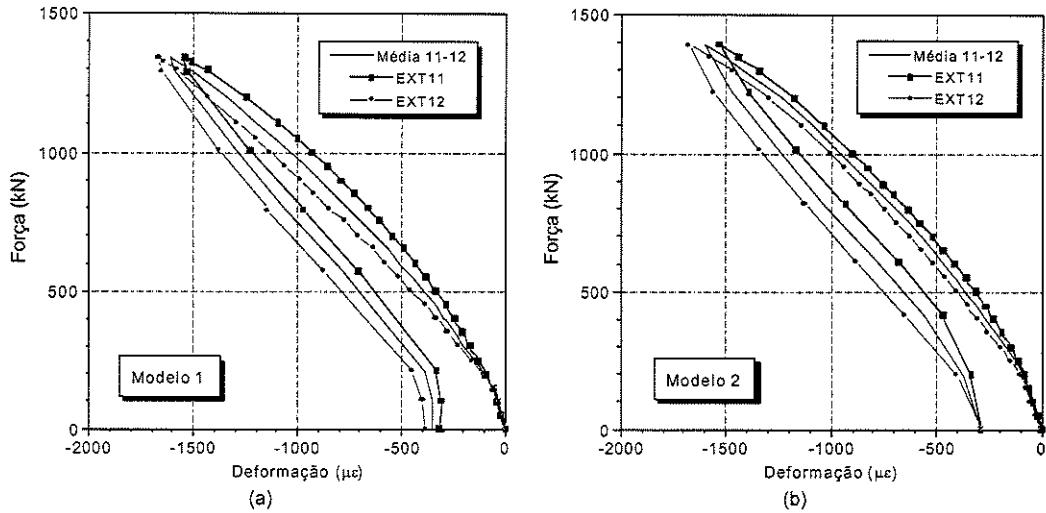
Tabela 6 – Cargas de fissuração e de ruptura

Modelo	Carga de fissuração (kN)		Carga de ruptura (kN)
	(1)	(2)	
1	300	200	1.340
2	400	250	1.392

4.5 Gráficos dos deslocamentos e das deformações

Nas Figuras 10 a 15 apresentam-se os gráficos dos deslocamentos e das deformações obtidos nos ensaios dos dois modelos.





5 Considerações finais

Os resultados dos dois ensaios indicam que:

- a) Os dois modelos tiveram comportamentos muito próximos, mostrando que houve uma boa reprodutividade nos ensaios;
- b) Nos dois modelos a ruptura da ligação foi causada pelo escoamento dos chumbadores;
- c) A armadura do pilar mais tracionada estava na iminência do escoamento quando ocorreu o escoamento dos chumbadores; observe-se que o ensaio dos corpos-de-prova indicou que a tensão de escoamento dessa armadura era muito superior (628 MPa) ao valor nominal (500 MPa); se a resistência de escoamento dessa armadura estivesse mais próxima do valor nominal, provavelmente teria ocorrido o escoamento conjunto da armadura do pilar e dos chumbadores;
- d) Não foi observada nenhuma deformação localizada significativa na chapa de base.

6 Referências

EL DEBS, M. K.; TAKEYA, T.; CANHA, R. M. F. **Ensaio de ligação pilar pré-moldado x fundação mediante chapa de base**. Relatório Técnico. Departamento de Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.