

4

Programa Experimental dos Consoles Curtos Reforçados com Tecido de Fibras de Carbono

4.1.

Introdução

Este capítulo descreve o programa experimental relativo aos ensaios de seis consoles de concreto armado, sendo cinco reforçados com tecidos de fibras de carbono e um de referência. São apresentadas as propriedades de todos os materiais utilizados para a execução das peças, a metodologia de aplicação do CFC, a instrumentação das armaduras, do concreto, do tecido de fibras de carbono e o esquema de ensaio utilizado para obtenção dos resultados.

4.2.

Ensaio de Caracterização dos Materiais

4.2.1.

Tecido de Fibras de Carbono

Nos reforços dos consoles curtos de concreto armado foi utilizado o mesmo tecido de fibras de carbono de SPAGNOLO JUNIOR (2008), cujas propriedades foram determinadas por esse autor em ensaios normatizados. Esses materiais são o SIKAWARP-230C e SIKADUR 330, que tem as características a seguir descritas:

Resina epoxídica ou adesivo epóxi (SIKADUR 330)

- Média viscosidade, tixotrópico e bicomponente de pega normal.
- Componente A: branco.
- Componente B: cinza escuro.
- Mistura A+B: cinza claro
- Proporção dos componentes: 20% de componente A e 80% de componente B (em peso).
- Consumo: 1ª camada (0,7 a 1,2 kg/m²) e 2ª camada (0,5 kg/m²).
- Tempo de vida útil da mistura (pot-life): 40 min (25°C).

- Cura total: sete dias

Tecido de fibras de carbono (SIKAWARP–230C)

- Base : tecido de fibras de carbono unidirecional.
- Cor: preta.
- Densidade: 1,78 g/cm³.
- Peso: 220 g/m².
- Dimensão (rolo): 30 cm de largura x 50 m de comprimento.
- Espessura: 0,122 mm.
- Módulo de elasticidade: 230 GPa.
- Resistência à tração: 4100 MPa.
- Deformação específica: 17,0‰.

4.2.1.1.

Ensaio de Resistência à Tração do Compósito de Fibras de Carbono

Para realização desse ensaio foi utilizado o método da norma ASTM D 3039 / D 3039 M, que especifica os procedimentos para determinação da resistência à tração e do módulo de elasticidade de materiais compostos de fibras revestidos com matriz polimérica (resina epoxídica).

A Figura 4.1 apresenta as dimensões mínimas estabelecidas por essa norma para os corpos-de-prova.

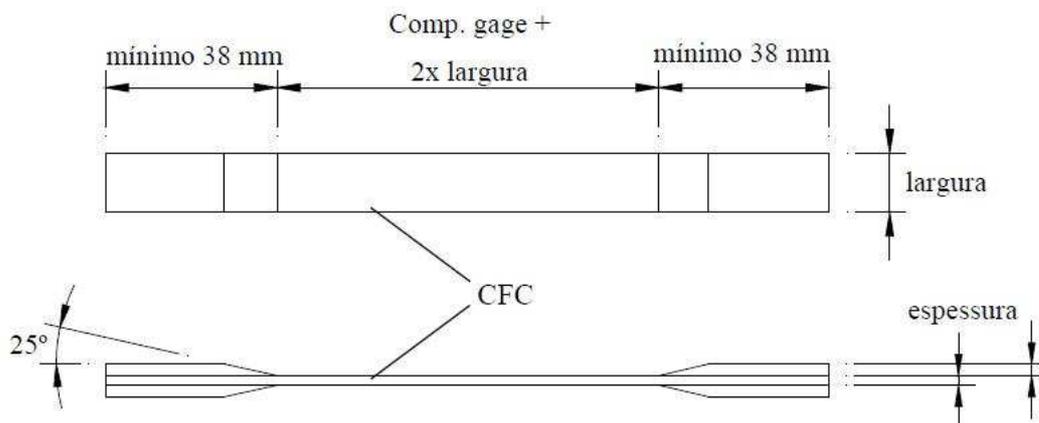


Figura 4.1 – Dimensões dos corpos-de-prova para ensaio à tração do CFC de acordo com a ASTM D 3039 / D 3039 M.

Os corpos-de-prova unidirecionais tinham abas com o objetivo de evitar o surgimento de falhas prematuras quando da aplicação da força.

A Tabela 4.1 apresenta algumas dimensões recomendadas pela norma ASTM D 3039 / D 3039 M em função da orientação das fibras.

Tabela 4.1 – Geometria dos corpos-de-prova de CFC recomendada pela ASTM D 3039/ D3039 M.

Orientação	Largura	Comp.	Espessura	Aba (mm)	
das Fibras	(mm)	(mm)	(mm)	Comp.	Espessura
0° unidir.	15	250	1,0	56	1,5
90° unidir.	25	175	2,0	25	1,5
Fios					
descont.	25	250	2,5	–	–

SPAGNOLO JUNIOR (2008) realizou ensaios à tração em cinco corpos-de-prova de CFC unidirecional revestidos com resina epoxídica, com dimensões de 1,5 cm de largura e 25 cm de comprimento (Figura 4.2a). Os ensaios foram realizados na máquina MTS do Laboratório do Departamento de Engenharia Mecânica da PUC–Rio (Figura 4.2b). Foram coladas, com a mesma resina epoxídica, duas (uma em cada lado) pequenas “chapas” de alumínio (placas de fixação) em cada uma das extremidades da amostra. Foram feitas ranhuras em ambos os lados de cada uma das “chapas” para promover uma melhor aderência entre a mesma e o tecido de fibras de carbono, e evitar o escorregamento entre a garra de fixação e o corpo-de-prova.

A resistência última à tração do CFC é dada por:

$$f_{f,u} = \frac{F_{máx,f}}{A_f} \quad (4.1)$$

Ressalta-se que os valores da resistência à tração do CFC foram inferiores aos valores fornecidos pelo fabricante, tal como já verificado em pesquisas anteriores realizadas na PUC–Rio (MACHADO,2004; MENEGHEL,2005; PACHECO,2006; SILVA FILHO,2007), o que indica que os valores fornecidos em catálogos devem ser considerados como valores máximos. Nessas pesquisas foram usados materiais de dois fabricantes nacionais com tecidos de fibras de carbono distintos, e com ensaios realizados em dois laboratórios da PUC–Rio, por diversos técnicos e em datas diferentes.

Os resultados do ensaio são apresentados na Tabela 4.2. Para a determinação da tensão de ruptura a espessura considerada foi a indicada pelo fabricante 0,122 mm.

Tabela 4.2 – Resultados dos ensaios de resistência à tração dos corpos-de-prova com uma camada de CFC.

CP	Força de ruptura (kN)	Tensão de ruptura (MPa)	Deformação específica (‰)	Módulo de Elasticidade (GPa)
1	5,122	2724,26	11,223	242,74
2	5,640	3004,37	11,477	261,77
3	6,777	3562,02	13,411	265,60
4	5,063	2646,86	10,255	258,10
5	5,474	2908,31	11,812	246,22
Média	5,615	2969,16	11,636	255,17



(a)



(b)

Figura 4.2 – (a) Corpos-de-prova de CFC, (b) Ensaio dos corpos-de-prova (SPAGNOLO, 2008).

4.2.2. Aço

As armaduras internas de aço eram formadas por barras de aço CA-50 e CA-60. As barras de $\phi = 5,0$ mm foram utilizadas nas armaduras transversais do pilar e do console; $\phi = 10,0$ mm foram utilizadas na armadura tracionada do console; para a armadura principal dos pilar adotou-se $\phi = 12,5$ mm e $\phi = 6,3$ mm para armadura de costura do consoles.

Os ensaios para determinar as propriedades mecânicas dos aços foram realizados no Laboratório de Estruturas e Materiais e no ITUC da PUC–Rio, de acordo com a NBR 6152:1980.

Para caracterização dos aços foram retiradas três amostras de cada tipo de barra de aço. As barras de $\phi = 5,00$ mm foram ensaiadas no Laboratório de Estruturas e Materiais da PUC–Rio, num pórtico de reação, utilizando-se um atuador hidráulico da marca ENERPAC, com capacidade de 1600 kN e uma célula de carga da marca KYOWA, com capacidade para 2000 kN (Figura 4.3a). As barras foram instrumentadas com extensômetros elétricos de resistência.

As barras de $\phi 6,3$ mm e $\phi 10,0$ mm foram ensaiadas no ITUC da PUC–Rio, utilizando-se uma máquina da marca INSTRON, com capacidade para 100 kN (Figura 4.3b). As barras foram instrumentadas com *clip-gage*. As barras de $\phi 12,5$ mm foram ensaiadas no ITUC da PUC–Rio, utilizando-se um atuador hidráulico da marca AMSLER, com capacidade de 200 kN, visto que a capacidade da máquina INSTRON é muito próxima da capacidade última da amostra da barra de $\phi 12,5$ mm. As barras foram instrumentadas com extensômetro mecânico. Devido há dificuldade na realização das leituras da deformação específica com forças pequenas, só foi possível a aquisição dos dados a partir da força de 80 kN, conforme Figura 4.7.

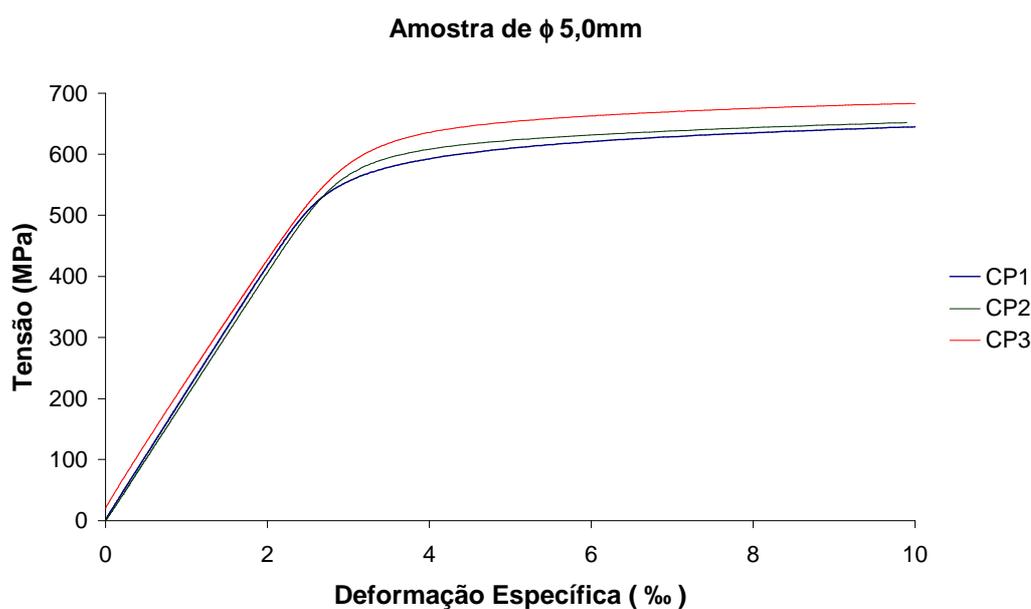
A Tabela 4.3 apresenta os valores da tensão de escoamento, da tensão de ruptura e do módulo de elasticidade dos corpos-de-prova ensaiados. As Figuras 4.4 a 4.7 apresentam os diagramas tensão x deformação específica dos corpos-de-prova, nos quais são mostradas as deformação específica de escoamento $\varepsilon_y = 2 \%$ e a deformação específica última $\varepsilon_{su} \geq 10 \%$.



Figura 4.3 – Ensaio à tração dos corpos-de-prova: (a) Laboratório de Estruturas e Materiais; (b) ITUC.

Tabela 4.3 – Resultados dos ensaios das barras de aço.

	Amostra	f_y (MPa)	f_u (MPa)	E_s (GPa)
ϕ 5,0	CP 1	609,00	679,30	207,50
	CP 2	622,30	678,70	203,80
	CP 3	666,00	711,00	199,10
	Média	632,44	689,65	203,47
	Desvio Padrão	29,82	18,45	4,21
	Coef. Variação(%)	4,71	2,68	2,07
ϕ 6,3	CP 1	661,72	860,65	206,90
	CP 2	667,40	860,16	217,66
	CP 3	662,29	857,08	200,06
	Média	663,80	859,30	208,21
	Desvio Padrão	3,13	1,94	8,87
	Coef. Variação (%)	0,47	0,23	4,26
ϕ 10,0	CP 1	619,82	734,63	200,27
	CP 2	635,17	745,49	208,16
	CP 3	644,36	756,33	228,27
	Média	633,12	745,48	212,23
	Desvio Padrão	12,40	10,85	14,44
	Coef. Variação (%)	1,96	1,46	6,80
ϕ 12,5	CP 1	579,36	695,23	204,75
	CP 2	583,36	707,22	207,10
	CP 3	579,36	703,22	201,41
	Média	580,69	701,89	204,42
	Desvio Padrão	2,31	6,10	2,86
	Coef. Variação (%)	0,40	0,87	1,40

Figura 4.4 – Diagrama tensão x deformação específica para as barras de ϕ 5,0 mm.

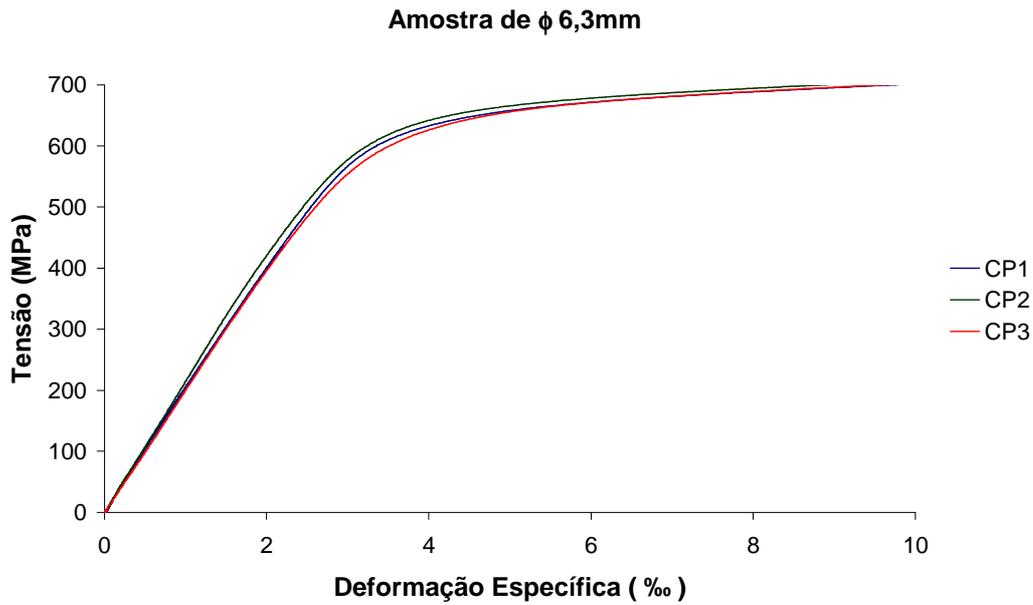


Figura 4.5 – Diagrama tensão x deformação específica para as barras de ϕ 6,3 mm.

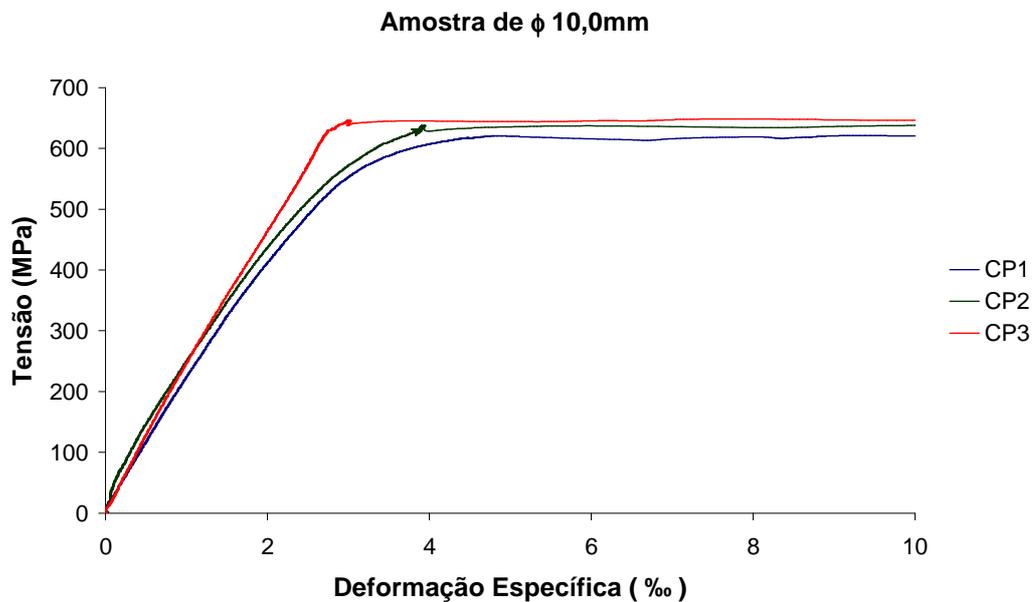


Figura 4.6 – Diagrama tensão x deformação específica para as barras de ϕ 10,0 mm.

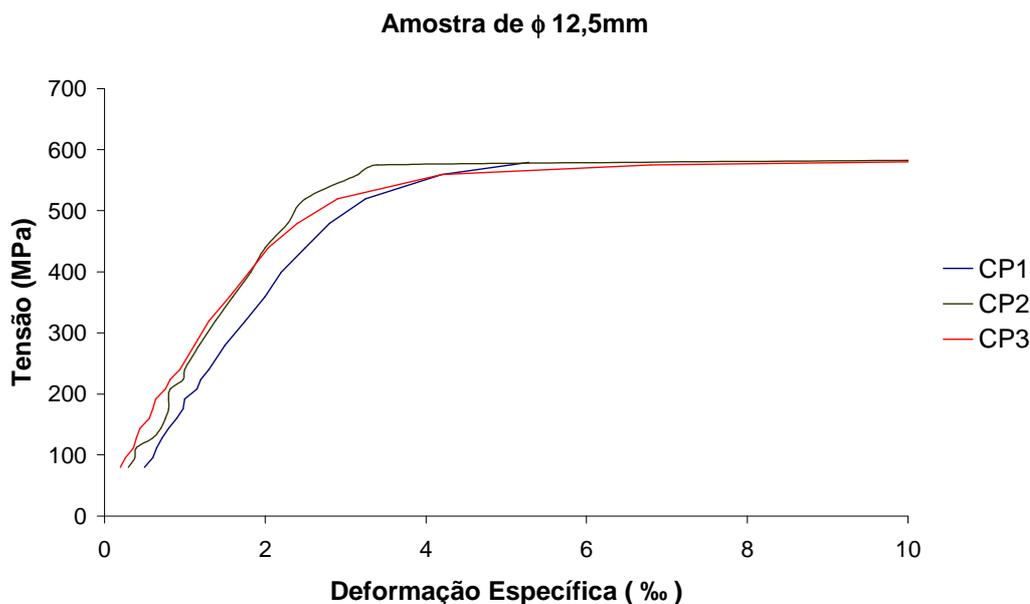


Figura 4.7 – Diagrama tensão x deformação específica para as barras de ϕ 12,5 mm.

4.2.3. Concreto

Para a realização dos ensaios do concreto foram moldados corpos-de-prova cilíndricos com as dimensões 100 mm \times 200 mm, de acordo com as recomendações da NBR 5738:1994. O total de corpos-de-prova moldados foi determinado de modo a permitir a realização dos ensaios de resistência à compressão, resistência à tração por compressão diametral, e módulo de elasticidade.

O concreto utilizado foi fornecido pela empresa CONCRELAGOS CONCRETO LTDA, sendo dosado para atingir uma resistência de 30MPa aos 28 dias, com *slump* de 120 mm \pm 20 mm. A marca do cimento e aditivo não foram fornecidos pela concreteira. A dosagem utilizada é apresentada na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Consumo de materiais por m³ de concreto.

Material	Quantidade
Cimento CP III 40 RS (kg)	315
Brita 0 (kg)	281
Brita 1 (kg)	316
Areia média lavada (kg)	245
Areia fina (kg)	439
Aditivo (l)	1,10

4.2.3.1. Resistência à Compressão

Os ensaios para obtenção da resistência à compressão foram realizados aos 7, 14, 21 e 28 dias e nos dias de ensaio para obter a curva de variação da resistência ao longo do tempo. Na mesma semana dos ensaios dos consoles foram ensaiados três corpos-de-prova. A Figura 4.8 e a Tabela 4.5 apresentam os resultados da evolução da resistência à compressão.

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados na prensa CONTENCO, com capacidade de 2400kN, do Laboratório de Estruturas e Materiais (LEM) da PUC-Rio.

Observa-se que a resistência de dois corpos-de-prova (138 e 142 dias) apresentaram pequeno decréscimo da resistência quando comparados com o corpo-de-prova ensaiado cerca de 20 dias antes, porém, a resistência obtida aos 138 e 142 dias é muito próxima da resistência obtida aos 28 dias. Essa discrepância pode ter como origem alguma deficiência na moldagem, no capeamento ou na cura dos corpos-de-prova. Aos 142 dias foi executado um ensaio de corpo-de-prova para verificar o resultado inferior obtido aos 138 dias, contudo, tal fato se repetiu para o corpo-de-prova que havia sido separado como reserva para dirimir tal tipo de óbice. Ressalta-se que a Tabela 4.5 apresenta os valores da resistência média à compressão de concreto obtida com os resultados de três corpos-de-prova.

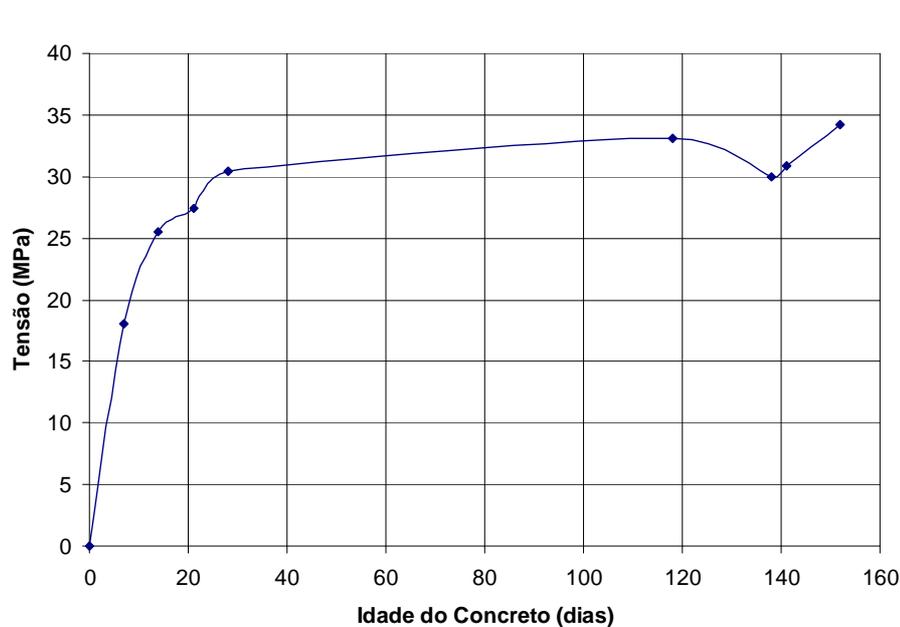


Figura 4.8 – Variação da resistência média à compressão do concreto para diferentes idades.

Tabela 4.5 – Valores médios da resistência à compressão do concreto.

Idade	Amostra	Tensão máxima (MPa)	Média	Desvio Padrão	Consoles
7	CP1	18,6	18,06	0,54	–
	CP2	18,0			
	CP3	17,6			
14	CP1	25,1	25,52	0,40	–
	CP2	25,8			
	CP3	25,7			
21	CP1	25,1	27,42	2,08	–
	CP2	29,1			
	CP3	28,1			
28	CP1	30,3	30,43	2,18	–
	CP2	28,3			
	CP3	32,7			
118	CP1	35,3	33,15	2,61	–
	CP2	34,0			
	CP3	30,2			
138	CP1	28,8	30,02	2,31	RUH1, RUH2 e RUD1
	CP2	28,5			
	CP3	32,7			
141	CP1	30,5	30,87	2,94	REF., RUH3 e RUD2.
	CP2	34,0			
	CP3	28,1			
152	CP1	34,2	34,24	0,84	–
	CP2	33,4			
	CP3	35,1			

4.2.3.2.

Resistência à Tração por Compressão Diametral de Corpos-de-Prova Cilíndricos

Os ensaios para obtenção da resistência à tração do concreto por compressão diametral foram realizados na prensa CONTENCO, com capacidade de 2400 kN, do Laboratório de Estruturas e Materiais (LEM) da PUC–Rio e de acordo com a NBR 7222:1994.

Foram ensaiados três corpos-de-prova cilíndricos com dimensões de 100 mm × 200 mm. A resistência média à tração foi de 3,52 MPa, o desvio padrão de 0,18 e o coeficiente de variação 5,08% (Tabela 4.6 e Figura 4.9).

Tabela 4.6 – Resultados dos ensaios de resistência à tração do concreto por compressão diametral.

Corpo-de-prova	Força última (kN)	$f_{t,D}$ (MPa)
1	106,17	3,37
2	109,79	3,48
3	116,81	3,72
Média	110,92	3,52
Desvio padrão	5,41	0,18
Coef. de variação (%)	4,88	5,08



Figura 4.9 – Ensaio de resistência à tração do concreto por compressão diametral.

4.2.3.3. Módulo de Elasticidade e Diagrama Tensão Deformação Específica

Os ensaios para obtenção do módulo de elasticidade do concreto foram realizados na prensa CONTENCO com capacidade de 2400 kN, do Laboratório de Estruturas e Materiais (LEM) da PUC – Rio e de acordo com a NBR 8522:1984.

Foram ensaiados três corpos-de-prova, instrumentados com dois extensômetros elétricos de resistência colados à meia altura em lado opostos.

Foi adotado o plano de carga 3. O carregamento aplicado é crescente à velocidade de $0,5 \pm 0,05 \text{ MPa/s}$, efetuando-se pausa de 60 segundos às tensões seguintes, após as quais se devem obter as correspondentes leituras médias de deformações em tempos máximos de 60 segundos. Prosseguiu-se o carregamento nessa velocidade até a ruptura.

Tabela 4.7 – Resultados dos ensaios de módulo de elasticidade.

Corpo-de-prova	Força última (kN)	Tensão máxima (MPa)	$\epsilon_{c,max}$ (‰)	$E_{sec,0,3}$ (GPa)
1	241,74	30,78	2,05	31,28
2	288,56	36,74	2,28	27,50
3	215,98	27,50	2,39	23,59
Média	248,76	31,67	2,24	27,49
Desvio padrão	36,79	4,68	0,17	5,51
Coef. de variação (%)	14,79	14,79	7,75	20,04

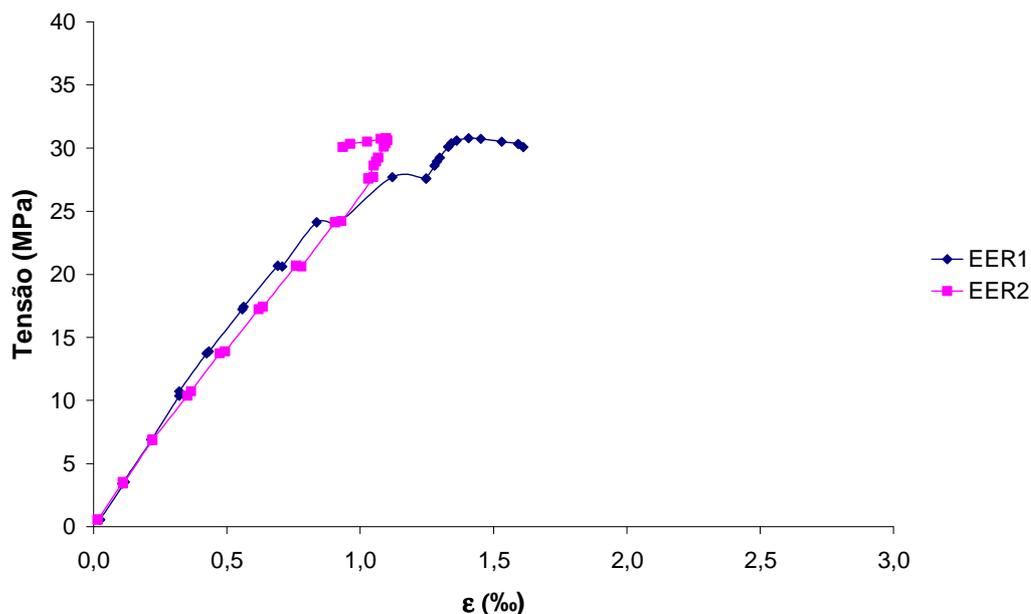


Figura 4.10 – Diagrama tensão x deformação específica do corpo-de-prova 1.

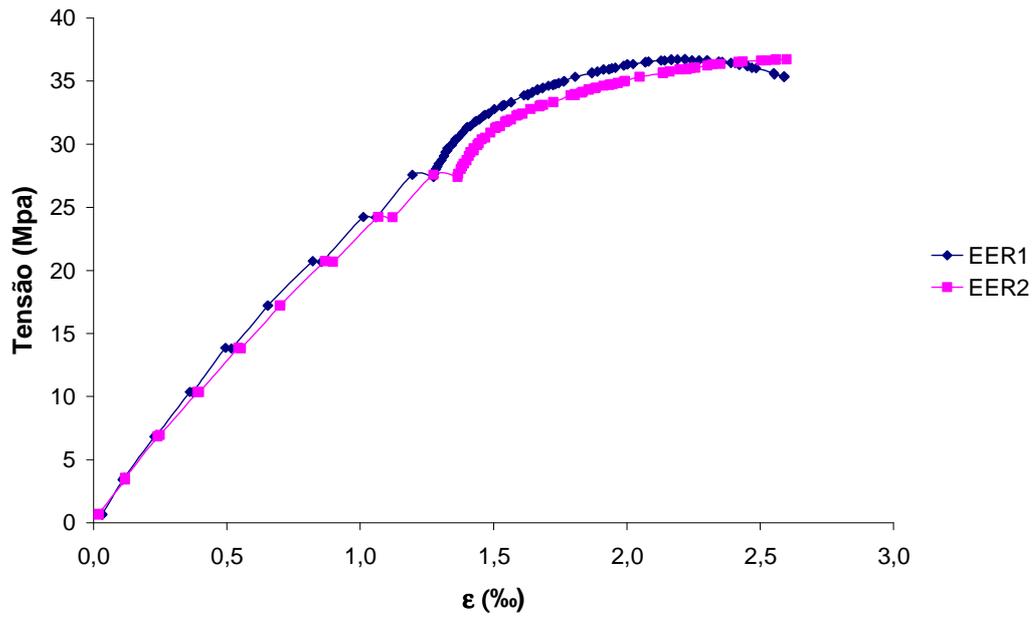


Figura 4.11 – Diagrama tensão x deformação específica do corpo-de-prova 2.

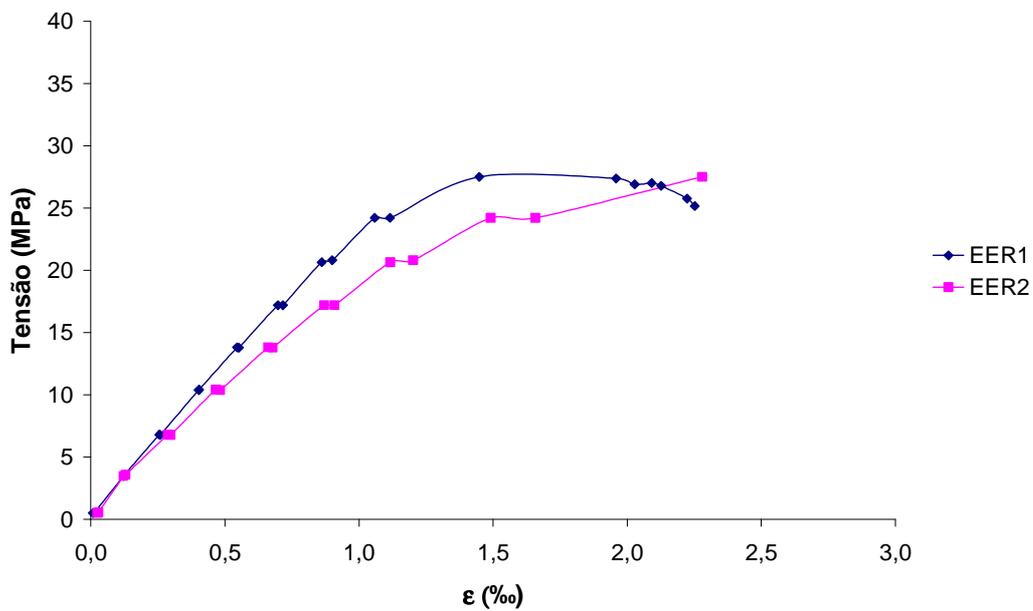


Figura 4.12 – Diagrama tensão x deformação específica do corpo-de-prova 3.

4.3. Programa Experimental

4.3.1. Descrição dos Consoles

As dimensões de todos os consoles curtos, a taxa de armadura interna, a resistência à compressão do concreto e a taxa de aplicação da força no pilar foram mantidas constantes.

As variáveis principais são:

- orientação do reforço em CFC: horizontal e diagonal;
- número de camadas de CFC, sendo uma camada de 150 mm, duas camadas de 75 mm e três camadas de 75 mm.

Um dos consoles não foi reforçado com o CFC de modo a se ter um console de referência, sendo os demais divididos em uma série de três e uma série de dois, uma com reforço horizontal e outra com reforço diagonal. A Figura 4.13 apresenta um esquema detalhando as duas séries dos consoles e o console de referência.

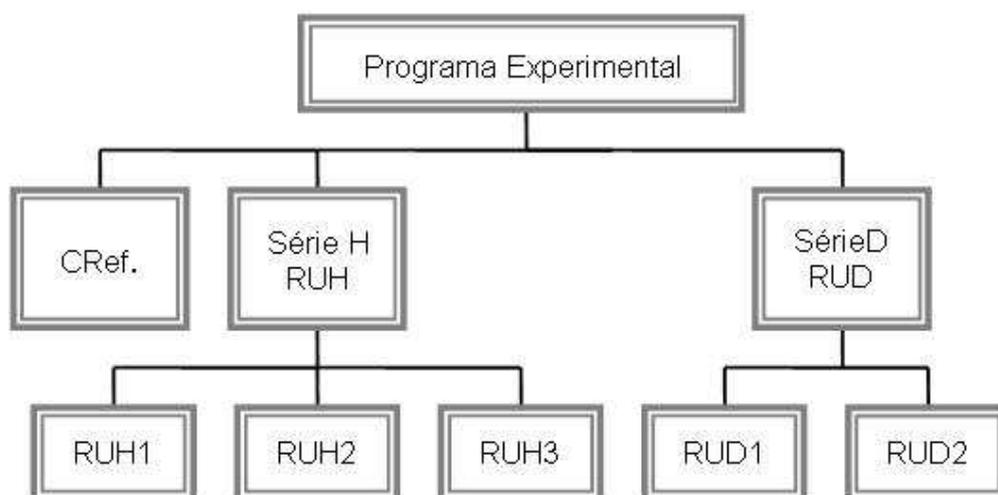


Figura 4.13 – Fluxograma das séries dos consoles.

Na notação mostrada na Figura 4.13 as siglas significam:

- CRef – console de concreto armado de referência (somente armadura interna);
- RUH – console de concreto armado com reforço em estribo aberto em **U** na direção horizontal (direção da armadura principal do aço);

- RUD – console de concreto armado com reforço em estribo aberto em **U** na diagonal (costurando a fissura na junção pilar–console).

A numeração após as letras indica a quantidade de camadas de CFC usadas no reforço dos consoles.

4.3.2. Características Geométricas

Os consoles curtos tem as dimensões apresentadas na Figura 4.14, realçando-se que essas dimensões foram adotadas tendo-se como referência NAEGELI (1988).

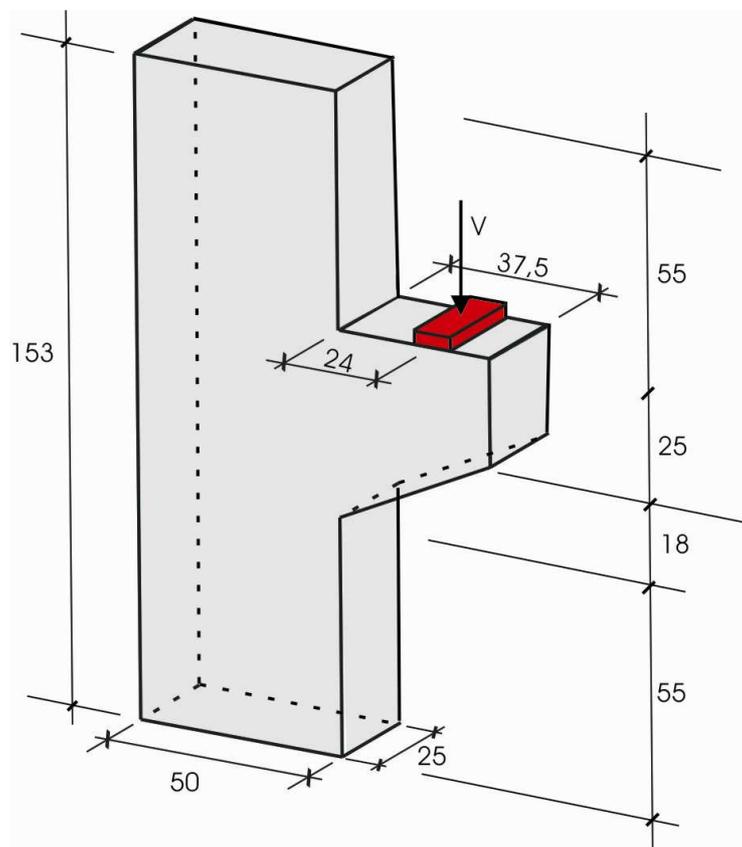


Figura 4.14 – Geometria dos consoles (medidas em cm).

A armadura principal do pilar foi composta por $10\phi 12,5\text{mm}$ e uma armadura transversal $\phi 5,0\text{mm}$. O console foi composto por uma armadura do tirante composta de dois laços abertos de $2\phi 10\text{mm}$, uma armadura transversal de $\phi 5,0\text{mm}$ e uma armadura de costura de $\phi 6,3\text{mm}$ (Figura 4.15). A armadura adotada visou estudar a ruptura por flexão.

Foi adotada a razão $a/d = 0,59$ (razão entre a distância do centro da placa sobre a qual aplicada a força, $a = 240$ mm, e a altura útil do console $d = 405$ mm). A largura do elemento era de 85 mm.

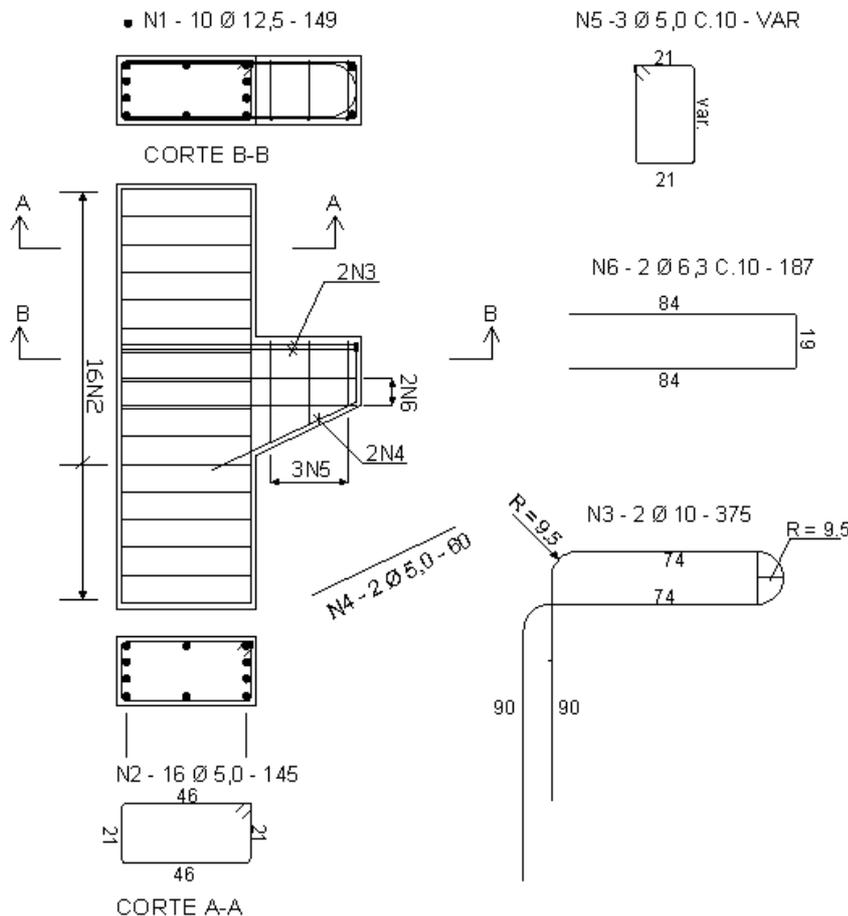


Figura 4.15 – Armadura de aço dos consoles.

Os três consoles da série H, RUH1, RUH2 e RUH3 apresentam a mesma armadura interna de aço que a do console de referência, sendo o reforço de CFC formado por uma camada com 150 mm, duas camadas de 75 mm e três camadas de 75 mm de largura, respectivamente. O reforço foi executado de modo a envolver o console, sendo ancorado 100 mm após ultrapassar o eixo do pilar (Figura 4.16).

Os dois consoles da série D, RUD1 e RUD2 apresentam a mesma armadura interna de aço que o console de referência, sendo o reforço de CFC formado por uma camada com 150 mm e duas camadas de 75 mm de largura, respectivamente. O reforço foi executado de modo a envolver o console, sendo ancorado a 150 mm a partir da junção console-pilar (Figura 4.16).

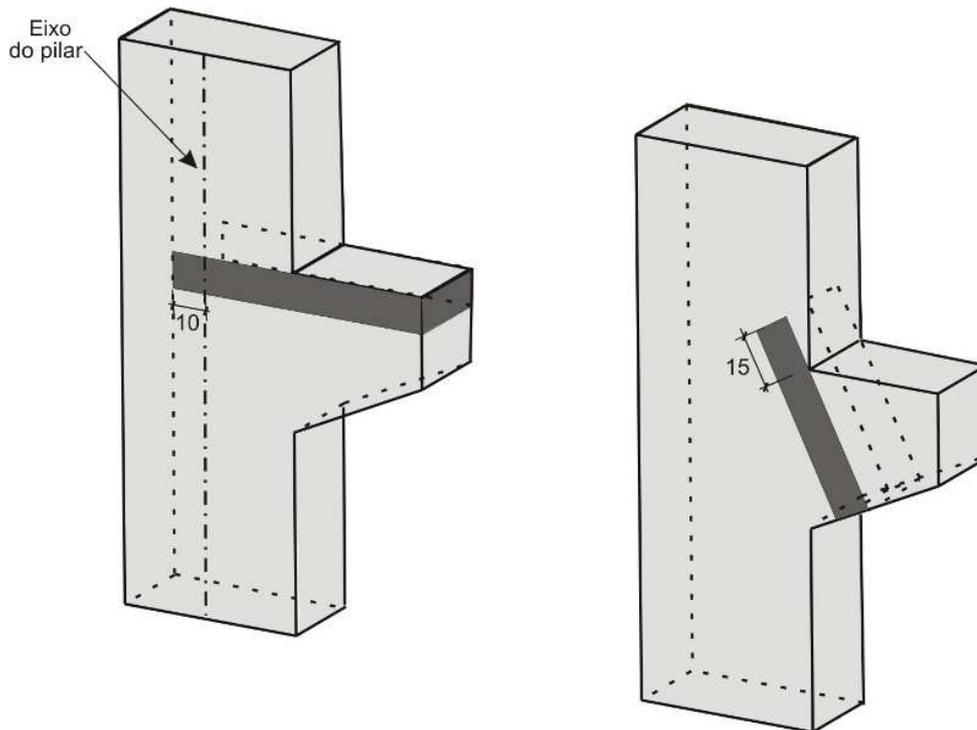


Figura 4.16 – Posições do reforço em CFC: série H e série D.

4.4. Aplicação do Sistema de Reforço com CFC

A aplicação do reforço com CFC é bem simples, porém, devido ao uso inadequado das ferramentas pode ocorrer o deslocamento prematuro do reforço. Portanto, a fase de preparação e colagem torna-se primordial para um bom desempenho da estrutura reforçada. A superfície deve estar sã, isenta de qualquer partícula solta, pinturas, desmoldantes, contaminações de graxa ou de quaisquer outros materiais estranhos.

O manual técnico da SIKA (2008) recomenda:

- a umidade do substrato deve ser inferior a 4%;
- a idade mínima do concreto deve ser de 28 dias;
- a resistência de aderência à tração do adesivo na superfície do substrato a ser reforçado deve ser superior a 1,5 MPa;
- as quinas e bordas de vigas e pilares devem ser arredondados com um raio de pelo menos 12,5 mm.

Inicialmente foi necessário regularizar a superfície com o uso da talhadeira (Figura 4.17a) e escova de aço (Figura 4.17b). As bordas foram arredondadas com a talhadeira para que não cortassem o CFC. Após esse processo foi utilizado o aspirador de pó para retirar qualquer poeira existente na superfície sobre a qual foi colado o CFC (Figura 4.17c).



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)

Figura 4.17 – Preparação das superfícies.

Realizada a mistura da resina epóxica na proporção de 1:4, a mesma foi aplicada à na superfície do concreto e na superfície da fibra (Figuras 4.17d e 4.17e). Após ocorreu a utilização do rolo (Figura 4.17f) e a colocação do tecido na superfície (Figuras 4.17g e 4.17h).

4.5. Instrumentação

4.5.1. Extensômetros Elétricos de Resistência

4.5.1.1. Aço

Nas armaduras de aço internas dos consoles foram colados seis extensômetros elétricos de resistência (EER) da marca EXCEL, para possibilitar o acompanhamento das deformações específicas dessas armaduras, sendo quatro EER colados na armadura do tirante e dois na armadura de costura (Figura 4.18).

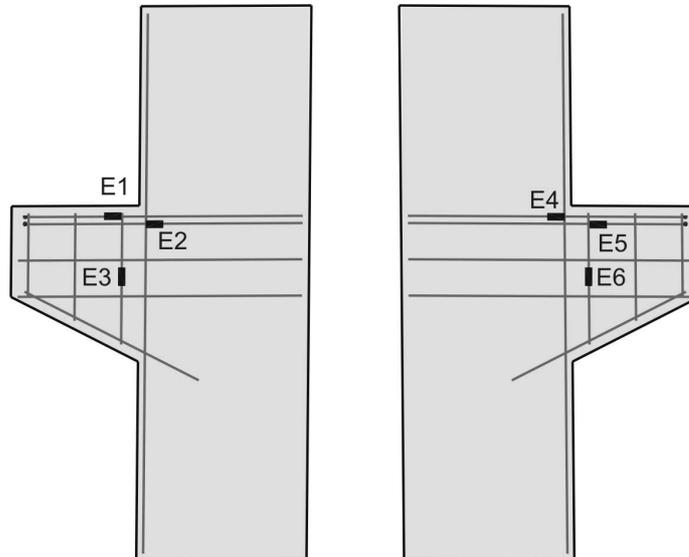


Figura 4.18 – Instrumentação nas armaduras internas de aço.

4.5.1.2. Concreto e CFC

Cada console foi instrumentado com duas rosetas para medir as deformações específicas no concreto (Figura 4.19).

No CFC os EER foram colados na direção das fibras, sendo utilizados seis EER (Figura 4.20).

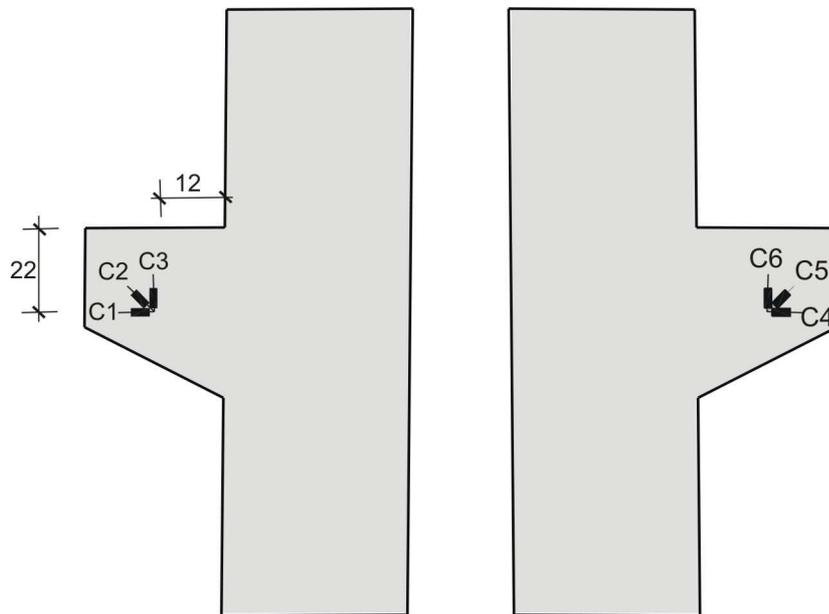


Figura 4.19 – Posições das rosetas no CFC dos consoles das séries H e D (medidas em centímetros).

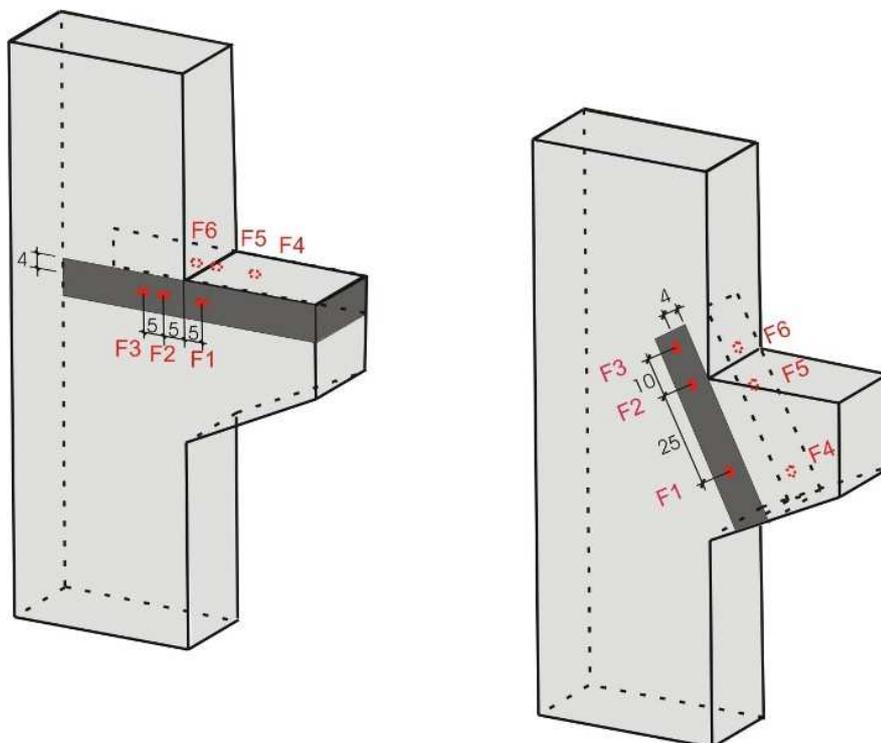


Figura 4.20 – Posições dos ERR no CFC dos consoles das séries H e D (medidas em centímetros).

4.5.2. Transdutor de Deslocamentos

Com o objetivo de acompanhar o deslocamento do console, foram instalados três transdutores de deslocamento (TD) da marca GEFRAM, com precisão de 0,02%. A Figura 4.21 mostra as posições em que se encontram os TD.

- TD1: localizada na parte superior do pilar;
- TD2: localizada na parte inferior do pilar;
- TD3: no console.

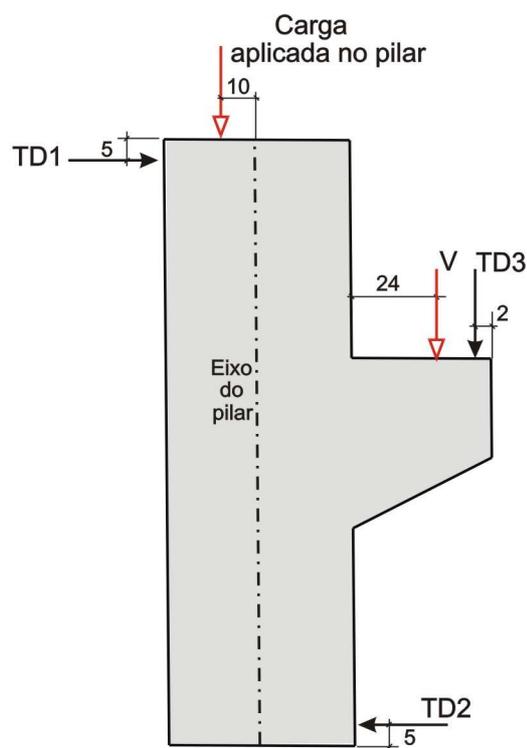


Figura 4.21 – Posições das régulas de deslocamento linear (medidas em centímetros).

4.6. Esquema de Ensaio

Para a realização dos ensaios dos consoles foi preciso esquematizar uma estrutura que evitasse a rotação indesejada e favorecesse um bom funcionamento do conjunto (Figura 4.22). Adotou-se uma excentricidade de 10 cm em relação ao eixo do pilar para aplicação da força no pilar.

Os elementos utilizados para preparação e realização do ensaio foram:

- uma viga metálica formada por perfil I utilizada para travar a parte inferior da peça apoiada nos pilares do pórtico;

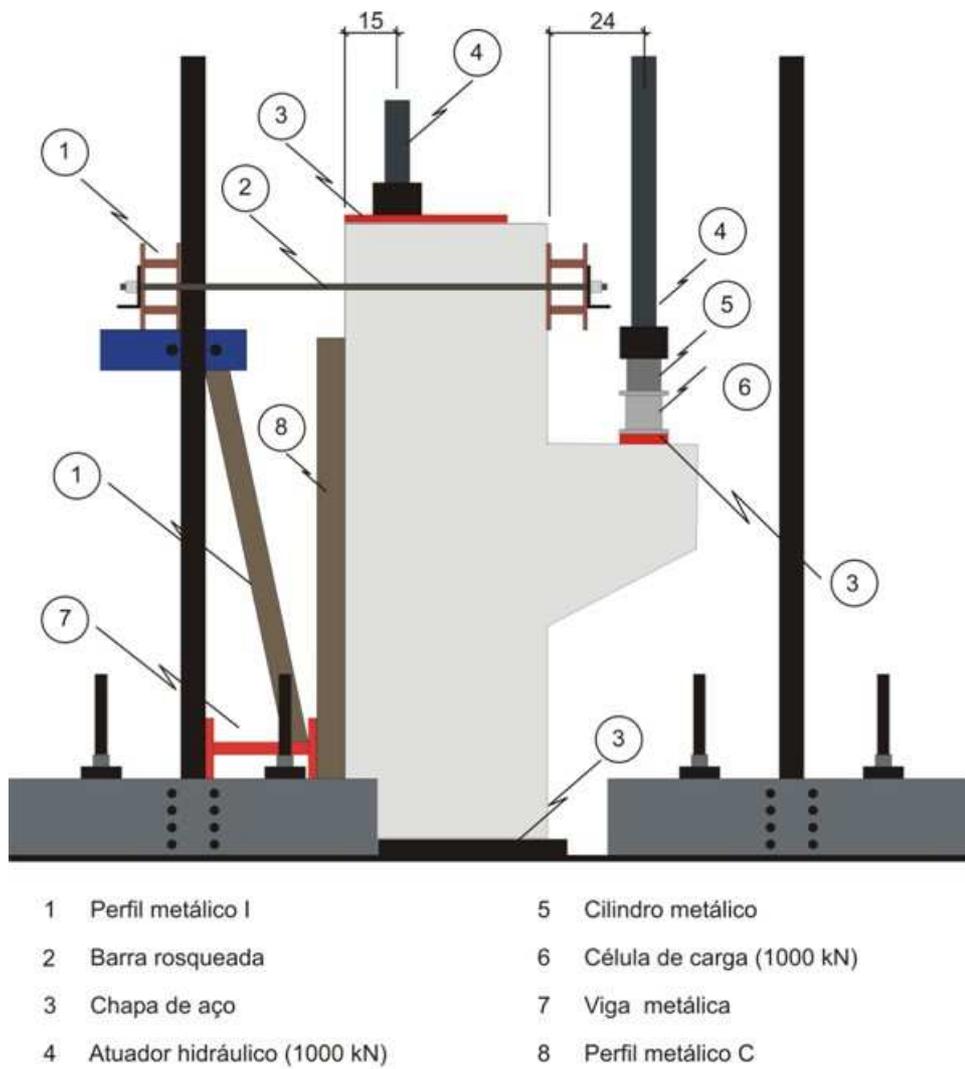


Figura 4.22 – Esquema do ensaio.



Figura 4.23 – Esquema de ensaio do console RUD2.

- um perfil metálico C localizado ao longo da altura do pilar no lado oposto ao console;
- seis barras rosqueadas ϕ 25 mm CA-50, utilizadas como tirantes para travar a parte superior do pilar;
- seis perfis I, sendo quatro para o suporte das barras rosqueadas e dois para auxiliar o travamento da viga metálica;
- duas chapas de aço utilizadas para distribuir a força transmitida do pilar para a laje de reação;
- duas chapas de aço utilizadas para distribuir a força aplicada pelos atuadores hidráulicos no pilar e no console;
- dois atuadores hidráulicos, ambos da marca AMSLER com capacidade de 1000 kN, utilizados para aplicar a força no pilar e no console; a alimentação foi realizada por meio de bombas hidráulicas de pressão controlada da marca AMSLER;
- duas células de carga com capacidade igual à capacidade dos atuadores hidráulicos;
- duas barras soldadas ϕ 25 mm CA-50 com a finalidade de travar o perfil C evitando o giro da estrutura.

4.7. Execução dos Ensaios

Os Consoles foram ensaiados no Laboratório de Estruturas e Materiais da PUC-Rio (LEM).

O carregamento no pilar foi aplicado por meio de um atuador hidráulico com capacidade de 1000 kN. Para aplicação do carregamento no console foram seguidos os procedimentos:

- inicialmente foi aplicada uma força no pilar de acomodação igual a 1/3 da força prevista para o início da fissuração, visando-se verificar o comportamento da instrumentação e da montagem;
- o carregamento no pilar foi de 800 kN aplicado em incrementos de 50 kN;
- o carregamento no console foi aplicado em incrementos de 10 kN até a ruptura.

O carregamento foi aplicado de forma similar em todos os consoles.

Para aquisição dos dados foram utilizados dois equipamentos da NATIONAL INSTRUMENTS, sendo o sistema de aquisição de dados (*combo*)

modelo NI PXI-1052 com 4 *slots* PXI e 8 *slots* SCXI, controlado pelo *software* computacional LABVIEW 8.2. O controle da força no pilar e no console foi realizado por dois transdutores de pressão ligados à bombas hidráulicas de pressão.

A Figura 4.24 a seguir apresenta fotos dos ensaios de cada console, (a) console de referência, (b) console RUH1, (c) console RUH2, (d) console RUH3, (e) console RUD1 e (f) console RUD2.



(a) referência



(b) RUH1



(c) RUH2



(d) RUH3



(e) RUD1



(f) RUD2

Figura 4.24 – Consoles ensaiados.