

3- PROGRAMA EXPERIMENTAL

3.1.Características dos modelos ensaiados

3.1.1.Parâmetros e variáveis

A Figura 3.1 apresenta as características geométricas dos espécimes.

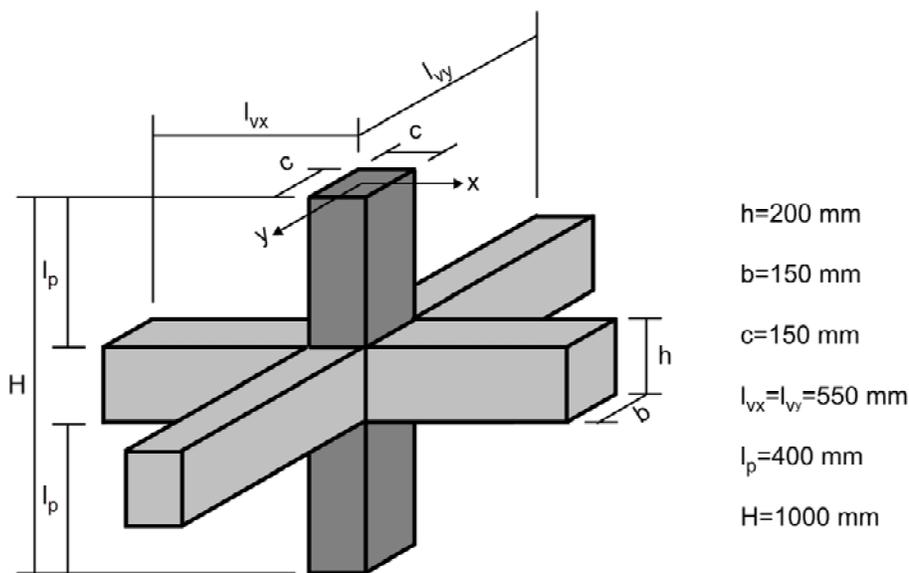


Figura 3.1 – Características geométricas dos espécimes.

As variáveis principais estudadas são:

- Confinamento por vigas: existência de vigas interceptando o pilar em uma ou nas duas direções.
- Taxa da armadura ρ : é a taxa de armadura longitudinal da viga obtida para a área de aço A_s da armadura tracionada da viga.
- Deformação específica inicial da armadura ε_{inic} : é a deformação específica na armadura tracionada da viga, na interface viga-pilar, obtida após a aplicação de momento na viga.

As dimensões dos espécimes, tais como seção do pilar e armadura da viga, estão limitadas as condições dos equipamentos disponíveis no laboratório.

3.1.2. Programa experimental

A nomenclatura dos espécimes é baseada na descrição das variáveis estudadas. A Figura 3.2 apresenta o significado de cada parte dessa nomenclatura.

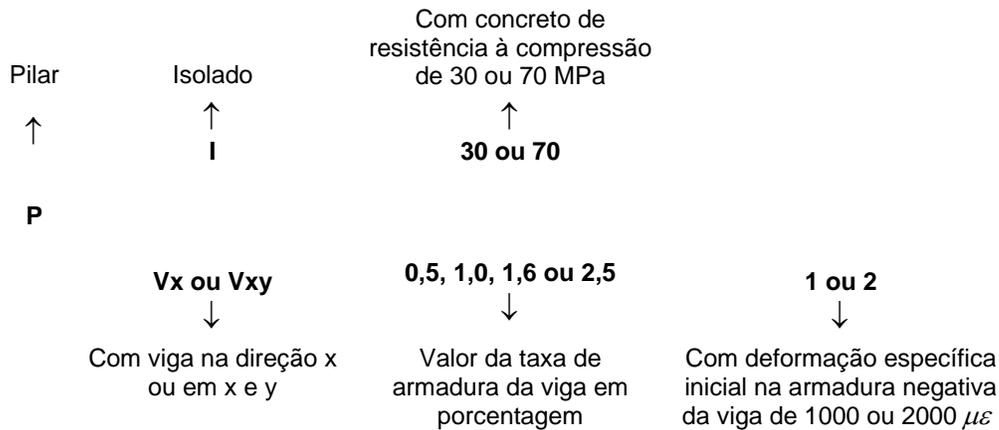


Figura 3.2 – Significado da nomenclatura do espécime.

A Tabela 3.1 apresenta as características dos espécimes. Este programa experimental tem como objetivo verificar a influência da armadura longitudinal da viga no confinamento do nó e também no local de ruptura (se ocorre no nó ou fora dele). Isto é feito por meio do ensaio de espécimes com diferentes deformações específicas iniciais ϵ_{inic} na armadura longitudinal da viga.

Tabela 3.1 – Características dos espécimes.

f_{cc}/f_{cs}	$A_{s,viga}$	ϵ_{inic}	P	P+V _x	P+V _x +V _y
(MPa/MPa)	(mm)	($\mu\epsilon$)			
30/30	0	0	PI-30	-	-
70/70	0	0	PI-70	-	-
70/30	3 ϕ 8.0	1000	-	PVx-0,5-1	PVxy-0,5-1
		2000	-	PVx-0,5-2	PVxy-0,5-2
	6 ϕ 8.0	1000	-	PVx-1,0-1	PVxy-1,0-1
		2000	-	PVx-1,0-2	PVxy-1,0-2
	6 ϕ 10.0	1000	-	PVx-1,6-1	-
		2000	-	PVx-1,6-2	-
6 ϕ 12.5	1000	-	PVx-2,5-1	-	
	2000	-	PVx-2,5-2	-	

3.2.Fôrmas

As fôrmas são construídas com compensado plastificado com espessura de 17 mm e enrijecidas por sarrafos de madeira Pinus de dimensão 25x50 mm. Os tipos de fôrmas utilizadas são apresentados na Figura 3.3.

Nos espécimes com o pilar interceptado por viga em uma direção, para assegurar que as faces das vigas e do pilar fiquem alinhadas durante a concretagem, são fixadas cantoneiras de aço de dimensão 20 x 30 mm com espessura de 2 mm ligando a parte lateral dessas duas fôrmas, como indicado na Figura 3.4 (a). Essa cantoneira também é usada para alinhar e enrijecer a ligação entre as vigas quando o pilar é interceptado por viga nas duas direções (Figura 3.4 (b)).



(a) Pilar isolado



(b) Pilar com viga em uma direção



(c) Pilar com viga nas duas direções

Figura 3.3 – Fotografias das fôrmas: (a) Pilar isolado, (b) Pilar com viga em uma direção e (c) Pilar com viga nas duas direções.



(a) Pilar com viga em uma direção



(b) Pilar com viga nas duas direções

Figura 3.4 – Utilização de cantoneiras de aço na fôrma: (a) Pilar com viga em uma direção, (b) Pilar com viga nas duas direções.

3.3. Materiais

3.3.1. Concreto

Os concretos utilizados na confecção dos espécimes são dosados para atingir uma resistência à compressão de 30 MPa e 70 MPa aos 28 dias. Em cada concretagem são moldados corpos de provas cilíndricos com dimensões de 100 x 200mm, em número suficiente para se obter os valores do módulo de elasticidade, da resistência à tração e à compressão do concreto aos 28 dias, além da resistência à compressão no dia do teste dos espécimes.

Os traços dos concretos são apresentados na Tabela 3.2, a qual indica o peso de cada material para se obter 1m³ de concreto.

Tabela 3.2 – Traços dos concretos – Quantidade para 1m³.

Material	30 MPa	70MPa
Cimento CP-V-ARI (Ciminas) (kg)	302	440
Silica Ativa (Silmix) (kg)	-	36
Areia Natural Grossa (kg)	831	710
Brita de rocha Gnaisse com $d_{máx} = 19$ mm (kg)	886	1075
Água (litros)	211	143
Hiperplastificante (Adiment premium) (litros)	-	8,75
Slump (mm)	80 ± 10	120 ± 10

3.3.2. Aço

As barras de aço utilizadas nas armaduras são vergalhões do tipo CA-50 com diâmetros de 5, 8, 10 e 12.5 mm. Estas barras são provenientes de um único lote adquirido na Companhia Gerdau S.A.

3.4. Detalhamento dos modelos

A Figura 3.5 apresenta as seções transversais das vigas, com suas respectivas armaduras, longitudinal e transversal, além da distribuição da armadura transversal ao longo da viga. A quantidade da armadura transversal é adotada para não ocorra uma ruptura prematura por cisalhamento da viga. O detalhamento das armaduras da viga e do pilar, com as suas dimensões e o valor do recobrimento do concreto, é apresentado no Anexo C.

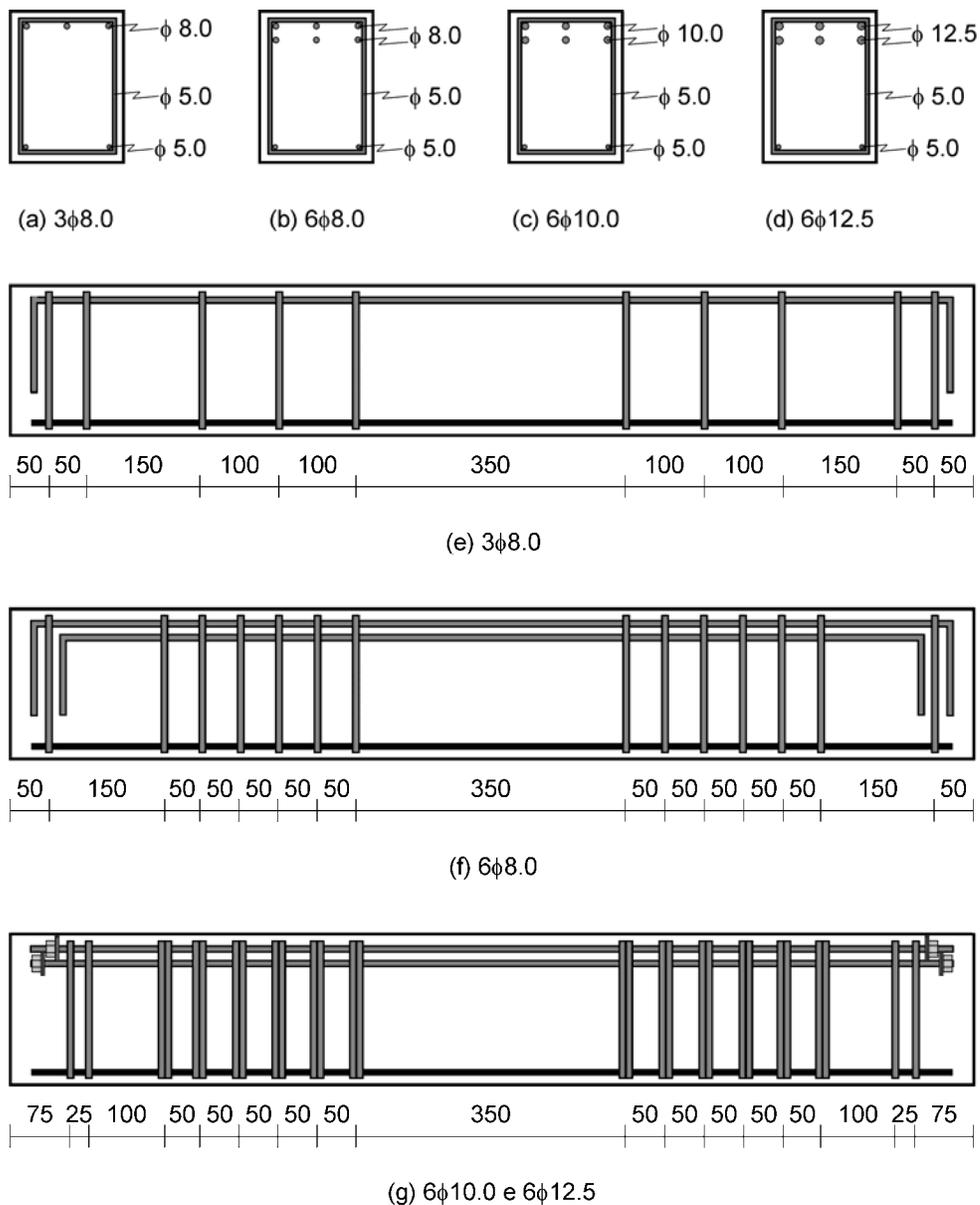


Figura 3.5 – Seção transversal da viga: (a) $3\phi 8$, (b) $6\phi 8$, (c) $6\phi 10$ e (d) $6\phi 12.5$; distribuição da armadura transversal: (e) $3\phi 8$, (f) $6\phi 8$ e (g) $6\phi 10$ e $6\phi 12.5$ (medidas em mm).

Em todos os espécimes há espaçadores plásticos para concreto armado, com os espaçamentos de 10, 15 e 20 mm para a lateral da viga, parte inferior da viga e laterais do pilar respectivamente.

As seções transversais dos pilares, com a descrição das armaduras longitudinal e transversal na região da cabeça do pilar e na região central do pilar, são apresentadas na Figura 3.6, bem como a distribuição da armadura transversal, que é a mesma em todos os pilares. A armadura na região da cabeça do pilar serve para evitar uma ruptura prematura localizada nesta região.

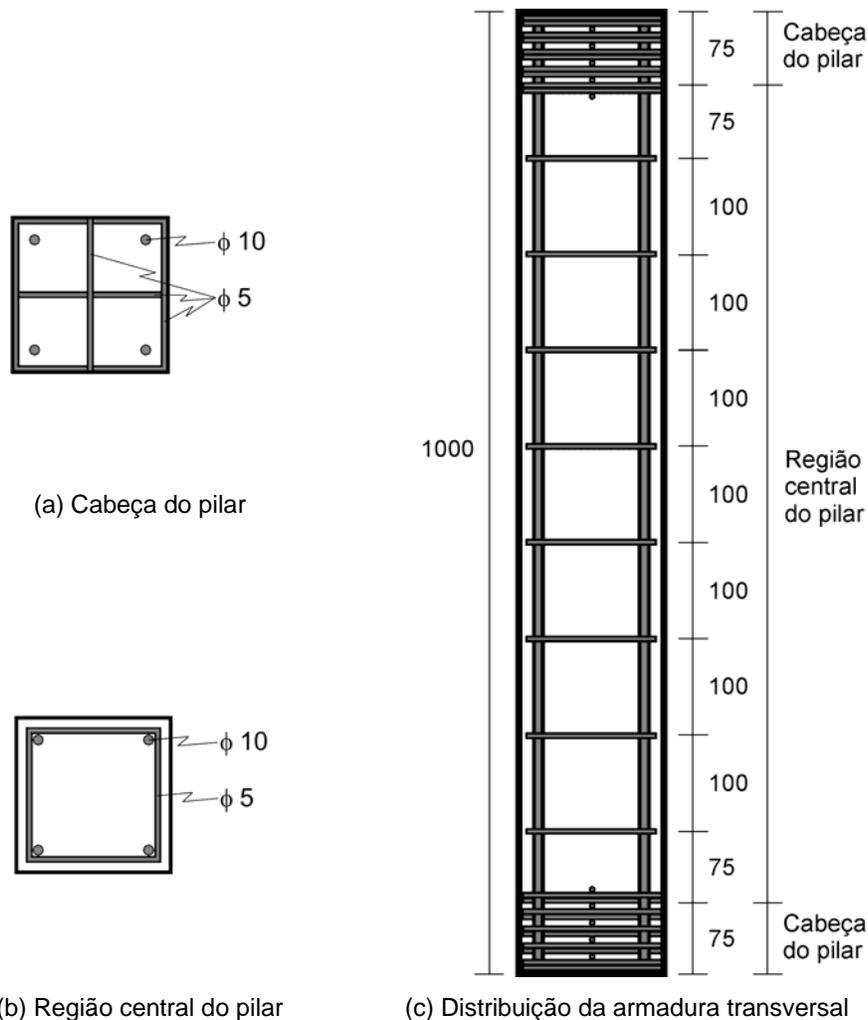


Figura 3.6 – Armadura dos pilares: (a) cabeça do pilar, (b) região central do pilar e (c) distribuição da armadura transversal (medidas em mm).

3.5. Instrumentação

Nos espécimes de pilares interceptados por viga em uma ou duas direções, somente a armadura de uma viga é instrumentada em cada direção. O valor da deformação específica do aço é obtido com o uso de extensômetros

elétricos da marca EXCEL, tipo PA-06-250BA-120-L com 10 mm de comprimento.

A deformação específica do concreto é medida em duas faces opostas do pilar, no sentido da carga excêntrica aplicada no pilar, por um par de extensômetros elétricos de resistência. Nos primeiros ensaios os extensômetros eram da marca KYOWA, tipo KC-70-A1-11 ou KC-120-A1-11 com 67 mm e 120 mm de comprimento, respectivamente. Nos demais ensaios são utilizados extensômetros da marca EXCEL, tipo PA-06-201BA-120L com 60 mm de comprimento.

As Figuras 3.7, 3.8 e 3.9 apresentam a distribuição dos extensômetros conforme descrito abaixo:

- Extensômetros no concreto: SG-01, SG-02, SG-03 e SG-04 (Figura 3.7);
- Extensômetros na armadura tracionada da viga: SG-05, SG-06, SG-09, SG-10, SG-21, SG-22, SG-25 e SG-26 (Figura 3.8 e 3.9);
- Extensômetros na armadura comprimida da viga: SG-07, SG-08, SG-11, SG-12, SG-23, SG-24, SG-27 e SG-28 (Figura 3.8 e 3.9);
- Extensômetros na armadura longitudinal do pilar: SG-13, SG-14, SG-19 e SG-20 (Figura 3.9);
- Extensômetros nos estribos do nó: SG-15; SG-16; SG-17 e SG-18 (Figura 3.9).

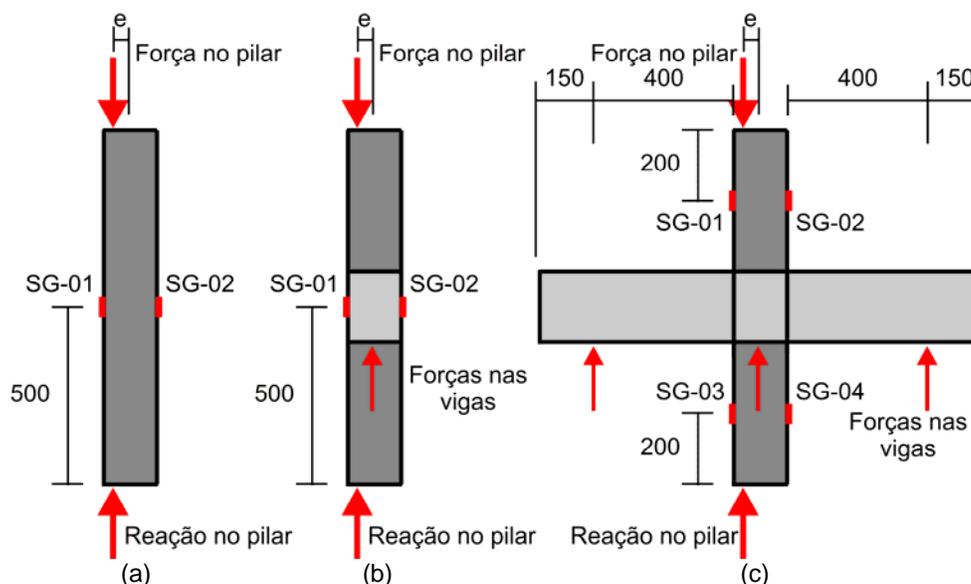


Figura 3.7 – Distribuição dos extensômetros no concreto na posição de ensaio (medidas em mm): (a) pilar isolado, (b) pilar com viga em uma direção, (c) pilar com vigas nas duas direções.

- TD no centro do pilar superior: 01 e 04;
- TD no centro do nó: 02;
- TD no centro do pilar inferior: 03 e 05;
- TD na parte superior de cada viga, no eixo de aplicação de carga na viga: 06, 07, 08 e 09.

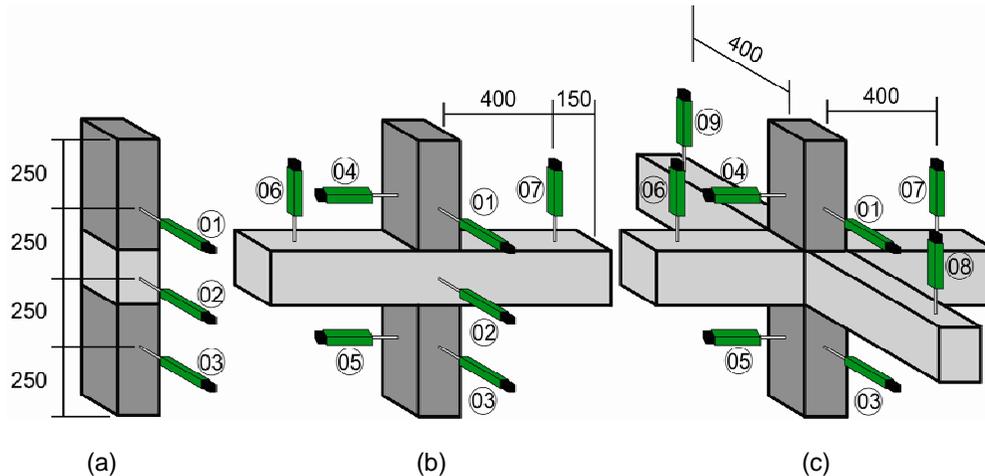


Figura 3.10 – Posicionamento dos transdutores de deslocamentos (medidas em mm): (a) Pilar isolado, (b) Pilar com viga em uma direção, (c) Pilar com viga nas duas direções.

Na terceira série de testes, só com espécimes com viga em uma direção, ocorrem mudanças nas posições dos transdutores, como visto na Figura 3.11 e conforme a seguinte distribuição:

- TD no centro do pilar superior: 01;
- TD no centro do nó: 02;
- TD no centro do pilar inferior: 03;
- TD na parte superior de cada viga, ao lado do pilar superior: 04 e 06;
- TD na parte superior de cada viga, no eixo de aplicação de carga na viga: 05 e 07;
- TD no ponto do sistema de aplicação de carga no pilar em contato com a extremidade do pilar superior: 08.

As cargas aplicadas pelos atuadores hidráulicos no pilar e nas vigas são obtidas por meio de dois transdutores de pressão com capacidade de 400 e 300 bar, respectivamente. Ambos os transdutores são marca GEFRAM, com cada um deles ligado a sua respectiva bomba hidráulica de pressão controlada.

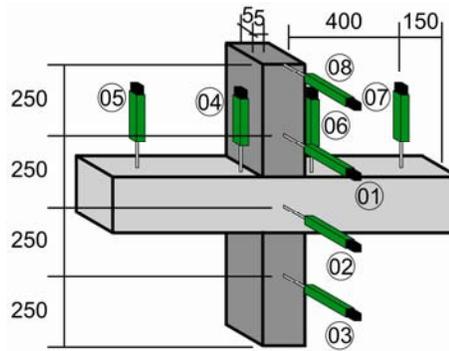


Figura 3.11 – Posicionamento dos transdutores de deslocamentos nos espécimes da terceira série de ensaios (medidas em mm).

3.6. Procedimento de preparação e realização dos ensaios

A montagem do ensaio é desenvolvida para que todos os ensaios sejam realizados da mesma maneira. As Figuras 3.12 e 3.13 apresentam os desenhos dos espécimes com viga em uma direção e nas duas direções, respectivamente, posicionados para o teste, com a indicação dos elementos utilizados. Os elementos constituintes do ensaio são apresentados no Anexo D, juntamente com as fotografias dos espécimes no decorrer da pesquisa.

O procedimento para a preparação dos ensaios consiste primeiramente no posicionamento do espécime após girá-lo em um ângulo de 180 graus de acordo com o eixo do pilar no momento da concretagem. Nivelar e alinhar o espécime utilizando perfis fechados, com barras rosqueadas que atravessavam os perfis na sua altura média, apoiados no pórtico de reação. Estas barras facilitam o ajuste do pilar na sua posição correta e evitam que a extremidade em que a carga excêntrica do pilar é aplicada se desloque nesse sentido.

Em seguida é posicionada uma chapa metálica soldada numa viga metálica para distribuir a carga proveniente dos dois atuadores hidráulicos com capacidade de 1000kN. Essa viga, por sua vez, é travada por vigas de madeira. Quando o espécime possui como característica a aplicação de carga na viga, os atuadores hidráulicos com capacidade de 100kN são posicionados a 400mm da face do pilar.

Os deslocamentos das extremidades do pilar são restringidos. Na extremidade inferior o espécime está apoiado em uma chapa metálica que impede a translação dessa extremidade. Na extremidade superior as vigas de madeira restringem o deslocamento e a rotação da viga metálica que transmite a carga dos atuadores hidráulicos para o pilar, enquanto as barras rosqueadas restringem a translação da extremidade superior do pilar.

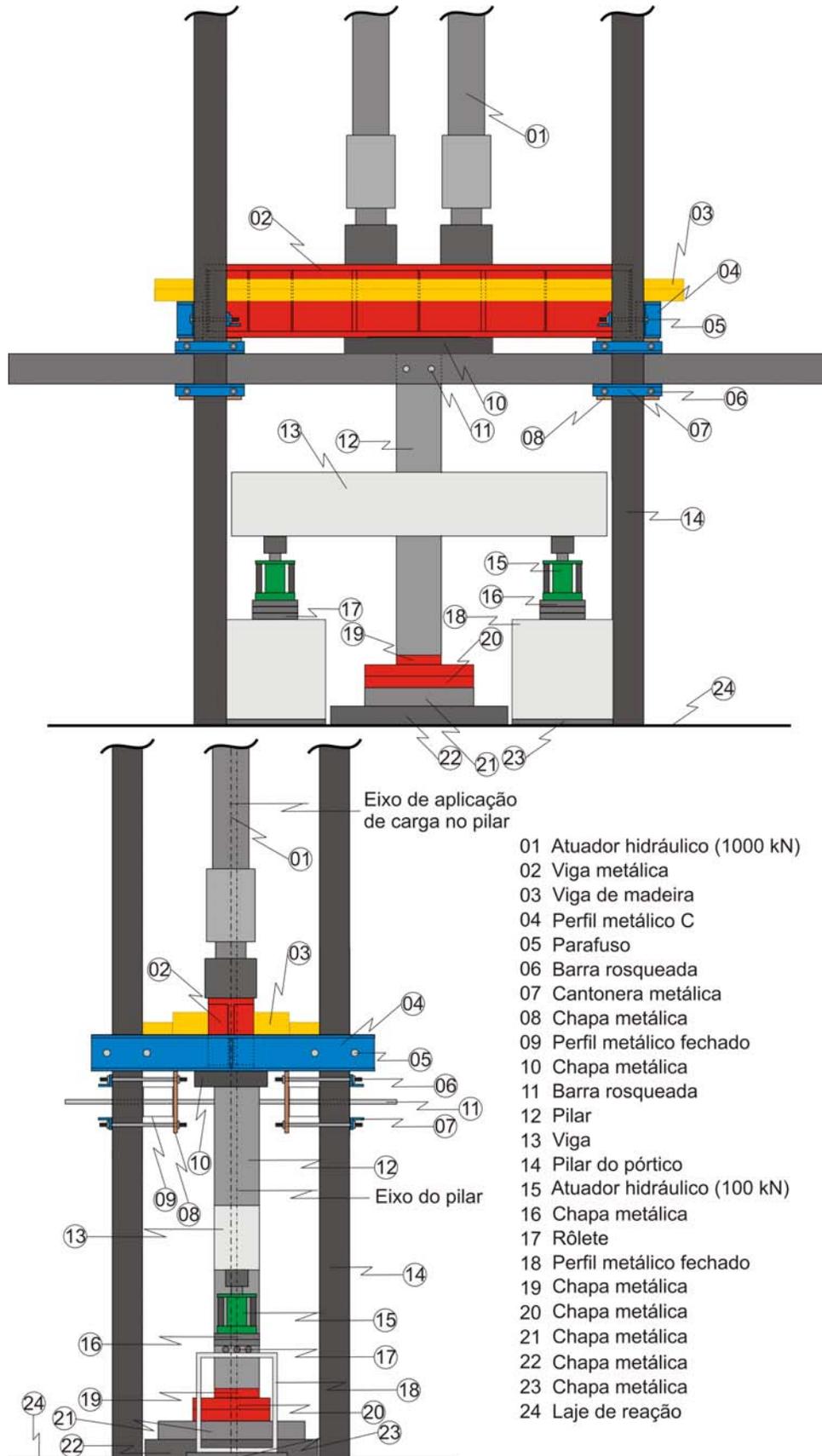


Figura 3.12 – Desenho da montagem do ensaio do espécime com viga em uma direção.

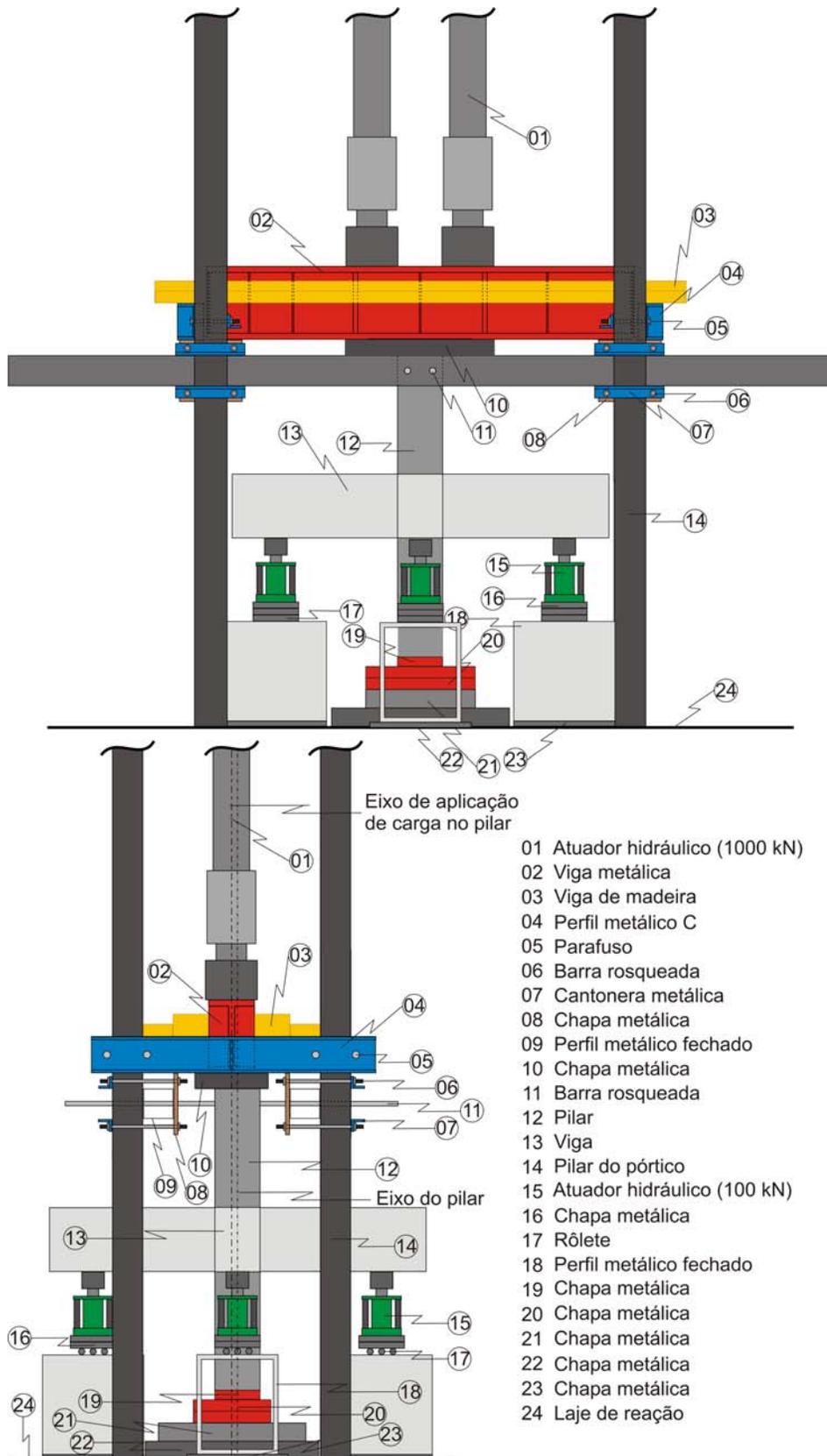


Figura 3.13 – Desenho da montagem do ensaio do espécime com viga nas duas direções.

A carga é aplicada no pilar de cima para baixo, enquanto a aplicação de carga na viga ocorre de baixo para cima. A aplicação das cargas nos espécimes com vigas é realizada na seguinte seqüência:

- I. aplicação de uma carga de 200 kN ou 300 kN (para espécimes com viga em uma e em duas direções respectivamente) no pilar a uma taxa de 30 kN/min. Nos pilares isolados, a carga foi aplicada continuamente até a ruptura.;
- II. aplicação das cargas nas vigas a uma taxa de 15 kN/min até que a deformação na armadura da viga, na interface viga-pilar, atinja o valor predeterminado de 1 mm/m ou 2 mm/m, mantendo-se constante a carga de 200 kN ou 300 kN no pilar;
- III. retomada da aplicação da carga no pilar até a ruptura do espécime, mantendo-se constante a carga nas vigas.

A Figura 3.14 apresenta a seqüência de carregamento nos espécimes com viga em uma ou nas duas direções.

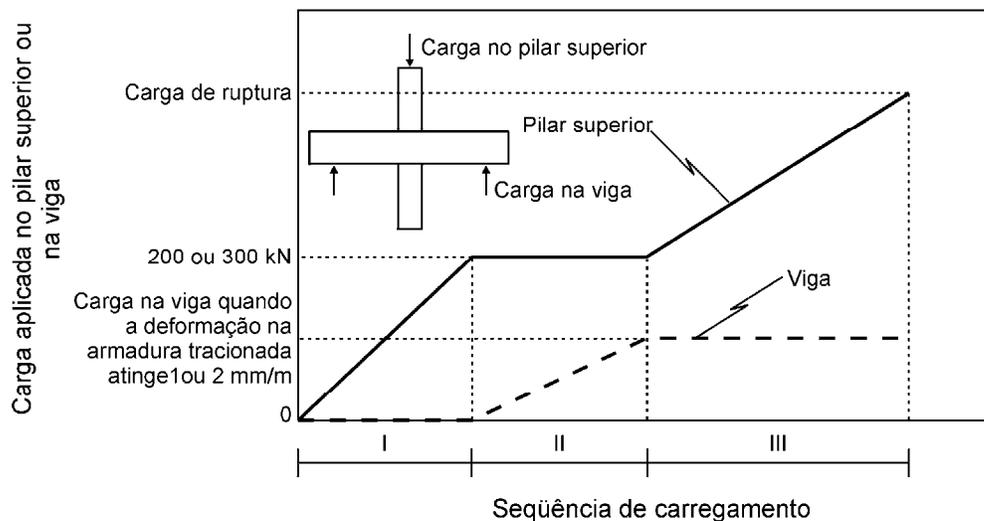


Figura 3.14 – Seqüência de carregamento nos espécimes com viga em uma ou nas duas direções.

Os dados obtidos com os extensômetros e com os transdutores de deslocamento e de pressão são obtidos por um sistema de aquisição de dados, controlado pelo software computacional LABVIEW 8.2 da NATIONAL INSTRUMENT. Todos esses dados são apresentados no Anexo E.