

## 4 Descrição dos Ensaios Experimentais

### 4.1. Parâmetros do Projeto

O sistema estrutural analisado consiste em uma laje com um perfil metálico, cujas dimensões estão descritas no capítulo anterior e duas chapas metálicas corrugadas preenchendo os espaços laterais, figura 4.1. Caso houvesse outro perfil as mesmas iriam preencher o espaço entre dois perfis consecutivos.

No programa de ensaios foram testadas lajes de:

1 – 3,0 X 0,46 metros com um perfil de chapa dobrada com mossas espaçadas a cada 50 milímetros, funcionando como conector cisalhante;

2 - 3,0 X 0,46 metros com um perfil de chapa dobrada com mossas espaçadas a cada 100 milímetros.

Além disso, foram ensaiados três ensaios do tipo “push out”, para avaliar a aderência do concreto com o aço obtido pelo sistema de mossas. Estes testes usaram mossas com espaçamento a cada 50 milímetros, como no caso do terceiro caso completo, figura 4.2.



Figura 4.1 – Configuração perfil metálico e as duas chapas laterais.



Figura 4.2 – Peças usadas nos ensaios tipo “Push out”.

**4.2. Característica Geométricas Finais de Projeto**

As figuras 4.3 e 4.4 apresentam uma comparação entre os dois sistemas de laje estrutural, o trabalho inicial proposto por Takey [1] e o que é alvo deste trabalho.

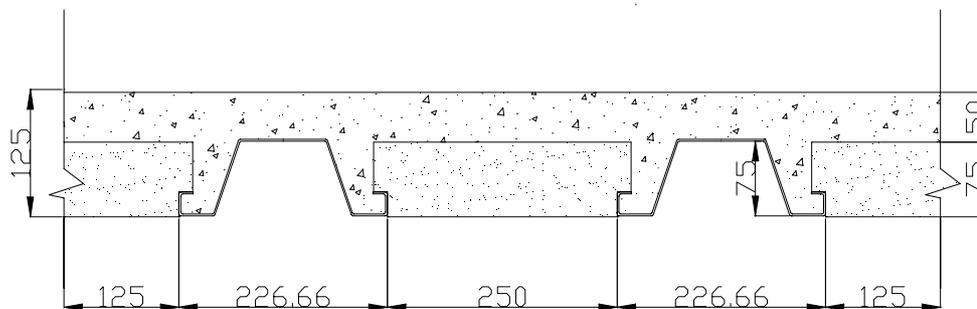


Figura 4.3 - Sistema de Laje Pré-Moldada utilizando Perfis Metálicos e Isopor [1].

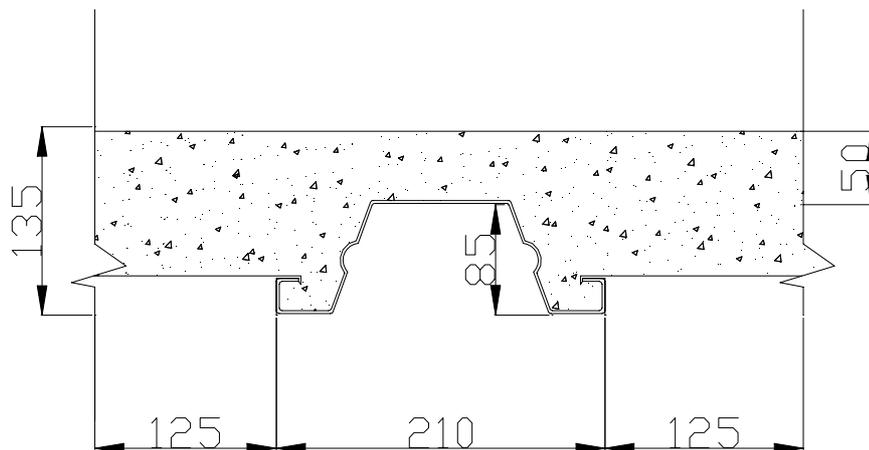


Figura 4.4 – Sistema proposto com perfil metálico e chapas laterais.

O perfil metálico fabricado para o ensaio foi o mesmo perfil desenvolvido em [1], onde a principal diferença são as corrugações estampadas na sua alma.

As dimensões da seção do perfil metálico de chapa dobrada utilizado no ensaio são apresentadas na figura 4.5. Foram fabricadas quatro peças com três metros de comprimento devido as restrições de fabricação no comprimento das mesmas.

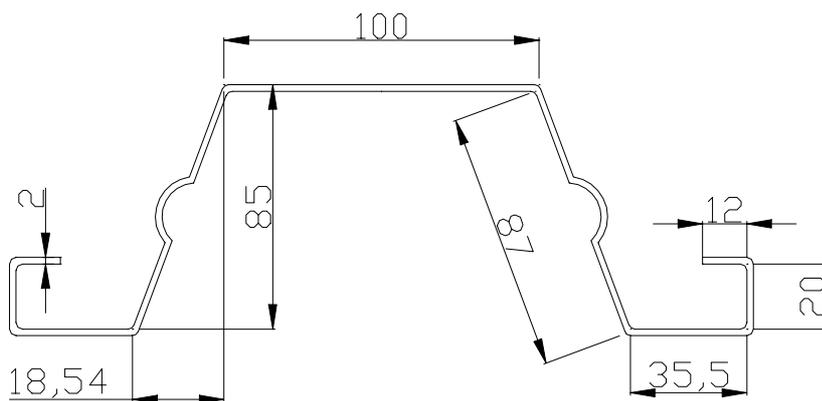


Figura 4.5 – Dimensões do perfil metálico ensaiado.

O vão adotado para os ensaios foi de três metros de comprimento para que haja comparação junto aos resultados anteriores [1], sem perda de material.

As mossas boleadas na alma do perfil foram feitas a partir de uma ferramenta composta por um tarugo de aço de duas polegadas de diâmetro, no qual, foram dados passes com o torno mecânico para atingir ao boleado ideal. A profundidade inicial foi de 10mm, mas por ser muito profunda causava o rasgamento da chapa, portanto reduziu-se para 5mm. Foi criado um sistema macho e fêmea, figura 4.6. Esta ferramenta possibilitou que, as mossas fossem estampadas através de uma adaptação junto a prensa hidráulica conforme figura 4.7, para aumentar a aderência entre concreto e aço. A carga aplicada na alma do perfil a fim de fazer a corrugação foi de 30kN.



Figura 4.6 – Ferramenta tipo macho e fêmea para execução das mossas.



Figura 4.7 – Ferramenta para estampar mossas boleadas.

#### 4.2.1. Definição da Chapa de Vedação

Visando substituir o isopor do trabalho inicial [1], foram feitos vários ensaios carga versus deslocamento com chapa fina de 0,65mm de espessura, figura 4.8, com dimensões de 1,0m de comprimento por 0,24m de largura, comparando situações como: chapa lisa, chapa com corrugação de 3mm e chapa com corrugação de 6mm.



Figura 4.8 – Ensaio carga deslocamento.

Com os resultados obtidos nos ensaios de carga versus deslocamento, conforme a figura 4.9, ficou definido a utilização da chapa lateral com corrugação de 6mm, devido a sua capacidade de carga por metro quadrado, que é de  $60\text{kN/m}^2$ , dando segurança na montagem da laje e na concretagem.

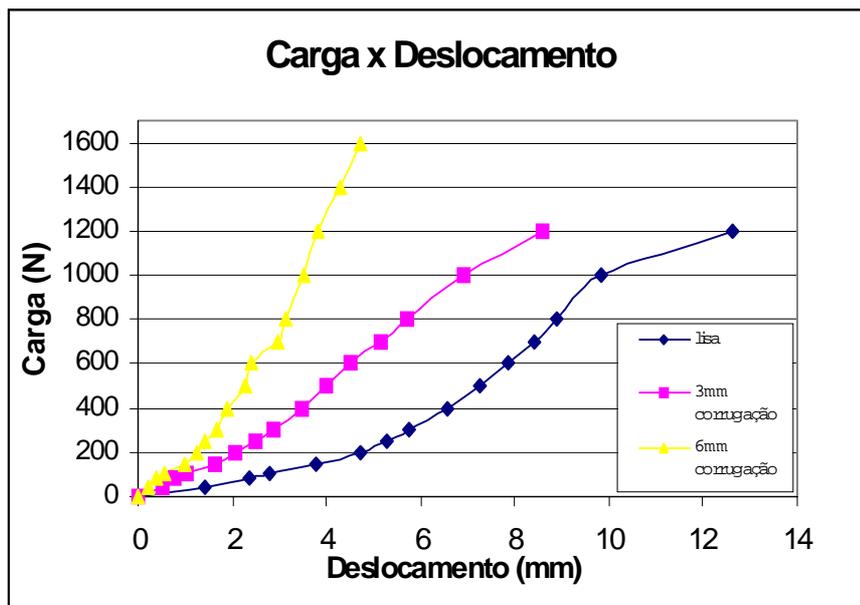


Figura 4.9 – Gráfico carga deslocamento.

Cada peça metálica corrugada media 1,0m de comprimento devido a bobina de chapa metálica possuir 1,0m de largura, assim evitando perda chapa metálica, figura 4.10. A peça apenas se apoiava no perfil de chapa dobrada através de suas abas laterais enrijecidas cujas medidas foram projetadas para serem compatíveis com as dimensões laterais do perfil de chapa dobrada. Na realidade este elemento completa a estrutura, atuando como preenchimento para o espaço em que as forças de tração já eram absorvidas pelo perfil. Sua aba lateral enrijecida e dimensão permitem em conjunto com o perfil de chapa dobrada uma rigidez que dispensa o uso de escoras. A peça metálica corrugada foi disposta ao longo do comprimento do perfil e apoiada por suas abas laterais entre os perfis metálicos.

Para confeccionar esta peça foi feita uma ferramenta estilo macho e fêmea, com barras chata de 1.1/4" X 3/16" polegadas adaptada a uma prensa para estampar a peça metálica corrugada com espessura 0,65mm, conforme figura 4.11. A carga aplicada na chapa de vedação a fim de fazer a corrugação foi de 15kN.



Figura 4.10 – Peça metálica corrugada.



Figura 4.11 – Ferramenta para estampar corrugações na chapa lateral.

As dimensões do perfil de chapa dobrada e da chapa corrugada foram fixadas de forma a serem compatíveis com o peso da estrutura de uma laje de 50mm de espessura. A laje quando pronta apresentou uma espessura global (incluindo o perfil e a laje de concreto) de 135mm de altura.

### **4.3. Descrição dos Ensaios Experimentais da Laje**

São descritos nos parágrafos a seguir todos os procedimentos empregados nos testes experimentais das lajes.

Todas as lajes ensaiadas foram biapoiadas, a carga foi igualmente aplicada em dois pontos, com distâncias de um quarto do comprimento do vão com a ajuda de uma viga de distribuição de cargas. Para medir a carga aplicada foi utilizado uma célula de carga com capacidade de 50kN, localizada no centro do vão da viga de distribuição, figuras 4.12 e 4.13.

Ensaio de pré-carga foram inicialmente realizados antes de todos os ensaios para aferir a instrumentação e mobilizar a estrutura de forma gradativa. As cargas máximas das pré-carga foram de 5kN, 7,5kN, 15kN e 20kN. As cargas foram aplicadas de 1kN em 1kN em cada pré-carga para a obtenção da flecha até a carga máxima determinada, mantida por 15 minutos para assentamento da laje. As cargas foram retiradas também de 1kN em 1kN com obtenção da flecha residual após a retirada total da carga. O procedimento foi realizado até 20kN para a análise de dados e medição dos instrumentos, além de fornecer uma previsão do comportamento e a carga máxima suportada pela laje antes de seu rompimento.

No ensaio final, a aplicação de cargas foi de 2,5kN em 2,5kN até a carga máxima aplicada com paradas de aplicação de carga para cada carga máxima do pré-ensaio (5kN, 7,5kN, 15kN e 20kN) para a acomodação das cargas na estrutura. Após 20kN a carga foi aplicada de 1kN em 1kN até atingir cada fração de 10kN (20kN, 30kN, etc.), tendo sido aguardado 15 minutos para assentamento da estrutura. O processo continuou com a aplicação de carga de 1kN em 1kN até atingir o colapso da laje. O colapso em todos os ensaios realizados ocorreu por deslizamento da interface aço/concreto em um dos pontos de aplicação de carga da viga de distribuição em direção a extremidade da laje.

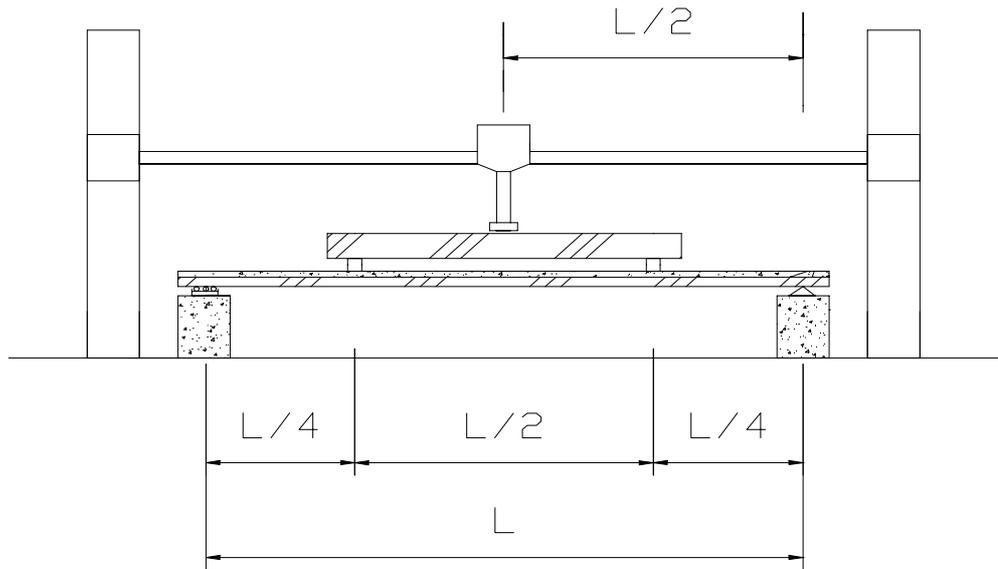


Figura 4.12 – Configuração da aplicação de carga.

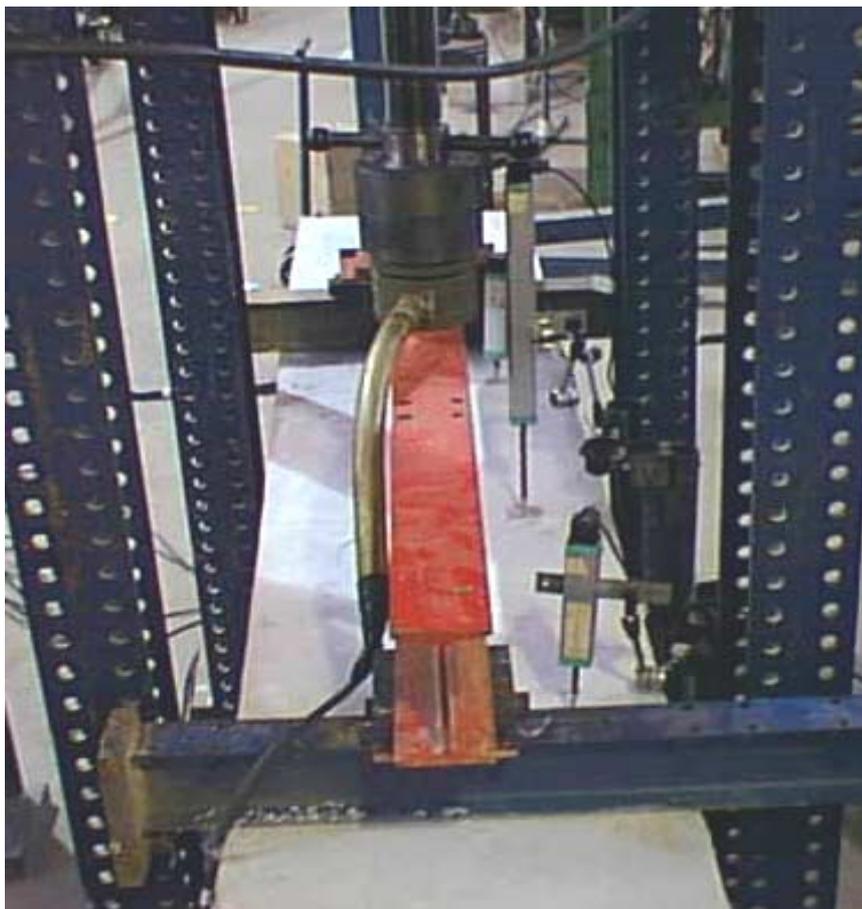


Figura 4.13 – Configuração da aplicação de carga, vista global.

### 4.3.1. Preparação do Ensaio para Laje

#### 4.3.1.1. Fôrma de Contenção em Chapa de Aço

As dimensões da laje a ser ensaiada foram de 0,46 x 3,1 metros, sendo o vão adotado de três metros de comprimento. Apesar da estrutura ser auto sustentável e não necessitar de escoras ou fôrmas fez-se necessário o uso de uma fôrma de contenção lateral para o concreto por se tratar da execução de apenas parte do sistema de laje para os ensaios, podendo ser visto na figura 4.14.



Figura 4.14 – Fôrma de contenção lateral temporária.

#### 4.3.1.2.

#### Armadura de Pele Contra Fissurações de Superfície

Para evitar fissuras nas lajes, foi utilizada uma armadura de pele simples com vergalhões de bitola 6,3mm dispostos a cada 20cm na largura e 30cm no comprimento. Esta armadura foi disposta a aproximadamente 2,5cm da face da mesa superior do perfil metálico. A utilização desta armadura de pele proporcionou um pequeno ganho na resistência da estrutura. A figura 4.15 apresenta uma foto da armadura de pele posicionada no sistema do perfil metálico e da chapa corrugada antes da concretagem da estrutura.

Observa-se nesta figura o perfil metálico e a chapa corrugada dispostos lado a lado. As mossas apresentadas nesta figura estão posicionadas na alma do perfil metálico e espaçadas a cada 50mm para garantir aderência aço e concreto. Nota-se que o concreto que está sendo condicionado para formação da estrutura está confinado pela fôrma de contenção lateral para a delimitação da laje.



Figura 4.15 – Armadura de pele contra fissuração.

#### 4.3.1.3. Apoios

O sistema estrutural utilizado foi biapoiado. Em uma extremidade encontra-se um apoio tipo rótula, que impede o deslocamento vertical e horizontal, deixando livre somente a rotação, e na outra extremidade encontra-se um apoio de primeiro gênero, que impedia apenas o deslocamento vertical, mas deixava livre o deslocamento horizontal e a rotação da laje. A distância entre os apoios, foi de três metros. Observa-se na figura 4.16 o apoio de primeiro gênero utilizado na estrutura. Nota-se a caixa de roletes que deixava livre o deslocamento horizontal, e a rótula no topo libera a rotação.



Figura 4.16 – Apoio do sistema de laje.

#### 4.3.1.4. Concreto

Procurou-se obter um concreto de 20 a 25MPa de resistência para os ensaios. Após os 28 (vinte e oito) dias obteve-se uma resistência média de aproximadamente 25MPa, como esperado. O traço utilizado foi de 1 : 2,48 : 3,52, (cimento, areia e brita respectivamente) e para um fator água cimento de 0,46.

O volume utilizado de concreto somando os corpos de prova, a laje de três metros de comprimento por 0,46 metros de largura e os corpos de prova para ensaio “push out” foi de  $0,73\text{m}^3$  de concreto.

Algumas vezes acrescentou-se um pouco a mais de água, sempre controlando o fator água cimento entre os limites de  $0,42 < x < 0,48$ .

#### 4.3.1.5. Corpos de Prova de Concreto

Foram utilizados corpos de prova padrão com diâmetro de 150mm, altura de 300mm e área de 176 cm<sup>2</sup>. Os corpos de prova foram ensaiados logo após o rompimento da laje no ensaio final. Os ensaios foram realizados com 28 dias. Os corpos de prova foram preparados de acordo com a Norma ABNT (Associação Brasileira de Normas técnicas) para o ensaio dos corpos de prova do concreto.

Tabela 4.1 – Resultados dos corpos de prova ensaiados para lajes.

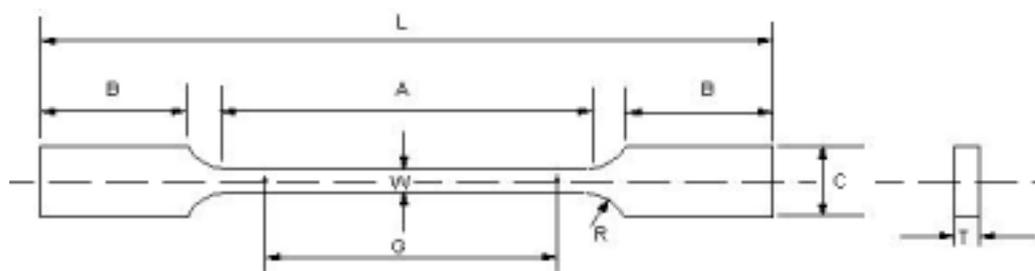
| Ensaio        | 1                     | 2                     | 3                     |
|---------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|               | Tensão $f_u$<br>(Mpa) | Tensão $f_u$<br>(Mpa) | Tensão $f_u$<br>(Mpa) |
| CP-01         | 24,22                 | 25,01                 | 26,03                 |
| CP-02         | 24,90                 | 26,03                 | 27,52                 |
| CP-03         | 23,99                 | 27,16                 | 26,03                 |
| Média         | 24,37                 | 26,06                 | 26,52                 |
| Desvio padrão | 0,47                  | 1,08                  | 0,86                  |

#### 4.3.1.6. Ensaio de Tração Simples

As propriedades do aço empregado nos testes foram obtidas através de ensaios de tração simples em uma Máquina de Ensaio Universal AMSLER com capacidade para 1000kN.

A figura 4.17 apresenta as dimensões dos corpos de prova segundo a American Society for Testing and Materials [8], utilizados no teste de tração para os perfis da laje.

O material exibiu em todos os ensaios um patamar de escoamento bem definido. As propriedades físicas do aço obtidas no ensaio, valores médios e desvio padrão apresentam-se na tabela 4.2. As dimensões dos corpos de prova foram as mesmas da figura 4.17 o aço utilizado é do tipo ASTM A36, com tensão limite de escoamento de 250MPa.



| Dimensões do Corpo de Prova. |  | Medidas do Corpo de Prova.<br>( mm ) |
|------------------------------|--|--------------------------------------|
| G                            | — Comprimento padrão.                      | 100,0 ± 0,10                         |
| W                            | — Largura.                                 | 20,0 ± 0,20                          |
| T                            | — Espessura.                               | Espessura do Corpo de Prova.         |
| R                            | — Raio de Curvatura Mínimo.                | 25                                   |
| L                            | — Comprimento Total, Mínimo.               | 300                                  |
| A                            | — Comprimento de Redução, Mínimo.          | 120                                  |
| B                            | — Comprimento de Redução da Seção, Mínimo. | 25                                   |
| C                            | — Largura de agarra a Seção, aproximada.   | 25                                   |

Figura 4.17 - Dimensões dos corpos de prova de aço.

As espessuras de cada corpo de prova tinham variações de espessura de 2,0mm à 2,1mm.

Tabela 4.2 - Propriedades mecânicas do aço utilizado.

| Corpo de Prova | $f_y$ (MPa) | $f_u$ (MPa) |
|----------------|-------------|-------------|
| CP.01          | 321,86      | 425,82      |
| CP.02          | 320,98      | 426,58      |
| CP.03          | 322,84      | 432,65      |
| Média          | 321,89      | 428,35      |
| Desvio Padrão  | 0,93        | 3,74        |

#### 4.3.1.7. Instrumentação

Foram utilizados como equipamentos de medição de deslocamentos verticais, laterais e deslizamento da laje, quatro relógios para consulta analógica e cinco LVDT's para medição eletrônica. A figura 4.18 apresenta a configuração global dos relógios e LVDT's utilizados nos ensaios. Foram posicionados um relógio e um LVDT em cada extremo da laje com base afixada no perfil metálico e marcador no concreto. Com isto pode-se identificar o deslizamento do concreto em relação ao aço ocorrido com a aproximação da ruptura. Foram colocados, um relógio (R1), em cada extremo lateral oposto da laje com base fixa fora da laje e

marcador no concreto. Para obter o valor da rotação/deslocamento lateral ocorrida na laje durante o ensaio. Também foram posicionados um relógio (R3) e um LVDT (L3) no centro do vão da laje com base fixa fora da laje e marcador no concreto. Nesta posição obteve-se os valores do deslocamento da laje para cada carga aplicada. Outros dois LVDT's foram posicionados a 70cm de cada extremidade (L4 e L2).

A figura 4.19 mostra o LVDT e o relógio fixados na extremidade da laje para a medição do deslizamento aço/concreto na estrutura, e apresenta o LVDT posicionado na extremidade lateral da laje para medição dos deslocamentos laterais da estrutura.

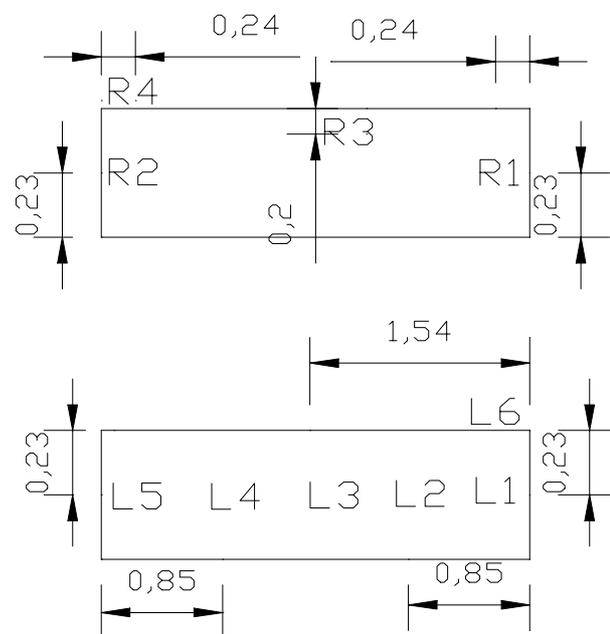


Figura 4.18 – Configuração global da instrumentação.

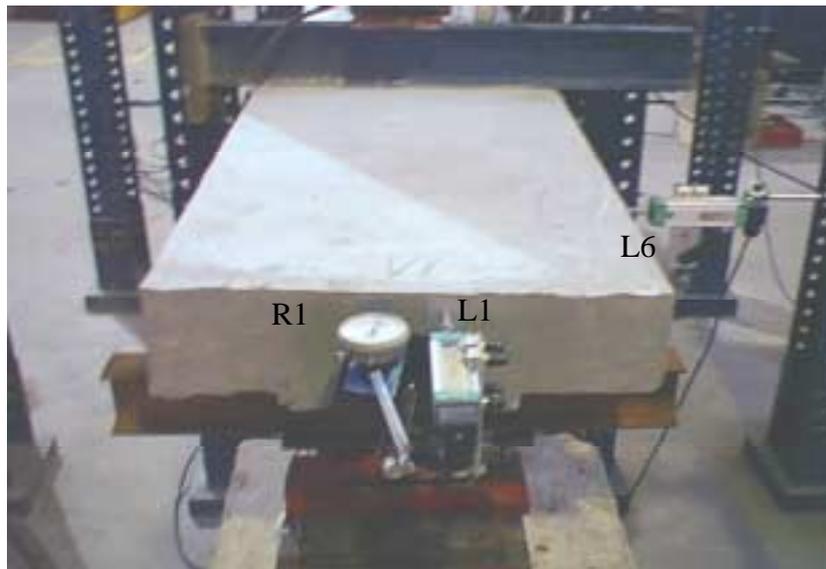


Figura 4.19 – Localização dos LVTD's e do relógio na extremidade.

#### 4.3.1.8. Deformação

Foram instalados dois extensômetros elétricos no meio do vão para medição da deformação do perfil de chapa metálica no conjunto da laje, figura 4.20. Os dados foram obtidos eletronicamente pelos LVDT's e extensômetros. Os relógios foram utilizados para conferência dos valores obtidos eletronicamente e para analisar o desenvolvimento do ensaio de forma rápida de modo a ser observado quando o sistema atingiria o estado limite último e o comportamento até o colapso.

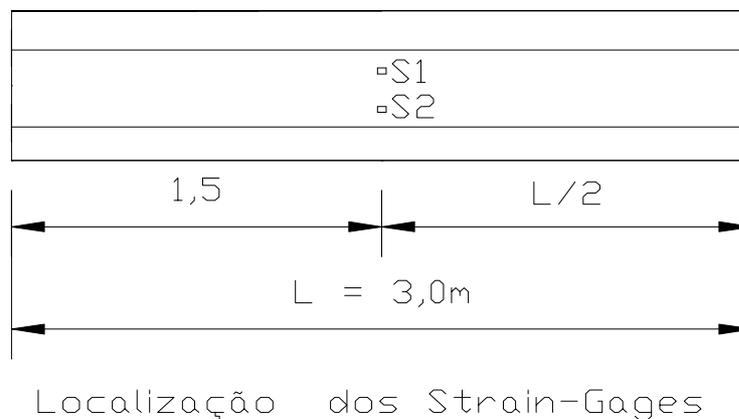


Figura 4.20 – Localização dos extensômetros.

#### 4.3.1.9. Sistema de Aplicação de Carga

No caso deste trabalho foi considerado que a estrutura deveria suportar um carregamento de 7,5kPa. Dos ensaios realizados a área da laje estudada foi de 1,38m<sup>2</sup>. Os ensaios realizados serviram para determinar qual a carga máxima suportada pela laje antes de sua ruptura. Na figura 4.21 observa-se a célula de carga no meio da viga de distribuição de carga utilizado pelo sistema de aplicação de duas cargas concentradas adotado.

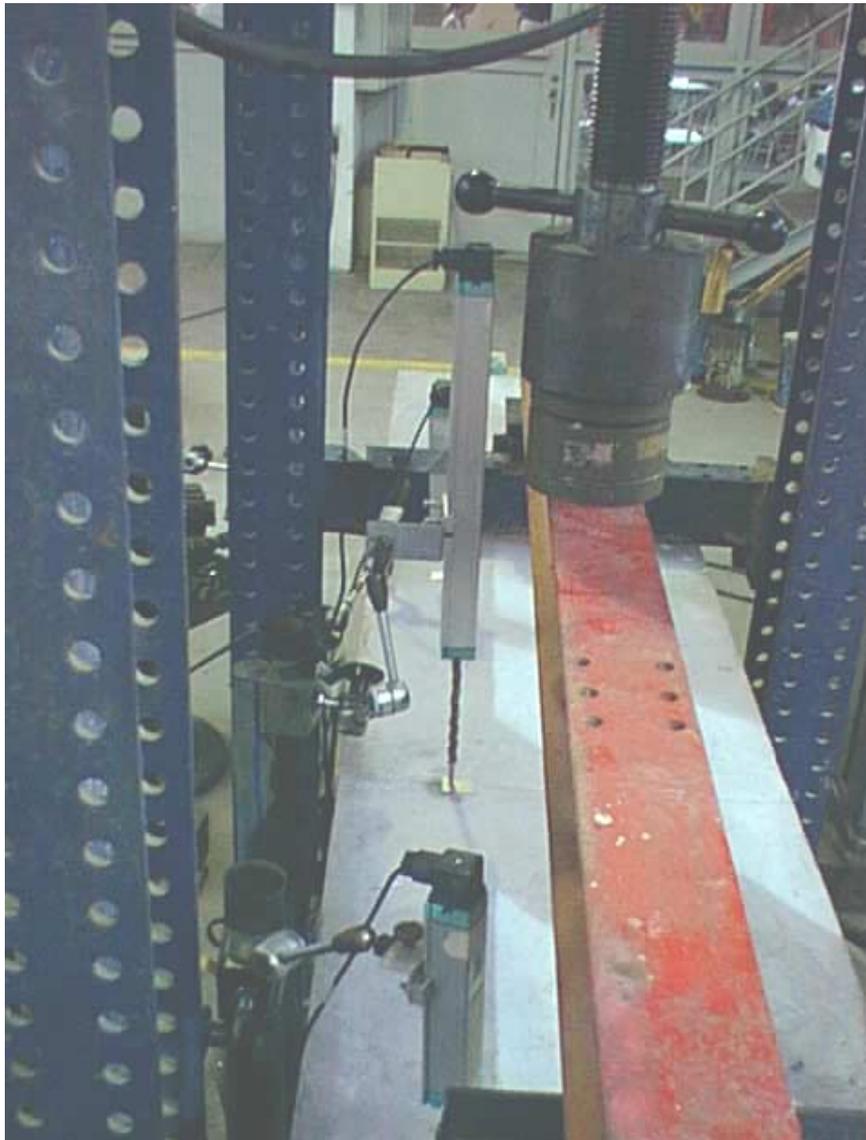


Figura 4.21 – Sistema de aplicação de carga.

### **4.3.2. Ensaio da Laje**

#### **4.3.2.1. Primeiro Ensaio da Laje**

O primeiro ensaio foi realizado com uma laje de vão livre de 3 metros e com mossas na alma, espaçadas a cada 50mm.

Aguardou-se 28 dias de espera para cura do concreto, este projetado para atingir 25MPa de resistência aos 28 dias. Após a retirada da fôrma e realizada a devida instrumentação da estrutura com os extensômetros, relógios e LVDT's, iniciou-se o ensaio pela aplicação de um pré-carregamento.

Foram realizados quatro ensaios de pré-carga. No primeiro aplicou-se um carregamento de até 5kN, aguardando-se 15 minutos e descarregando-se a estrutura. A aferição das medidas dos deslocamentos verticais, deslocamentos laterais, deformações e deslizamentos na extremidade da estrutura, foi realizada a cada 1kN para o carregamento e descarregamento. A segunda e terceira aplicação de carga atingiu-se 7,50kN e 15kN de carga. Aguardou-se 30 minutos para acomodação da estrutura e descarregou-se. No quarto e último ensaio de pré-carga atingiu-se o carregamento de 20kN na estrutura, aguardando-se 30 minutos e procedeu-se o descarregamento.

Após a realização do último ensaio de pré-carga realizou-se o ensaio final da estrutura. O carregamento foi aplicado até o colapso da estrutura. As medições foram realizadas a cada 2kN até atingir-se o nível de carregamento do último pré-ensaio, que foi de 20kN. Após 20kN a medição realizada foi empregada o incremento de carga de 1kN até o rompimento do sistema. Durante o carregamento, quando atingia-se um dos níveis de carga dos pré-ensaios (5kN, 7,5kN, 15kN e 20kN) aguardava-se cinco minutos para assentamento das cargas no sistema estrutural. A carga de colapso foi de 29kN.

#### **4.3.2.2. Segundo Ensaio da Laje**

O segundo ensaio idêntico o do primeiro foi realizado com uma laje de vão livre de três metros e com mossas na alma, espaçadas a cada 50mm.

Após a retirada da fôrma e realizada a devida instrumentação da estrutura com os extensômetros, relógios e LVDT`s, iniciou-se o ensaio pela aplicação de um pré-carregamento.

Realizou-se quatro ensaios de pré-carga. No primeiro aplicou-se um carregamento de até 5kN, aguardou-se 15 minutos e descarregou-se a estrutura. Foi feita a aferição da medida dos deslocamentos verticais, deslocamentos laterais, deformações e deslizamentos na extremidade da estrutura com incrementos de 1kN, tanto para fase de carregamento como de descarregamento. Na segunda e terceira aplicação de carga atingiu-se uma carga total de 7,5kN e 15kN respectivamente. Aguardou-se 30 minutos para acomodação da estrutura e descarregou-se. No quarto e último ensaio de pré-carga atingiu-se o carregamento de 20kN na estrutura, aguardou-se 30 minutos e procedeu-se o descarregamento.

Após a realização do último ensaio de pré-carga realizou-se o ensaio final da estrutura. O carregamento foi aplicado até o colapso da estrutura. As medições foram realizadas a cada 2kN até atingir-se o nível de carregamento do último pré-ensaio que foi de 20kN. Após 20kN as medições foram realizadas a cada 1kN até o rompimento do sistema. Quando durante o carregamento atingia-se um dos níveis de carga dos pré-ensaios (5kN, 7,5kN, 15kN e 20kN) aguardava-se cinco minutos para assentamento da carga no sistema estrutural. A carga de colapso foi de 31kN.

#### **4.3.2.3. Terceiro Ensaio da Laje**

O terceiro e último ensaio realizado foi realizado com uma laje de vão livre de 3 metros e com mossas na alma, espaçadas a cada 100mm, ou seja, o dobro do espaçamento dos dois primeiros ensaios.

Após a retirada da fôrma e realizada a devida instrumentação da estrutura com os extensômetros, relógios e LVDT`s, iniciou-se o ensaio pela aplicação de um pré-carregamento.

Realizaram-se quatro ensaios de pré-carga. No primeiro aplicou-se um carregamento de até 5kN, aguardou-se 15 minutos e descarregou-se a estrutura. Foi feita aferição das medidas dos deslocamentos verticais, deslocamentos laterais, deformações e deslizamentos na extremidade da estrutura com

incrementos de 1kN, tanto na fase de carregamento como de descarregamento. Na segunda e terceira aplicação de carga atingiu-se uma carga total de 7,5kN e 15kN respectivamente. Aguardou-se 30 minutos para acomodação da estrutura e procedeu-se o descarregamento. No quarto e último ensaio de pré-carga atingiu-se o carregamento de 20kN na estrutura, aguardou-se 30 minutos e descarregou-se.

Após a realização do último ensaio de pré-carga realizou-se o ensaio final da estrutura. O carregamento foi aplicado até o colapso da estrutura. As medições foram realizadas a cada 2kN até atingir-se o nível de carregamento do último pré-ensaio que foi de 20kN. Após 20kN as medições foram feitas a cada incremento de 1kN até o rompimento do sistema. Durante o carregamento quando atingia-se um dos níveis de carga dos pré-ensaios (5kN, 7,5kN, 15kN e 20kN) aguardava-se cinco minutos para assentamento das cargas no sistema estrutural. A carga de colapso foi de 33kN.

**4.4. Descrição dos Ensaios Experimentais Tipo “Push Out”**

São descritos nesta seção os procedimentos empregados nos testes experimentais do tipo “push out”. As dimensões do corpo de prova do tipo “push out” utilizado no ensaio são apresentadas na figura 4.22.

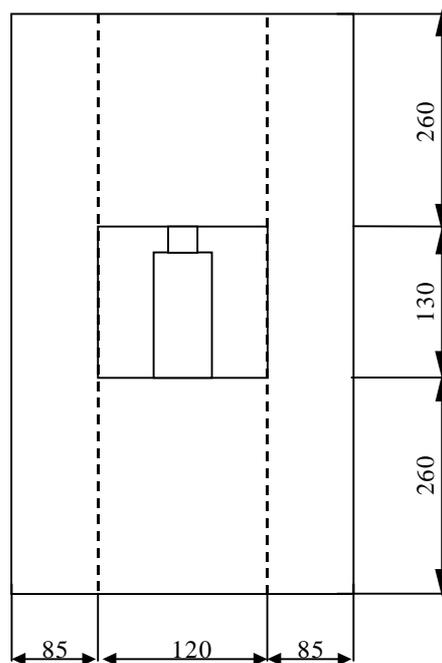


Figura 4.22 – Dimensões do corpo de prova do tipo “push out”.

Em todos os “push out” ensaiados a carga foi igualmente aplicada em um ponto no centro do corpo de prova, e para aferir a carga, foi feita uma calibragem junto a uma prensa previamente aferida.

Ensaio de pré-carga foram inicialmente executados em todos os corpos de prova para aferição da instrumentação e para mobilização da estrutura de forma gradativa. As cargas máximas dos pré-ensaios foram de 5kN, 10kN, 15kN, 20kN e 30kN. As cargas foram aplicadas de 2,5kN em 2,5kN em cada pré-ensaio para a calibragem dos equipamentos. As cargas foram retiradas também de 2,5kN em 2,5kN para se obter o deslizamento residual com a retirada total da carga. O procedimento foi realizado até 30kN para a análise de dados, aferição dos instrumentos, e para possibilitar uma previsão do comportamento estrutural.

No ensaio final a aplicação da carga foi de 2,5kN em 2,5kN até a carga máxima, sempre aplicada com paradas de aplicação de carga para cada carga máxima do pré-ensaio (5kN, 10kN, 15kN, 20kN e 30kN), para a acomodação das cargas no “push out”. Após 30kN a carga foi aplicada de 1kN em 1kN até atingir cada fração de 2kN (20kN, 30kN, 40kN, etc.). O processo continuou com a aplicação de carga de 1kN em 1kN até atingir o colapso do corpo de prova. O colapso em todos os ensaios realizados ocorreu por ruptura do concreto, sem que possa ter sido notado o deslizamento na interface aço/concreto.

Procurou-se simular uma laje confinada como sanduíche, com o mesmo perfil utilizado no ensaio da laje, conforme demonstrado na figura 4.23, de modo a ser medida a resistência cisalhante entre concreto e aço, fornecidas pelas mossas (corrugações) a cada 50mm na alma do perfil metálico.

Estas mossas foram estampadas na alma do perfil com o mesmo procedimento do perfil da laje, de modo a funcionar como conectores de cisalhamento e aumentar a aderência entre aço e concreto.



Figura 4.23 - Configuração do "Push out".

#### **4.4.1. Preparação do Ensaio Tipo "Push Out"**

##### **4.4.1.1. Fôrma de Contenção**

As dimensões do "push out" a ser ensaiado foram de 0,21 x 0,65 metros, sendo que foi feita uma caixa de madeira para separar os dois perfis e deixar o vão para posicionamento dos macacos. Fez-se necessário o uso de uma fôrma de contenção lateral para o concreto, podendo ser visto na figura 4.24.

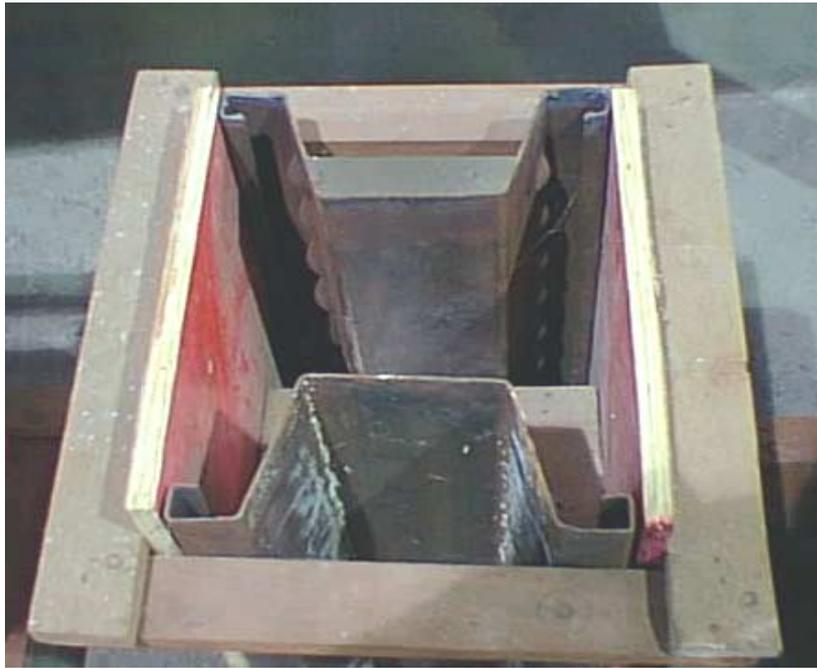


Figura 4.24 – Fôrma e caixa de divisão “push out”.

#### **4.4.1.2. Concreto**

A concretagem dos corpos de prova dos ensaios “push out” foi feita simultaneamente com as lajes e foi utilizado o mesmo concreto utilizado nas lajes. Após os 28 (vinte e oito) dias, este forneceu uma resistência média de aproximadamente 25MPa como esperado. O traço utilizado foi de 1 : 2,48 : 3,52, (cimento, areia e brita respectivamente) e para um fator água cimento de 0,46.

Algumas vezes acrescentou-se um pouco a mais de água, sempre controlando o fator água cimento entre os limites de  $0,42 < x < 0,48$ .

#### **4.4.1.3. Corpos de Prova de Concreto**

Foram utilizados corpos de prova padrão com diâmetro de 150mm, altura de 300mm e área de 176 cm<sup>2</sup>. Para cada “push out” ensaiado retirou-se três corpos de prova. Os corpos de prova foram ensaiados logo após o rompimento do “push out”. Os ensaios foram realizados com 28 dias. Os corpos de prova foram preparados de acordo com a Norma ABNT (Associação Brasileira de Normas técnicas) para o ensaio dos corpos de prova do concreto.

Tabela 4.3 – Resultados dos corpos de prova do “push out”.

| <b>Ensaios</b> | <b>1</b>                       | <b>2</b>                       | <b>3</b>                       |
|----------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
|                | <b>Tensão de Ruptura (Mpa)</b> | <b>Tensão de Ruptura (Mpa)</b> | <b>Tensão de Ruptura (Mpa)</b> |
| CP-01          | 26,51                          | 27,25                          | 26,48                          |
| CP-02          | 27,52                          | 26,52                          | 27,11                          |
| CP-03          | 28,01                          | 26,82                          | 26,13                          |
| Média          | 27,34                          | 27,06                          | 26,57                          |
| Desvio Padrão  | 0,76                           | 0,69                           | 0,49                           |

#### 4.4.1.4. Instrumentação

Foram utilizados como equipamentos de medição de deslizamentos verticais e laterais do “push out” um relógio para consulta analógica e seis LVDT’s para medição eletrônica. A figura 4.25 apresenta a configuração global dos relógios e LVDT’s utilizados nos ensaios. Foram posicionados um relógio e um LVDT no centro superior da seção do “push out” com base afixada no perfil metálico e marcador no concreto. Foram colocados quatro LVDT’s, em cada quina de sua seção superior do “push out” com base afixada no perfil metálico e marcador no concreto. Com esta instrumentação procurou-se identificar o deslizamento do concreto em relação ao aço ocorrido com a aproximação da ruptura. Foi colocado um LVTD no extremo lateral do “push out” com base fixa fora do “push out” e marcador no concreto para obter o valor da rotação/deslocamento lateral ocorrida no “push out” durante o ensaio.

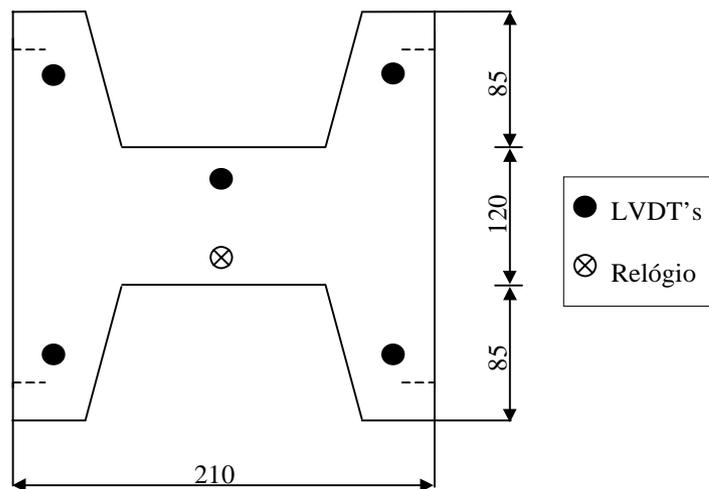


Figura 4.25 – Instrumentação do “push out” – vista da face superior.

#### 4.4.1.5. Sistema de Aplicação de Carga

No caso deste trabalho foi estimado que a estrutura deveria suportar uma tensão cisalhante mínima de 0,20MPa [2]. Nos ensaios realizados a área de contato entre o perfil e o concreto multiplicado por dois, devido a simetria do conjunto, para formação do “push out” este valor foi de 0,21m<sup>2</sup>. Os ensaios realizados serviram para determinar resistência da aderência entre o perfil de aço e o concreto.

Para ser realizada a aplicação de carga, inicialmente utilizou-se um macaco hidráulico de 50kN, que não foi suficiente para o rompimento do “push out”. Foram então utilizados dois macacos hidráulicos, devido a sua pequena capacidade de aplicação de carga, que é de 50kN, sendo que a carga de ruína prevista era de 60kN. Os macacos foram localizados no centro do “push out”, figura 4.26.



Figura 4.26 – Posição do Macaco hidráulico no ensaio “push out”.

#### 4.4.1.6. Ensaio do Tipo “Push Out”

Esta série de testes compreendem a execução de três ensaios do tipo “push out” com mossa na alma do perfil espaçadas a cada 50mm.

Após a retirada da fôrma e realizada a devida instrumentação do “push out” e com os relógios e os LVDT`s, iniciou-se o ensaio pela aplicação de um pré-carregamento.

Realizou-se 5 ensaios de pré-carga. No primeiro aplicou-se um esforço através de dois macacos hidráulicos até 5kN, aguardou-se 15 minutos. A aferição das medidas dos deslizamentos na extremidade da estrutura foi realizada a cada 2,5kN para o carregamento. Na segunda, terceira e a quarta aplicação de carga atingiu-se 10kN, 15kN e 20kN respectivamente. Aguardou-se 15 minutos para acomodação da estrutura. No quinto e último ensaio de pré-carga atingiu-se o carregamento de 30kN na estrutura, e manteve-se tal carga por 30 minutos na estrutura.

Após a realização do último ensaio de pré-carga realizou-se o ensaio final do “push out”. O carregamento foi aplicado até o colapso da estrutura. As medições foram realizadas com incrementos de carga 2,5kN até atingir-se o nível de carregamento do último pré-ensaio que foi de 30kN. Após 30kN a medição foi realizada a cada 1kN até o rompimento do sistema. Quando durante a fase de

carregamento atingia-se um dos níveis de carga dos pré-ensaio (5kN, 10kN, 15kN, 20kN e 30kN) aguardava-se 5 minutos para assentamento das cargas no sistema estrutural. A carga de colapso foi em média da ordem de 45kN.

No próximo capítulo apresenta-se uma avaliação dos resultados experimentais e a comparação com os resultados prévios de Takey [1].