



Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia

FEUP



LABEST
II

Laboratório de Betão Estrutural

ANÁLISE ESTÁTICA DE DEGRAUS PRÉ-FABRICADOS CONSTITUINDO BANCADAS DO ESTÁDIO DO DRAGÃO

HELENA ISABEL MAIA FIGUEIRAS

047.3)
001/FIGh



UNIÃO EUROPEIA
Fundo Social Europeu

pródep III
Programa de Desenvolvimento da Educação

Mais Educação



Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia

FEUP



Laboratório de Betão Estrutural

ANÁLISE ESTÁTICA DE DEGRAUS PRÉ-FABRICADOS CONSTITUINDO BANCADAS DO ESTÁDIO DO DRAGÃO

HELENA ISABEL MAIA FIGUEIRAS



UNIÃO EUROPEIA
Fundo Social Europeu



Ministério da Educação

Índice De Texto

1	ÂMBITO DA INTERVENÇÃO	6
2	CARACTERIZAÇÃO DOS DEGRAUS	7
2.1	DIMENSÕES DO DEGRAUS	7
2.1.1	<i>Degrau tipo T.....</i>	7
2.1.2	<i>Degrau Tipo L.....</i>	8
2.2	DISPOSIÇÃO DAS ARMADURAS.....	9
2.2.1	<i>Degrau tipo T.....</i>	9
2.2.2	<i>Degrau tipo L.....</i>	10
2.3	LIGAÇÕES ENTRE DEGRAUS E DESTES COM AS VIGAS DE BANCADA	11
2.4	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	14
2.4.1	<i>Caracterização do Betão</i>	14
2.4.2	<i>Caracterização do Aço</i>	14
3	DISPOSITIVO DO ENSAIO	15
3.1	MATERIALIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES FRONTEIRA	15
3.2	SISTEMA DE CARREGAMENTO	18
3.3	MODELAÇÃO NUMÉRICA DO ENSAIO	20
4	CONDUÇÃO DO ENSAIO	23
4.1	FASES DE ESTUDO	23
4.2	INSTRUMENTAÇÃO DOS DEGRAUS.....	25
4.2.1	<i>Instrumentação e sua localização nos degraus tipo T.....</i>	27
4.2.2	<i>Instrumentação e sua localização nos degraus tipo L.....</i>	30
5	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS VALORES OBSERVADOS NA FASE 1 E 2 – ENSAIOS EM CONDIÇÕES DE SERVIÇO	33
5.1	ENSAIOS DOS DEGRAUS TIPO T	33
5.1.1	<i>Apresentação dos valores observados nos sensores.....</i>	33
5.1.2	<i>Interpretação dos resultados</i>	44
5.2	ENSAIOS DOS DEGRAUS TIPO L.....	47
5.2.1	<i>Apresentação dos valores observados nos sensores.....</i>	47
5.2.2	<i>Interpretação dos resultados</i>	58
6	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS VALORES OBSERVADOS NA FASE 3 DO ESTUDO DOS DEGRAUS TIPO L.....	62
6.1	FASE 3 – ENSAIO 10	63
6.2	FASE 3 – ENSAIO 11	65
6.3	ANÁLISE DOS RESULTADOS OBSERVADOS	69
7	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS VALORES OBSERVADOS NO ENSAIO À ROTURA ..	70
7.1	ENSAIO À ROTURA DOS DEGRAUS TIPO T	70
7.1.1	<i>Fase 3 – Ensaio 7</i>	71
7.1.2	<i>Fase 3 – Ensaio 8</i>	75
7.1.3	<i>Fendilhação e Danos ocorridos Durante o Ensaio</i>	80
7.1.4	<i>Análise e Interpretação dos Valores Observados Durante o Ensaio.....</i>	80
7.2	ENSAIO À ROTURA DOS DEGRAUS TIPO L.....	81
7.2.1	<i>Fase 4 – Ensaio 12</i>	82
7.2.2	<i>Fendilhação e Danos ocorridos Durante o Ensaio</i>	87
7.2.3	<i>Análise e Interpretação dos Valores Observados Durante o Ensaio.....</i>	87

Índice de Figuras

FIGURA 1 – DIMENSÕES DO DEGRAU TIPO T USADO NO ENSAIO.....	7
FIGURA 2 – DIMENSÕES DA SECÇÃO TRANSVERSAL DO DEGRAU TIPO T UTILIZADO NO ENSAIO.....	8
FIGURA 3 – DIMENSÕES DO DEGRAU TIPO L USADO NO ENSAIO.....	8
FIGURA 4 – DIMENSÕES DA SECÇÃO TRANSVERSAL DO DEGRAU TIPO L USADO NO ENSAIO	9
FIGURA 5 – ESQUEMA DA DISPOSIÇÃO DA ARMADURA LONGITUDINAL NO DEGRAU TIPO T	9
FIGURA 6 – ESQUEMA DA DISPOSIÇÃO DA ARMADURA LONGITUDINAL NO DEGRAU TIPO T	10
FIGURA 7 – ESQUEMA DA DISPOSIÇÃO DA ARMADURA LONGITUDINAL NO DEGRAU TIPO L.....	10
FIGURA 8 – ESQUEMA DA DISPOSIÇÃO DA ARMADURA LONGITUDINAL NO DEGRAU TIPO L.....	11
FIGURA 9 – LIGAÇÕES ENTRE DEGRAUS E DESTES COM A VIGA DE BANCADA	11
FIGURA 10 – PORMENOR A CORRESPONDENTE A UMA LIGAÇÃO FLEXÍVEL ENTRE DEGRAUS.....	12
FIGURA 11 – PORMENOR B CORRESPONDENTE A UMA LIGAÇÃO RÍGIDA ENTRE DEGRAUS.....	12
FIGURA 12 – PORMENOR C CORRESPONDENTE À LIGAÇÃO DOS DEGRAUS COM A VIGA DE BANCADA	12
FIGURA 13 – CONSTRUÇÃO DAS BANCADAS DO ESTÁDIO DO DRAGÃO, NUMA FASE EM QUE SÃO VISÍVEIS AS VIGAS DE BANCADA SOBRE AS QUAIS SERÃO COLOCADOS OS DEGRAUS.....	13
FIGURA 14 – LOCALIZAÇÃO DAS ZONAS DE LIGAÇÃO ENTRE DEGRAUS.....	13
FIGURA 15 – COLOCAÇÃO DOS DEGRAUS DE BANCADA NO ESTÁDIO EURO ANTAS.....	15
FIGURA 16 – ESTRUTURA METÁLICA UTILIZADA PARA SIMULAR AS CONDIÇÕES FRONTEIRAS EXISTENTES NUMA BANCADA.....	16
FIGURA 17 – FOTOGRAFIAS DA ESTRUTURA METÁLICA USADA PARA MATERIALIZAR A CONTINUIDADE ENTRE DEGRAUS	16
FIGURA 18 – PORMENORES DAS LIGAÇÕES DA ESTRUTURA METÁLICA AOS DEGRAUS	17
FIGURA 19 – MATERIALIZAÇÃO DE UM NÓ ROTULADO ATRAVÉS DA INTRODUÇÃO DE UMA SEGUNDA PORCA	17
FIGURA 20 – FOTOGRAFIAS DOS MACIÇOS CONCEBIDOS PARA SIMULAR AS VIGAS DE BANCADA EXISTENTES NO ESTÁDIO, PARA AS BANCADAS TIPO T E L.....	18
FIGURA 21 – SISTEMA DE APLICAÇÃO DE CARGAS.....	19
FIGURA 22 – SISTEMA DE REPARTIÇÃO DE CARGAS PONTUAIS USADO PARA SIMULAR A APLICAÇÃO DE UMA CARGA UNIFORMEMENTE DISTRIBUÍDA	19
FIGURA 23 – DEFORMADA NUMA VIGA SIMPLEMENTE APOIADA SUJEITA A DIFERENTES SOLICITAÇÕES, CARGAS CONCENTRADAS E CARGA UNIFORMEMENTE DISTRIBUÍDA	20
FIGURA 24 – MODELO NUMÉRICO REALIZADO PARA VALIDAR O DISPOSITIVO MONTADO PARA ENSAIAR OS DEGRAUS TIPO T	21
FIGURA 25 – MODELO NUMÉRICO REALIZADO PARA VALIDAR O DISPOSITIVO MONTADO PARA ENSAIAR OS DEGRAUS TIPO L.....	21
FIGURA 26 – ENSAIOS REALIZADOS PARA O ESTUDO DO COMPORTAMENTO DOS DEGRAUS TIPO T.....	24
FIGURA 27 – ENSAIOS REALIZADOS PARA O ESTUDO DO COMPORTAMENTO DOS DEGRAUS TIPO L.....	24
FIGURA 28 – DISPLACEMENT TRANSDUCER COLOCADO NA SECÇÃO DE APOIO.....	25
FIGURA 29 – LVDT'S, LINEAR VARIABLE DIFFERENTIAL TRANSFORMER NA SECÇÃO DO APOIO.....	26
FIGURA 30 – CLIP GAGE NUMA SECÇÃO DE QUARTO DE VÃO	26
FIGURA 31 – LVDT NA SECÇÃO DE QUARTO DE VÃO	26
FIGURA 32 – EQUIPAMENTO DE AQUISIÇÃO E ARMAZENAMENTO DE SINAL	27
FIGURA 33 – ESQUEMA DA LOCALIZAÇÃO DA INSTRUMENTAÇÃO COLOCADA NO DEGRAU INFERIOR, DEGRAU TIPO T	27
FIGURA 34 – ESQUEMA DA LOCALIZAÇÃO DA INSTRUMENTAÇÃO COLOCADA NO DEGRAU SUPERIOR, DEGRAU TIPO T	28
FIGURA 35 – LOCALIZAÇÃO DA INSTRUMENTAÇÃO NAS SECÇÕES S1 E S5 DOS DEGRAUS TIPO T	28
FIGURA 36 – LOCALIZAÇÃO DA INSTRUMENTAÇÃO NAS SECÇÕES S2 E S4 DOS DEGRAUS TIPO T	29
FIGURA 37 – LOCALIZAÇÃO DA INSTRUMENTAÇÃO NA SECÇÃO S3 DOS DEGRAUS TIPO T	29

FIGURA 38 – ESQUEMA DA LOCALIZAÇÃO DA INSTRUMENTAÇÃO COLOCADA NO DEGRAU INFERIOR, DEGRAU TIPO L	30
FIGURA 39 – ESQUEMA REPRESENTATIVO DA LOCALIZAÇÃO DA INSTRUMENTAÇÃO COLOCADA NO DEGRAU SUPERIOR, DEGRAU TIPO L	31
FIGURA 40 – LOCALIZAÇÃO DA INSTRUMENTAÇÃO NAS SECÇÕES S1 E S5 DOS DEGRAUS TIPO L	31
FIGURA 41 – LOCALIZAÇÃO DA INSTRUMENTAÇÃO NAS SECÇÕES S2 E S4 DOS DEGRAUS TIPO L	32
FIGURA 42 – LOCALIZAÇÃO DA INSTRUMENTAÇÃO NA SECÇÃO S3 DOS DEGRAUS TIPO L	32
FIGURA 43 – EVOLUÇÃO DO CARREGAMENTO APLICADO PELO ACTUADOR 1 DURANTE O ENSAIO 1	34
FIGURA 44 – EVOLUÇÃO DO CARREGAMENTO APLICADO PELO ACTUADOR 2 DURANTE O ENSAIO 1	35
FIGURA 45 – EVOLUÇÃO DO CARREGAMENTO APLICADO PELO ACTUADOR 1 DURANTE O ENSAIO 5	39
FIGURA 46 – EVOLUÇÃO DO CARREGAMENTO APLICADO PELO ACTUADOR 2 DURANTE O ENSAIO 5	40
FIGURA 47 – MAPA DE DEFORMAÇÕES CORRESPONDENTE ÀS CONDIÇÕES DO ENSAIO 1	ERROR!
BOOKMARK NOT DEFINED.	
FIGURA 48 – COMPARAÇÃO DOS VALORES DAS DEFORMAÇÕES VERTICAIS DO MODELO NUMÉRICO E DO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO OBTIDOS PARA O ENSAIO 1	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
FIGURA 49 – MAPA DE TENSÕES CORRESPONDENTE ÀS CONDIÇÕES DO ENSAIO 1	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
FIGURA 50 – COMPARAÇÃO DOS VALORES DAS EXTENSÕES DO MODELO NUMÉRICO E DO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO OBTIDOS PARA O ENSAIO 1	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
FIGURA 51 – MAPA DE DEFORMAÇÕES CORRESPONDENTE ÀS CONDIÇÕES DO ENSAIO 5	46
FIGURA 52 – COMPARAÇÃO DOS VALORES DAS DEFORMAÇÕES VERTICAIS DO MODELO NUMÉRICO E DO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO OBTIDOS PARA O ENSAIO 5	46
FIGURA 53 – MAPA DE TENSÕES CORRESPONDENTE ÀS CONDIÇÕES DO ENSAIO 5	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
FIGURA 54 – COMPARAÇÃO DOS VALORES DAS EXTENSÕES DO MODELO NUMÉRICO E DO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO OBTIDOS PARA O ENSAIO 5	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
FIGURA 55 – EVOLUÇÃO DO CARREGAMENTO APLICADO PELO ACTUADOR 1 DURANTE O ENSAIO 3	48
FIGURA 56 – EVOLUÇÃO DO CARREGAMENTO APLICADO PELO ACTUADOR 2 DURANTE O ENSAIO 3	49
FIGURA 57 – EVOLUÇÃO DO CARREGAMENTO APLICADO PELO ACTUADOR 1 DURANTE O ENSAIO 9	53
FIGURA 58 – EVOLUÇÃO DO CARREGAMENTO APLICADO PELO ACTUADOR 2 DURANTE O ENSAIO 9	54
FIGURA 59 – MAPA DE DEFORMAÇÕES CORRESPONDENTE ÀS CONDIÇÕES DO ENSAIO 3	58
FIGURA 60 – COMPARAÇÃO DOS VALORES DAS DEFORMAÇÕES VERTICAIS DO MODELO NUMÉRICO E DO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO OBTIDOS PARA O ENSAIO 3	59
FIGURA 61 – MAPA DE TENSÕES CORRESPONDENTE ÀS CONDIÇÕES DO ENSAIO 3	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
FIGURA 62 – COMPARAÇÃO DOS VALORES DAS EXTENSÕES DO MODELO NUMÉRICO E DO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO OBTIDOS PARA O ENSAIO 3	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
FIGURA 63 – MAPA DE DEFORMAÇÕES CORRESPONDENTE ÀS CONDIÇÕES DO ENSAIO 9	60
FIGURA 64 – COMPARAÇÃO DOS VALORES DAS DEFORMAÇÕES VERTICAIS DO MODELO NUMÉRICO E DO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO OBTIDOS PARA O ENSAIO 9	61
FIGURA 65 – MAPA DE TENSÕES CORRESPONDENTE ÀS CONDIÇÕES DO ENSAIO 9	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
FIGURA 66 – COMPARAÇÃO DOS VALORES DAS EXTENSÕES DO MODELO NUMÉRICO E DO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO OBTIDOS PARA O ENSAIO 9	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
FIGURA 67 – GRUPO DE ADEPTOS QUE REALIZARAM O CARREGAMENTO DURANTE O ENSAIO 10 DA FASE 3	62
FIGURA 68 – MOVIMENTOS SINCRONIZADOS DOS ADEPTOS DURANTE A REALIZAÇÃO DO ENSAIO 10 DA FASE 3	63
FIGURA 69 – PESO DOS ADEPTOS PRESENTES NO ENSAIO 10 E A CORRESPONDENTE CARGA APLICADA POR DEGRAU	63
FIGURA 70 – REGISTO DE VALORES OBSERVADOS NOS LV COLOCADOS A MEIO E QUARTO DE VÃO	64
FIGURA 71 – REGISTO DE VALORES OBSERVADOS NOS CLIPS COLOCADOS NO DEGRAU INFERIOR	65
FIGURA 72 – PESO DOS ADEPTOS PRESENTES NO ENSAIO 11 E A CORRESPONDENTE CARGA APLICADA POR DEGRAU	66
FIGURA 73 – REGISTO DE VALORES OBSERVADOS NOS LV COLOCADOS A MEIO E QUARTO DE VÃO	67
FIGURA 74 – REGISTO DE VALORES OBSERVADOS NOS LV COLOCADOS A MEIO E QUARTO DE VÃO	67

FIGURA 75 – REGISTO DE VALORES OBSERVADOS NOS CLIPS COLOCADOS NO DEGRAU INFERIOR.....	68
FIGURA 76 – REGISTO DE VALORES OBSERVADOS NOS CLIPS COLOCADOS NO DEGRAU INFERIOR.....	68
FIGURA 77 – QUADRO CORRESPONDENTE AOS VALORES OBSERVADOS A MEIO VÃO DO DEGRAU INFERIOR DURANTE O ENSAIO 11 DA FASE 3	69
FIGURA 78 – TRANSDUTOR DE DESLOCAMENTOS VERTICAIS UTILIZADO NO ENSAIO 8 (DTV).....	70
FIGURA 79 – DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DO ENSAIO 7	71
FIGURA 80 – EVOLUÇÃO DO DESLOCAMENTO AO LONGO DO ENSAIO 7	72
FIGURA 81 – EVOLUÇÃO DO CARREGAMENTO APLICADO PELOS ACTUADORES DURANTE O ENSAIO 7	73
FIGURA 82 – EVOLUÇÃO DOS DESLOCAMENTOS VERTICAIS DURANTE O ENSAIO 7	73
FIGURA 83 – DESLOCAMENTOS VERTICAIS MÁXIMOS REGISTADOS DURANTE O ENSAIO 7	74
FIGURA 84 – EVOLUÇÃO DAS EXTENSÕES DURANTE O ENSAIO 7	74
FIGURA 85 – EXTENSÕES MÁXIMAS REGISTADAS DURANTE O ENSAIO 7	75
FIGURA 86 – DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DO ENSAIO 7	75
FIGURA 87 – EVOLUÇÃO DO DESLOCAMENTO AO LONGO DO ENSAIO 8	76
FIGURA 88 – EVOLUÇÃO DO CARREGAMENTO APLICADO PELOS ACTUADORES DURANTE O ENSAIO 8	77
FIGURA 89 – EVOLUÇÃO DOS DESLOCAMENTOS VERTICAIS DURANTE O ENSAIO 8	78
FIGURA 90 – DESLOCAMENTO VERTICAL REGISTADO DURANTE O ENSAIO 8	78
FIGURA 91 – EVOLUÇÃO DO DESLOCAMENTO VERTICAL OBSERVADO NO DTV DURANTE O ENSAIO 8	79
FIGURA 92 – DESLOCAMENTO VERTICAL MÁXIMO E PERMANENTE OBSERVADO DURANTE O ENSAIO 8	79
FIGURA 93 – ASPECTO DOS DEGRAUS DURANTE O DECORRER DO ENSAIO 8	80
FIGURA 94 – TRANSDUTOR DE DESLOCAMENTOS VERTICAIS UTILIZADO NO ENSAIO 12 (LV)	81
FIGURA 95 – DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DO ENSAIO 7	82
FIGURA 96 – EVOLUÇÃO DO DESLOCAMENTO AO LONGO DO ENSAIO 12	83
FIGURA 97 – EVOLUÇÃO DO CARREGAMENTO APLICADO PELOS ACTUADORES DURANTE O ENSAIO 8	84
FIGURA 98 – DESLOCAMENTO VERTICAL OBSERVADO NO LV DURANTE O ENSAIO 12	85
FIGURA 99 – DESLOCAMENTO VERTICAL MÁXIMO REGISTADO DURANTE O ENSAIO 12	85
FIGURA 100 – EVOLUÇÃO DO DESLOCAMENTO VERTICAL OBSERVADO NO DTV DURANTE O ENSAIO 12	86
FIGURA 101 – EVOLUÇÃO DO DESLOCAMENTO HORIZONTAL RELATIVO ENTRE DEGRAUS OBSERVADO DURANTE O ENSAIO 12.....	87
FIGURA 91 – ASPECTO DOS DEGRAUS DURANTE O DECORRER DO ENSAIO 8	87

Índice de Quadros

QUADRO 1 – ENSAIOS REALIZADOS PARA O ESTUDO DO COMPORTAMENTO DOS DEGRAUS TIPO T	24
QUADRO 2 – ENSAIOS REALIZADOS PARA O ESTUDO DO COMPORTAMENTO DOS DEGRAUS TIPO L	24
QUADRO 3 – COMPARAÇÃO DOS VALORES DAS DEFORMAÇÕES VERTICAIS DO MODELO NUMÉRICO E DO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO OBTIDOS PARA O ENSAIO 1	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
QUADRO 4 – COMPARAÇÃO DOS VALORES DAS EXTENSÕES DO MODELO NUMÉRICO E DO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO OBTIDOS PARA O ENSAIO 1	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
QUADRO 5 – COMPARAÇÃO DOS VALORES DAS DEFORMAÇÕES VERTICAIS DO MODELO NUMÉRICO E DO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO OBTIDOS PARA O ENSAIO 5	46
QUADRO 6 – COMPARAÇÃO DOS VALORES DAS EXTENSÕES DO MODELO NUMÉRICO E DO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO OBTIDOS PARA O ENSAIO 5	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
QUADRO 7 – COMPARAÇÃO DOS VALORES DAS DEFORMAÇÕES VERTICAIS DO MODELO NUMÉRICO E DO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO OBTIDOS PARA O ENSAIO 3	59
QUADRO 8 – COMPARAÇÃO DOS VALORES DAS EXTENSÕES DO MODELO NUMÉRICO E DO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO OBTIDOS PARA O ENSAIO 3	45
QUADRO 9 – COMPARAÇÃO DOS VALORES DAS DEFORMAÇÕES VERTICAIS DO MODELO NUMÉRICO E DO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO OBTIDOS PARA O ENSAIO 9	61
QUADRO 10 – COMPARAÇÃO DOS VALORES DAS EXTENSÕES DO MODELO NUMÉRICO E DO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO OBTIDOS PARA O ENSAIO 9	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
QUADRO 11 – PESO DOS ADEPTOS PRESENTES NO ENSAIO 10 E A CORRESPONDENTE CARGA APLICADA POR DEGRAU	63
QUADRO 12 – PESO DOS ADEPTOS PRESENTES NO ENSAIO 11 E A CORRESPONDENTE CARGA APLICADA POR DEGRAU	66
QUADRO 13 – DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DO ENSAIO 7	71
QUADRO 14 – DESLOCAMENTOS VERTICAIS MÁXIMOS REGISTADOS DURANTE O ENSAIO 7	74
QUADRO 15 – EXTENSÕES MÁXIMAS REGISTADAS DURANTE O ENSAIO 7	75
QUADRO 16 – DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DO ENSAIO 7	75
QUADRO 17 – DESLOCAMENTO VERTICAL REGISTADO DURANTE O ENSAIO 8	78
QUADRO 18 – DESLOCAMENTO VERTICAL MÁXIMO E PERMANENTE OBSERVADO DURANTE O ENSAIO 8	79
QUADRO 19 – DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DO ENSAIO 7	82
QUADRO 20 – DESLOCAMENTO VERTICAL REGISTADO DURANTE O ENSAIO 8	85
QUADRO 21 – DESLOCAMENTO VERTICAL MÁXIMO E PERMANENTE OBSERVADO DURANTE O ENSAIO 8	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.

1 Âmbito da Intervenção

O presente relatório reúne a informação relativa aos ensaios de caracterização dos degraus pré-fabricados constituindo bancadas do Estádio do Dragão, ensaios esses solicitados pela empresa Prégia ao LABEST – Laboratório da Tecnologia do Betão e do Comportamento Estrutural

A condução dos ensaios laboratoriais de caracterização dos degraus pré-fabricados teve por objectivo principal a caracterização do comportamento estático e dinâmico de dois degraus pré-fabricados de betão armado. Complementarmente pretendeu-se observar o funcionamento das ligações entre degraus e dos apoios, tendo sido para tal realizados ensaios em condições de serviço (acções repetidas) do conjunto de dois degraus com ligações flexíveis e com ligações rígidas. Por último os degraus foram levados à rotura por forma a avaliar a sua capacidade de carga e ductilidade.

Todos estes ensaios laboratoriais foram suportados por um estudo numérico, no qual a estrutura e suas condições de apoio foram modeladas. Para condições elásticas a modelação foi realizada com o auxílio do programa de cálculo automático ROBOT, enquanto que para condições não lineares foi utilizado o programa SECÇÕES.

No caso particular dos elementos estruturais em apreço, assumiu especial relevância a reprodução integral das condições de apoio a que as bancadas vão estar sujeitas em obra, facto que levou à concepção e realização de uma estrutura metálica auxiliar.

Será ainda importante referir que os elementos ensaiados foram considerados como representativos da generalidade dos elementos a instalar em obra. Nomeadamente constituídos pelos mesmos materiais, com igual secção transversal, com um vão representativo dos elementos a instalar em obra e com condições de fabrico idênticas.

2 Caracterização dos Degraus

Durante a realização deste estudo foram ensaiados dois tipos de degraus diferentes, os degraus tipo T e os degraus Tipo L. Os degraus foram fabricados pela Prégia e segundo indicação da mesma betonados a 19 de Agosto de 2002.

De seguida é apresentado a geometria dos dois tipos de degraus, a armadura utilizada, as formas de ligação entre degraus e destes com a viga de bancada e uma caracterização dos materiais utilizados.

2.1 Dimensões do Degraus

A geometria dos degraus de igual tipo, T ou L, utilizados para constituir as bancadas é igual, à excepção da sua altura que vai variando consoante a sua posição no estádio. As dimensões que a seguir se apresentam correspondem às dimensões reais dos degraus fornecidos para ser objecto de estudo.

2.1.1 Degrau tipo T

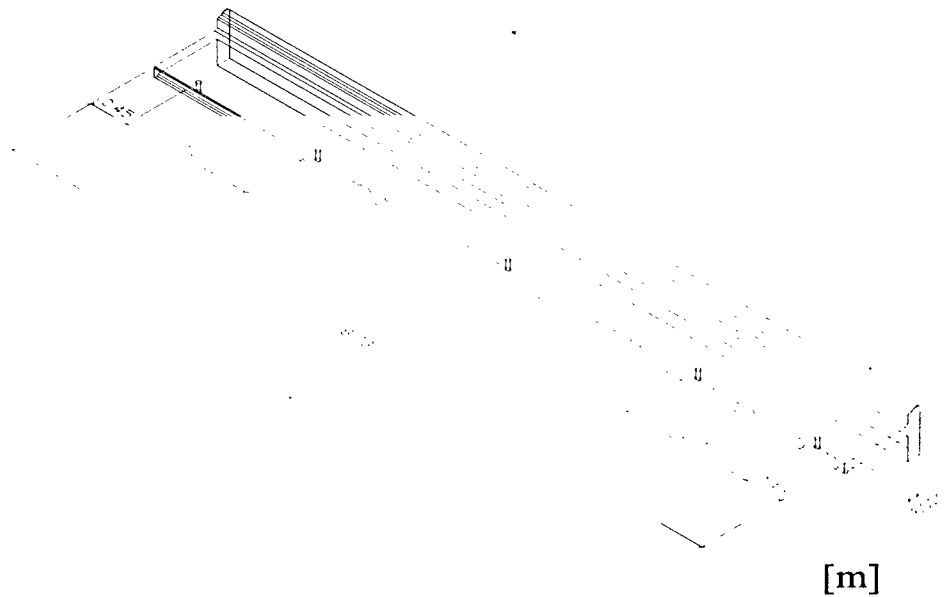


Figura 1 – Dimensões do degrau tipo T usado no ensaio

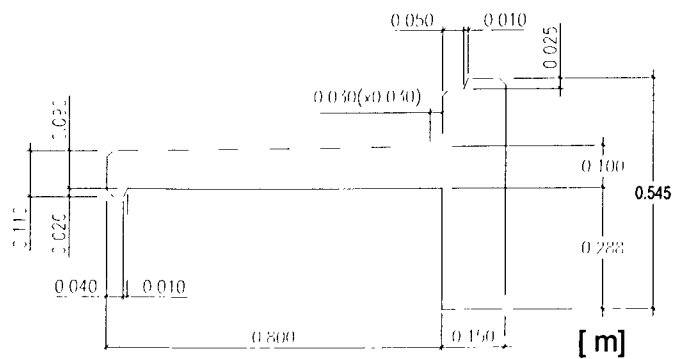


Figura 2 – Dimensões da secção transversal do degrau tipo T utilizado no ensaio

2.1.2 Degrau Tipo L

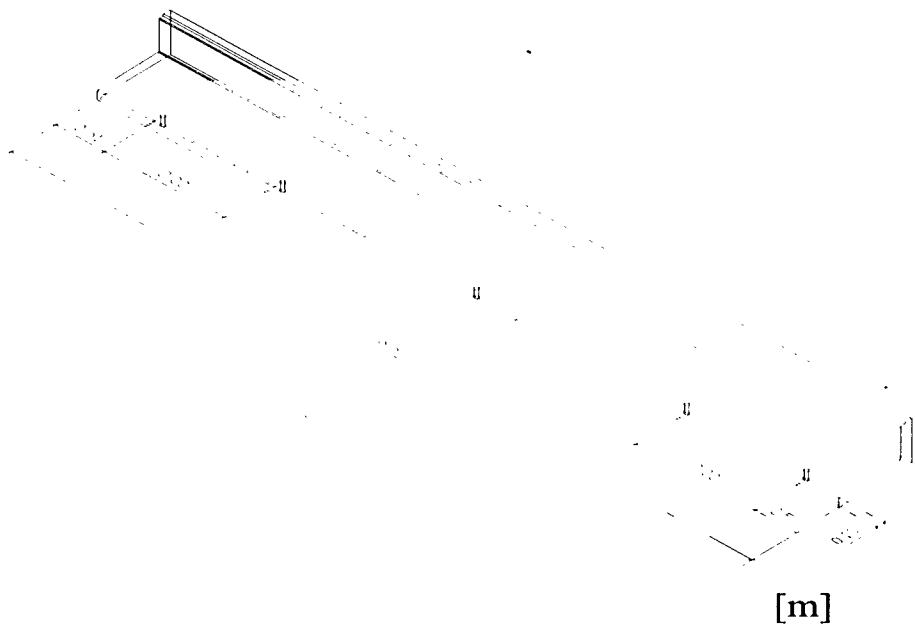


Figura 3 – Dimensões do degrau tipo L usado no ensaio

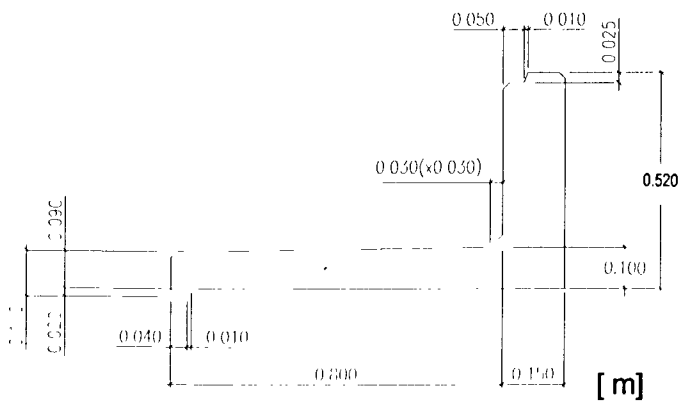


Figura 4 – Dimensões da secção transversal do degrau tipo L usado no ensaio

2.2 Disposição das Armaduras

De seguida apresentam-se as plantas de armadura, armadura longitudinal e transversal, fornecidas pela PréGaia, sobre as quais se basearam os estudos dos degraus.

2.2.1 Degrau tipo T

As armaduras utilizadas neste tipo de degraus são as seguintes:

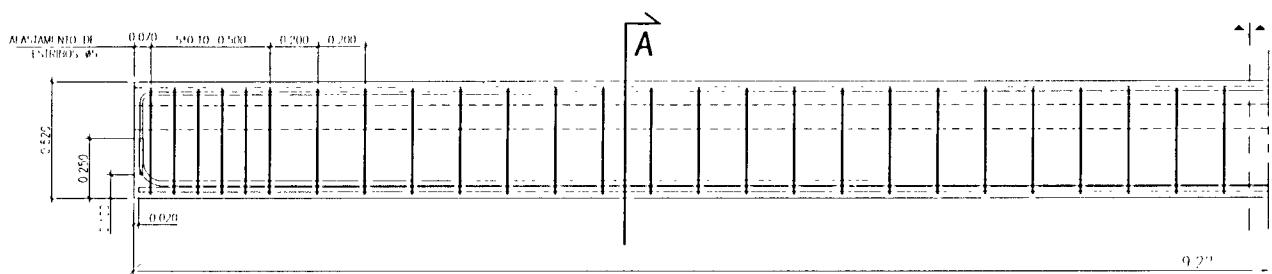


Figura 5 – Esquema da disposição da armadura longitudinal no degrau tipo T

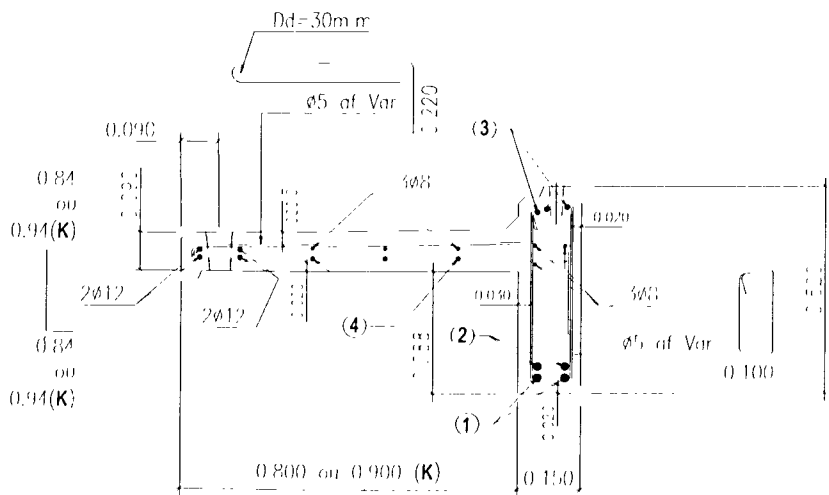


Figura 6 – Esquema da disposição da armadura longitudinal no degrau tipo T

2.2.2 Degrau tipo L

As armaduras utilizadas neste tipo de degraus são as seguintes:

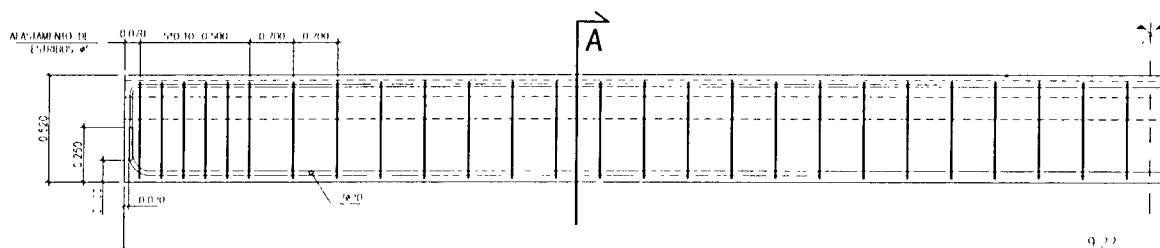


Figura 7 – Esquema da disposição da armadura longitudinal no degrau tipo L

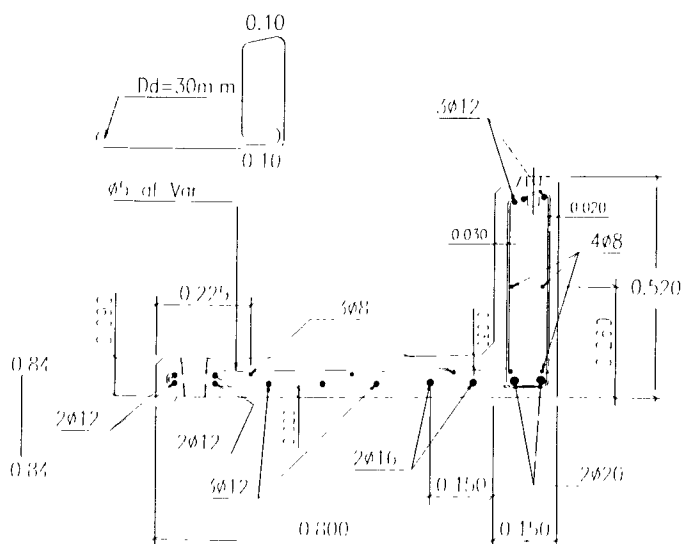


Figura 8 – Esquema da disposição da armadura longitudinal no degraú tipo L

2.3 Ligações entre Degraus e destes com as vigas de bancada

No estádio os degraus encontram-se apoiados nas vigas de bancada (ver Figura 13) e por sua vez estes são ligados entre si em cinco pontos equidistantes. A ligação entre degraus é realizada alternadamente com ligações flexíveis e ligações rígidas, ligações onde é usado para além do EPDM varões de aço que funcionam como conectores (ver Figura 14). Pormenores das ligações usadas nas zonas de apoio dos degraus à viga de bancada bem com das ligações flexíveis e rígidas usadas para ligar degraus apresentam-se nos pontos seguintes.

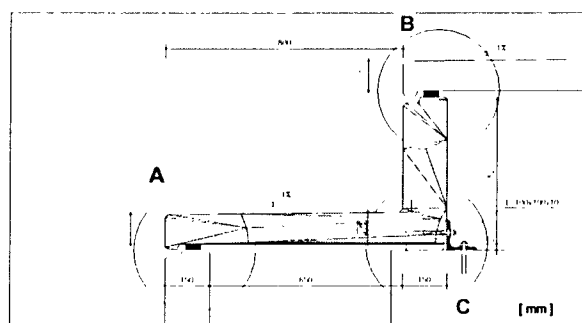
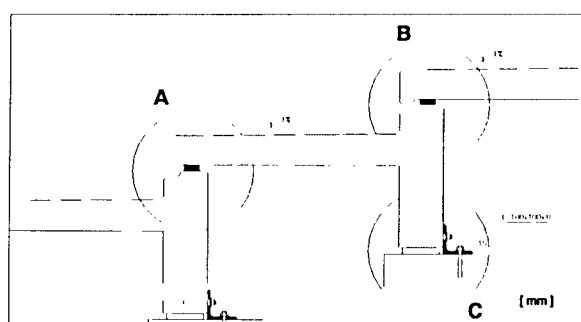


Figura 9 – Ligações entre degraus e destes com a viga de bancada

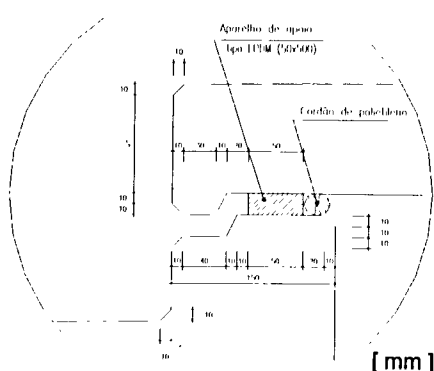


Figura 10 – Pormenor A correspondente a uma ligação flexível entre degraus

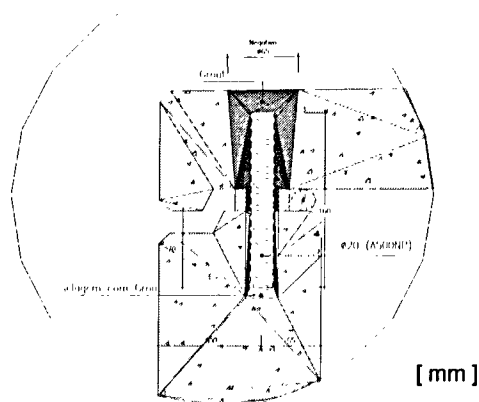


Figura 11 – Pormenor B correspondente a uma ligação rígida entre degraus

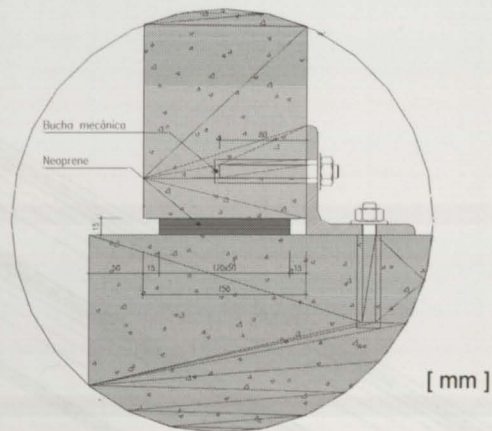


Figura 12 – Pormenor C correspondente à ligação dos degraus com a viga de bancada



Figura 13 – Construção das bancadas do Estádio do Dragão, numa fase em que são

visíveis as vigas de bancada sobre as quais serão colocados os degraus

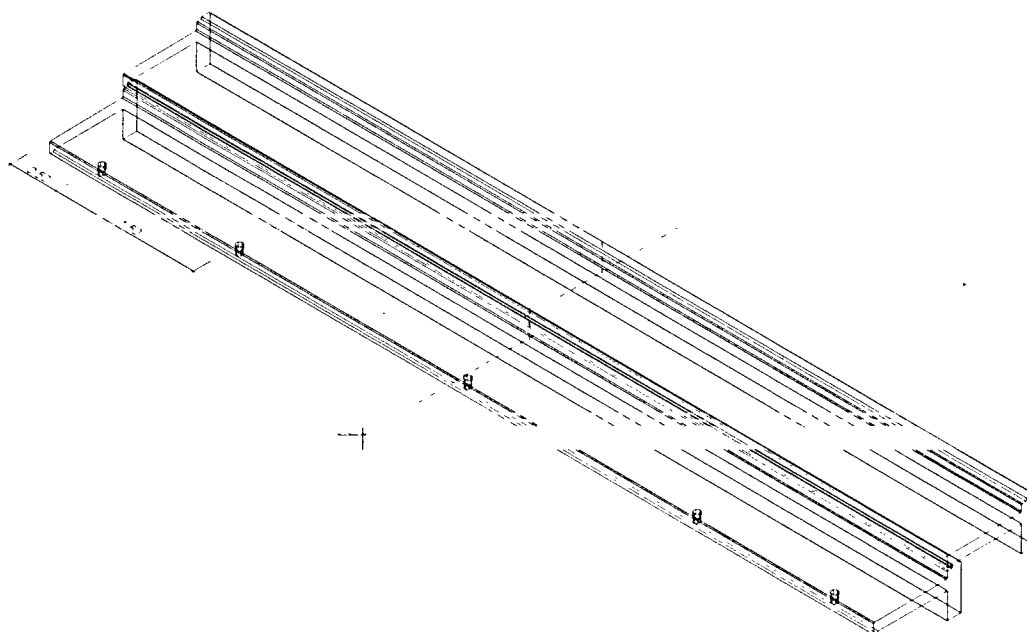


Figura 14 – Localização das zonas de ligação entre degraus

2.4 Caracterização dos Materiais

2.4.1 Caracterização do Betão

Com vista à correcta avaliação da resistência do betão utilizado nos degraus, foi solicitado à *Prégaia* o resultado dos ensaios de rotura por compressão realizado durante o mês de Agosto (mês durante o qual os degraus ensaiados foram betonados). O relatório desses mesmos ensaios foi o seguinte:

Natureza do Ensaio: Rotura por compressão de provetes (cubos 15x15x15) como designado na especificação do LNEC E226-1968

Data de Fabrico	Data de Ensaio	Val. Tensão	Local
02-08-2002	30-08-2002	44.2	Prégaia
06-08-2002	03-09-2002	43.8	Prégaia
07-08-2002	04-09-2002	43.2	Prégaia
09-08-2002	06-09-2002	42.9	Prégaia
09-08-2002	06-09-2002	43.2	Prégaia
12-08-2002	09-09-2002	55.7	Prégaia
19-08-2002	16-09-2002	43.5	Prégaia
21-08-2002	18-09-2002	43.5	Prégaia
23-08-2002	20-09-2002	44.1	Prégaia
29-08-2002	26-09-2002	45	Prégaia
30-08-2002	27-09-2002	44.1	Prégaia

Número de provetes	11
Desvio padrão do conjunto	3.7MPa
Média do conjunto de provetes	44.8MPa
Valor característico	38.8MPa

Atendendo aos dados fornecidos considerou-se tratar-se de um betão C25/30.

2.4.2 Caracterização do Aço

Relativamente ao aço a única informação de que dispomos é que se trata de um aço A500, logo supôs-se que terá todas as características regulamentares relativamente a um aço desta classe.

3 Dispositivo do Ensaio

3.1 Materialização das Condições Fronteira

Para a realização deste ensaio foi necessário montar um dispositivo capaz de materializar correctamente as condições fronteira existentes no estádio (ver Figura 15 **Error! Reference source not found.**). Os degraus encontram-se sobrepostos uns sobre os outros e apoiados nos extremos nas vigas de bancada. Atendendo assim à continuidade de degraus numa bancada e à necessidade de estudar o comportamento das ligações entre estes concluiu-se ser fundamental ensaiar um mínimo de dois degraus (Figura 16), designados por degrau superior e degrau inferior. Para a simulação das condições fronteira foi concebida uma estrutura metálica capaz de garantir a compatibilidade de deslocamento entre a extremidade

do patim e o espelho (viga) que lhe dá apoio. Admitindo um carregamento uniforme e simultâneo em toda a bancada corresponde à imposição de igualdade de deslocamentos verticais nos pontos de ligação dos degraus superior e inferior ensaiados (Figura 15).



Figura 15 – Colocação dos degraus de bancada no estádio Euro Antas

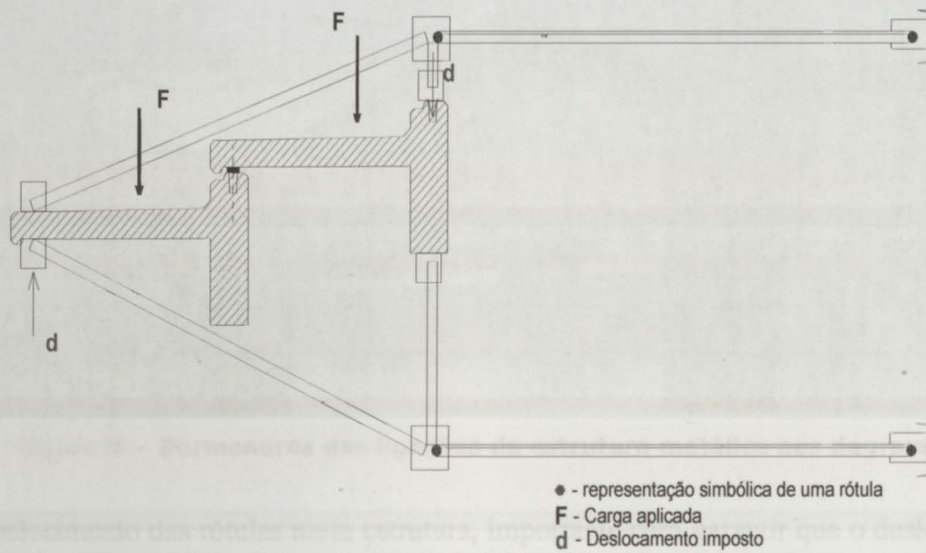


Figura 16 – Estrutura metálica utilizada para simular as condições fronteiras existentes numa bancada

A estrutura consiste basicamente num triângulo indeformável, isto é, num triângulo cujos ângulos internos se mantêm iguais para diferentes carregamentos e duas escoras cuja função principal é garantir que o deslocamento desse mesmo triângulo se desse exclusivamente na vertical.

Na fotografia seguinte é visível a estrutura metálica triangulada concebida para simular a continuidade entre degraus, enquanto que na Figura 18 mostram-se pormenores das ligações das estruturas metálicas aos degraus.

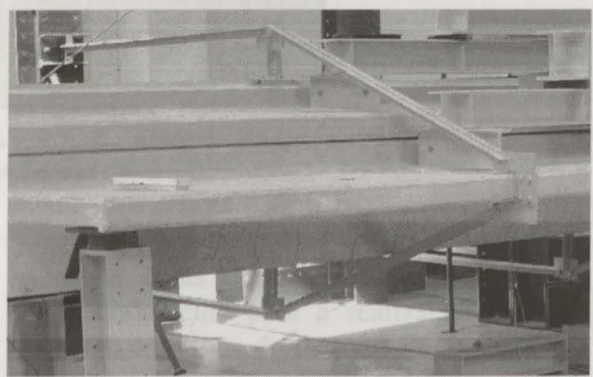
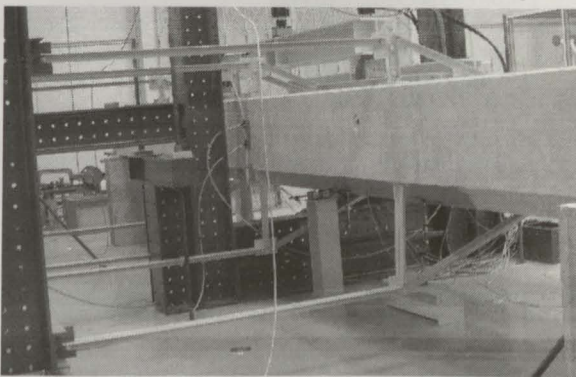


Figura 17 – Fotografias da estrutura metálica usada para materializar a continuidade entre degraus

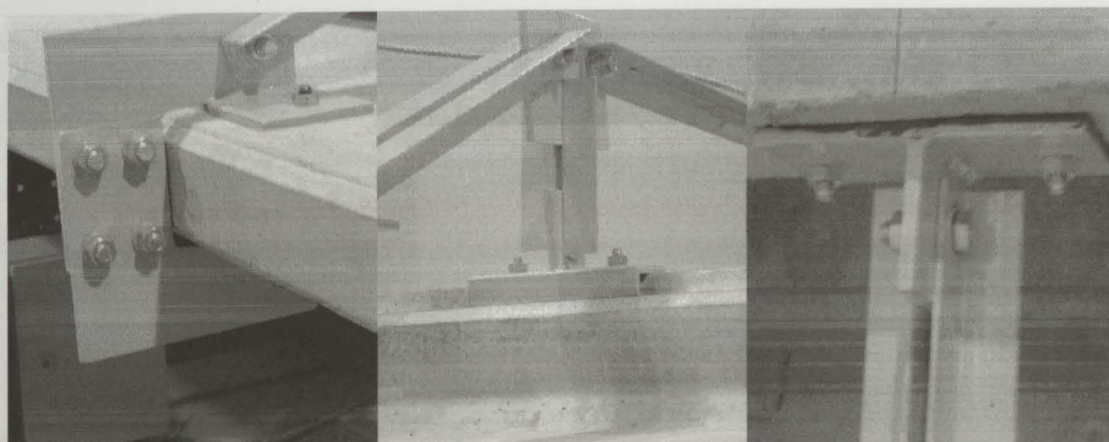


Figura 18 – Pormenores das ligações da estrutura metálica aos degraus

O estabelecimento das rótulas nesta estrutura, importante para garantir que o deslocamento do “triângulo” fosse exclusivamente vertical, foi conseguido por introdução no nó rotulado de uma segunda porca (ver Figura 19).



Figura 19 – Materialização de um nó rotulado através da introdução de uma segunda porca

Relativamente aos apoios extremos, apoios sobre as vigas de bancada, estes foram concebidos por meio de maciços betonados propositadamente para a realização deste ensaio. As suas dimensões foram adaptadas a cada um dos tipos de degraus de bancada, assim como a estrutura metálica triangulada.

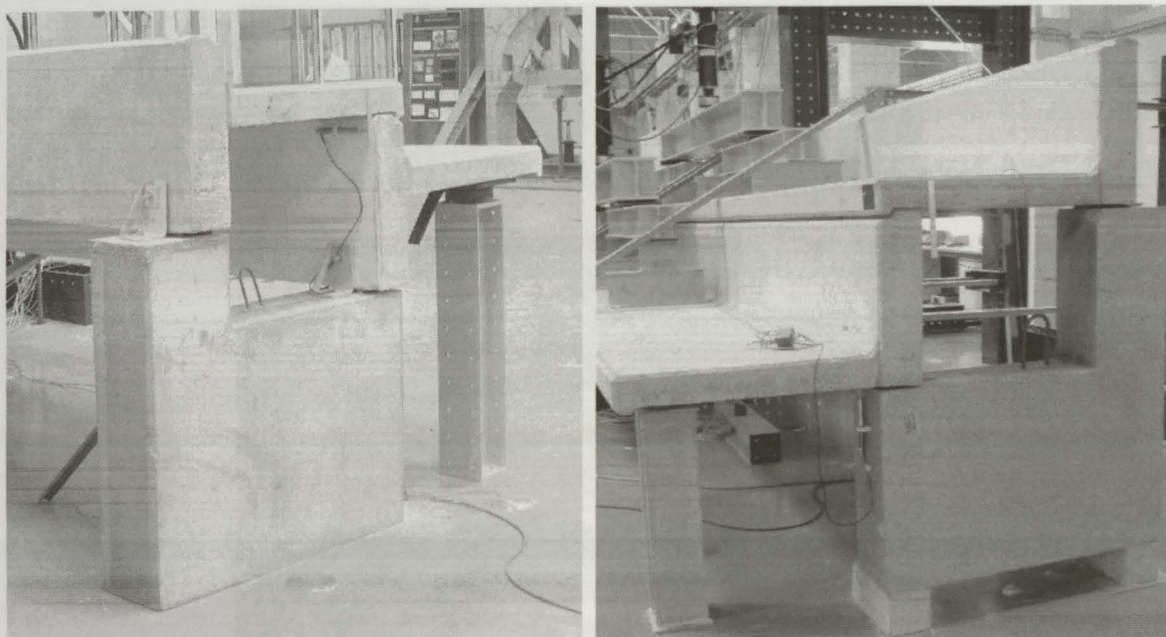


Figura 20 – Fotografias dos maciços concebidos para simular as vigas de bancada existentes no estádio, para as bancadas tipo T e L

3.2 Sistema de Carregamento

Em condições de serviço os degraus estarão sujeitos a um conjunto de ciclos de elevada frequência em carga e descarga. Segundo indicações do projectista a atendendo ao disposto no RSA art. 35.1.1. e) os degraus de bancada deverão ser dimensionados para uma sobrecarga de utilização de 6 kN/m^2 , correspondente a pavimentos em geral, destinados à utilização de carácter colectivo, com possibilidade de muito elevada concentração.

A carga distribuída foi simulada em laboratório através de quatro cargas pontuais em cada degrau que provocam uma deformada equivalente à que provocaria a carga uniformemente distribuída. Para tal foram usados 2 actuadores e um sistema de repartição de cargas, concebido por meio de perfis metálicos, ver Figura 21 O uso dos actuadores como sistema de aplicação de cargas exigiu a concepção de uma estrutura metálica porticada, estrutura a azul nas fotografias, que serviu como estrutura de reacção.

Figura 21 – Sistema de repartição de cargas pontuais em cada degrau para simular a aplicação de uma carga uniformemente distribuída

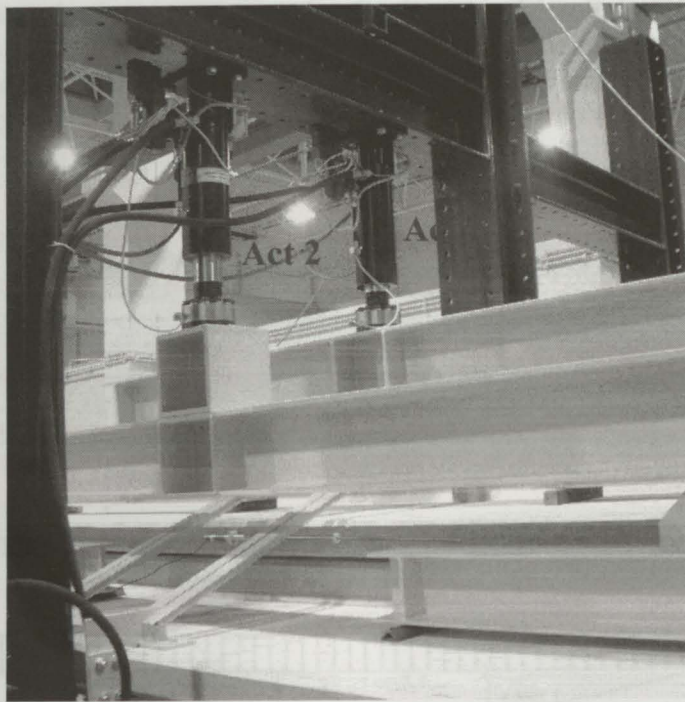


Figura 21 – Sistema de aplicação de cargas

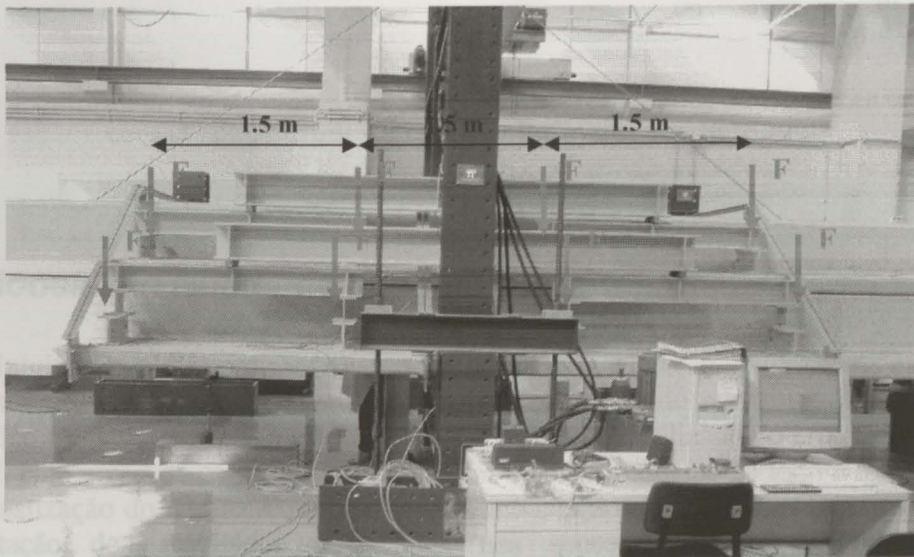


Figura 22 – Sistema de repartição de cargas pontuais usado para simular a aplicação de uma carga uniformemente distribuída

A figura seguinte, retirada do programa de cálculo automático Robot, ilustra a deformada para os dois sistemas de carregamento. Pretende-se desta forma demonstrar que ao aplicar 4 cargas concentradas de 7.9kN ($4 \times 7,9 = 32 \text{ kN}$), dispostas como indicado na Figura 22, obtém-se uma deformada equivalente à que se obteria aplicando uma carga de 6 kN/m^2 , ou seja 4.8 kN/m em $0,8 \text{ m}$ de largura do degrau.

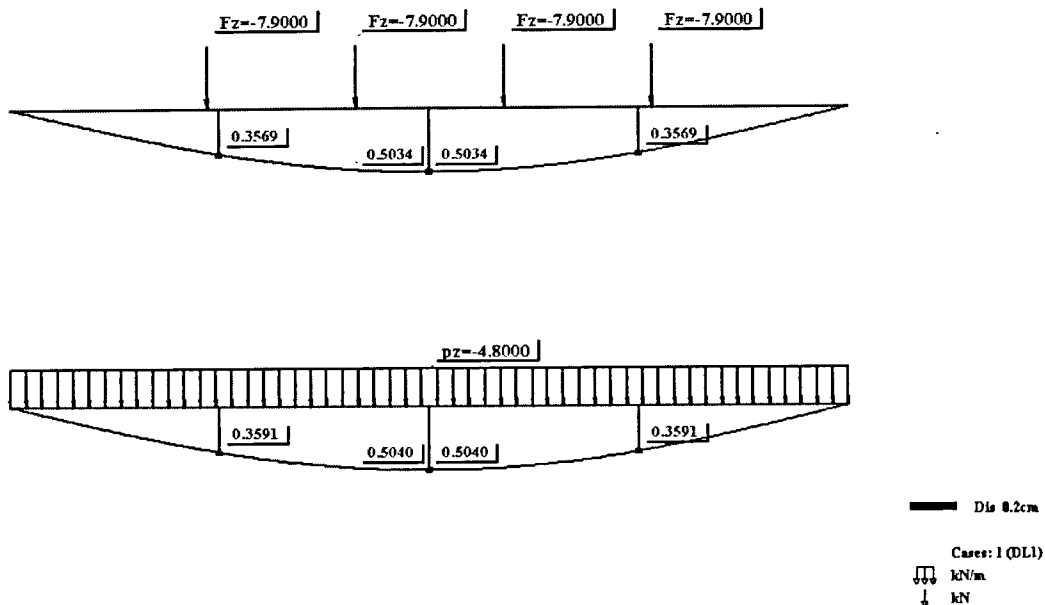


Figura 23 – Deformada numa viga simplesmente apoiada sujeita a diferentes solicitações, cargas concentradas e carga uniformemente distribuída

3.3 Modelação Numérica do Ensaio

Com o intuito de validar o dispositivo montado para a realização e auxiliar na escolha dos sensores a utilizar na monitorização do ensaio foi modelado num programa de cálculo automático os degraus e toda a estrutura metálica auxiliar. Utilizando o programa Robot foi possível, para níveis de carga de serviço, avaliar o comportamento de todo o setup montado para a realização do ensaio. Por outro lado, a modelação numérica dos degraus permite a interpretação dos resultados observados nos sensores usados na monitorização, possibilitando a detecção de eventuais anomalias na estrutura.

Os degraus de bancada foram modelados com elementos de casca de 4 nós enquanto que a treliça metálica com elementos de barras. A modelação dos apoios extremos dos degraus foi realizada com translações impedidas, enquanto que na treliça metálica foram estabelecidas ligações rotuladas ao exterior.

As figuras que se seguem mostram os modelos realizados no programa Robot para o dispositivo montado para o ensaio dos degraus tipo T e L.

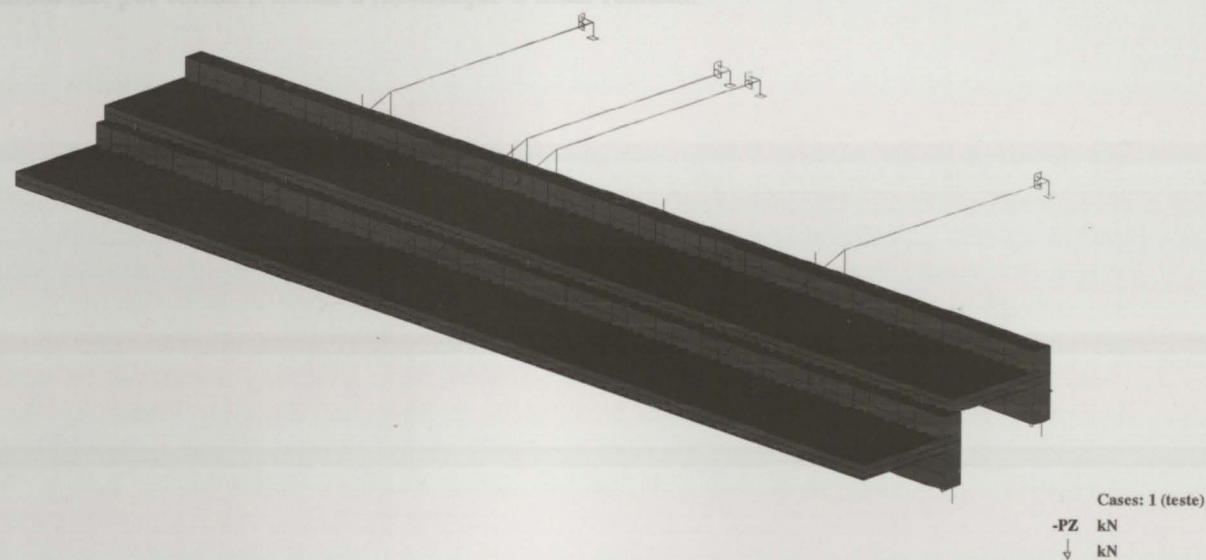


Figura 24 – Modelo numérico realizado para validar o dispositivo montado para ensaiar os degraus tipo T

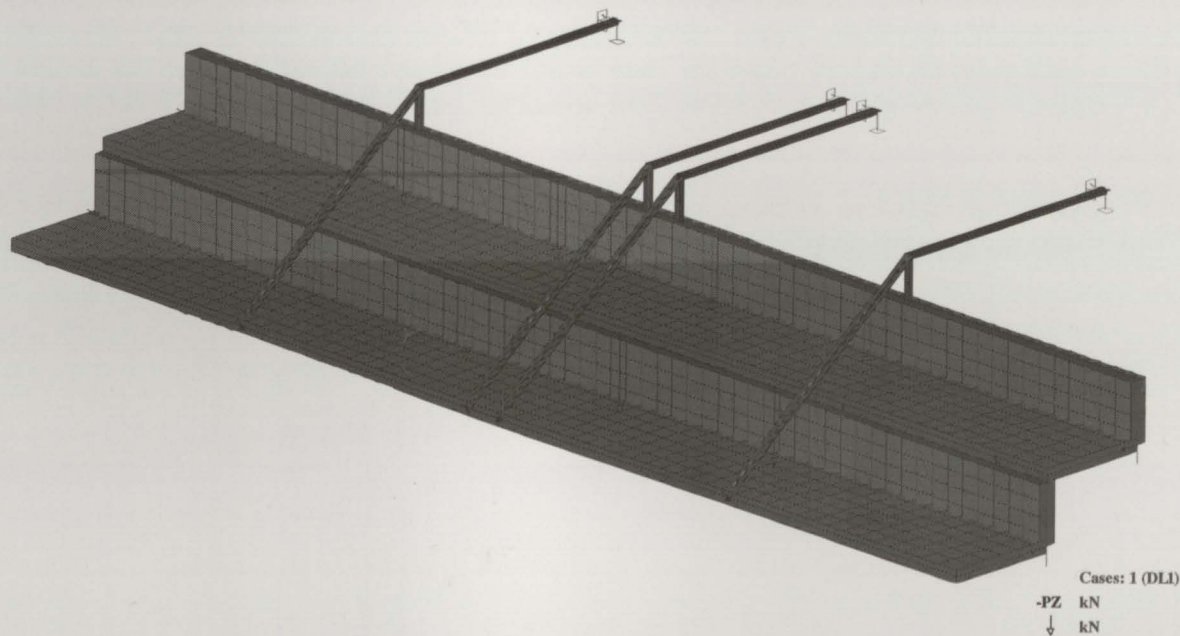


Figura 25 – Modelo numérico realizado para validar o dispositivo montado para ensaiar os degraus tipo L

Será ainda importante referir que durante os ensaios foi verificado que a estrutura que materializava o apoio duplo existente no extremo da estrutura metálica treliçada movia-se ligeiramente. Os deslocamentos observados nesses pontos foram medidos e aplicados aos modelos, por forma a tornar a modelação o mais realista.

4 **Cóndução do Ensaio**

4.1 **Fases de Estudo**

Os ensaios para o estudo do comportamento dos degraus tipo T desenvolveram-se em três fases sequenciais. Numa primeira fase foi aplicado um carregamento sinusoidal carga/descarga, reproduzindo o valor máximo da acção para condições de serviço e para uma situação em que a ligação rígida entre os degraus superior e inferior ainda não estava estabelecida (7876 ciclos). Numa segunda fase, após os degraus terem sido ligados por meio de conectores, procedeu-se a um novo carregamento sinusoidal (20645 ciclos). Nesta fase realizaram-se primeiro dois ensaios para uma carga de cerca de $2,5 \text{ kN/m}^2$, correspondendo ao peso das pessoas no caso de estas se encontrarem sentadas no seu devido lugar e posteriormente foram realizados mais dois ensaios, estes para as condições de serviço preconizadas no regulamento, 6 kN/m^2 . Por fim os degraus foram levados à rotura com imposição de deslocamentos.

O estudo dos degraus tipo L desenvolveu-se em 4 fases: uma primeira fase com as ligações flexíveis e para um carregamento sinusoidal reproduzindo a acção máxima para condições de serviço, 6 kN/m^2 (17379 ciclos), uma segunda fase na qual as ligações rígidas entre degraus já estava estabelecida e para um carregamento semelhante ao da fase anterior (21000 ciclos), na terceira fase os ensaios foram efectuados com o auxílio de um conjunto de alunos com o objectivo de simular de forma mais realista o tipo de carregamento a estarão sujeitos os degraus. Por último, na quarta fase, os degraus foram levados à rotura com imposição de deslocamentos.

Nos quadros que se seguem apresenta-se de forma esquemática as informações mais relevantes sobre os ensaios realizados para o estudo do comportamento dos degraus tipo T e L.

Quadro 1 – Ensaios realizados para o estudo do comportamento dos degraus tipo T

Fase do Estudo	1ª Fase		2ª Fase				3ª Fase	
	1	2	3	4	5	6	7	8
Nº Ensaio	1							
Natureza do Ensaio	Carga/ Descarga	Carga/ Descarga	Carga/ Descarga	Carga/ Descarga	Carga/ Descarga	Carga/ Descarga	Rotura	Rotura
Observações	Ligações flexíveis	Ligações flexíveis	Ligações rígidas	Ligações rígidas	Ligações rígidas	Ligações rígidas	Ligações rígidas	Ligações rígidas
Duração	2:14:53	7:06:27	3:28:34	22:06:4	0:52:54	4:18:24	2:27:12	0:38:42
Nº de Ciclos	1600	6276	2499	15901	1046	1199	-	-
Carga Máxima Act1 (kN)	28,52	30,50	12,00	10,40	21,03	21,31	192,5	249,7
Carga Mínima Act 1 (kN)	7,34	7,10	0,40	0,50	1,01	1,03	-	-
Carga Máxima Act 2 (kN)	28,58	28,00	11,50	10,60	21,44	21,60	131,2	166,63
Carga Mínima Act 2 (kN)	7,37	7,10	2,22	0,60	1,43	1,46	-	-

Quadro 2 – Ensaios realizados para o estudo do comportamento dos degraus tipo L

Fase do Estudo	1ª Fase				2ª Fase				3ª Fase		4ª Fase	
Nº Ensaio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Natureza do Ensaio	Carga / Descarga	Carga / Descarga	Carga / Descarga	Carga / Descarga	Carga / Descarga	Carga / Descarga	Carga / Descarga	Carga / Descarga	Carga / Descarga	Salto	Salto	Rotura
Observações	Ligações flexíveis	Ligações flexíveis	Ligações flexíveis	Ligações flexíveis	Ligações rígidas	Ligações rígidas	Ligações rígidas	Ligações rígidas	Ligações rígidas	Ligações rígidas	Ligações rígidas	Ligações rígidas
Duração	6:0:25	5:35:55	2:15:40	5:35:55	5:35:55	5:35:55	5:35:55	5:35:55	1:08:55			
Nº de Ciclos	5379	5000	2000	5000	5000	5000	5000	5000	1000	-	-	-
Carga Máxima Act1 (kN)	28,77	28,74	28,88	28,80	28,79	28,77	28,71	28,73	28,74			
Carga Mínima Act 1 (kN)	7,02	7,01	7,19	7,07	7,14	7,16	7,09	7,12	7,30	-	-	-
Carga Máxima Act 2 (kN)	29,21	29,16	29,17	29,96	28,95	28,96	29,00	29,01	28,87			
Carga Mínima Act 2 (kN)	6,68	6,68	6,68	6,64	6,93	6,88	7,00	6,96	7,04	-	-	-

4.2 Instrumentação dos Degraus

Neste estudo foram utilizados dois degraus de bancada, no entanto teoricamente o seu comportamento será semelhante, o que levou a optar por concentrar a instrumentação essencialmente num dos degraus (degrau inferior). No degrau superior apenas foram medidas flechas a meio vão por forma a controlar o adequado funcionamento da estrutura metálica que assegura a continuidade entre degraus e observar possíveis fenómenos de torção. Procedeu-se à instrumentação das secções de apoio, de meio vão e de quarto de vão, tendo sido medidas: extensões, deslocamentos verticais, deslocamentos relativos horizontais entre degraus e rotações dos degraus sobre os apoios.

A monitorização destes ensaios foi realizada recorrendo Lvd't's, *Linear Variable Differential Transformer*, que medem deslocamentos, *Clip Gage*, que medem deformações e *Displacement Transducer*, que para o caso destes ensaios serviram para observar possíveis assentamentos de apoio devido à deformação axial do epdm. As características mais relevantes da instrumentação utilizada durante os ensaios encontra-se especificada no Anexo I.

As secções extremas foram instrumentadas com *Displacement Transducer* (ver Figura 26) e com Lvd't's colocados horizontalmente no degrau inferior e com a referência de medição (chapa metálica) colocada no degrau superior por forma a permitir medir o deslocamento relativo entre degraus (ver Figura 27)

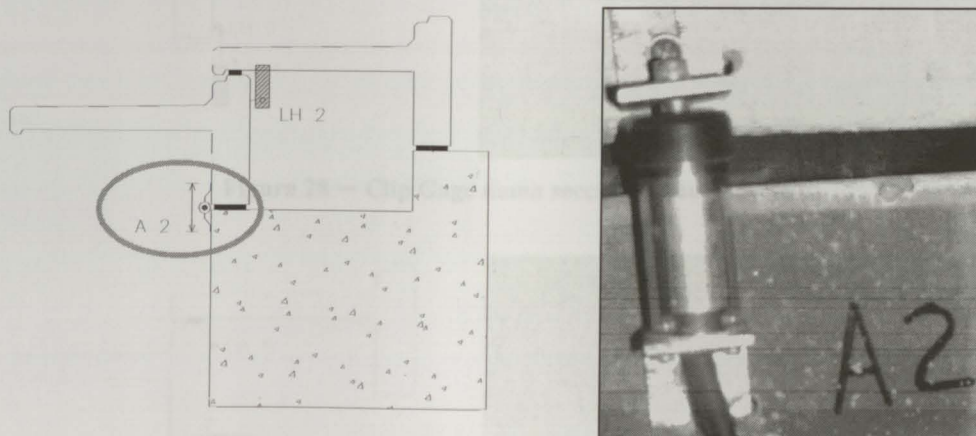


Figura 26 – Displacement Transducer colocado na secção de apoio

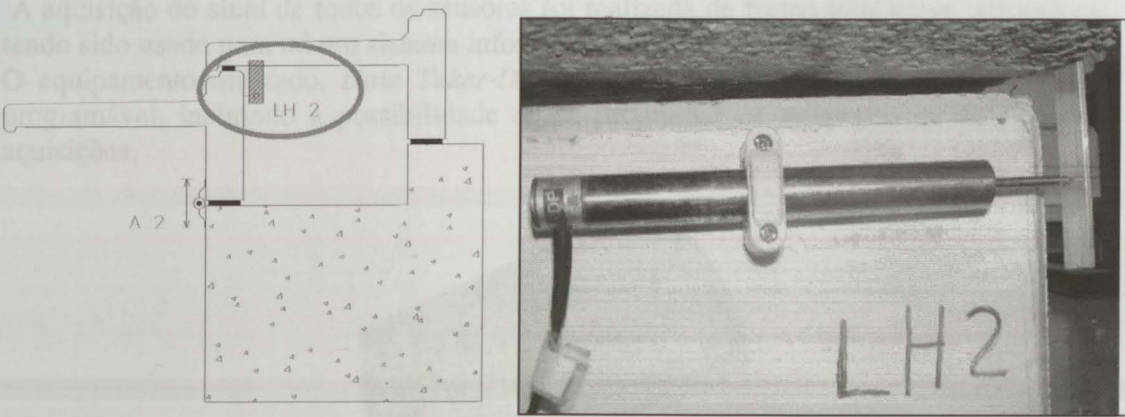


Figura 27 – LvdT's, Linear Variable Diferential Transformer na secção do apoio

Nas secções de quarto de vão e meio vão utilizaram-se Clip Gage para medir deformações, e LvdT's colocados na posição vertical para medir flechas.

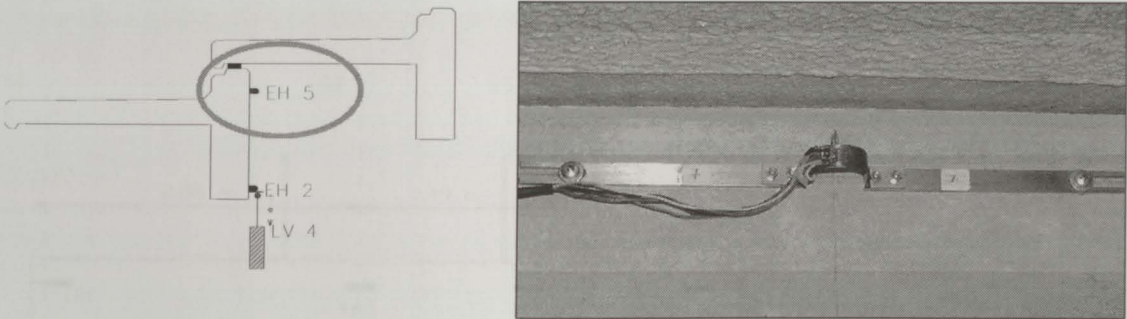


Figura 28 – Clip Gage numa secção de quarto de vão

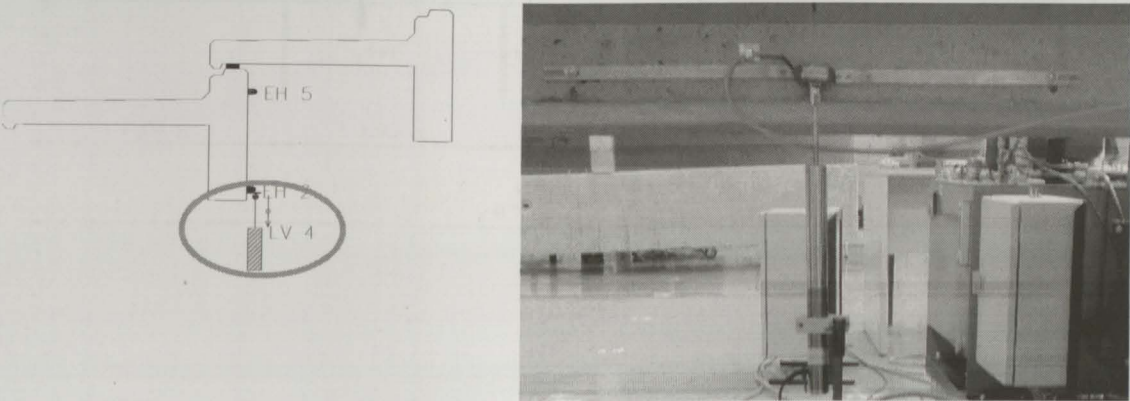


Figura 29 – LvdT na secção de quarto de vão

A aquisição do sinal de todos os sensores foi realizada de forma totalmente automática, tendo sido usado para tal um sistema informático de aquisição e armazenamento de sianl. O equipamento utilizado, *Data Taker-DT 800*, tem um funcionamento autónomo e é programável, incluindo a possibilidade de se programar os intervalos de tempo entre aquisições.



Figura 30 – Equipamento de aquisição e armazenamento de sinal

4.2.1 Instrumentação e sua localização nos degraus tipo T

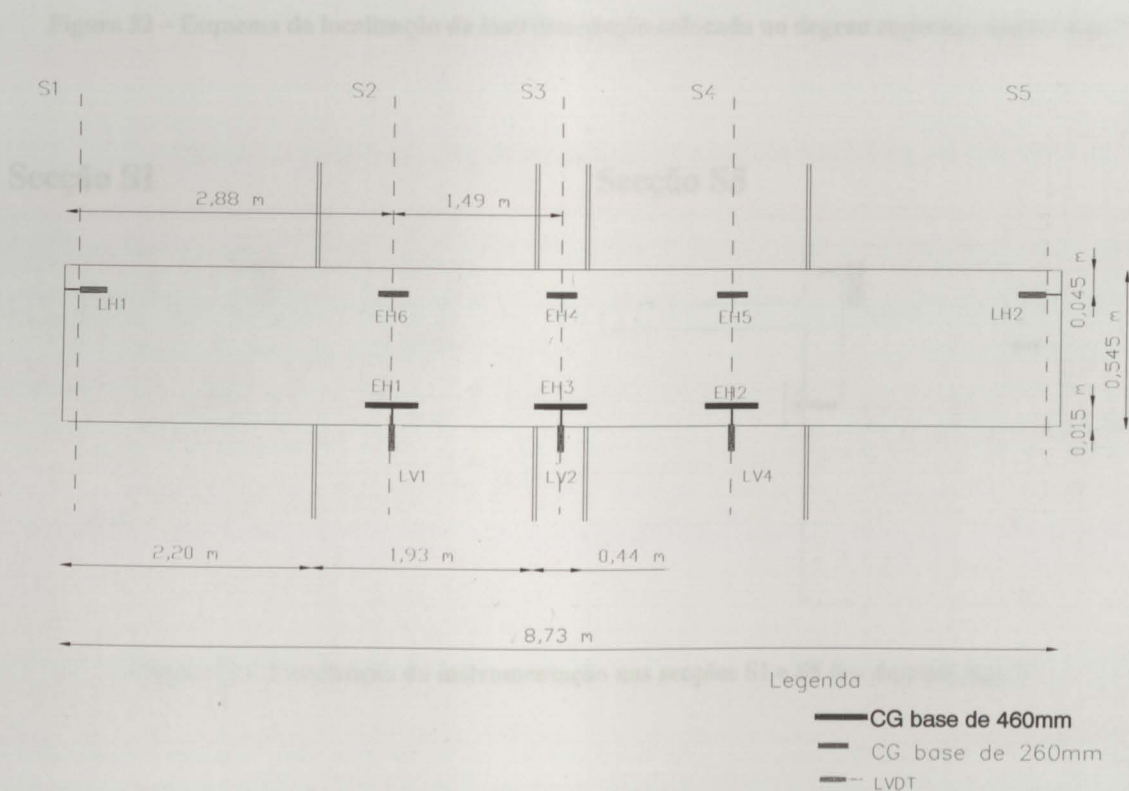


Figura 31 – Esquema da localização da instrumentação colocada no degrau inferior, degrau tipo T

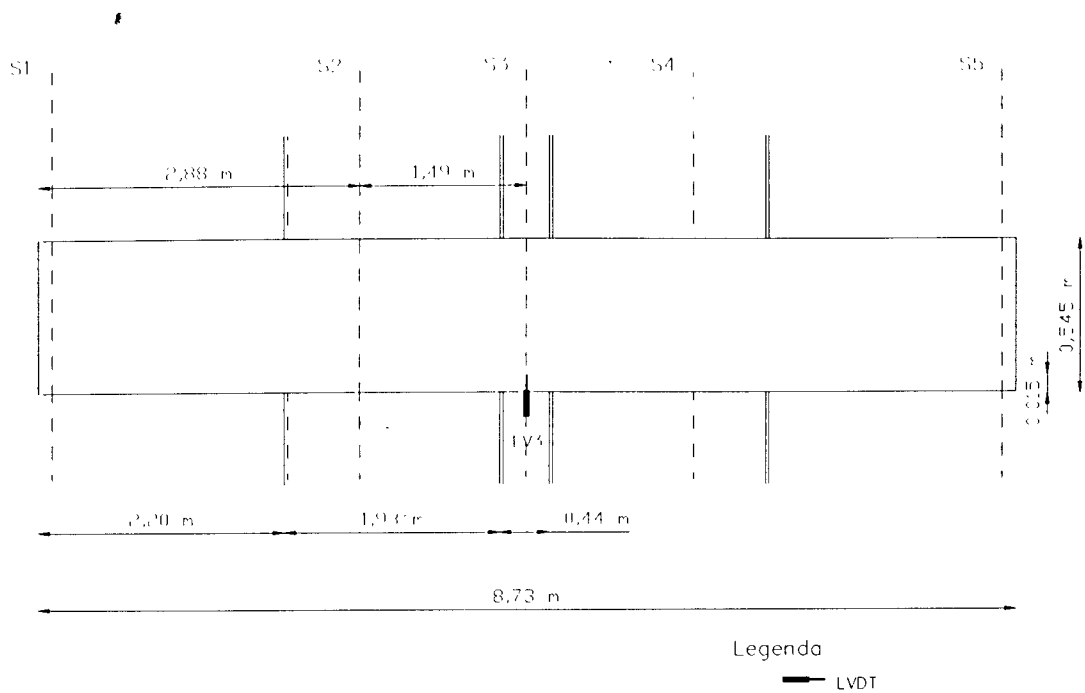
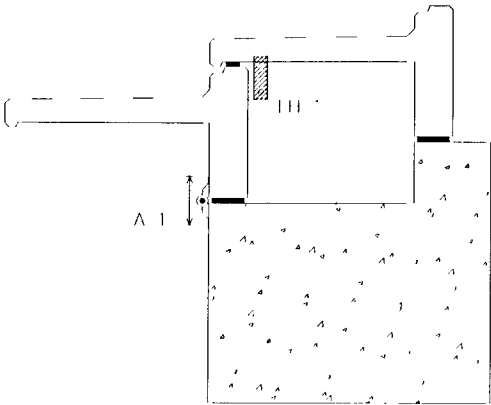


Figura 32 – Esquema da localização da instrumentação colocada no degrau superior, degrau tipo T

Secção S1



Secção S5

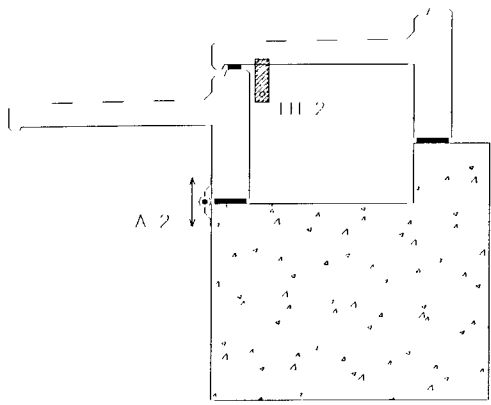
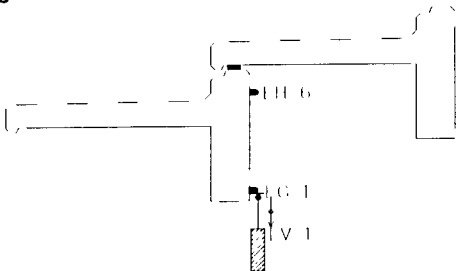


Figura 33 – Localização da instrumentação nas secções S1 e S5 dos degraus tipo T

Secção S2



Secção S4

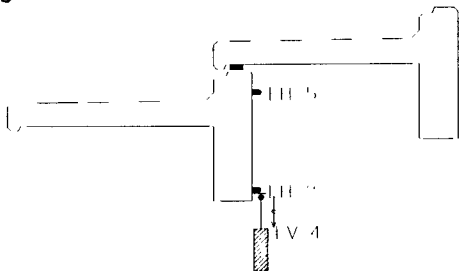


Figura 34 – Localização da instrumentação nas secções S2 e S4 dos degraus tipo T

Secção S3

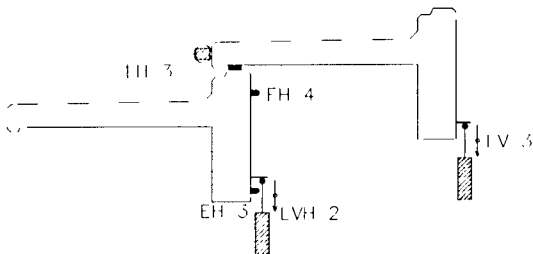


Figura 35 – Localização da instrumentação na secção S3 dos degraus tipo T

4.2.2 Instrumentação e sua localização nos degraus tipo L

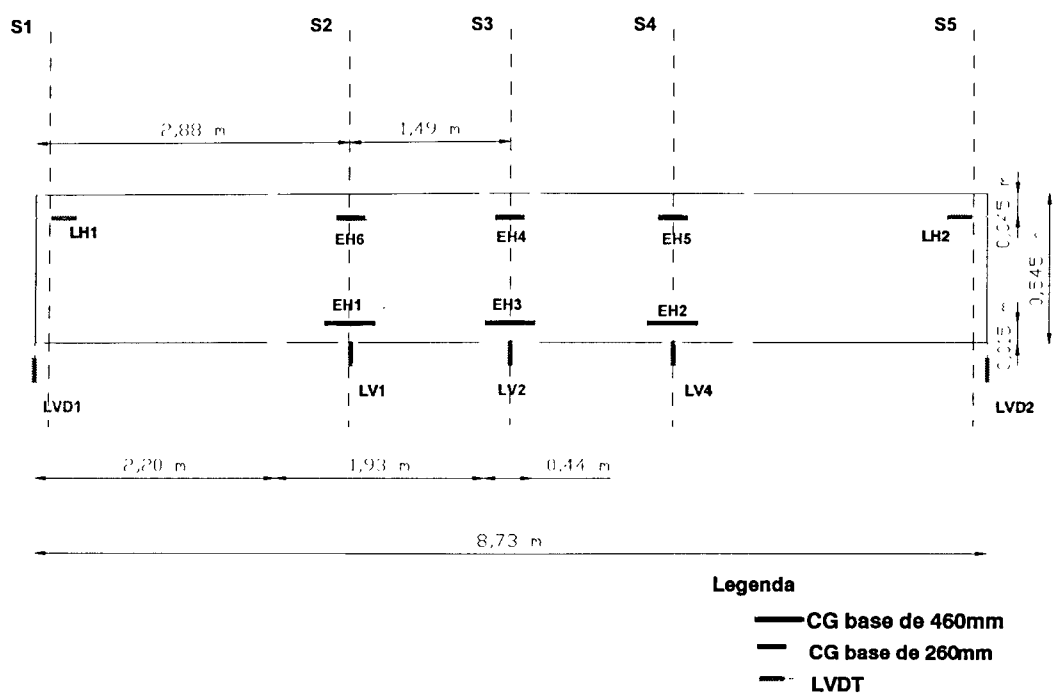


Figura 36 – Esquema da localização da instrumentação colocada no degrau inferior, degrau tipo L

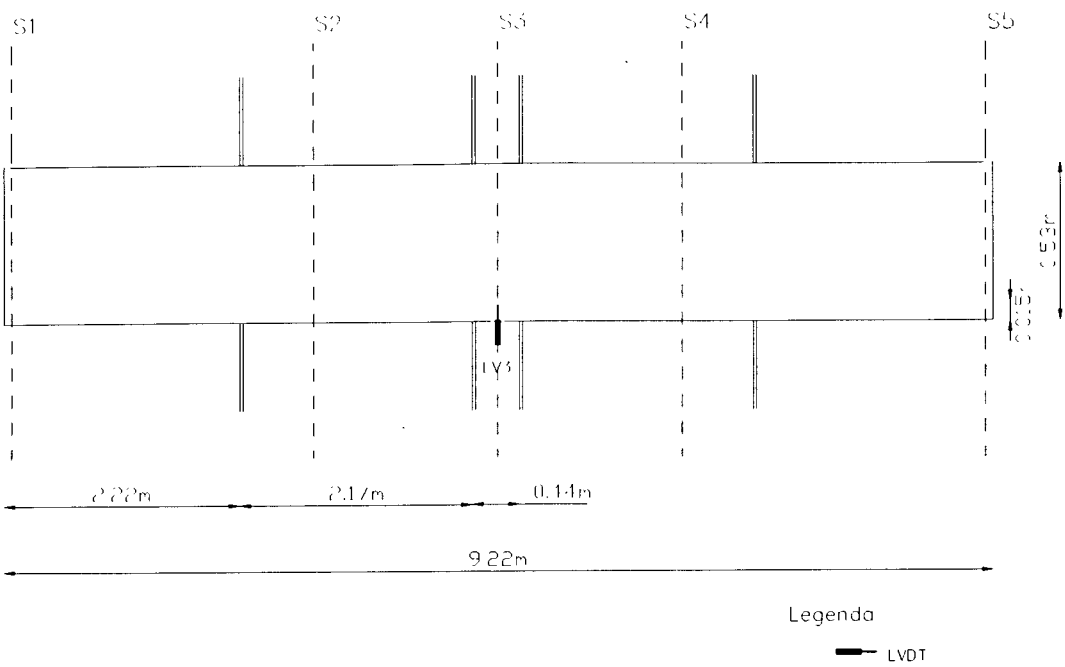
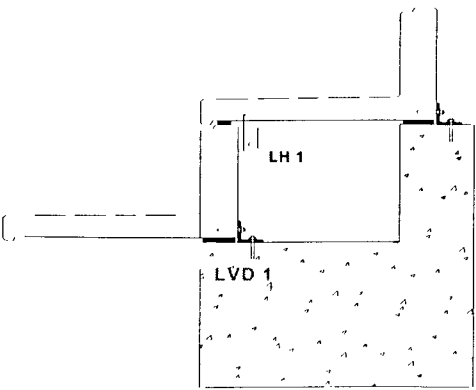


Figura 37 – Esquema representativo da localização da instrumentação colocada no degrau superior, degrau tipo L

Secção S1



Secção S5

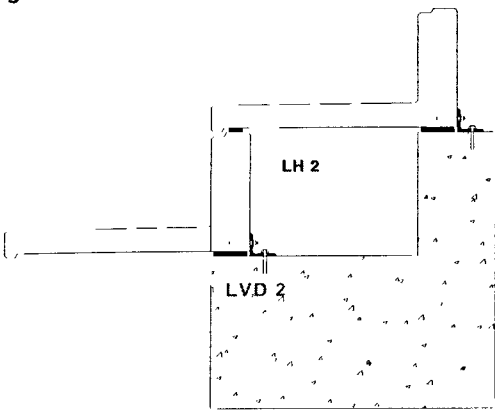


Figura 38 – Localização da instrumentação nas secções S1 e S5 dos degraus tipo L

Secção S2'

Secção S4

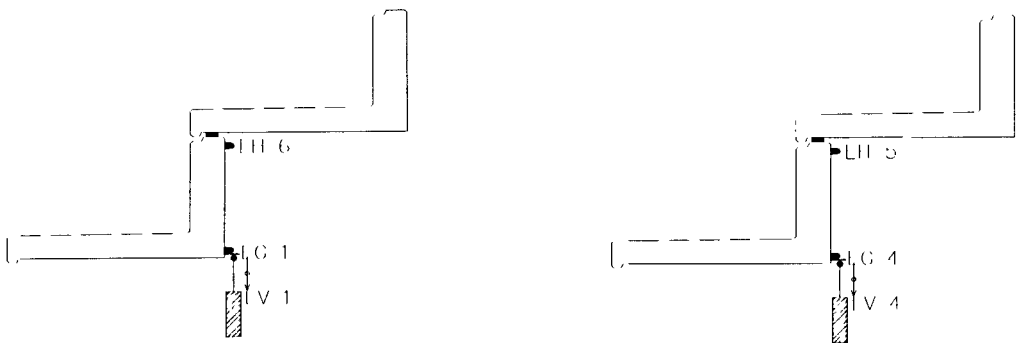


Figura 39 – Localização da instrumentação nas secções S2 e S4 dos degraus tipo L

Secção S3

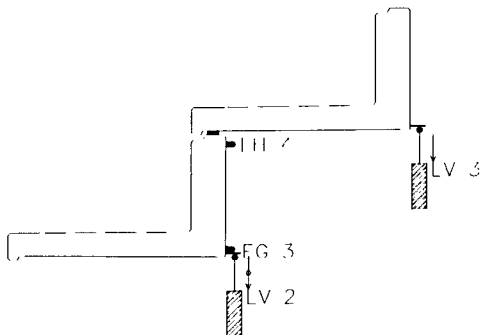


Figura 40 – Localização da instrumentação na secção S3 dos degraus tipo L

5 Apresentação e Análise dos Valores Observados na Fase 1 e 2 – Ensaios em Condições de Serviço

Nos pontos seguintes serão apresentados e analisados os resultados obtidos em um dos ensaios realizados em cada fase. Os resultados dos restantes ensaios serão apresentados no Anexo II.

De forma a facilitar a compreensão e interpretação dos resultados, e uma vez que se trata de um grande número de registos, estes serão apresentados em quadros. Em cada quadro serão apresentados os valores observados durante o ensaio em todos os sensores de igual objectivo, onde será incluído valor máximo lido, valor mínimo, variação máxima (diferença entre o valor máximo e mínimo de um mesmo ciclo), gráfico e algumas observações.

A convenção de sinais adoptada foi a seguinte:

- Extensão negativa – encurtamento
- Extensão positiva – alongamento
- Deslocamento vertical negativo – deslocamento vertical descendente
- Deslocamento vertical positivo – deslocamento vertical ascendente
- Deslocamento horizontal negativo – afastamento entre bancadas
- Deslocamento horizontal positivo – aproximação entre bancadas
- Abertura positiva – afastamento entre os dois pontos de referência
- Abertura negativa – encurtamento entre os dois pontos de referência

Para maior facilidade na interpretação dos resultados da medição expressos nos gráficos e quadros, que se seguem, insere-se no Relatório uma folha solta que identifica a posição dos sensores instalados nos degraus e um quadro com a sequência de ensaios realizados.

5.1 Ensaaios dos Degraus Tipo T

5.1.1 Apresentação dos valores observados nos sensores

Neste ponto serão abordadas na fase 1 o ensaio 1 e na fase 2 o ensaio 6, correspondendo portanto à situação de serviço e para o caso do estabelecimento das ligações entre degraus ser flexível e rígida respectivamente. Serão apresentados os valores do carregamento e os registos dos sensores considerados de maior importância para a avaliação do comportamento dos degraus durante a fase de estudo em questão.

5.1.1.1 Fase 1 – Ensaio 1

Evolução do carregamento aplicado pelos actuadores

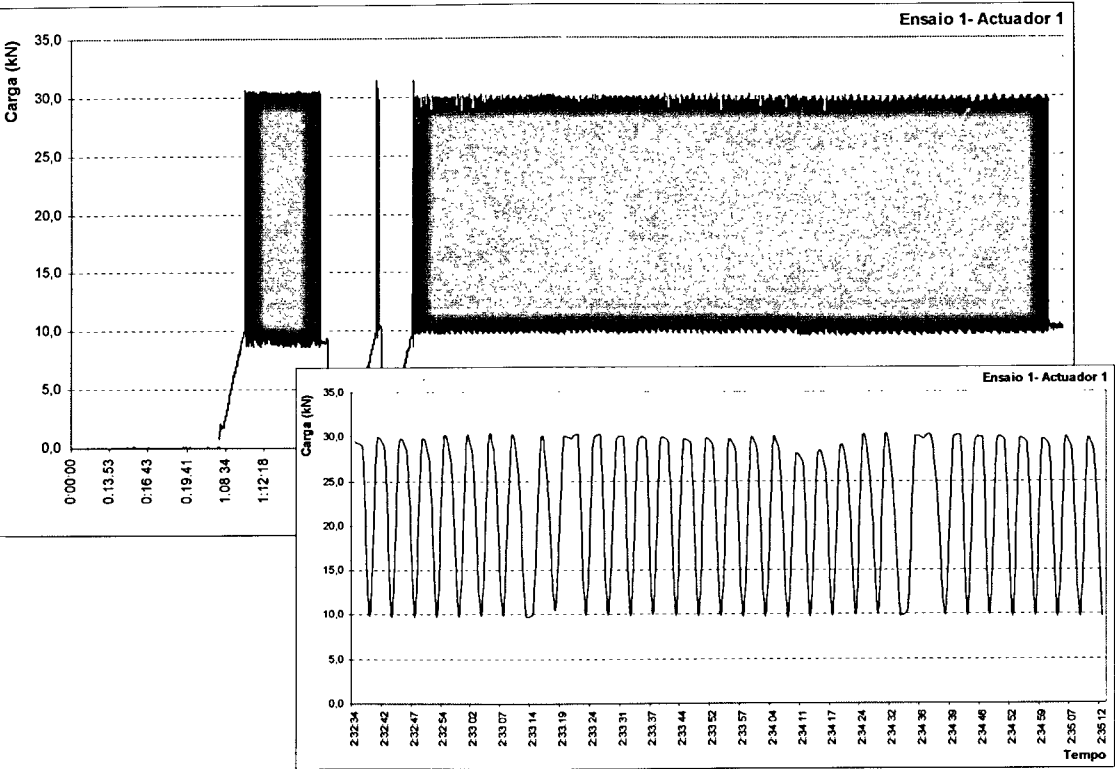


Figura 41 – Evolução do carregamento aplicado pelo actuador 1 durante o ensaio 1

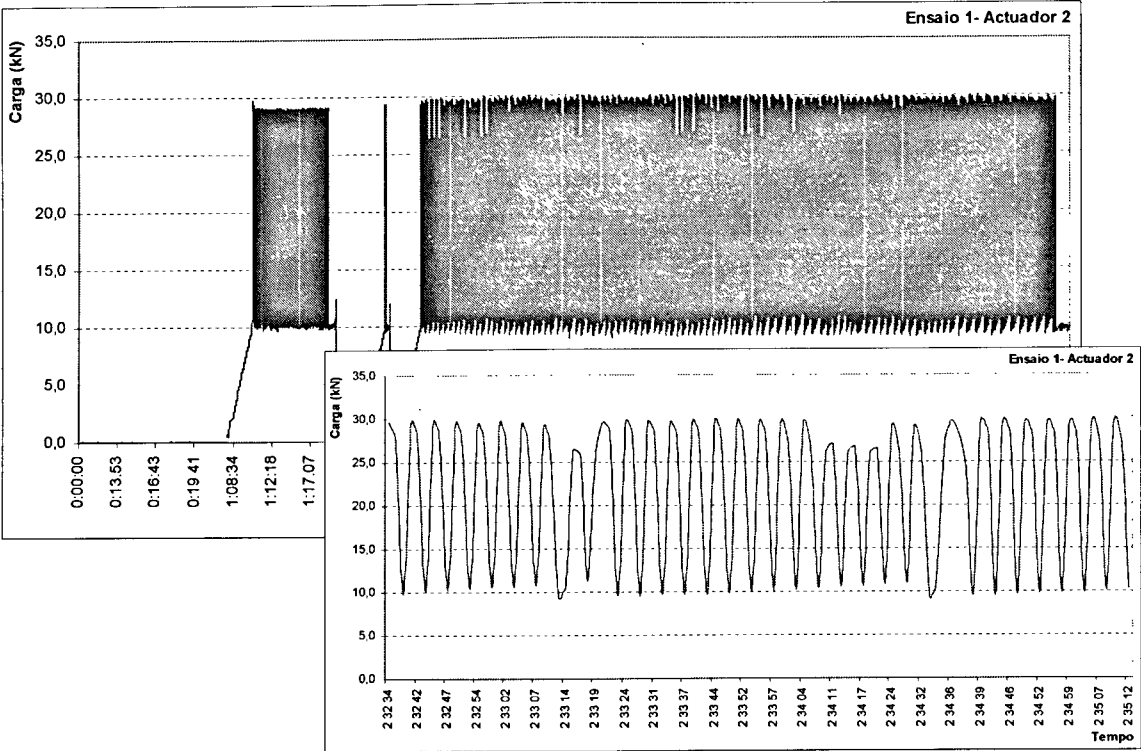
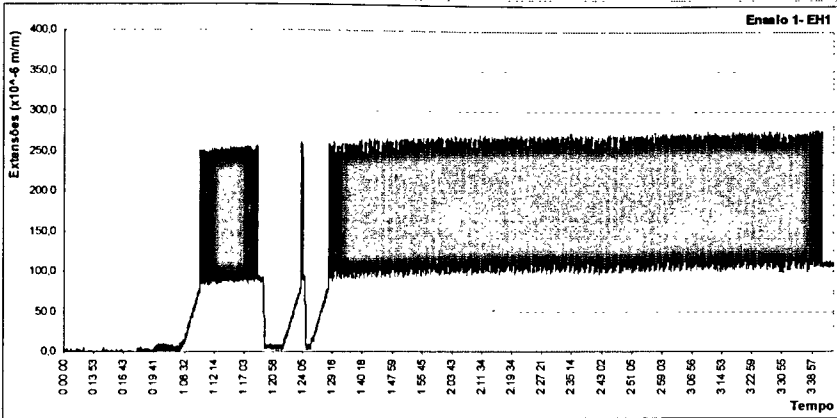
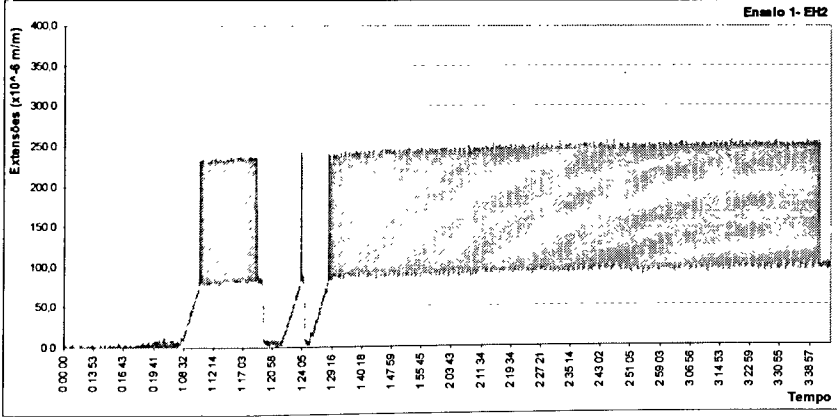
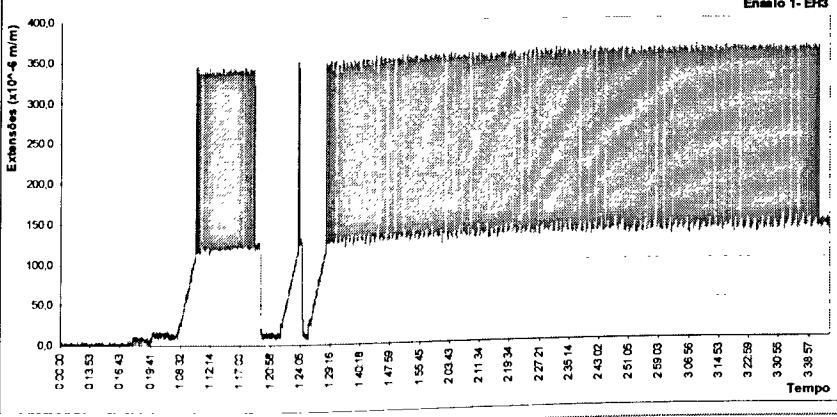


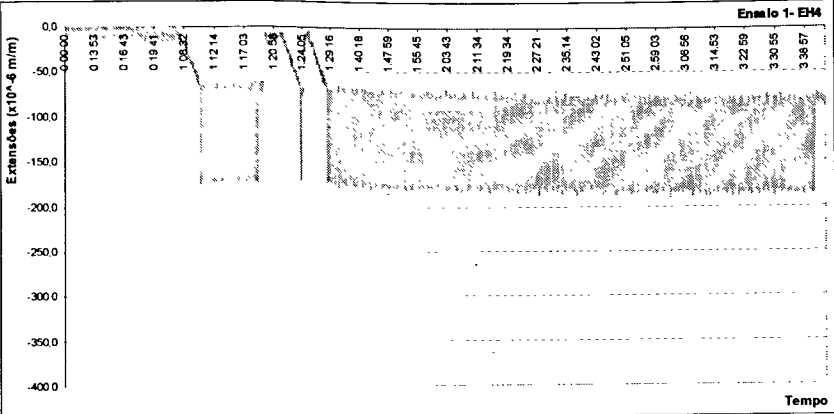
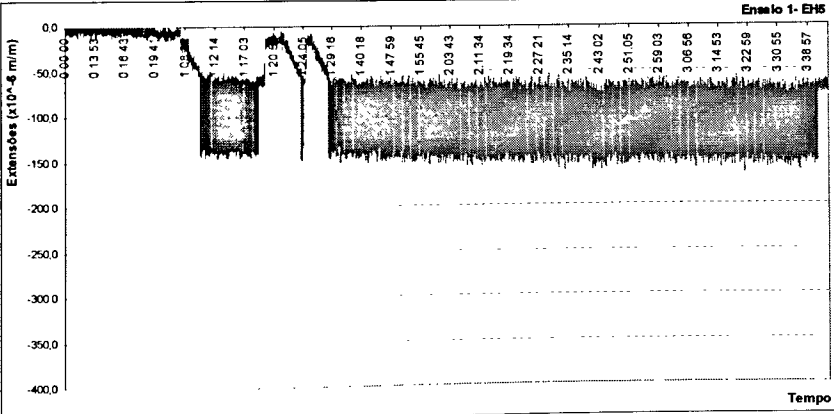
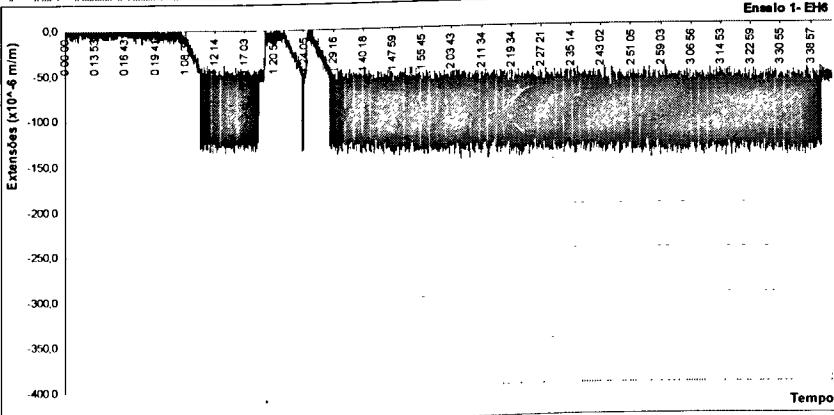
Figura 42 – Evolução do carregamento aplicado pelo actuador 2 durante o ensaio 1

Evolução dos deslocamentos (valores observados nos LVDT)

Instrumentação	Nº do Ensaio	Nº de Ciclos	Valor Máximo ^{a)} [mm]	Valor Mínimo ^{b)} [mm]	Variação Máxima ^{c)} [mm]	Gráfico	Observações
LV1	1	1600	-1.836	-5.483	3.411		- Em todos os gráficos é visível ao longo do ensaio um aumento dos valores máximos e mínimos dos ciclos, mantendo-se no entanto a amplitude - O facto do valor de pico dos ciclos ir aumentando poderá dever-se a um ajuste dos degraus nos apoios e na estrutura metálica
LV2	1	1600	-0.904	-5.604	4.261		Valor observado a meio vão do degrau superior foi muito semelhante ao registado em LV2, o que poderá significar que a estrutura metálica treliçada estará a materializar correctamente as condições fronteira
LV3	1	1600	-1.973	-5.880	3.408		Valor máximo do deslocamento verificado nos degraus durante este ensaio ocorreu a meio vão do degrau inferior, 5.9 mm
LV4	1	1600	-0.629	-4.048	3.134		Valor ligeiramente inferior aos observados nos restantes Lvdts

Evolução das extensões (valores observados nos clip-gage)

Instrumentação	Nº do Ensaio	Nº de Ciclos	Valor Máximo ^{a)} [x10 ⁻⁶ m/m]	Valor Mínimo ^{b)} [x10 ⁻⁶ m/m]	Variação Máxima ^{c)} [x10 ⁻⁶ m/m]	Gráfico	Observações
EH1	1	1600	274	83	168		• Valor positivo das extensões correspondente a tracções • Tal como nos lvdts o pico dos ciclos vai aumentando, mantendo-se no entanto a amplitude
EH2	1	1600	254	77	158		• Extensão máxima registada em EH1 e EH2, colocados simetricamente no degrau inferior, é muito semelhante
EH3	1	1600	363	119	224		• Extensões máximas de tracção, 363 x106m/m, registada no clip colocado a meio vão

Instrumentação	Nº do Ensaio	Nº de Ciclos	Valor Máximo ^{a)} [x10 ⁻⁶ m/m]	Valor Mínimo ^{b)} [x10 ⁻⁶ m/m]	Variação Máxima ^{c)} [x10 ⁻⁶ m/m]	Gráfico	Observações
EH4	1	1600	-54	-191	119		• Valor negativo das extensões correspondente a compressões • Valores máximos das compressões menores que os das tracções revelando o facto do eixo neutro se situar mais próximo das fibras superiores dos degraus • Extensão máxima de compressão, 191 x10⁶m/m, registada no clip colocado a meio vão
EH5	1	1600	-49	-164	94		• Extensão máxima registada em EH5 e EH6, colocados simetricamente no degrau inferior, é muito semelhante
EH6	1	1600	-39	-148	90		

5.1.1.2 Fase 2 – Ensaio 5

Evolução do carregamento aplicado pelos actuadores

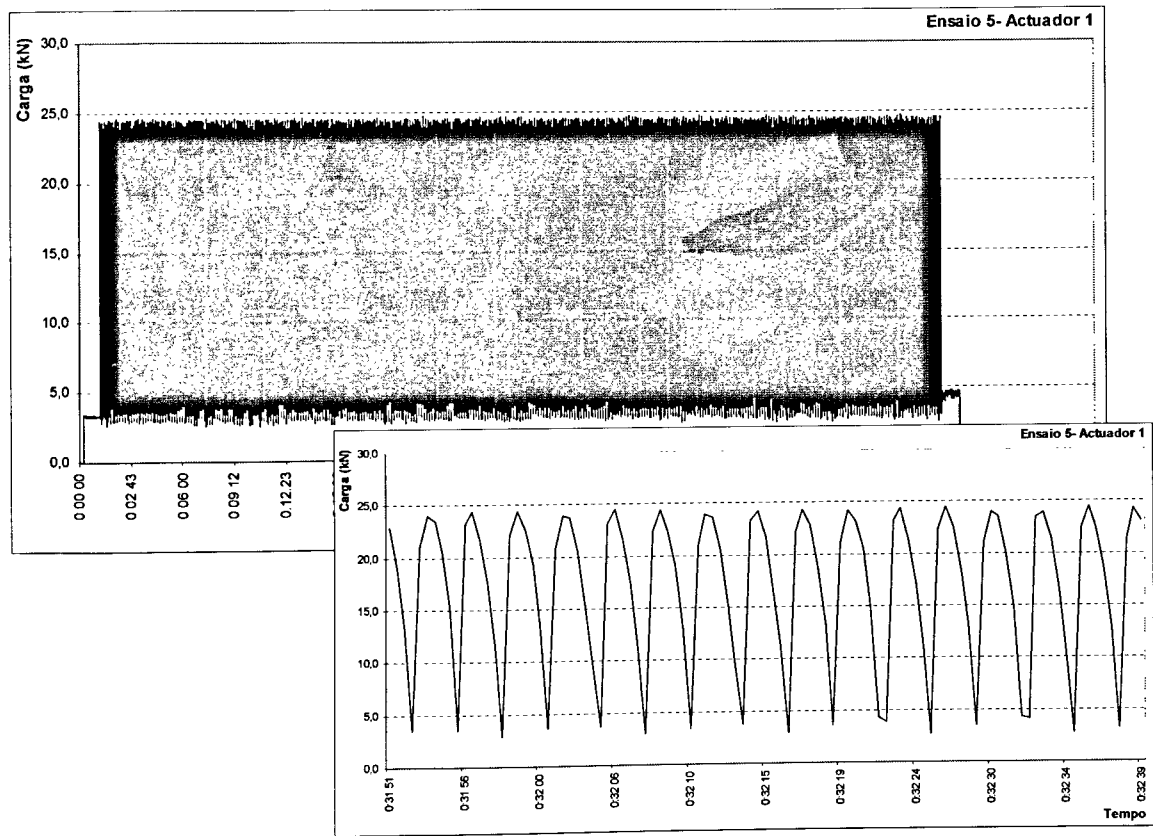


Figura 43 – Evolução do carregamento aplicado pelo actuador 1 durante o ensaio 5

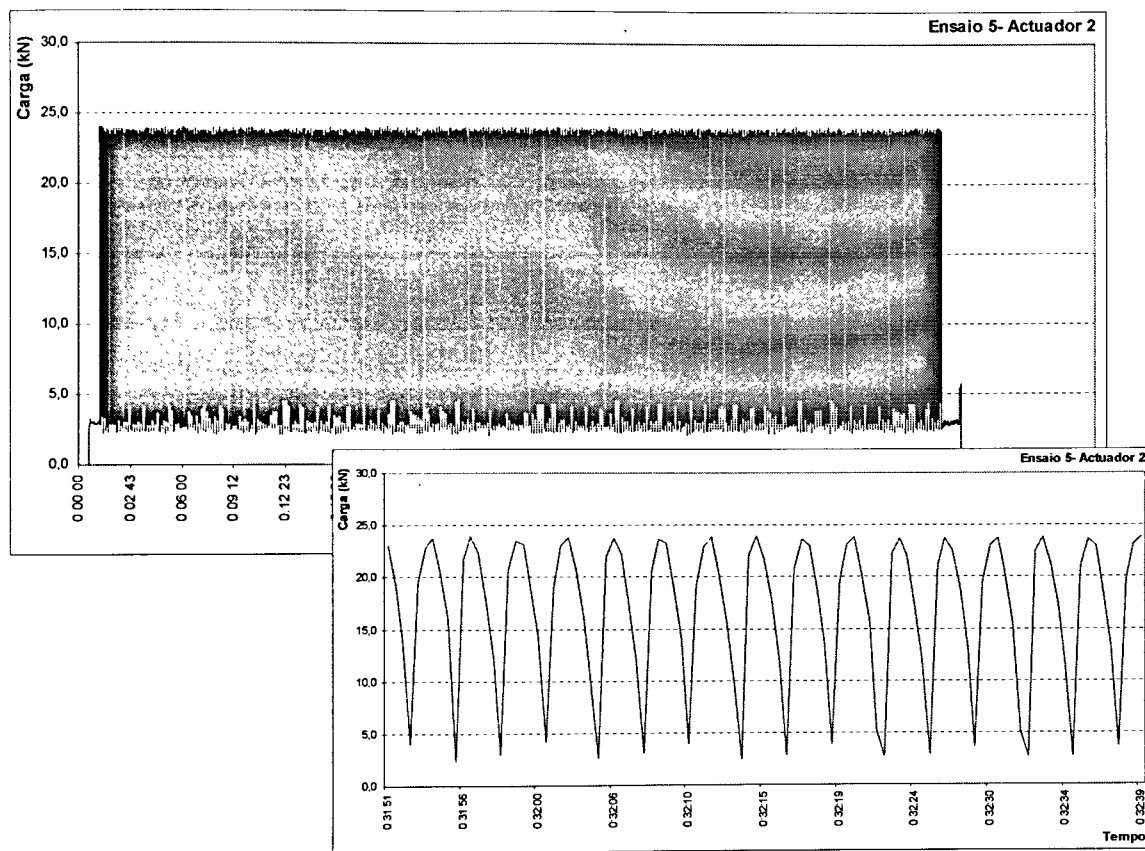


Figura 44 – Evolução do carregamento aplicado pelo actuador 2 durante o ensaio 5

Evolução dos deslocamentos (valores observa

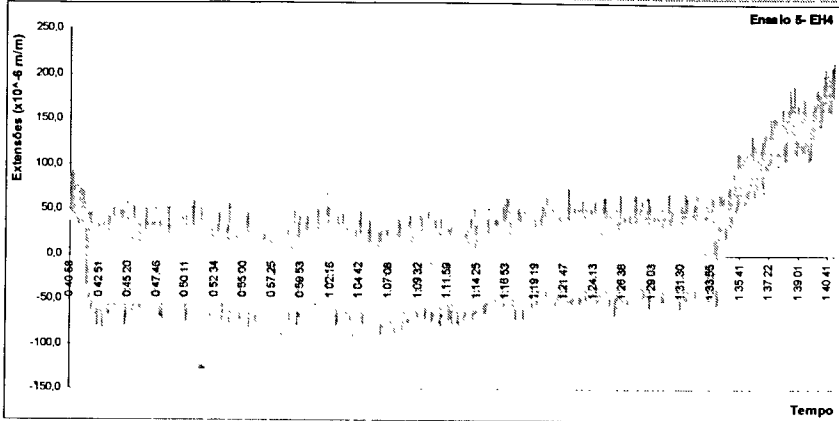
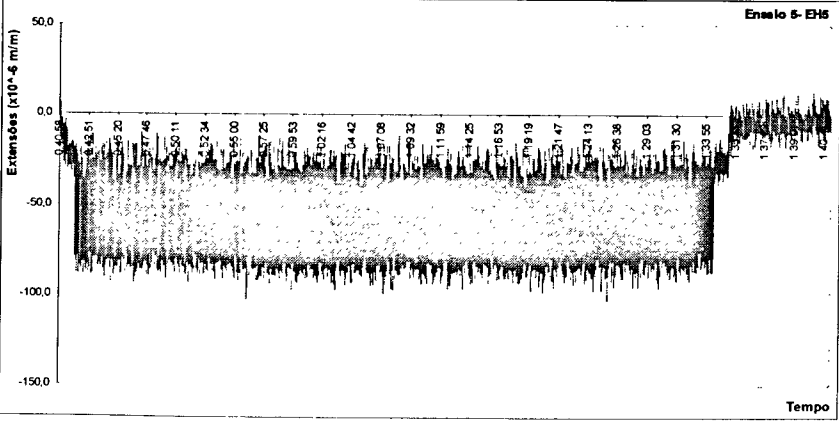
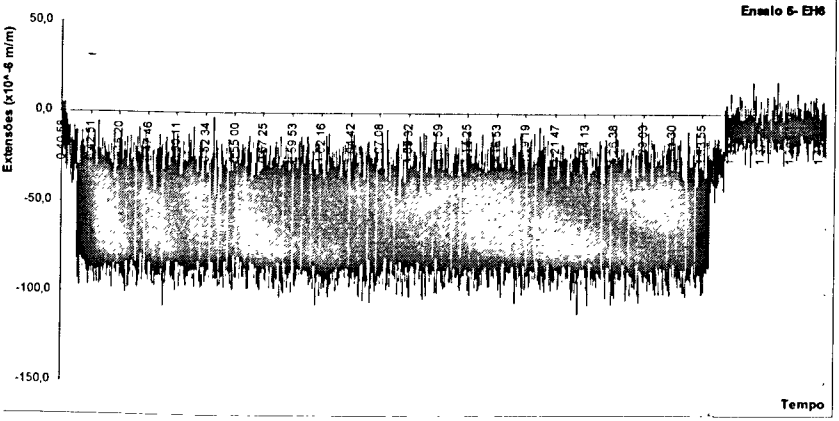
Instrumentação	Nº do Ensaio	Nº de Ciclos	M	Observações
LV1	5	1046		todos os gráficos é visível ao longo do ensaio ligeiro aumento dos valores máximos e imos dos ciclos, mantendo-se no entanto a plitude icto do valor de pico dos ciclos ir aumentando erá significar que a estrutura não recupera lmente o deslocamento sofrido ou por outro poderá revelar alguma degradação
LV2	5	1046		or observado a meio vão do degrau superior foi to semelhante ao registado no lvdt colocado na ma posição mas no degrau inferior, o que erá significar que a estrutura metálica treliçada rá a materializar correctamente as condições iteira
LV3	5	1046		or máximo do deslocamento verificado nos raus durante este ensaio ocorreu a meio vão do rau inferior, 4.095 mm valor máximo atingido neste ensaio foi tivamente menor ao observado no ensaio 1, i carga máxima aplicada foi semelhante. Facto revela que a ligação com conectores leva os degraus a funcionar em conjunto, erializando assim uma estrutura muito mais da.
LV4	5	1046		ores semelhantes aos observados em LV1, sor simetricamente colocado ligeiramente rior aos observados nos restantes Lvdt

Evolução dos deslocamentos (valores observados nos LVDT)

Instrumentação	Nº do Ensaio	Nº de Ciclos	Valor Máximo ^{a)} [mm]	Valor Mínimo ^{b)} [mm]	Variação Máxima ^{c)} [mm]	Gráfico	Observações
LV1	5	1046	-0.642	-3.518	2.876		- Em todos os gráficos é visível ao longo do ensaio um ligeiro aumento dos valores máximos e mínimos dos ciclos, mantendo-se no entanto a amplitude - O facto do valor de pico dos ciclos ir aumentando poderá significar que a estrutura não recupera totalmente o deslocamento sofrido ou por outro lado poderá revelar alguma degradação
LV2	5	1046	-0.507	-3.914	3.407		Valor observado a meio vão do degrau superior foi muito semelhante ao registado no lvdt colocado na mesma posição mas no degrau inferior, o que poderá significar que a estrutura metálica treliçada estará a materializar correctamente as condições fronteira
LV3	5	1046	-0.739	-4.095	3.356		- Valor máximo do deslocamento verificado nos degraus durante este ensaio ocorreu a meio vão do degrau inferior, 4.095 mm - O valor máximo atingido neste ensaio foi relativamente menor ao observado no ensaio 1, cuja carga máxima aplicada foi semelhante. Facto que revela que a ligação com conectores leva os dois degraus a funcionar em conjunto, materializando assim uma estrutura muito mais rígida.
LV4	5	1046	-0.530	-3.462	2.932		Valores semelhantes aos observados em LV1, sensor simetricamente colocado ligeiramente inferior aos observados nos restantes Lvdts

Evolução das extensões (valores observados nos clip-gage)

Instrumentação	Nº do Ensaio	Nº de Ciclos	Valor Máximo ^{a)} [x10 ⁻⁶ m/m]	Valor Mínimo ^{b)} [x10 ⁻⁶ m/m]	Variação Máxima ^{c)} [x10 ⁻⁶ m/m]	Gráfico	Observações
EH1	5	1046	214	25	179		• Valor positivo das extensões correspondente a tracções • Em todos os gráficos é visível ao longo do ensaio um ligeiro aumento dos valores máximos e mínimos dos ciclos, mantendo-se no entanto a amplitude
EH2	5	1046	230	33	185		
EH3	5	1046	224	24	188		• Extensões máximas de tracção, 224x106m/m, registada no clip colocado a meio vão

Instrumentação	Nº do Ensaio	Nº de Ciclos	Valor Máximo ^{a)} [x10 ⁻⁶ m/m]	Valor Mínimo ^{b)} [x10 ⁻⁶ m/m]	Variação Máxima ^{c)} [x10 ⁻⁶ m/m]	Gráfico	Observações
EH4	5	1046	94	-113	127		• Este clips • Este sensor revela um comportamento anómalo, pelo que os seus resultados não serão considerados
EH5	5	1046	-11	-102	81		• Extensão máxima registada em EH5 e EH6, colocados simetricamente no degrau inferior, é muito semelhante
EH6	5	1046	-4	-111	95		• Os clips superiores apresentam sempre uma maior dispersão de valores, facto que poderá ser explicado pela grandeza dos valores observados.

5.1.2 Interpretação dos resultados

Neste ponto são apresentados os valores obtidos no modelo numérico elaborado no programa de cálculo automático, ROBOT, modelo esse descrito no ponto 3.3 deste relatório. Estes valores são comparados com os valores registados nos sensores, por forma a poder validar e aferir quer o modelo numérico quer o bom funcionamento do sistema de monitorização utilizado.

5.1.2.1 Fase 1 – Ensaio 1

Deslocamentos verticais

Na figura seguinte apresenta-se um mapa de deformações dos degraus, quando aplicado a carga máxima registada durante o ensaio em estudo e para a condição das ligações com conectores ainda não se encontrar realizada.

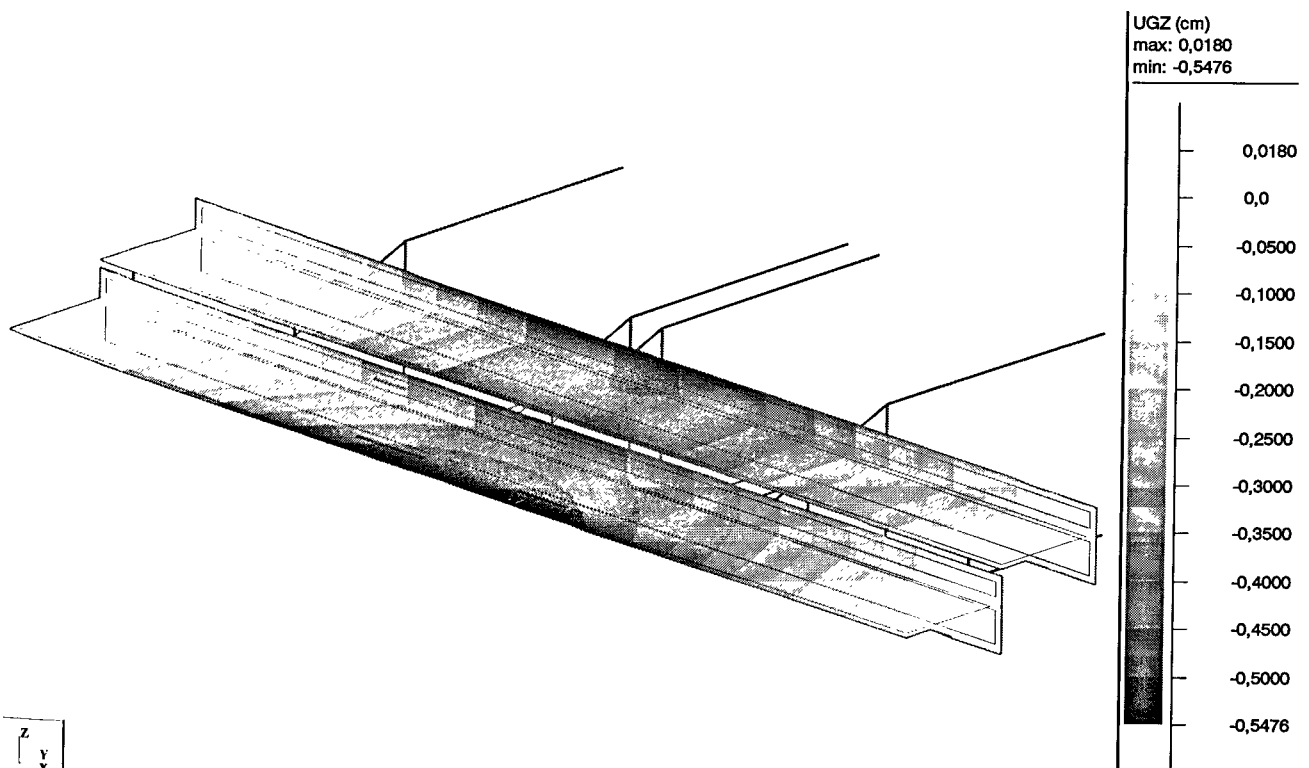


Figura 45 – Mapa de deformações correspondente às condições do ensaio 1

No quadro que a seguir se apresenta é apresentado o valor obtido através do modelo numérico (valor teórico), o valor máximo registado no sensor (valor do lvdt) e o correspondente desvio entre estes dois valores.

Figura 46 – Comparação dos valores das deformações verticais do modelo numérico e do sistema de monitorização obtidos para o ensaio 1

Instrumentação	Nº Ensaio	Valor Teórico mm	Valor do Lvdt mm
LV1	1	-3.740	-5.483
LV2	1	-4.705	-5.604
LV3	1	-5.035	-5.880
LV4	1	-3.740	-4.048

Extensões

No quadro que a seguir se apresenta é apresentado o valor obtido através do modelo numérico (valor teórico), o valor máximo registado no sensor (valor do clip-gage) e o correspondente desvio entre estes dois valores.

Figura 47 – Comparação dos valores das extensões do modelo numérico e do sistema de monitorização obtidos para o ensaio 3

Instrumentação	Nº Ensaio	Valor Teórico x 10 ⁶ m/m	Valor do Clip x 10 ⁶ m/m	Desvio %
EH1	1	140	274	
EH2	1	140	254	
EH3	1	203	363	
EH4	1	-154	-191	
EH5	1	-126	-164	
EH6	1	-126	-148	

5.1.2.2 Fase 2 – Ensaio 5

Deslocamentos verticais

Na figura seguinte apresenta-se um mapa de deformações dos degraus, quando aplicado a carga máxima registada durante o ensaio em estudo e para a condição das ligações com conectores já se encontrar realizada.

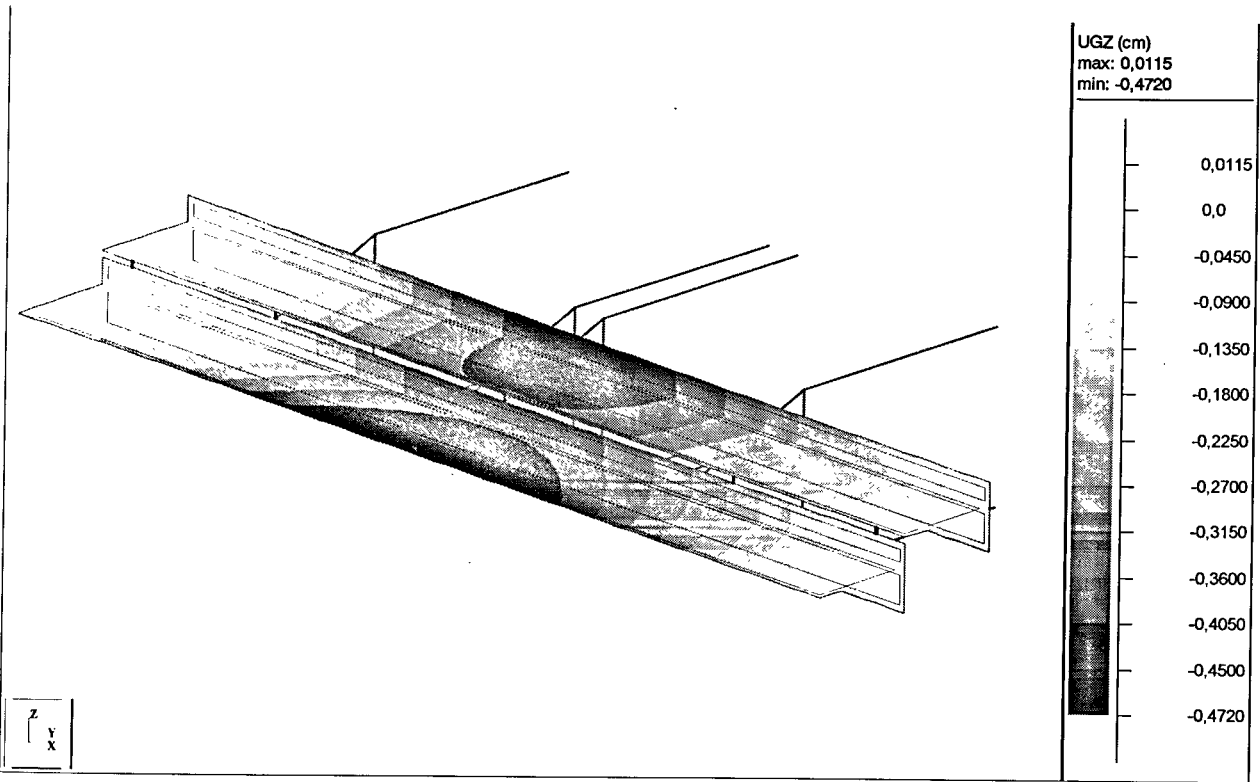


Figura 48 – Mapa de deformações correspondente às condições do ensaio 5

No quadro que a seguir se apresenta é apresentado o valor obtido através do modelo numérico (valor teórico), o valor máximo registado no sensor (valor do lvdt) e o correspondente desvio entre estes dois valores.

Figura 49 – Comparação dos valores das deformações verticais do modelo numérico e do sistema de monitorização obtidos para o ensaio 5

Instrumentação	Nº Ensaio	Valor Teórico mm	Valor do Lvdt mm	Desvio %
LV1	5	-3.137	-3.518	
LV2	5	-3.986	-3.914	
LV3	5	-4.348	-4.095	
LV4	5	-3.137	-3.462	

Extensões

No quadro que a seguir se apresenta é apresentado o valor obtido através do modelo numérico (valor teórico), o valor máximo registado no sensor (valor do clip-gage) e o correspondente desvio entre estes dois valores.

Figura 50 – Comparação dos valores das extensões do modelo numérico e do sistema de monitorização obtidos para o ensaio 3

Instrumentação	Nº Ensaio	Valor Teórico x 10 ⁶ m/m	Valor do Clip x 10 ⁶ m/m	Desvio %
EH1	5	135	214	
EH2	5	135	230	
EH3	5	189	224	
EH4	5	-124	-113	
EH5	5	-97	-102	
EH6	5	-97	-111	

5.2 Ensaios dos Degraus Tipo L

5.2.1 Apresentação dos valores observados nos sensores

Neste ponto serão abordadas na fase 1 o ensaio 3 e na fase 2 o ensaio 9, correspondendo portanto à situação de serviço e para o caso do estabelecimento das ligações entre degraus ser flexível e rígida respectivamente. Serão apresentados os valores do carregamento e os registos dos sensores considerados de maior importância para a avaliação do comportamento dos degraus durante a fase de estudo em questão.

5.2.1.1 Fase 1 – Ensaio 3

Evolução do carregamento aplicado pelos actuadores

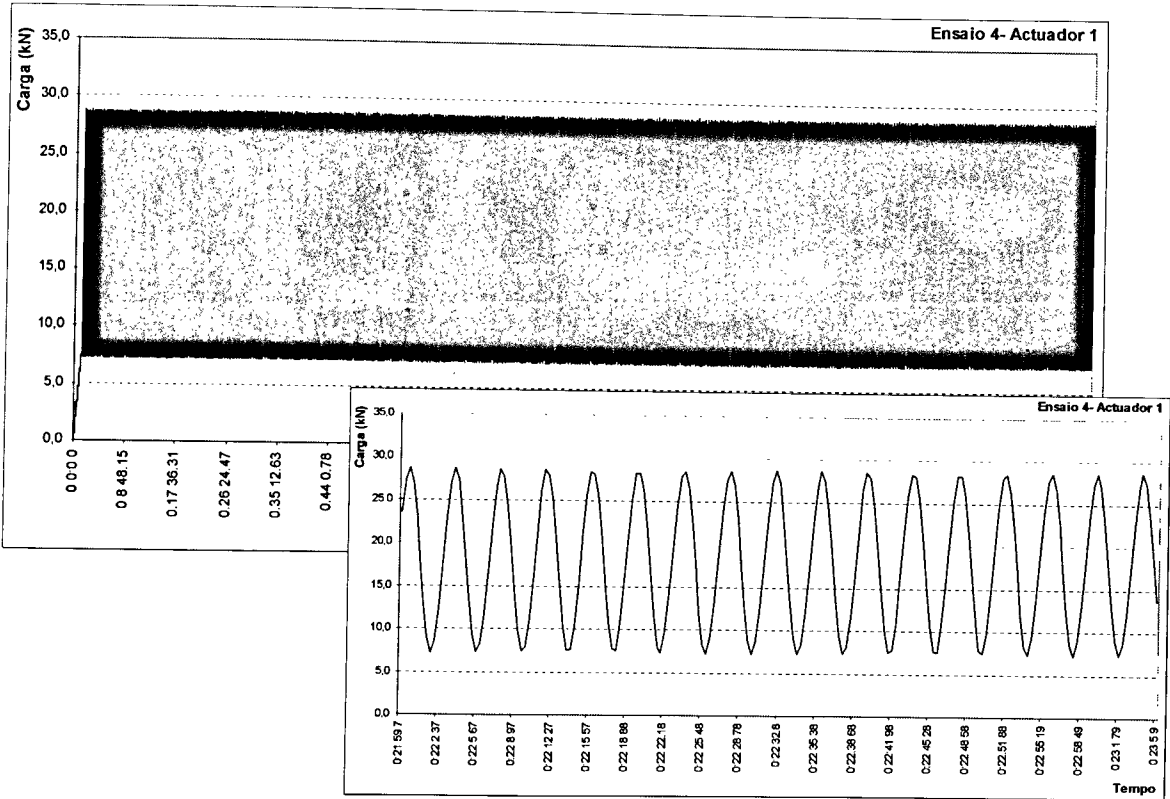


Figura 51 – Evolução do carregamento aplicado pelo actuador 1 durante o ensaio 3

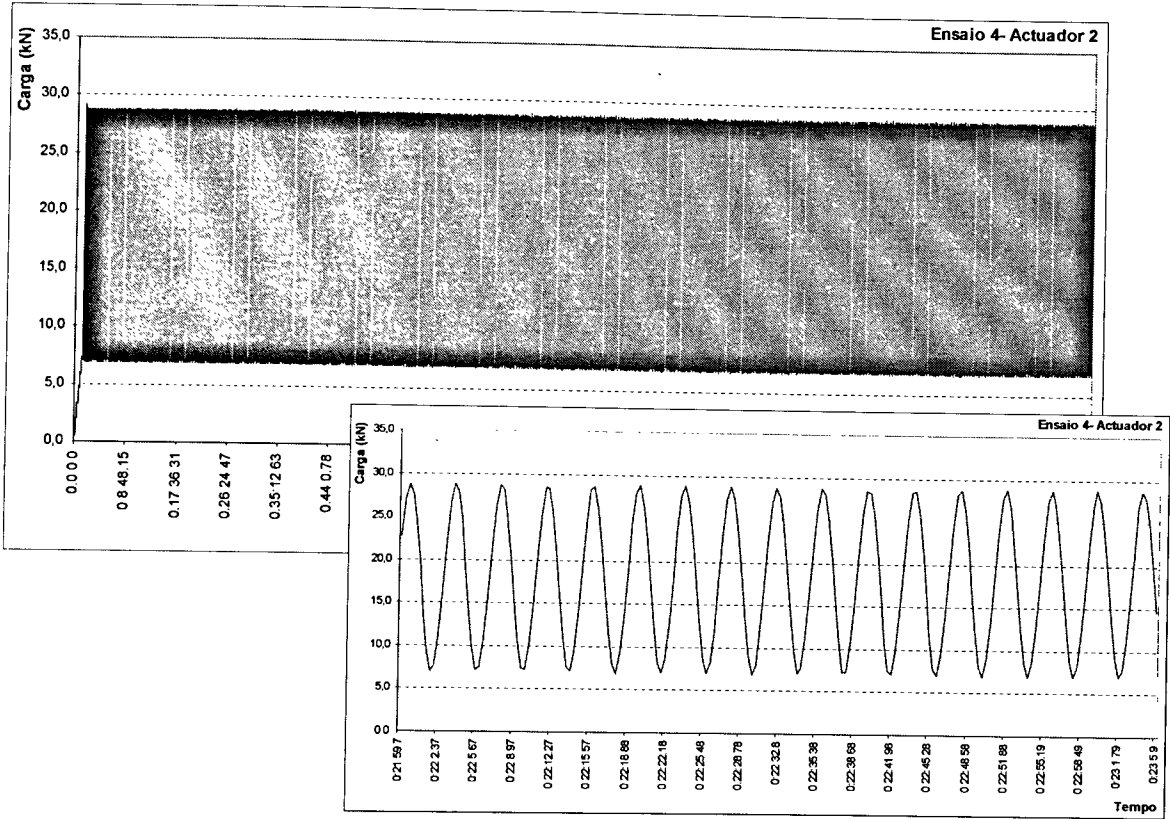
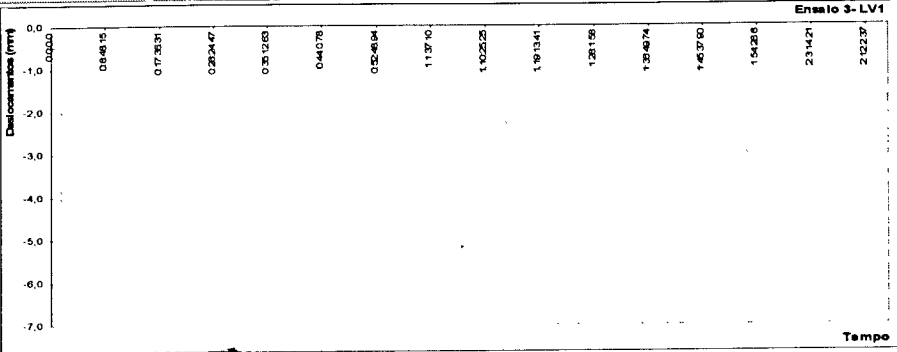
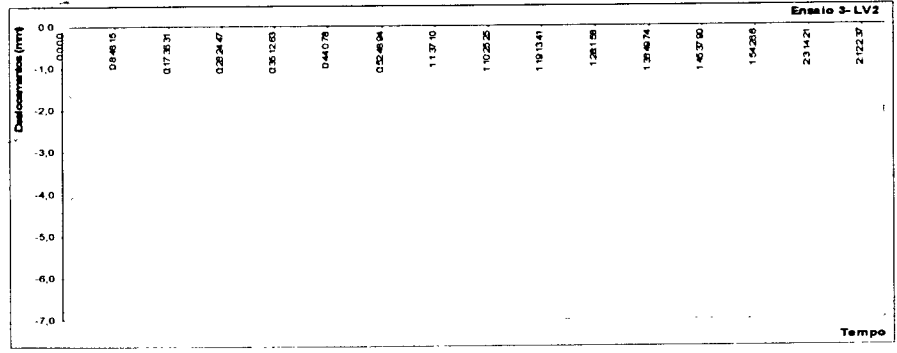
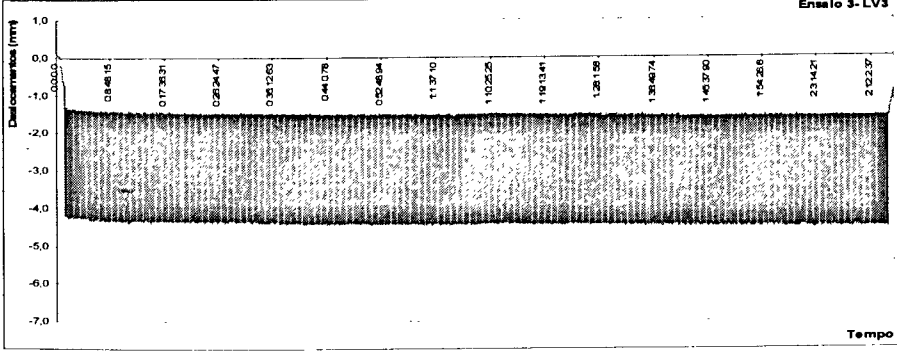
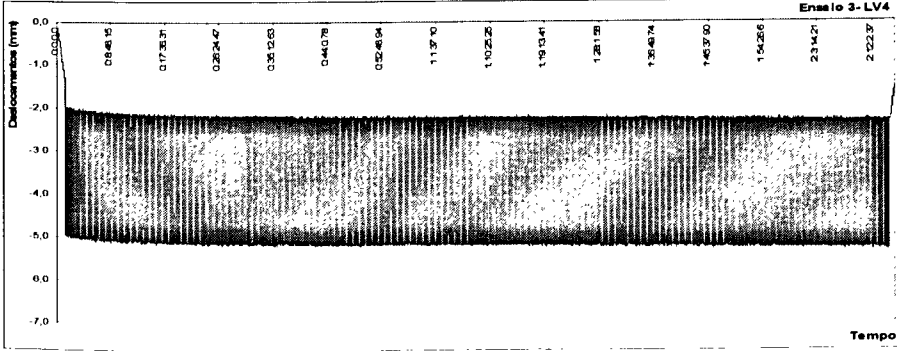
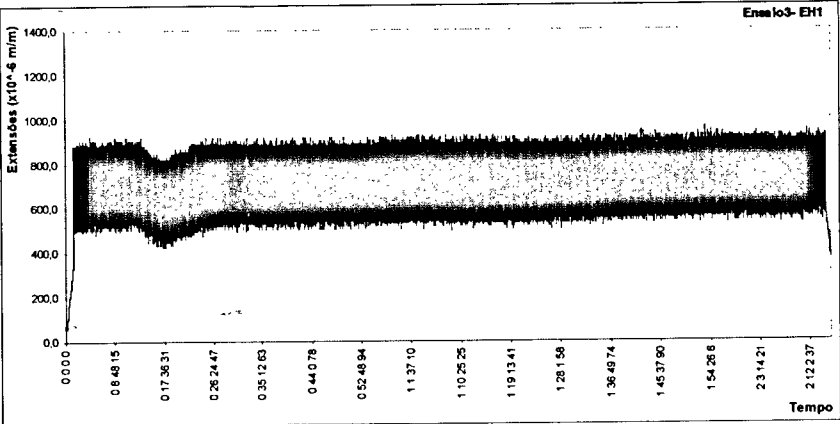
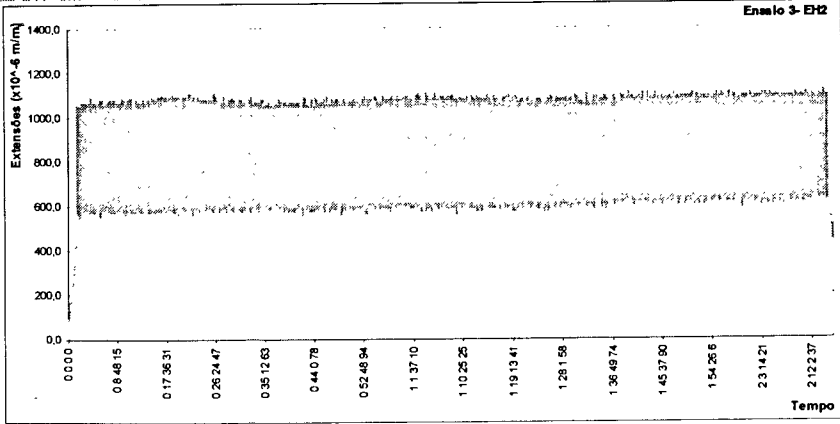
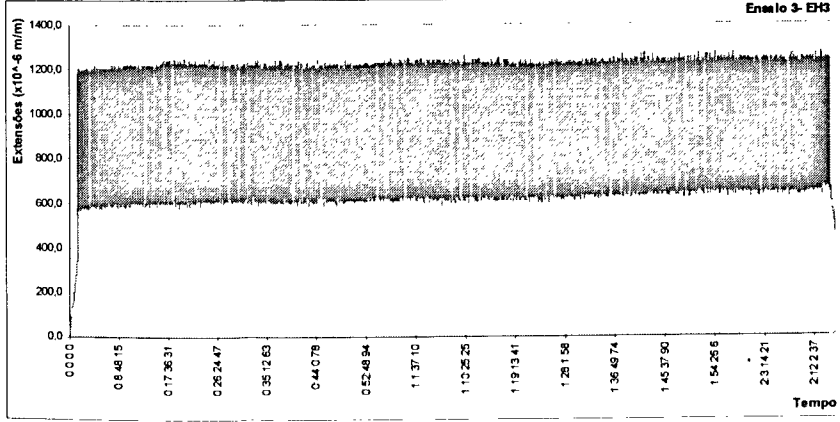


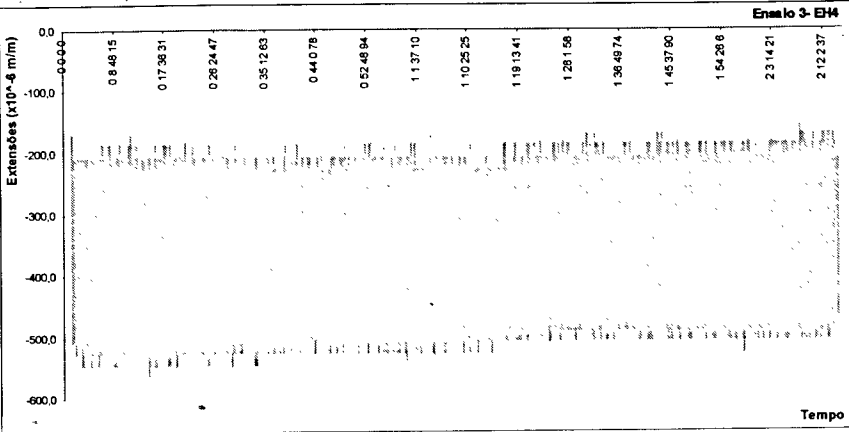
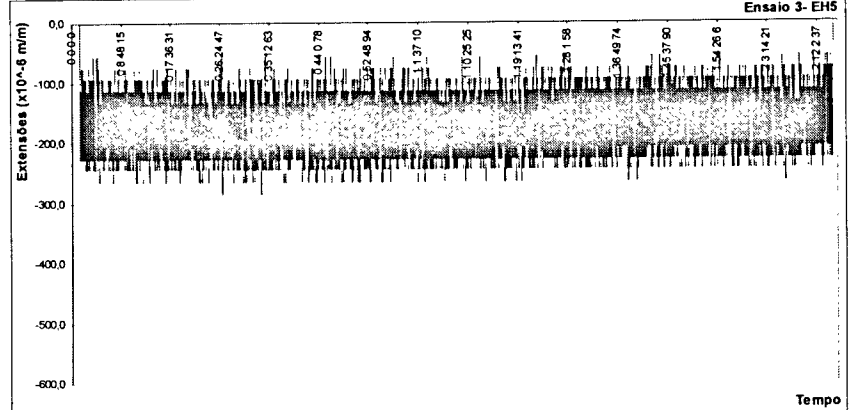
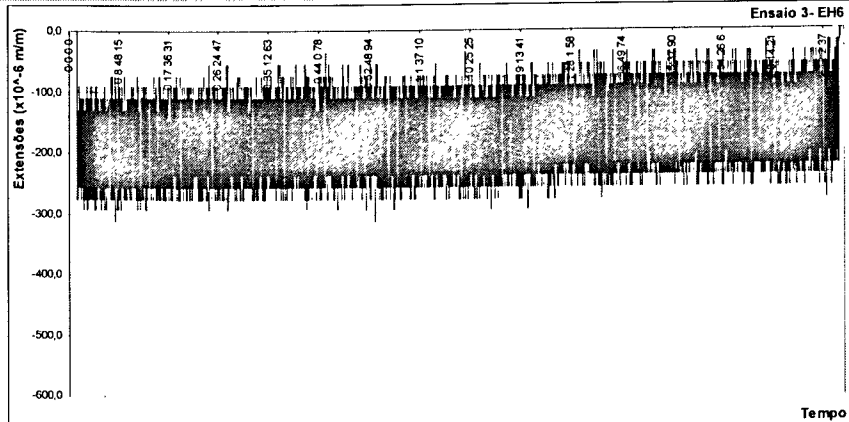
Figura 52 – Evolução do carregamento aplicado pelo actuador 2 durante o ensaio 3

Evolução dos deslocamentos (valores observados nos LVDT)

Instrumentação	Nº do Ensaio	Nº de Ciclos	Valor Máximo ^{a)} [mm]	Valor Mínimo ^{b)} [mm]	Variação Máxima ^{c)} [mm]	Gráfico	Observações
LV1	3	2000	-2.072	-5.303	3.038		- Em todos os gráficos é visível ao longo do ensaio um ligeiro aumento dos valores máximos e mínimos dos ciclos, mantendo-se no entanto a amplitude - O facto do valor de pico dos ciclos ir aumentando poderá significar que a estrutura não recupera totalmente o deslocamento sofrido ou por outro lado poderá revelar alguma degradação
LV2	3	2000	-2.472	-6.399	3.653		Valor observado a meio vão do degrau superior foi ligeiramente diferente ao registado no lvdt colocado na mesma posição mas no degrau inferior, o que poderá significar que a estrutura metálica treliçada não estará a materializar exactamente as condições fronteira encontradas em obra.
LV3	3	2000	-1.407	-4.581	2.980		Valor máximo do deslocamento verificado nos degraus durante este ensaio ocorreu a meio vão do degrau inferior, 6.399mm. Este valor é ligeiramente superior ao verificado no ensaio homólogo dos degraus tipo T, o que poderá significar que os degraus tipo L são mais deformáveis
LV4	3	2000	-2.066	-5.317	3.024		Valores semelhantes aos observados em LV1, sensor simetricamente colocado ligeiramente inferior aos observados nos restantes Lvdts

Evolução das extensões (valores observados nos clip-gage)

Instrumentação	Nº do Ensaio	Nº de Ciclos	Valor Máximo ^{a)} [x10 ⁻⁶ m/m]	Valor Mínimo ^{b)} [x10 ⁻⁶ m/m]	Variação Máxima ^{c)} [x10 ⁻⁶ m/m]	Gráfico	Observações
EH1	3	2000	963	422	541		Atendendo à baixa amplitude registada neste sensor e à perturbação observada durante o decorrer do ensaio pensa-se que o clip estará solto, pelo que os seus resultados devem ser ignorados
EH2	3	2000	1121	548	573		
EH3	3	2000	1272	565	707		Extensões máximas de tracção, 1272 x106m/m, registada no clip colocado a meio vão.

Instrumentação	Nº do Ensaio	Nº de Ciclos	Valor Máximo ^{a)} [x10 ⁻⁶ m/m]	Valor Mínimo ^{b)} [x10 ⁻⁶ m/m]	Variação Máxima ^{c)} [x10 ⁻⁶ m/m]	Gráfico	Observações
EH4	3	2000	-150	-583	-433		• Valores máximos das compressões menores que os das tracções revelando o facto do eixo neutro se situar mais próximo das fibras superiores dos degraus • Extensão máxima de compressão, 583 x10⁶m/m, registada no clip colocado a meio vão
EH5	3	2000	-57	-285	-228		• Extensão máxima registada em EH5 e EH6, colocados simetricamente no degrau inferior, é muito semelhante
EH6	3	2000	-20	-312	-292		• Valores das extensões muito superiores às observadas no ensaio homólogo dos degraus tipo T, facto que denuncia a maior deformabilidade destes degraus.

5.2.1.2 Fase 2 – Ensaio 9

Evolução do carregamento aplicado pelos actuadores

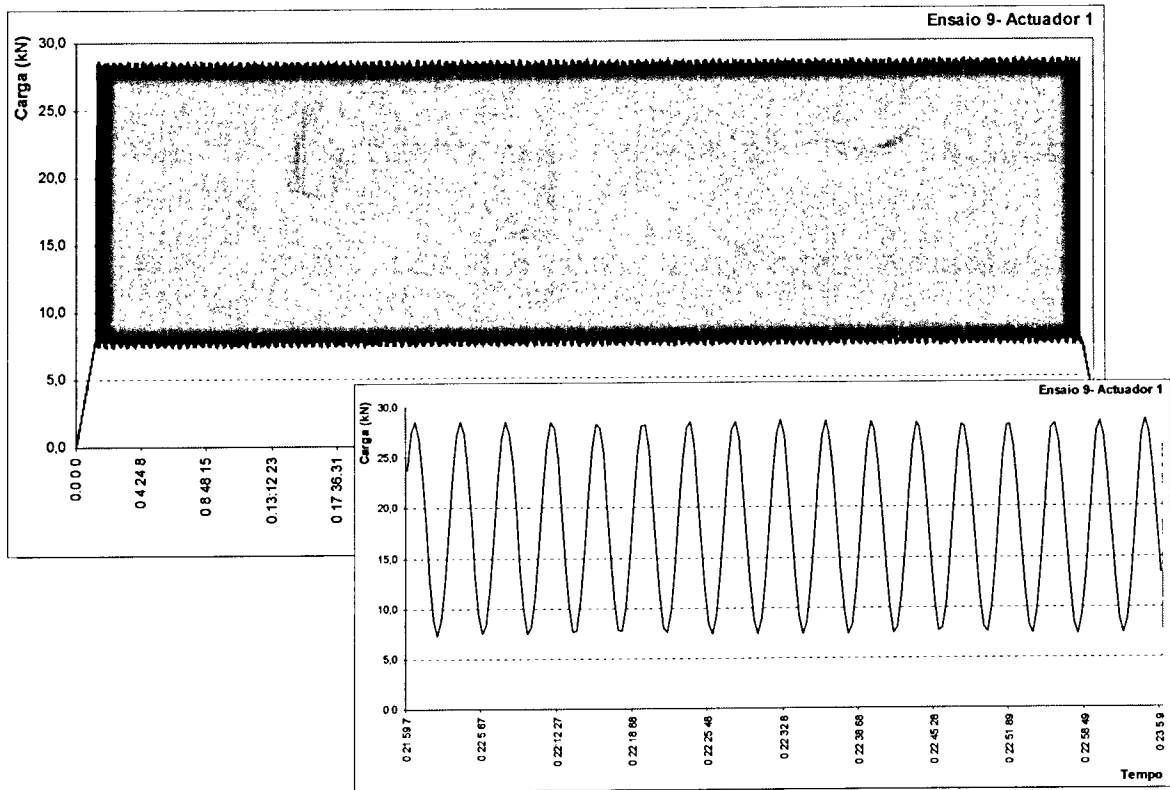


Figura 53 – Evolução do carregamento aplicado pelo actuador 1 durante o ensaio 9

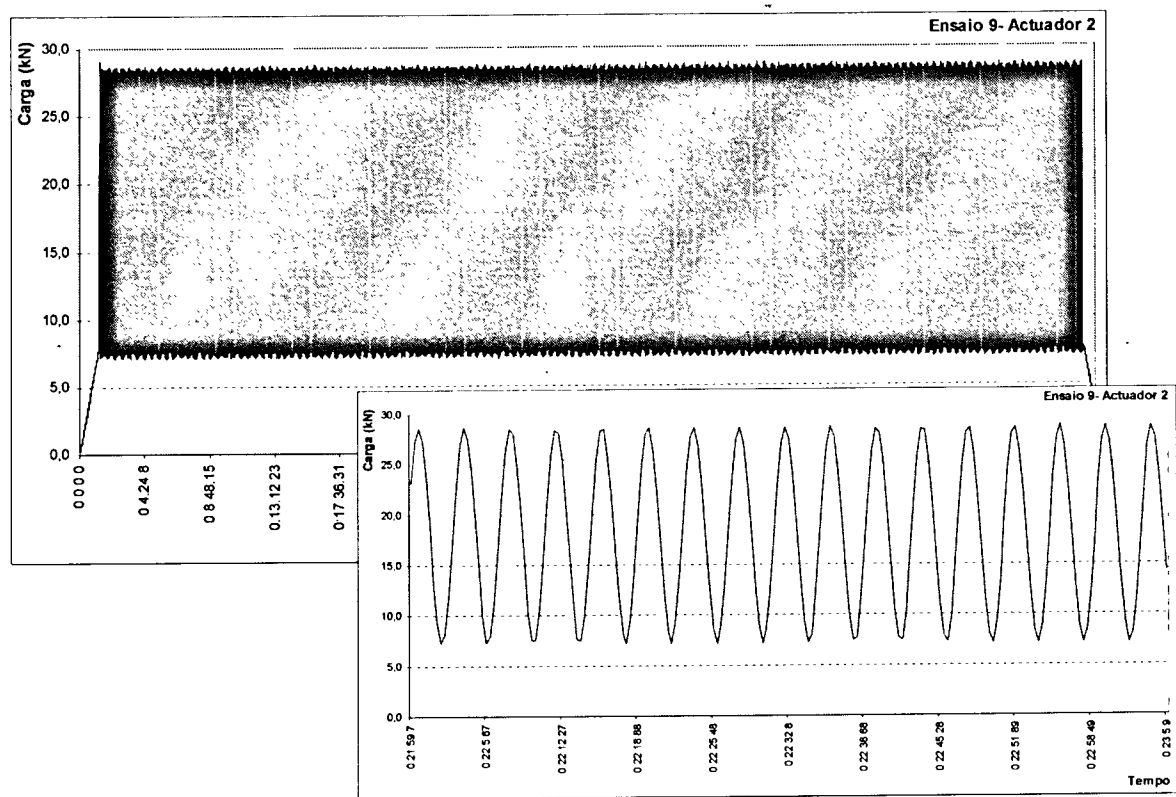
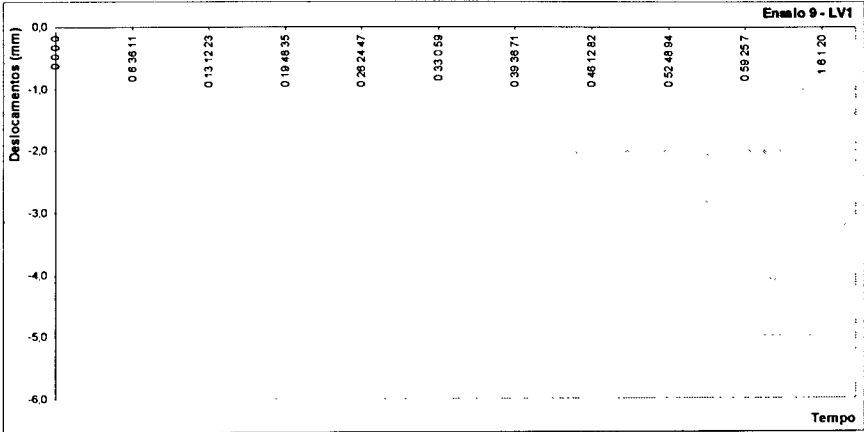
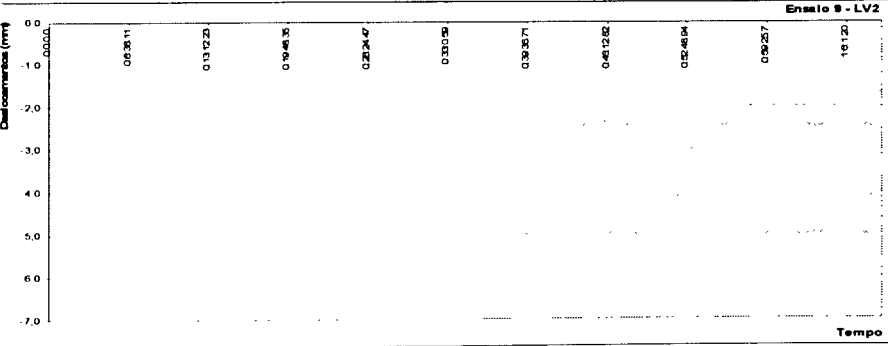
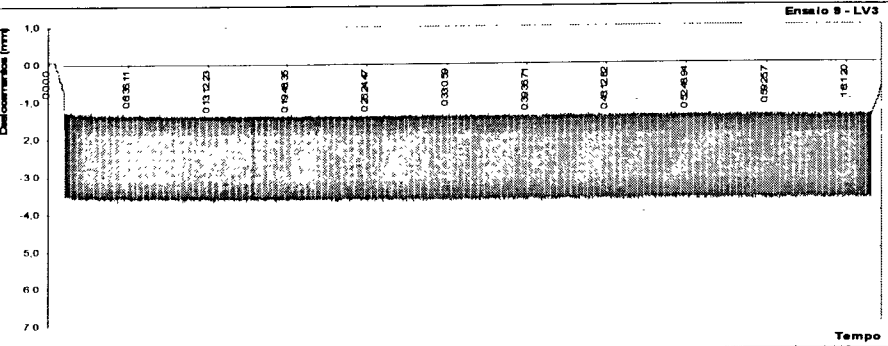
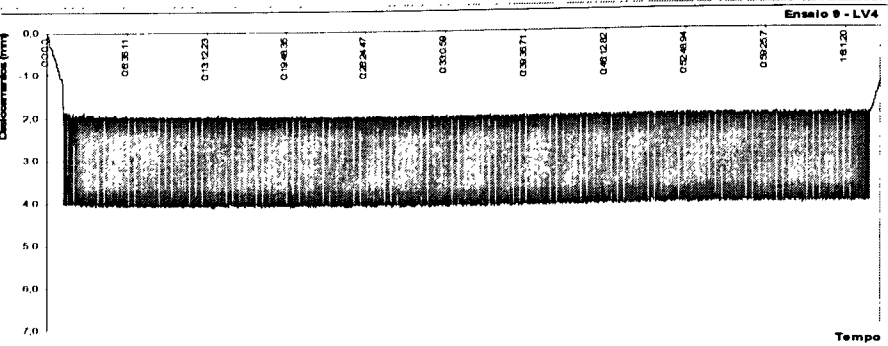


Figura 54 – Evolução do carregamento aplicado pelo actuador 2 durante o ensaio 9

Evolução dos deslocamentos (valores observados nos LVDT)

Instrumentação	Nº do Ensaio	Nº de Ciclos	Valor Máximo ^{a)}	Valor Mínimo ^{b)}	Variação Máxima ^{c)}	Gráfico	Observações
			[mm]	[mm]	[mm]		
LV1	9	1000	-1.878	-4.171	-2.290		
LV2	9	1000	-2.252	-5.081	-2.820		• Valor observado a meio vão do degrau superior não foi muito semelhante ao registado no lvdt colocado na mesma posição mas no degrau inferior, o que poderá significar que a estrutura metálica treliçada não estará a materializar exactamente as condições fronteira existentes no estádio
LV3	9	1000	-1.269	-3.753	-2.480		• Valor máximo do deslocamento verificado nos degraus durante este ensaio ocorreu a meio vão do degrau inferior, 5.081 mm • O valor máximo atingido neste ensaio foi relativamente menor ao observado no ensaio 3, cuja carga máxima aplicada foi semelhante. Facto que revela que a ligação com conectores leva os dois degraus a funcionar em conjunto, materializando assim uma estrutura muito mais rígida.
LV4	9	1000	-1.873	-4.187	-2.310		• Valores semelhantes aos observados em LV1, sensor simetricamente colocado ligeiramente inferior aos observados nos restantes Lvdt

Evolução das extensões (valores observados nos clip-gage)

Instrumentação	Nº do Ensaio	Nº de Ciclos	Valor Máximo ^{a)} [x10 ⁻⁶ m/m]	Valor Mínimo ^{b)} [x10 ⁻⁶ m/m]	Variação Máxima ^{c)} [x10 ⁻⁶ m/m]	Gráfico	Observações
EH1	9	1000	845	471	374		Atendendo à baixa amplitude registada neste sensor pensa-se que o clip estará solto, pelo que os seus resultados devem ser ignorados
EH2	9	1000	1003	494	509		
EH3	9	1000	1437	630	807		Extensões máximas de tracção, 1437 x106m/m, registada no clip colocado a meio vão.

Instrumentação	Nº do Ensaio	Nº de Ciclos	Valor Máximo ^{a)}	Valor Mínimo ^{b)}	Variação Máxima ^{c)}	Gráfico	Observações
			[x10 ⁻⁶ m/m]	[x10 ⁻⁶ m/m]	[x10 ⁻⁶ m/m]		
EH4	9	1000	37	-77	-40		Os clips registaram valores de uma grandeza bastante reduzida, deverá dever-se ao facto do eixo neutro, após a ligação por conectores se encontrar próximo da zona onde estes se encontram
EH5	9	1000	77	-57	20		
EH6	9	1000	55	-74	-19		

5.2.2 Interpretação dos resultados

Neste ponto são apresentados os valores obtidos no modelo numérico elaborado no programa de cálculo automático, ROBOT, modelo esse descrito no ponto 3.3 deste relatório. Estes valores são comparados com os valores registados nos sensores, por forma a poder validar e aferir quer o modelo numérico quer o bom funcionamento do sistema de monitorização utilizado.

5.2.2.1 Fase 1 – Ensaio 3

Deslocamentos verticais

Na figura seguinte apresenta-se um mapa de deformações dos degraus, quando aplicado a carga máxima registada durante o ensaio em estudo e para a condição das ligações com conectores ainda não se encontrar realizada.

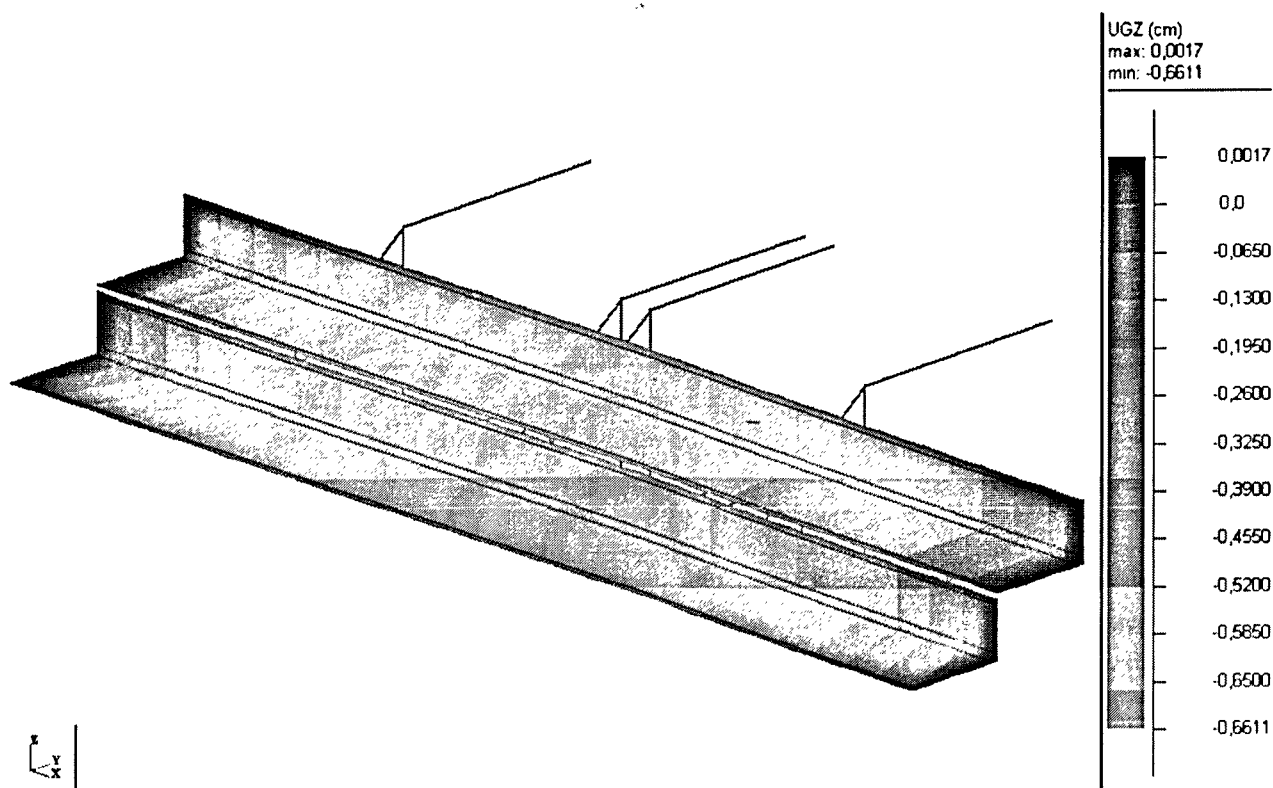


Figura 55 – Mapa de deformações correspondente às condições do ensaio 3

No quadro que a seguir se apresenta é apresentado o valor obtido através do modelo numérico (valor teórico), o valor máximo registado no sensor (valor do lvdt) e o correspondente desvio entre estes dois valores.

Figura 56 – Comparação dos valores das deformações verticais do modelo numérico e do sistema de monitorização obtidos para o ensaio 3

Instrumentação	Nº Ensaio	Valor Teórico mm	Valor do Lvdt mm	Desvio %
LV1	3	-5.325	-5.303	
LV2	3	-6.245	-6.399	
LV3	3	-6.231	-4.581	
LV4	3	-5.325	-5.317	

Extensões

No quadro que a seguir se apresenta é apresentado o valor obtido através do modelo numérico (valor teórico), o valor máximo registado no sensor (valor do clip-gage) e o correspondente desvio entre estes dois valores.

Figura 57 – Comparação dos valores das extensões do modelo numérico e do sistema de monitorização obtidos para o ensaio 3

Instrumentação	Nº Ensaio	Valor Teórico $\times 10^6 \text{m/m}$	Valor do Clip $\times 10^6 \text{m/m}$	Desvio %
EH1	3		963	
EH2	3		1121	
EH3	3		1272	
EH4	3		-583	
EH5	3		-285	
EH6	3		-312	

5.2.2.2 Fase 2 – Ensaio 9

Deslocamentos verticais

Na figura seguinte apresenta-se um mapa de deformações dos degraus, quando aplicado a carga máxima registada durante o ensaio em estudo e para a condição das ligações com conectores já se encontrar realizada.

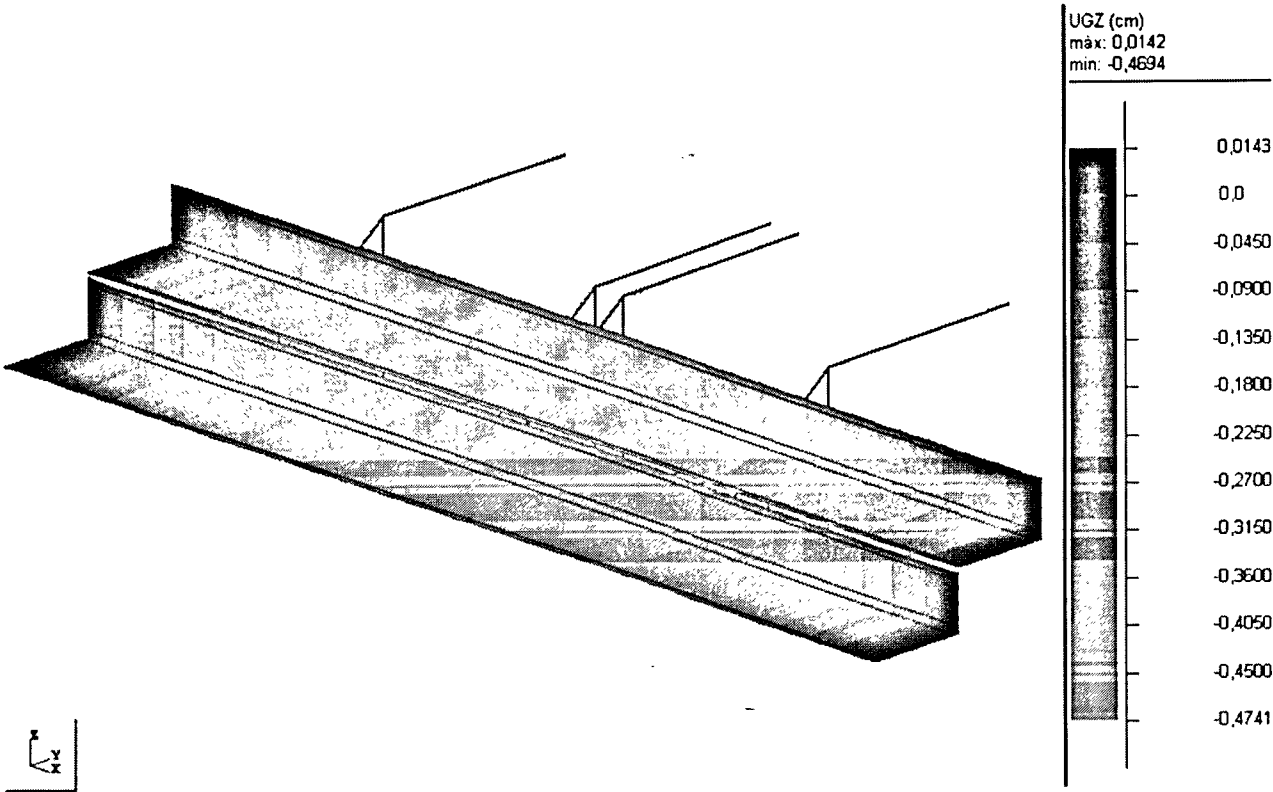


Figura 58 – Mapa de deformações correspondente às condições do ensaio 9

No quadro que a seguir se apresenta é apresentado o valor obtido através do modelo numérico (valor teórico), o valor máximo registado no sensor (valor do lvd) e o correspondente desvio entre estes dois valores.

Figura 59 – Comparação dos valores das deformações verticais do modelo numérico e do sistema de monitorização obtidos para o ensaio 9

Instrumentação	Nº Ensaio	Valor Teórico mm	Valor do Lvd mm	Desvio %
LV1	9		-4.171	
LV2	9		-5.081	
LV3	9		-3.753	
LV4	9		-4.187	

6 Apresentação e Análise dos Valores Observados na Fase 3 do Estudo dos Degraus Tipo L

Durante o estudo do comportamento dos degraus tipo L foram realizados 2 ensaios durante os quais os degraus foram submetidos ao tipo de carregamento a que na realidade irão estar sujeitos durante a sua vida útil. Para a realização destes ensaios contou-se com a colaboração de um grupo de adeptos (ver Figura 60), aos quais foi solicitado um conjunto de movimentos (saltos) sincronizados e não sincronizados por forma a simular as várias situações possíveis de ocorrer durante a realização de um espectáculo no estádio.



Figura 60 – Grupo de adeptos que realizaram o carregamento durante o ensaio 10 da fase 3

Nº Adepto	Peso (kg)	Nº Adepto	Peso (kg)
1	50	23	61
2	61	24	61
3	61	25	63
4	63	26	69
5	69	27	69
6	69	28	70
7	70	29	74
8	74	30	70
9	70	31	65
10	65	32	83
11	83	33	



Figura 61 – Movimentos sincronizados dos adeptos durante a realização do ensaio 10 da fase 3

6.1 Fase 3 – Ensaio 10

Este ensaio foi realizado nos degraus tipo L e com as ligações entre degraus realizada por conectores já estabelecida (ligações rígidas). No quadro seguinte é apresentado o nº de adeptos presentes neste ensaio, bem como seus respectivos pesos. Será importante referir que a sua localização nos degraus foi aleatório e da qual não existe registo, pelo que o valor apresentado no quadro como carga aplicada por degrau, corresponde a metade do peso do total de adeptos.

Figura 62 – Peso dos adeptos presentes no ensaio 10 e a correspondente carga aplicada por degrau

Nº Adepto	Peso (kg)	Nº Adepto	Peso (kg)	Nº Adepto	Peso (kg)
1	75	12	85	23	80
2	63	13	55	24	61
3	96	14	73	25	61
4	50	15	63	26	63
5	51	16	81	27	69
6	60	17	87	28	52
7	58	18	70	29	55
8	47	19	73	30	54
9	89	20	64	31	70
10	70	21	85	32	65
11	98	22	71	33	83
Média=69 kg Coef. Vari.= 19.4%					
Carga aplicada = 11.17 kN/degrau					

O sistema de monitorização montado para este ensaio foi igual ao usado nas fases anteriores deste estudo, sendo contudo apenas exposto os resultados relativos aos LV's e aos CG's, por se tratarem dos sensores cujos resultados se revelam de maior interesse para a compreensão da fase e a natureza do estudo em questão.

Haverá no entanto que referir que para o caso particular deste ensaio o sistema apenas foi colocado em funcionamento quando os adeptos já estavam a subir para os degraus, pelo que parte do carregamento não foi registada. Nos registos dos sensores, que a seguir se apresenta, é visível uma fase correspondente à entrada dos adeptos nos degraus (fase A), uma fase de saltos (fase B) e uma fase de saída dos adeptos dos degraus (fase C).

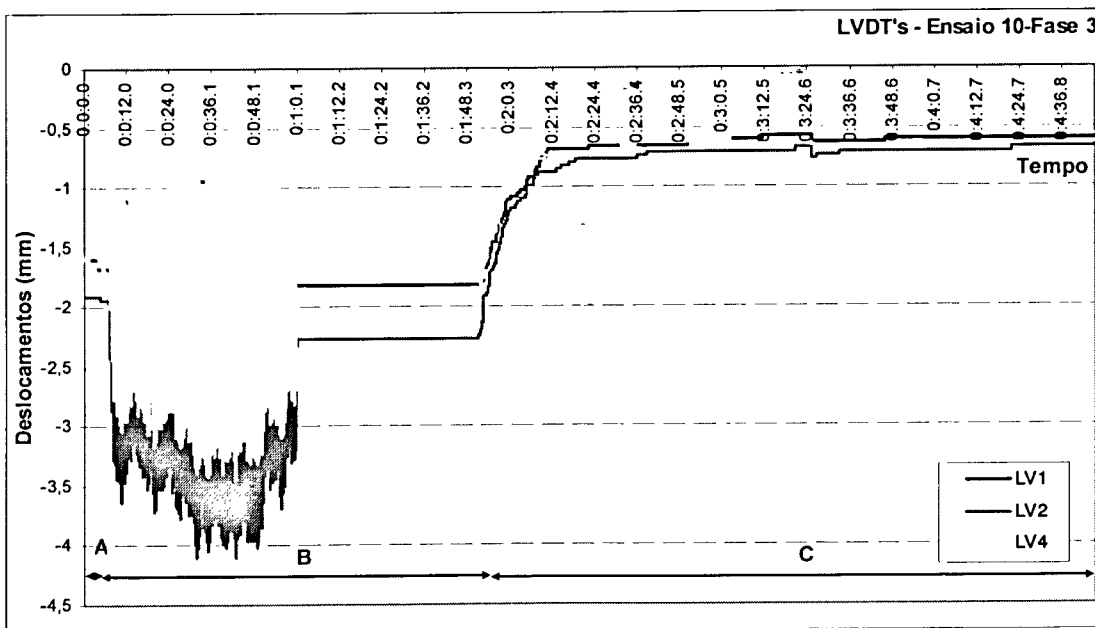


Figura 63 – Registo de valores observados nos LV colocados a meio e quarto de vão

Não são apresentados os valores observado no LV3, lvdv colocado a meio do degrau superior, por se terem revelado anómalos.

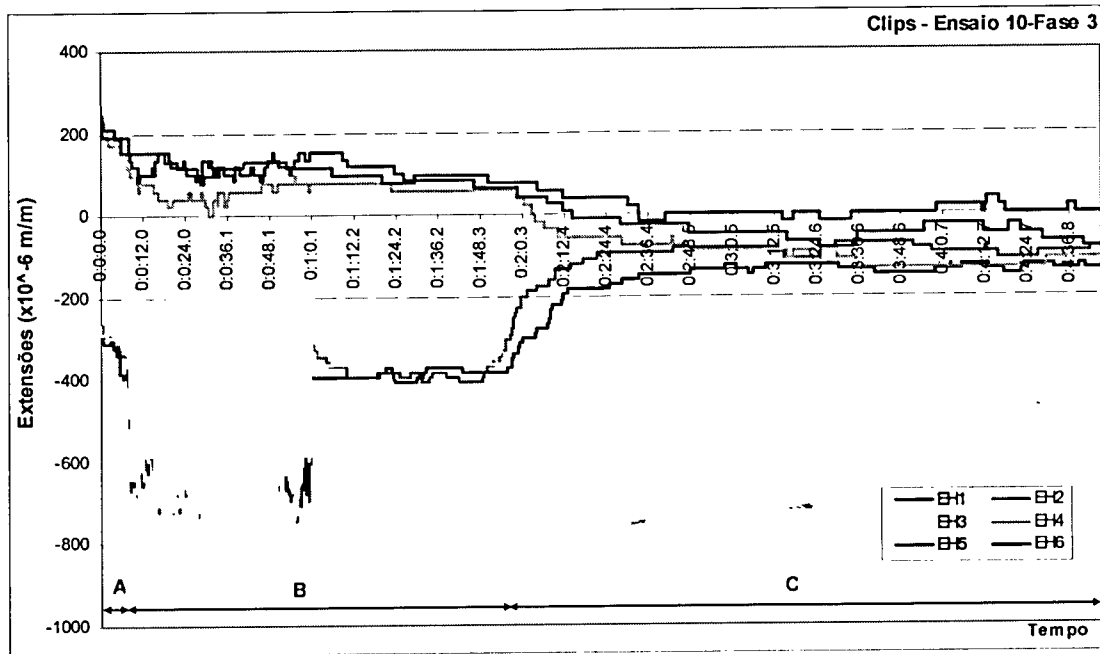


Figura 65 – Peso dos adeptos presentes no ensaio 11 e a correspondente carga aplicada por degrau

Nº Adepto	Peso (kg)	Nº Adepto	Peso (kg)	Nº Adepto	Peso (kg)
1	61	11	70	21	67
2	71	12	80	22	87
3	79	13	74	23	87
4	82	14	84	24	96
5	82	15	70	25	54
6	85	16	78	26	55
7	84	17	74	27	91
8	73	18	56	28	74
9	106	19	77	29	50
10	73	20	95	30	60
Média=75.83 kg Coef. Vari.= 17.3%					
Carga aplicada = 10.9kN/degrau					

O sistema de monitorização montado para este ensaio foi igual ao usado nas fases anteriores deste estudo, sendo contudo apenas exposto os resultados relativos aos LV's e aos CG's, por se tratarem dos sensores cujos resultados se revelam de maior interesse para a fase e a natureza do estudo em questão.

É portanto visível nos registos dos sensores uma fase correspondente à entrada dos adeptos nos degraus (fase A), uma fase de saltos (fase B) e uma fase de saída dos adeptos dos degraus (fase C).

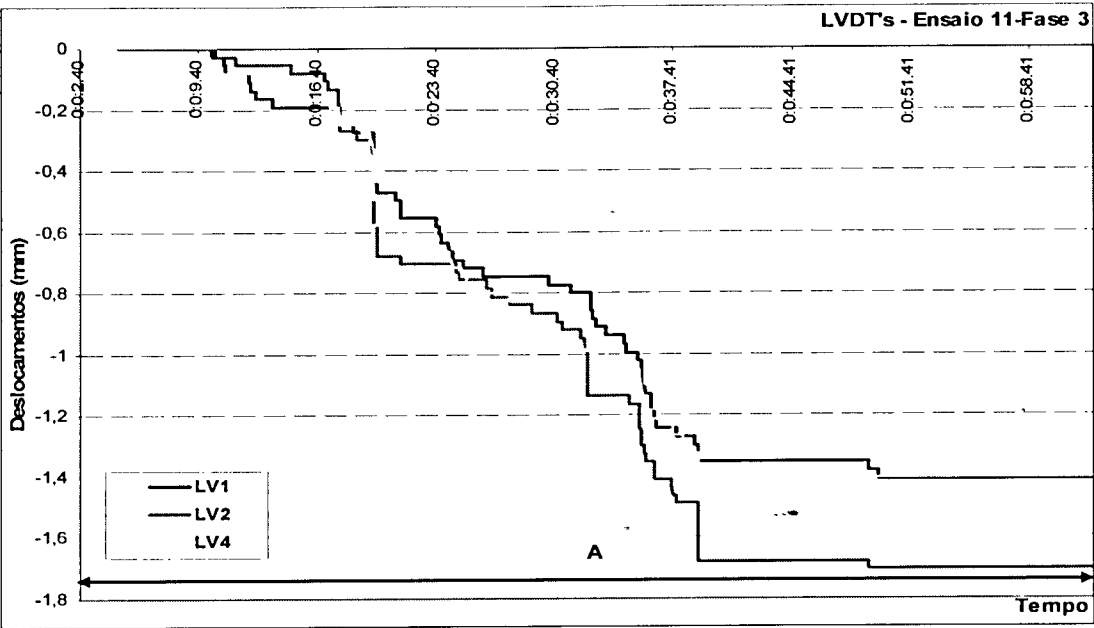


Figura 66 – Registo de valores observados nos LV colocados a meio e quarto de vão

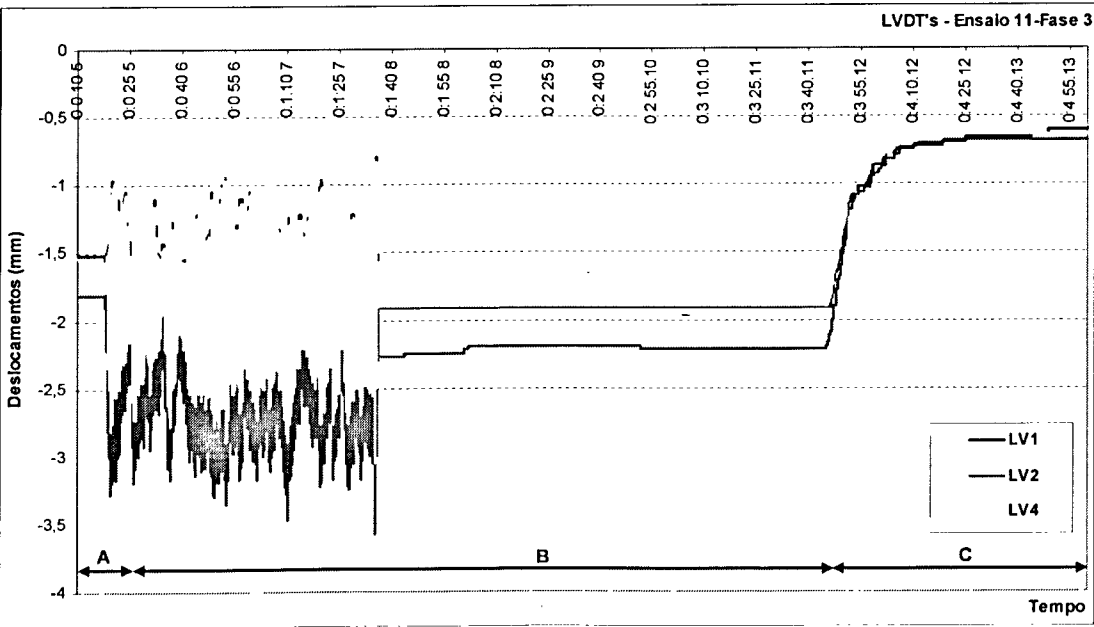


Figura 67 – Registo de valores observados nos LV colocados a meio e quarto de vão

Não são apresentados os valores observado no LV3, lvdv colocado a meio do degrau superior, por se terem revelado anómalos.

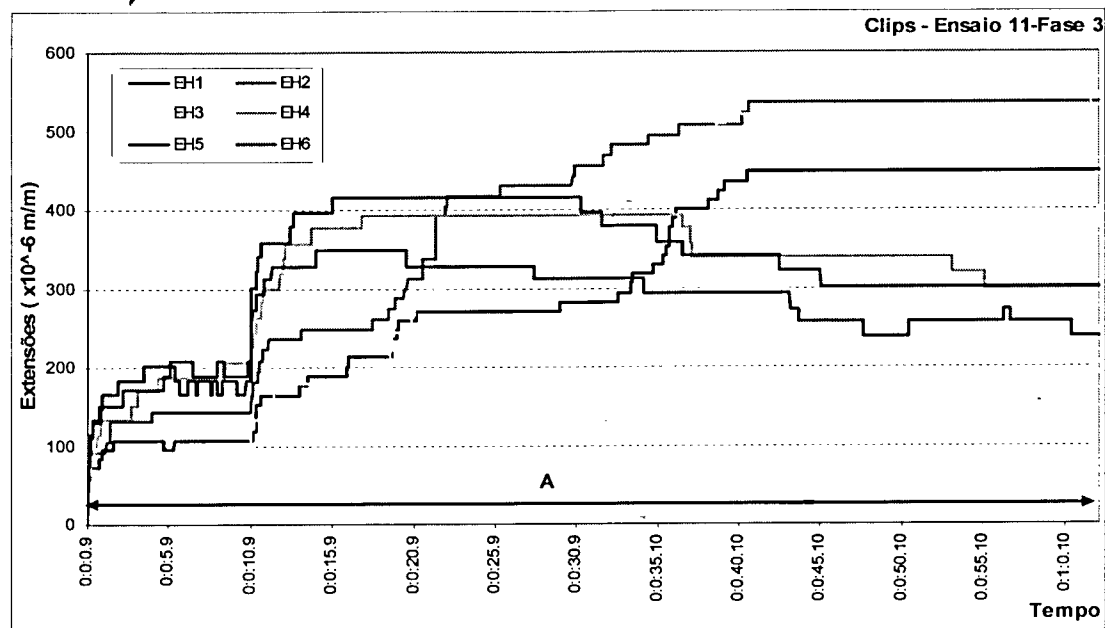


Figura 68 – Registo de valores observados nos clips colocados no degrau inferior

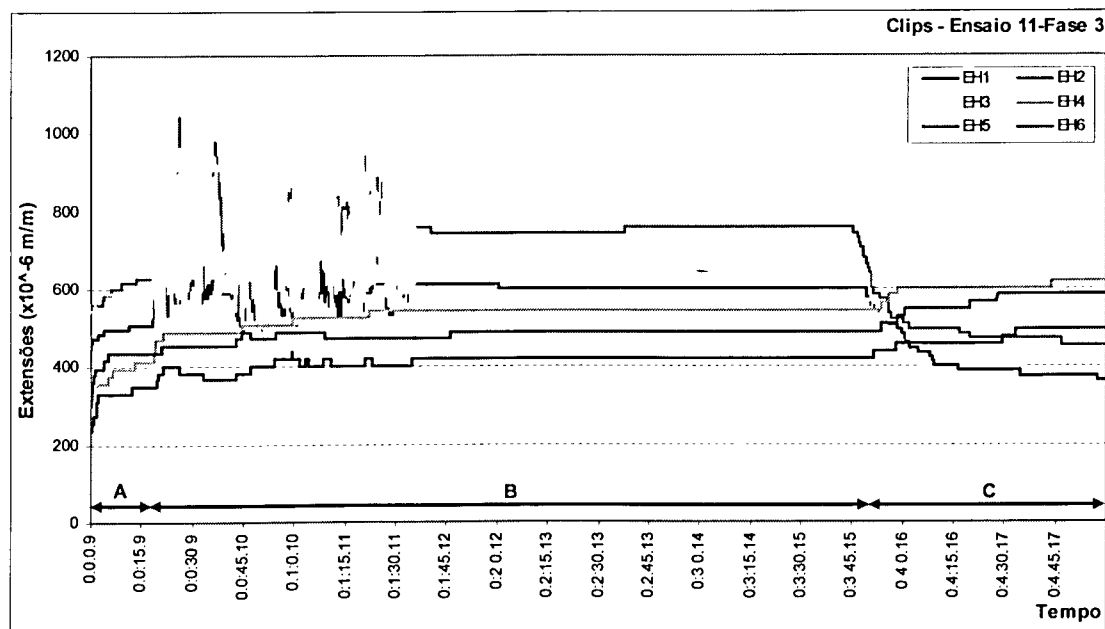


Figura 69 – Registo de valores observados nos clips colocados no degrau inferior

6.3 Análise dos resultados observados

Como conclusão fundamental a retirar destes ensaios refere-se o facto dos movimentos dos adeptos poderem provocar uma amplificação dinâmica na resposta da estrutura que poderá dobrar os valores de um carregamento puramente estático. O quadro que se segue, Figura 70, pretende mostrar este efeito de amplificação no que diz respeito ao ensaio 11 da fase 3.

Figura 70 – Quadro correspondente aos valores observados a meio vão do degrau inferior durante o ensaio 11 da fase 3

Valores Observados a Meio Vão do Degrau Inferior		
Natureza do Carregamento	Adeptos Parados	Adeptos aos “Saltos”
Flecha Máxima	1,841 mm	3,574 mm
Carga ^{a)}	10,9 kN	20,0 kN
Factor de Amplificação ^{b)}	1.941	

- a) Carga estática por degrau a que corresponde a flecha máxima
- b) O factor de amplificação dinâmica é obtido como uma relação entre a flecha máxima dos adeptos parados e a flecha máxima dos adeptos aos “saltos”

Atendendo ao que foi exposto, justifica-se o facto de regulamentarmente ser indicado como sobrecarga de serviço um valor bastante elevado, 6 kN/m², valor que pretende entrar em linha de conta com o efeito de amplificação dinâmica.

7 Apresentação e Análise dos Valores Observados no Ensaio à Rotura

7.1 Ensaio à Rotura dos degraus Tipo T

Durante a fase 3 do estudo dos degraus tipo T desenvolveram-se dois ensaios, ensaios 7 e 8. A realização do ensaio 7, ensaio que levou os degraus a cargas elevadas, teve como intuito por um lado confirmar a estimativa efectuada para os valores dos deslocamentos que seriam atingidos na rotura e por outro lado observar o comportamento dos degraus durante a fase de descarga, após estes terem entrado em regime não linear. No ensaio 8 os degraus foram efectivamente levados à rotura utilizando um sistema de monitorização muito semelhante ao aplicado em ensaios anteriores. O sistema de monitorização foi realizado usando para além dos sensores já mencionados, um transdutor de deslocamentos capaz de medir deslocamentos até 100mm. Este sensor com um campo de medida capaz de registar as flechas que se iriam verificar na rotura foi colocado a meio vão do degrau inferior (ver Figura 71).

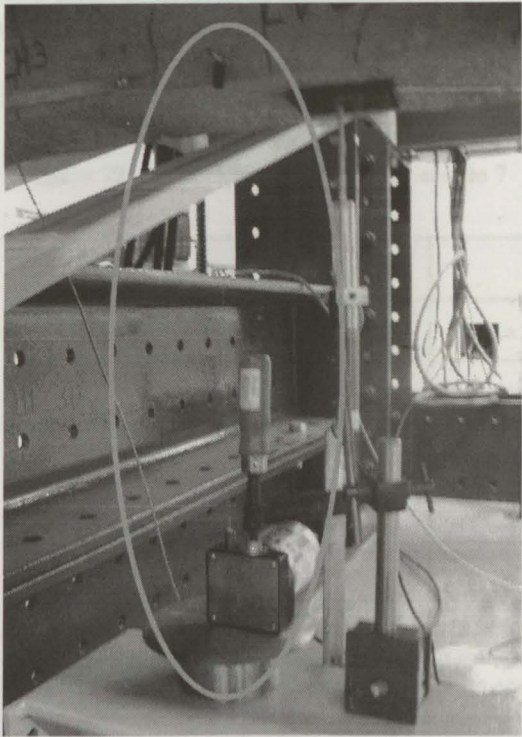


Figura 71 – Transdutor de deslocamentos verticais utilizado no ensaio 8 (DTV)

Na fase 3 a aplicação de carga por parte dos actuadores foi realizada em controlo de deslocamentos, isto é, realizada sob uma progressão constante de deslocamentos, facto que originou um diferencial na carga aplicada em cada um dos degraus. A carga aplicada por cada uma dos actuadores no respectivo degrau dependia do seu deslocamento, logo da sua rigidez. A existência de diferenças geométricas nos degraus ou uma menos correcta materialização das condições fronteira leva desde logo a diferentes rigidezes e portanto à necessidade de aplicação de diferentes cargas para obter igual deslocamento. Torna-se ainda importante alertar para o facto de o gráfico dos deslocamentos não ser uma recta perfeita mas sim um conjunto de pontos que oscila em torno de uma recta predefinida, facto que por si só é uma fonte de erro.

7.1.1 Fase 3 – Ensaio 7

Evolução do carregamento aplicado pelos actuadores

Como já foi referido anteriormente, este ensaio foi realizado sob deslocamentos em progressão constante, tendo sido desenvolvido em 8 etapas, etapas essas que se encontram descritas e ilustradas no quadro e gráficos seguintes. O sistema de aplicação de cargas foi monitorizado através de lvd't's, permitindo medir deslocamentos, e através de células de carga, o que permitiu aferir da carga que estava realmente a ser aplicada. No quadro que se segue apresenta-se para cada uma das etapas o procedimento de carregamento e a força inicial e final medida em cada um dos actuadores.

Figura 72 – Descrição das etapas do ensaio 7

Etapa do Ensaio	Procedimento	Actuador 1		Actuador 2	
		Força Inicial	Força Final	Força Inicial	Força Final
		kN	kN	kN	kN
1	Pré-carga	0,0	30,7	0,0	27,5
2	Rampa a 0,026 mm/s	30,7	114,1	27,5	92,4
3	Patamar durante 7min	114,1	111,3	92,4	90,4
4	Rampa a 0,026 mm/s	111,3	179,0	90,4	130,2
5	Patamar durante 7min	179,0	176,2	130,2	127,6
6	Rampa a 0,026 mm/s	176,2	223,8	127,6	156,2
7	Patamar durante 7min	223,8	215,6	156,2	149,1
8	Descarga	215,6	0,0	149,1	0,0

O gráfico da figura seguinte ilustra a evolução de deslocamentos entre as etapas 2 e 7. As etapas 1 e 8, correspondendo respectivamente à pré-carga e descarga, não se encontram ilustradas no gráfico por se tratarem de procedimentos cujo sistema interno de monitorização dos actuadores não realiza aquisição de dados. Poderá no entanto ser referido que durante a etapa 1, praticamente não existem deslocamentos e na etapa 8 procede-se apenas ao descarregar da estrutura.

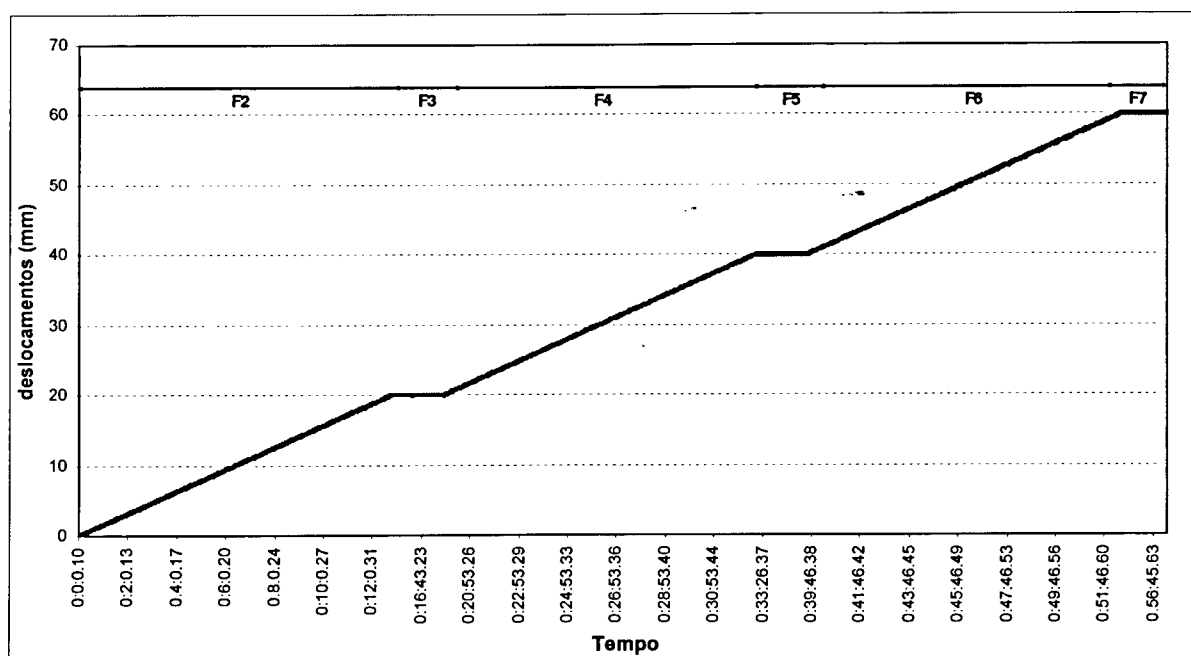


Figura 73 – Evolução do deslocamento ao longo do ensaio 7

No gráfico seguinte é possível observar a evolução do carregamento em força em cada um dos actuadores, desde a etapa 1 até à 8, sendo claramente visível uma diferença substancial de força aplicada em cada um dos degraus.

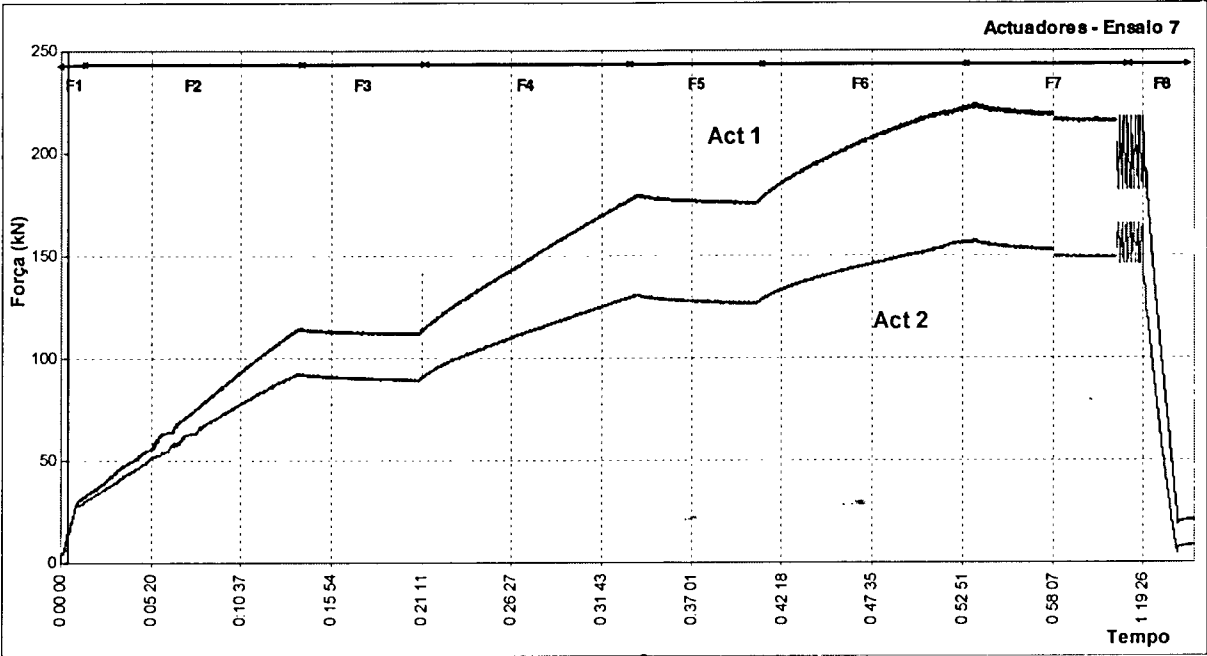


Figura 74 – Evolução do carregamento aplicado pelos actuadores durante o ensaio 7

Evolução dos deslocamentos (valores observados nos LVDT)

O gráfico seguinte ilustra os valores observados nos lvdt's colocados a meio vão do degrau inferior e superior, respectivamente LV2 e LV3 e aos quartos de vão do degrau inferior, LV1 e LV4.

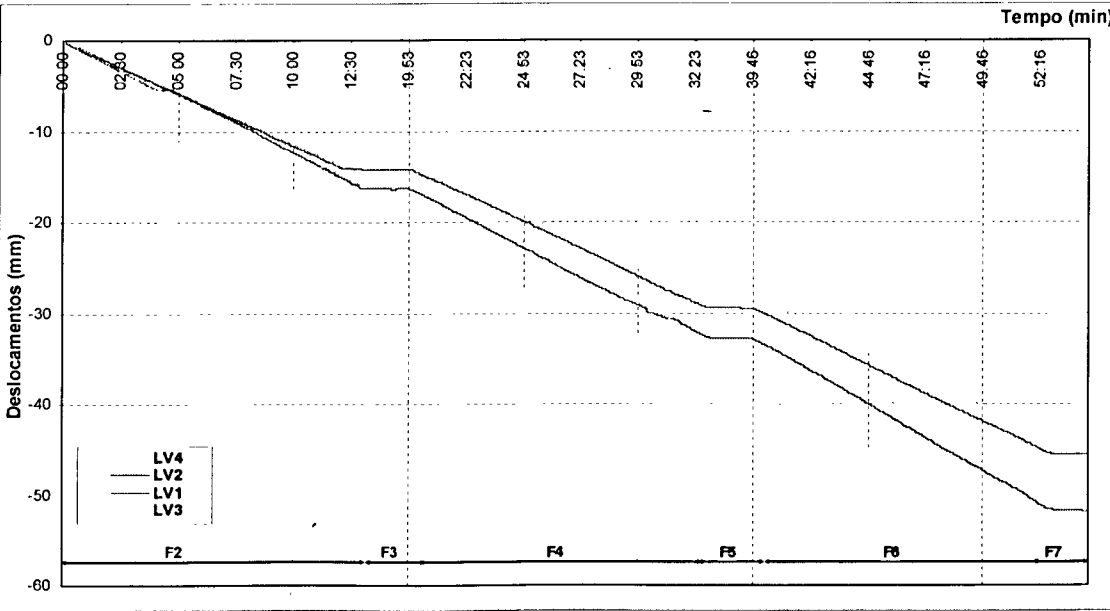


Figura 75 – Evolução dos deslocamentos verticais durante o ensaio 7

Figura 76 – Deslocamentos verticais máximos registados durante o ensaio 7

Instrumentação	Deslocamento Máximo Registado
LV1	-45.627 mm
LV2	-51.870 mm
LV3	-50.095 mm
LV4	-43.635 mm

Evolução das extensões (valores observados nos clip-gage)

Para a monitorização deste ensaio foram utilizados, tal como em ensaios anteriores 6 clip-gage, no entanto durante o decorrer do ensaio dois deles apresentaram anomalias levando à não consideração dos seus valores para este estudo. Por este motivo apresenta-se no gráfico da Figura 77 o registo de apenas 4 clips, 3 em tracção (EH1, EH2 e EH3) e 1 em compressão (EH7).

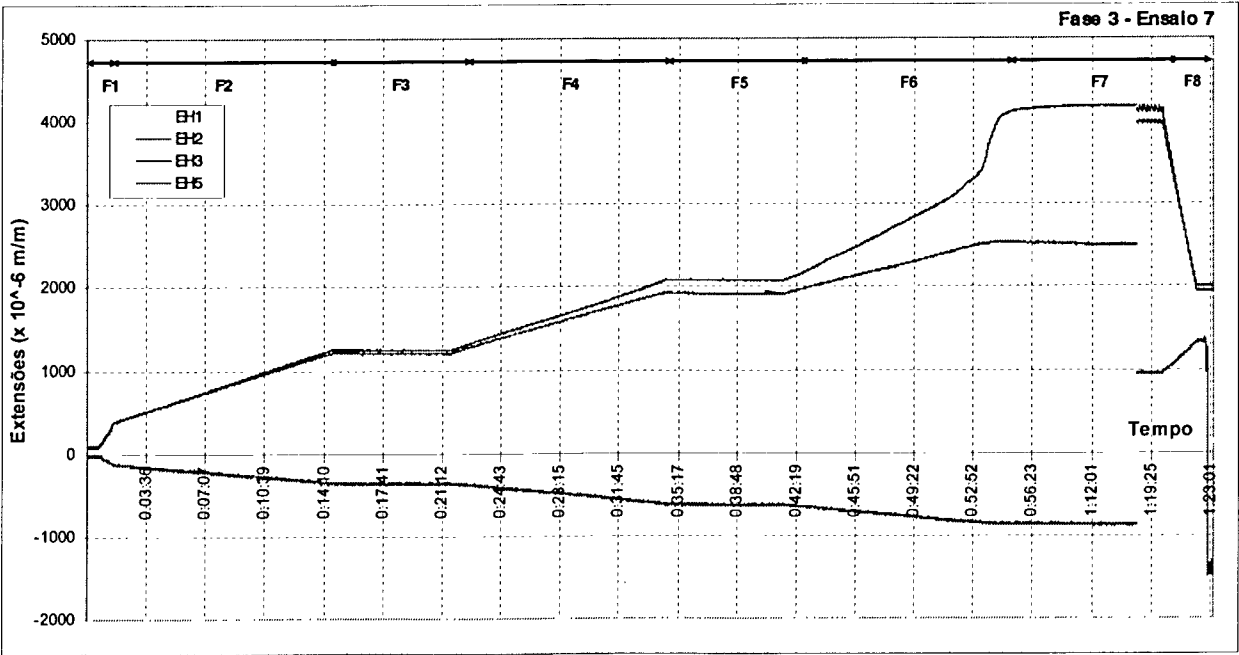


Figura 77 – Evolução das extensões durante o ensaio 7

Figura 78 – Extensões máximas registadas durante o ensaio 7

Instrumentação	Extensão Máxima Registada
EH1	2212 X10-6 m/m
EH2	2548 X10-6 m/m
EH3	4189 X10-6 m/m
EH5	149 X10-6 m/m

7.1.2 Fase 3 – Ensaio 8

Evolução do carregamento aplicado pelos actuadores

O ensaio 8, tal como o ensaio anterior, foi realizado sob deslocamentos em progressão constante, tendo-se desenvolvido em 3 etapas, etapas essas que se encontram descritas e ilustradas no quadro e gráficos seguintes.

Figura 79 – Descrição das etapas do ensaio 7

Etapa do Ensaio	Procedimento	Actuador 1		Actuador 2	
		Força Inicial	Força Final	Força Inicial	Força Final
		kN	kN	kN	kN
1	Pré-carga	0,0	30,7	0,0	27,5
2	Rampa a 0,026 mm/s	30,7	114,1	27,5	92,4
3	Descarga	114,1	111,3	92,4	90,4

O gráfico da figura seguinte ilustra a evolução de deslocamentos durante a etapa2. As etapas 1 e 3 correspondendo respectivamente à pré-carga e descarga não se encontram ilustradas no gráfico por se tratarem de procedimentos cujo sistema interno de monitorização dos actuadores não realiza aquisição de dados. Poderá no entanto ser referido que durante a etapa 1, praticamente não existem deslocamentos e na etapa 3 procede-se apenas ao descarregar da estrutura.

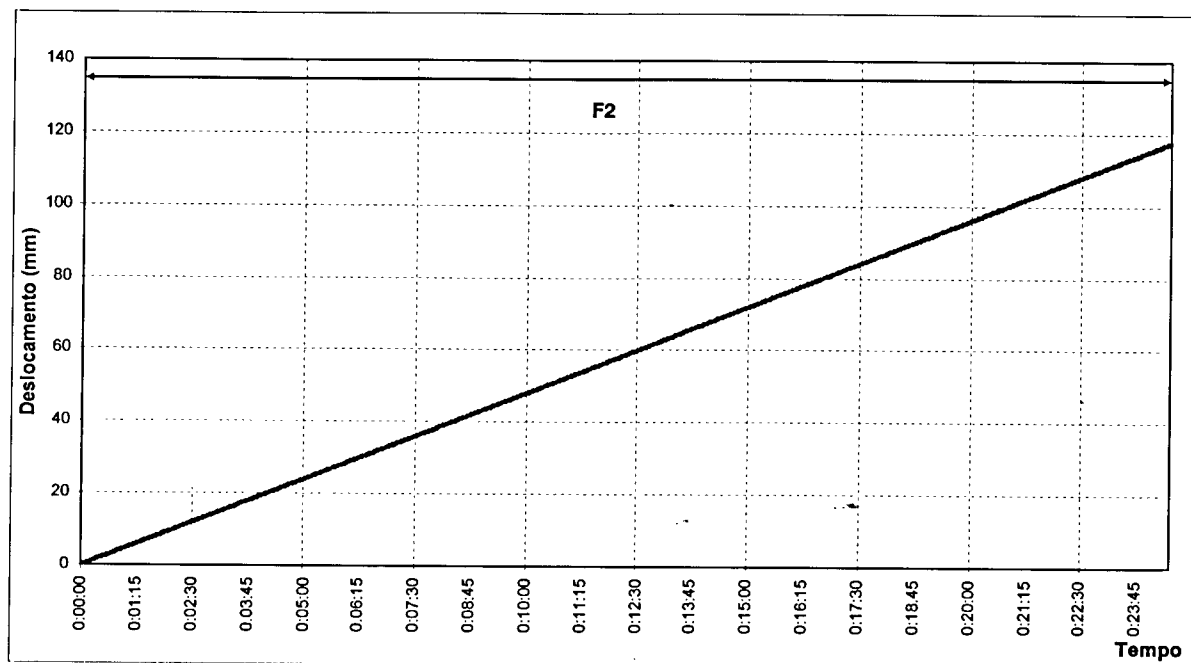


Figura 80 – Evolução do deslocamento ao longo do ensaio 8

No gráfico seguinte é possível observar a evolução do carregamento em força em cada um dos actuadores, desde a etapa 1 até à 3, sendo claramente visível uma diferença substancial na força aplicada em cada um dos degraus. Observa-se igualmente a ocorrência de pequenas oscilações em torno de um diagrama médio decorrente do facto do ensaio ter sido realizado a uma velocidade relativamente elevada. Ao aumentar a velocidade do ensaio torna-se mais complicado para o sistema de actuação de cargas manter uma progressão de deslocamento constante, levando-o por isso a oscilar a constantemente a carga aplicada.

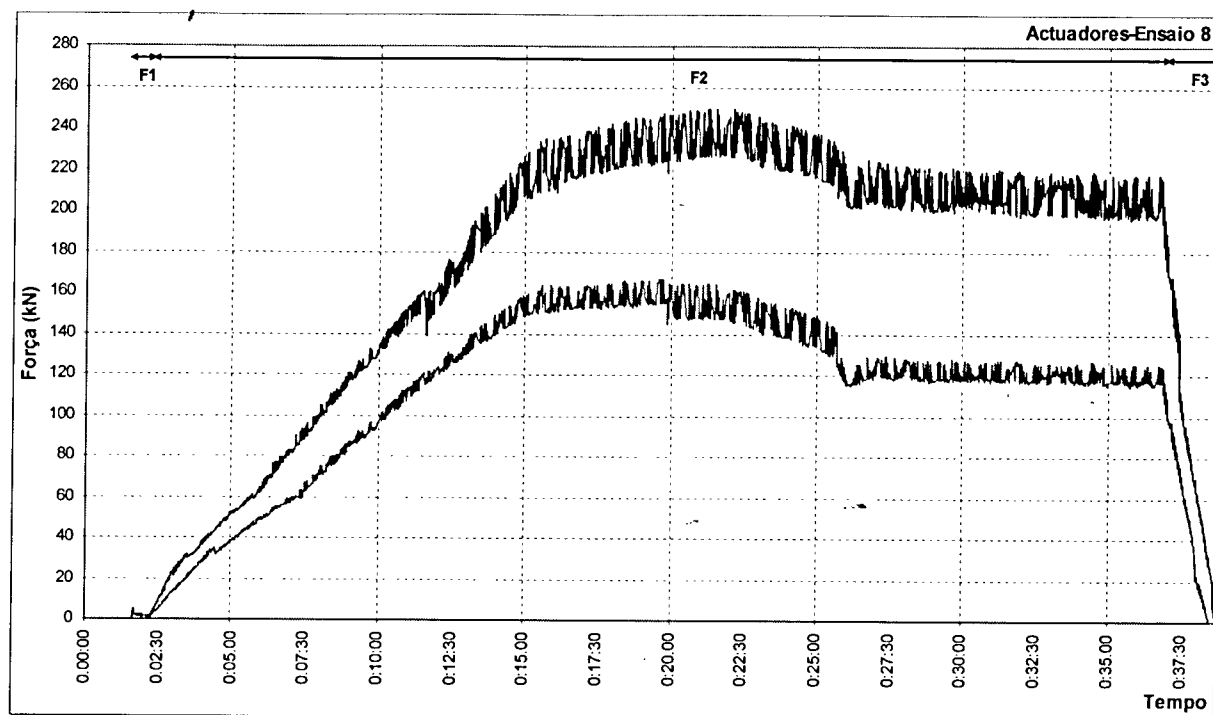


Figura 81 – Evolução do carregamento aplicado pelos actuadores durante o ensaio 8

Evolução dos deslocamentos (valores observados nos LVDT)

O gráfico seguinte ilustra os valores observados no lvdt colocado a meio vão do degrau inferior, LV2. Este lvdt foi desactivado, por ter atingido o limite do campo de aplicação, no momento em que registava cerca de 41mm de deslocamento, a que correspondia uma carga no actuador 2 de 112kN.

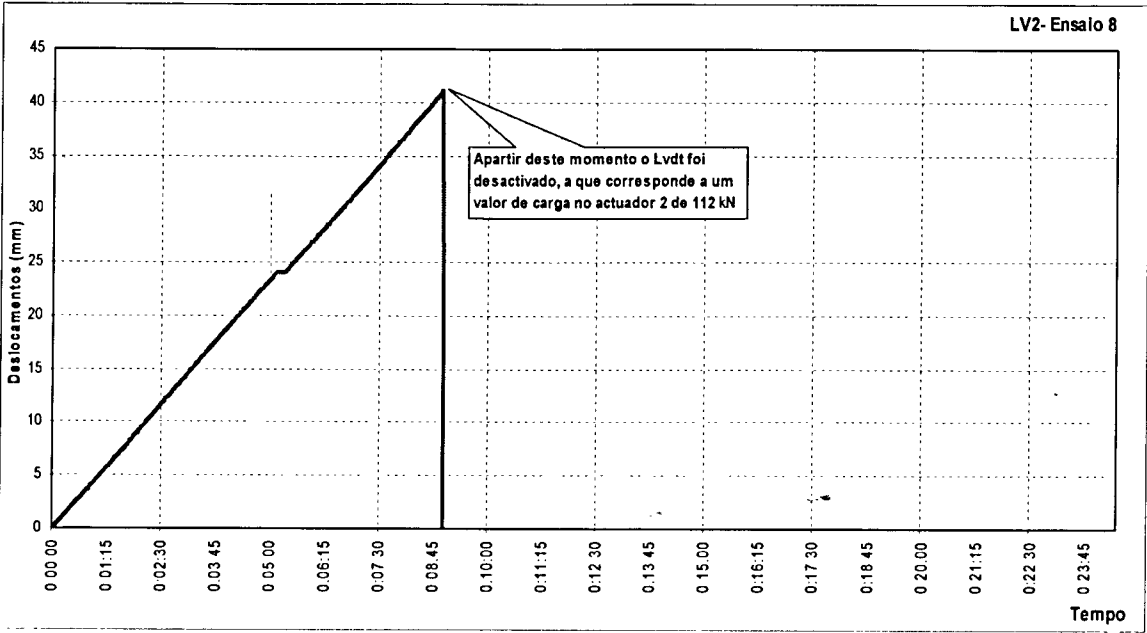


Figura82 – Evolução dos deslocamentos verticais durante o ensaio 8

Figura 83 – Deslocamento vertical registado durante o ensaio 8

Instrumentação	Deslocamento Máximo Registado
LV2	-41.054 mm

Evolução dos deslocamentos registado pelo transdutor de deslocamentos (DTV)

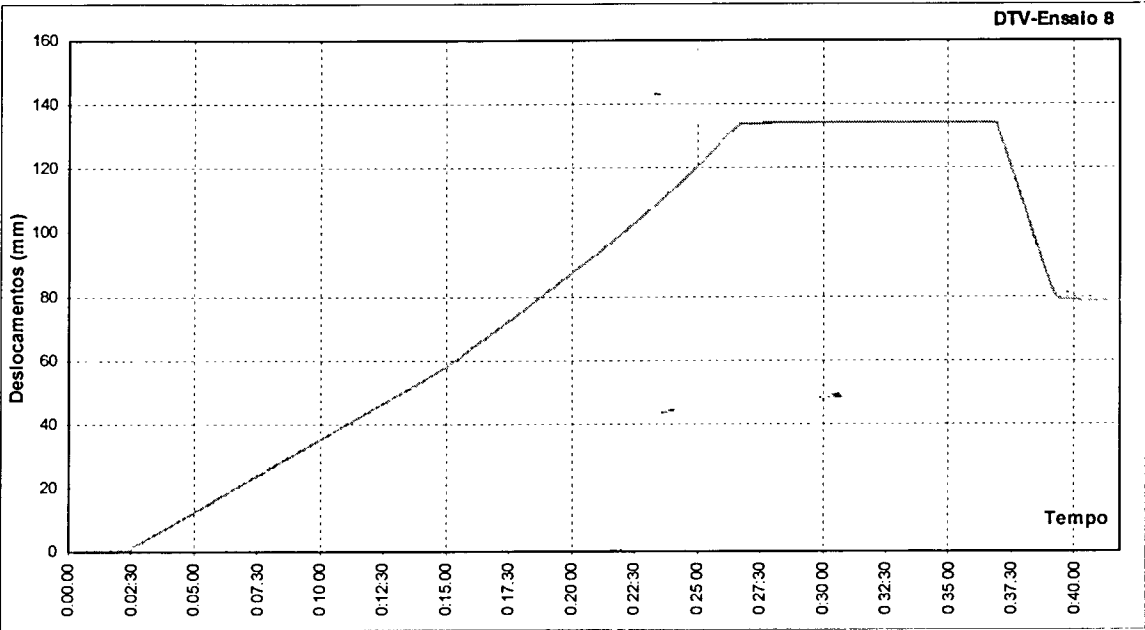


Figura 84 – Evolução do deslocamento vertical observado no DTV durante o ensaio 8

Figura 85 – Deslocamento vertical máximo e permanente observado durante o ensaio 8

Instrumentação	Deslocamento vertical Máximo	Deslocamento Permanente
DTV	134.2 mm	78.4 mm

7.2 Ensaio à Ruptura dos degraus Tipo L

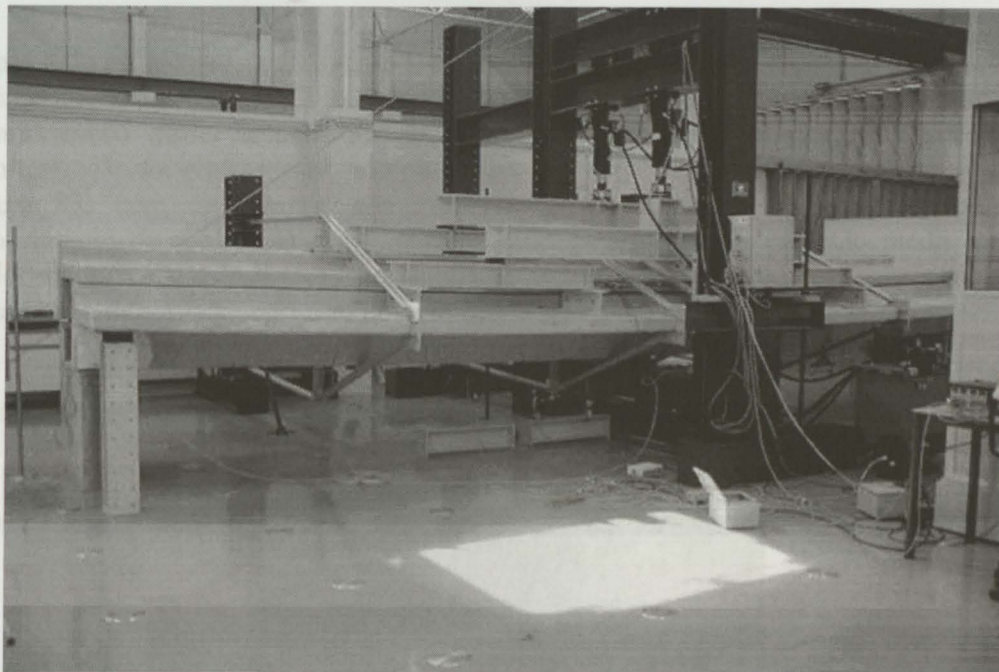


Figura 86 – Aspecto dos degraus durante o decorrer do ensaio 8

7.1.3 Fendilhação e Danos ocorridos Durante o Ensaio

7.1.4 Análise e Interpretação dos Valores Observados Durante o Ensaio

Figura 87 – Transdutor de deslocamentos verticais utilizado no ensaio 12 (LV)

Nesta fase, tal como havia acontecido na fase 1 do ensaio dos degraus tipo T a aplicação de carga por parte dos actuadores foi realizada em etapas de deslocamentos, isto é, realizada sob uma progressão constante de deslocamentos.

7.2 Ensaio à Rotura dos degraus Tipo L

A fase 4 do estudo dos degraus tipo L corresponde à fase durante a qual os degraus foram levados à rotura. O ensaio 12 da fase 4 levou os degraus à rotura utilizando um sistema de monitorização muito semelhante ao aplicado em ensaios anteriores. O sistema de monitorização foi realizado usando para além dos sensores já mencionados, um lvdt (ver Figura 87) com um grande comprimento de referência. O facto de se usar um comprimento de referência maior permite embora com menor precisão medir maiores deslocamentos. Este lvdt (LV) por motivos logísticos não foi colocado exactamente a meio vão, mas a 10 cm, como se pode observar na figura seguinte.

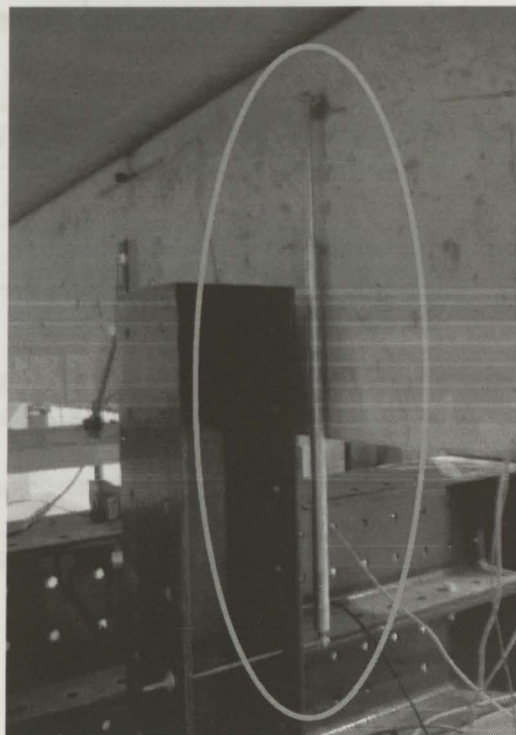


Figura 87 – Transdutor de deslocamentos verticais utilizado no ensaio 12 (LV)

Nesta fase, tal como havia acontecido na fase 3 do estudo dos degraus tipo T a aplicação de carga por parte dos actuadores foi realizada em controlo de deslocamentos, isto é, realizada sob uma progressão constante de deslocamentos

7.2.1 Fase 4 – Ensaio 12

Evolução do carregamento aplicado pelos actuadores

Como já foi referido anteriormente, este ensaio foi realizado sob deslocamentos em progressão constante, tendo sido desenvolvido em 3 etapas, etapas essas que se encontram descritas e ilustradas no quadro e gráficos seguintes.

Figura 88 – Descrição das etapas do ensaio 7

Etapa do Ensaio	Procedimento	Actuador 1		Actuador 2	
		Força Inicial	Força Final	Força Inicial	Força Final
		kN	kN	kN	kN
1	Pré-carga	0,0	2.0	0,0	2.0
2	Rampa a 0,026 mm/s	2.0	227.5	2.0	249.4
3	Descarga	227.5	0.0	249.4	0.0

O gráfico da figura seguinte ilustra a evolução de deslocamentos durante a etapa 2. As etapas 1 e 3 correspondendo respectivamente à pré-carga e descarga não se encontram ilustradas no gráfico por se tratarem de procedimentos cujo sistema interno de monitorização dos actuadores não realiza aquisição de dados. Poderá no entanto ser referido que durante a etapa 1, praticamente não existem deslocamentos e na etapa 3 procede-se apenas ao descarregar da estrutura.

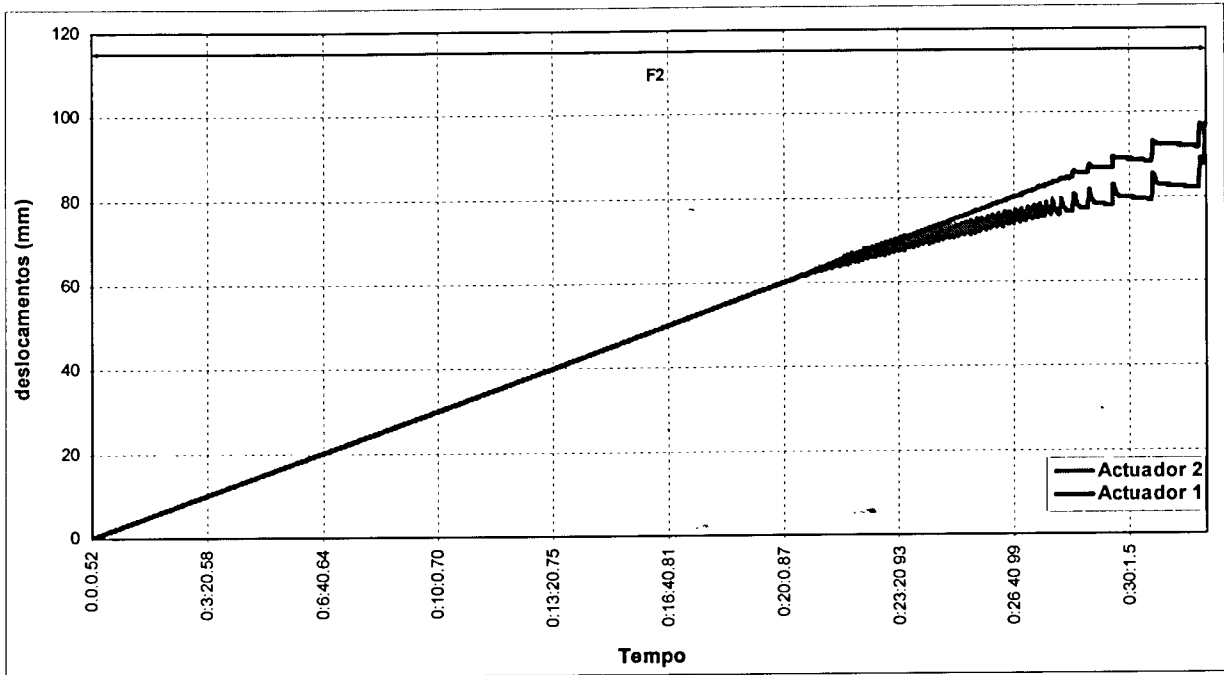


Figura 89 – Evolução do deslocamento ao longo do ensaio 12

No gráfico seguinte é possível observar a evolução do carregamento em força em cada um dos actuadores, desde a etapa 1 até à 3, sendo claramente visível uma diferença substancial na força aplicada em cada um dos degraus. Observa-se igualmente a ocorrência de pequenas oscilações em torno de um diagrama médio decorrente do facto do ensaio ter sido realizado a uma velocidade relativamente elevada. Ao aumentar a velocidade do ensaio torna-se mais complicado para o sistema de actuação de cargas manter uma progressão de deslocamento constante, levando-o por isso a oscilar a constantemente a carga aplicada.

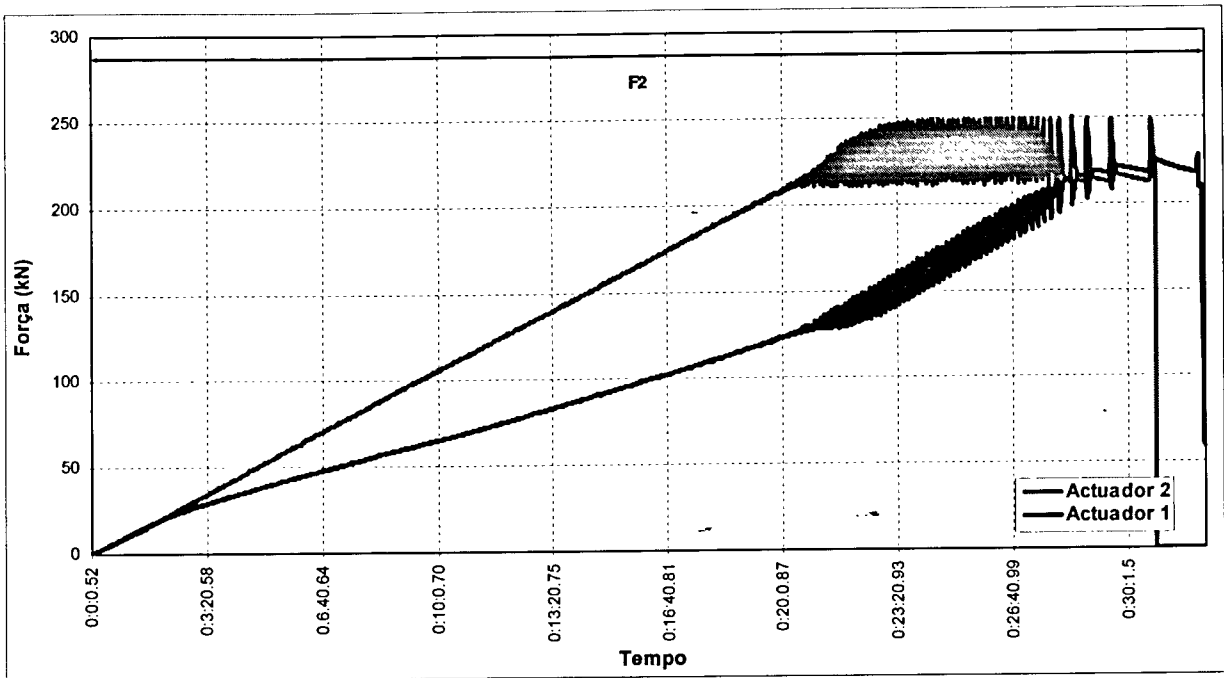


Figura 90 – Evolução do carregamento aplicado pelos actuadores durante o ensaio 8

Evolução dos deslocamentos (valores observados nos LVDT)

O gráfico seguinte ilustra os valores observados no lvdt colocado a meio vão do degrau inferior, LV2. Este lvdt foi desactivado, por ter atingido o limite do campo de aplicação, no momento em que registava cerca de 41mm de deslocamento, a que correspondia uma carga no actuador 2 de 112kN.

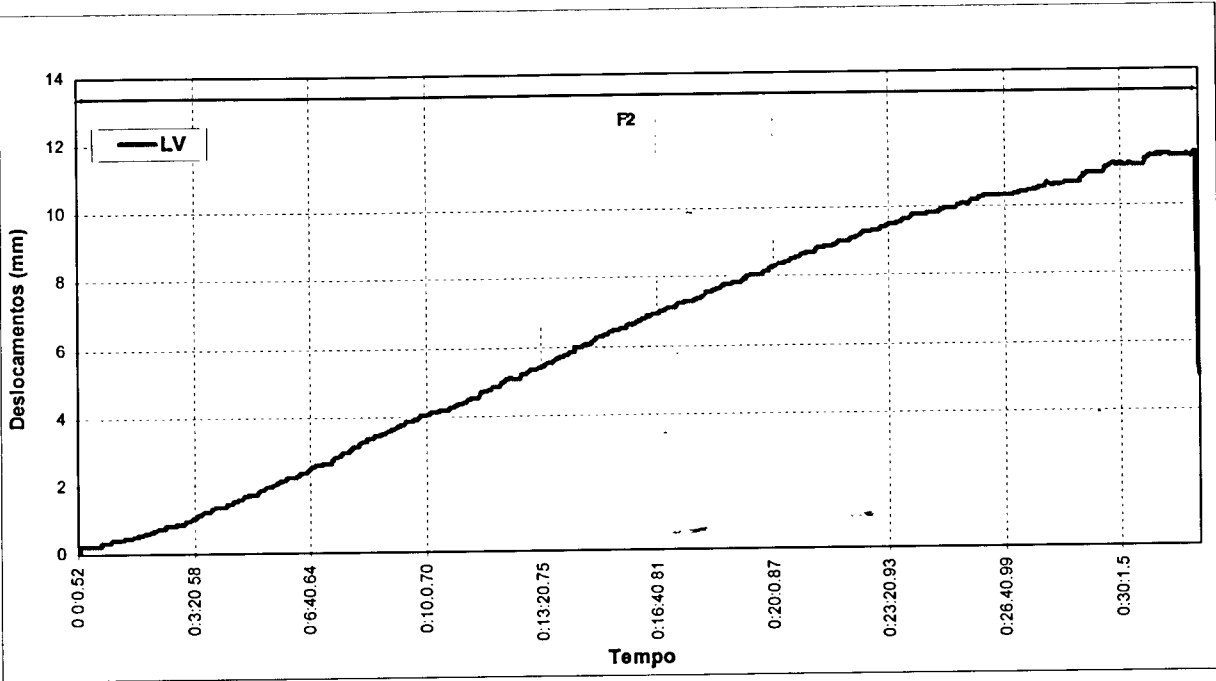


Figura 91 – Deslocamento vertical observado no LV durante o ensaio 12

Figura 92 – Deslocamento vertical máximo registado durante o ensaio 12

Instrumentação	Deslocamento Máximo Registado
LV2	-41.054 mm

Evolução dos deslocamentos registado pelo transdutor de deslocamentos (DTV)

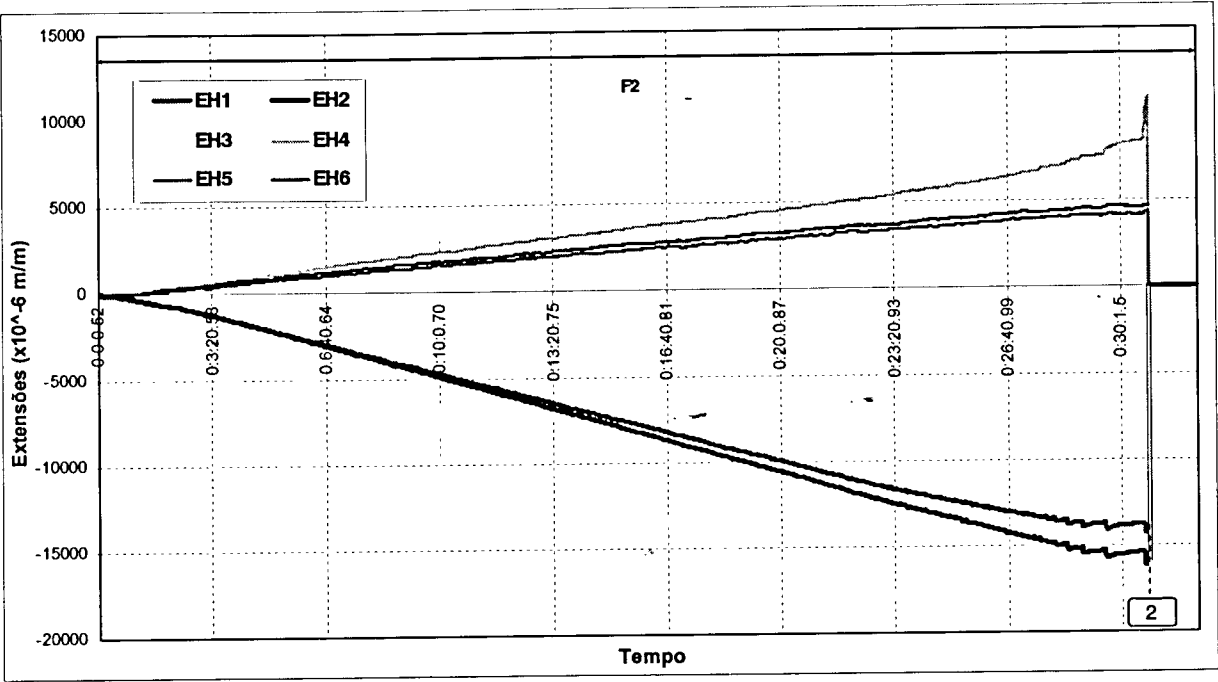


Figura 93 – Evolução do deslocamento vertical observado no DTV durante o ensaio 12

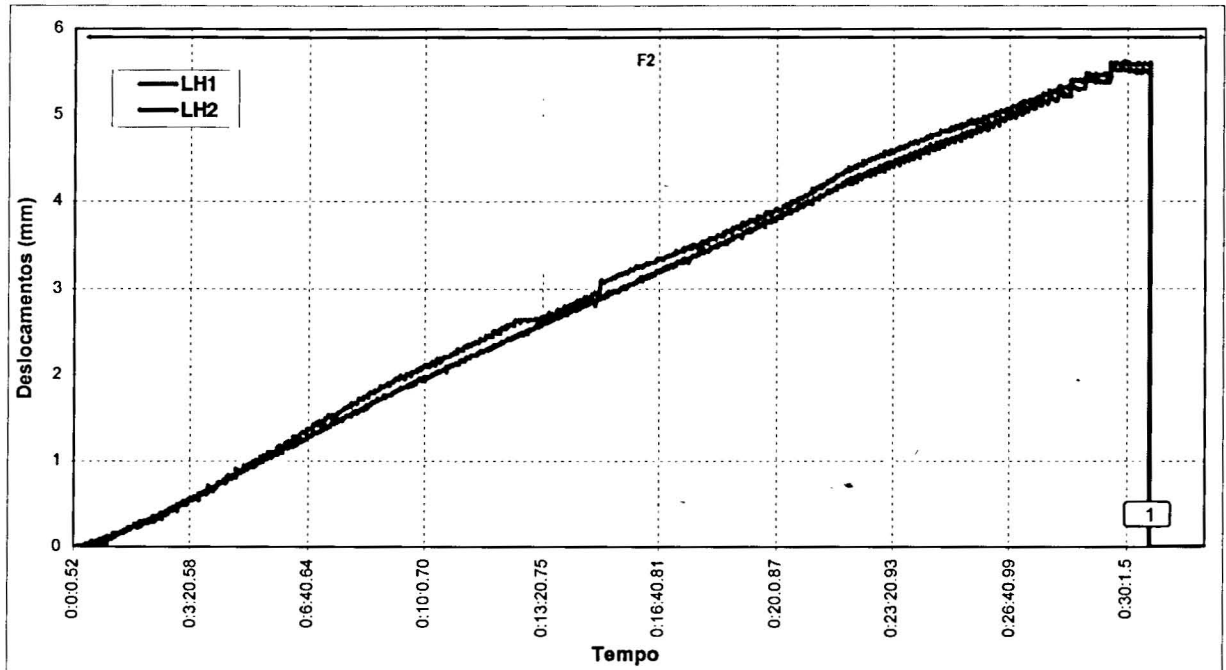


Figura 94 – Evolução do deslocamento horizontal relativo entre degraus observado durante o ensaio 12



FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

BIBLIOTECA



0000087383



Maia Educação



UNIÃO EUROPEIA
Fundo Social Europeu

Nome: Helena Isabel Maia Figueiras

Curso: Eng. Civil

Datas: 7/1/2002 a 12/31/2003

Tema: Análise do comportamento de degraus pré fabricados de bancadas de recintos desportivos

Empresa: Instituto da Construção

Concurso: 306/012-03 – PRODEPII – Medida 3/Ação 3.2
Estágios