



***Comportamento Estrutural de Vigas
de Concreto Armado Reforçadas com
Compósitos de Fibra de Carbono***

— Andriei José Beber —

**PORTO ALEGRE
2003**

Andriei José Beber

***Comportamento Estrutural de Vigas
de Concreto Armado Reforçadas com
Compósitos de Fibra de Carbono***

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia

Porto Alegre

Julho 2003

Andriei José Beber

***Comportamento Estrutural de Vigas
de Concreto Armado Reforçadas com
Compósitos de Fibra de Carbono***

Esta tese de doutorado foi julgada adequada para a obtenção do título de DOUTOR EM ENGENHARIA e aprovada em sua forma final pelo professor orientador e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre 28 de julho de 2003.

Prof. Américo Campos Filho

Dr. pela USP
Orientador/Coordenador do PPGEC-UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof. Ivo José Padaratz (UFSC)

PhD. pela University of Edinburgh

Prof. Mauro de Vasconcellos Real (FURG)

Dr. pela UFRGS

Prof. Francisco de Paula Simões Lopes Gastal (UFRGS)

PhD. pela North Carolina State University

Prof. João Luiz Campagnolo (UFRGS)

MSc. pela UFRGS

A vitória é metade conquistada quando se desenvolve o hábito de estabelecer metas e alcançá-las. Mesmo a mais entediante rotina torna-se suportável quando se marcha convencido que toda tarefa, não importando sua dimensão, lhe traz cada vez mais perto de conquistar seus sonhos.

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento de uma tese de doutorado experimental representa, acima de tudo, um exercício de esforço coletivo na busca de um objetivo. Com enorme satisfação, gostaria de prestar meus mais sinceros agradecimentos a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a concretização deste trabalho.

Primeiramente gostaria de agradecer ao Prof. Américo Campos Filho, entusiasta deste trabalho desde seu início, pelos seus ensinamentos, rigor científico, disponibilidade e, principalmente, amizade e incentivo permanente.

Aos professores, colaboradores e bolsistas de iniciação científica do LEME, pelo incentivo e apoio constantes durante a condução de todas as etapas desta tese. Estendo meu agradecimento, também, aos demais funcionários do PPGEC e do Departamento de Engenharia Civil. Em particular, agradeço ao Prof. João Luiz Campagnolo, grande incentivador deste trabalho.

Aos amigos Eurípedes Martins Fontes e Dirceo Santarosa, grandes companheiros durante esta jornada, sempre presentes em todos os momentos do desenvolvimento desta tese. Agradeço, ainda, à querida Liliani Gaeverzen que, com sua contribuição “maternal” foi muito importante, principalmente nos momentos de dificuldade.

Gostaria de agradecer a importante contribuição da Votorantim Cimentos S/A, Siderúrgica Rio-Grandense S/A e Belgo-Mineira, pela doação de materiais para a realização dos ensaios desta tese. Além disso, gostaria de prestar meus agradecimentos aos engenheiros José Eduardo Granato, Paulo Cruz e Fábio André Viecili, funcionários da Master Builders Technologies do Brasil, pela doação dos sistemas de reforço — CFK 200/2000 e C-Sheet 240 — empregados nesta tese.

Gostaria de agradecer, ainda, ao CNPq pelo suporte financeiro durante a elaboração deste trabalho.

A Deus, pela força e graça de poder realizar este trabalho.

SUMÁRIO

Lista de Quadros	x
Lista de Tabelas	xi
Lista de Figuras	xii
Notação e Simbologia	xvii
Resumo	xx
Abstract	xxi
Glossário	xxii
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 Considerações iniciais	1
1.2 Reabilitação de estruturas de concreto	5
1.3 Métodos convencionais de reforço estrutural	9
1.3.1 Aumento de seção transversal	10
1.3.2 Protensão externa	10
1.3.3 Chapa de aço colada com resina epóxi	11
1.4 Reforço de estruturas de concreto com materiais compósitos	13
1.5 Objetivos do trabalho	14
CAPÍTULO 2 – MATERIAIS COMPÓSITOS	18
2.1 Considerações iniciais	18
2.2 Histórico	20
2.3 Composição	21
2.3.1 Matriz	21
2.3.2 Fibras	23
2.3.2.1 Fibras de vidro	24
2.3.2.2 Fibras de aramida	25
2.3.2.3 Fibras de carbono	25
2.4 Compósitos de <i>FRP</i>	26
2.4.1 Propriedades dos compósitos de <i>FRP</i>	29
2.4.1.1 Resistência e rigidez	29
2.4.1.2 Fadiga	29

2.4.1.3	<i>Fluência</i>	30
2.4.1.4	<i>Coefficiente de expansão térmica</i>	30
2.4.2	Compósitos de <i>CFRP</i>	30
2.4.2.1	<i>Sistemas pré-fabricados</i>	31
2.4.2.2	<i>Sistemas curados in situ</i>	32
2.4.3	Vantagens e desvantagens do reforço estrutural com compósitos de <i>CFRP</i>	35
2.4.3.1	<i>Resistência</i>	36
2.4.3.2	<i>Peso próprio</i>	36
2.4.3.3	<i>Transporte</i>	36
2.4.3.4	<i>Versatilidade de projeto</i>	36
2.4.3.5	<i>Facilidade de aplicação</i>	37
2.4.3.6	<i>Menor necessidade de fixação</i>	37
2.4.3.7	<i>Durabilidade</i>	38
2.4.3.8	<i>Resistência à ação do fogo</i>	38
2.4.3.9	<i>Manutenção</i>	38
2.4.3.10	<i>Menor tempo de interdição</i>	39
2.4.3.11	<i>Protensão</i>	39
CAPÍTULO 3	– COMPORTAMENTO ESTRUTURAL	40
3.1	Histórico das principais investigações	40
3.2	Aplicações de compósitos de <i>CFRP</i>	47
3.3	Modos de ruptura	49
3.4	Comportamento de vigas reforçadas à flexão	53
3.4.1	Condição inicial	54
3.4.2	Análise no estado limite último (ELU)	56
3.4.3	Verificação de modos de ruptura prematuros	62
3.5	Comportamento de vigas reforçadas ao cisalhamento	67
3.5.1	Generalidades	68
3.5.2	Configurações de um reforço ao cisalhamento	70
3.5.3	Princípios gerais de dimensionamento	73
3.5.3.1	<i>Contribuição do concreto</i>	76
3.5.3.2	<i>Contribuição da armadura transversal</i>	79
3.5.3.3	<i>Contribuição do reforço externo</i>	81

CAPÍTULO 4 – PROGRAMA EXPERIMENTAL	93
4.1 Considerações iniciais	93
4.2 Características das vigas	94
4.2.1 Vigas reforçadas à flexão	96
4.2.2 Vigas reforçadas ao cisalhamento	97
4.3 Concreto	99
4.3.1 Dosagem	100
4.3.2 Mistura	101
4.3.3 Moldagem	101
4.3.4 Adensamento	101
4.3.5 Retirada das fôrmas e cura	102
4.3.6 Controle tecnológico	103
4.4 Aço	103
4.5 Compósitos de <i>CFRP</i>	104
4.5.1 Sistema pré-fabricado	104
4.5.2 Sistema curado <i>in situ</i>	104
4.5.3 Aplicação do reforço	105
4.5.3.1 <i>Preparação da superfície</i>	105
4.5.3.2 <i>Aplicação do compósito de CFRP</i>	107
4.6 Metodologia de ensaio	113
4.6.1 Instrumentação	116
4.6.1.1 <i>Cargas</i>	116
4.6.1.2 <i>Deslocamentos verticais</i>	116
4.6.1.3 <i>Deformações específicas do concreto</i>	117
4.6.1.4 <i>Deformações específicas da armadura e reforço</i>	121
4.6.2 Sistema de aquisição de dados	123
CAPÍTULO 5 – AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS	125
5.1 Vigas reforçadas à flexão	125
5.1.1 Avaliação da resistência: cargas e modos de ruptura	126
5.1.2 Avaliação da rigidez: deslocamentos e deformações específicas	132
5.1.2.1 <i>Deslocamentos verticais</i>	132
5.1.2.2 <i>Deformações específicas na armadura</i>	136
5.1.2.3 <i>Deformações específicas no concreto</i>	140

5.1.3	Avaliação do comportamento do reforço: deformações específicas e tensões ..	146
5.1.4	Modelos analíticos para a previsão do desempenho das vigas reforçadas	151
5.2	Vigas reforçadas ao cisalhamento	156
5.2.1	Avaliação da resistência: cargas e modos de ruptura	156
5.2.2	Deslocamentos verticais	174
5.2.3	Deformações específicas	175
5.2.4	Modelos analíticos para a previsão do desempenho das vigas reforçadas	178
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES		187
6.1	Conclusões	187
6.2	Sugestões para trabalhos futuros	192
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		194
APÊNDICE		206

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1-1 — Possíveis causas para o surgimento de manifestações patológicas no concreto	6
QUADRO 2-1 — Tipos de fibra de vidro e suas principais aplicações	25
QUADRO 2-2 — Descrição das mantas e tecidos empregados nos sistemas <i>FRP</i> curados <i>in situ</i>	34
QUADRO 2-3 — Principais características e aspectos de instalação de sist. de reforços com <i>CFRP</i>	35
QUADRO 3-1 — Modos de ruptura possíveis [Juvandes, 1999; Hollaway & Leeming, 1999]	51
QUADRO 4-1 — Esquema de reforço das vigas do grupo F	97
QUADRO 4-2 — Esquema de reforço das vigas do grupo C	99
QUADRO 4-3 — Consumo de materiais para 1 m ³ de concreto	101
QUADRO 4-4 — Propriedades do laminado pré-fabricado CFK 200/2000 – <i>S&P Reinforcements</i>	104
QUADRO 4-5 — Propriedades da manta flexível Replark 20 – <i>Mitsubishi Chemical Corporation</i>	105
QUADRO 4-6 — Propriedades da manta flexível C-Sheet 240 – <i>S&P Reinforcements</i>	105
QUADRO 4-7 — Valores aceitáveis de irregularidade da superfície de concreto	106
QUADRO 4-8 — Coordenadas de posicionamento dos <i>strain gages</i> da armadura e reforço (grupo F) ...	122

LISTA DE TABELAS

TABELA 2-1 — Propriedades mecânicas de algumas resinas [Nanni et al, 1993]	23
TABELA 2-2 — Propriedades típicas de algumas fibras [Kendall, 1997]	27
TABELA 4-1 — Composição granulométrica do agregado graúdo	100
TABELA 4-2 — Composição granulométrica do agregado miúdo	100
TABELA 4-3 — Características das armaduras	103
TABELA 5-1 — Comparação entre cargas e modos de ruptura (grupo F)	126
TABELA 5-2 — Comparação entre cargas e deformações específicas no escoamento (grupo F)	137
TABELA 5-3 — Resultados das tensões máximas no reforço (grupo F)	147
TABELA 5-4 — Resultados de tensões máximas no reforço (grupo F)	152
TABELA 5-5 — Comparação entre cargas de ruptura experimentais e teóricas (grupo F)	153
TABELA 5-6 — Comparação entre cargas de ruptura de acordo com a abordagem de <i>Teng et al (2001)</i>	154
TABELA 5-7 — Comparação entre cargas de ruptura de acordo com a abordagem do ACI (2002)	154
TABELA 5-8 — Comparação entre cargas de ruptura experimentais (grupo C)	158
TABELA 5-9 — Resultados de inclinação da biela no momento da ruptura das vigas do grupo C	177
TABELA 5-10 — Comparação entre os modelos para determinação da contribuição do concreto	179
TABELA 5-11 — Comparação entre cargas de ruptura experimentais e teóricas (Khalifa et al, 1998) ..	179
TABELA 5-12 — Comparação entre cargas de ruptura experimentais e teóricas (<i>fib</i> , 2001)	181
TABELA 5-13 — Comparação entre cargas de ruptura experimentais e teóricas (ACI, 2002)	182
TABELA 5-14 — Comparação entre cargas de ruptura experimentais e teóricas (Teng et al, 2001)	183
TABELA 5-15 — Comparação entre cargas de ruptura experimentais e teóricas	185

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1-1 — Tipos de estratégia de renovação	7
FIGURA 1-2 — Esquema organizacional da tese	17
FIGURA 2-1 — Diagrama tensão-deformação de fibras e metais	27
FIGURA 2-2 — Diagrama esquemático do processo de pultrusão	32
FIGURA 2-3 — Diagrama esquemático do processo de fabricação do sistema curado <i>in situ</i>	33
FIGURA 3-1 — Modos de ruptura possíveis [Juvandes, 1999; Hollaway & Leeming, 1999]	51
FIGURA 3-2 — Modos de ruptura observados por Buyukosturk & Hearing (1997)	52
FIGURA 3-3 — Efeito de <i>peeling off</i> na interface concreto/compósito [Buyukosturk & Hearing, 1997] ..	52
FIGURA 3-4 — Diagrama esquemático de equilíbrio da seção transversal reforçada	57
FIGURA 3-5 — Fluxograma para a determinação da capacidade resistente à flexão	59
FIGURA 3-6 — Possíveis localizações de uma falha na interface	63
FIGURA 3-7 — Falhas no concreto	63
FIGURA 3-8 — Modelo tensão de aderência–deslizamento proposto por Chen & Teng (2001)	64
FIGURA 3-9 — Dependência entre módulo de elasticidade e orientação das fibras	70
FIGURA 3-10 — Possíveis configurações de um reforço ao cisalhamento	71
FIGURA 3-11 — Exemplo de aplicação do envolvimento da seção transversal com tiras de reforço	72
FIGURA 3-12 — Exemplos de distribuição do reforço com compósitos de <i>CFRP</i>	72
FIGURA 3-13 — Exemplos de orientação das fibras de reforço dos compósitos de <i>CFRP</i>	73
FIGURA 3-14 — Mecanismos de resistência ao cisalhamento de vigas de concreto armado	74
FIGURA 3-15 — Notação para esquema de reforço ao cisalhamento	82
FIGURA 4-1 — Etapas básicas da engenharia estrutural	94
FIGURA 4-2 — Detalhamento da armadura das vigas do grupo F	96
FIGURA 4-3 — Detalhamento da armadura das vigas do Grupo C	98
FIGURA 4-4 — Detalhe das armaduras	98
FIGURA 4-5 — Detalhes da concretagem	102
FIGURA 4-6 — Preparação da superfície de concreto para receber o reforço	106
FIGURA 4-7 — Esquema de preparação da superfície para o sistema curado <i>in situ</i>	107

FIGURA 4-8 — Corte do laminado pré-fabricado	108
FIGURA 4-9 — Preparação da resina epóxi	108
FIGURA 4-10 — Aplicação do laminado	109
FIGURA 4-11 — Corte da manta flexível	110
FIGURA 4-12 — Esquema de aplicação da manta flexível	111
FIGURA 4-13 — Mistura e aplicação da resina de saturação	111
FIGURA 4-14 — Posicionamento da manta flexível	112
FIGURA 4-15 — Retirada do ar aprisionado e acabamento do reforço	113
FIGURA 4-16 — Esquema de ensaio	114
FIGURA 4-17 — Vista frontal do sistema de ensaios	115
FIGURA 4-18 — Vista lateral do sistema de ensaios	115
FIGURA 4-19 — Detalhes do posicionamento dos <i>LVDT'S</i>	117
FIGURA 4-20 — Detalhe do posicionamento dos transdutores de deslocamento superf. (grupo F)	117
FIGURA 4-21 — Características geométricas dos transdutores de deslocamento superficial	118
FIGURA 4-22 — Detalhe do posicionamento dos transdutores de deslocamento superf. (grupo F)	119
FIGURA 4-23 — Detalhe da instrumentação através de rosetas (grupo C)	120
FIGURA 4-24 — Esquema de posicionamento das rosetas (grupo C)	121
FIGURA 4-25 — Detalhe do posicionamento das rosetas (grupo C)	121
FIGURA 4-26 — Esquema de posicionamento dos <i>strain gages</i> da armadura e reforço (grupo F)	122
FIGURA 4-27 — Detalhe da instrumentação da armadura e reforço (grupo F)	123
FIGURA 4-28 — Detalhe da disposição dos equipamentos durante um ensaio	124
FIGURA 5-1 — Detalhes do modo de ruptura das vigas V1_A e V1_B	127
FIGURA 5-2 — Aspecto geral do descolamento nas vigas reforçadas com laminado pré-fabricado	128
FIGURA 5-3 — Detalhe do descolamento na interface adesivo/compósito	128
FIGURA 5-4 — Deslocamento vertical e fissuração da viga V4_B	129
FIGURA 5-5 — Detalhe do modo de ruptura das vigas reforçadas com uma camada de manta	129
FIGURA 5-6 — Detalhe do modo de ruptura das vigas V5	130
FIGURA 5-7 — Detalhe do modo de ruptura das vigas V7	131
FIGURA 5-8 — Diagramas <i>carga vs. deslocamento</i> das vigas V1, V2 e V3	133

FIGURA 5-9 — Diagramas <i>carga vs. deslocamento</i> das vigas V1, V4 e V5	133
FIGURA 5-10 — Diagramas <i>carga vs. deslocamento</i> das vigas V1, V6 e V7	134
FIGURA 5-11 — Diagramas <i>carga vs. deslocamento</i> das vigas V1, V4 e V6	134
FIGURA 5-12 — Diagramas <i>carga vs. deslocamento</i> das vigas V1, V5 e V7	135
FIGURA 5-13 — Diagramas <i>carga vs. deslocamento</i> das vigas V1, V2 e V6	135
FIGURA 5-14 — Diagramas <i>carga vs. deformação específica</i> na armadura das vigas V1, V2 e V3	137
FIGURA 5-15 — Diagramas <i>carga vs. deformação específica</i> na armadura das vigas V1, V4 e V5	137
FIGURA 5-16 — Diagramas <i>carga vs. deformação específica</i> na armadura das vigas V1, V6 e V7	138
FIGURA 5-17 — Diagramas <i>carga vs. deformação específica</i> na armadura das vigas V1, V4 e V6	138
FIGURA 5-18 — Diagramas <i>carga vs. deformação específica</i> na armadura das vigas V1, V5 e V7	139
FIGURA 5-19 — Diagramas <i>carga vs. deformação específica</i> na armadura das vigas V1, V2 e V6	139
FIGURA 5-20 — Diagramas <i>carga vs. deformação específica</i> no concreto (TRD-1) das vigas V1, V2 e V3 ..	140
FIGURA 5-21 — Diagramas <i>carga vs. deformação específica</i> no concreto (TRD-1) das vigas V1, V4 e V5 ..	140
FIGURA 5-22 — Diagramas <i>carga vs. deformação específica</i> no concreto (TRD-1) das vigas V1, V6 e V7 ...	141
FIGURA 5-23 — Diagramas <i>carga vs. deformação específica</i> no concreto (TRD-1) das vigas V1, V4 e V6 ...	141
FIGURA 5-24 — Diagramas <i>carga vs. deformação específica</i> no concreto (TRD-1) das vigas V1, V5 e V7 ...	141
FIGURA 5-25 — Diagramas <i>carga vs. deformação específica</i> no concreto (TRD-1) das vigas V1, V2 e V6 ...	142
FIGURA 5-26 — Distribuição das deformações na seção transversal das vigas V2_B e V3_A	142
FIGURA 5-27 — Distribuição das deformações na seção transversal das vigas V4_B e V5_B	143
FIGURA 5-28 — Distribuição das deformações na seção transversal das vigas V6_B e V7_A	143
FIGURA 5-29 — Diagrama <i>momento vs. curvatura</i> e deformada das vigas V1, V2 e V3	144
FIGURA 5-30 — Diagrama <i>momento vs. curvatura</i> e deformada das vigas V1, V4 e V5	144
FIGURA 5-31 — Diagrama <i>momento vs. curvatura</i> e deformada das vigas V1, V6 e V7	144
FIGURA 5-32 — Diagrama <i>momento vs. curvatura</i> e deformada das vigas V1, V4 e V6	145
FIGURA 5-33 — Diagrama <i>momento vs. curvatura</i> e deformada das vigas V1, V5 e V7	145
FIGURA 5-34 — Diagrama <i>momento vs. curvatura</i> e deformada das vigas V1, V2 e V6	145
FIGURA 5-35 — Perfil de tensões da viga V2_B	148
FIGURA 5-36 — Perfil de tensões da viga V3_B	148
FIGURA 5-37 — Perfil de tensões da viga V4_B	149

FIGURA 5-38 — Perfil de tensões da viga V5_B	149
FIGURA 5-39 — Perfil de tensões da viga V6_B	149
FIGURA 5-40 — Perfil de tensões da viga V7_B	150
FIGURA 5-41 — Perfil de tensões normalizado das vigas V2_B e V3_B	150
FIGURA 5-42 — Perfil de tensões normalizado das vigas V4_B e V5_B	151
FIGURA 5-43 — Perfil de tensões normalizado das vigas V6_B e V7_B	151
FIGURA 5-44 — Relação <i>tensão vs. rigidez</i> do reforço	152
FIGURA 5-45 — Detalhe do modo de ruptura das vigas V8_A e V8_B	159
FIGURA 5-46 — Desempenho das vigas reforçadas em tiras orientadas à 90°	160
FIGURA 5-47 — Detalhes do modo de ruptura das vigas V9_A, V9_B e V21_A	160
FIGURA 5-48 — Detalhes do modo de ruptura das vigas V9_A, V9_B e V21_A	161
FIGURA 5-49 — Detalhes do modo de ruptura das vigas V10_A, V10_B e V17_A	162
FIGURA 5-50 — Detalhe do modo de ruptura das vigas V11_A, V11_B e V17_B	162
FIGURA 5-51 — Detalhe do modo de ruptura das vigas V11_A, V11_B e V17_B	163
FIGURA 5-52 — Detalhe do modo de ruptura das vigas V11_A, V11_B e V17_B	163
FIGURA 5-53 — Detalhe do modo de ruptura das vigas V12_A, V18_A e V20_A	164
FIGURA 5-54 — Detalhe do modo de ruptura das vigas V12_A, V18_A e V20_A	164
FIGURA 5-55 — Desempenho das vigas reforçadas em tiras orientadas à 45°	165
FIGURA 5-56 — Detalhe do modo de ruptura das vigas V12_B e V14_B	166
FIGURA 5-57 — Detalhe do modo de ruptura das vigas V19_A e V19_B	166
FIGURA 5-58 — Desempenho das vigas com reforço contínuo orientado à 90°	167
FIGURA 5-59 — Detalhe do modo de ruptura das vigas V16_A e V18_B	168
FIGURA 5-60 — Detalhe do modo de ruptura das vigas V13_A, V13_B, V15_B e V16_B	168
FIGURA 5-61 — Detalhe do modo de ruptura das vigas V14_A e V15_A	169
FIGURA 5-62 — Detalhe do modo de ruptura das vigas V20_B, e V22_B	170
FIGURA 5-63 — Detalhe do modo de ruptura das vigas V21_B e V22_A	170
FIGURA 5-64 — Desempenho das vigas com reforço em tiras coladas somente na lateral	171
FIGURA 5-65 — Desempenho das vigas com reforço em tiras do tipo “L”	171
FIGURA 5-66 — Detalhe da ruptura das vigas reforçadas com laminados pré-fabricados	173

FIGURA 5-67 — Detalhe da ruptura das vigas reforçadas com laminados pré-fabricados	173
FIGURA 5-68 — Diagramas <i>carga vs. deslocamento</i> das vigas do grupo C	174
FIGURA 5-69 — Diagramas <i>carga vs. deslocamento</i> das vigas do grupo C	175
FIGURA 5-70 — Diagrama <i>carga vs. deformação específica vertical</i> no vão de cisalhamento	176
FIGURA 5-71 — Diagrama <i>carga vs. deformação específica vertical</i> no vão de cisalhamento	176

NOTAÇÃO E SIMBOLOGIA

LETRAS MINÚSCULAS

a	= distância entre o ponto de aplicação da carga e o apoio; vão de cisalhamento	[cm]
b_w	= largura da base da viga	[cm]
b_f	= largura do reforço à flexão	[cm]
d	= distância entre a fibra mais comprimida e o centróide da armadura longitudinal tracionada	[cm]
d'	= distância entre a fibra mais comprimida e o centróide da armadura longitudinal comprimida	[cm]
d_f	= distância entre a fibra mais comprimida e o centróide do reforço	[cm]
f_c	= resistência à compressão do concreto	[kN/cm ²]
f_y	= resistência de escoamento da armadura longitudinal	[kN/cm ²]
f_{yw}	= resistência de escoamento da armadura transversal	[kN/cm ²]
h	= altura da viga	[cm]
h_f	= altura do reforço colado na lateral	[cm]
$h_{f,e}$	= altura efetiva do reforço colado na lateral	[cm]
$h_{f,t}$	= distância entre a face comprimida e a extremidade superior do reforço	[cm]
k_1/k_2	= coeficientes de modificação	[-]
ℓ	= vão	[cm]
n	= número de camadas de reforço	[-]
s	= espaçamento entre estribos medido segundo o eixo longitudinal da peça	[cm]
s_f	= espaçamento entre tiras de reforço ao cisalhamento	[cm]
t_f	= espessura do compósito	[cm]
w_f	= largura do reforço ao cisalhamento	[cm]
x	= posição da linha neutra	[cm]

LETRAS MAIÚSCULAS

A_c	= área da seção transversal de concreto	[cm ²]
A_s	= área da seção transversal da armadura longitudinal tracionada	[cm ²]
A'_s	= área da seção transversal da armadura longitudinal comprimida	[cm ²]

A_d	= coeficiente de ajuste da forma	[-]
A_f	= área da seção transversal de reforço à flexão	[cm ²]
A_{fv}	= área da seção transversal de reforço ao cisalhamento	[cm ²]
A_{sw}	= área da seção transversal de um estribo	[cm ²]
D_f	= fator de distribuição de tensão do reforço ao longo de uma fissura de cisalhamento	[-]
E_c	= módulo de elasticidade do concreto	[kN/cm ²]
E_f	= módulo de elasticidade do compósito de <i>CFRP</i>	[kN/cm ²]
E_s	= módulo de elasticidade do aço	[kN/cm ²]
I	= momento de inércia da seção homogeneizada de concreto	[cm ⁴]
I_I	= momento de inércia da seção homogeneizada de concreto no estágio I	[cm ⁴]
I_{II}	= momento de inércia da seção homogeneizada de concreto no estágio II	[cm ⁴]
L_e	= comprimento de ancoragem efetivo	[cm]
$L_{máx}$	= comprimento de ancoragem máximo	[cm]
M_i	= momento fletor atuante na ocasião da aplicação do reforço	[kN.cm]
M_n	= momento fletor atuante	[kN.cm]
M_r	= momento de fissuração	[kN.cm]
M_u	= momento último	[kN.cm]
P_f	= força máxima de ancoragem de um reforço à flexão	[kN]
V_c	= parcela da força cortante resistida pelo concreto	[kN]
V_f	= parcela da força cortante resistida pelo reforço externo	[kN]
V_r	= força cortante resistida por uma viga reforçada	[kN]
V_{sw}	= parcela da força cortante resistida pela armadura transversal	[kN]

LETRAS GREGAS

α	= ângulo de inclinação dos estribos em relação ao eixo longitudinal da peça	[°]
α_e	= relação entre os módulos de elasticidade do aço e do concreto	[-]
β	= ângulo de inclinação entre a orientação das fibras e o eixo longitudinal da peça	[°]
β_L	= coeficiente de comprimento de ancoragem	[-]
β_P	= coeficiente de largura do reforço à flexão	[-]
β_W	= coeficiente de largura do reforço ao cisalhamento	[-]
ϵ_0	= deformação específica do concreto na direção 0° (rosetas)	[-]
ϵ_{45}	= deformação específica do concreto na direção 45° (rosetas)	[-]

ϵ_{90}	= deformação específica do concreto na direção 90° (rosetas)	[-]
ϵ_1	= deformação específica principal (rosetas)	[-]
ϵ_2	= deformação específica principal (rosetas)	[-]
ϵ_c	= deformação específica do concreto comprimido	[-]
$\epsilon_{f,e}$	= deformação específica efetiva do reforço	[-]
$\epsilon_{f,u}$	= deformação específica de ruptura do reforço	[-]
ϵ_i	= deformação específica no instante da aplicação do reforço	[-]
ϵ_n	= deformação específica no substrato de concreto para um momento fletor qualquer	[-]
ϵ_s	= deformação específica da armadura longitudinal tracionada	[-]
ϵ_s'	= deformação específica da armadura longitudinal comprimida	[-]
λ	= comprimento máximo de ancoragem normalizado	[-]
ρ	= taxa de armadura longitudinal	[-]
ρ_f	= taxa de reforço	[-]
ζ	= parâmetro geométrico	[-]
κ_m	= coeficiente de minoração da tensão em um reforço à flexão	[-]
κ_v	= coeficiente de minoração da tensão em um reforço ao cisalhamento	[-]
σ_s'	= tensão na armadura longitudinal comprimida	[kN/cm ²]
σ_s	= tensão na armadura longitudinal tracionada	[kN/cm ²]
σ_f	= tensão no reforço	[kN/cm ²]
$\sigma_{f,e}$	= tensão efetiva no reforço	[kN/cm ²]
$\sigma_{f,m\acute{a}x}$	= tensão máxima admissível no reforço	[kN/cm ²]
τ_{bu}	= tensão última de aderência	[kN/cm ²]
τ_F	= tensão de aderência no reforço	[kN/cm ²]
θ	= ângulo de inclinação da diagonal comprimida (biela) em relação ao eixo longitudinal da peça	[°]
θ_1	= ângulo de inclinação da deformação principal ϵ_1	[°]
θ_2	= ângulo de inclinação da deformação principal ϵ_2	[°]

RESUMO

BEBER, A. J. Comportamento Estrutural de Vigas de Concreto Armado Reforçadas com Compósitos de Fibra de Carbono. 2003. Tese (Doutorado em Estruturas) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

Atualmente, a necessidade de reabilitação estrutural tem se tornado cada vez mais freqüente. Desde o advento do concreto, diversas metodologias de reabilitação estrutural vêm sendo desenvolvidas e aplicadas; e têm tornado-se cada vez mais sofisticadas. A aplicação de compósitos de fibra de carbono no reforço de estruturas de concreto armado, representa o que há de mais moderno neste importante segmento da engenharia estrutural. Apesar das inúmeras vantagens de sua aplicação, a incorporação de um material, até então estranho ao meio da engenharia estrutural convencional, tem merecido especial atenção por parte dos pesquisadores envolvidos neste segmento. Este estudo tem por objetivo, portanto, explorar as principais implicações estruturais da aplicação dos compósitos de fibra de carbono no reforço externo de vigas de concreto armado. Para tanto, tornou-se necessária a implementação de um amplo programa de investigação, fundamentalmente experimental, baseada na realização de ensaios de flexão em vigas de concreto armado, reforçadas à flexão e ao cisalhamento, com dois tipos de sistemas de reforço. De modo a permitir uma análise ampla das evidências experimentais alcançadas através da condução do programa experimental, realizou-se uma profunda revisão da literatura disponível acerca do assunto. O programa experimental foi dividido em dois grupos. O primeiro, composto por 14 vigas, reforçadas à flexão e o segundo, composto por 30 vigas, reforçadas ao cisalhamento. Em ambos os grupos, empregaram-se dois tipos de sistema de reforço (laminados pré-fabricados e mantas flexíveis pré-impregnadas). O procedimento de ensaio, idealizado e implementado especialmente para a condução do programa experimental da presente tese, foi totalmente controlado por computador, conferindo, assim, maior confiabilidade aos ensaios. Em cada um dos grupos, analisaram-se, além dos modos e cargas de ruptura, deformações específicas, deslocamentos e distribuição de tensões. Finalmente, estes resultados são discutidos e avaliam-se modelos analíticos que permitam simular o comportamento destas estruturas.

Palavras-chave: Estruturas de concreto armado, Análise experimental, Reabilitação estrutural, Flexão, Cisalhamento, Compósitos de *CFRP*.

ABSTRACT

BEBER, A. J. On the Structural Behaviour of Reinforced Concrete Beams Strengthened with Carbon Composites. 2003. Tese (Doutorado em Estruturas) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

Currently, the need for structural rehabilitation has become even more frequent. Since concrete's genesis, several rehabilitation techniques have been developed and applied and they have become very sophisticated. Structural strengthening with carbon fibre composites represents the ultimate solution for structural engineering applications. Despite numerous advantages, the use of such peculiar material has drawn the attention of several researchers involved in this field. This study aims to explore the main structural implications regarding the use of carbon fibre composites in the external strengthening of reinforced concrete beams. In order to accomplish this task it was imperative to carry out an extensive research, essentially experimental, based on testing the flexural strength of reinforced concrete beams externally strengthened in shear and bending with two types of carbon fibre composite systems. In order to establish a comprehensive analysis of these experimental evidences a very thorough literature review on the subject was carried out. The experimental programme comprised two sets of beams. The first set, consisting of 14 beams strengthened in flexure and the second set, consisting of 30 beams, strengthened in shear. For both sets, two types of carbon fibre composite systems were applied (pre-fabricated laminates and pre-impregnated sheets). The experimental procedure was especially conceived and implemented for this thesis and it was completely computer controlled, providing very good results reliability. Failure loads and modes were analysed together with strains, displacements and stress profiles. Finally, these results are discussed and some analytical models to simulate the behaviour of such structures are analysed.

Keywords: Reinforced concrete structures, Experimental analysis, Structural rehabilitation, Bending, Shear, Carbon fibre composites.

GLOSSÁRIO

Ao longo deste trabalho, uma diversidade de termos é introduzida e apresentada. O objetivo deste glossário é, portanto, apresentar com clareza o significado destes termos. Além disso, deseja-se promover uma familiaridade nacional com a terminologia empregada no âmbito do reforço estrutural de elementos de concreto com materiais compósitos. Estes termos e suas respectivas definições foram compilados a partir de publicações internacionais como: ACI 440R-1996, ACI 440R2-2002, ASTM D3878-1995, Hollaway (1993) e Juvandes (1999).

Adesivo — ou cola é a substância responsável pela colagem de dois materiais ao longo de uma superfície de ligação e pode apresentar-se sob a forma de um líquido, filme ou pasta.

Aramida — fibras orgânicas derivadas da poliamida aromática e de sigla (A).

AFRP — sigla da família dos polímeros (ou compósitos) reforçados com fibras de aramida.

Camada — lâmina individualizada (mantas, tecidos ou outros sistemas) de material impregnado com resina de saturação.

Carbono — fibra produzida por tratamento térmico das fibras de precursor orgânico (*rayon*, PAN ou piche) em uma atmosfera inerte. É representado pela sigla (C).

Catalisador — agente orgânico utilizado para ativar a polimerização ou a cura de sistema de resina.

CFRP — sigla da família dos polímeros (ou compósitos) reforçados com fibras de carbono.

Cloth — termo internacional para representar o sistema de fios contínuos tecidos por um processo têxtil convencional (uni, bi ou multidirecional) e cujo estado final pode apresentar-se seco ou pré-impregnado. Constitui um tipo de tecido.

Compósito ou **material compósito** — combinação de dois ou mais materiais, diferentes, em nível macroscópico, na forma ou na composição. Os constituintes mantêm as suas identidades, ou seja, não se dissolvem nem se transformam completamente em outros, apesar de atuarem em conjunto.

Compósitos de FRP — resultam, sobretudo, da combinação de uma matriz polimérica, termorrígida ou termoplástica, com uma elevada percentagem de fibras de reforço, contínuas ou não, orgânicas ou inorgânicas, de modo a incrementar resistência ou rigidez em uma ou mais direções (uni, bi e multidirecional).

Cura — ou polimerização, é o processo químico de alteração irreversível das propriedades de uma resina termorrígida. Geralmente, a cura é proporcionada pela adição de um agente de cura ou catalisador (endurecedor), com ou sem aquecimento (ou pressão).

Delaminação — qualquer um dos diversos mecanismos de falha decorrentes do progressivo destacamento do compósito de **FRP** do elemento de concreto, segundo um plano paralelo à orientação das fibras.

Descolamento — falha local na interface concreto/reforço. Não necessariamente significa uma ruptura ao longo do adesivo, podendo também ser resultado da ruptura do concreto na região próxima ao reforço. Ver também *peeling off*.

Endurecedor — agente que proporciona a polimerização (ou cura) quando adicionado a uma resina termorrígida (ou adesivo). É comum aplicar-se às resinas epóxi.

Fibra — componente estrutural dos compósitos de **FRP**, apresenta uma microestrutura altamente orientada e livre de defeitos.

Filamento — a menor unidade de um material fibroso.

Fios — representam sistema simples de feixe de fibras, dispostas paralelamente (unidirecional).

FRP — sigla da família geral dos polímeros (ou compósitos) reforçados com fibras.

GFRP — sigla da família dos polímeros (ou compósitos) reforçados com fibras de vidro

Impregnação — processo de saturação dos interstícios de um sistema de reforço com fibras (laminados, mantas, tecidos) ou substrato de concreto, através de uma resina.

Interface — define a fronteira, a junta ou a superfície entre dois materiais distintos. Existem, por exemplo, os casos das interfaces concreto-adesivo, adesivo-compósito ou concreto-adesivo-compósito.

Kevlar® — marca registrada de uma fibra tipo de aramida e cuja sigla é (K).

Laminado pré-fabricado — resulta da impregnação de um conjunto de feixes ou camadas contínuas de fibras (sistema unidirecional) por uma resina termorrígida, consolidado por um processo de pultrusão, com controle de forma (espessura e largura) do compósito.

Manta flexível e pré-impregnada — sistema de agrupamento de fibras, através da disposição de faixas contínuas e paralelas (unidirecionais) sobre uma rede simples de proteção e/ou com espalhamento de uma resina de pré-impregnação.

Mat — termo internacional para representar o tipo de tecido que resulta do espalhamento aleatório das fibras em uma esteira rolante e, posteriormente, da pulverização com resina para adquirir consistência. O seu estado final é do tipo pré-impregnado.

Matriz polimérica — representa a outra componente do compósito de **FRP**. É constituída à base de uma resina, termorrígida ou termoplástica, que envolve completamente as fibras de reforço.

Orientação das fibras — refere-se ao direcionamento das fibras em um compósito de **FRP**. É frequentemente expressa em um ângulo em relação ao eixo longitudinal do elemento de concreto reforçado.

PAN (poliacrilonitrila) — uma das possíveis matérias-primas na fabricação de fibras de carbono.

Peeling off — designação da literatura internacional, para o efeito conjunto da ação das tensões normais de tração e das tensões de cisalhamento na interface

concreto-adesivo-*FRP* e que provocam as rupturas prematuras por delaminação/descolamento nesta zona.

Piche — material com elevado peso molecular que é resíduo da destilação destrutiva de derivados de carvão e petróleo. Piche é utilizado para a fabricação de fibras de carbono com alto módulo de elasticidade.

Polímero — define um material orgânico composto por moléculas caracterizadas pela repetição de um ou mais tipos de monômeros, de forma regular. Nesta fase, este sistema não contém fibras de reforço.

Polimerização — reação química que liga os monômeros para formar polímeros, pode ser interpretada como a cura de um polímero.

Pré-impregnado — quando um sistema de fibras (fios, mantas ou tecidos) é semi-curado; resultado da impregnação com resina, em pequena percentagem, para garantir a consistência mínima do produto até à sua aplicação *in situ*.

Primer — apesar de não se tratar de uma formulação do tipo adesivo, este produto destina-se a completar e melhorar o desempenho daquele. O *primer* é aplicado após a limpeza mecânica da superfície e apresenta a característica de penetrar no concreto por capilaridade, de modo a melhorar a propriedade adesiva desta superfície, para, então, receber a resina de saturação ou o adesivo. Este produto é indispensável, principalmente, para as aplicações de sistemas de *FRP* curados *in situ* (fios, mantas e tecidos).

Pultrusão — processo contínuo que combina as ações de tração e extrusão para a produção de um compósito de *FRP* com seção final constante. Os fios contínuos embebidos em resina são esticados e passados por um molde aquecido, para processar a cura e a forma do *FRP*. Apresenta-se como o processo mais utilizado na fabricação de sistemas de *FRP* pré-fabricados.

Putty — ou produto de regularização de uma superfície. Seu objetivo é a eliminação de pequenas irregularidades na superfície do concreto, com o intuito de evitar a formação de bolhas de ar e garantir uma superfície uniforme para a aplicação do *FRP*.

Reabilitação — restauração da capacidade estrutural de um elemento danificado para a situação anterior a manifestação do processo de degradação ou sinistro.

Reforço — no contexto de materiais compósitos, este termo é utilizado para se referir ao componente estrutural (as fibras) adicionado à matriz, de modo a transmitir as características desejadas de resistência e rigidez. Ainda, pode ser entendida como um conjunto de ações para aumentar a resistência de uma estrutura ou de seus componentes, com o objetivo de melhorar a estabilidade estrutural de uma construção.

Reparo — ação tomada para conduzir a um nível aceitável, a funcionalidade de uma estrutura ou seus componentes, que podem apresentar-se deficientes, deteriorados, degradados ou danificados sem que haja qualquer restrição nos materiais ou métodos empregados.

Resina — componente de um sistema polimérico, que requer a adição de um catalisador ou endurecedor, para se iniciar o processo de polimerização (ou cura) de um compósito. Pode ser referida, também, como a matriz de um compósito de **FRP**. Permite a transferência das solicitações além de proteger as fibras do ambiente.

Resina epóxi — resina formada por reações químicas de grupos epóxi com aminas, álcool, fenol e outros. É a matriz mais utilizada nos compósitos de **FRP** e o tipo de adesivo empregado nas colagens de elementos da construção civil.

Sistema de FRP curado in situ — é um sistema constituído por fibras contínuas, com a forma de fios, mantas ou tecidos em estado seco ou pré-impregnado. Transforma-se em compósito de **FRP**, somente após a execução do reforço no local, isto é, polimerizado ou endurecido *in situ* com a adição de uma resina de saturação das fibras que, simultaneamente, é o agente adesivo de ligação ao elemento estrutural sendo reforçado.

Sistema de FRP pré-fabricado — é um produto finalizado de **FRP** (já curado), com características mecânicas e físicas garantidas pelos seus produtores e com a forma corrente de perfis ou laminados, entre outros.

Tecidos — representam a forma geral dos sistemas de agrupamento de fibras em um reforço, através da disposição em forma de **cloth** (uni, bi ou multidirecional), de **woven roving** (bidirecional) ou de **mat** (multidirecional). O estado final do sistema pode apresentar-se seco ou pré-impregnado.

Tempo de contato (open time) — é o intervalo de tempo entre o instante em que a mistura de resina é aplicada (sobre o concreto, **FRP** ou ambos) e o instante em que esta começa a endurecer e deixa de ser possível efetuar sua aplicação.

Tempo de cura — tempo necessário para polimerizar um sistema termorrígido ou pré-impregnado a uma determinada temperatura.

Tempo de utilização (pot life) — também denominado tempo de trabalho, é o intervalo de tempo, após a mistura da resina e catalisador, durante o qual o material líquido é utilizável sem dificuldade. Esgotado o tempo de utilização, qualquer mistura de resina perde drasticamente suas características de aderência, motivo pelo qual não deve ser mais utilizada.

Termorrígido — tipo de matriz do polímero que não pode ser fundida nem dissolvida, depois de curada, como por exemplo, o poliéster insaturado, o epóxi, o viniléster e outras.

Termoplástico — tipo de plástico que pode, através de ciclos de aquecimento e resfriamento, ser repetidamente moldado e reciclado.

Tixotropia — propriedade do adesivo que permite seu amolecimento após agitação e endurecimento sob descanso. Materiais tixotrópicos apresentam elevada resistência estática ao cisalhamento e reduzida resistência dinâmica ao cisalhamento ao mesmo tempo. Estes materiais perdem sua viscosidade sob tensão.

Woven roving — termo internacional para representar o tipo de tecido que resulta do entrelaçamento direcionado (bidirecionais: $0/90^\circ$ ou $0/\pm 45^\circ$) de dois fios ou faixa de fibras e cujo estado final do sistema pode apresentar-se seco ou pré-impregnado.

CAPÍTULO 1

— INTRODUÇÃO —

Este capítulo tem por objetivo apresentar aspectos gerais da engenharia estrutural, particularmente das estruturas de concreto armado e sua inerente necessidade de reabilitação. Materiais e técnicas tradicionais de reabilitação são apresentadas e introduz-se a possibilidade do emprego de materiais compósitos como alternativa na solução desses problemas. Essas informações, organizadas sistematicamente, servem como ponto de partida para o desenvolvimento desta tese.

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A história da humanidade tem sido marcada pela inquietude do homem no ato contínuo de explorar as potencialidades do universo ao seu redor. Desde cedo, o homem aprendeu a conviver e, em diversas oportunidades a desafiar, as leis da matéria, construindo estruturas cada vez maiores, mais altas e grandiosas.

Para edificar, o homem teve que buscar um poderoso aliado, a técnica, ou seja, um conjunto de habilidades e regras que tornaria possível a implementação de todos os seus sonhos. A construção do *Pantheon*, em 27 a.C. (reconstruído no século II), marcou o início da aplicação da *pozzolona*, também conhecida como cimento romano, que se constituiu em uma técnica que revolucionou a indústria da construção e abriu novos horizontes para a expressão

arquitetônica da época. A grande descoberta consistiu no aglomerante que, combinado com areia e pedra, além de proporcionar um material de grande resistência, permitiu a criação e o desenvolvimento de novas formas e tipologias de estruturas, com necessidades funcionais específicas [fib, 1999].

O interesse pelo concreto foi também manifestado durante o período renascentista, tendo como exemplo a Basílica de São Pedro, em Roma, onde foi empregado um aglomerante similar à *pozzolana*. Entretanto, foi somente com a introdução do concreto armado, em fins do século XIX, que teve início sua extraordinária evolução, que se estendeu em meados do século XX, com a introdução do concreto protendido [McCormac, 1998; fib, 1999].

O século XX foi, portanto, marcado pela consolidação do concreto armado como um dos mais importantes materiais da engenharia estrutural. O desenvolvimento da tecnologia do concreto e suas respectivas técnicas construtivas, em conjunto com a implementação de ferramentas computacionais sofisticadas, capazes de reproduzir com grande precisão o comportamento do concreto e do aço, permitiram explorar, plenamente, suas propriedades [Beber, 1999a]. Este fato é notório principalmente após a II Guerra Mundial, quando passaram a ser construídas estruturas mais esbeltas e arrojadas [Juvandes, 1999].

O concreto é um material extremamente versátil, contudo está sujeito à ocorrência de alguns problemas, ignorados até há alguns anos. O concreto apresenta dificuldades de reajuste, sobretudo de sua capacidade de carga, uma vez consolidada a estrutura [Juvandes, 1999].

Em todo o mundo, têm sido consideráveis os investimentos em obras destinadas à moradia e ao transporte de pessoas, mercadorias e serviços. Uma infra-estrutura eficiente é a espinha dorsal de qualquer sociedade e se constitui em um importante indicador da saúde sócio-econômica de uma nação. De acordo com o *Civil Engineering Institution*, do Reino Unido, uma infra-estrutura eficiente e adequada pode ser considerada como a base da economia de qualquer nação [Silva Filho, 1999]. No entanto, a segurança destes investimentos vem sendo questionada [Swamy & Mukhopadhyaya, 1999; Karbhari & Zhao, 2000].

Embora otimizadas do ponto de vista estrutural e econômico, as novas estruturas de concreto são mais sensíveis a qualquer defeito dos materiais, da execução ou do cálculo, podendo gerar situações de risco. As estruturas de concreto armado de hoje, são, portanto, mais suscetíveis a apresentar um quadro patológico do que as mais antigas, que eram dimensionadas com uma margem de segurança superior, dispendo de uma reserva de capacidade resistente para suplantiar os efeitos de agentes agressivos, mecânicos e químicos.

Atualmente, muitas estruturas de concreto armado estão atingindo o período de vida útil inicialmente previsto. Nas últimas décadas, em virtude de uma conjunção de fatores, a durabilidade das estruturas de concreto tornou-se alvo de enorme preocupação por parte dos profissionais envolvidos neste importante segmento da economia. Grande parte das dificuldades para a compreensão deste fenômeno e sua relevância no cenário atual, está associada à pouca importância dispensada pela comunidade, como um todo, às questões relacionadas à durabilidade, manutenção e vida útil destas estruturas. Com efeito, nunca se deu a devida importância aos aspectos relacionados à durabilidade das estruturas, e tem sido colocado em segundo plano, o controle de qualidade na construção do concreto armado [Juvandes, 1999].

A natureza quase artesanal do processo de fabricação do concreto implica que, pequenas variações em sua composição (quantidade de agregado, consumo de cimento e relação água/cimento) possam conduzir à produção de concretos excepcionalmente duráveis ou extremamente vulneráveis. Modernamente, incorporou-se durabilidade ao conceito de estabilidade, pois não há sentido que uma estrutura seja estável por um período de tempo tão curto que a torne economicamente inviável [Souza & Ripper, 1998]. A discussão a respeito da manutenção e durabilidade de estruturas de concreto é um assunto de vital importância nos dias atuais. Apesar do seu desempenho e larga utilização, a durabilidade das estruturas de concreto apresenta-se aquém do desejável.

Mesmo que, de modo geral, as estruturas de concreto armado apresentem um período de vida útil longo, seu regime de utilização pode alterar-se durante este período, quer seja através do aumento do nível de solicitações ou proveniente de alterações em sua geometria [Beber, 1999b]. Além de modificações, o envelhecimento natural e/ou a deterioração resultante da ação de agentes agressivos alteram as condições iniciais consideradas no projeto original. Não é raro, ainda, que estas estruturas, depois de construídas, apresentem diferenças

em relação ao projeto original. Adicionalmente, podem existir falhas intrínsecas, geradas pela adoção de hipóteses inadequadas durante as fases de planejamento e projeto, bem como à incorporação de materiais e componentes de baixa qualidade [Nanni, 1995; Souza & Ripper, 1998; Juvandes, 1999].

Assim, neste início de terceiro milênio, coloca-se, à frente da indústria da construção civil, o desafio de manter esta infra-estrutura, respeitando as enormes restrições econômicas dos dias atuais, buscando-se fazer mais com menos. Um exemplo da necessidade e importância da reabilitação estrutural, como alternativa para a manutenção da infra-estrutura, tem sido evidenciado através dos esforços de norte-americanos, europeus e japoneses.

Em 1981, a quantia de recursos investidos em programas de reabilitação de estruturas em território britânico foi de cerca de US\$ 10 bilhões. Menos de quinze anos mais tarde, em 1995, este número aumentara em quatro vezes [Beeby & Etman, 1999]. Estes números tornam-se ainda mais expressivos quando comparados ao total de investimentos na construção civil. Em 1995, o Reino Unido investiu, na indústria da construção, cerca de US\$ 79 bilhões, dos quais 48% foram direcionados para o reparo, manutenção e melhoria das estruturas.

Um estudo realizado pelo governo do Reino Unido identificou que cerca de 17% das pontes britânicas encontram-se deterioradas e necessitando de intervenções para seu reparo ou reforço. Além do envelhecimento e dos processos inerentes de deterioração destas estruturas, o volume de tráfego sofreu um aumento de 40% nos últimos vinte anos, com um significativo incremento no peso dos veículos de transporte de mercadorias [Ziara, 2000].

Nos Estados Unidos, de acordo com o FHWA — *Federal Highway Agency*, cerca de 35% das pontes norte-americanas estão classificadas como deficientes ou em necessidade de reabilitação ou substituição [Klaiber et al, 1987; Karbhari & Zhao, 1999]. A maioria destas pontes apresenta deficiências em sua capacidade portante, que não é suficiente ou apresenta-se inadequada para os atuais níveis de tráfego.

O volume de recursos efetivamente gastos ou que deveriam ser gastos com a manutenção, reparo e reforço de estruturas de concreto atinge, anualmente, montantes da ordem de centenas de bilhões de dólares [Beber, 1999b]. Entretanto, há fortes indícios de

que esta enorme quantidade de recursos, necessária para retificar e reabilitar esta infra-estrutura, não será facilmente conseguida [Swamy & Mukhopadhyaya, 1999].

1.2 REABILITAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

O envelhecimento e a degeneração das estruturas de concreto constituem-se em um processo natural e inevitável. O problema principal não é a degeneração propriamente dita, mas sim, como este processo se desenvolve e quais as condicionantes que determinam sua evolução [fib, 1999]. Durante sua vida útil, os materiais, componentes e elementos, empregados na construção civil, interagem com o ambiente, constituído, dentre outros, por agentes agressivos que apresentam variados níveis de agressividade.

A ação do meio ambiente ocorre, fundamentalmente, através da combinação de efeitos distintos dos diversos agentes de deterioração. Estes efeitos, contudo, não podem ser somados linearmente, ou seja, a combinação de diferentes agentes pode produzir um efeito maior do que a soma dos efeitos destes agentes atuando individualmente. Desta forma, o conhecimento das origens dos mecanismos de deterioração é indispensável. O estudo das causas responsáveis pelo surgimento dos processos de deterioração em estruturas de concreto é denominado patologia. Apesar da grande variedade de lesões que as estruturas possam apresentar, existe uma solução para a maioria dos quadros patológicos em estruturas de concreto.

As estruturas de concreto devem ser consideradas como produtos extremamente complexos, que apresentam uma enorme variedade de características, das quais dependerá a sua maior ou menor adequação aos propósitos estabelecidos inicialmente pelo projeto. Excetuando-se os casos correspondentes à ocorrência de catástrofes naturais, pela violência das solicitações e caráter imprevisível das mesmas, os problemas patológicos têm suas origens motivadas por falhas que ocorrem durante uma das três etapas básicas do processo da construção: concepção, execução/materiais e utilização. O quadro 1-1 apresenta, em cada uma destas etapas, as possíveis causas para o surgimento de manifestações patológicas em estruturas de concreto.

O processo de tratamento de uma estrutura apresenta várias etapas. A primeira delas constitui-se, normalmente, em uma análise preliminar, através do levantamento de dados sobre a condição da estrutura, e é normalmente denominada diagnóstico. De posse dos resultados desta análise, procede-se a uma avaliação das possíveis causas e à discussão de alternativas de intervenção passíveis de serem aplicadas. Esta etapa é denominada análise. Em seguida, na etapa de prognóstico, procede-se a uma simulação e verificação dos riscos e conseqüências da adoção de cada alternativa proposta. Finalmente, considerando todos os dados e informações, reunidos nas etapas anteriores, define-se qual o tipo de intervenção a ser aplicada. A etapa de aplicação do tratamento escolhido para restabelecer as condições de segurança ou funcionalidade de uma estrutura é denominada terapia. A etapa de terapia é caracterizada pela ação sobre o elemento.

QUADRO 1-1 — Possíveis causas para o surgimento de manifestações patológicas no concreto

Etapa	Possíveis causas
Concepção da estrutura — <i>projeto</i> —	[1] Elementos de projeto inadequados, má definição das ações atuantes, modelo analítico não apropriado, deficiência no cálculo, etc.; [2] Falta de compatibilidade entre a estrutura e a arquitetura, assim como com os demais projetos; [3] Especificação inadequada de materiais; [4] Detalhamento insuficiente ou errado; [5] Detalhes construtivos inexecutáveis; [6] Falta de padronização das representações (convenções); [7] Erros de dimensionamento.
Execução da estrutura — <i>construção</i> —	[1] Baixa capacitação e falta de experiência dos profissionais; [2] Instalação inadequada do canteiro de obras; [3] Deficiências na confecção de fôrmas, escoramentos; [4] Deficiências no posicionamento e quantidade de armadura; [5] Baixa qualidade dos materiais e componentes; [6] Baixa qualidade do concreto, desde sua fabricação até a cura.
Utilização da estrutura — <i>manutenção</i> —	[1] Utilização inadequada; [2] Falta de um programa de manutenção apropriado.

Além do surgimento de manifestações patológicas, que venham a comprometer a segurança e a funcionalidade das estruturas de concreto, muitas destas estruturas compõem o patrimônio histórico arquitetônico da sociedade, e a demolição, na maioria dos casos, não representa uma opção viável [Beber, 1999a].

Originalmente, uma estrutura de concreto armado é concebida para atender a uma determinada finalidade. Durante sua vida útil, esta finalidade pode ser alterada ou estendida. No entanto, sua capacidade de atender a um determinado propósito, originalmente considerado ou agregado ao longo de sua vida útil, irá determinar o tipo de intervenção a ser adotada para a sua adequação. Esta intervenção pode apresentar diferentes intensidades e objetivos. A terapia de uma estrutura consiste, portanto, em executar a sua reabilitação, através de sua restauração parcial ou total, devolvendo ao conjunto, condições mínimas de segurança e funcionalidade [Emmons et al, 1998; Beber et al, 1999].

Embora não exista pleno consenso quanto à terminologia mais adequada para descrever as ações desenvolvidas durante a etapa de terapia de uma estrutura, no âmbito deste trabalho, é necessário estabelecer a distinção que deve existir entre os termos reparo, reforço e *retrofitting* que freqüentemente se sobrepõem.

Diante da necessidade de uma intervenção para a renovação de uma estrutura, duas estratégias podem ser adotadas: a reabilitação ou a substituição [Karbhari & Zhao, 2000]. Estas estratégias são ilustradas na figura 1-1.

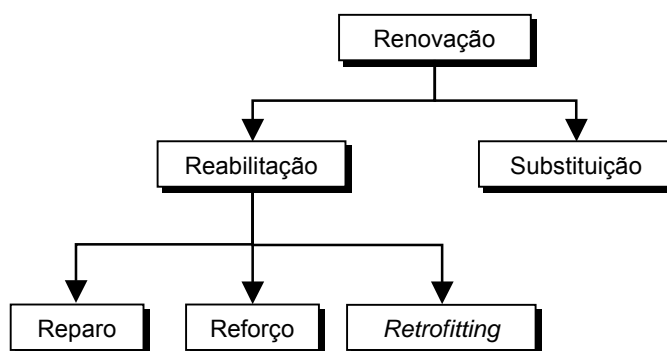


FIGURA 1-1 — Tipos de estratégia de renovação

De acordo com o *fib* — *Fédération Internationale du Béton* (resultado da associação do *CEB - Comité Euro-International du Béton* e da *FIP - Federation Internationale de la Précontrainte*, em 1998), reabilitar significa restabelecer a funcionalidade de uma estrutura ao nível original ou mais alto, tanto do ponto de vista da durabilidade quanto de resistência. Entende-se por reparo de uma estrutura, o ato de corrigir uma deficiência estrutural ou funcional; como por exemplo, a recuperação de um elemento severamente deteriorado. O reparo não necessariamente objetiva o restabelecimento das condições de resistência e durabilidade

originais da estrutura ou componente. Esta ação, em muitas oportunidades, destina-se simplesmente a reduzir a taxa de deterioração, sem melhorar significativamente o nível atual de funcionalidade.

Por outro lado, o reforço caracteriza-se como uma atividade específica para os casos em que se deseja elevar o desempenho de uma estrutura, dotando-a de maior resistência e/ou rigidez. Finalmente, o termo retrofitting ou em alguns casos seismic retrofitting define as atividades de reforço que visam, exclusivamente, dotar o elemento estrutural de resistência à ação sísmica, através do aumento da ductilidade e da resistência ao cisalhamento, permitindo maior capacidade de deformação e dissipação de energia [Beber et al, 1999; Karbhari & Zhao, 2000].

As ações para a reabilitação de estruturas constituem-se em um complexo ramo da engenharia, cujo impacto torna-se cada vez maior, na medida em que a demanda por reparos, reforços e manutenção, aumenta a cada dia. Estratégias de reabilitação eficientes e que satisfaçam uma multiplicidade de restrições de projeto e execução representam o grande desafio a ser enfrentado. Na maioria dos casos, a opção pela reabilitação de uma estrutura representa a melhor alocação dos escassos recursos disponíveis [Beber, 1999b].

A civilização moderna está baseada na manutenção do desempenho de uma grande variedade de estruturas (edifícios residenciais, comerciais e industriais, pontes, viadutos, barragens, etc.). Aparentemente, embora estas estruturas possam parecer diferentes, identificam-se, entre elas, diversas semelhanças:

- (i) Degeneração estrutural ocasionalmente acelerada pela ação de agentes agressivos;
- (ii) Mudanças no regime de utilização e aumentos nas solicitações;
- (iii) Necessidade de mínima interrupção durante as possíveis intervenções de reparo;
- (iv) Necessidade de estender a vida útil, minimizando os custos de manutenção;
- (v) Restrições econômicas que impõem uma rigorosa avaliação do custo-benefício das diversas soluções de manutenção.

O número de estruturas continua a crescer em todo o mundo, assim como a sua idade média. Cada vez mais, a necessidade de manutenção está tornando-se inevitável. A completa reposição de uma estrutura tende a tornar-se muito onerosa e certamente representa um

desperdício de recursos naturais e econômicos, na medida em que a reabilitação é uma alternativa viável [Hollaway & Leeming, 1999].

1.3 MÉTODOS CONVENCIONAIS DE REFORÇO ESTRUTURAL

Juntamente com o advento do concreto, a demanda pelo reforço de estruturas surgiu como resposta aos problemas de deterioração, projetos inadequados e problemas de construção, ou ainda, para antecipar-se ao aparecimento de cargas adicionais sobre as estruturas. Inicialmente, em função do pouco conhecimento sobre o comportamento das estruturas, as técnicas de reforço limitavam-se à adição de novos elementos, apoios e no incremento das seções resistentes; métodos que são empregados até hoje. Modernamente, com o surgimento de novas tecnologias, as técnicas de reforço tornaram-se mais sofisticadas [Emmons et al, 1998; Beber, 1999b; Carolin, 2001].

A necessidade de reforço estrutural está geralmente associada a uma mudança de utilização da estrutura ou como uma alternativa para o melhoramento de sua capacidade para suportar determinado conjunto de solicitações. Um projeto de reforço estrutural é caracterizado pela peculiaridade que cada situação pode apresentar. Assim, existem disponíveis, atualmente, diversas técnicas de reforço, cuja aplicação e desempenho irão depender da configuração geométrica e de carregamento. A escolha, portanto, de uma destas técnicas deverá estar baseada nas seguintes considerações [Robery & Innes, 1997]:

- (i) Custo de aplicação;
- (ii) Desempenho do reforço;
- (iii) Durabilidade do reforço;
- (iv) Facilidade e rapidez na instalação.

É importante salientar que freqüentemente é mais complicado reforçar uma estrutura do que construir uma nova. Especial precaução deve ser tomada com o material existente, geralmente deteriorado, durante o procedimento de reforço. Em muitos casos o acesso pode ser difícil em áreas que necessitam de reforço. Além disso, a documentação existente sobre a estrutura é geralmente deficiente e não retrata a realidade encontrada. Adicionalmente,

quando um reforço é empregado, as possíveis alterações no comportamento estrutural do elemento devem ser cuidadosamente consideradas. Um reforço à flexão, por exemplo, pode conduzir à ruptura por cisalhamento ao invés de permitir que seja alcançada a capacidade portante desejada [Sharif, 1994; Beber, 1999b; Carolin, 2001].

1.3.1 Aumento de seção transversal

Esta metodologia de reforço estrutural é tão antiga quanto a própria indústria da construção. O aumento de seção transversal consiste na colocação de uma camada adicional de concreto armado em um elemento estrutural existente. Pilares, vigas, lajes, tabuleiros de pontes e vigas-parede podem ter suas seções resistentes aumentadas para elevar sua capacidade de carga, rigidez, ductilidade, etc. A nova camada deve ser aplicada à superfície de concreto existente com o objetivo de produzir um elemento monolítico. Argamassas também são empregadas nestas aplicações. Recentemente, este método desenvolveu-se sobremaneira através da utilização de concreto e argamassa projetada.

No entanto, o alto risco de corrosão das armaduras, em virtude de cobrimentos reduzidos, e a conseqüente deterioração do concreto do reforço e o aumento da carga permanente sobre a estrutura caracterizam-se como as principais desvantagens deste método [Emmons et al, 1998; Pinto, 2000]. Estes problemas estão, também, associados com a relativa incompatibilidade entre o concreto novo e o existente. O concreto existente, na maioria dos casos, não é mais afetado por alterações em seu volume devido à retração. Por outro lado, o surgimento de tensões de tração, podem ocasionar fissuração e destacamento se o concreto novo for impedido de deformar-se.

1.3.2 Protensão externa

Apesar de se constituir em uma técnica construtiva amplamente utilizada desde a década de 50, após permanecer latente por algum tempo, foi redescoberta como uma excelente alternativa no reforço de estruturas de concreto armado. A protensão externa vem desenvolvendo-se rapidamente no reforço de estruturas de concreto, principalmente, nos EUA, Japão e Suíça. A aplicação da protensão externa contribui para a redução das

deformações na estrutura existente, bem como aumentar a capacidade portante destes elementos. Dentre as principais vantagens deste método de reforço, pode-se destacar: (i) a relativa simplicidade do método construtivo; (ii) a ausência de problemas com o cobrimento dos cabos; (iii) a possibilidade de inspeção e eventual reposição dos cabos durante a vida útil.

Por estar localizado no exterior dos elementos estruturais, apresentam-se como desvantagens desta técnica, a sua vulnerabilidade à ação do fogo, da corrosão eletroquímica e atos de vandalismo. A proteção de um sistema de protensão externa contra um ambiente agressivo ou a ação do fogo pode ser alcançada através do encapsulamento dos cabos com concreto convencional ou projetado.

1.3.3 Chapa de aço colada com resina epóxi

No presente, a aplicação de reforços externos, através de chapas de aço coladas em elementos de concreto, é considerada como uma das melhores técnicas de reforço ou reparo de elementos de concreto deteriorados. Desde meados dos anos 60, o reforço externo com chapas de aço coladas em vigas de concreto armado tem sido utilizado na África do Sul, Japão e em vários países da Europa. Este método é utilizado para reparar ou reforçar elementos de concreto com capacidade resistente insuficiente devido a danos estruturais, mudanças de utilização, e, muito freqüentemente, por corrosão das armaduras. O princípio desta técnica é bastante simples: chapas ou outros elementos de aço são colados na superfície de elementos de concreto através de adesivos epóxi [Saadatmanesh & Ehsani, 1990].

A grande aceitação desta técnica pode ser atribuída ao desenvolvimento de adesivos com base epóxi de alta qualidade, aliado ao fato de ser uma técnica simples, econômica, eficiente e de aplicação relativamente fácil, permitindo reforçar o elemento sem que haja um aumento significativo em suas dimensões.

O primeiro caso notificado da utilização desta técnica, aconteceu em Durban, na África do Sul (década de 60). As vigas de um complexo residencial foram reforçadas com chapas coladas porque a armadura existente, devido a falhas durante a execução, era menor do que a projetada. Na antiga União Soviética, em 1974, um arco de uma ponte de concreto armado com 60 anos de idade foi reforçado com chapas de aço coladas. Cerca de 25% das

armaduras da ponte original estavam corroídas por conta de deficiências no sistema de drenagem de águas pluviais. Na Polônia, onde muitas pontes de concreto armado e protendido foram reforçadas, verificou-se que este é um dos métodos mais econômicos e práticos de reforço de pontes. Diversas pontes de uma rodovia elevada no Japão, também foram reforçadas com chapas coladas com resina epóxi, mostrando a eficiência da técnica [Beber, 1999a].

Comprovou-se, através de diversos ensaios, que as chapas de aço coladas nas faces tracionadas de vigas de concreto armado conduzem a aumentos significativos na resistência à flexão, em conjunto com incrementos na rigidez à flexão evidenciada por menores deformações e fissuras [Swamy et al, 1987; Campagnolo et al, 1997]. As chapas de aço atuam como um suplemento a armadura existente no interior do elemento de concreto, e são consideradas como uma armadura secundária, aplicada para reduzir as tensões na armadura existente em níveis aceitáveis.

Entretanto, alguns estudos demonstraram que se deveria dispensar atenção especial aos reforços com chapa colada. Um vasto programa experimental conduzido pelo *Transport and Road Research Laboratory* investigou, através de uma série de ensaios de durabilidade, o comportamento de longo prazo de estruturas reforçadas através desta técnica [Calder, 1979, 1988, Calder & Lloyd, 1982]. Os resultados demonstraram que após longos períodos de exposição, a corrosão nas chapas de aço é evidente, em especial na interface adesivo/chapa. Esta corrosão, ocorrendo ao longo da interface do adesivo, compromete perigosamente a aderência entre os elementos, além de ser muito difícil de ser diagnosticada em inspeções de rotina.

Embora sejam altamente suscetíveis à corrosão, este processo emprega chapas de aço com baixo teor de carbono. Imediatamente após a sua instalação, o reforço deve ser protegido, criando tarefas adicionais de manutenção, além do comprometimento da durabilidade em função do grande potencial para a manifestação da corrosão na interface chapa/adesivo [Emmons et al, 1998a]. Além disso, outro problema que envolve a técnica de chapa colada está relacionado ao manuseio de elementos que possuem grandes dimensões, devido ao elevado peso próprio do aço. Apresenta-se, ainda, como dificuldade, a fabricação de chapas para o reforço de elementos com formas complexas. Este método demanda,

também, um sistema de escoramento para suportar o peso destes elementos durante as operações de fixação das chapas [Spadea et al, 1997].

Embora não sejam tão freqüentes, em função das dificuldades inerentes de cada metodologia de reforço, a aplicação de estribos externos pré-tracionados (variação da protensão externa), a adição de vergalhões ou perfis metálicos colados com resina epóxi e a incorporação de novos elementos estruturais, se constituem, também, em alternativas viáveis para o reforço de estruturas de concreto armado [Emmons et al, 1998; Pinto, 2000].

O emprego de materiais convencionais, como aço e concreto, na reabilitação de estruturas, apresenta inúmeras vantagens, principalmente por causa da tradição destes materiais na construção civil e em função de apresentarem um custo relativamente baixo. Contudo, embora estes materiais e tecnologias sejam adequados em muitas situações, a falta de longevidade em alguns casos, e a rápida deterioração em outros, conduzem à necessidade de um melhoramento em suas propriedades e o desenvolvimento de novas tecnologias [Karbhari & Zhao, 2000]. Em alguns casos, ainda, restrições de projeto podem impedir a aplicação de determinadas alternativas de reabilitação, tanto do ponto de vista estrutural quanto de funcionalidade.

1.4 REFORÇO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO COM MATERIAIS COMPÓSITOS

Nos últimos anos, diversos centros de pesquisa, espalhados por todo o mundo, têm se dedicado à proposição e ao desenvolvimento de novas alternativas para o reforço de estruturas de concreto armado; o objetivo permanece o mesmo: estender a vida útil das estruturas.

Uma das mais notáveis técnicas, apresentadas nos últimos anos, envolve a aplicação de materiais compósitos, mais especificamente os compósitos de fibra de carbono, como alternativa de substituição às tradicionais chapas de aço, empregadas, com indubitável sucesso, desde a década de 60 [Beber, 1999b]. Diferentemente do aço, os compósitos de fibra de carbono não são afetados pela corrosão eletroquímica e resistem aos efeitos corrosivos de ácidos, álcalis, sais e outros agentes agressivos [Hollaway, 1993].

Os compósitos, inicialmente desenvolvidos para aplicações nas indústrias aeroespacial, automotiva, naval, de equipamentos esportivos e armamentos, passam a ocupar um lugar de destaque como alternativa viável no reforço de estruturas de concreto armado e protendido. Os materiais compósitos podem resolver uma série de problemas no âmbito da reabilitação estrutural. A combinação de fibras e polímeros permite que o elemento de reforço seja confeccionado para atender a uma solução particular, tanto em relação à sua geometria quanto às suas propriedades mecânicas [Beber, 1999b]. Dentre suas principais virtudes, destacam-se a alta resistência, o baixo peso próprio, a grande durabilidade e a capacidade de assumir formas complexas [Norris et al, 1997].

Embora o número de aplicações nesta área seja ainda reduzido, motivado principalmente pelo elevado custo de produção dos compósitos de fibra de carbono, existe um imenso potencial em sua utilização na reabilitação estrutural de elementos de concreto armado. Em muitos casos, a aplicação de compósitos pode significar um meio de estender a vida útil de uma estrutura que possivelmente não poderia ser reforçada utilizando materiais convencionais [Karbhari & Zhia, 2000]. Ainda, a habilidade de se conduzir a completa operação de reforço em períodos muito curtos de tempo, sem que seja necessário interromper, completamente, a utilização da estrutura, é, sem dúvida alguma, a maior vantagem dos compósitos. Contudo, alguns aspectos como o projeto, detalhamento e garantia da integridade da ligação concreto/reforço deve, ainda, ser melhor compreendida.

1.5 OBJETIVOS DO TRABALHO

A aplicação de compósitos de fibra de carbono no reforço de estruturas de concreto armado representa o que há de mais moderno, disponível atualmente, neste importante segmento da engenharia estrutural. No entanto, a aplicação deste novo material, em substituição àqueles tradicionalmente utilizados, impõe a necessidade de conhecer suas propriedades e seu comportamento sob as mais variadas condições.

Mesmo com o crescimento acelerado deste mercado nos últimos anos, não se dispõe, ainda, de experiência suficiente sobre a aplicação destes materiais, que permita fundamentar a

definição de metodologias e regras para o dimensionamento e execução de projetos de reforço desta natureza.

Internacionalmente, o conhecimento adquirido a partir do desenvolvimento de inúmeros programas experimentais encontra-se em um estágio avançado. Isto pode ser evidenciado a partir da organização sistemática de um conjunto de informações sobre a aplicação dos compósitos no reforço de estruturas de concreto.

Dentre as várias publicações, destacam-se àquelas que se constituem como documentos normativos:

- (i) ACI 440R — *State-of-the-art Report on Fiber Reinforced Plastic Reinforcement for Concrete Structures* — American Concrete Institute;
- (ii) ACI 440.2R — *Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures* — American Concrete Institute;
- (iii) JCI TC952 — *Continuous Fiber Reinforced Concrete* — Japanese Concrete Institute;
- (iv) JSCE 23 — *Recommendation for Design and Construction of Concrete Structures Using Continuous Fiber Reinforcing Material* — Japanese Society of Civil Engineers;
- (v) BULLETIN 14 — *Externally Bonded FRP Reinforcement for RC Structures* — Fédération Internationale du Béton (CEB-FIP).

No entanto, em nível nacional, a realidade da aplicação dos compósitos no reforço de estruturas de concreto armado é bastante diferente. Um número reduzido de trabalhos vem sendo desenvolvido e todo o material, empregado no reforço estrutural, é importado. As diretrizes para o dimensionamento, controle de qualidade e execução apresentam-se, em quase toda a sua totalidade, baseados em fichas técnicas dos produtos ou, ainda, sob a tutela de profissionais, associados às empresas que comercializam os sistemas de reforço com compósitos.

A necessidade de expandir o conhecimento e a confiança na utilização dos compósitos de fibra de carbono, em nível nacional, torna imperativo o desenvolvimento de um amplo programa de pesquisa, experimental e teórico, sobre o comportamento e o desempenho dos compósitos de fibra de carbono empregados no reforço de estruturas de

concreto armado; e que estas informações sejam amplamente disponibilizadas a todos os profissionais do ramo.

Constitui-se, assim, como principal objetivo da presente tese, disponibilizar e avaliar os resultados experimentais do comportamento de vigas de concreto armado reforçadas à flexão e ao cisalhamento, empregando sistemas de reforço com compósitos de fibra de carbono. Para cumprir este objetivo a presente tese foi estruturada em três partes: revisão bibliográfica; (ii) programa experimental e (iii) discussão dos resultados.

No início do desenvolvimento deste trabalho, identificou-se a necessidade de realizar uma pesquisa bibliográfica internacional, detalhada e atualizada, com o objetivo de reunir e organizar informações das principais contribuições, experimentais e teóricas, acerca do assunto.

No capítulo 2, apresenta-se, detalhadamente, as principais características dos materiais compósitos, suas propriedades físicas, mecânicas e os principais sistemas de reforço disponíveis atualmente.

Na seqüência, no capítulo 3, um histórico das principais contribuições é organizado, para fundamentar o entendimento das principais implicações da adoção desta técnica de reforço. A partir deste conjunto de informações, apresentado e discutido nos capítulos 2 e 3, definiu-se o programa experimental.

O programa experimental é descrito no capítulo 4 e tem por objetivo fundamentar as discussões em torno dos dois sistemas de reforço disponíveis, atualmente, no mercado nacional.

A estratégia experimental consiste na construção de vigas de concreto armado, com seção retangular, sem carregamento prévio, reforçadas externamente, à flexão e ao cisalhamento, com compósitos de fibra de carbono. Os objetivos específicos deste programa consistem na observação de cargas e modos de ruptura a partir de diferentes configurações de reforço, acompanhamento de deslocamentos verticais e das deformações específicas das armaduras, concreto e reforço através de um sistema de aquisição de dados completamente automatizado. Adicionalmente, não foram incorporados, às vigas reforçadas, mecanismos adicionais de ancoragem.

Os resultados experimentais, devidamente organizados, em conjunto com as informações reunidas a partir da revisão bibliográfica, têm por objetivo fundamentar a discussão e avaliação do comportamento de vigas de concreto armado reforçadas externamente com compósitos de fibra de carbono.

Nesta etapa, pretende-se, ainda, avaliar modelos analíticos que permitam simular o comportamento destas estruturas, com vistas ao desenvolvimento de ferramentas para o dimensionamento de reforços com compósitos de fibra de carbono. Esta discussão constitui o capítulo 5 da presente tese.

Finalmente, à luz das discussões e avaliações realizadas, pretende-se, no capítulo 6, apresentar as principais conclusões alcançadas através do desenvolvimento da presente tese. Na figura 1-2, são apresentados os principais objetivos de cada etapa.

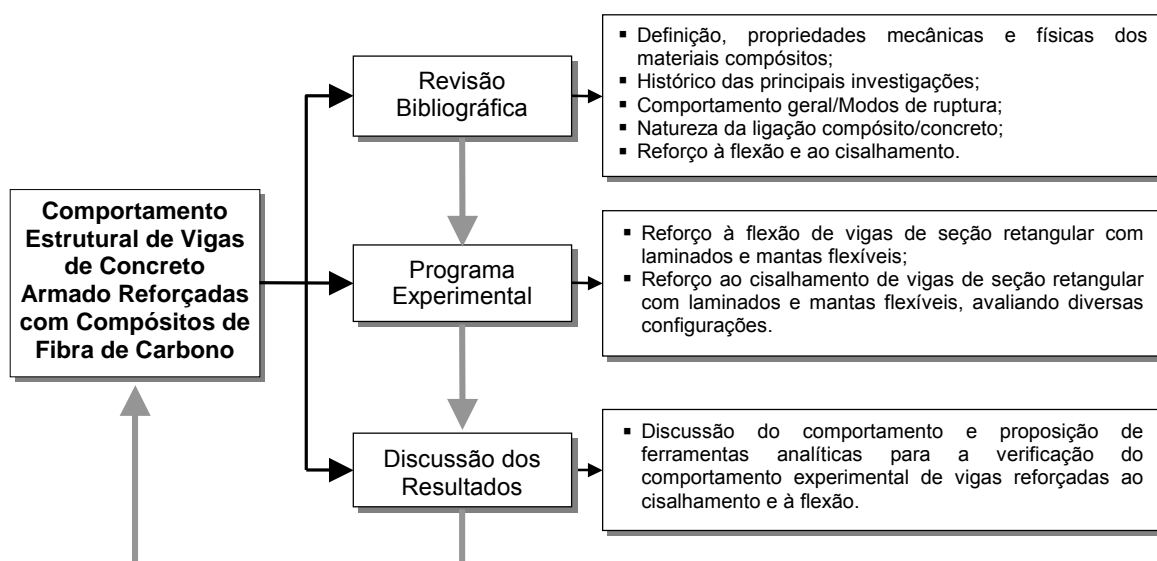


FIGURA 1-2 — Esquema organizacional da tese

CAPÍTULO 2

— — MATERIAIS COMPÓSITOS — —

O termo compósito é derivado do latim *compositus*, que por sua vez tem como raiz a palavra *componere*: *com* — junto + *ponere* — colocar; ou seja, aglutinar, juntar. No entanto, à luz das aplicações da engenharia estrutural, os compósitos devem ser definidos de maneira mais específica. O objetivo deste capítulo é, portanto, apresentar e discutir diversos aspectos relacionados a estes materiais — definição, propriedades mecânicas e geométricas, técnicas de fabricação e aplicação, desempenho estrutural, etc.

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Genericamente, considera-se compósito todo material multifásico, artificialmente construído, que apresente uma significativa parcela das propriedades de todos os materiais que o integram, de forma que a melhor combinação destas propriedades seja alcançada. Entretanto, não existe uma definição universalmente aceita para materiais compósitos. O problema reside em que nível é feita esta definição. No contexto do presente estudo, materiais compósitos são definidos em termos macro-estruturais (matrizes, partículas, fibras, etc.), onde o compósito é uma combinação macroscópica de dois ou mais materiais distintos, possuindo uma interface distinta entre si [Schwartz, 1984; Mano, 1991; Callister Jr., 1997].

Muitos compósitos são formados pela combinação de apenas dois componentes; um é denominado matriz, que é contínua e envolve completamente o outro componente, freqüentemente denominado componente disperso. As propriedades dos compósitos são função destes componentes, suas quantidades relativas e principalmente da geometria do componente disperso. De acordo com tipo de componente disperso, os compósitos podem ser classificados em três grupos: particulares (reforçados com partículas), fibrosos (reforçados com fibras) e compósitos estruturais. Entende-se por partícula um componente disperso que apresenta aproximadamente a mesma dimensão em todas as direções, enquanto as fibras apresentam uma elevada relação entre seu comprimento e diâmetro [Callister Jr., 1997].

A interação entre matriz e partícula, nos compósitos reforçados com partículas, pode, ou não, ocorrer em nível atômico ou molecular. A natureza desta interação é que determina o mecanismo de reforço. Um exemplo de material reforçado com partículas, largamente empregado em aplicações da engenharia civil, é o concreto. De uma maneira geral, o concreto é um compósito que consiste de partículas (agregados miúdo e graúdo) que são unidas através de uma matriz (pasta de cimento). Esta interação não ocorre em nível atômico ou molecular e como as partículas apresentam maior rigidez, seu objetivo é o de restringir o movimento da matriz nas zonas adjacentes a cada uma destas partículas [Callister Jr., 1997]. O concreto armado, por sua vez, também caracteriza um compósito, que combina a resistência à compressão do concreto e sua rigidez com a elevada resistência à tração do aço, produzindo estruturas de grande resistência e rigidez [Beber, 1999b].

Tecnologicamente, os compósitos mais importantes são aqueles cujo componente disperso se caracteriza por elementos fibrosos [Callister Jr., 1997]. Como a forma fibrosa da maioria dos materiais apresenta, inerentemente, melhores propriedades de resistência e rigidez, que o mesmo material em sua forma a granel, a utilização de fibras torna-se muito interessante sob o ponto de vista estrutural. O método mais eficiente encontrado consiste em combinar um material fibroso de alta resistência à tração e alto módulo de elasticidade com um material de baixo módulo e baixa resistência [Schwartz, 1984; Taylor, 1994; Beber, 1999a].

2.2 HISTÓRICO

Os materiais compósitos, de origem natural ou sintetizados pelo homem, vêm sendo utilizados por milhares de anos. A madeira é um exemplo de compósito natural. Trata-se da combinação de fibra celulósica e lignina. Compósitos sintéticos podem ser fabricados a partir de materiais naturais. Os egípcios, por exemplo, utilizavam a palha misturada à argila para a fabricação de tijolos com o objetivo de melhorar o seu desempenho estrutural. Antigos artesãos conheciam a relação simbiótica entre fases contínuas e descontínuas quando utilizavam o piche para colar o junco e fabricar barcos, 7000 anos atrás [Emmons et al, 1998].

Argamassas de gesso e cal são encontradas nas pirâmides egípcias. No antigo império romano, o uso de aglomerantes pozolânicos naturais, misturados à areia e brita, ajudaram na construção de magníficas estruturas, admiradas até hoje.

Os materiais compósitos plásticos utilizados antes do século 20 eram baseados em produtos resinosos naturais como piche, caseína e albumina. As primeiras resinas laminares sintéticas foram produzidas por Berzelius em 1847. Estas resinas foram precursoras das resinas fenólicas introduzidas no início da década. Pequenas quantidades de papel e tecido, impregnados com resina fenólica formando lâminas, foram utilizados por várias décadas, porém, o verdadeiro início da era dos compósitos plásticos aconteceu com a produção de poliéster insaturado reforçado com fibra de vidro [Emmons et al, 1998].

O celulóide, primeiro plástico feito por mãos humanas, era um compósito que consistia de nitrato de celulose e cânfora, que o tornava mais flexível e capaz de ser moldado. Da mesma forma, o baquelite, primeiro plástico verdadeiramente sintético, consiste da combinação de um polímero fenólico e formaldeído. Como os termoplásticos de uso geral como o poliestireno, polimetil metacrilato, polietileno e polipropileno eram menos dependentes de aditivos do que o celulóide e baquelite, a ciência dos compósitos foi rejeitada até poucas décadas atrás. A maioria destes plásticos não poderia funcionar como componentes em aeronaves, barcos, carros ou equipamentos esportivos. O avanço na ciência dos compósitos resultou na produção de plásticos com propriedades que permitem seu uso em uma grande variedade de aplicações especiais.

2.3 COMPOSIÇÃO

Em princípio, os compósitos podem ser construídos a partir da combinação de dois ou mais materiais, sejam eles metálicos, orgânicos ou inorgânicos. Embora as combinações possíveis sejam virtualmente ilimitadas, as formas dos componentes são mais restritas. As formas de componentes mais usadas são fibras, partículas, lâminas, flocos, *fillers* e matrizes. A matriz é o corpo do compósito; serve para unir os macro-componentes e dar forma ao compósito. As fibras, partículas, lâminas, flocos e *fillers* são os componentes estruturais e determinam a estrutura interna do compósito.

O comportamento e as propriedades dos materiais compósitos dependem da natureza, da forma, arranjo estrutural e da interação entre os componentes [ACI, 1996]. Naturalmente, as propriedades e características intrínsecas de cada componente determinam grandemente as propriedades gerais do compósito. Entretanto, a interação entre os componentes resultará em um novo grupo de propriedades, derivadas da combinação das propriedades individuais de cada componente. A distribuição e a quantidade relativa de cada componente são fatores importantes que contribuem para o desempenho do compósito. Estas inúmeras variáveis é que dão aos materiais compósitos muito da sua versatilidade.

Dentre todos os tipos de compósitos, os polímeros reforçados com fibras ou *fibre reinforced polymers* — *FRP*, têm atraído a atenção de muitos pesquisadores envolvidos com aplicações da engenharia estrutural. A resistência e a rigidez dos compósitos de *FRP* depende, basicamente, do tipo de fibra, da matriz polimérica e da interface entre estas duas. Cada um destes componentes deve apresentar um conjunto de características que permita um desempenho satisfatório do compósito [Hollaway, 1993].

2.3.1 Matriz

A matriz dos compósitos reforçados com fibras apresenta variadas funções. Em princípio ela é responsável pela união das fibras que compõem o compósito, atuando como o meio através do qual as solicitações externas são transmitidas e distribuídas para as fibras [Hollaway, 1993; Callister Jr., 1997]. Apenas uma parcela muito pequena desta solicitação é absorvida pela matriz.

A matriz polimérica tem, também, como função, atuar na proteção das fibras, formando uma camada entre as fibras e o ambiente, protegendo-as contra a abrasão, umidade, oxidação e agentes agressivos, de natureza química e biológica. As propriedades químicas, térmicas e elétricas dos compósitos são afetadas pela escolha da resina que irá compor a matriz polimérica. Além disso, a matriz polimérica é responsável por manter as fibras posicionadas corretamente.

Quando uma carga é aplicada em um compósito, constituído por uma matriz de baixo módulo de elasticidade, reforçada com fibras de alta resistência e módulo, a matriz polimérica, sob tensão, transfere a carga para as fibras [Illston, 1994]. Isto resulta em um material de alta resistência e alto módulo, o que determina a rigidez e a resistência do compósito [ACI, 1996; Hollaway, 1993]. De acordo com Hollaway (1993), a matriz polimérica deve:

- (i) Unir as fibras e proteger suas superfícies durante o manuseio, fabricação e ao longo de toda sua vida útil;
- (ii) Dispersar e separar, ordenadamente, as fibras com o objetivo de evitar a propagação de fissuras e conseqüente ruptura do compósito;
- (iii) Transferir integralmente as tensões para as fibras por atrito ou adesão;
- (iv) Ser química e termicamente compatível com a fibra.

Atualmente, existe uma grande variedade de matrizes disponíveis para a fabricação de compósitos de *FRP*. As matrizes poliméricas podem ser originadas a partir de resinas termorrígidas e termoplásticas. No âmbito dos reforços estruturais, as resinas termorrígidas representam a matriz ideal para a confecção dos compósitos de *FRP*, porque proporcionam, dentre outras propriedades, boa estabilidade térmica, boa resistência química e baixa fluência [ACI, 1996].

Polímero termorrígido é aquele que, quando curado, pela ação do calor ou tratamento químico, transforma-se em um produto substancialmente infusível e insolúvel, com uma estrutura molecular tridimensional complexa. Por outro lado, polímero termoplástico é aquele que, em função da natureza de suas cadeias moleculares, pode ser fundido e reciclado. Dentre as resinas termorrígidas mais utilizadas em compósitos para o reforço estrutural, estão o poliéster, éster-vinílico, uretano metacrilato, fenol e epóxi [Hollaway & Leeming, 1999].

Algumas propriedades mecânicas importantes na caracterização de matrizes poliméricas dos compósitos são apresentadas na tabela 2-1.

TABELA 2-1 — Propriedades mecânicas de algumas resinas [Nanni et al, 1993]

Propriedade	Resinas		
	<i>Poliéster</i>	<i>Éster-vinílico</i>	<i>Epóxi</i>
<i>Resistência à tração [MPa]</i>	20 – 100	79 – 90	55 – 130
<i>Módulo de elasticidade [GPa]</i>	2,1 – 4,1	3,0 – 3,3	2,5 – 4,1
<i>Deformação na ruptura [%]</i>	1 – 6	3,9 – 5,2	1 – 9
<i>Resistência à flexão [MPa]</i>	125	110 – 149	131
<i>Peso específico [kN/m³]</i>	9,8 – 14,2	10,9 – 12,9	10,8 – 12,7

As resinas epóxi representam uma importante classe dos polímeros termorrígidos e têm sido comercializadas desde a década de 40. Podem ser formuladas em uma grande variedade de formas com o intuito de fornecer um amplo espectro de características e propriedades mecânicas [Hollaway, 1999]. Além disso, apresentam excelente aderência a diversos tipos de fibra e substratos; são resistentes a ações químicas e apresentam baixa retração durante o processo de cura [ACI, 1996; Juvandes et al, 1996].

As resinas epóxi empregadas em aplicações da engenharia estrutural geralmente são formulações do tipo bi-componente, ou seja, compostas por um agente principal (a própria resina) e um catalisador (endurecedor) [fib, 2000].

2.3.2 Fibras

As fibras podem ser definidas como um material filamentar, cuja razão entre comprimento e diâmetro seja no mínimo igual a 100. Embora não haja restrições quanto a um diâmetro mínimo, o máximo diâmetro não deve ser superior a 0,25 mm [Jones, 1975; ASTM, 1996].

Diversas fibras podem ser utilizadas, incluindo-se as de vidro, carbono e boro, além das fibras produzidas a partir de polímeros sintéticos. Construir fibras envolve alinhar as

moléculas do material. A alta resistência à tração está associada à melhoria da atração intermolecular resultante deste alinhamento [Schwartz, 1984]. Fibras poliméricas são fabricadas a partir de polímeros cuja geometria e composição química são basicamente cristalinas e cujas forças intermoleculares são fortes. A mais importante propriedade das fibras é seu módulo de elasticidade. Hollaway (1993) aponta as principais características das fibras utilizadas na fabricação de compósitos:

- (i) Apresentar elevada resistência e módulo de elasticidade para seu melhor aproveitamento;
- (ii) Reduzida variação de resistência entre fibras individuais;
- (iii) Estabilidade e capacidade de manter suas propriedades ao longo do processo de fabricação e manuseio;
- (iv) Uniformidade de seus diâmetros e superfícies.

As principais fibras, utilizadas comercialmente em aplicações da engenharia civil, incluindo-se também os concretos reforçados com fibras, são as de vidro (**Glass**), carbono (**Carbon**) e aramida (**ARomatic polyAMID**).

2.3.2.1 Fibras de vidro

As fibras de vidro são largamente utilizadas para aplicações em engenharia civil, principalmente pela excelente relação custo de produção/propriedades mecânicas [ACI, 1996]. De um modo geral, as fibras de vidro podem ser divididas em dois grupos. O primeiro com módulo de elasticidade de cerca de 70 GPa e resistência variando entre 1000 e 2000 MPa, como por exemplo as fibras do tipo E, A, C e E-CR. O segundo grupo apresenta módulo de elasticidade de cerca de 85 GPa, com resistência à tração variando entre 2000 e 3000 MPa, como por exemplo as fibras do tipo R, S e AR [Hollaway & Leeming, 1999]. As fibras de vidro do tipo R e S, caracterizam-se pela alta resistência e são largamente empregadas na indústria aeroespacial, porém, devido ao elevado custo de produção não são atraentes em aplicações na engenharia civil [Kendall, 1997]. Estas fibras e suas principais aplicações são apresentadas no quadro 2-1.

QUADRO 2-1 — Tipos de fibra de vidro e suas principais aplicações

Tipo de fibra	Principal aplicação
<i>E</i>	aplicações usuais, baixo conteúdo de álcalis (< 1%)
<i>A</i>	elevado conteúdo de álcalis (10-15%)
<i>C</i>	excelente resistência à corrosão, utilizado para acabamento de superfícies
<i>E-CR</i>	livre de boro, boa resistência à corrosão por ácidos
<i>R, S</i>	excelentes propriedades mecânicas, utilizados para aplicações de alto desempenho
<i>AR</i>	resistente à ação de álcalis, empregado em concretos reforçados com fibras

2.3.2.2 Fibras de aramida

A mais popular das fibras orgânicas, a aramida, foi comercialmente introduzida pela *DuPont* no ano de 1965, sendo, no início da década de 70, aplicada na fabricação do *Kevlar™*, compósito utilizado na confecção, entre outros, de coletes à prova de balas [Juvandes et al, 1996].

As fibras de aramida apresentam resistências da ordem de 3000 MPa e módulo de elasticidade variando entre 60 GPa e 120 GPa. As fibras de aramida são resistentes ao fogo e apresentam excelente desempenho sob elevadas temperaturas [Hollaway & Leeming, 1999]. A maior virtude das fibras de aramida é sua tenacidade, o que contribui para o seu excelente desempenho em situações de impacto de veículos e cargas.

2.3.2.3 Fibras de carbono

A fibra de carbono é um material altamente promissor, baseado na força das ligações carbono-carbono e na leveza do átomo de carbono [Taylor, 1994]. Conforme Schwartz (1984), as fibras de carbono são caracterizadas por uma combinação de baixo peso, alta resistência e grande rigidez. O seu alto módulo de elasticidade e, de certo modo, alta resistência, dependem do grau de orientação das fibras, ou seja, do paralelismo entre os eixos das fibras.

Ainda segundo Schwartz, todas as fibras de carbono são fabricadas através da pirólise de fibras orgânicas em uma atmosfera inerte. A temperatura de pirólise pode variar entre 1000° e 3000° C. Temperaturas de processo mais altas geralmente conduzem a fibras com maior módulo de elasticidade. Apenas três matérias-primas alcançaram importância na produção comercial de fibras de carbono. São elas: *rayon*, poliacrilonitrila (PAN) e piche.

A primeira geração de fibras de carbono, com alta resistência e alto módulo, foram fabricadas a partir do *rayon*. Sua fabricação consiste em esticar as fibras em várias vezes o seu comprimento original sob temperaturas acima de 2800° C. O alto custo deste processo e a incerteza quanto à fácil obtenção de matéria-prima, o *rayon*, tornou este tipo de fibra inviável.

A segunda geração de fibras de carbono é fabricada a partir de fibras sintéticas de poliacrilonitrila e alcançou o domínio do mercado através da combinação de baixo custo de produção e boas propriedades físicas. Ao mesmo tempo em que são transformadas em fios, as fibras são esticadas para que as cadeias moleculares se alinhem paralelamente ao eixo das fibras. A PAN é então aquecida até 250° C em um ambiente de oxigênio onde absorve energia e ganha em resistência. A carbonização da fibra começa quando o polímero, sem tensão, é aquecido em uma atmosfera inerte. Quanto maior a energia de aquecimento fornecida ao filamento de carbono, mais alta será a sua rigidez.

A terceira geração de fibras de carbono é baseada no piche como matéria-prima. O piche é uma mistura isotrópica de grandes compostos aromáticos. As fibras de piche têm pouca ou nenhuma orientação preferencial e, portanto, baixa resistência e módulo. O piche é uma matéria-prima muito barata quando comparada com o *rayon* e a PAN. Fibras de carbono com alta resistência e módulo são obtidas a partir de piche que tenha sido primeiramente convertido em cristal líquido. Detalhes das propriedades mecânicas de uma variedade de fibras são apresentadas na tabela 2-2 e ilustradas graficamente na figura 2-1.

2.4 COMPÓSITOS DE *FRP*

Desde de 1940, os polímeros reforçados com fibras, ou *fibre reinforced polymers (FRP)*, têm sido utilizados, com grande êxito, nas indústrias, aeroespacial, automotiva, naval e de armamentos [Juvandes et al, 1996]. Dentre suas principais virtudes, destaca-se a alta

resistência, o baixo peso próprio, a grande durabilidade e a facilidade de assumir formas complexas [Norris et al, 1997].

TABELA 2-2 — Propriedades típicas de algumas fibras [Kendall, 1997]

Propriedade	Vidro-E	Aramida (A) Kevlar 49™	Carbono de elevada resistência (HS)	Carbono de elevado módulo (HM)	Aço CA-50
Resistência à tração [MPa]	2400	3600	3300 – 5000	1500 – 4700	500 (escoamento)
					550 (ruptura)
Módulo de elasticidade [GPa]	70	130	230 – 300	345 – 590	210
Deformação na ruptura [%]	3,5	2,5	1,5 – 2,2	0,6 – 1,4	0,2 (escoamento)
					6 (ruptura)
Peso específico [kN/m ³]	25,6	14,4	18	19	78,5
Coeficiente de dilatação térmica [10 ⁻⁶ /°C]	5,0	-2 (longitudinal)	-1 (longitudinal)	-1 (longitudinal)	12 (longitudinal)
		+59 (transversal)	+17 (transversal)		
Custo da fibra [US\$/kg]	2	22	15 - 22	90	1

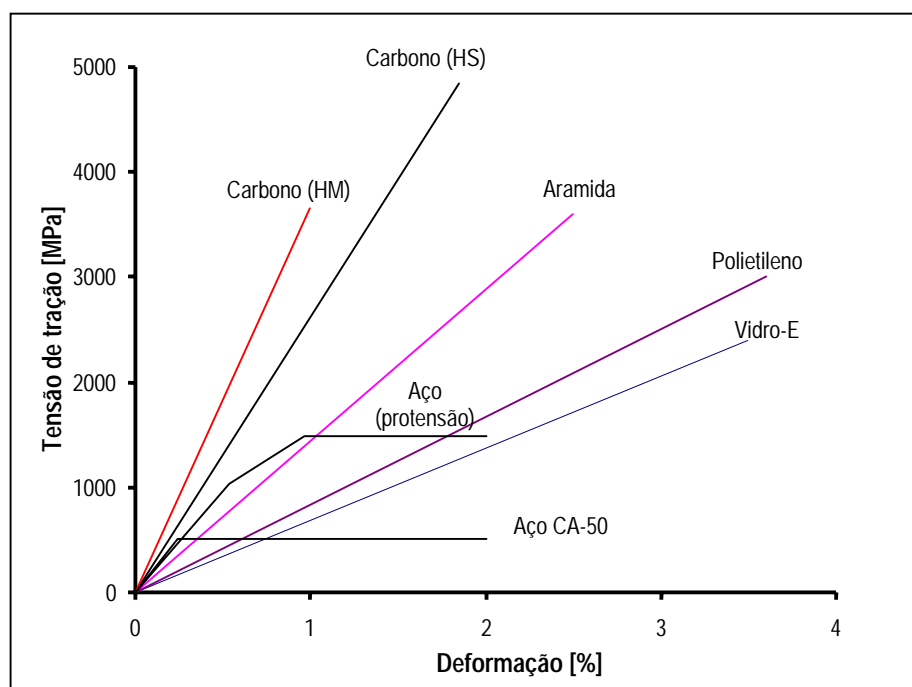


FIGURA 2-1 — Diagrama tensão-deformação de fibras e metais

Segundo Taylor (1994) a razão principal para reforçar polímeros é aumentar a sua rigidez, embora ao empregar-se elementos de grande rigidez, aumente-se, também, a resistência à tração, à compressão e ao impacto, além de melhorar a resistência à fadiga. Selecionando-se dentre as diversas fibras disponíveis, geometrias e polímeros, as propriedades mecânicas e de durabilidade podem ser adequadas a uma aplicação particular. A partir das principais fibras comercialmente disponíveis como o vidro (G), a aramida (A) e o carbono (C), confeccionam-se, respectivamente, os compósitos reforçados, denominados internacionalmente por *GFRP (Glass Fibre Reinforced Polymer)*, *AFRP (Aramid Fibre Reinforced Polymer)* e *CFRP (Carbon Fibre Reinforced Polymer)*.

Polímeros reforçados com fibras oferecem vantagens únicas em muitas aplicações, onde materiais convencionais não conseguem fornecer desempenho e vida útil satisfatórios. A alta relação resistência/peso próprio e a excelente resistência à corrosão eletroquímica tornam os materiais compósitos muito atraentes para aplicações estruturais [Beber, 1999a].

Os polímeros reforçados com fibras são capazes de suportar tensões mais elevadas do que cada componente individualmente, porque matriz e fibras interagem na redistribuição das tensões provenientes de solicitações externas. A maneira como as tensões são distribuídas dentro da estrutura do compósito, depende da natureza e eficiência da aderência. Em alguns casos, agentes de acoplamento são empregados para melhorar o desempenho da aderência entre fibra e matriz visto que esta interface está frequentemente sob um estado de tensões de cisalhamento, quando o compósito está sob carga [ACI, 1996; Hollaway & Leeming, 1999].

Muitos polímeros reforçados com fibras apresentam propriedades de amortecimento interno [ACI, 1996]. Isto conduz a uma melhor absorção de energia dinâmica, reduzindo a transmissão para estruturas adjacentes. Este aspecto do comportamento dos materiais compósitos pode ser extremamente relevante, principalmente para aplicações em estruturas tais como pontes e viadutos, sujeitas à ação de cargas móveis.

As propriedades dos compósitos dependem das propriedades da fibra e da matriz, da proporção de cada uma delas e da orientação das fibras. As fibras podem ser orientadas em qualquer direção para melhorar a resistência e rigidez na direção desejada. As virtudes estruturais dos materiais compósitos dependem principalmente do tipo e da quantidade de fibras utilizadas na direção medida. De acordo com Hollaway & Leeming (1999), existe uma

grande variedade de configurações para a orientação das fibras, que podem ser divididas em três grandes grupos:

- (i) **Unidirecional:** todas as fibras alinhadas em uma única direção;
- (ii) **Bidirecional:** as fibras estão alinhadas perpendicularmente em duas direções;
- (iii) **Aleatória:** as fibras são distribuídas aleatoriamente nas várias direções em um mesmo plano.

2.4.1 Propriedades dos compósitos de FRP

Os materiais compósitos não são homogêneos. Suas propriedades dependem de vários fatores, sendo o mais importante o tipo da fibra, quantidade (fração volumétrica) e sua configuração na matriz polimérica. Os materiais compósitos exibem um comportamento elástico linear até a ruptura e não apresentam patamar de escoamento ou deformações plásticas. Estes materiais tendem a apresentar pequena deformação de ruptura (menor que 3%) [Juvandes et al, 1996; Hollaway & Leeming, 1999].

2.4.1.1 Resistência e rigidez

As fibras de carbono são predominantemente utilizadas por permitirem que sejam alcançadas grande resistência e rigidez. A maioria dos compósitos de fibra de carbono (laminados, mantas e tecidos), comercializados atualmente, apresenta um módulo de elasticidade que pode variar entre 230 e 640 GPa, enquanto que a resistência varia entre 1500 e 5000 MPa.

2.4.1.2 Fadiga

A resistência à fadiga dos compósitos de fibra de carbono é geralmente muito superior à resistência dos metais e outros compósitos. Este é o caso particular de compósitos unidirecionais, solicitados na direção das fibras. Entretanto, a resistência à fadiga pode ser

reduzida se a resistência da matriz não é suficiente ou quando a solicitação é oblíqua à direção das fibras.

2.4.1.3 Fluência

Os polímeros são materiais viscoelásticos e apresentam deformação contínua sob tensão. Diante destas circunstâncias, e particularmente sob altas temperaturas, o desempenho quanto à fluência dos compósitos requer atenção especial. No caso dos compósitos de fibra de carbono, para solicitações na direção das fibras, seu comportamento quanto à fluência é comparável aos aços de baixa relaxação.

2.4.1.4 Coeficiente de expansão térmica

A expansão térmica dos materiais compósitos depende de uma série de fatores, do tipo de fibra, tipo de matriz, geometria da fibra e fração volumétrica. Em função desta versatilidade, os materiais compósitos podem ser construídos para atender a uma necessidade específica.

2.4.2 Compósitos de CFRP

A evolução na tecnologia de novos materiais tornou possível substituir as clássicas chapas de aço para reforço de estruturas de concreto por materiais de alta qualidade. Isto conduziu a idéia de se utilizar mantas, tecidos ou laminados de fibras unidirecionais e contínuas em matrizes de resina epóxi. Os polímeros reforçados com fibras de carbono ou *carbon fibre reinforced polymers (CFRP)* destacam-se como os mais apropriados para o reforço estrutural de elementos de concreto armado por causa do alto desempenho mecânico das fibras de carbono, permitindo uma significativa redução nas dimensões dos elementos empregados para este fim.

Os compósitos de *CFRP* destacam-se, principalmente porque:

- (i) As fibras de carbono apresentam as maiores relações entre resistência e rigidez com seu peso próprio;
- (ii) As fibras de carbono mantêm a alta resistência e rigidez sob temperaturas elevadas;
- (iii) À temperatura ambiente as fibras de carbono não são afetadas pela umidade e ação de vários solventes, ácidos e bases;
- (iv) As fibras de carbono apresentam uma diversidade de características físicas e mecânicas, permitindo que os compósitos apresentem grande versatilidade para diversas aplicações em engenharia;
- (v) Os processos de fabricação de fibras e compósitos encontram-se altamente desenvolvidos, são relativamente baratos e apresentam uma excelente relação custo-benefício.

Swamy et al (1997) comentam que a aplicação de mantas, tecidos ou laminados de compósitos de *CFRP* nas faces tracionadas de vigas de concreto armado, ao invés de chapas de aço, apresenta vantagens significativas, principalmente quando as condições operacionais são desfavoráveis. De fácil manuseio e bastante leves, as mantas/laminados podem ser coladas sem a necessidade de escoramento pesado e caro.

Atualmente, os compósitos de *CFRP* destinados ao reforço estrutural têm sido comercializados sob a forma de sistemas de reforço, ou seja, o sistema não inclui somente os materiais (fibras e resina), mas também toda pesquisa e desenvolvimento por trás do produto, suporte técnico, manuais de aplicação e treinamento [Nanni, 1999]. No âmbito desta pesquisa, estudar-se-ão dois sistemas de reforço estrutural que empregam compósitos de *CFRP*: sistemas pré-fabricados e sistemas curados *in situ*.

2.4.2.1 Sistemas pré-fabricados

Consiste na substituição das tradicionais chapas metálicas por sistemas laminados semi-rígidos de *CFRP* do tipo unidirecional. Estes sistemas são resultado da impregnação de um conjunto de feixes ou camadas contínuas de fibras por uma resina termorrígida,

consolidadas por um processo de pultrusão com controle da espessura e largura do compósito [Juvandes, 1999].

Pultrusão é um processo contínuo que combina ações de tração e extrusão para a produção de um compósito de *FRP* com seção final constante, como pode ser observado no diagrama esquemático da figura 2-2.

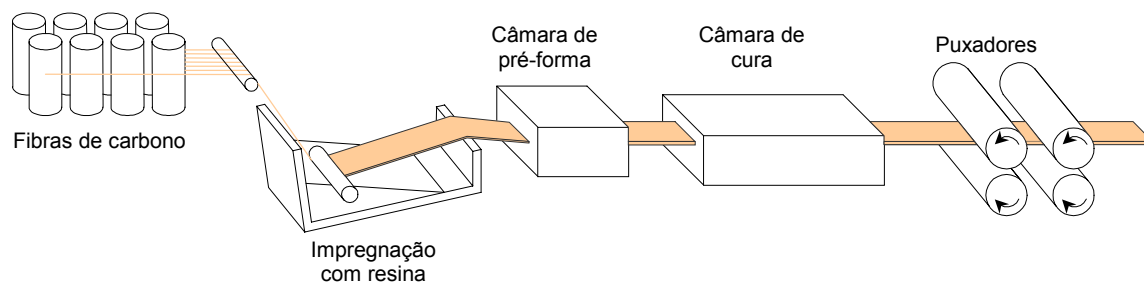


FIGURA 2-2 — Diagrama esquemático do processo de pultrusão

Os fios contínuos, embebidos em resina, são esticados e passados por um molde aquecido, para processar a cura e a forma do *FRP* [Juvandes, 1999]. Por razões técnicas, o processo de pultrusão permite que o volume máximo de fibras contidas no compósito seja da ordem de 70%. Assim, como o módulo de elasticidade e a resistência à tração da matriz podem ser desprezados, os valores destas propriedades do laminado curado representam aproximadamente 70% das propriedades das fibras [Keble & Scherer, 1999].

2.4.2.2 *Sistemas curados in situ*

Trata-se de um sistema constituído por fibras contínuas, sob a forma de fios, mantas ou tecidos, em estado seco ou pré-impregnado, aplicados sobre um adesivo epóxi previamente espalhado sobre a superfície do elemento de concreto a ser reforçado [Juvandes, 1999]. A figura 2-3 apresenta um esquema do processo de fabricação das mantas flexíveis de fibras de carbono. O produto final deste processo constitui-se em um conjunto de fios contínuos de fibra de carbono alinhadas e embebidas em uma resina parcialmente curada. Finalmente as mantas são enroladas e prontas para a aplicação [Callister Jr, 1997].

Segundo este conceito, o sistema transforma-se em compósito de *FRP* somente após a execução do reforço, isto é, após sua polimerização, ou cura, *in situ* e deve apresentar comportamento semelhante ao dos laminados pré-fabricados, desde que a superfície sob reforço esteja convenientemente regularizada [Meier, 1997].

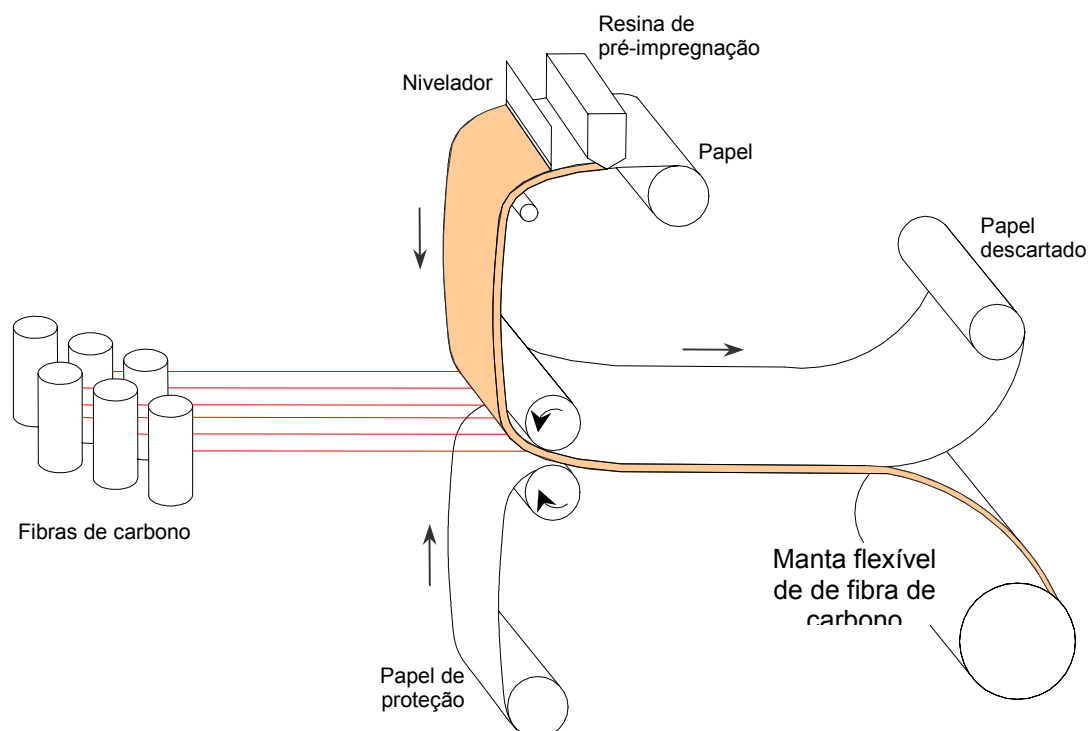


FIGURA 2-3 — Diagrama esquemático do processo de fabricação do sistema curado *in situ*

A seleção de um sistema de reforço com compósitos de *FRP* envolve, além do compósito, o estabelecimento do agente responsável pela sua aderência ao elemento de concreto sendo reforçado [Juvandes, 1999]. Estes sistemas empregam adesivos que têm sido formulados especificamente para otimizar seu comportamento estrutural, sob as mais variadas condições ambientais a que possam ser expostos.

No caso dos sistemas pré-fabricados, o agente adesivo é um material distinto do compósito de *FRP*. Nos sistemas curados *in situ*, o agente adesivo é a própria resina de impregnação das fibras e de polimerização do compósito. Este adesivo, também

denominado resina de saturação, desempenha o papel de matriz do compósito e promove a transferência de esforços entre as fibras e destas para a superfície onde está colada. Nos dois sistemas, geralmente empregam-se resinas de natureza epóxi.

De acordo com Juvandes (1999), quanto ao critério de agrupamento das fibras no plano, distinguem-se dois casos, apresentados no quadro 2-2.

QUADRO 2-2 — Descrição das mantas e tecidos empregados nos sistemas *FRP* curados *in situ*

Designação		Descrição	Orientação das fibras	Estado
MANTAS <i>[Sheets]</i>		Disposição de faixas contínuas e paralelas de fibras sobre uma rede de proteção 200 – 300 g/m ²	unidirecionais	secas
				pré-impregnadas [i]
TECIDOS	<i>Woven roving</i> [ii]	Entrelaçamento direcionado de dois fios ou faixa de fibras [600 – 800 g/m ²]	bidirecionais	secos
	<i>Mat</i> [ii]	Espalhamento aleatório das fibras em uma esteira rolante que, depois são pulverizados com resina para adquirir consistência	multidirecional	
	<i>Cloth</i> [ii]	Fios contínuos tecidos por processo têxtil convencional [150 – 400 g/m ²]	uni, bi ou multidirecional	pré-impregnados [i]

[i] aplicação de uma camada suave de resina sem a cura total (*prepreg*);

[ii] designação internacional para o arranjo das fibras no plano.

Apesar de não caracterizarem formulações do tipo adesivo, destacam-se ainda, a imprimação do substrato através do *primer* e a regularização da superfície com *putty*, produtos com a capacidade de complementar e potencializar o desempenho destes adesivos. O *primer* apresenta a característica de penetrar na superfície de concreto por capilaridade, de modo a melhorar a propriedade adesiva da superfície, para a recepção da resina de saturação ou do adesivo. Por sua vez, o *putty* elimina pequenas irregularidades na superfície com o intuito de evitar o aprisionamento do ar e garantir uma superfície uniforme para a aplicação do compósito. Estes produtos são indispensáveis, principalmente nas aplicações de sistemas curados *in situ* [Juvandes, 1999]. Um panorama geral das principais características e alguns aspectos típicos de instalação de cada um destes sistemas é apresentado no quadro 2-3.

QUADRO 2-3 — Principais características e aspectos de instalação de sistemas de reforços com *CFRP*

Característica	Sistemas Pré-fabricados	Sistemas curados <i>in situ</i>
Forma	tiras ou laminados	mantas ou tecidos
Espessura	1,0 a 1,5 mm	0,1 a 0,5 mm
Utilização	colagem dos elementos pré-fabricados com adesivo	colagem e impregnação das mantas e tecidos com resina (moldado e curado <i>in situ</i>)
Aspectos típicos da instalação	salvo condições especiais, aplicável somente em superfícies planas	independente da forma da superfície, necessidade de arredondamento dos cantos
	adesivo tixotrópico para colagem	resina de baixa viscosidade para colagem e impregnação
	geralmente uma única camada	freqüentemente várias camadas
	rigidez do compósito e tixotropia do adesivo permitem a tolerância de algumas imperfeições na superfície reforçada	aplicação do <i>putty</i> é necessária para prevenir o descolamento por imperfeição da superfície
	aplicação simplificada, maior garantia de qualidade (sistema pré-fabricado)	versatilidade de aplicação, necessita de rigoroso controle de qualidade
	controle de qualidade (má aplicação e mão-de-obra de baixa qualidade = perda da ação compósita entre o reforço e a estrutura, problemas na integridade do reforço a longo prazo)	

2.4.3 Vantagens e desvantagens do reforço estrutural com compósitos de *CFRP*

Todos os problemas estruturais apresentam mais de uma solução. A escolha de uma ou outra solução dependerá, em última instância, de uma avaliação do custo das diversas alternativas. Durante esta avaliação, deve-se garantir que a estimativa total de custos considere a vida útil da estrutura e não seja limitada tão somente à seleção da alternativa que apresente o menor custo inicial. O custo total deve incluir futuras manutenções, bem como todos os custos devidos às perdas de produção ou interrupção no tráfego, por exemplo [Hollaway & Leeming, 1999].

Dentre todas as técnicas de reforço conhecidas e aplicadas atualmente, a técnica de chapa colada é a que mais se assemelha a técnica que emprega compósitos de fibra de carbono. No entanto, o reforço com compósitos não deve ser considerado simplesmente como uma forma melhorada da técnica da chapa colada com resina epóxi, mas sim uma nova e promissora alternativa de reforço que agrega uma série de vantagens e benefícios através da sua utilização.

2.4.3.1 Resistência

Os compósitos podem ser projetados com componentes visando atender à soluções particulares. Isto permite que seja possível variar as proporções de fibra e resina, modificando as propriedades do compósito para atenderem a uma aplicação particular. Para aplicações no reforço estrutural, vêm sendo utilizados compósitos cujos valores de resistência têm sido cerca de 3 a 5 vezes maior que do aço.

2.4.3.2 Peso próprio

A densidade dos compósitos representa apenas cerca de 20% da densidade do aço. Além de uma sensível diminuição nos custos com transporte, a grande economia acontece durante a instalação, uma vez que se pode dispensar equipamentos pesados para seu posicionamento e escoramento. Os adesivos empregados são suficientes para manter o compósito em posição até o final do processo de cura. Contudo, para a técnica de chapa colada, a fixação, através de parafusos, representa uma enorme parcela dos custos envolvidos.

2.4.3.3 Transporte

O peso dos compósitos é tão baixo que, por exemplo, uma chapa de material compósito com 20 metros de comprimento pode ser carregada por apenas um homem. Algumas chapas podem ser enroladas em bobinas com diâmetro da ordem de 1,5 m, podendo, assim, ser facilmente transportadas em veículos de pequeno porte.

2.4.3.4 Versatilidade de projeto

O comprimento de chapas de aço para o reforço externo é limitado em função do seu peso próprio e dificuldades de manuseio. Não é possível a execução de solda *in situ*, uma vez que os adesivos utilizados não são capazes de suportar altas temperaturas. Isto conduz à necessidade da execução de emendas de custo elevado. Contrastando com esta realidade, os

compósitos não possuem limitação de comprimento, podendo, ainda, ser aplicados em número variável de camadas para atender à uma situação particular.

2.4.3.5 Facilidade de aplicação

O reforço através de chapas de aço coladas com resina epóxi, apresenta uma série de peculiaridades quanto à sua aplicação, principalmente relacionadas à preparação das superfícies com irão compor o reforço. O mesmo não se repete para a aplicação de materiais compósitos, onde sua aplicação é bem mais simples, necessitando apenas de uma supervisão criteriosa.

2.4.3.6 Menor necessidade de fixação

Mantas flexíveis e laminados pré-fabricados de material compósito apresentam menores espessuras que chapas de aço com capacidade equivalente. Isto ajuda a reduzir efeitos das tensões que conduzem ao descolamento do reforço, diminuindo a necessidade da utilização de elementos para a ancoragem e fixação dos reforços. Parte deste fenômeno está associada à rigidez axial do reforço. Comparações entre resultados experimentais e teóricos das tensões atuantes nos reforços, em vigas reforçadas com chapa de aço colada e compósitos de *CFRP*, permitiram identificar que as tensões nos compósitos seriam menores, principalmente em função dos seguintes aspectos [Hollaway & Leeming, 1999]:

- (i) Capacidade do compósito de se ajustar mais facilmente ao perfil longitudinal da superfície de concreto;
- (ii) As ondulações no reforço, provocadas pela excentricidade da força no reforço em relação ao plano do adesivo;
- (iii) As tensões na interface (ou cisalhamento longitudinal) são menores nos reforços com *CFRP* uma vez que, quanto mais próximo o reforço da superfície de concreto, menor é a tensão de cisalhamento longitudinal desenvolvida.

2.4.3.7 Durabilidade

Diferentemente das chapas de aço, os materiais compósitos não sofrem deterioração proveniente da ação de agentes agressivos, químicos, físicos ou biológicos. No entanto, atenção especial deve ser dada à ação da radiação ultravioleta.

2.4.3.8 Resistência à ação do fogo

Os materiais compósitos apresentam menor condutividade térmica que o aço, conseqüentemente reduzindo o efeito do fogo nas camadas internas de adesivo. O material compósito carboniza ao invés de queimar, mantendo o reforço operante por um período de tempo maior do que o reforço com chapa de aço colada. A resistência à ação de elevadas temperaturas sobre os compósitos de *CFRP* depende fundamentalmente da resina, uma vez que a fibra de carbono, individualmente, é capaz de manter suas propriedades mecânicas e de resistência até cerca de 1000° C [fib, 2000].

Meier (1997) apresenta resultados de ensaios à flexão realizados com vigas reforçadas com chapa de aço colada e laminados pré-fabricados de fibra de carbono em um grande forno horizontal. O forno foi aquecido de acordo com a norma ISO 834 até uma temperatura de cerca de 650 °C. O desprendimento da chapa de aço aconteceu após cerca de oito minutos. Durante o ensaio das vigas reforçadas com chapas de fibra de carbono, a superfície da chapa começou a queimar ocasionando uma lenta diminuição da seção transversal do reforço conduzindo a uma perda de rigidez. O desprendimento da chapa de fibra de carbono aconteceu após uma hora de exposição. O maior tempo levado para o desprendimento da chapa fibra de carbono, quando comparado ao da chapa de aço, deve-se, principalmente à baixa condutividade térmica da chapa na direção lateral.

2.4.3.9 Manutenção

Reforços executados com chapas de aço coladas, demandam uma manutenção periódica através de pinturas protetoras, conduzindo inevitavelmente a interrupções de tráfego, em pontes, por exemplo, e em elevados custos operacionais. Os materiais

compósitos não necessitam de manutenção periódica, o que diminui sensivelmente os custos globais de adoção deste sistema de reforço.

2.4.3.10 Menor tempo de interdição

Muitas das vantagens práticas apresentadas acima se combinam, permitindo que o tempo de instalação de sistemas de reforço com compósitos possa ser diminuído significativamente, principalmente quando comparado ao sistema de reforço com chapas de aço. Assim como os custos de instalação, devido ao tempo, serão menores, da mesma forma, minimiza-se a interrupção de tráfego, por exemplo, ou a interdição de uma edificação.

2.4.3.11 Protensão

A possibilidade de se protender os materiais compósitos cria novas perspectivas para a sua aplicação. A aplicação de materiais compósitos pode ser utilizada para substituir sistemas de protensão danificados, aumentar a resistência ao cisalhamento pela indução de tensões longitudinais. Ainda, a formação de fissuras pode ser inibida, e o estado limite de utilização da estrutura aumentado.

Os materiais compósitos apresentam uma intolerância quanto à preparação da superfície. Uma superfície irregular pode conduzir à possibilidade de modos de ruptura frágeis, associados ao destacamento do reforço. [Swamy & Mukhopadhyaya, 1995]. Além disso, o custo dos materiais compósitos é, ainda, maior do que outros materiais de reforço, em especial as chapas de aço com a mesma capacidade de resistência. Desta forma, o custo é, portanto, o fator mais influente quando se avaliam os méritos de técnicas de reforço alternativas. Particularmente, para o caso de novas técnicas, o custo tende a diminuir na medida em que um número cada vez maior de fornecedores e empresas entram neste mercado. A comparação de custos entre as diversas técnicas de reforço disponíveis deve considerar não somente o custo dos materiais, mas principalmente, a mão-de-obra e os custos operacionais que envolvem cada uma delas. A aplicação de materiais compósitos tem demonstrado ser a solução mais econômica em virtualmente todos os casos [Hollaway & Leeming, 1999].

CAPÍTULO 3

— COMPORTAMENTO ESTRUTURAL —

As implicações estruturais, resultantes da aplicação dos compósitos de fibra de carbono no reforço estrutural de peças fletidas de concreto armado, são apresentadas e discutidas neste capítulo. Este conjunto de informações tem por objetivo fundamentar a presente tese através de uma compreensiva revisão das principais contribuições, teóricas e experimentais, acerca do assunto.

3.1 HISTÓRICO DAS PRINCIPAIS INVESTIGAÇÕES

O início das investigações sobre os reforços estruturais empregando compósitos de fibra de carbono, datam de meados da década de 80. Durante este período, centros de pesquisa, espalhados por todo o mundo, concentraram seus esforços no desenvolvimento de diversos programas de pesquisa, visando investigar uma série de aspectos relacionados a esta nova técnica de reforço estrutural.

As primeiras pesquisas sobre a aplicação de compósitos de fibra de carbono no reforço de estruturas de concreto armado aconteceram no *EMPA - Swiss Federal Materials Testing and Research Laboratories*, na Suíça, no início da década de 80, com os trabalhos de Meier e Kaiser [McKenna & Erki, 1994; Meier, 1997; Hollaway & Leeming, 1999]. Neste programa experimental, os reforços foram executados utilizando laminados pré-fabricados de

compósito de *CFRP*, colados sobre a superfície de concreto, empregando os mesmos adesivos epóxi utilizados, até então, para o reforço com chapa de aço colada. Os resultados demonstraram o excelente desempenho desta técnica de reforço, embora todas as vigas apresentassem taxas de armadura reduzidas; o que contribuiu para que os incrementos de resistência sejam mais pronunciados [Beber, 1999a].

Este programa experimental identificou, também, aumentos significativos na rigidez das vigas reforçadas. A utilização dos compósitos de fibra de carbono reduziu a abertura de fissuras, além de distribuí-las de forma mais uniforme ao longo do comprimento da viga. A partir das observações deste programa experimental, foi possível identificar os seguintes modos de ruptura:

- (i) Falha por tração do compósito de *CFRP* de forma frágil e repentina;
- (ii) Esmagamento do concreto;
- (iii) Lento e contínuo destacamento do laminado ocasionado pela falta de regularidade da superfície de concreto (*continuous peel off*);
- (iv) Destacamento repentino do laminado devido ao deslocamento relativo entre dois lados de uma fissura de cisalhamento (*sudden peel off*);
- (v) Cisalhamento horizontal do concreto na região tracionada;
- (vi) Cisalhamento interlaminar do compósito.

Apesar de defasadas alguns anos em relação às pesquisas desenvolvidas até então na Europa, as primeiras investigações na América do Norte ocorreram a partir do início da década de 90 [Buyukosturk et al, 1999].

Ritchie et al (1991) realizaram ensaios exploratórios em vigas de concreto armado reforçadas com laminados de fibra de vidro, aramida e carbono. O principal objetivo deste estudo era determinar a magnitude dos incrementos de resistência e rigidez obtidos através do reforço estrutural com materiais compósitos. Este estudo incluiu, ainda, a investigação de procedimentos analíticos para a determinação das cargas e modos de ruptura, cujos valores situaram-se muito próximos dos valores experimentais.

Outro importante efeito identificado neste programa experimental está relacionado ao processo de formação de fissuras. Nas vigas sem reforço, as fissuras apresentam-se muito

espaçadas e com grande abertura. Por outro lado, nas vigas reforçadas, o espaçamento entre fissuras diminui sensivelmente, assim como sua abertura, tornando este efeito especialmente atraente na melhoria do desempenho em serviço [Beber, 1999b]. Além disso, uma diminuição significativa na abertura de fissuras tem, também, um impacto altamente positivo sobre a durabilidade das estruturas de concreto armado.

A aplicação de compósitos de fibra de carbono no reforço de estruturas de concreto conduz a diversas implicações estruturais. O problema está relacionado ao comportamento puramente elástico linear dos compósitos de fibra de carbono, resultando em perda de ductilidade [Spadea & Swamy, 1997].

A influência dos compósitos de fibra de carbono sobre os mecanismos de ruptura, ductilidade e rigidez de elementos estruturais de concreto reforçados foi examinada por Triantafillou & Plevris (1992). Os mecanismos de ruptura, observados neste programa experimental, foram:

- (i) Escoamento da armadura seguido da ruptura do reforço à tração;
- (ii) Escoamento da armadura associado ao esmagamento do concreto;
- (iii) Propagação repentina de fissuras no adesivo (a maioria dos adesivos é frágil);
- (iv) *Peeling off* ocasionado por fissuras de cisalhamento no concreto;
- (v) Arrancamento do concreto entre armadura longitudinal e o reforço.

O fenômeno de *peeling off* representa uma falha típica em vigas de concreto reforçadas externamente com compósitos de fibra de carbono [Triantafillou & Plevris, 1992; He et al, 1997; Beber, 1999a]. Esta falha está associada à combinação de tensões tangenciais e de tração, conduzindo à separação do reforço de forma frágil e abrupta [Täljsten, 1999].

De acordo com Triantafillou & Plevris (1992), o fenômeno de *peeling off* conduz a uma limitação na espessura do reforço, ocasionando uma ruptura frágil sem que seja possível alcançar a máxima resistência e ductilidade. No entanto, o projeto de sistemas de ancoragem adequados pode aumentar significativamente a capacidade de carga de uma estrutura sem reduzir excessivamente sua ductilidade [Spadea & Swamy, 1997; Neubauer & Rostasy, 1997b; Swamy & Mukhopadhyaya, 1999; Fortes & Padaratz, 2000].

As diretrizes básicas para o projeto de reforço com compósitos de fibra de carbono seguem os mesmos princípios do projeto de estruturas convencionais de concreto armado. Entretanto, o projeto de ancoragem requer atenção especial [Neubauer & Rostasy, 1997]. O comportamento de reforços com compósitos de fibra de carbono é similar ao comportamento de elementos estruturais reforçados com chapa de aço colada. O início da falha de aderência é determinado pela energia de fratura do concreto ou pela energia de fratura interlaminar do elemento de reforço [Brosens & Van Gemert, 1997; Neubauer & Rostasy, 1997b].

Täljsten (1999) concentrou seus esforços no desenvolvimento de procedimentos analíticos para a determinação das tensões normais e tangenciais que conduzem a modos de ruptura prematuros, notadamente o *peeling off*. Täljsten demonstrou que a distância do reforço ao apoio é fator preponderante para a ocorrência deste tipo de ruptura. A espessura do reforço, sua rigidez e a espessura do adesivo afetam, também, este comportamento.

Um método para prever a distribuição de tensões normais e de cisalhamento na interface entre o reforço e o adesivo, ao longo de todo seu comprimento e, particularmente em suas extremidades, foi desenvolvido por Malek et al (1998). Este método foi desenvolvido com base em um comportamento elástico linear do concreto, considerando, ainda, o efeito das fissuras de flexão e a natureza anisotrópica dos compósitos. Os resultados obtidos a partir da aplicação do modelo analítico proposto por Malek et al (1998), apresentaram boa concordância com resultados numéricos e experimentais.

As pesquisas realizadas pelos japoneses diferem um pouco em relação àquelas que vêm sendo realizadas por europeus e norte-americanos. Uma modificação no sistema de reforço com laminados de compósitos de *CFRP*, até então largamente empregado na Europa, aconteceu através da aplicação de sistemas curados *in situ* (mantas flexíveis e tecidos). O Japão está localizado em uma região de grande atividade sísmica. Os sistemas curados *in situ* apresentam uma série de vantagens, principalmente nas atividades de *seismic retrofitting* de estruturas sujeitas à ação de solicitações oriundas de terremotos.

As mantas e tecidos de fibra de carbono foram desenvolvidos no início da década de 90. O reflexo da aceitação deste tipo de reforço pode ser demonstrado pelos mais de 1000 projetos de reforço já realizados. Em 1996, por exemplo, o maior fabricante de sistemas curados *in situ* do Japão aplicou cerca de 372.000 m² deste material [Emmons et al, 1998].

Koga & Ohtsu (1997) realizaram um estudo bastante minucioso sobre sistemas de reforço com compósitos de fibra de carbono. Neste trabalho, apresentaram a problemática dos abalos sísmicos, que conduzem à necessidade de *retrofitting* de estruturas de concreto armado, localizadas em regiões de grande atividade sísmica. O trabalho de Koga e Ohtsu discute alguns aspectos tecnológicos que envolvem a aplicação deste sistema de reforço, bem como resultados experimentais, passando, ainda, pela apresentação de diversos exemplos de aplicação deste sistema de reforço.

A utilização de sistemas curados *in situ* permite, ainda, variar o número de camadas, bem como a orientação das fibras, visando atender a uma solução particular. Beber (1999a), afirma que esta possibilidade permite maior amplitude na aplicação desta técnica de reforço, tornando possível obter-se maiores incrementos nas cargas de ruptura e conseqüentemente dotar o elemento de maior rigidez.

O programa experimental desenvolvido por Norris et al (1997) investigou o comportamento de vigas de concreto armado reforçadas à flexão e ao cisalhamento. O efeito do reforço foi considerado para diferentes situações de orientação das fibras. Foram utilizados três diferentes tipos de sistemas de reforço. Observou-se que, para as fibras dispostas perpendicularmente em relação às fissuras, existe um aumento significativo na rigidez e resistência da viga, tendo como resultado uma ruptura frágil devido à ruptura do concreto na região próxima aos apoios. Quando as fibras foram posicionadas obliquamente em relação às fissuras, observaram menores incrementos em resistência e rigidez, contudo apresentando uma ruptura mais dúctil.

Os estudos sobre a aplicação de compósitos de *CFRP* no reforço ao cisalhamento de vigas de concreto armado têm sido limitados e, de certa forma entremeados de certa controvérsia. Verifica-se que, apesar da existência de alguns estudos sobre o reforço ao cisalhamento de vigas de concreto, os procedimentos de projeto e verificação estão, ainda, distantes de um consenso [Triantafillou, 1998]. Os modelos analíticos propostos são variados e, em alguns casos, contraditórios.

O reforço ao cisalhamento e, principalmente, o efeito da orientação das fibras sobre a ductilidade de vigas reforçadas com mantas flexíveis de fibra de carbono foram, também, investigados por Triantafillou (1998). Nos reforços ao cisalhamento, a disposição diagonal das mantas é mais eficiente que a combinação de duas camadas, nas direções horizontal e

vertical, reduzindo as solicitações sobre os estribos, para um mesmo nível de carregamento. Esta configuração do reforço apresenta a mesma facilidade de aplicação que as mantas orientadas verticalmente, porém utiliza menos material que a combinação de duas camadas [Hutchinson et al, 1997]. A influência da orientação das fibras sobre o aumento da resistência ao cisalhamento foi também demonstrada por Chajes et al (1995).

Os mecanismos de aderência e transferência de esforços entre os compósitos de *FRP* e o concreto foram investigados, também, por Chajes et al (1996). O programa experimental demonstrou que a preparação da superfície e a resistência à compressão do concreto têm influência significativa sobre o desempenho da ligação concreto/compósito. O estudo confirmou, ainda, a existência de um comprimento de ancoragem efetivo, além do qual nenhum incremento de carga é alcançado. A existência de um comprimento de ancoragem efetivo foi também corroborada através dos experimentos e modelos analíticos propostos por Maeda et al (1997), Täljsten (1998), De Lorenzis et al (2000).

Contudo, de forma contraditória, Brosens & Van Gemert (1997) demonstraram que comprimentos de ancoragem maiores conduzem, igualmente, a maiores cargas de ruptura. No entanto, este mesmo estudo salienta que esta influência diminui sensivelmente para grandes comprimentos de ancoragem. Este estudo recomenda, ainda, que para aplicações computacionais, pode-se considerar uma distribuição linear de tensões de aderência no compósito. Embora um número considerável de programas experimentais tenha sido conduzido até o momento, não existe, porém, consenso sobre modelos teóricos (analíticos e numéricos) para a determinação da resistência da ligação concreto/compósito e de um comprimento de ancoragem efetivo [De Lorenzis et al, 2000].

Para atingir-se a melhor aderência, a superfície de concreto deve ser preparada adequadamente, mantendo-a o mais regular possível [Swamy & Mukhopadhyaya, 1995; Chajes et al, 1996; Beber, 1999a]. Este procedimento irá garantir que a espessura de adesivo seja relativamente uniforme, tornando mais eficiente a transferência de tensões entre o reforço e o concreto, permitindo assim seu funcionamento como um sistema integrado [Hollaway & Leeming, 1999; De Lorenzis et al, 2000]. Embora esta técnica seja menos sensível à mão-de-obra do que a técnica de chapa colada, o procedimento de aplicação dos compósitos de fibra de carbono requer uma supervisão apropriada para garantir que todas as etapas sejam cumpridas adequadamente [Robery & Innes, 1997, Beber, 1999a].

A análise numérica, através do método dos elementos finitos, tem demonstrado ser uma ferramenta eficiente para a simulação do comportamento de elementos de concreto armado reforçados com compósitos de fibra de carbono [Arduini et al, 1997; He et al, 1997; Beber, 1999a]. Segundo He et al (1997), a análise bi-dimensional, que considera as tensões de cisalhamento de forma mais realista, fornece resultados mais precisos. Arduini et al (1997) desenvolveu modelos numéricos e analíticos para simular o comportamento de vigas de concreto armado reforçadas à flexão com compósitos de fibra de carbono, demonstrando que, como resultado do reforço, o modo de ruptura pode modificar-se de dúctil para frágil, sendo de extrema importância a sua consideração.

Diversos procedimentos analíticos para a previsão das cargas de ruptura de vigas de concreto armado reforçadas à flexão com compósitos de fibra de carbono têm sido desenvolvidos [An et al, 1991; Hota et al, 1997; Ahmed & Van Gemert, 1999; Beber, 1999a; El-Refaie et al, 1999]. As hipóteses de manutenção das seções planas e aderência perfeita entre o reforço e concreto para a previsão das cargas e modos de ruptura são, ainda, corroboradas através da comparação entre resultados teóricos e experimentais [El-Refaie et al, 1999].

As investigações realizadas até o momento identificaram uma série de vantagens da aplicação dos compósitos de fibra de carbono para o reforço de vigas de concreto armado. No entanto, a maioria dos programas experimentais conduzidos tem avaliado, principalmente o desempenho estrutural deste tipo de reforço. Existe um consenso entre diversos autores que, antes que esta alternativa de reforço estrutural possa ser empregada em larga escala, estudos devem ser conduzidos objetivando determinar a durabilidade dos reforços executados com compósitos de fibra de carbono em ambientes agressivos, bem como estudar o seu comportamento frente à ação de cargas cíclicas [Chajes et al, 1995; Beber, 1999a]. Além disso, alguns programas experimentais têm se dedicado ao desenvolvimento de ensaios que visam determinar o efeito de altas temperaturas sobre a integridade dos reforços estruturais com compósitos de fibra de carbono, bem como alternativas de proteção [Lima, 2001].

Yagi et al (1999) realizaram um estudo sobre a durabilidade de reforços executados com sistemas de reforço curados *in situ*. Este estudo identificou uma série de vantagens deste tipo de reforço frente à ação de agentes agressivos. Em ensaios acelerados de durabilidade,

através de espectrometria com radiação infravermelha, nenhuma modificação foi verificada em relação à resistência à tração e a aderência entre o reforço e o concreto. A deterioração da resina epóxi dos compósitos de *CFRP* foi somente verificada superficialmente, sem que esta progredisse para as camadas mais internas. Verificou-se também que os compósitos de *CFRP* apresentam excelente resistência aos ciclos de gelo e degelo. Adicionalmente, foram obtidos excelentes resultados nos testes ao ataque de álcalis e sais, bem como ensaios de fadiga, comprovando a durabilidade dos compósitos de fibra de carbono para aplicações estruturais.

Toutanji & Gómez (1997) avaliaram a durabilidade de vigas de concreto armado reforçadas com mantas flexíveis de fibra de carbono. O programa experimental investigou o desempenho de dois tipos diferentes de mantas e três diferentes tipos de adesivo epóxi. Os resultados demonstraram uma pequena diminuição no desempenho dos protótipos submetidos aos ensaios de envelhecimento acelerado, em função da deterioração do adesivo epóxi.

3.2 APLICAÇÕES DE COMPÓSITOS DE *CFRP*

De todas as aplicações dos reforços com chapas de fibra de carbono disponíveis na literatura, a maioria ocorreu na Europa, principalmente na Suíça, onde o conceito desta técnica de reforço foi primeiramente proposto e desenvolvido.

A primeira aplicação foi o reparo, em 1991, da ponte *Ibach*, localizada na cidade de Luzerna [McKenna & Erki, 1995]. Esta ponte apresentava uma seção do tipo caixão e comprimento total de 228 m. A necessidade de recuperação deveu-se à ocorrência de um acidente envolvendo os cabos de protensão, que resultou na diminuição da capacidade portante da ponte. Estimou-se que, para a recuperação da ponte, seriam necessários cerca de 175 kg de chapas de aço. No entanto, apenas 6,2 kg de compósito de *CFRP* foram utilizados. Adicionalmente, todo o trabalho de recuperação foi executado a partir de uma plataforma móvel, dispensando, assim a necessidade da instalação de andaimes e escoras.

A estrutura de cobertura do hospital *Kings College*, em Londres, foi reforçada utilizando laminados pré-fabricados de fibra de carbono [Holloway & Leeming, 1999]. Um pavimento

extra foi adicionado ao prédio, sendo necessário o reforço da cobertura. A instalação do reforço aconteceu de forma rápida e conveniente. Cerca de 2 kg de compósito de *CFRP* foram utilizados ao invés de 60 kg de aço.

Três pontes de concreto armado, com 70 anos de idade, nas proximidades de *Dresden*, Alemanha, apresentavam condições severas de deterioração e corrosão das armaduras devido à falta de manutenção. Em 1993, o tráfego teve que ser restringido a veículos com no máximo duas toneladas, enquanto haviam sido projetadas para suportar veículos de 16 toneladas. Segundo Neubauer & Rostásy (1997a), o péssimo estado das pontes conduziu a um extenso programa de recuperação que envolveu, também, o aumento da capacidade portante. A solução adotada foi o reforço das longarinas através da utilização de laminados pré-fabricados de fibra de carbono com espessura de 1,2 mm.

A ponte *Tannberg* em *Schrocken*, Áustria, foi reforçada utilizando chapas de fibra de carbono. O reforço consistia em uma área de 20% da seção transversal da armadura longitudinal e permitiu que a ponte passasse da classe 18 para 26 toneladas. Em Genebra, Suíça, a laje de um edifício industrial foi reforçada para suportar uma carga maior (500 kgf/m²) daquela originalmente projetada (300 kgf/m²), em função de mudanças em sua utilização. Originalmente, recomendara-se a aplicação da técnica de chapa colada, que foi considerada inviável em função do vão de nove metros que tornaria muito difícil o manuseio das chapas.

Dentre todos os países, o Japão tem sido palco das maiores aplicações de reforços empregando as mantas flexíveis de fibra de carbono [Nanni, 1995]. As mantas flexíveis de fibra de carbono vêm sendo empregadas em uma série de projetos de reforço e recuperação. A ponte *Hata* foi reforçada para suportar o momento fletor adicional causado pela ação do vento sobre o guarda-corpo da ponte, que havia sido aumentado. O tabuleiro da ponte *Hiyoshikura* apresentava elevado nível de fissuração em decorrência da deformação excessiva das armaduras. A aplicação das mantas de fibra de carbono, cerca de 164 m², em duas camadas, uma paralela ao tráfego e outra perpendicular, permitiram reduções entre 30% e 40% nas deformações das armaduras [Nanni, 1995].

Um pavilhão industrial próximo à cidade de Perúgia, na região central da Itália teve as vigas pré-moldadas protendidas de sua cobertura reforçadas com tecidos de fibra de carbono [Nanni, 1997]. O elevado gradiente de temperatura resultou no colapso do cobrimento em

uma área de cerca de 4 m² além da perda de 25% da protensão. Cerca de 4600 m² de tecido foram aplicados. Provas de carga foram realizadas antes e após a aplicação do reforço. Os resultados demonstraram que a rigidez da área danificada foi completamente restabelecida.

No Brasil, as primeiras aplicações dos compósitos de fibra de carbono, envolveram, primeiramente estruturas de pequeno porte. Em 1998, o viaduto Santa Tereza, construído entre anos de 1925 e 1927, localizado na cidade de Belo Horizonte, foi reforçado utilizando mantas flexíveis de fibra de carbono. Por tratar-se de obra tombada pelo patrimônio histórico, a opção pelas mantas de fibra de carbono foi motivada por aspectos estéticos. Foram utilizados cerca de 3.870 m² de manta de fibra de carbono, que permitiram ao viaduto atingir a classe 45 toneladas.

3.3 MODOS DE RUPTURA

O primeiro passo no desenvolvimento de procedimentos analíticos visando à aplicação de uma determinada técnica de reforço estrutural está baseado na observação, através de experimentos realizados em laboratório, do comportamento destas estruturas sob as mais variadas condições de geometria, carregamento, configuração do reforço, etc.

Teoricamente, os incrementos na resistência à flexão empregando compósitos de fibra de carbono podem ser bastante significativos. Contudo diversos pesquisadores têm identificado novos modos de ruptura que podem, desta forma, limitar estes incrementos [Meier, 1997; Hota et al, 1998; Beber, 1999a; Swamy & Mukhopadhyaya, 1999]. Estes modos de ruptura ocorrem freqüentemente de forma frágil, envolvendo o destacamento do reforço, o arrancamento da camada longitudinal de concreto e o colapso da viga por cisalhamento; podendo ocorrer sob cargas significativamente menores que aquelas previstas pelos modelos teóricos tradicionais. Assim, existe a necessidade de um melhor entendimento destes e de outros mecanismos de ruptura de vigas de concreto armado reforçadas com compósitos de *FRP* [Buyukosturk & Hearing, 1997].

A aplicação efetiva dos compósitos no reforço estrutural de elementos de concreto armado será somente viável quando o entendimento do comportamento e dos mecanismos de ruptura em sistemas estruturais reforçados com compósitos de *FRP* estiver disponível.

Diversos pesquisadores apontam para a necessidade de estabelecer-se critérios de falha/ruptura para elementos estruturais reforçados com compósitos de *FRP* [Saadatmanesh & Ehsani, 1991; Buyukosturk & Hearing, 1997; Arduini et al, 1997; Triantafillou, 1998; Beber, 1999a].

Solicitadas à flexão, vigas de concreto armado, reforçadas com compósitos de *FRP*, podem apresentar modos de ruptura variados. Quando as taxas de armadura e a quantidade de reforço forem significativamente reduzidas, o escoamento da armadura pode ser seguido da ruptura do reforço à tração. Por outro lado, se estes valores forem elevados, a ruptura ocorrerá por esmagamento do concreto, enquanto o aço poderá ou não ter entrado em escoamento, dependendo da taxa de armadura. Finalmente, a ligação entre o compósito e o concreto pode falhar. O descolamento pode ocorrer em função da propagação repentina de fissuras no adesivo (a maioria das resinas é frágil); *peeling off* do compósito de *FRP* por causa de fissuras de flexão e cisalhamento no concreto; e o arrancamento da camada de concreto entre o compósito e a armadura longitudinal [Triantafillou & Plevris, 1992].

A maioria dos programas experimentais conduzidos até o momento sobre a aplicação de compósitos de *CFRP* (laminados pré-fabricados, mantas flexíveis e tecidos) no reforço de peças fletidas de concreto armado, faz referência a diversos modos de ruptura observados [Juvandes, 1999]. Os modos de ruptura associados à flexão têm sido amplamente discutidos e investigados, com diversos modelos analíticos propostos para a sua verificação [Ritchie et al, 1991; He et al, 1997; Malek et al, 1998; Beber, 1999a].

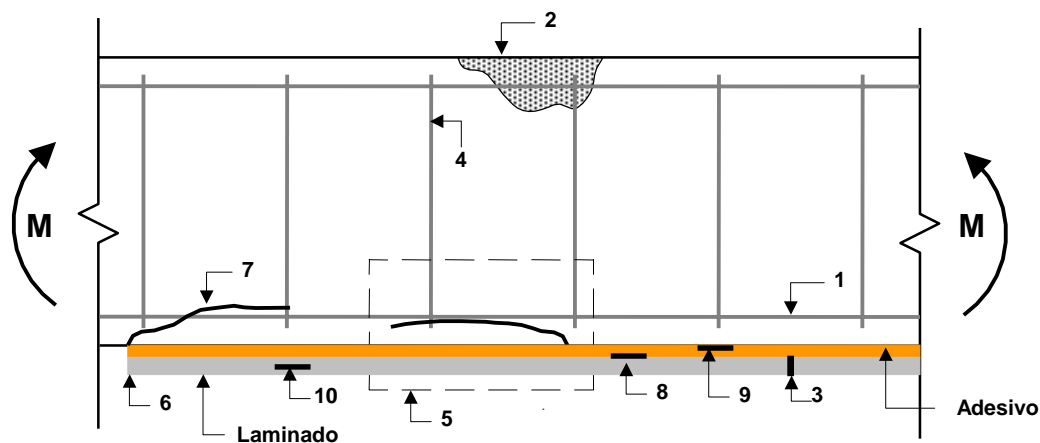
De forma geral, estes modos de ruptura podem ser divididos em três categorias, apresentadas no quadro 3-1 e esquematicamente ilustradas na figura 3-1 [Juvandes, 1999; Hollaway & Leeming, 1999].

Adicionalmente, existem outros modos de ruptura possíveis, embora ainda não observados pelos programas experimentais conduzidos até esta data. Estes modos de ruptura são inerentes aos compósitos e podem ser do tipo:

- (i) Ruptura do adesivo na interface adesivo/compósito [8];
- (ii) Ruptura do adesivo na interface adesivo/concreto [9];
- (iii) Cisalhamento interlaminar do compósito [10].

QUADRO 3-1 — Modos de ruptura possíveis [Juvandes, 1999; Hollaway & Leeming, 1999]

<i>Ruptura clássica de estrutura de concreto armado submetida à flexão</i>	[1] Deformação plástica excessiva da armadura longitudinal [2] Esmagamento do concreto [3] Ruptura do reforço à tração [4] Colapso da viga por cisalhamento
<i>Destacamento do reforço</i>	[5a] Devido à irregularidade da superfície [5b] Devido a fissuras de cisalhamento (<i>sudden peel off</i>) [5c] Devido a fissuras de flexão (<i>continuous peel off</i>)
<i>Efeitos de extremidade</i>	[6] <i>Peeling off</i> [7] Arrancamento da camada de concreto junto à armadura longitudinal



Detalhe da ruptura do tipo 5

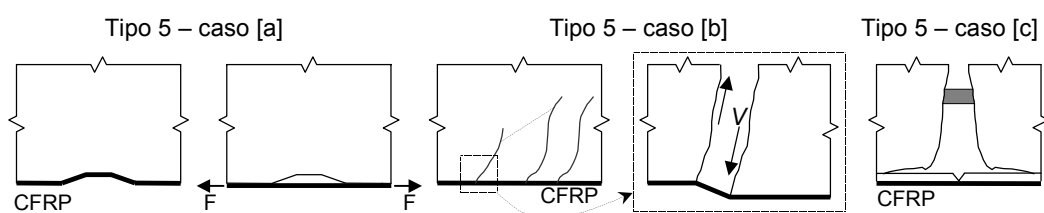


FIGURA 3-1 — Modos de ruptura possíveis [Juvandes, 1999; Hollaway & Leeming, 1999]

Diversos pesquisadores vêm conduzindo investigações dos modos de ruptura em elementos estruturais reforçados com sistemas de *CFRP* curados *in situ* [Norris et al, 1997; Triantafillou, 1998; Hota et al, 1998; Beber, 1999a]. Atenção especial tem sido dada aos modos de ruptura bruscos e súbitos, associados ao mecanismo de ligação concreto/compósito, que conduzem ao colapso prematuro destas estruturas. De acordo com

Buyukosturk & Hearing (1997), o comportamento de vigas de concreto armado reforçadas com mantas flexíveis de *FRP*, se resumem a seis modos de ruptura distintos, ilustrados na figura 3-2.

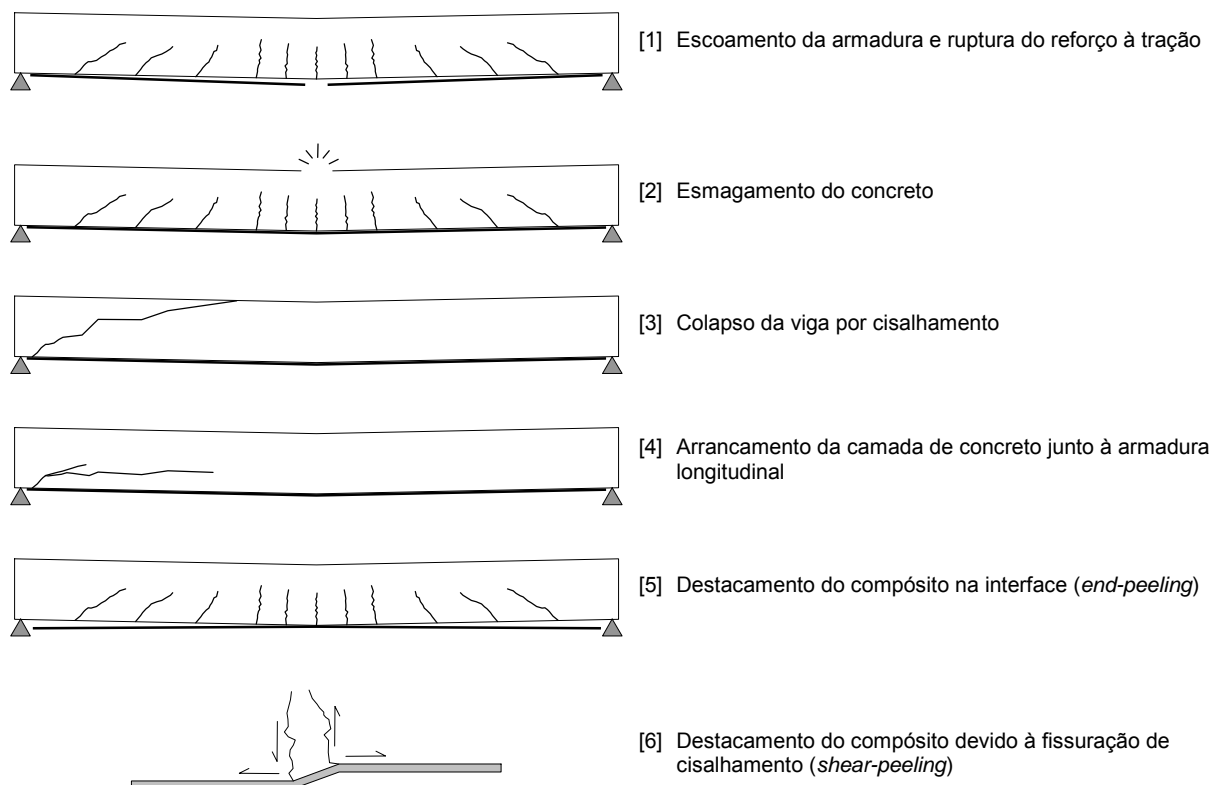


FIGURA 3-2 — Modos de ruptura observados por Buyukosturk & Hearing (1997)

Os mecanismos de ruptura da ligação são do tipo frágil e resultam no destacamento localizado do compósito (efeito designado por *peeling off*), a partir de sua zona de ancoragem ou de zonas com fissuração excessiva [Buyukosturk et al, 1999; Juvandes, 1999], como pode ser observado na figura 3.3.

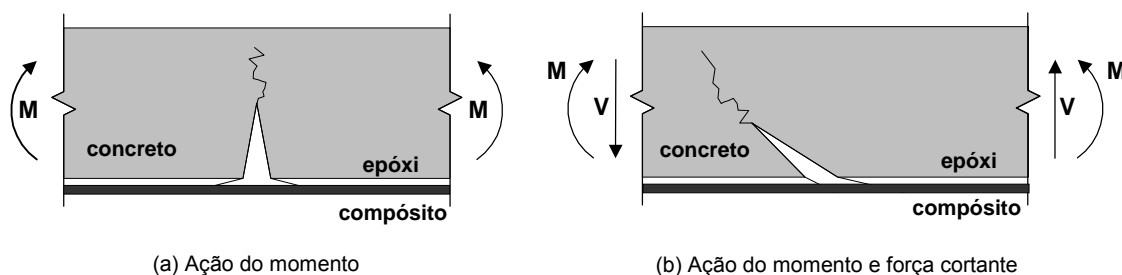


FIGURA 3-3 — Efeito de *peeling off* na interface concreto/compósito [Buyukosturk & Hearing, 1997]

3.4 COMPORTAMENTO DE VIGAS REFORÇADAS À FLEXÃO

A aplicação de compósitos de fibra de carbono no reforço à flexão de vigas de concreto armado constitui-se em uma técnica já consolidada. No entanto, incrementos de resistência são somente alcançados se os modos de ruptura prematuros (falhas de aderência ou colapso por cisalhamento) forem evitados [*fib*, 2000].

A metodologia para o dimensionamento e verificação do comportamento de vigas de concreto armado reforçadas com compósitos de fibra de carbono baseia-se nos princípios e hipóteses do estado limite último. Este processo requer a investigação dos diversos modos de ruptura possíveis e suas implicações sobre o comportamento dos elementos reforçados.

A capacidade resistente à flexão, correspondente aos modos de ruptura clássicos, pode ser avaliada com base nos procedimentos convencionais preconizados nos principais códigos normativos de projeto de estruturas de concreto armado, supondo que, além das hipóteses básicas da flexão, seja adicionada a hipótese de aderência perfeita entre o concreto e o reforço [Almusallam & Al-Salloum, 2001].

É conveniente ressaltar, porém, que, embora sejam necessárias para permitir uma simplificação da análise, algumas destas hipóteses não refletem plenamente o comportamento fundamental de uma viga reforçada com compósitos de *FRP*. No entanto, a adoção destas hipóteses não comprometerá significativamente a precisão dos resultados [ACI, 2002].

Estes procedimentos consideram apenas a ruptura à flexão por falha do compósito à tração ou esmagamento do concreto, sem ruptura prematura por descolamento. Preferencialmente, o modo de ruptura a ser considerado no dimensionamento deve ser o esmagamento do concreto após o escoamento da armadura longitudinal e ruptura do compósito após o escoamento da armadura, sendo mais favorável o primeiro [El-Mihilmy & Tedesco, 2000; Teng et al, 2001]. Em ambos os modos, o escoamento da armadura longitudinal precede a ruptura do compósito ou esmagamento do concreto, o que garante que o colapso ocorrerá após a formação de grandes fissuras de flexão.

Contudo, como a maioria dos estudos nesta área tem sido eminentemente experimentais, não foi possível, ainda, implementar um procedimento geral de dimensionamento e verificação. Isto se deve, em grande parte, ao fato destes estudos serem

incapazes, até o momento, de avaliar todos os parâmetros que influenciam o projeto. Além disso, alguns dos modelos analíticos propostos freqüentemente recorrem a fatores de calibração que são aplicáveis somente em estudos particulares [Challal et al, 1998].

3.4.1 Condição inicial

O efeito do carregamento inicial, anterior à aplicação de um reforço à flexão, deve ser considerado no cálculo do elemento reforçado. Em situações práticas, a presença de algum tipo de carregamento sobre a estrutura, ou apenas a ação de seu peso próprio é bastante freqüente. Além disso, salvo as situações em que todas as cargas são removidas (peso-próprio, forças de protensão, etc.), o substrato, no qual será aplicado o reforço, apresentará alguma deformação. Esta deformação inicial deve ser, então, deduzida da deformação do compósito de reforço [ACI, 2002]. Assim, de acordo com Teng et al (2001), a consideração deste “carregamento existente” conduz às seguintes observações:

- (i) o efeito do carregamento existente, devido ao peso próprio e cargas de serviço, é geralmente benéfico se a viga apresentar uma ruptura por falha do reforço;
- (ii) este efeito é mais significativo e problemático se a viga falhar por esmagamento do concreto.

Deve-se ressaltar que, em função da consideração do carregamento existente, o modo de ruptura de uma viga reforçada pode modificar-se de ruptura do reforço, para esmagamento do concreto. Uma ruptura por esmagamento do concreto, sem o escoamento da armadura longitudinal, deve ser evitada tanto quanto possível.

A determinação do nível inicial de deformação pode ser feita através de uma análise elástica do elemento, considerando todas as cargas que estarão atuando durante a aplicação do reforço. O ACI (2002) recomenda que esta análise seja feita com base nas propriedades de uma seção transversal de concreto fissurado, ou seja, em estágio II.

O nível inicial de deformação deve ser, então, deduzido da deformação específica no substrato de concreto para a determinação da deformação resultante no reforço [MBT, 1998].

$$\epsilon_f = (\epsilon_n - \epsilon_i) \leq \epsilon_{f,u} \quad (\text{eq. 3.1})$$

onde:

- ε_f = deformação específica no reforço com *CFRP*;
- ε_n = deformação específica no substrato de concreto para um momento fletor qualquer;
- ε_i = deformação específica no instante da aplicação do reforço com *CFRP*;
- $\varepsilon_{f,u}$ = deformação específica do *CFRP* na ruptura.

Dos conceitos fundamentais da elasticidade, sabe-se que a deformação específica no substrato de concreto pode ser determinada através da expressão:

$$\varepsilon_i = \frac{M_i (h - x)}{I E_{cs}} \quad (\text{eq. 3.2})$$

onde:

- M_i = momento fletor atuante no instante de aplicação do reforço;
- h = altura da seção transversal;
- x = altura da linha neutra;
- I = momento de inércia da seção homogeneizada de concreto;
- E_{cs} = módulo de elasticidade secante do concreto (NBR 6118) $E_{cs} = 1505\sqrt{f_c}$ [kN/cm²]

Ao longo de sua história, porém, uma viga de concreto armado poderá ser solicitada por um momento M_n , superior a seu momento de fissuração, M_r . Desta forma, a determinação da deformação específica no substrato de concreto, no instante da aplicação do reforço com *CFRP*, passa pela verificação do estágio em que a estrutura se encontra, para que seja possível avaliar o incremento de resistência que se deseja implementar. Assim, o momento de fissuração de acordo com a NBR 6118, para uma seção retangular, de uma viga de concreto armado pode ser determinado através da expressão:

$$M_r = 0,0348 \sqrt[3]{f_c^2} b_w h^2 \quad [\text{kN.cm}] \quad (\text{eq. 3.3})$$

Desta forma, dependendo do momento atuante, M_i , na ocasião da aplicação do reforço, a viga de concreto poderá encontrar-se no estágio I (concreto não-fissurado) ou estágio II (concreto fissurado) de deformação.

$$\begin{aligned} M_i < M_r & \quad \text{Estádio I (concreto não - fissurado)} \\ M_i > M_r & \quad \text{Estádio II (concreto fissurado)} \end{aligned}$$

Baseado na teoria da elasticidade e com o valor do momento M_i , atuando sobre a seção transversal em estudo, durante a aplicação do reforço, é possível determinar-se o perfil de deformações específicas. O momento de inércia da seção transversal homogeneizada e a altura da linha neutra, a serem empregados na equação 3.2, respectivamente, dependem do estágio de deformação em que se encontra o elemento estrutural; e podem ser determinados através das expressões:

Estádio I (concreto não fissurado)

$$\frac{b_w x^2}{2} - \frac{b_w (h-x)^2}{2} + (\alpha_e - 1)A_s' (x-d') - (\alpha_e - 1)A_s (d-x) = 0 \quad (\text{eq. 3.4})$$

$$I_I = \frac{b_w x^3}{3} + \frac{b_w (h-x)^3}{3} + (\alpha_e - 1)A_s' (x-d')^2 + (\alpha_e - 1)A_s (d-x)^2 \quad (\text{eq. 3.5})$$

Estádio II (concreto fissurado)

$$\frac{b_w x^2}{2} + (\alpha_e - 1)A_s' (x-d') - \alpha_e A_s (d-x) = 0 \quad (\text{eq. 3.6})$$

$$I_{II} = \frac{b_w x^3}{3} + (\alpha_e - 1)A_s' (x-d')^2 + \alpha_e A_s (d-x)^2 \quad (\text{eq. 3.7})$$

onde:

- α_e = relação entre o módulo de elasticidade do aço e do concreto;
- A_s' = área da seção transversal da armadura longitudinal comprimida;
- A_s = área da seção transversal da armadura longitudinal tracionada;
- I_I = momento de inércia da seção homogeneizada de concreto no estágio I;
- I_{II} = momento de inércia da seção homogeneizada de concreto no estágio II.

3.4.2 Análise no estado limite último (ELU)

No estado limite último, os diferentes modos de ruptura que podem ocorrer devem ser investigados. Os modos de ruptura de uma viga de concreto armado, reforçada à flexão com compósitos, podem ser divididos em dois grupos: (i) aqueles em que a aderência entre

concreto e reforço permanece intacta até o esmagamento do concreto ou ruptura do reforço à tração (modos de ruptura “clássicos”) e, (ii) aqueles em que ocorre uma ruptura prematura na ligação concreto/reforço [fib, 2001].

A determinação da resistência à flexão de uma viga reforçada pode ser conduzida seguindo-se as recomendações da norma brasileira NBR 6118 [Beber, 1999a]. A análise no estado limite último permite determinar a capacidade da seção transversal, pela combinação do equilíbrio de tensões, compatibilidade de deformações e leis constitutivas dos materiais na ruptura. As distribuições de tensão e deformação, de uma seção reforçada, são ilustradas na figura 3-4. É importante ressaltar, ainda, que além não se aplicarem quaisquer fatores de minoração nas resistências dos materiais, não se considera o efeito de carregamento de longa duração (efeito *Rüsch*). Desta forma, estes resultados podem ser comparados diretamente com os resultados experimentais.

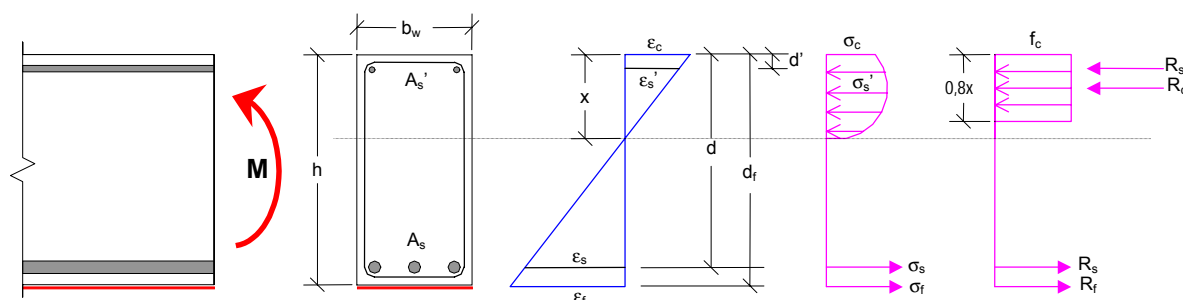


FIGURA 3-4 — Diagrama esquemático de equilíbrio da seção transversal reforçada

A determinação da capacidade resistente à flexão de uma viga de concreto armado reforçada com compósitos passa, obrigatoriamente, pela verificação da seção transversal tanto para os modos de ruptura clássicos quanto para a possibilidade de falha prematura na ligação concreto/reforço [Beber, 1999a].

Os procedimentos de cálculo, são necessariamente iterativos e a implementação de programas computacionais é recomendada. As seguintes hipóteses básicas são consideradas:

- (i) até a ruptura, as seções transversais permanecem planas (hipótese de Bernoulli);
- (ii) o encurtamento de ruptura do concreto é 3,5‰;

- (iii) o alongamento máximo permitido para a armadura de tração é 10‰;
- (iv) é desprezada a resistência à tração do concreto;
- (v) existe aderência perfeita entre o aço e o concreto; e
- (vi) existe aderência perfeita entre o reforço e a superfície de concreto.

Postuladas estas hipóteses, pode-se escrever as expressões que definem a posição da linha neutra, as deformações específicas e as equações de equilíbrio para a seção transversal do elemento reforçado. Através destas expressões, determina-se, então, a capacidade resistente à flexão da seção transversal reforçada, conforme o fluxograma apresentado na figura 3-5 [Beber, 1999a]. Através da equação de equilíbrio da seção transversal reforçada, representada na figura 3-5, determina-se a posição da linha neutra, x :

$$\sigma'_s A'_s + 0,8 b_w f_c x = \sigma_s A_s + \sigma_f A_f \quad (\text{eq. 3.8})$$

onde:

- σ'_s = tensão na armadura longitudinal comprimida;
- σ_s = tensão na armadura longitudinal tracionada;
- σ_f = tensão no reforço.

Isolando-se x na equação 3.8, obtém-se a expressão que fornece a posição da linha neutra:

$$x = \frac{\sigma_s A_s + \sigma_f A_f - \sigma'_s A'_s}{0,8 b_w f_c} \quad (\text{eq. 3.9})$$

É importante salientar, ainda, que, para a obtenção do valor inicial de x , assume-se que as tensões, atuantes nos materiais, são sempre as máximas suportadas por eles. Em seguida, verifica-se o domínio de deformação em que se encontra a seção transversal em estudo. Os valores limites, segundo a NBR 6118, são:

$$\text{Se } x < x_{23} = \frac{0,0035 d}{0,0035 + 0,010} \Rightarrow \text{Domínio 2}$$

$$\text{Se } x_{23} < x < x_{\text{lim}} = \frac{0,0035 d}{0,0035 + \epsilon_y} \Rightarrow \text{Domínio 3}$$

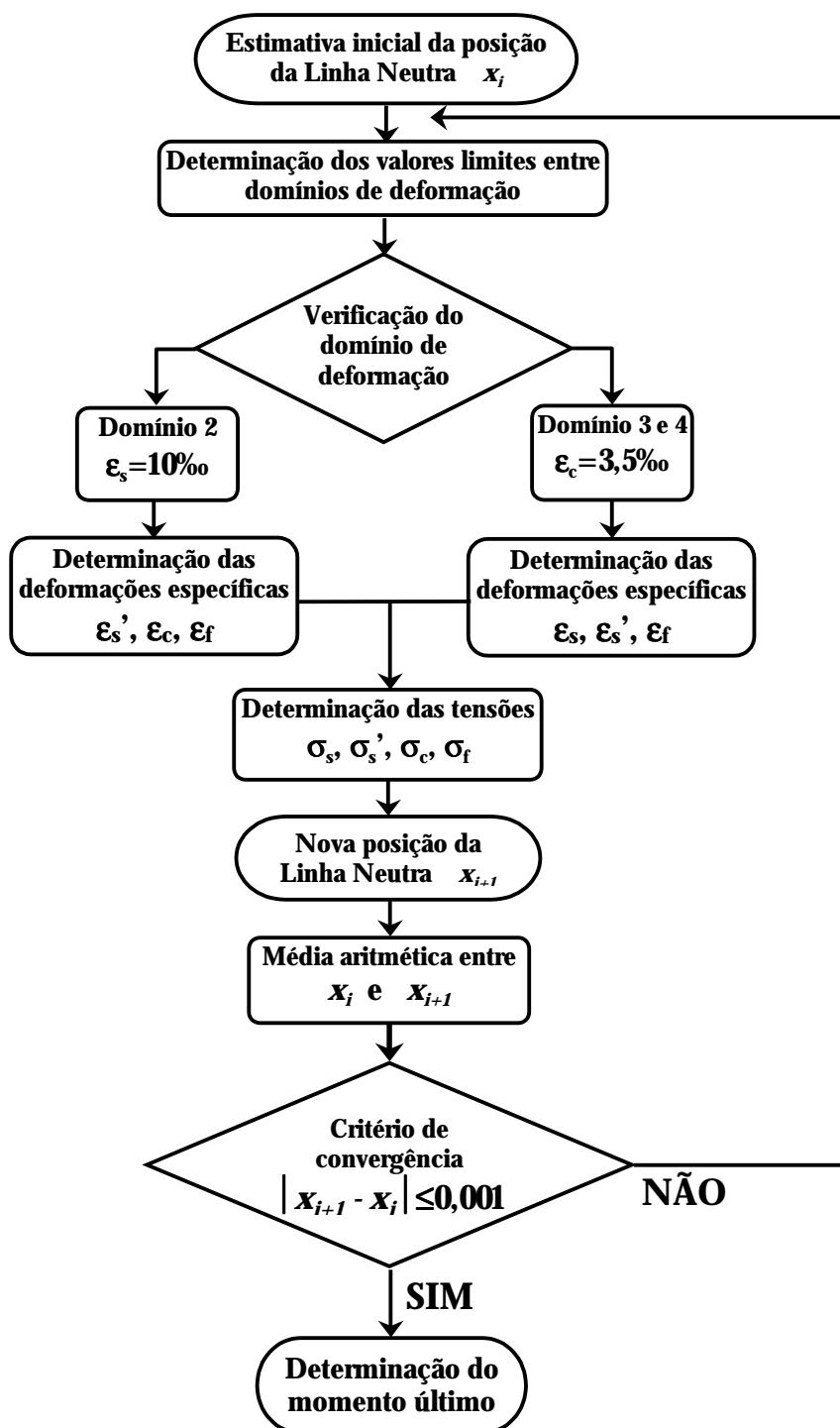


FIGURA 3-5 — Fluxograma para a determinação da capacidade resistente à flexão

Segundo as recomendações da NBR 6118, outro importante aspecto no procedimento de cálculo está associado à determinação do domínio de deformação em que se encontra a seção transversal. Para o caso em que a seção transversal encontra-se no domínio 2, tem-se como valor de deformação específica para a armadura de tração, uma deformação ϵ_s de 10‰. Já para os domínios 3 e 4, o valor da deformação específica no concreto, ϵ_c , vale 3,5‰.

Conhecida a posição da linha neutra e o domínio de deformação em que se encontra a seção transversal, estabelecem-se os valores das deformações específicas no concreto, ϵ_c , nas armaduras ϵ_s' e ϵ_s , e no reforço ϵ_f :

$$\frac{\epsilon_c}{x} = \frac{\epsilon_s}{d-x} \Rightarrow \epsilon_c = \left(\frac{x}{d-x} \right) \epsilon_s \quad (\text{eq. 3.10})$$

$$\frac{\epsilon_s}{d-x} = \frac{\epsilon_s'}{x-d'} \Rightarrow \epsilon_s' = \left(\frac{x-d'}{d-x} \right) \epsilon_s \quad (\text{eq. 3.11})$$

$$\frac{\epsilon_c}{x} = \frac{\epsilon_s}{d-x} \Rightarrow \epsilon_s = \left(\frac{d-x}{x} \right) \epsilon_c \quad (\text{eq. 3.12})$$

$$\frac{\epsilon_s}{d-x} = \frac{\epsilon_f}{d_f-x} \Rightarrow \epsilon_f = \left(\frac{d_f-x}{d-x} \right) \epsilon_s \quad (\text{eq. 3.13})$$

onde:

- ϵ_s = deformação específica na armadura longitudinal tracionada;
- ϵ_s' = deformação específica na armadura longitudinal comprimida;
- ϵ_c = deformação específica no concreto;
- ϵ_f = deformação específica no reforço;
- d = distância entre a fibra mais comprimida e o centróide da armadura tracionada;
- d' = distância entre a fibra mais comprimida e o centróide da armadura comprimida;
- d_f = altura útil do reforço

A determinação do valor destas deformações específicas decorre da hipótese de Bernoulli, ou seja, a manutenção das seções planas até a ruptura. A partir dos resultados das deformações específicas e dos diagramas tensão-deformação, correspondentes a cada um dos materiais, pode-se encontrar facilmente as tensões a que estão sendo submetidos cada um deles. Calcula-se, então, um novo valor de x e, através da média aritmética entre este valor e

o anterior, determinam-se sucessivamente os valores das deformações específicas e, conseqüentemente, tensões, até que seja atingida a convergência.

Encerrado o processo de iteração, que calcula a posição da linha neutra, procede-se a determinação do momento último, M_u , da seção transversal. Este momento, representa o máximo momento a que pode ser submetida a seção transversal e é obtido através do equilíbrio das forças, que concorrem na seção (figura 3.4), e é dado por:

$$M_u = \sigma_s A_s d + \sigma_f A_f d_f - 0,32 b_w f_c x^2 - \sigma'_s A'_s d' \quad [\text{kN.cm}] \quad (\text{eq. 3.14})$$

O valor expresso na equação 3.14, representa o momento último da seção transversal em estudo e é alcançado ao se utilizar os valores das propriedades dos materiais empregados, sem a consideração de quaisquer coeficientes de segurança [Beber, 1999a]. Além disso, este valor de reflete, exclusivamente, a capacidade resistente à flexão sem a consideração dos modos de ruptura prematuros que, eventualmente, podem ocorrer.

A maioria dos autores considera ser indispensável a realização de ensaios experimentais de aderência, com objetivo de proporcionar uma melhor compreensão dos parâmetros intervenientes no mecanismo de transferência de esforços entre os materiais envolvidos nesta técnica de reforço.

Atualmente, a grande maioria das metodologias analíticas para a previsão deste comportamento caracterizam-se por aproximações grosseiras da realidade, uma vez que, além de não contemplarem a não-linearidade deste comportamento, também não consideram os mecanismos localizados de ruptura prematura, que, em muitas oportunidades, comandam a ruptura das estruturas reforçadas [Costeira et al, 2000].

Um importante aspecto da aplicação de compósitos de *CFRP* no reforço de estruturas de concreto está relacionado à sua resistência de aderência, que não necessariamente aumenta com o incremento no comprimento de ancoragem, o que pode significar que a máxima tensão de tração do compósito pode não ser, necessariamente, alcançada [Teng et al, 2001].

Este comportamento é substancialmente diferente do mecanismo de aderência da armadura convencional interna, para a qual se pode alcançar sua máxima tensão de tração,

desde que seja garantido um comprimento de ancoragem suficiente para transferir esta tensão, integralmente, para o concreto [fib, 2000; Teng et al, 2001].

Além disso, o mecanismo de transferência de esforços entre o reforço e o substrato de concreto depende, portanto, exclusivamente do adesivo. A consolidação de uma estrutura monolítica, formada pelo concreto e o reforço, permite a transmissão eficiente das tensões entre os materiais. No entanto, como o módulo de elasticidade dos adesivos epóxi é muito mais baixo que o do reforço ou concreto, a espessura do adesivo deve ser minimizada o máximo possível. Em alguns casos, mecanismos especiais de ancoragem podem ser instalados para complementar a transferência de esforços entre concreto e reforço [fib, 2000; Ferrari et al, 2002].

Concretos de resistência normal, reforçados externamente com compósitos de fibra de carbono, raramente apresentam uma falha na interface do adesivo. Atualmente, os adesivos estruturais apresentam uma resistência à tração muito maior que a do concreto e embora apresentem baixo módulo de deformação transversal, transferem com eficiência as tensões para o concreto [fib, 2000]. No entanto, modos de ruptura associados à falha do concreto junto à interface são, por sua vez, os mais freqüentes.

3.4.3 Verificação de modos de ruptura prematuros

Além dos modos de ruptura à flexão, outras falhas, prematuras, localizadas na interface concreto/reforço, podem ocorrer. As possíveis falhas de aderência podem ocorrer em diferentes posições da ligação concreto/reforço, como pode ser observado na figuras 3-6 e 3-7.

A aderência é necessária para transferir as forças do concreto para o compósito de *CFRP*, portanto, os modos de ruptura associados à falta de aderência devem ser verificados. A falha da aderência implica na perda completa da ação conjunta entre o reforço e o concreto, comprometendo a estabilidade do elemento estrutural [fib, 2001].

Resultados de diversos programas experimentais têm demonstrado que o arrancamento da camada de concreto, junto à armadura longitudinal, tem se caracterizado como o modo de ruptura prematuro mais freqüente. O início desta falha deve-se à alta

concentração de tensões na interface concreto/reforço, junto à extremidade do reforço [Teng et al, 2001].

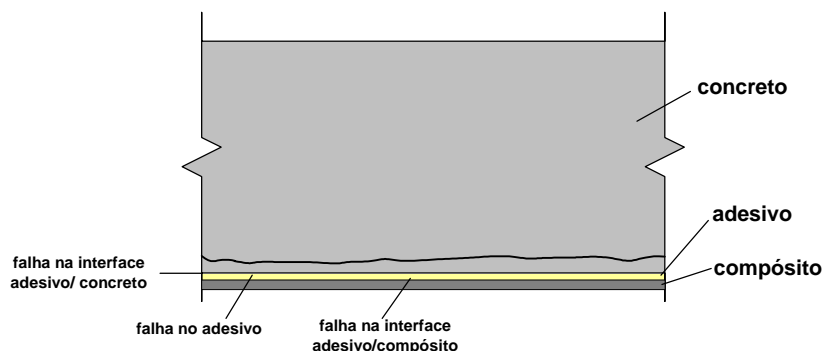


FIGURA 3-6 — Possíveis localizações de uma falha na interface

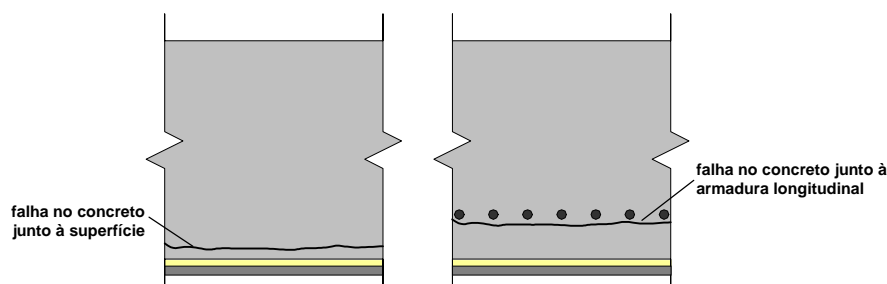


FIGURA 3-7 — Falhas no concreto

Diversos modelos analíticos, para a verificação de modos de ruptura prematuros, associados ao arrancamento/descolamento do reforço, vêm sendo desenvolvidos nos últimos anos. De modo geral, estes modelos podem ser divididos em três grupos distintos. O primeiro, baseado na observação e análise estatística de resultados experimentais. O segundo, baseado na mecânica da fratura e que geralmente conduz a modelos bastante complexos e de difícil aplicação. Finalmente, há um terceiro conjunto de modelos analíticos, idealizado através de uma abordagem simplificada, visando a implementação de ferramentas para o dimensionamento e verificação de estruturas reforçadas com compósitos.

A avaliação deste conjunto de modelos analíticos tem permitido identificar algumas deficiências nas abordagens propostas. Estes modelos geralmente conduzem a uma dispersão bastante grande nos resultados e freqüentemente falham ao estimar importantes

parâmetros como o comprimento de ancoragem e as resistências de aderência e ao cisalhamento.

Dentre os diversos modelos encontrados na literatura, o modelo proposto por Chen & Teng (2001), desenvolvido através da combinação dos conceitos da mecânica da fratura e evidências experimentais tem conseguido fornecer resultados com razoável precisão.

O modelo propõe que a relação tensão de aderência–deslizamento de uma ligação concreto/compósito pode ser representada por um modelo triangular, como mostra a figura 3-8. De acordo com este modelo, o valor típico de deslizamento no pico de tensão ($\delta_1=0,02$ mm), é muito pequeno quando comparado ao valor do deslizamento na ruptura ($\delta_f=0,2$ mm). A área sob a curva tensão de aderência–deslizamento representa a energia de fratura G_f .

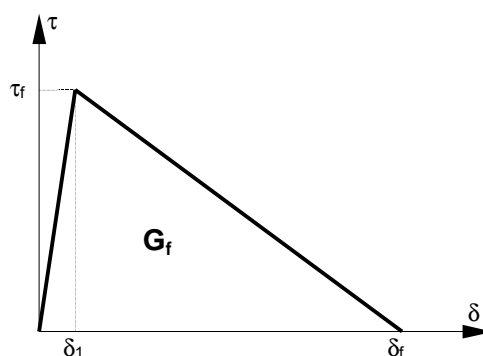


FIGURA 3-8 — Modelo tensão de aderência–deslizamento proposto por Chen & Teng (2001)

Observa-se, ainda, que a relação entre a largura do reforço e a largura da viga, afetam significativamente a resistência de aderência. Se o reforço apresentar, por exemplo, uma largura inferior à largura da viga, a transferência de esforços do reforço para o concreto conduz a uma distribuição não-uniforme de tensões ao longo da largura da viga. Esta diferença pode resultar, ainda, em um aumento nas tensões de cisalhamento na interface, por conta da contribuição do concreto que se encontra fora da área de aderência [Teng et al, 2001]. A relação entre estas larguras, denominada β_p , é determinada através da expressão:

$$\beta_p = \sqrt{\frac{2 - \frac{b_f}{b_w}}{1 + \frac{b_f}{b_w}}} \quad (\text{eq. 3.15})$$

onde: β_p = coeficiente de largura de reforço à flexão;
 b_f = largura do reforço;

Como a determinação dos parâmetros, δ_f e τ_f , é bastante difícil e pouco prática, é desejável que sejam empregados, na determinação do modelo tensão de aderência-deslizamento, parâmetros mais simples, como por exemplo, a resistência do concreto. Assim, verificou-se que a resistência de aderência pode ser relacionada com a raiz quadrada da resistência à compressão. Esta observação, associada ao valor típico de $\delta_f=0,2$ mm, permite, então, empregar a expressão 3.16, para estimar o comprimento de ancoragem efetivo, L_e .

$$L_e = 0,5623 \sqrt{\frac{E_f t_f}{\sqrt{f_c}}} \quad [\text{cm}] \quad (\text{eq. 3.16})$$

onde: L_e = comprimento de ancoragem efetivo;
 E_f = módulo de elasticidade do reforço;
 t_f = espessura do reforço;
 f_c = resistência à compressão do concreto.

A partir do valor do comprimento de ancoragem efetivo, pode-se determinar a máxima força que pode ser ancorada pelo reforço, sem que ocorra o descolamento ou arrancamento do mesmo. Assim o valor de P_f pode ser determinado pela equação:

$$P_f = 0,3162 \beta_p \beta_L \sqrt{f_c} b_f L_e \quad [\text{kN}] \quad (\text{eq. 3.17})$$

O fator β_L , que relaciona os comprimentos de ancoragem, é determinado através da expressão:

$$\beta_L = 1 \quad \text{se } L \geq L_e \quad (\text{eq. 3.18(a)})$$

$$\beta_L = \text{sen} \left[\frac{\pi L}{2L_e} \right] \quad \text{se } L < L_e \quad (\text{eq. 3.18(b)})$$

Finalmente, dividindo-se o valor da força P_f , pela área da seção transversal de reforço, obtém-se a máxima tensão admissível no reforço com compósito de *CFRP*. Assim, a máxima tensão no reforço será:

$$\sigma_{f,\text{máx}} = 0,1956 \beta_p \beta_L \sqrt{\frac{E_f \sqrt{f_c}}{t_f}} \quad [\text{kN/cm}^2] \quad (\text{eq. 3.19})$$

O ACI 440.2R (2002) reconhece, igualmente, que reforços com maior rigidez são mais suscetíveis ao descolamento, ou seja, quanto maior a rigidez do reforço mais severa deve ser a limitação na tensão máxima admissível. Alternativamente, são apresentadas as expressões 3.20(a) e 3.20(b), de acordo com recomendações do ACI, que permitem determinar um coeficiente de limitação, κ_m , a ser aplicado à tensão de ruptura do compósito de *CFRP*.

$$\kappa_m = \frac{1}{60 \epsilon_{f,u}} \left(\frac{1 - n t_f E_f}{3600} \right) \leq 0,90 \quad \text{para } n t_f E_f \leq 1800 \text{ kN/cm} \quad (\text{eq. 3.20(a)})$$

$$\kappa_m = \frac{1}{60 \epsilon_{f,u}} \left(\frac{900}{n t_f E_f} \right) \leq 0,90 \quad \text{para } n t_f E_f > 1800 \text{ kN/cm} \quad (\text{eq. 3.20(b)})$$

Uma vez determinada a máxima tensão admissível no reforço, aplica-se o valor da máxima tensão admissível no reforço, em conjunto com um valor inicial da posição da linha neutra (\bar{x}) arbitrado, nas equações 3.10, 3.11 e 3.12; determinam-se as deformações específicas nas armaduras e no concreto.

Calculadas as deformações específicas de cada material e, conhecendo-se seus diagramas tensão-deformação, aplica-se estes valores na equação 3.9, que determina a nova posição da linha neutra.

Neste instante, repete-se o processo iterativo descrito no item 3.5.2, com o valor da deformação no reforço sempre constante e igual àquele determinado através das equações 3.19 ou 3.20.

Encerrado o processo iterativo, com a convergência do valor da posição da linha neutra, determina-se, através da equação 3.14, o momento último da seção transversal reforçada, caracterizado pela ruptura do reforço por descolamento/arrancamento.

3.5 COMPORTAMENTO DE VIGAS REFORÇADAS AO CISALHAMENTO

Apesar da aplicação dos compósitos de fibra de carbono no reforço à flexão de vigas de concreto armado, constituir-se em uma alternativa viável, com modelos teóricos para o dimensionamento e verificação já consolidados, identificou-se que, em muitas situações, pode-se ultrapassar a resistência ao cisalhamento do elemento estrutural [Khalifa et al, 1998; Beber, 1999a, Carolin, 2001]. Rupturas por flexão e cisalhamento são as principais formas de falha de vigas normalmente armadas. Geralmente é desejável que se tenha uma ruptura por flexão pois esta é mais dúctil que a ruptura por cisalhamento. Isto explica porque as vigas de concreto armado são primeiramente dimensionadas à flexão e, então verificadas ao cisalhamento [Rebeiz, 1999; Teng et al, 2001].

Uma ruptura dúctil permite a redistribuição de tensões e alerta os ocupantes para a possibilidade de colapso, enquanto uma ruptura frágil é repentina e, conseqüentemente, catastrófica. Uma viga reforçada com compósitos de *CFRP* apresenta uma ductilidade muito reduzida quando comparada a uma viga não reforçada, porém, ainda mais dúctil que uma ruptura por cisalhamento. Assim, é interessante garantir que a resistência ao cisalhamento de uma viga seja maior (exceda) sua resistência à flexão.

O respaldo alcançado pela técnica no reforço à flexão, abriu um novo horizonte em sua aplicação, ou seja, a possibilidade da sua utilização, também, para elevar a resistência ao cisalhamento de vigas de concreto armado [Swamy et al, 1999].

Para estes casos, os compósitos (laminados, mantas e tecidos) demonstram ser eficientes, também, na elevação da resistência ao cisalhamento. Entretanto, o número de

aplicações é significativamente menor e poucos estudos têm-se dedicado, especificamente, ao tema. O reforço ao cisalhamento é frequentemente um importante aspecto de uma estratégia de reforço [Teng et al, 2001].

No entanto, residem, ainda, algumas dúvidas quanto ao comportamento de estruturas de concreto armado reforçadas ao cisalhamento. Isto se deve, principalmente, ao fato de que a ruptura por cisalhamento se constitui em um mecanismo bastante complicado e os métodos analíticos empregados se baseiam, parcialmente, em resultados experimentais [Carolin, 2001].

3.5.1 Generalidades

A grande maioria das estruturas de concreto armado sofre, invariavelmente, a ação de solicitações de cisalhamento. Estas solicitações raramente ocorrem de forma isolada e quase sempre em conjunto com solicitações axiais, de flexão e, em alguns casos, de torção. Ainda, para que seja possível identificar o efeito das solicitações de cisalhamento, atuando isoladamente, é necessário examinar as possíveis interações com outras solicitações. Embora na maioria dos casos, as normas de projeto de estruturas de concreto armado sejam bastante conservadoras quanto ao dimensionamento ao cisalhamento, não é incomum que estes elementos tenham sua resistência ao cisalhamento superestimada [Carolin, 2001]. Particularmente, nos elementos submetidos à flexão, os mecanismos de resistência ao cisalhamento estão intimamente ligados à aderência entre o concreto e a armadura, assim como sua ancoragem [Park & Paulay, 1975].

A ruptura por cisalhamento em elementos de concreto armado ocorre de maneira súbita e catastrófica e deve ser evitada ainda durante a etapa de projeto. O efeito do cisalhamento se traduz em tensões de tração em planos com orientação de aproximadamente 45° com o plano onde a tensão de cisalhamento atua. A ruptura ocorre quando estas tensões, juntamente com as tensões horizontais devidas à flexão, excedem a resistência à tração diagonal do material. Assim, a ruptura por cisalhamento de um elemento de concreto armado se constitui em um fenômeno de tração diagonal; o colapso ocorre em um plano inclinado devido à combinação das tensões de flexão e cisalhamento [Rebeiz, 1999].

Entretanto, a determinação do valor da tensão diagonal de tração em uma viga de concreto armado é bastante complexa, porque a distribuição de tensões de cisalhamento e flexão ao longo de sua seção transversal não é conhecida com certeza (o concreto armado é um material composto, não homogêneo, anisotrópico e que fissa sob a ação de cargas relativamente baixas) [Rebeiz, 1999].

Os mecanismos que conduzem à ruptura por cisalhamento de uma viga de concreto armado são completamente diferentes daqueles associados à ruptura por flexão. A transferência dos esforços de cisalhamento em vigas de concreto armado depende fortemente das resistências à compressão e à tração do concreto. Isto explica porque, no caso do cisalhamento, a viga apresenta uma ruptura frágil sem que sejam evidenciados indícios de que sua capacidade portante está se esgotando. Assim, para evitar este colapso prematuro, uma quantidade adequada de armadura transversal é, geralmente, dimensionada [Park & Paulay, 1975; Watanabe & Lee, 1998].

Embora ninguém tenha sido capaz, ainda, de determinar precisamente a resistência ao cisalhamento puro de vigas de concreto armado, não há a necessidade de fazê-lo, pois é pouco provável que este tipo de estrutura sofra uma solicitação desta natureza. Ainda, de acordo com os princípios da elasticidade, se um elemento é solicitado ao cisalhamento puro, a tensão principal, de tração, de igual magnitude, ocorrerá em um outro plano. Como a resistência à tração do concreto é menor que sua resistência ao cisalhamento (determinada a partir de ensaios específicos), o concreto irá falhar por tração, antes que sua resistência ao cisalhamento seja alcançada [McCormac, 1998].

Os estudos sobre o reforço ao cisalhamento de vigas de concreto armado utilizando materiais compósitos têm sido limitados e, de certa forma, entremeados de alguma controvérsia. Verifica-se que, apesar da existência de alguns estudos sobre o reforço ao cisalhamento de vigas de concreto armado, os procedimentos de verificação e dimensionamento destes elementos são, ainda, bastante complexos. Os modelos analíticos propostos são diversos e, em alguns casos, contraditórios [Triantafillou, 1998].

Entretanto, é importante observar que, como não se dispõe, ainda, de um modelo analítico simples e preciso para a determinação da resistência ao cisalhamento de uma viga de concreto armado, não seria razoável, neste momento, imaginar que seja possível apresentar, igualmente, um modelo simplificado para uma viga reforçada [Carolin, 2001].

3.5.2 Configurações de um reforço ao cisalhamento

A orientação das fibras nos compósitos de *CFRP*, empregados no reforço de elementos de concreto armado, tem importância fundamental sobre seu desempenho e eficiência. Isto se deve à natureza anisotrópica dos compósitos de *CFRP*. Portanto, para que seja possível explorar o máximo de suas propriedades, deve-se procurar orientar as fibras de acordo com a direção das tensões principais atuantes. Através deste procedimento, a eficiência do compósito pode ser maximizada [Beber, 1999a; *fib*, 2001]. A figura 3-4, ilustra o comportamento anisotrópico dos compósitos, ou seja, a relação de dependência entre o módulo de elasticidade e a orientação das fibras.

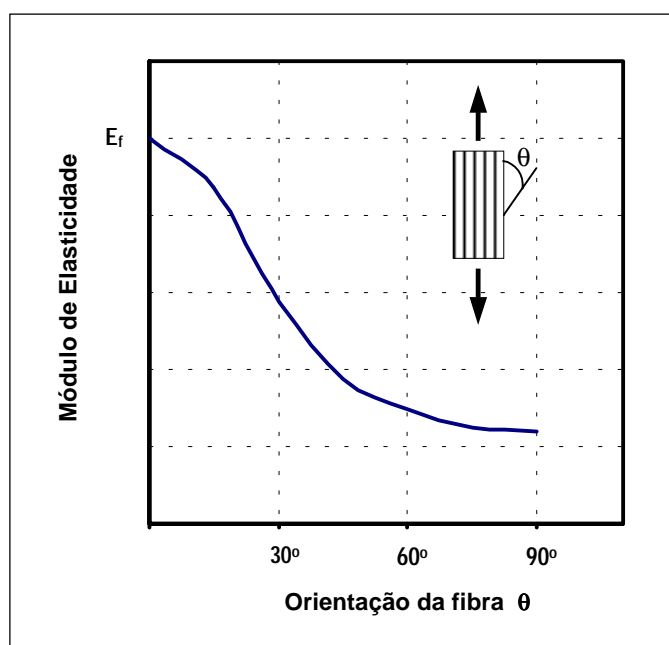


FIGURA 3-9 — Dependência entre módulo de elasticidade e orientação das fibras

A seleção de uma configuração de reforço ao cisalhamento, para uma determinada situação deve estar baseada nos seguintes aspectos [Teng et al, 2001]:

- (i) acesso ao local, verificando a possibilidade de acesso ao perímetro da viga para a execução de um eventual reforço por envolvimento total da seção transversal;
- (ii) a necessidade ou finalidade do reforço quanto à tipologia do carregamento (monotônico ou cíclico);

- (iii) magnitude do incremento de resistência ao cisalhamento necessário;
- (iv) disponibilidade de recursos materiais (tipos de compósitos) e recursos financeiros.

O método mais eficiente de reforço ao cisalhamento é o envolvimento total — *wrapping* ou seja, o completo envolvimento da seção transversal da viga, como pode ser observado na figura 3-10(a). Contudo, em algumas situações, esta pode não se constituir em uma alternativa viável do ponto de vista prático. A presença de uma laje ou outro elemento, contíguo à viga, freqüentemente impede que seja possível envolver o topo da seção. Uma alternativa seria perfurar a laje e envolver a seção com tiras ou bandas de reforço como se pode observar na figura 3-11. Esta alternativa é, porém, igualmente bastante complicada e onerosa.

O método mais comum de reforço ao cisalhamento caracteriza-se pela colagem do reforço nas laterais e base da seção, conforme a figura 3-10(b). Este método é denominado “U” *wrap*, isto é, envolvimento tipo “U”. Trata-se de uma alternativa prática e bastante eficiente no aumento da resistência ao cisalhamento [MBT, 1998; Machado, 2002].

O envolvimento tipo “U” é altamente eficiente em regiões de momento positivo. Nas regiões de momento negativo, porém, as fissuras de cisalhamento iniciam no topo da seção, próximo à laje. Como o reforço está posicionado abaixo da laje, este pode não ser capaz de evitar o início e a propagação destas fissuras. Uma vez iniciadas, existe uma grande chance de que estas fissuras se propaguem ao longo de toda a seção sem que o reforço tenha qualquer efeito [MBT, 1998].

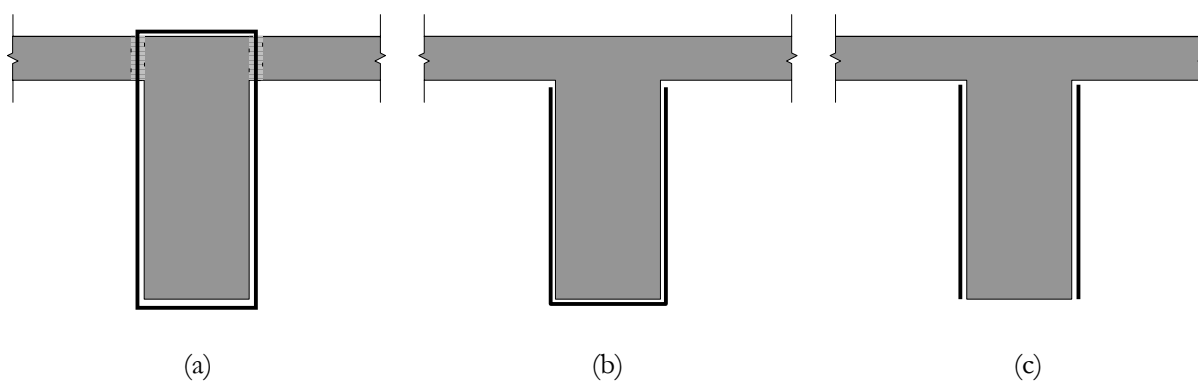


FIGURA 3-10 — Possíveis configurações de um reforço ao cisalhamento

Em algumas situações, ainda, pode não ser possível envolver a base da viga. Nestes casos é possível simplesmente colar o reforço em ambos os lados, conforme a figura 3-10(c). A eficiência desta configuração, porém, é limitada e por conta de possíveis problemas de ancoragem.

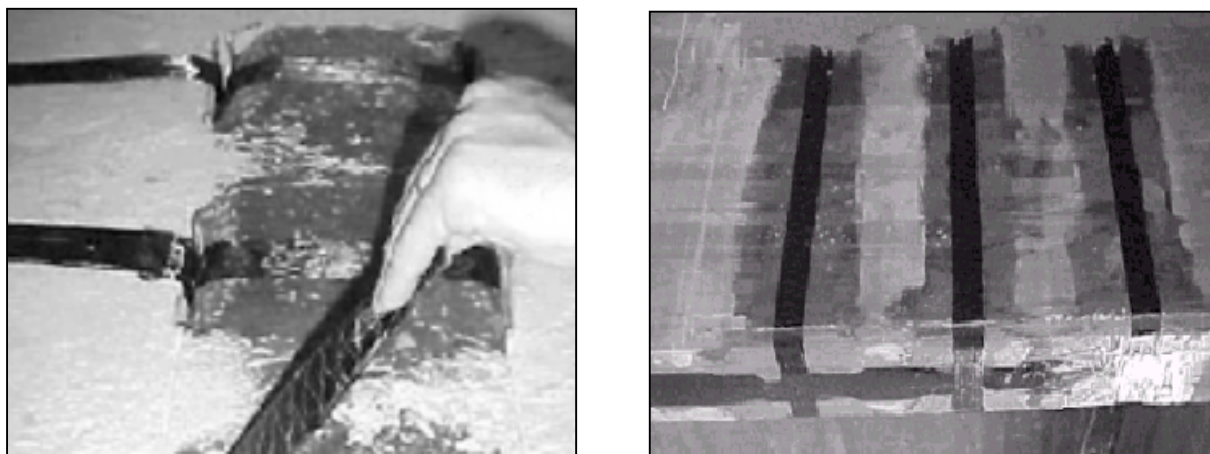


FIGURA 3-11 — Exemplo de aplicação do envolvimento da seção transversal com tiras de reforço

O reforço transversal com compósitos de *CFRP* pode ser executado de forma contínua, ou sob a forma de tiras ou bandas, convenientemente espaçadas. As figuras 3-12(a) e 3-12(b) ilustram estes dois esquemas de reforço. A utilização de tiras pode ser eficiente na otimização do material. Em alguns casos, pesquisadores apontam uma economia de até 40% no consumo de compósito de *CFRP* para um mesmo incremento na resistência ao cisalhamento [Khalifa et al, 1998]. Ainda, se todo o comprimento da viga deve ser reforçado, o emprego de tiras permite ao concreto certa permeabilidade, garantindo, assim, a migração da umidade.

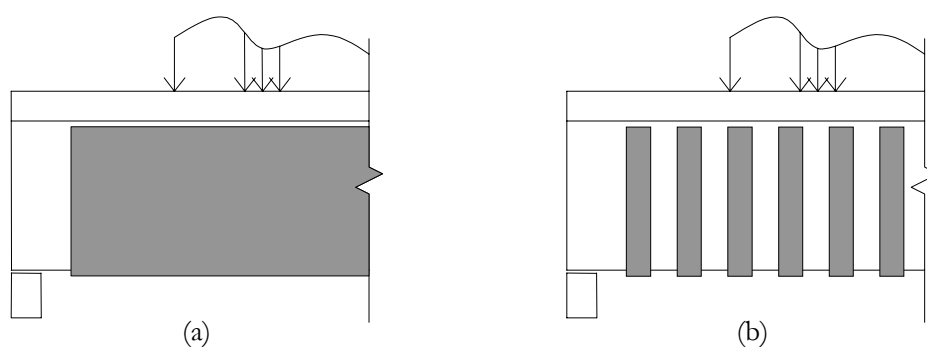


FIGURA 3-12 — Exemplos de distribuição do reforço com compósitos de *CFRP*

Adicionalmente, na figura 3-13 são apresentados alguns exemplos de orientação das fibras de reforço com compósitos de *CFRP*.

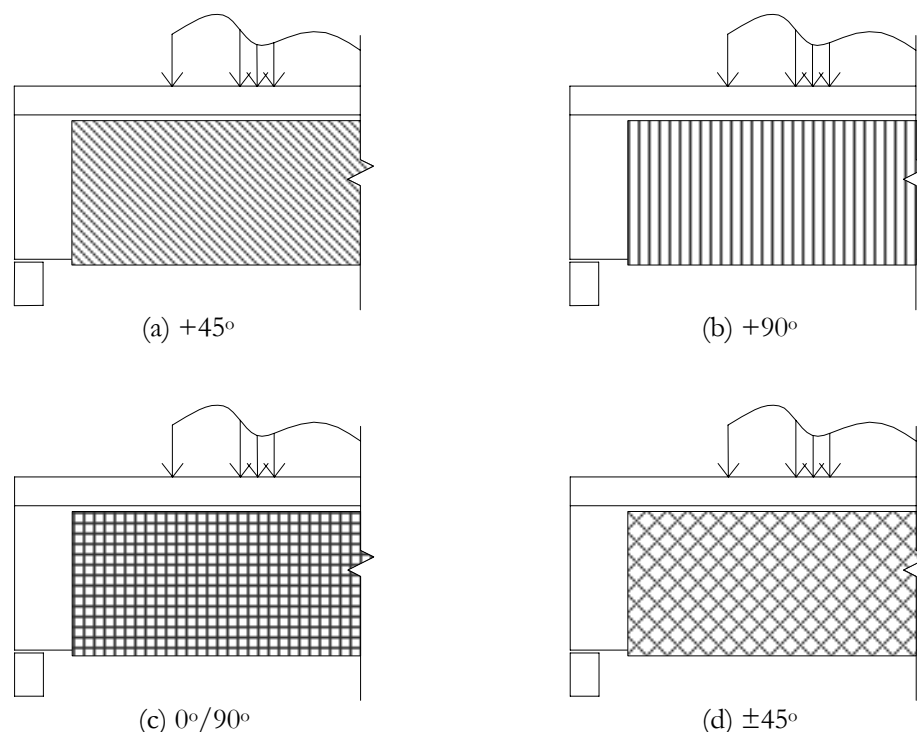


FIGURA 3-13 — Exemplos de orientação das fibras de reforço dos compósitos de *CFRP*

Baseado em resultados experimentais disponíveis, pode-se afirmar que o reforço ao cisalhamento com compósitos de *CFRP* colados somente nas laterais é o mais suscetível ao descolamento, enquanto que o completo envolvimento da seção transversal representa a metodologia mais eficiente. Por sua vez, o envolvimento tipo “U” apresenta um desempenho intermediário entre estes.

3.5.3 Princípios gerais de dimensionamento

Em princípio, para qualquer incremento na resistência à flexão de uma viga, deve-se proceder à verificação de sua resistência ao cisalhamento. Na prática, o comportamento ao cisalhamento de uma viga de concreto armado é muito mais complicado e difícil de entender do que seu comportamento à flexão. Sabe-se que o mecanismo de resistência ao cisalhamento de uma viga de concreto armado não é função de uma única variável e que

depende, ainda, de sua geometria assim como da tipologia e configuração de seu carregamento.

Evidências de investigações realizadas até o momento indicam uma diferença básica entre vigas reforçadas externamente e vigas com armadura transversal convencional. No caso das vigas com armadura convencional, através de estribos internos, a forma e posição dos estribos, dentro do concreto, garantem ancoragem suficiente e o mecanismo de ruptura é determinado pela resistência à tração dos estribos. Por outro lado, nas vigas reforçadas externamente, o mecanismo de ruptura está associado à eficiência da ancoragem (ou a falta dela), ao invés da resistência à tração do material de reforço. O problema de ancoragem surge de uma dificuldade prática, associada à própria técnica, que não permite aplicar o reforço de forma contínua e envolvendo toda a seção transversal [Swamy & Mukhopadhyaya, 1999].

As vigas de concreto armado resistem às solicitações de cisalhamento pela interação de diferentes mecanismos, como pode ser observado na figura 3-14. A força de corte, proveniente da reação no apoio, por exemplo, é resistida pela combinação da contribuição do concreto não-fissurado no banzo comprimido, pelo efeito de pino gerado pela armadura longitudinal de tração e pelo engrenamento dos agregados. É aceitável considerar, em função dos resultados de diversos ensaios, que a armadura transversal (geralmente estribos internos) permanece sem tensão até que se forme a primeira fissura diagonal, e partir daí, então, o estribo passa a auxiliar na resistência ao cisalhamento entre dois lados de uma fissura [Park & Paulay, 1975; Fanning & Kelly, 1999].

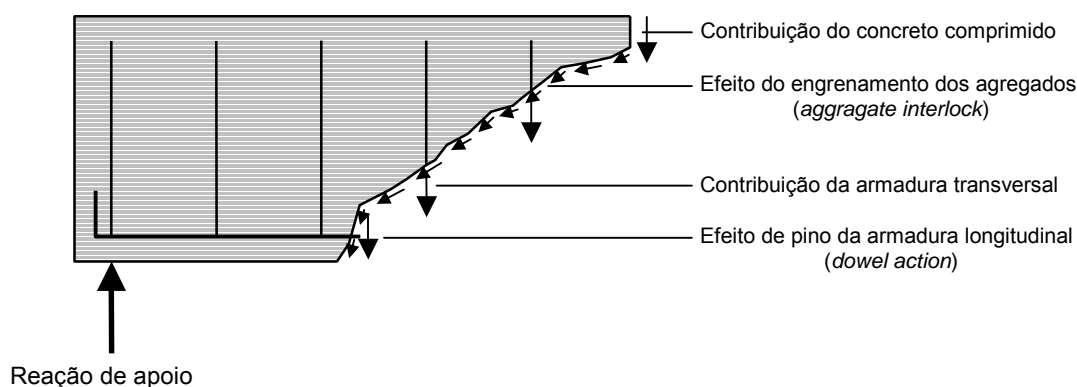


FIGURA 3-14 — Mecanismos de resistência ao cisalhamento de vigas de concreto armado

O modo de ruptura de uma viga por cisalhamento depende da relação a/d , ou seja, da relação vão de cisalhamento sobre altura útil da viga. Relações a/d maiores que 6 geram, invariavelmente, modos de ruptura de flexão. Quando esta relação está situada entre 2,5 e 6, uma ou mais fissuras de flexão, próximas aos apoios, tendem a se propagar até o ponto de aplicação da carga e, desta forma, inclinando-se. O colapso pode ocorrer pela separação da viga ao longo de uma destas fissuras inclinadas [Fanning & Kelly, 1999].

Quando a relação a/d se situa entre 2,5 e 1, a fissura diagonal tende a se formar independentemente das fissuras de flexão. Esta fissura de cisalhamento determina a ruptura quando avança sobre a zona comprimida, no ponto de aplicação da carga. Este modo de ruptura está associado ao esmagamento do concreto na direção da biela comprimida. Alternativamente, a fissura diagonal se propaga ao longo da armadura longitudinal destruindo a ligação com o concreto adjacente. Para os casos em que a relação a/d é menor do que 1, tem-se, então, configurados os casos de vigas-parede, que transcendem o escopo desta tese.

Experimentos realizados com vigas de concreto armado normalmente armadas, com armadura transversal adequada, indicam que a força de cisalhamento não apresenta influência sobre a capacidade de resistência à flexão. Isto permite que o projetista ignore a interação e manipule estes valores separadamente. No entanto, existe, no vão de cisalhamento de uma viga, uma íntima relação entre a flexão, cisalhamento, aderência e ancoragem. Isto se torna evidente através de um exame do comportamento da armadura longitudinal ao longo da viga. Quando forças consideráveis de cisalhamento devem ser transmitidas ao longo de uma seção em estado limite último, a distribuição das deformações de flexão no concreto e no aço pode ser afetada [Park & Paulay, 1975].

O princípio geral de dimensionamento ao cisalhamento considera que o concreto comprimido fornece a resistência primária ao cisalhamento e que, a resistência adicional ao cisalhamento deve ser fornecida através de uma armadura transversal, geralmente sob a forma de estribos internos. Alguns dos resultados de pesquisas disponíveis até o momento apontam que a mesma metodologia pode ser empregada no caso do reforço externo. Entretanto, seu comportamento e mecanismo de funcionamento não se apresentam, ainda, completamente claros e existe a necessidade de maior investigação nesta área.

Já foi amplamente demonstrado que o mecanismo de resistência ao cisalhamento de uma viga sem armadura transversal, particularmente o engrenamento dos agregados,

funcionará até que as fissuras apresentem uma abertura excessiva. Portanto, na presença de armadura transversal, a viga passa a resistir a forças de cisalhamento, desde que as deformações na armadura transversal não sejam tão grandes (isto é, os estribos não entrem em escoamento). Portanto, antes, ou após o escoamento da armadura transversal, é possível fazer a superposição dos efeitos destas duas ações [Park & Paulay, 1975].

Assim, a resistência ao cisalhamento de uma viga de concreto armado pode ser obtida através da soma das parcelas de resistência do concreto, da armadura transversal (interna) e do reforço externo, como pode ser observado através da equação 3-21.

$$V_r = V_c + V_{sw} + V_f \quad [\text{kN}] \quad (\text{eq. 3.21})$$

onde:

- V_r = resistência ao cisalhamento da viga reforçada;
- V_c = contribuição do concreto;
- V_{sw} = contribuição da armadura transversal (interna);
- V_f = contribuição do reforço externo.

3.5.3.1 Contribuição do concreto

A resistência ao cisalhamento do concreto atribui-se aos efeitos de engrenamento dos agregados e de pino da armadura longitudinal, na porção fissurada, e a resistência à tração da diagonal na porção não-fissurada da viga. Apresenta-se, a seguir, algumas abordagens para a determinação desta resistência, adotadas por códigos normativos de projeto de estruturas de concreto armado e formulações empíricas, oriundas de programas experimentais. Salienta-se, porém, que existe uma variação muito grande nos resultados alcançados através de cada uma destas formulações, o que corrobora a grande dificuldade em se avaliar a resistência ao cisalhamento de vigas de concreto armado.

Além disso, a eficiência de qualquer estratégia de reforço que venha a ser adotada será somente possível se o conjunto de informações sobre o atual estado de conservação da estrutura (capacidade residual, nível de deformação etc.) for detalhadamente conhecido. Alguns dos modelos apresentados são bastante conservadores na estimativa da parcela de

resistência ao cisalhamento do concreto o que pode, comprometer o processo decisório quanto à aplicação do reforço.

NBR 6118/2003

A norma apresenta dois modelos de cálculo possíveis, o da treliça clássica modificada e a treliça generalizada. No primeiro, denominado modelo I, o ângulo da diagonal comprimida de concreto é igual a 45° e a contribuição do concreto, V_c , é considerada constante. Já para o modelo II, a inclinação da diagonal comprimida pode variar entre 30° e 45° e a contribuição do concreto é reduzida.

Para a determinação desta contribuição, pode-se empregar a seguinte formulação:

$$V_c = 0,0835 \sqrt[3]{f_c^2} b_w d \quad [\text{kN}] \quad (\text{eq. 3.22})$$

onde: f_c = resistência à compressão do concreto;
 b_w = largura da viga;
 d = altura útil da viga.

ACI Code (1995)

A norma norte-americana sugere uma forma simplificada para a determinação da contribuição do concreto para a resistência ao cisalhamento, V_c . Através da equação 3.23 determina-se a contribuição do concreto.

$$V_c = 0,05270 \sqrt{f_c} b_w d \quad [\text{kN}] \quad (\text{eq. 3.23})$$

Zsutty (1968)

De acordo com os experimentos conduzidos por Zsutty, a parcela de esforço cortante resistida pelo concreto pode ser determinada através da expressão:

$$V_c = 0,495 \sqrt[3]{f_c \rho \frac{d}{a}} b_w d \quad [\text{kN}] \quad (\text{eq. 3.24})$$

Se a relação a/d for menor que 2,5, Zsutty propõe um ajuste através da expressão:

$$V_c = 0,495 \left(2,5 \frac{d}{a} \right) \sqrt[3]{f_c \rho \frac{d}{a}} b_w d \quad [\text{kN}] \quad (\text{eq. 3.25})$$

onde: a = vão de cisalhamento;
 ρ = taxa de armadura longitudinal.

fib (1999)

A resistência ao cisalhamento do concreto, de acordo com as recomendações da ***fib***, está associada às dimensões da seção transversal, propriedades do concreto e taxa de armadura longitudinal; e pode ser determinada através da expressão 3.26.

$$V_c = 0,0345 \left(1 + \sqrt{\frac{20}{d}} \right) \sqrt[3]{\left(\frac{100 A_s}{b_w d} f_c \right)} b_w d \quad [\text{kN}] \quad (\text{eq. 3.26})$$

onde: A_s = área da seção transversal da armadura longitudinal tracionada.

Rebeiz (1999)

O estudo conduzido por Rebeiz apresenta um conjunto de equações alternativas para a previsão da carga de ruptura de vigas de concreto armado sem armadura transversal. Neste trabalho são avaliados os resultados de mais de 350 ensaios utilizando técnicas de análise dimensional, interpolação e regressão múltipla, tanto para vigas de concreto normal quanto de alta resistência. Além disso, estas equações levam em consideração, também, a diferença em comportamento que apresentam as vigas curtas e longas, principalmente quanto ao seu mecanismo de ruptura.

$$V_c = \left[0,04 + 0,3162 \sqrt{f_c \rho \frac{d}{a}} (2,7 - 0,4 A_d) \right] b_w d \quad [\text{kN}] \quad (\text{eq. 3.27})$$

onde:

- f_c = resistência à compressão do concreto;
- ρ = taxa de armadura longitudinal;
- a = vão de cisalhamento;
- A_d = coeficiente de ajuste da forma $A_d = \frac{a}{d}$ se $1,0 \leq \frac{a}{d} \leq 2,5$
 $A_d = 2,5$ se $\frac{a}{d} \geq 2,5$

3.5.3.2 Contribuição da armadura transversal

O propósito da armadura transversal é o de minimizar a abertura das fissuras ocasionadas pela componente de tração diagonal e transferir esta solicitação de um lado ao outro desta fissura. Uma parcela muito pequena desta solicitação diagonal de tração é absorvida pela armadura transversal antes da formação das fissuras. Antes que as fissuras inclinadas comecem a tomar forma, a deformação nos estribos é igual à deformação no concreto adjacente. O mecanismo de treliça, proposto por Morsch, passa somente a funcionar após a formação destas fissuras diagonais, ou seja, após o desaparecimento da tração diagonal no concreto.

A função principal dos estribos é transferir esta solicitação de cisalhamento através da fissura [Park & Paulay, 1975]. Como a fissuração no concreto ocorre sob a ação de tensões na diagonal tracionada relativamente baixas, a tensão nos estribos, neste instante, é bastante pequena, oscilando, freqüentemente entre 20 e 60 MPa. Pode-se verificar, portanto, que os estribos não evitam as fissuras inclinadas e não são importantes até que estas fissuras comecem a se desenvolver [McCormac, 1998].

A presença de estribos é benéfica, dentro do mecanismo de resistência de uma viga sob vários aspectos. Os estribos contribuem para a resistência à tração em função dos seguintes aspectos [Park & Paulay, 1975]:

- (i) Melhoria da contribuição do efeito de pino. Um estribo pode, de forma efetiva, apoiar uma barra longitudinal que é atravessada por uma fissura de flexão e cisalhamento, próxima ao estribo;

- (ii) Suprimir as tensões de tração por flexão em blocos pela diagonal de compressão, resultado da ação de treliça;
- (iii) Limitar a abertura de fissuras diagonais dentro do regime elástico, portanto preservando e melhorando a transferência do cisalhamento por engrenamento dos agregados;
- (iv) Garantir o confinamento, quando os estribos estão espaçados proximamente, melhorando a resistência à compressão nas regiões particularmente afetadas pela ação de arco;
- (v) Prevenir a ruptura da ligação quando as fissuras se desenvolvem nas zonas de ancoragem por causa do efeito de pino e forças de ancoragem.

Assim, a contribuição da armadura transversal, de acordo com a NBR 6118, pode ser determinada através da seguinte formulação:

$$V_{sw} = 0,9 \frac{A_{sw} d}{s} f_{yw} (\cot \theta + \cot \alpha) \sin \alpha \quad [\text{kN}] \quad (\text{eq. 3.28})$$

- onde:
- A_{sw} = área da seção transversal de um estribo;
 - d = altura útil da viga;
 - s = espaçamento dos estribos medido segundo o eixo longitudinal da peça;
 - f_{yw} = tensão de escoamento da armadura transversal;
 - θ = ângulo de inclinação da diagonal comprimida (biela) em relação ao eixo longitudinal da peça;
 - α = ângulo de inclinação dos estribos em relação ao eixo longitudinal da peça.

Considerando que o ângulo de inclinação da diagonal comprimida (θ) igual à 45° e os estribos verticais ($\alpha=90^\circ$) obtém-se, a partir da equação 3.29:

$$V_{sw} = 0,9 \frac{A_{sw} d}{s} f_{yw} \quad [\text{kN}] \quad (\text{eq. 3.29})$$

3.5.3.3 Contribuição do reforço externo

A dificuldade em mensurar a contribuição do reforço externo no incremento da resistência ao cisalhamento reside no fato de que não se dispõe, ainda, de uma formulação única que permita avaliar este incremento, principalmente em função da falta de resultados experimentais que confirmem estas aproximações [Khalifa et al, 1998; Triantafillou, 1998; Carolin, 2001].

Swamy et al (1999) sugerem, ainda, que o critério de ruptura para o reforço ao cisalhamento é determinado muito mais pela eficiência da ancoragem do que pela resistência à tração do compósito. Apresentam-se, a seguir, alguns dos modelos analíticos desenvolvidos até a presente data.

Khalifa et al (1998)

Este estudo apresenta duas abordagens, baseadas em dois possíveis modos de ruptura. A primeira supõe que o compósito falha por tração, apresentando uma deformação efetiva significativamente menor que sua deformação de ruptura. Este fenômeno se explica através da concentração de tensões no compósito de fibra de carbono [Triantafillou, 1998; Khalifa et al, 1998; MBT, 1998]. Esta abordagem é similar ao conceito utilizado para quantificar a contribuição da armadura transversal.

A deformação efetiva pode ser determinada, experimentalmente, através da comparação da rigidez dos compósitos de *CFRP* em várias configurações de reforço ao cisalhamento [Triantafillou, 1998]. Entretanto, em virtude da falta de resultados experimentais, esta abordagem não considera o efeito da resistência do concreto ou da forma da superfície de aderência [Khalifa et al, 1998].

A tensão no compósito de *CFRP* deve ser calculada na direção vertical e multiplicada pela área de reforço que cruza uma fissura potencial de cisalhamento. Contudo, esta tensão não está associada à uma deformação de ruptura, mas sim à uma deformação efetiva, $\epsilon_{f,e}$, a partir da qual pode-se determinar, através da equação 3.30, a contribuição do reforço externo para a resistência ao cisalhamento da viga reforçada.

$$V_f = \rho_f E_f \varepsilon_{f,e} b_w 0,9d(\sin\beta + \cos\beta) \quad [\text{kN}] \quad (\text{eq. 3.30})$$

onde:

- ρ_f = taxa de reforço $\rho_f = \frac{2t_f w_f}{b_w s_f}$;
- $\varepsilon_{f,e}$ = deformação específica efetiva do compósito;
- t_f = espessura do compósito;
- E_f = módulo de elasticidade do compósito de *CFRP*;
- w_f = largura do reforço ao cisalhamento com compósito de *CFRP*;
- s_f = espaçamento entre tiras de reforço ao cisalhamento;
- β = ângulo de inclinação entre a orientação das fibras e o eixo longitudinal da peça.

Na figura 3-15, observa-se a notação empregada para a abordagem proposta por Khalifa, e que será adotada ao longo deste trabalho.

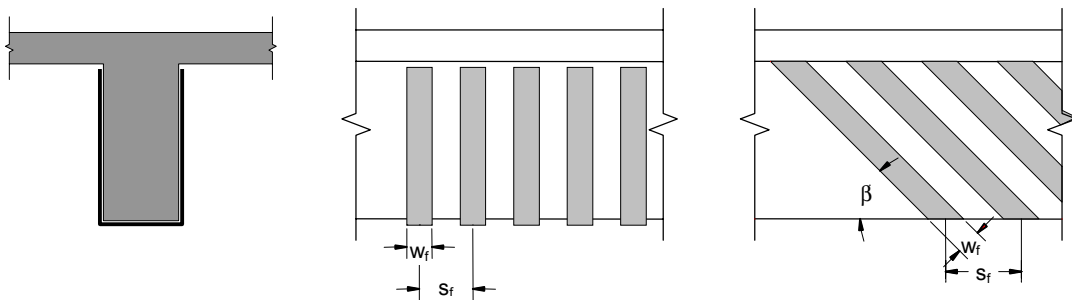


FIGURA 3-15 — Notação para esquema de reforço ao cisalhamento

A partir de resultados experimentais, observou-se que a deformação específica efetiva no reforço é função da rigidez axial do compósito de *CFRP* ($\rho_f E_f$). Através de diversos ensaios, Triantafyllou (1998) estabeleceu uma relação entre a deformação efetiva e a rigidez axial. Estes ensaios foram realizados utilizando diversos tipos de compósitos (fibra de vidro, aramida e carbono) e configurações (envolvimento tipo “U” e reforço somente na lateral). Assim, de posse do valor da deformação específica, obtém-se o valor da contribuição do compósito de *CFRP* no reforço externo ao cisalhamento.

No entanto, Khalifa et al (1998) sugerem pequenas modificações ao modelo de deformação efetiva apresentado por Triantafyllou (1998). Estas modificações baseiam-se na observação de um conjunto de vigas reforçadas onde, a rigidez axial ($\rho_f E_f$) não ultrapassou o

valor de 110 kN/cm². Estabelece-se, então, uma relação entre a deformação efetiva e deformação de ruptura — $R = \epsilon_{f,e} / \epsilon_{f,u}$ —, que pode ser calculado a partir da equação 3.31

$$R = 0,5622 \times 10^{-6} (\rho_f E_f)^2 - 1,2188 \times 10^{-2} (\rho_f E_f) + 0,778 \leq 0,50 \quad (\text{eq. 3.31})$$

O limite superior de $R=0,50$ tem por finalidade garantir, em conjunto com coeficientes de segurança, que o valor máximo de deformação efetiva não ultrapasse 5000 $\mu\epsilon$. Este limite é sugerido para manter a integridade do concreto. Para elevados níveis de deformação, a abertura das fissuras compromete o mecanismo de engrenamento dos agregados (*aggregate interlock*) e reduz dramaticamente a resistência ao cisalhamento do concreto. Deve-se salientar, porém, que este limite se destina somente às mantas flexíveis de *CFRP* de baixo módulo, que possuem uma deformação na ruptura de cerca de 1,5%.

A segunda abordagem considera que a ruptura ocorre por arrancamento do reforço do substrato de concreto [Khalifa et al, 1998; MBT, 1998]. Uma vez que as forças de cisalhamento determinam o surgimento de fissuras inclinadas no concreto, elevadas tensões de tração se desenvolvem em porções do reforço com compósito de *CFRP* que unem estas fissuras. Estas tensões de tração, verticalmente orientadas, são resultado da separação vertical de porções de concreto em ambos os lados da fissura. Estas tensões de tração devem ser transferidas para o concreto em cada lado da fissura pela tensão de aderência na interface. Se esta aderência é comprometida, ocorrerá uma falha por descolamento [Khalifa et al, 1998].

Maeda et al (1997) realizaram um conjunto de ensaios com o objetivo de avaliar a aderência entre compósitos de fibra de carbono e a superfície de concreto. Estes experimentos foram realizados variando-se a rigidez e o comprimento de ancoragem destas tiras. De acordo com as observações de Maeda et al (1997), para comprimentos de ancoragem superiores a 100 mm, a força de tração desenvolvida na fibra não se altera. A razão para isto se deve ao fato de que, em estágios iniciais de carregamento, a carga é suportada pela aderência na região adjacente ao ponto de carregamento [Khalifa et al, 1998]. Se o descolamento ocorre nesta região, a área de aderência ativa muda de posição. Esta ação se repete até que ocorra o completo descolamento do compósito de fibra de carbono. Baseado nestes ensaios foi proposta uma equação exponencial que determina o valor deste

comprimento de ancoragem efetivo. Esta equação é função da rigidez axial do compósito de *CFRP* e quanto maior sua rigidez, menor o comprimento efetivo de ancoragem.

$$L_e = e^{5,167-0,58 \ln(t_f E_f)} \quad [\text{cm}] \quad (\text{eq. 3.32})$$

Ainda, uma vez que uma fissura de cisalhamento se desenvolve, apenas parte do comprimento do reforço estará efetivamente suportando a força de cisalhamento. Sugere-se, portanto, substituir a altura do reforço, h_f , por uma altura efetiva, $h_{f,e}$. O valor desta altura efetiva depende da configuração de reforço adotada e pode ser determinada a partir das equações 3.33(a) – envolvimento total, 3.33(b) – envolvimento tipo “U” e 3.33(c) – somente nas laterais.

$$h_{f,e} = h_f \quad (\text{eq. 3.33(a)})$$

$$h_{f,e} = h_f - L_e \quad (\text{eq. 3.33(b)})$$

$$h_{f,e} = h_f - 2L_e \quad (\text{eq. 3.33(c)})$$

onde: h_f = profundidade do reforço externo (geralmente igual a d para seções retangulares).

Assim, o coeficiente de redução R , para um modo de ruptura controlado pelo descolamento do reforço, pode ser determinado através da expressão 3.34. É importante observar que esta equação é aplicável para valores de $E_f t_f$ entre 200 e 900 kN/cm.

$$R = 4,6416 \times 10^{-6} \frac{\sqrt[3]{f_c^2 h_{f,e}}}{\epsilon_{f,u} d_f} [738,93 - 0,406(E_f t_f)] \quad (\text{eq. 3.34})$$

fib (2001)

Com algumas exceções, a maioria dos pesquisadores tem idealizado o comportamento do reforço ao cisalhamento com compósitos de *FRP* de maneira análoga ao funcionamento

dos estribos, considerando que a contribuição do compósito para a resistência ao cisalhamento deriva-se da capacidade das fibras suportarem tensões de tração sob uma deformação relativamente constante, que é igual a deformação de ruptura ou um valor reduzido [fib, 2001].

Recentemente, Täljsten (1998), Triantafillou (1998) e Triantafillou & Antonopoulos (2000), demonstraram que quando o elemento de concreto alcança sua capacidade de resistência ao cisalhamento (um pouco antes de seu colapso), o reforço externo com compósito de *FRP* é alongado na direção principal das fibras em um nível que, em geral, é menor que sua deformação de ruptura. Esta deformação é denominada deformação específica efetiva. A determinação da deformação efetiva, baseada em modelos analíticos rigorosos, é extremamente difícil, quando não impossível. Contudo, pode ser estimada através de modelos simplificados baseados em análise dos resultados experimentais disponíveis.

A questão central reside exatamente na estimativa desta deformação específica efetiva através da identificação da situação do compósito na ruptura do elemento de concreto. É importante ressaltar que o colapso é sempre definido pela tração diagonal no concreto.

Observa-se ainda, que, no estado limite último, um certo grau de descolamento do reforço é esperado, mesmo que a ruptura não ocorra simultaneamente ao descolamento. Isto é atribuído à excessiva deformação no reforço, que resulta em uma incompatibilidade de deformações com o substrato de concreto, conduzindo à fissuração. A fissuração, por sua vez, ocasiona concentrações de tensão que produzem o descolamento. Portanto, pode-se conceber que a deformação efetiva depende fortemente do comprimento de ancoragem, de sua relação com o comprimento de ancoragem efetivo (através do qual as tensões de aderência na interface concreto/reforço se desenvolvem) e a relação entre o comprimento de ancoragem efetivo e o “comprimento de desenvolvimento” (necessário para alcançar a ruptura do reforço por tração antes do descolamento).

Excetuando-se as condições de colagem do reforço (preparação da superfície, execução etc.) o comprimento de desenvolvimento depende da rigidez axial do reforço que pode ser expresso pelo produto ($\rho_f E_f$) e é inversamente proporcional à resistência do concreto. Esta dependência pode ser estabelecida através de resultados experimentais como detalhado por Triantafillou & Antonopoulos (2000).

De acordo com o modelo proposto por Triantafillou (1998) e Täljsten (1999), o reforço externo com compósito de *CFRP* pode ser tratado de maneira análoga ao que é feito para a armadura transversal interna, supondo que, no estado limite último (tração diagonal do concreto) o compósito de *CFRP* apresenta uma deformação específica efetiva $\epsilon_{f,e}$. Alguns pesquisadores propõem uma deformação máxima de 6‰, com o objetivo de manter a integridade do concreto e assegurar o funcionamento do mecanismo de engrenamento dos agregados (*aggregate interlock*). Esta limitação deve ser somente considerada se o funcionamento deste mecanismo é de crucial importância [*fib*, 2001].

Assim, através da análise estatística de um conjunto de resultados experimentais, a deformação específica efetiva pode ser estimada através das equações 3.35 e 3.36. A equação 3.35 aplica-se para a situação de envolvimento total da seção transversal, ou quando a ancoragem é garantida através de mecanismos de fixação adicionais. Desta forma, admite-se que o modo de falha se caracterizará pela ruptura do reforço por tração.

$$\epsilon_{f,e} = 1,073 \left(\frac{\frac{2}{f_c^3}}{\rho_f E_f} \right)^{0,30} \epsilon_{f,u} \quad (\text{eq. 3.35})$$

Por outro lado, aplica-se a equação 3.36 para os casos de envolvimento tipo “U” e colagem do reforço somente nas laterais. Este resultado é comparado com aquele obtido através da equação 3.34 e adotando-se o menor dentre eles.

$$\epsilon_{f,e} = 0,2024 \left(\frac{\frac{2}{f_c^3}}{\rho_f E_f} \right)^{0,56} \quad (\text{eq. 3.36})$$

ACI (2002)

De acordo com as recomendações do ACI, a contribuição do reforço externo com compósitos de fibra de carbono pode ser determinada através da seguinte expressão:

$$V_f = \frac{A_{fv} \sigma_{f,e} (\sin \beta + \cos \beta) h_f}{s_f} \quad [\text{kN}] \quad (\text{eq. 3.37})$$

onde: A_{fv} = área da seção transversal de reforço ao cisalhamento $A_{fv} = 2n t_f w_f$;
 $\sigma_{f,e}$ = tensão efetiva no reforço.

Assim, da mesma forma como foi proposto pelos modelos de Khalifa (1998) e *fib* (2001), o ACI propõe, igualmente, uma tensão efetiva, oriunda de uma deformação específica efetiva

$$\sigma_{f,e} = \varepsilon_{f,e} E_f \quad [\text{kN/cm}^2] \quad (\text{eq. 3.38})$$

Para o caso de envolvimento total da seção transversal, este modelo propõe uma limitação na deformação efetiva (0,4%), com a finalidade de preservar o funcionamento do mecanismo de engrenamento dos agregados.

$$\varepsilon_{f,e} = 0,004 \leq 0,75 \varepsilon_{f,u} \quad (\text{eq. 3.39})$$

Por outro lado, para as configurações de reforço de envolvimento tipo “U” e somente nas laterais, observou-se que o modo de ruptura predominante é o descolamento do reforço. Assim, as tensões de aderência devem ser analisadas com o intuito de determinar a deformação efetiva que pode ser alcançada. Esta deformação específica efetiva é determinada através de um coeficiente de redução κ_v .

$$\varepsilon_{f,e} = \kappa_v \varepsilon_{f,u} \leq 0,004 \quad (\text{eq. 3.40})$$

Através da expressão 3.41, pode-se determinar este coeficiente de redução, que é função da resistência do concreto, da configuração do reforço e rigidez do compósito.

$$\kappa_v = \frac{k_1 k_2 L_e}{1190 \varepsilon_{f,u}} \quad (\text{eq. 3.41})$$

O comprimento de ancoragem efetivo, L_e , pode ser determinado através da equação 3.42.

$$L_e = \frac{161,2}{(n t_f E_f)^{0,58}} \quad [\text{cm}] \quad (\text{eq. 3.42})$$

A consideração da resistência do concreto e da configuração de reforço é alcançada através dos coeficientes de modificação k_1 e k_2 , respectivamente.

$$k_1 = 0,516 \sqrt[3]{f_c^2} \quad (\text{eq. 3.43})$$

$$k_2 = \frac{h_f - L_e}{h_f} \quad \text{envolvimento tipo "U"} \quad (\text{eq. 3.44(a)})$$

$$k_2 = \frac{h_f - 2L_e}{h_f} \quad \text{somente nas laterais} \quad (\text{eq. 3.44(b)})$$

Adicionalmente, salienta-se que, embora esta metodologia não tenha sido confirmada para o reforço em regiões submetidas à combinação de elevadas solicitações de flexão e cisalhamento, assim como em regiões de momento negativo, o valor de κ_v é considerado adequado, também, para estes casos.

TENG et al (2001)

O modelo de Teng et al (2001) para a determinação da contribuição do reforço externo com compósitos de **CFRP** na resistência ao cisalhamento de vigas de concreto armado é aplicável tanto para o reforço em tiras quanto para o reforço contínuo.

Da mesma forma que os modelos apresentados anteriormente, este também estabelece dois possíveis modos de ruptura. O primeiro, associado à ruptura do compósito por tração, e o segundo, ao seu descolamento. Teng et al observam, ainda, que, no estado limite último, a distribuição de tensões no compósito, ao longo de uma fissura de cisalhamento, não é uniforme.

Assim, a tensão efetiva no compósito pode ser determinada através da expressão:

$$\sigma_{f,e} = D_f \sigma_{f,m\acute{a}x} \quad [\text{kN/cm}^2] \quad (\text{eq. 3.45})$$

onde: $\sigma_{f,e}$ = tensão efetiva no reforço;
 D_f = fator de distribuição de tensão do reforço ao longo de uma fissura de cisalhamento;
 $\sigma_{f,m\acute{a}x}$ = tensão máxima admissível no reforço.

Os valores de D_f e $\sigma_{f,m\acute{a}x}$ dependem do modo de ruptura da viga. Para o caso de envolvimento total da seção transversal, a verificação é realizada através da consideração de ruptura do compósito à tração. Já para os casos de envolvimento tipo “U” e reforço colado somente nas laterais, verificam-se ambas as situações, tomando-se o menor valor dentre elas.

Por razões práticas, e sem comprometer os resultados, este modelo recomenda, no caso de falha controlada pela ruptura do compósito, uma distribuição linear de tensão, determinada através da equação 3.46.

$$D_f = \frac{1 + \zeta}{2} \quad (\text{eq. 3.46})$$

onde: ζ = parâmetro geométrico $\zeta = \frac{h_{f,t}}{h_f - h + 0,9d}$
 $h_{f,t}$ = distância entre a face comprimida e a extremidade superior do reforço;
 h_f = altura do reforço.

Para as configurações em que o reforço é colado, por exemplo, em toda altura da viga, verifica-se que $\zeta=0$ e, portanto, $D_f=0,5$. O compósito começa a romper se a tensão máxima admissível atinge sua tensão de ruptura. Portanto, a máxima tensão admissível será:

$$\sigma_{f,m\acute{a}x} = f_f \quad [\text{kN/cm}^2] \quad (\text{eq. 3.47})$$

Portanto, a contribuição do reforço externo pode ser determinada através da equação:

$$V_f = 2\sigma_{f,e} t_f w_f \frac{(\sin\beta + \cos\beta)h_{f,e}}{s_f} \quad [\text{kN}] \quad (\text{eq. 3.48})$$

onde: $h_{f,e}$ = altura efetiva do reforço

Para a determinação da altura efetiva do reforço, este modelo considera, ainda, que a fissura de cisalhamento termina a uma distância de cerca de $0,1d$ abaixo da face comprimida da viga. Portanto, a altura efetiva pode ser determinada através da equação:

$$h_{f,e} = h_f - h + 0,9d - h_{f,t} \quad [\text{cm}] \quad (\text{eq. 3.49})$$

Conforme discutido anteriormente, o descolamento do reforço se caracteriza como forma predominante de ruptura para elementos com reforço somente nas laterais e envolvimento tipo “U”. Nestes casos, a resistência do elemento reforçado é controlada pela aderência reforço/concreto. A máxima tensão no compósito ocorre no local em que o reforço apresenta seu maior comprimento de ancoragem. Assim, a máxima tensão admissível no compósito é determinada através do menor valor entre as equações 3.45 e 3.50.

$$\sigma_{f,\text{máx}} = 0,0759\beta_w \beta_L \sqrt{\frac{E_f \sqrt{f_c}}{t_f}} \quad [\text{kN/cm}^2] \quad (\text{eq. 3.50})$$

onde: $\sigma_{f,\text{máx}}$ = tensão máxima admissível no compósito ao longo de uma fissura de cisalhamento;

β_w = coeficiente de largura de tira de reforço ao cisalhamento;

β_L = coeficiente que relaciona comprimentos de ancoragem;

E_f = módulo de elasticidade;

f_c = resistência à compressão do concreto;

t_f = espessura do compósito.

Os valores de β_L e β_w , refletem, respectivamente, o efeito do comprimento de ancoragem e a relação entre largura e espaçamento do reforço, e podem ser determinados através das seguintes expressões:

$$\beta_L = 1 \quad \text{se } \lambda \geq 1 \quad (\text{eq. 3.51(a)})$$

$$\beta_L = \text{sen}\left(\frac{\pi}{2}\lambda\right) \quad \text{se } \lambda < 1 \quad (\text{eq. 3.51(b)})$$

$$\beta_w = \sqrt{\frac{2 - \frac{w_f}{(s_f \text{sen } \beta)}}{1 + \frac{w_f}{(s_f \text{sen } \beta)}}} \quad \text{para reforço em tiras} \quad (\text{eq. 3.52(a)})$$

$$\beta_w = \frac{\sqrt{2}}{2} \quad \text{para reforço contínuo} \quad (\text{eq. 3.52(b)})$$

Onde λ representa o comprimento de ancoragem máximo, normalizado, e pode ser determinado através da equação 3.53.

$$\lambda = \frac{L_{\text{máx}}}{L_e} \quad (\text{eq. 3.53})$$

Por sua vez, $L_{\text{máx}}$ e L_e , representam os comprimentos de ancoragem máximo e efetivo, respectivamente.

$$L_{\text{máx}} = \frac{h_{f,e}}{\text{sen } \beta} \quad \text{envolvimento tipo "U"} \quad [\text{cm}] \quad (\text{eq. 3.54(a)})$$

$$L_{\text{máx}} = \frac{h_{f,e}}{2 \text{sen } \beta} \quad \text{somente nas laterais} \quad [\text{cm}] \quad (\text{eq. 3.54(b)})$$

$$L_e = 0,5623 \sqrt{\frac{E_f t_f}{\sqrt{f_c}}} \quad [\text{cm}] \quad (\text{eq. 3.55})$$

Como a ligação reforço/concreto geralmente apresenta um certo deslizamento após atingir sua máxima resistência de aderência (comportamento pseudo-plástico), o modelo proposto considera que todo compósito interceptado pela fissura de cisalhamento pode desenvolver sua resistência de aderência plenamente.

Salienta-se, porém, que a resistência de aderência de uma determinada porção depende da posição da fissura relativamente à extremidade do reforço. Com base nestas considerações, o fator de distribuição da tensão no compósito pode ser determinado através das equações 3.56(a) e 3.56(b).

$$D_f = \frac{2}{\pi\lambda} \left[\frac{1 - \cos\left(\frac{\pi}{2}\right)\lambda}{\text{sen}\left(\frac{\pi}{2}\right)\lambda} \right] \text{ se } \lambda \leq 1 \quad (\text{eq. 3.56(a)})$$

$$D_f = 1 - \frac{\pi - 2}{\pi\lambda} \text{ se } \lambda > 1 \quad (\text{eq. 3.56(b)})$$

CAPÍTULO 4

— PROGRAMA EXPERIMENTAL —

Este capítulo tem por finalidade apresentar a metodologia adotada para avaliar o comportamento de vigas de concreto armado reforçadas com compósitos de fibra de carbono. São apresentadas as características das vigas utilizadas, bem como de todos os materiais intervenientes e técnicas experimentais empregadas na condução do programa experimental da presente tese.

4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A análise experimental constitui-se em uma das mais importantes etapas da engenharia estrutural. Em conjunto com as demais: (i) análise; (ii) projeto; (iii) fabricação e montagem (produção ou construção) e (iv) utilização; estabelece uma relação de interdependência, onde cada uma destas etapas fornece e requer informações das demais. A relação entre as etapas da engenharia estrutural é apresentada no diagrama da figura 4-1 [Reese & Kawahara, 1993].

Esta interação é altamente influenciada pelo desenvolvimento individual de cada uma destas etapas. A evolução nas ferramentas computacionais, por exemplo, ampliou o espectro das técnicas analíticas e numéricas, que por sua vez auxiliam a análise experimental, principalmente, sob o ponto de vista de seu planejamento, diagnóstico e instrumentação [Reese & Kawahara, 1993]. A análise experimental de um determinado elemento envolve a

imposição de uma ou mais condições de carregamento com o intuito de se obter alguma medida ou outra indicação que permita descrever a resposta estrutural do referido elemento.

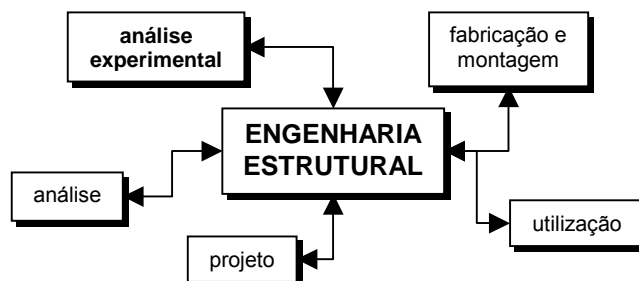


FIGURA 4-1 — Etapas básicas da engenharia estrutural

Dentre as possíveis razões para a necessidade da condução de uma análise experimental, destacam-se [Reese & Kawahara, 1993]:

- (i) compreender minuciosamente como e porquê uma estrutura responde a determinada solicitação;
- (ii) satisfazer alguma necessidade estabelecida por alguma norma ou regulamento;
- (iii) obter dados específicos, como por exemplo, resistência, deformações, deslocamentos, etc.

4.2 CARACTERÍSTICAS DAS VIGAS

O programa experimental da presente tese compreende a investigação do comportamento de vigas de concreto armado, de seção retangular, reforçadas externamente com compósitos de fibra de carbono. O número de vigas e seu respectivo dimensionamento foram elaborados buscando-se atender a uma série de restrições.

O número de vigas foi determinado com base na revisão da literatura e nos objetivos inicialmente elaborados para a condução do programa experimental desta tese. Foram construídas 44 vigas em escala real, com seção transversal 15 x 30 cm e comprimento de 300 cm. Estas vigas foram divididas em dois grupos.

O primeiro, denominado Grupo F, totalizando 14 vigas, reforçadas à flexão e o segundo, denominado Grupo C, em um total de 30 vigas, reforçadas ao cisalhamento. O número de exemplares do grupo F foi definido em função do número de sistemas de reforço disponíveis (3). Além das vigas de controle (sem reforço), cada sistema foi utilizado para reforçar um conjunto de 4 vigas. O número de exemplares do grupo C, por sua vez, foi definido para que fosse possível testar 12 configurações de reforço ao cisalhamento, empregando dois sistemas de reforço distintos. Além disso, restrições materiais, operacionais e financeiras foram de fundamental importância no dimensionamento e detalhamento das vigas.

Quanto à sua geometria, dois importantes aspectos condicionaram o tamanho das vigas. Para que fosse possível utilizar um conjunto de fôrmas metálicas disponível no laboratório, seria interessante que as vigas apresentassem a mesma seção transversal. Assim, dependendo do tipo de reforço, modificaria-se, apenas, sua armadura. Além disso, havia também, uma limitação de peso, uma vez que o laboratório não dispõe de equipamentos para a movimentação de elementos deste porte. Adicionalmente, havia uma limitação quanto ao comprimento da viga, para que fosse possível utilizar a prensa universal como instrumento de aplicação do carregamento.

O dimensionamento das armaduras, por sua vez, depende do tipo de reforço que deve ser aplicado. No caso das vigas reforçadas à flexão, a taxa de armadura longitudinal deve ser reduzida, para que seja possível avaliar o desempenho do reforço. Entretanto, a armadura transversal deve ser superestimada, para garantir que o modo de ruptura por cisalhamento ocorra por esmagamento da biela (para uma carga bastante elevada) e não por escoamento dos estribos. Por outro lado, o dimensionamento das vigas reforçadas ao cisalhamento seguiu o caminho inverso, ou seja, taxa de armadura longitudinal elevada e, no caso das vigas desta tese, sem armadura transversal. Além disso, o dimensionamento das vigas deve ser realizado sem a consideração de qualquer coeficiente de segurança, com base nas propriedades reais dos materiais, determinados a partir de ensaios laboratoriais.

Finalmente, outro importante aspecto na determinação das características das vigas está relacionado à restrição de recursos materiais (agregados, aglomerantes, aço, material de reforço, *strain gages*, etc.) disponíveis para a fabricação, reforço, instrumentação e ensaio das vigas.

Após a consideração de todas estas restrições, as vigas foram, então, dimensionadas e suas características são apresentadas a seguir.

4.2.1 Vigas reforçadas à flexão

As vigas deste grupo possuem seção transversal de 15 x 30 cm e comprimento de 300 cm. A armadura longitudinal inferior é composta por duas barras de aço CA-50, com 12,5 mm de diâmetro, correspondendo a uma taxa de armadura de $\rho = 0,0055$. A armadura superior, é composta, igualmente por aço CA-50, com 6,3 mm de diâmetro. A armadura transversal consiste de estribos com diâmetro de 6,3 mm e espaçamento uniforme de 7 cm. A armadura possui um cobrimento de 1,5 cm. Na figura 4-2, apresenta-se o detalhamento das vigas do grupo F.

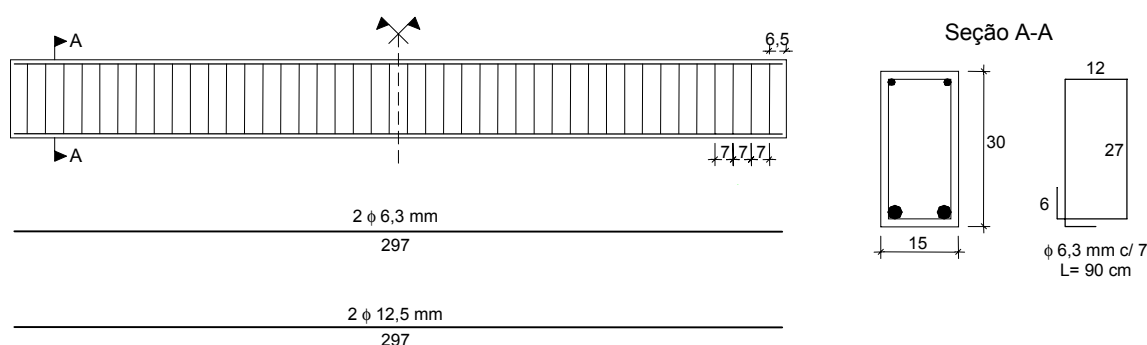
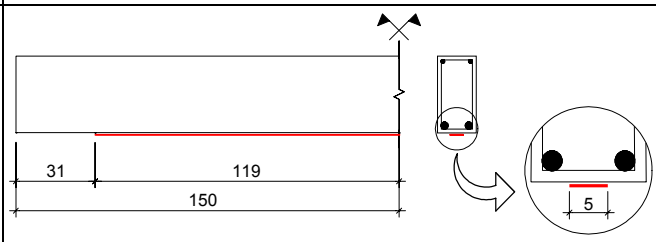
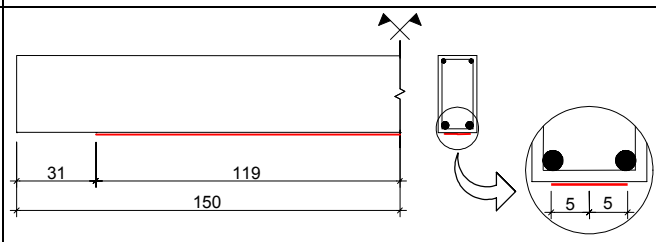
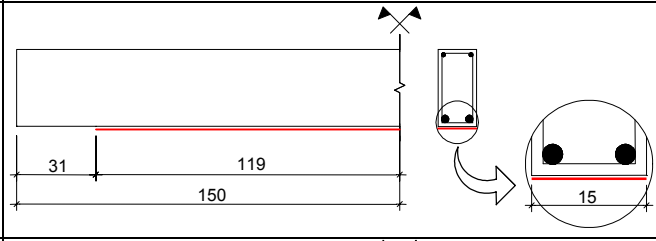
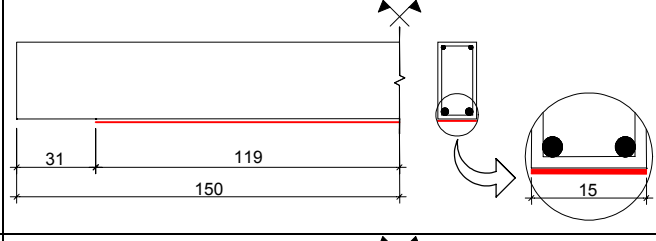
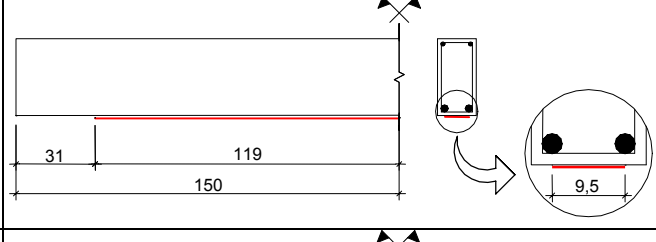
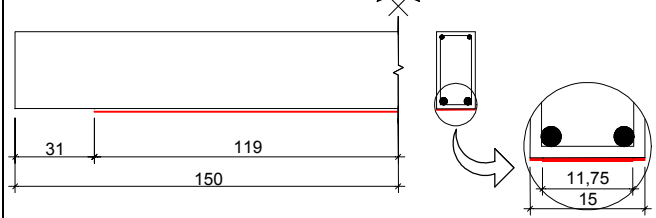


FIGURA 4-2 — Detalhamento da armadura das vigas do grupo F

Para cada uma das configurações de reforço estudada, foram construídos dois exemplares, assim, as 14 vigas do grupo F foram distribuídas em 7 pares. O quadro 4-2 apresenta o esquema de reforço de cada viga.

As vigas V1_A e V1_B não receberam qualquer reforço e são denominadas vigas de controle, a partir das quais serão estabelecidas considerações a respeito do desempenho do reforço. As vigas reforçadas com os sistemas de reforço *Replark 20* e *C-240 sheet* foram reforçadas com seções transversal de reforço iguais, para que fosse possível estabelecer comparações entre seu desempenho.

QUADRO 4-1 — Esquema de reforço das vigas do grupo F

Vigas	Esquema de reforço	
V2_A V2_B		CFK 200/2000 (1 tira) $b_f = 5 \text{ cm}$ $A_f = 0,70 \text{ cm}^2$ $L = 238 \text{ cm}$
V3_A V3_B		CFK 200/2000 (2 tiras) $b_f = 10 \text{ cm}$ $A_f = 1,40 \text{ cm}^2$ $L = 238 \text{ cm}$
V4_A V4_B		Replark 20 (1 camada) $b_f = 15 \text{ cm}$ $A_f = 0,1665 \text{ cm}^2$ $L = 238 \text{ cm}$
V5_A V5_B		Replark 20 (6 camadas) $b_f = 15 \text{ cm}$ $A_f = 0,999 \text{ cm}^2$ $L = 238 \text{ cm}$
V6_A V6_B		C-240 sheet (1 camada) $b_f = 9,5 \text{ cm}$ $A_f = 0,1672 \text{ cm}^2$ $L = 238 \text{ cm}$
V7_A V7_B		C-240 sheet (4 camadas) $b_f = 15 \text{ cm}$ (3 camadas) $b_f = 11,75 \text{ cm}$ (1 camada) $A_f = 0,999 \text{ cm}^2$ $L = 238 \text{ cm}$

4.2.2 Vigas reforçadas ao cisalhamento

Da mesma forma que as vigas do grupo F, as vigas do grupo C também possuem seção transversal de 15 x 30 cm e comprimento de 300 cm. A diferença entre os dois grupos

consiste, fundamentalmente, na configuração da armadura longitudinal, composta por seis barras de aço CA-50, com 16,0 mm de diâmetro na parte inferior (dispostas em duas camadas) e duas barras com diâmetro de 16,0 mm na parte superior. Além disso, as vigas do grupo C não possuem armadura transversal, excetuando-se estribos de montagem em suas extremidades. Na figura 4-3, apresenta-se o detalhamento das vigas do grupo C.

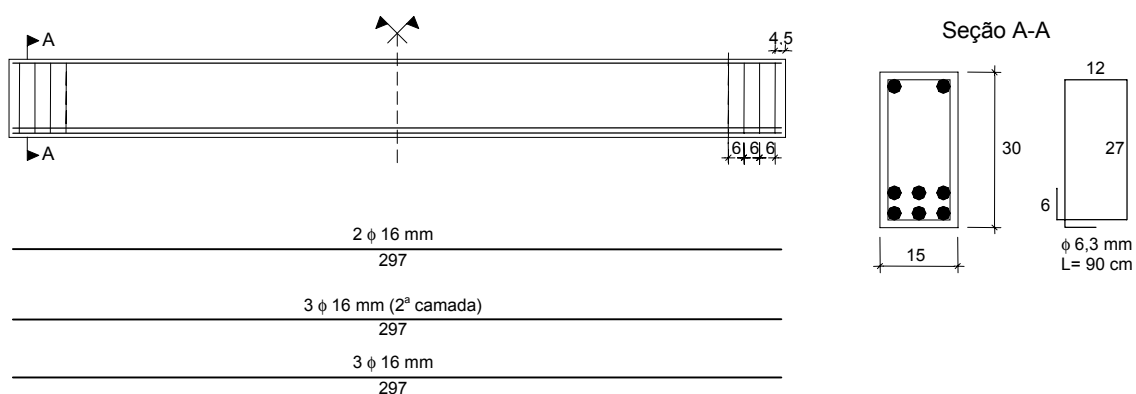


FIGURA 4-3 — Detalhamento da armadura das vigas do Grupo C

Da mesma forma que as vigas do grupo F, diversas configurações de reforço ao cisalhamento foram estudadas. O quadro 4-2, apresenta, esquematicamente, estas configurações. As figuras 4-4(a) e 4-4(b) apresentam, em detalhe, as armaduras das vigas do grupo F e C, respectivamente.



FIGURA 4-4 — Detalhe das armaduras

QUADRO 4-2 — Esquema de reforço das vigas do grupo C

Esquema de reforço		Vigas			
	<u>Replark 20</u>				
	$s_f = 10 \text{ cm}$ $w_f = 5 \text{ cm}$ $\beta = 90^\circ$	<i>Somente nas laterais</i>	V9_A	V9_B	V21_A
		<i>Tipo "L"</i>	V10_A	V10_B	V17_A
		<i>Tipo "U"</i>	V11_A	V11_B	V17_B
	<i>Envolvimento completo</i>	V12_A	V18_A	V20_A	
	<u>Replark 20</u>				
	$s_f = 14,14 \text{ cm}$ $w_f = 5 \text{ cm}$ $\beta = 45^\circ$	<i>Somente nas laterais</i>	V12_B	V14_B	
	<i>Tipo "L"</i>	V19_A	V19_B		
	<u>Replark 20</u>				
	$s_f = 65,5 \text{ cm}$ $w_f = 65,5 \text{ cm}$ $\beta = 90^\circ$	<i>Somente nas laterais</i>	V13_A	V13_B	
		<i>Tipo "U"</i>	V15_B	V16_B	
	<i>Envolvimento completo</i>	V18_B	V16_A		
	<u>Replark 20</u>				
	$s_f = 65,5 \text{ cm}$ $w_f = 65,5 \text{ cm}$ $\beta = 45^\circ$	<i>Somente nas laterais</i>	V14_A	V15_A	
	<u>CFK 200/2000</u>				
	$s_f = 10 \text{ cm}$ $w_f = 5 \text{ cm}$ $\beta = 90^\circ$	<i>Somente nas laterais</i>	V22_B	V20_B	
	<u>CFK 200/2000</u>				
	$s_f = 14,14 \text{ cm}$ $w_f = 5 \text{ cm}$ $\beta = 45^\circ$	<i>Somente nas laterais</i>	V21_B	V22_A	

4.3 CONCRETO

O concreto utilizado para a confecção das vigas do grupo F e C é do tipo convencional e foi dosado em laboratório, sem a incorporação de qualquer aditivo.

4.3.1 Dosagem

Adotou-se como critério para a dosagem do concreto o método IPT/USP. Após a realização das caracterizações de cada um dos materiais, agregado graúdo, miúdo e cimento, procedeu-se o ajuste do traço. Os agregados utilizados foram previamente lavados, secos ao ar e peneirados, além de estarem livres de matéria orgânica e impurezas.

O agregado graúdo é de origem natural, proveniente do basalto e o agregado miúdo, areia, é oriunda do rio Jacuí. As características principais dos agregados são apresentadas nas tabelas 4-1 e 4-2.

TABELA 4-1 — Composição granulométrica do agregado graúdo

Abertura peneira [mm]	19,0	12,5	9,5	6,3	4,8	< 4,8
% Retida média	2,30	54,30	29,78	11,93	1,48	0,21
% Retida acumulada	2,30	56,60	86,38	98,31	99,79	100
Dimensão máxima característica [mm]						19,0
Massa específica [kN/m³]						27,5

TABELA 4-2 — Composição granulométrica do agregado miúdo

Abertura peneira [mm]	4,8	2,4	1,2	0,6	0,3	0,15	< 0,15
% Retida média	0,95	5,39	12,69	23,71	41,48	15,06	0,72
% Retida acumulada	0,95	5,39	18,73	42,44	83,92	98,98	100
Dimensão máxima característica [mm]							4,8
Módulo de finura							2,5
Massa específica [kN/m³]							26,3

Neste trabalho, o aglomerante utilizado foi o cimento *Portland* de alta resistência inicial (CPV-ARI). Após o ajuste do traço, determinou-se, através da classe de resistência desejada ($f_{cj} > 3,0 \text{ kN/cm}^2$), a relação água/cimento (0,575) e a relação cimento/materiais secos (1:6,51). O consumo de cimento é igual a 305 kg/m^3 e o teor de argamassa igual a 50%. A consistência, estimada através de ensaio de abatimento de tronco de cone, deve ser igual a $5 \pm 1 \text{ cm}$. O consumo dos materiais por m^3 é apresentado no quadro 4-3.

QUADRO 4-3 — Consumo de materiais para 1 m³ de concreto

Material	Consumo
Cimento	305 kg
Agregado miúdo	851 kg
Agregado graúdo	1135 kg
Água	175,4 kg

4.3.2 Mistura

A mistura foi executada mecanicamente através de uma betoneira intermitente de queda livre e eixo inclinado, com pás solidárias à cuba, e capacidade de mistura de 0,192 m³. Todos os materiais foram dosados em massa, inclusive a água.

Cada betonada correspondeu ao volume de concreto de uma viga e a moldagem de 9 corpos de prova 10 x 20 cm, para a determinação de suas propriedades mecânicas. Antes de cada etapa a betoneira recebeu uma imprimação com nata de cimento. A determinação da consistência do concreto (figura 4-5(a)), para cada betonada, foi realizada através do ensaio de abatimento de tronco de cone, seguindo as recomendações da NBR 7223.

4.3.3 Moldagem

As fôrmas utilizadas para a moldagem dos protótipos são de aço, do tipo regulável, permitindo a execução de elementos de concreto com até 300 cm de comprimento, 30 cm de altura e 15 cm de largura (figura 4-5(b)). Para a concretagem dos protótipos da presente tese, foram utilizados três conjuntos completos de fôrmas, compostos por um fundo, duas laterais e duas cabeceiras cada. Antes de cada concretagem, as fôrmas eram vedadas com silicone para evitar a fuga de nata de cimento e receberam a aplicação de desmoldante.

4.3.4 Adensamento

O procedimento de lançamento, ilustrado na figura 4-5(c), foi realizado em duas etapas, sendo cada uma destas correspondente à metade do volume de concreto para cada

viga. O adensamento do concreto foi mecânico através da utilização de vibrador de imersão, conforme a figura 4-5(d). Utilizou-se um vibrador do tipo agulha com 420 mm de comprimento, diâmetro de 25,4 mm e com frequência de 3450 rpm. Concluído o adensamento, as fôrmas eram cobertas com plástico, objetivando-se atenuar os efeitos de retração do concreto pela evaporação da água de amassamento, nas primeiras horas após a concretagem.



(a)



(b)



(c)



(d)

FIGURA 4-5 — Detalhes da concretagem

4.3.5 Retirada das fôrmas e cura

A utilização de um cimento de alta resistência inicial permitiu a retirada das fôrmas ao primeiro dia de idade. A cura, do tipo úmida, através do envolvimento das vigas em sacos de aniagem, estendeu-se desde cerca de quatro horas após a concretagem, até o sétimo dia.

4.3.6 Controle tecnológico

O controle tecnológico do concreto foi realizado através da moldagem de corpos de prova cilíndricos do tipo 10 x 20 cm. A cada betonada, foram moldados nove corpos de prova, e estes ensaiados à compressão simples e à compressão diametral, na data em que cada uma das vigas correspondentes foi ensaiada. Os ensaios foram realizados utilizando uma prensa universal SHIMADZU com capacidade de 2000 kN.

A partir dos ensaios, obteve-se uma resistência à compressão média de **3,28 kN/cm²**, com um coeficiente de variação de **5,24%**. A resistência à tração média, obtida através do ensaio de compressão diametral, foi de **0,29 kN/cm²**, com um coeficiente de variação de **9,09%**.

4.4 AÇO

As barras de armadura, do tipo CA50, empregadas na construção das vigas, foram ensaiadas à tração para a determinação de sua tensão de escoamento e ruptura. Foram ensaiadas duas amostras de cada diâmetro de aço utilizado. Na tabela 4-3 são apresentadas as propriedades destas armaduras.

TABELA 4-3 — Características das armaduras

Amostra	Diâmetro [mm]	Tensão de escoamento [kN/cm ²]	Tensão de ruptura [kN/cm ²]
1	6,3	57,74	75,03
2	6,3	59,67	74,42
1	12,5	70,24	80,35
2	12,5	71,06	79,69
1	16,0	61,87	79,11
2	16,0	63,16	81,07

4.5 COMPÓSITOS DE *CFRP*

Na condução do programa experimental da presente tese, foram empregados os dois sistemas de reforço com compósitos de *CFRP* disponíveis atualmente no mercado nacional, proveniente de três fornecedores distintos.

4.5.1 Sistema pré-fabricado

O sistema de laminados pré-fabricados, empregado neste programa experimental, é do tipo CFK 200/2000, produzido pela *S&P Reinforcements*. Este sistema foi utilizado tanto para o reforço à flexão quanto ao cisalhamento. As propriedades do laminado, segundo informações do fabricante, são apresentadas no quadro 4-4.

QUADRO 4-4 — Propriedades do laminado pré-fabricado CFK 200/2000 – *S&P Reinforcements*

Resistência à tração	250 kN/cm ²
Módulo de elasticidade	20500 kN/cm ²
Deformação específica na ruptura	0,0122
Conteúdo de fibras	70%
Massa específica	1,7 g/cm ³
Espessura	0,14 cm
Largura	5 cm

4.5.2 Sistema curado *in situ*

No caso do sistema curado *in situ*, foram empregados dois tipos de manta flexível. O primeiro sistema, denominado Replark 20, é produzido pela *Mitsubishi Chemical Corporation*, e o segundo, denominado C-Sheet 240, é produzido pela *S&P Reinforcements*. Estes dois tipos de manta flexível apresentam características distintas, principalmente quanto ao peso de fibra por área. Além disso, para cada um dos tipos de manta flexível, existe um conjunto de resinas correspondentes, para imprimação e saturação. As propriedades das mantas flexíveis Replark 20 e C-Sheet 240, são apresentadas nos quadros 4-5 e 4-6, respectivamente.

QUADRO 4-5 — Propriedades da manta flexível Replark 20 – *Mitsubishi Chemical Corporation*

Resistência à tração	340 kN/cm ²
Módulo de elasticidade	23000 kN/cm ²
Deformação específica na ruptura	0,0148
Peso de fibra por área	200 g/m ²
Espessura	0,0111 cm
Largura	25 cm

QUADRO 4-6 — Propriedades da manta flexível C-Sheet 240 – *S&P Reinforcements*

Resistência à tração	380 kN/cm ²
Módulo de elasticidade	24000 kN/cm ²
Deformação específica na ruptura	0,0158
Peso de fibra por área	300 g/m ²
Espessura	0,0176 cm
Largura	30 cm

4.5.3 Aplicação do reforço

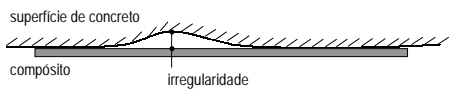
O processo de aplicação de um reforço externo, empregando compósitos de fibra de carbono, é bastante simples. Observa-se, apenas a necessidade de uma supervisão criteriosa durante todas as etapas, com o objetivo de garantir a qualidade e funcionalidade do reforço.

4.5.3.1 Preparação da superfície

Para os reforços executados com chapa de aço, argamassa de alto desempenho ou concreto convencional, existe a necessidade do apicoamento da superfície de concreto. Este procedimento consiste na retirada, com o auxílio de equipamentos como ponteiros ou martelões, da camada superficial de nata de cimento e a conseqüente exposição dos agregados. Ainda, após este procedimento, a superfície passará a apresentar irregularidades, cujo efeito é bastante positivo, pois melhora a aderência entre o reforço e o concreto.

Por outro lado, a preparação da superfície de concreto, que receberá o reforço com compósitos de fibra de carbono, distingue-se exatamente no aspecto regularidade da superfície. De acordo com recomendações do *fib* (2001), os valores aceitáveis de irregularidade da superfície são apresentados no quadro 4-7. Através destas recomendações, pode-se observar, claramente, que os sistemas curados *in situ* são mais sensíveis às irregularidades da superfície de concreto [Meier, 1995].

QUADRO 4-7 — Valores aceitáveis de irregularidade da superfície de concreto

SISTEMA DE REFORÇO		
	<i>Irregularidade aceitável em um comprimento de 2 m</i>	<i>Irregularidade aceitável em um comprimento de 0,3 m</i>
Laminado pré-fabricado (espessura > 1 mm)	10 mm	4 mm
Laminado pré-fabricado (espessura < 1 mm)	6 mm	2 mm
Curado <i>in situ</i>	4 mm	2 mm

No caso da aplicação dos compósitos de fibra de carbono, a camada de nata de cimento, deteriorada ou frágil, deve, também, ser removida e os agregados expostos. No entanto, este procedimento deve ser realizado utilizando-se um equipamento que permita que a superfície seja mantida o mais regular possível. Para o desgaste da superfície de concreto, utilizou-se uma esmerilhadeira equipada com um disco diamantado (figura 4-6(a)). Esta tarefa pode ser realizada, também, através de lixação, jato de areia ou jato d'água. A figura 4-6(b) apresenta a superfície de concreto já preparada.



(a)



(b)

FIGURA 4-6 — Preparação da superfície de concreto para receber o reforço

Na figura 4-7, apresenta-se um esquema da fase de preparação da superfície.que receberá o reforço com um sistema curado *in situ*. Neste caso, em particular, observa-se a necessidade da aplicação do *primer*, cujo objetivo principal é reforçar o substrato de concreto para receber a resina de saturação que impregnará a manta.

Ainda, dadas as condições de deterioração do elemento a ser reforçado, pode ser necessária a regularização da superfície com o *putty*, além da necessidade de preencher-se as fissuras de grande abertura e vazios através da injeção de resina. Além das recomendações quanto à regularidade da superfície, especial atenção deve ser dispensada para o arredondamento dos cantos que serão envolvidos pelas mantas flexíveis, com um raio não inferior à 1,5 cm. Este procedimento tem por objetivo evitar a concentração de tensões nesta posição. A superfície deve, também, apresentar-se livre de qualquer poeira ou resíduo, cuja retirada pode ser realizada através de jato de ar.

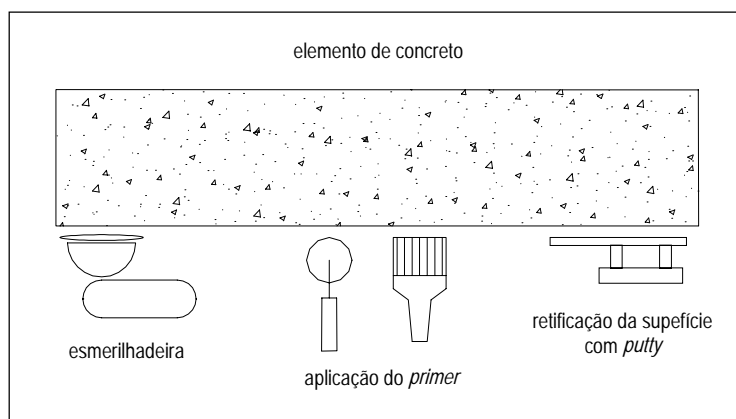


FIGURA 4-7 — Esquema de preparação da superfície para o sistema curado *in situ*

4.5.3.2 Aplicação do compósito de CFRP

O procedimento de aplicação do compósito de *CFRP* dependerá do tipo de sistema de reforço empregado. No caso dos laminados pré-fabricados, a função do adesivo é garantir exclusivamente a aderência entre o reforço e o substrato de concreto. Geralmente, um adesivo de alta viscosidade é aplicado. No caso das mantas flexíveis, a função da resina não

se restringe somente à aderência, mas também na impregnação das fibras com o objetivo de formar a matriz do compósito, o que conduz à utilização de uma resina de baixa viscosidade.

Laminados pré-fabricados

Uma vez concluída a etapa de preparação da superfície de concreto procede com o corte do laminado na dimensão desejada, como pode ser observado nas figuras 4-8(a) e 4-8(b). A resina epóxi, do tipo bi-componente é então misturada (figura 4-9).



(a)



(b)

FIGURA 4-8 — Corte do laminado pré-fabricado



(a)



(b)

FIGURA 4-9 — Preparação da resina epóxi

Uma fina camada do adesivo epóxi é aplicada no concreto imediatamente após sua mistura. Sobre o laminado, aplica-se, também, uma camada de resina, com uma espessura levemente superior ao longo da linha central do laminado. Na figura 4-10(a), observa-se o dispositivo construído para permitir este procedimento. A adoção desta recomendação contribui para a redução do risco da formação de vazios quando o laminado for aplicado sobre a superfície de concreto. O laminado é, então, posicionado sobre a superfície de concreto, pressionando-se com um rolo de borracha para garantir o contato com o concreto (figura 4-10(b)).

O adesivo excedente será espalhado pelas laterais. Esta pressão deve ser aplicada para garantir que não haja a formação de vazios (do centro para as extremidades). A espessura final do adesivo deve ser uniforme ao longo de toda a extensão do laminado e deve apresentar uma espessura mínima entre 1,5 mm e 2,0 mm. Geralmente, aplica-se apenas uma camada de laminado. Alternativamente, todo o volume de adesivo pode ser aplicado integralmente sobre o laminado.

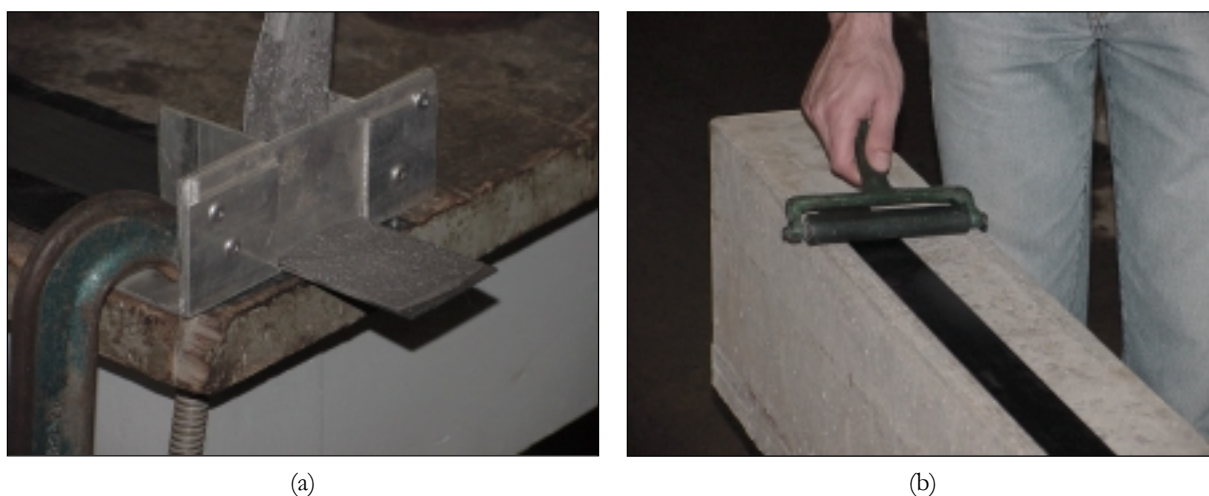


FIGURA 4-10 — Aplicação do laminado

Mantas flexíveis

No caso das mantas flexíveis, após a preparação da superfície, procede-se a imprimação do substrato de concreto através da aplicação do *primer*. Conforme observado anteriormente, o objetivo deste procedimento é o de reforçar a superfície de concreto através

da impregnação de seus poros. A imprimação garante a criação de uma ponte de aderência entre o substrato de concreto e o reforço. O *primer* é, então, dosado, misturado e distribuído uniformemente por toda a extensão da superfície que receberá o reforço. A aplicação do primer pode ser realizada com pincel comum ou rolo de espuma. Durante a aplicação é possível evidenciar a absorção (impregnação) que o concreto apresenta. Decorridas cerca de duas horas após a aplicação do *primer*, a superfície já encontra-se pronta para receber a resina de saturação e as mantas de fibra de carbono.

As mantas flexíveis de fibra de carbono, levemente pré-impregnada com resina epóxi, são fornecidas em rolos com comprimentos de até 100 metros (figura 4-11(a)). Em alguns casos é possível se conseguir comprimentos especiais de até 300 metros. A pré-impregnação tem por objetivo apenas manter as fibras de carbono orientadas em uma direção. A manta flexível é, geralmente, fornecida com um papel ou plástico protetor colado em uma de suas faces e que é facilmente retirado durante a aplicação. As mantas podem ser cortadas facilmente com tesoura ou qualquer ferramenta de corte, como mostra a figura 4-11(b). Esta facilidade permite com que a manta flexível e, conseqüentemente o reforço, possam assumir formas e tamanhos diversos.

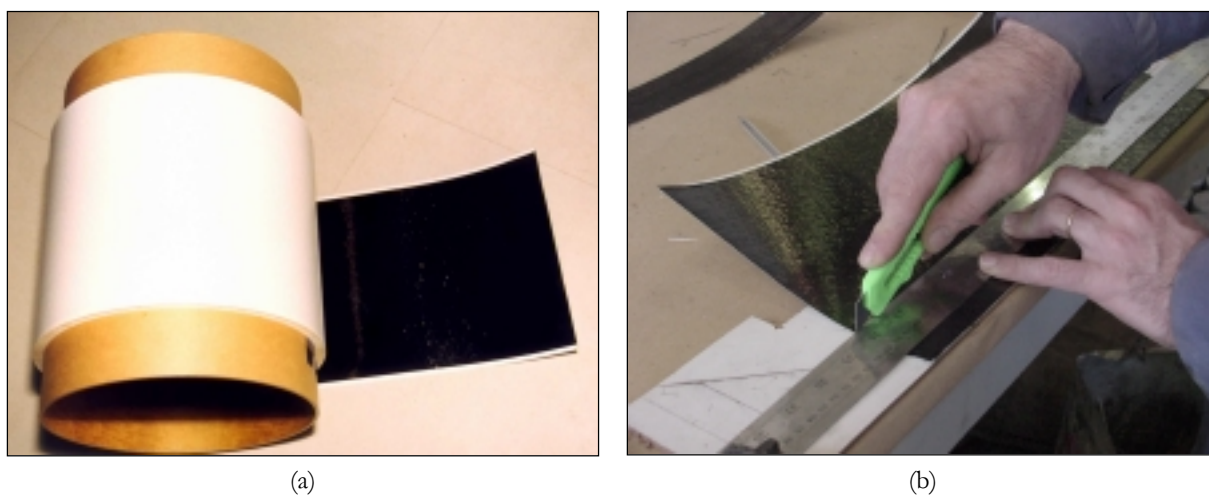


FIGURA 4-11 — Corte da manta flexível

Na figura 4-12, apresenta-se um esquema do procedimento de aplicação das mantas flexíveis de fibra de carbono.

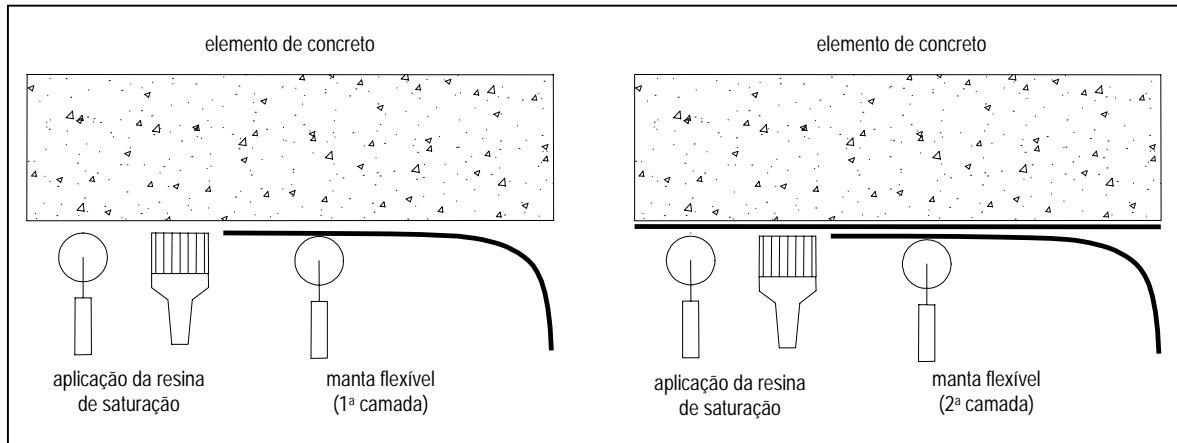


FIGURA 4-12 — Esquema de aplicação da manta flexível

A resina de saturação, à base de epóxi, também é bi-componente, ou seja, possui um agente principal e um catalisador. Sua função principal é formar a matriz do compósito de fibra de carbono. Além disso, a resina de saturação é também responsável pela aderência do compósito ao substrato de concreto, devidamente preparado com o *primer*. A quantidade de resina deve, no entanto, ser cuidadosamente controlada, de acordo com as recomendações do fabricante do sistema de reforço. Quanto mais espessa a camada de resina, menos eficiente será o reforço. Por outro lado, se esta quantidade não for suficiente para promover a impregnação das fibras de carbono, não ocorrerá a formação do compósito, o que poderá comprometer seu desempenho estrutural. Nas figuras 4-13(a) e 4-13(b) são apresentadas, respectivamente, a preparação da resina de saturação e sua aplicação sobre o substrato de concreto.



(a)



(b)

FIGURA 4-13 — Mistura e aplicação da resina de saturação

Alternativamente, pode-se realizar uma pré-saturação das fibras em uma bancada, previamente à sua aplicação sobre a superfície de concreto.

A manta, com a face oposta ao papel ou plástico protetor, é, então, colada cuidadosamente observando um único sentido nesta colocação. Com a simples pressão das mãos, o aplicador deve retirar o ar aprisionado e vai fixando a manta na posição, observando os limites do elemento (figura 4-14).



FIGURA 4-14 — Posicionamento da manta flexível

Uma vez posicionada, aplica-se o rolo de borracha, em um único sentido, com o objetivo de pressionar uniformemente a camada de fibra de carbono, expulsar o ar aprisionado e o excesso de resina (figura 4-15(a)). Cumprida esta etapa, verifica-se se há, ainda, a presença de ar aprisionado. Se houver necessidade, aplica-se novamente o rolo, porém observando o sentido contrário ao da primeira aplicação. O excesso lateral de resina é removido e aplicado sobre a lâmina, juntamente com o restante da resina de saturação destinada à formação do corpo do compósito de fibra de carbono. Se o projeto de reforço prever mais de uma camada, basta aplicar, sobre a superfície já acabada (figura 4-15(b)), a segunda manta e repetir todas as operações descritas acima.

O tempo de cura da resina e conseqüentemente do reforço, depende das condições climáticas, temperatura e umidade. Este período, salvo condições extremas, não ultrapassa os 7 dias. Após terminado o período de cura, a superfície reforçada pode receber reboco, proteção contra o fogo ou pintura de qualquer natureza.

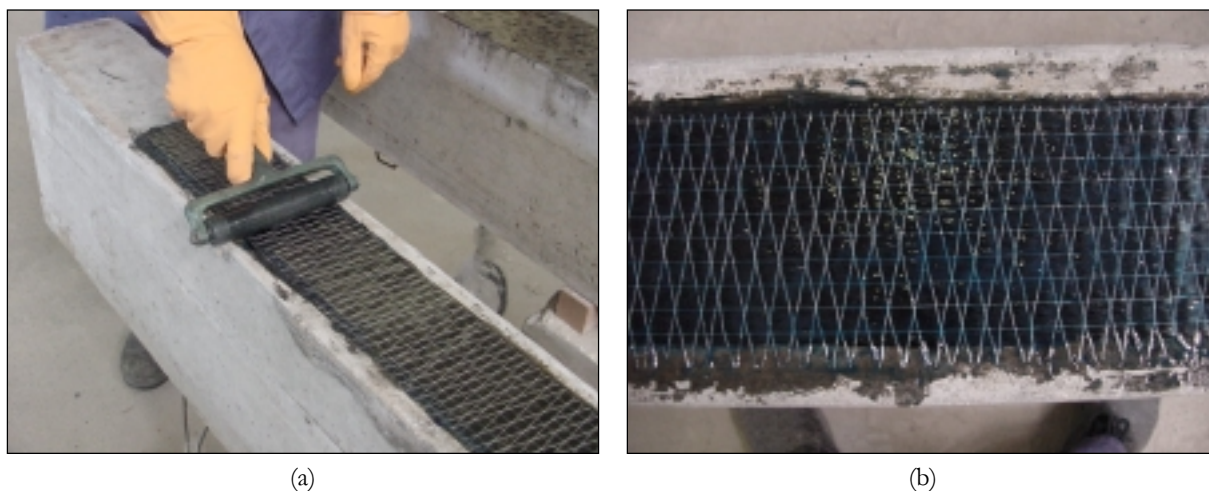


FIGURA 4-15 — Retirada do ar aprisionado e acabamento do reforço

4.6 METODOLOGIA DE ENSAIO

Desde o seu início, o desenvolvimento desta tese, buscou, além de seus objetivos específicos, contribuir para uma mudança no paradigma da análise experimental de elementos estruturais de concreto armado, até então adotado pelo LEME. O valor de uma análise experimental está associado à qualidade das informações obtidas durante a sua execução e sua relevância para a compreensão do comportamento do elemento estrutural sob análise. Além disso, a mobilização de recursos materiais, financeiros e humanos para a realização de uma análise experimental é bastante significativa. Desta forma, além da qualidade é de fundamental importância que a quantidade de informações obtidas em cada ensaio seja suficiente para justificar a mobilização destes recursos.

Inicialmente, o LEME não dispunha de toda a infra-estrutura necessária para que este novo conceito pudesse ser implantado. Assim, foi necessário o desenvolvimento de um amplo planejamento para dotar o laboratório com uma infra-estrutura capaz de suprir estas necessidades. Apesar da escassez de recursos financeiros, diversos equipamentos foram adquiridos e outros foram construídos ou adaptados para a condução dos ensaios desta tese.

Esta nova postura, associada ao rigor na condução das atividades que precedem e sucedem a análise experimental, garante o respaldo necessário que os resultados de ensaios

deste porte devem possuir, tanto em nível nacional quanto internacional. Em função de sua qualidade, espera-se que os resultados experimentais desta tese possam contribuir para o pleno entendimento do comportamento de vigas de concreto armado reforçadas externamente com compósitos de *CFRP*. Além disso espera-se que estes resultados possam contribuir para o desenvolvimento de modelos analíticos e numéricos.

Dentro desta perspectiva, idealizou-se um sistema em que fosse possível a completa automatização dos ensaios, tanto do ponto de vista de carregamento quanto de aquisição de dados, buscando-se assim, garantir a qualidade e fidelidade destes resultados. Para tanto, implementou-se um sistema de carregamento através de uma prensa servo-controlada com capacidade de 2000 kN (Shimadzu 2000kNA).

Desta forma, tornou-se possível a condução de um ensaio com deslocamento controlado de 2 mm/min. Contudo, em função da configuração da prensa (pistão localizado em sua parte inferior), as vigas foram ensaiadas com o carregamento sendo aplicado de baixo para cima. Foram, construídas, então, duas estruturas auxiliares, em aço, para abrigar os apoios. Estas estruturas foram dimensionadas e testadas para garantir que os deslocamentos nos apoios fossem desprezíveis frente aos deslocamentos das vigas. Além disso, os deslocamentos possíveis em cada um dos apoios também foram monitorados através de *LVDT'S*. Um esquema do sistema de ensaios é apresentado nas figuras 4-16 e 4-17.

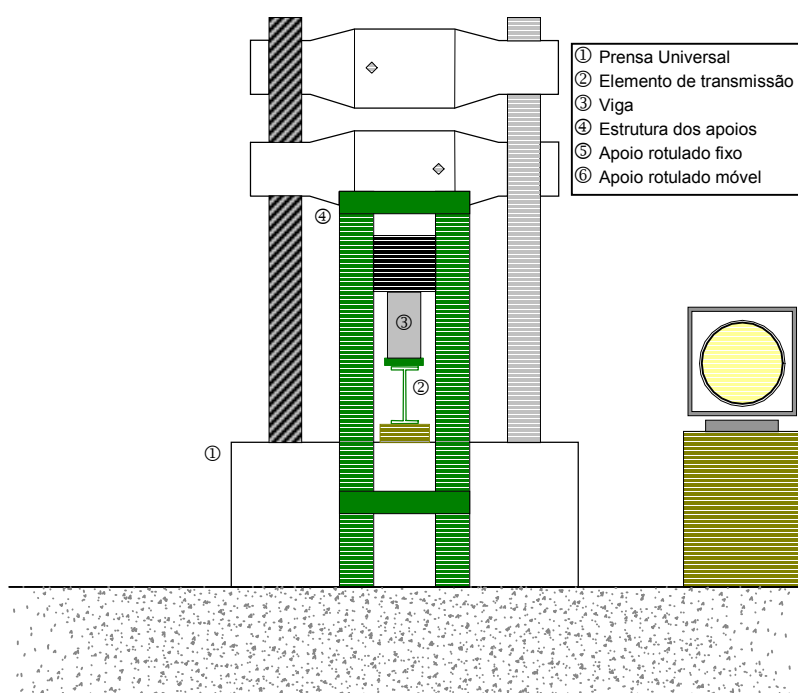


FIGURA 4-16 — Vista frontal do sistema de ensaios

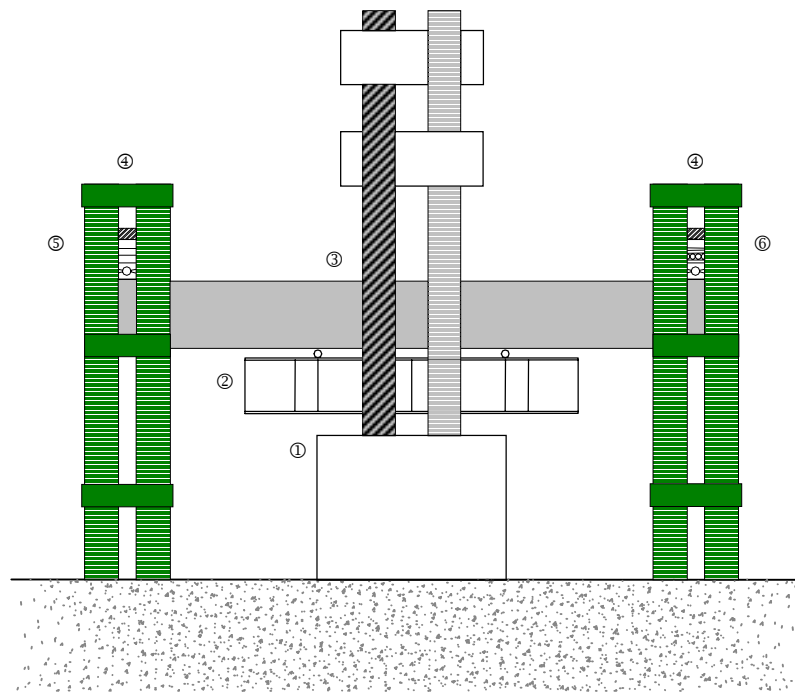


FIGURA 4-17 — Vista lateral do sistema de ensaios

A metodologia de ensaio, adotada nesta tese, estabelece como estratégia experimental, para avaliação do comportamento das vigas reforçadas, a condução de ensaios de flexão simples. Todas as vigas foram ensaiadas com duas cargas concentradas aplicadas em seus terços médios, como pode ser observado na figura 4-18(a). Este esquema de carregamento, ilustrado na figura 4-18(b), gera um esforço de corte constante, no vão de cisalhamento, com um momento elevado sob o ponto de aplicação da carga que vai a zero no apoio. Embora não se caracterize como um carregamento usual na prática, onde freqüentemente são mais comuns carregamentos distribuídos, esta configuração é geralmente utilizada, uma vez que permite uma análise simplificada [Swamy et al, 1987; Ritchie et al, 1991; Triantafillou & Plevris, 1992; Chajes et al, 1995; Campagnolo et al, 1997; Beber, 1999a].

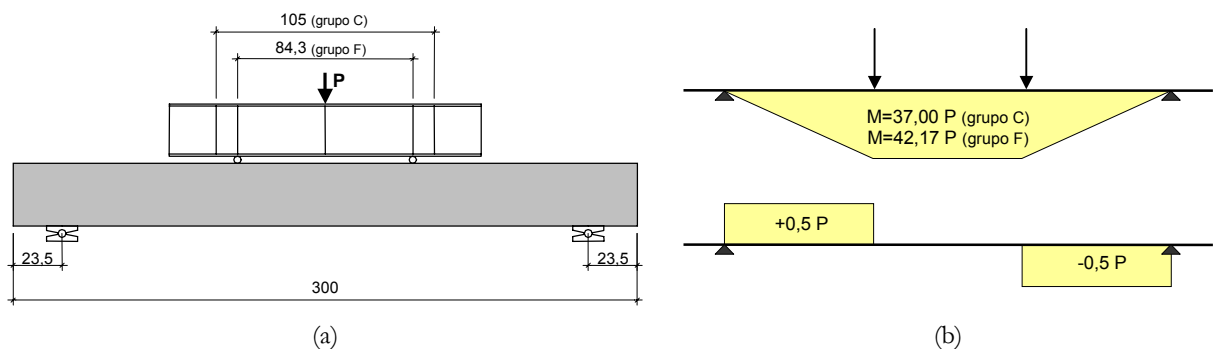


FIGURA 4-18 — Esquema de ensaio

4.6.1 Instrumentação

A avaliação do comportamento estrutural das vigas, a partir de diferentes configurações de reforço, foi feita com base no monitoramento de cargas, deslocamentos e deformações específicas, através de um sistema de aquisição de dados completamente automatizado.

4.6.1.1 Cargas

As cargas verticais, aplicadas de baixo para cima através do pistão hidráulico da prensa universal, foram medidas através da célula de carga da própria prensa. A aquisição dos dados de carga foi realizada através de um sistema de aquisição de dados conectado diretamente à prensa.

4.6.1.2 Deslocamentos verticais

Os deslocamentos verticais foram determinados através de *LVDT'S (linear variation displacement transducer)*, da marca *SENSOTEC*, com curso de $\pm 50,8$ mm e precisão de 0,01 mm. O princípio de funcionamento destes transdutores consiste na determinação de uma medida linear a partir da indução eletromagnética entre um conjunto conhecido de bobinas.

Cada transdutor é calibrado para que seja possível estabelecer uma correlação entre a resposta eletromagnética e um deslocamento linear. Na condução dos ensaios desta tese foram utilizados cinco *LVDT'S*, posicionados na seção central (1), nos pontos de aplicação das cargas (2) e sobre os apoios (2, para medir possíveis deslocamentos). Nas figuras 4-19(a) e 4-19(b), observa-se, em detalhe, o posicionamento dos *LVDT'S* durante o ensaio.

O principal valor de deslocamento vertical, a ser utilizado como objeto de comparação, é aquele obtido na seção central. No entanto, a informação proveniente dos demais *LVDT'S* é de fundamental importância durante a condução do ensaio para a verificação da simetria do carregamento e possíveis deslocamentos nos apoios.

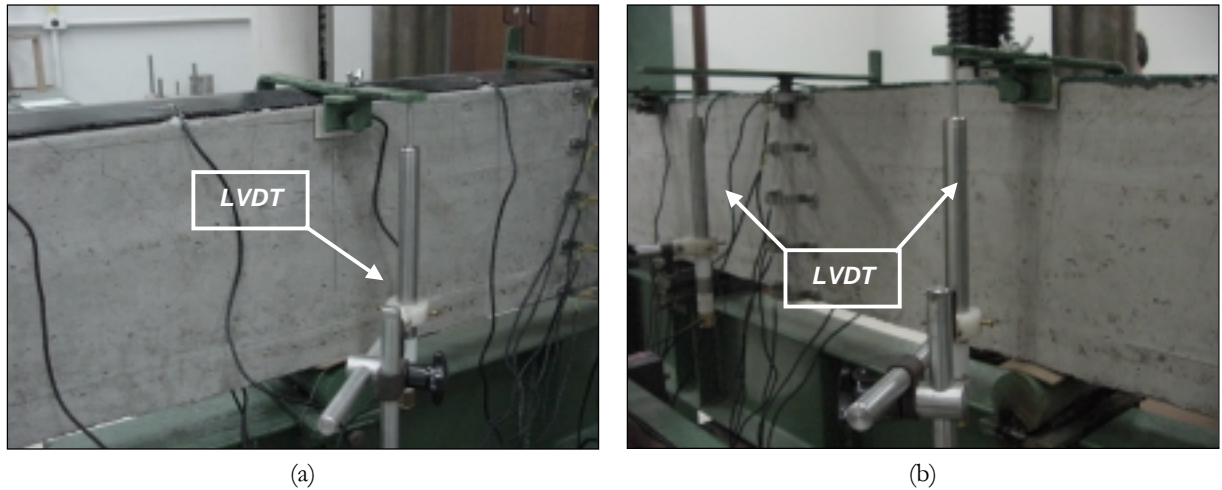


FIGURA 4-19 — Detalhes do posicionamento dos *LVDT'S*

4.6.1.3 Deformações específicas do concreto

A determinação das deformações específicas do concreto, na seção central, foi realizada através de transdutores de deslocamento superficial confeccionados especialmente para a condução dos ensaios desta tese. Na figura 4-20, observa-se o esquema de posicionamento destes transdutores (TRD-1 a TRD-5). Este esquema foi empregado somente nas vigas do grupo F.

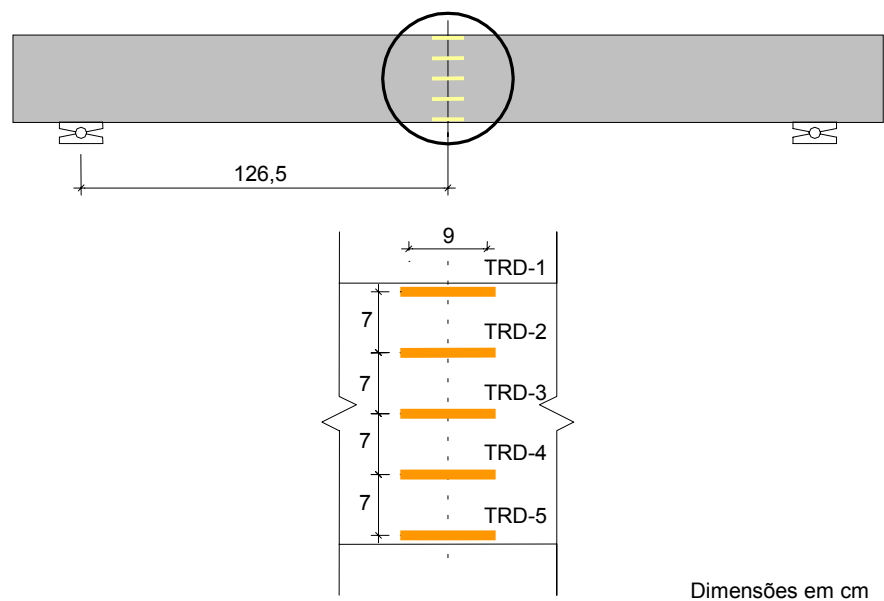


FIGURA 4-20 — Detalhe do posicionamento dos transdutores de deslocamento superficial (grupo F)

O funcionamento destes transdutores está baseado na correlação estabelecida entre a deformação específica na seção central do arco, com um deslocamento relativo entre os pontos A e B, convenientemente fixados na superfície de concreto. A deformação específica é determinada através de *strain gages*, posicionados na face superior e inferior da seção transversal do arco, como pode ser observado na figura 4-21. A utilização de dois *strain gages*, além de minimizar os efeitos de temperatura, permite amplificar o sinal (através de uma ligação em $\frac{1}{2}$ ponte de *Wheatstone*), garantindo assim, maior precisão.

O procedimento de calibração destes transdutores consiste em estabelecer uma relação linear entre a deformação específica na seção central do arco com o deslocamento relativo entre os pontos A e B; observando-se, naturalmente, o limite de elástico do metal empregado na fabricação do arco. Finalmente, este deslocamento relativo, dividido pelo comprimento inicial de 9,0 cm (*gage length*), permite determinar a deformação específica na superfície de concreto naquela posição.

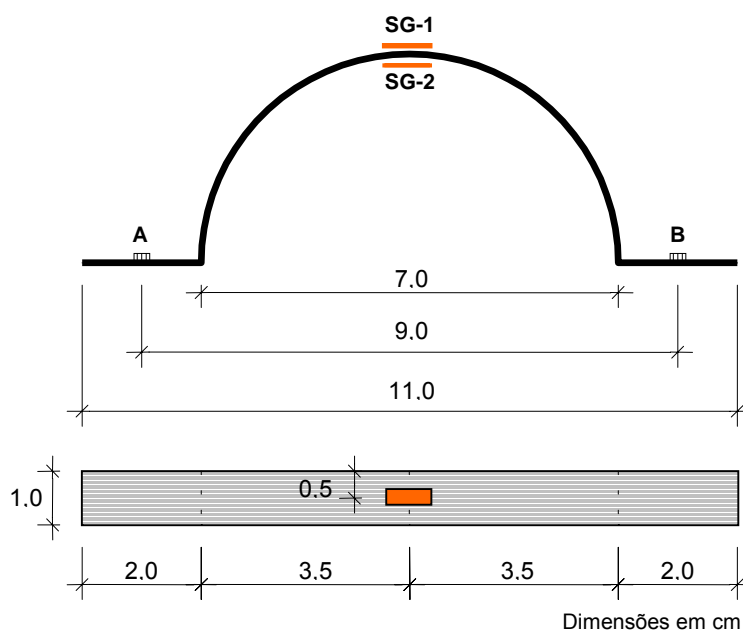


FIGURA 4-21 — Características geométricas dos transdutores de deslocamento superficial

Nas figuras 4-22(a) 4-22(b), observam-se, respectivamente, o gabarito para posicionamento e os transdutores em funcionamento. Apesar de não se caracterizar como uma medida direta da deformação específica no concreto, a exemplo dos *strain gages*, a adoção

desta metodologia permite a reutilização dos transdutores, reduzindo sensivelmente os custos e tempo de instalação destes sensores.

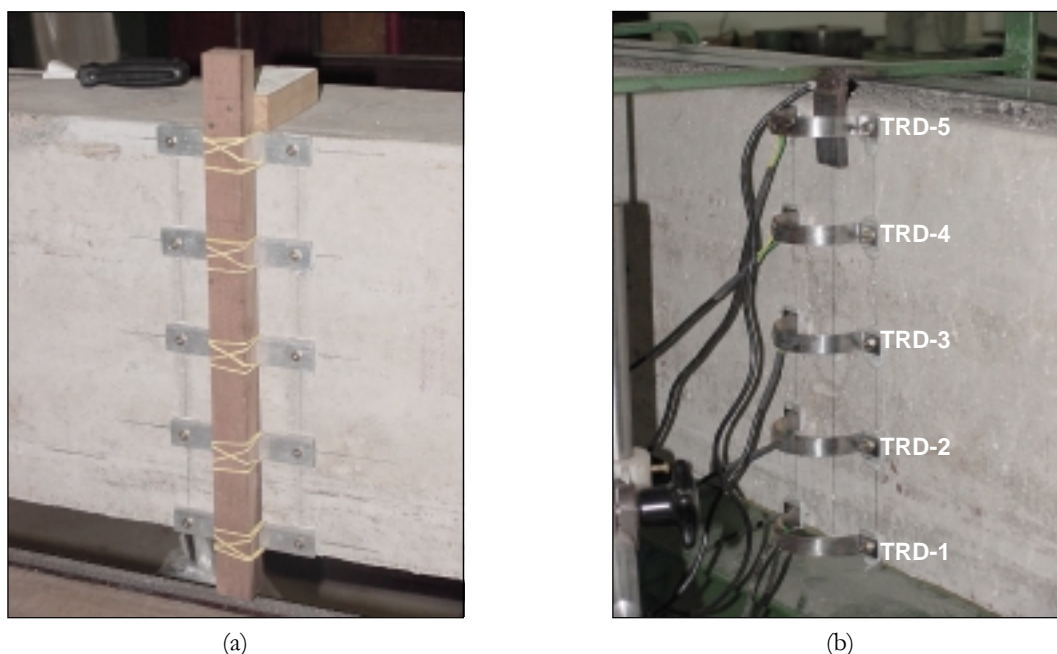


FIGURA 4-22 — Detalhe do posicionamento dos transdutores de deslocamento superficial (grupo F)

Por outro lado, o monitoramento das deformações específicas no concreto das vigas do grupo C seguiu uma orientação distinta. Em função das características das vigas — elevada taxa de armadura longitudinal e ausência de armadura transversal —, verificou-se que uma informação importante, para efeito de comparação do desempenho das diferentes configurações de reforço ao cisalhamento, seriam a magnitude e a orientação das deformações principais, no vão de cisalhamento. Assim, optou-se pela combinação de três *strain gages*, dispostos sob a forma de uma roseta, como mostra a figura 4-23.

De posse destas três deformações específicas (ϵ_0 , ϵ_{45} , ϵ_{90}), combinadas de acordo com conceitos elementares da elasticidade, é possível determinar as deformações principais (ϵ_1 e ϵ_2) e suas respectivas orientações (θ_1 e θ_2).

$$\epsilon_1 = \frac{\epsilon_0 + \epsilon_{90}}{2} + \sqrt{\left(\frac{\epsilon_0 - \epsilon_{90}}{2}\right)^2 + \left(\epsilon_{45} - \left(\frac{\epsilon_0 + \epsilon_{90}}{2}\right)\right)^2} \quad (\text{eq. 4.1})$$

$$\theta_1 = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \left(\frac{2 \left(\varepsilon_{45} - \left(\frac{\varepsilon_0 + \varepsilon_{90}}{2} \right) \right)}{\varepsilon_0 - \varepsilon_{90}} \right) \quad (\text{eq. 4.2})$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\varepsilon_0 + \varepsilon_{90}}{2} - \sqrt{\left(\frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_{90}}{2} \right)^2 + \left(\varepsilon_{45} - \left(\frac{\varepsilon_0 + \varepsilon_{90}}{2} \right) \right)^2} \quad (\text{eq. 4.3})$$

$$\theta_2 = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \left(\frac{2 \left(\varepsilon_{45} - \left(\frac{\varepsilon_0 + \varepsilon_{90}}{2} \right) \right)}{\varepsilon_0 - \varepsilon_{90}} \right) + 90^\circ \quad (\text{eq. 4.4})$$

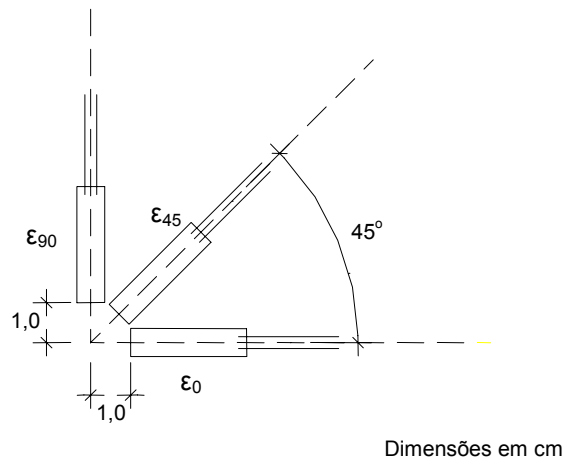


FIGURA 4-23 — Detalhe da instrumentação através de rosetas (grupo C)

As rosetas foram, então, posicionadas nos dois vãos de cisalhamento, em uma das faces da viga, utilizando *strain gages* da marca **KYOWA** com resistência de 20 mm de comprimento. O esquema de posicionamento das rosetas é apresentado na figura 4-24. A aquisição da deformação específica foi realizada de forma independente para cada um dos *strain gages*.

Nas figuras 4-25(a) e 4-25(b), apresenta-se, respectivamente o posicionamento das rosetas em duas situações distintas, uma diretamente sobre a superfície de concreto e a outra sobre o reforço.

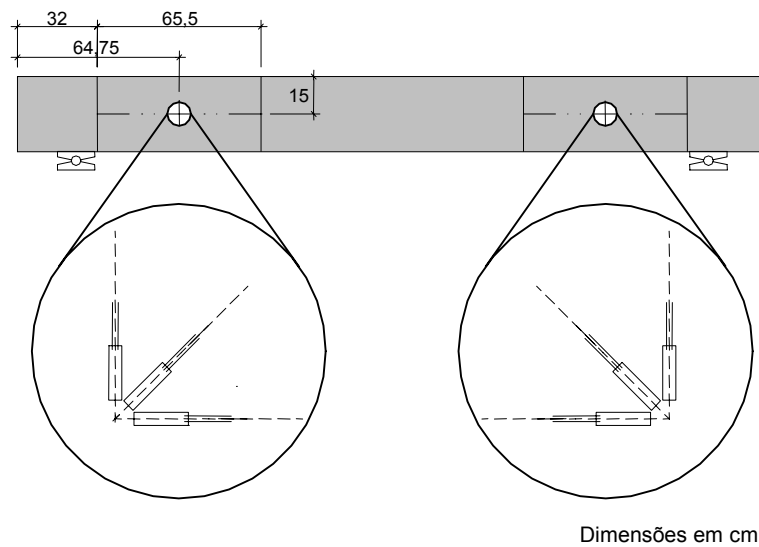


FIGURA 4-24 — Esquema de posicionamento das rosetas (grupo C)

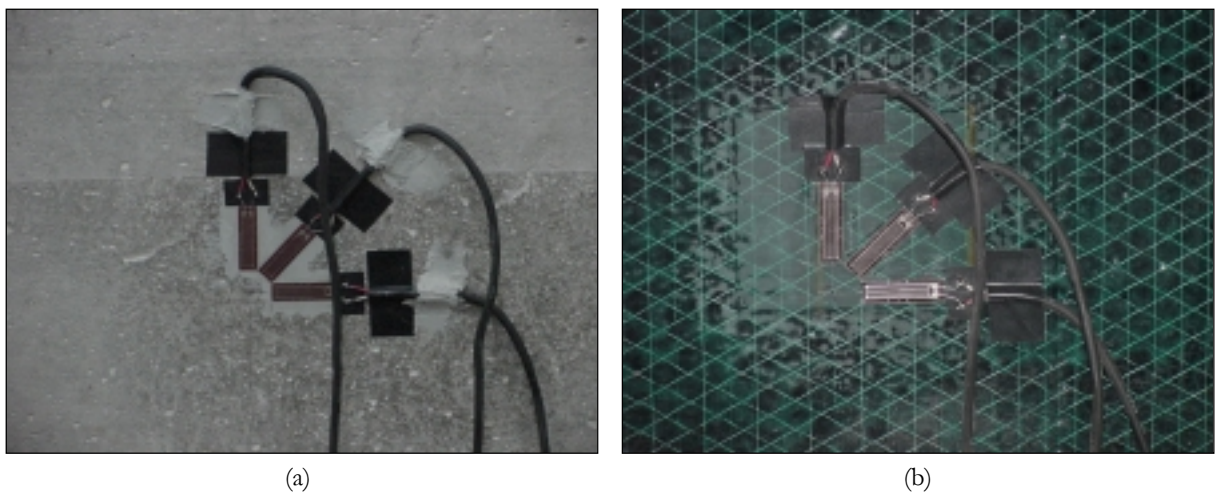


FIGURA 4-25 — Detalhe do posicionamento das rosetas (grupo C)

4.6.1.4 Deformações específicas da armadura e reforço

O monitoramento das deformações específicas da armadura e do reforço foi realizado através da colagem de *strain gages* da marca **KYOWA**, com resistência de 10 mm de comprimento.

Todas as barras de armadura foram instrumentadas em sua seção central, com um *strain gage* em cada barra (ϵ_{S3A} e ϵ_{S3B}). Além disso, as barras de armadura das vigas V2_B a V7_B receberam, adicionalmente, mais dois pares de *strain gages*, localizados a 60,5 cm (ϵ_{S2A} e ϵ_{S2B}) e 118,2 cm (ϵ_{S1A} e ϵ_{S1B}) da seção central da armadura.

As deformações específicas do reforço, por sua vez, foram determinadas a partir da colagem de um *strain gage* em sua seção central. Da mesma forma que as barras de armadura das vigas V2_B a V7_B, a instrumentação do reforço nestas vigas recebeu a colagem de mais onze *strain gages*. Os resultados destes *strain gages*, além de permitir o traçado de um perfil de deformação e, conseqüentemente tensão no reforço, podem ser comparados com as deformações específicas da armadura.

O quadro 4-8 apresenta as coordenadas de posicionamento dos *strain gages* da armadura e reforço das vigas do grupo F, ilustrado na figura 4-26.

QUADRO 4-8 — Coordenadas de posicionamento dos *strain gages* da armadura e reforço (grupo F)

Posição P do <i>strain gage</i> [cm]														
armadura			reforço											
$\epsilon_{S1A} \equiv \epsilon_{S1B}$	$\epsilon_{S2A} \equiv \epsilon_{S2B}$	$\epsilon_{S3A} \equiv \epsilon_{S3B}$	ϵ_{F1}	ϵ_{F2}	ϵ_{F3}	ϵ_{F4}	ϵ_{F5}	ϵ_{F6}	ϵ_{F7}	ϵ_{F8}	ϵ_{F9}	ϵ_{F10}	ϵ_{F11}	ϵ_{F12}
118,2	60,5	0,0	118,2	115,2	112,2	109,2	104,2	99,2	91,7	80,5	60,5	40,5	20,5	0,0

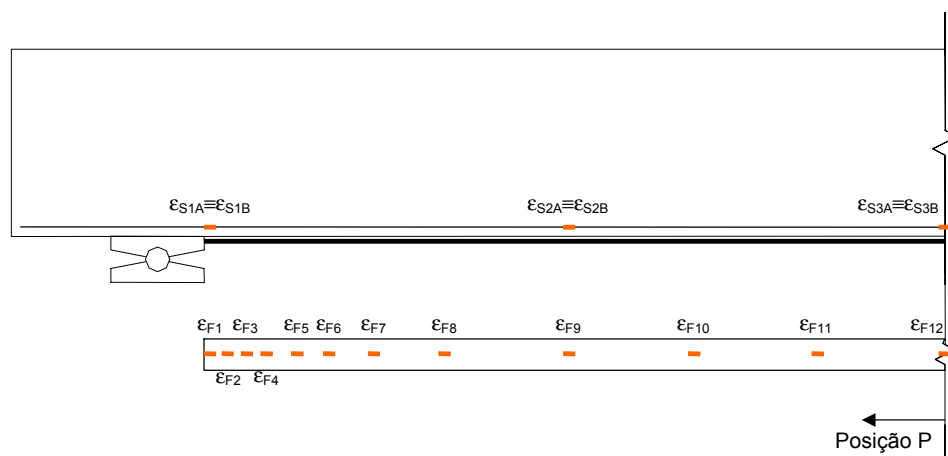


FIGURA 4-26 — Esquema de posicionamento dos *strain gages* da armadura e reforço (grupo F)

De posse destes valores é possível traçar um perfil de tensões tangenciais, entre os pontos instrumentados. Cada uma destas tensões pode ser determinada através da seguinte expressão:

$$\tau_F = \frac{\epsilon_{F(i+1)} - \epsilon_{F(i)}}{P_{(i+1)} - P_{(i)}} E_f t_f \quad (\text{eq. 4.5})$$

onde: τ_F = tensão tangencial;
 ϵ_F = deformação específica no reforço;
 P_i = posição relativa do *strain gage*;
 E_f = módulo de elasticidade do reforço;
 t_f = espessura do reforço.

Nas figuras 4-27(a) e 4-27(b) são apresentados, em detalhe, a instrumentação da armadura e reforço.

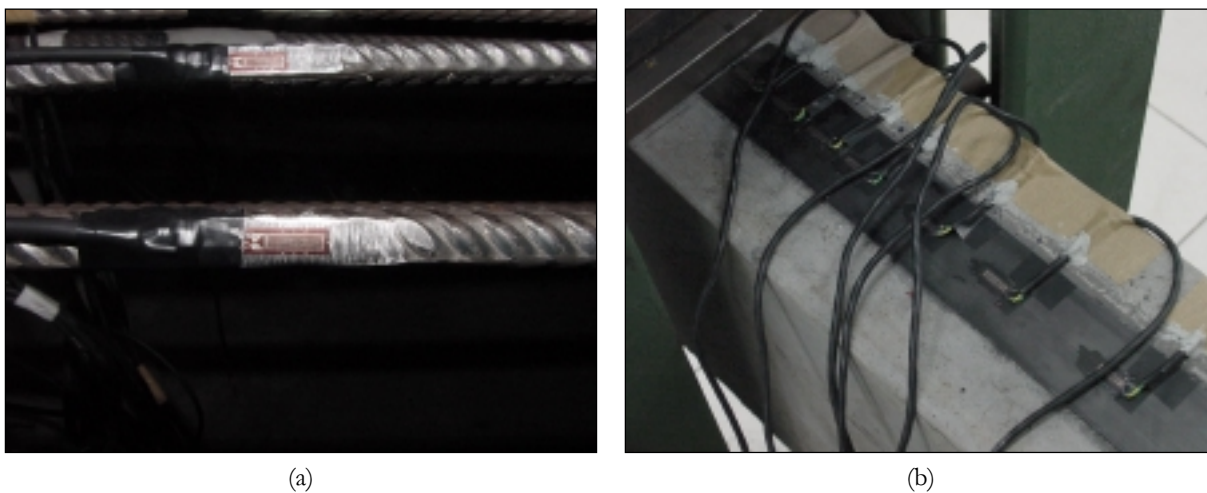


FIGURA 4-27 — Detalhe da instrumentação da armadura e reforço (grupo F)

4.6.2 Sistema de aquisição de dados

Para a aquisição dos dados provenientes da prensa universal, *LVDT'S*, transdutores de deslocamento superficial e *strain gages*, utilizou-se uma ponte multicanal computadorizada,

que realiza a aquisição de dados automaticamente e os armazena em arquivos de saída de dados. A utilização deste sistema, em conjunto com a automatização do processo de carregamento, permitiu maior agilidade durante os ensaios. O *System 5000*, composto por 5 módulos, permite o monitoramento de até cem elementos de aquisição de dados ao mesmo tempo. Na figura 4-28 observa-se a disposição dos equipamentos durante um dos ensaios.



FIGURA 4-28 — Detalhe da disposição dos equipamentos durante um ensaio

CAPÍTULO 5

— AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS —

Neste capítulo são apresentados e discutidos os principais resultados alcançados durante a condução do programa experimental desta tese. A incorporação dos compósitos de *CFRP* no reforço estrutural de vigas de concreto armado pode alterar dramaticamente seu comportamento estrutural. São discutidas as principais implicações estruturais decorrentes da aplicação de diferentes sistemas e configurações de reforço à flexão e ao cisalhamento.

5.1 VIGAS REFORÇADAS À FLEXÃO (GRUPO F)

No caso particular das vigas do grupo F, as principais implicações estruturais da aplicação dos compósitos de *CFRP* estão associadas a significativos incrementos em resistência e rigidez. A utilização de diferentes sistemas de reforço — laminados pré-fabricados e mantas flexíveis — embora permita resultados expressivos tanto no incremento da resistência quanto rigidez, apresentam, inerentemente, pequenas diferenças quanto à sua eficiência. Desta forma, torna-se mais interessante avaliar, separadamente, a influência do reforço no aumento da resistência e rigidez. Além disso, realiza-se, também, uma avaliação do comportamento do reforço, analisando a distribuição de tensões com a evolução do carregamento.

5.1.1 Avaliação da resistência: cargas e modos de ruptura

A partir da avaliação do comportamento experimental das vigas do grupo F, notadamente suas cargas e modos de ruptura, é possível confirmar o excelente desempenho dos compósitos de *CFRP* no reforço à flexão de vigas de concreto armado. Os incrementos em resistência são evidentes, chegando até 78,9%. Contudo, a aplicação dos compósitos de *CFRP* conduz a modificações severas no comportamento de uma viga reforçada, influenciando, principalmente, seu modo de ruptura. Na tabela 5-1, são apresentados as principais características das vigas reforçadas, suas cargas e modos de ruptura.

TABELA 5-1 — Comparação entre cargas e modos de ruptura (grupo F)

Viga	Sistema de reforço	A_f [cm ²]	A_f/A_s	Modo de ruptura	Carga de ruptura [kN]	Incremento [%]
V1_A	-	-	-	alongamento excessivo da armadura longitudinal	104,63	-
V1_B	-	-	-		102,72	-
V2_A	laminado <i>CFK</i>	0,70	0,286	descolamento na interface adesivo/compósito	117,89	13,7
V2_B					116,66	12,5
V3_A	laminado <i>CFK</i>	1,40	0,572	descolamento na interface adesivo/compósito	139,69	34,7
V3_B					148,10	42,8
V4_A	manta <i>Replark</i>	0,167	0,068	ruptura por fissuração excessiva de flexão	132,81	28,1
V4_B					130,05	25,4
V5_A	manta <i>Replark</i>	0,999	0,408	arrancamento do cobrimento	185,49	78,9
V5_B					170,39	64,3
V6_A	manta <i>C-Sheet</i>	0,167	0,068	ruptura por fissuração excessiva de flexão	118,56	14,4
V6_B					118,50	14,3
V7_A	manta <i>C-Sheet</i>	0,999	0,408	descolamento na interface concreto/reforço	167,07	61,1
V7_B					154,79	49,3

Obs.: a determinação do incremento na carga de ruptura das vigas reforçadas é realizada sobre a média aritmética das cargas de ruptura das vigas V1_A e V1_B.

Em função de uma taxa de armadura reduzida, o modo de ruptura apresentado pelas vigas de controle se caracterizou pela deformação excessiva da armadura longitudinal. Neste caso, a ruptura da viga está associada a um quadro de fissuração bastante acentuado em conjunto com grandes deslocamentos verticais. Nas figuras 5-1(a) e 5-1(b) apresenta-se, em detalhe, este modo de ruptura.



FIGURA 5-1 — Detalhes do modo de ruptura das vigas V1_A e V1_B

De um modo geral, as vigas reforçadas apresentaram aumentos significativos em suas cargas de ruptura. No entanto, como era de se esperar, a aplicação do reforço modificou dramaticamente o modo de ruptura destas vigas.

As vigas reforçadas com o laminado pré-fabricado (V2_A, V2_B, V3_A e V3_B) apresentaram um ganho razoável de resistência, variando entre 12,5% e 42,8% para as situações de colagem de uma e duas tiras de laminado. A ruptura destas vigas caracterizou-se pelo descolamento do reforço na interface adesivo/compósito, a partir de sua extremidade, conduzindo, na seqüência, ao progressivo descolamento do reforço em praticamente toda sua extensão.

Em função da considerável rigidez proporcionada pela aplicação deste sistema de reforço, não foi possível verificar, até alguns segundos antes da separação do reforço, qualquer indício de sua ocorrência. Nas figuras 5-2(a) e 5-2(b) apresenta-se um aspecto geral do descolamento do reforço para as vigas reforçadas com uma e duas tiras de laminado, respectivamente. A partir das figuras 5-3(a) e 5-3(b) é possível observar, em detalhe, o ponto de início do descolamento, junto à extremidade do reforço.

A aplicação de compósitos de *CFRP*, sob a forma de mantas flexíveis, conduziu a um comportamento distinto daquele apresentado pelas vigas reforçadas com laminados pré-fabricados. No caso das vigas reforçadas com a manta flexível do tipo *Replark 20*, o incremento de resistência oscilou entre 25,4% e 78,9%. Já as vigas reforçadas com as mantas do tipo *C-Sheet 240*, apresentaram incrementos de resistência um pouco menores, entre

14,3% e 61,1%. Embora tenham sido reforçadas com a mesma seção transversal de reforço, essas pequenas diferenças em resistência são aceitáveis em virtude das características particulares de cada sistema de reforço, notadamente, quantidade de fibra por m^2 , resistência à tração, módulo de elasticidade, espessura e combinação de resinas de imprimação e saturação.

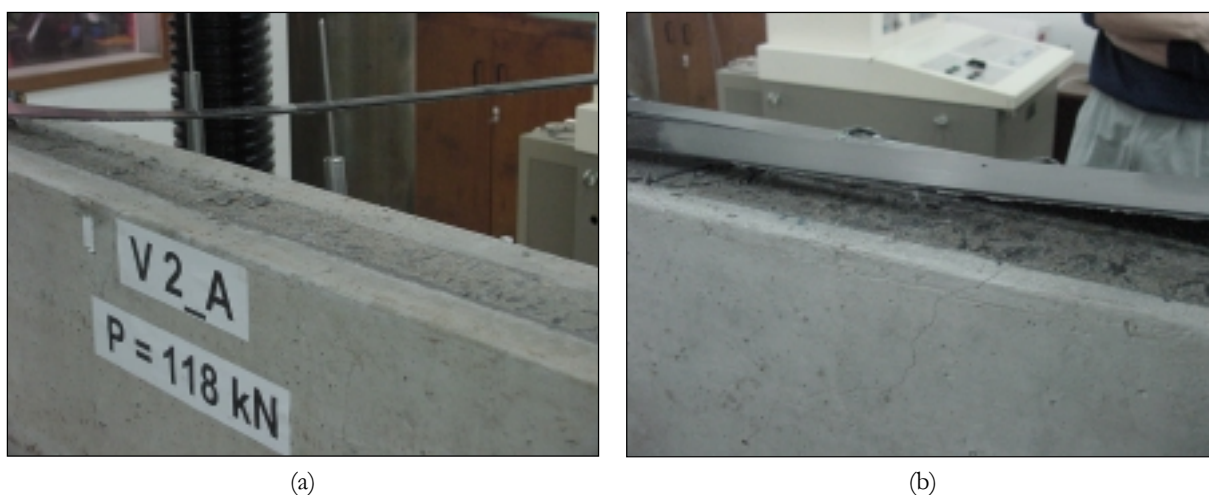


FIGURA 5-2 — Aspecto geral do descolamento nas vigas reforçadas com laminado pré-fabricado



FIGURA 5-3 — Detalhe do descolamento na interface adesivo/compósito

O modo de ruptura apresentado pelas vigas reforçadas com uma camada de manta flexível (V4_A, V4_B, V6_A e V6_B) aconteceu em decorrência da fissuração excessiva. Este quadro está associado, principalmente, a maior ductilidade que estas vigas apresentaram,

em função da pequena espessura das mantas. Nas figuras 5-4(a) e 5-4(b) observa-se o deslocamento na seção central e um detalhe da fissuração da viga V4_B.

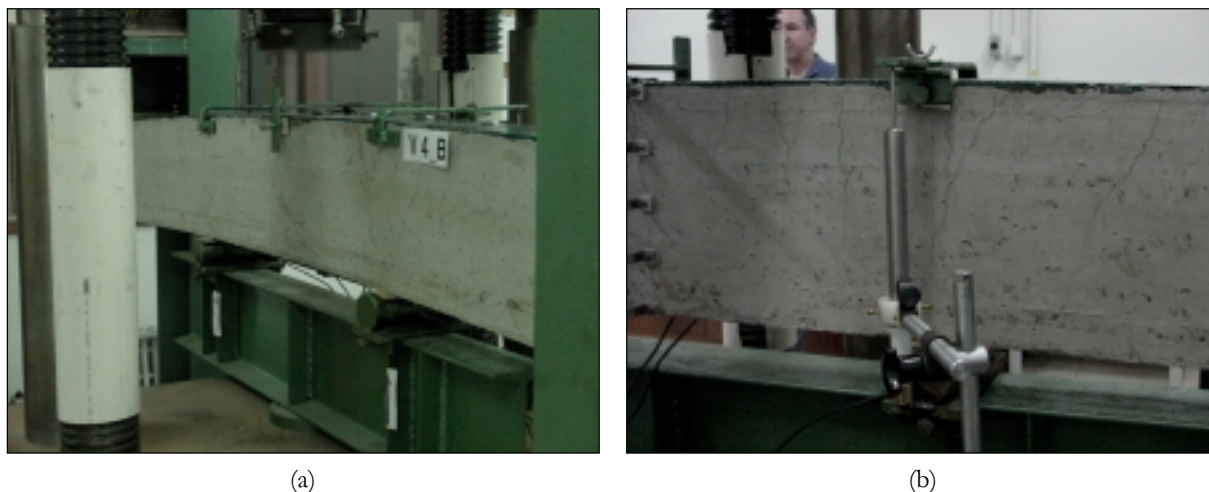


FIGURA 5-4 — Deslocamento vertical e fissuração da viga V4_B

Com o aumento do carregamento aplicado sobre a viga, as fissuras tendem a apresentar maiores aberturas devido ao escoamento da armadura longitudinal. Assim, em função de sua elevada resistência e capacidade de absorver grandes deformações, o reforço torna-se, gradativamente, responsável por uma parcela maior da resultante das tensões de tração. Entretanto, a pequena rigidez do reforço na direção transversal (paralela ao carregamento) torna-o extremamente sensível a possíveis deslocamentos diferenciais que ocorrem em dois segmentos adjacentes a uma determinada fissura. As figuras 5-5(a) e 5-5(b) apresentam, em detalhe, este modo de ruptura.



FIGURA 5-5 — Detalhe do modo de ruptura das vigas reforçadas com uma camada de manta

Os modos de ruptura apresentados pelas demais vigas reforçadas com manta flexível foram similares quanto ao mecanismo, sendo necessário, porém, estabelecer algumas distinções quanto à sua origem.

O modo de ruptura das vigas reforçadas com a manta do tipo *Replark 20* (V5_A e V5_B) teve sua origem a partir da extremidade do reforço. Este modo de ruptura pode ser identificado como uma falha na ancoragem do reforço com conseqüente arrancamento do concreto junto à armadura longitudinal, ou seja, o concreto do cobrimento.

Este modo de ruptura é bastante comum e está associado ao mecanismo de transferência de esforços entre reforço e concreto. Como os adesivos utilizados nos sistemas de reforço apresentam uma resistência à tração muito maior que a do concreto, este acaba tornando-se o elemento frágil nesta ligação e, conseqüentemente aquele que desencadeará o processo de ruptura. A ruptura está, portanto, associada à combinação de tensões tangenciais e de tração nesta região. Nas figuras 5-6(a) e 5-6(b) apresenta-se, em detalhe, este modo de ruptura.

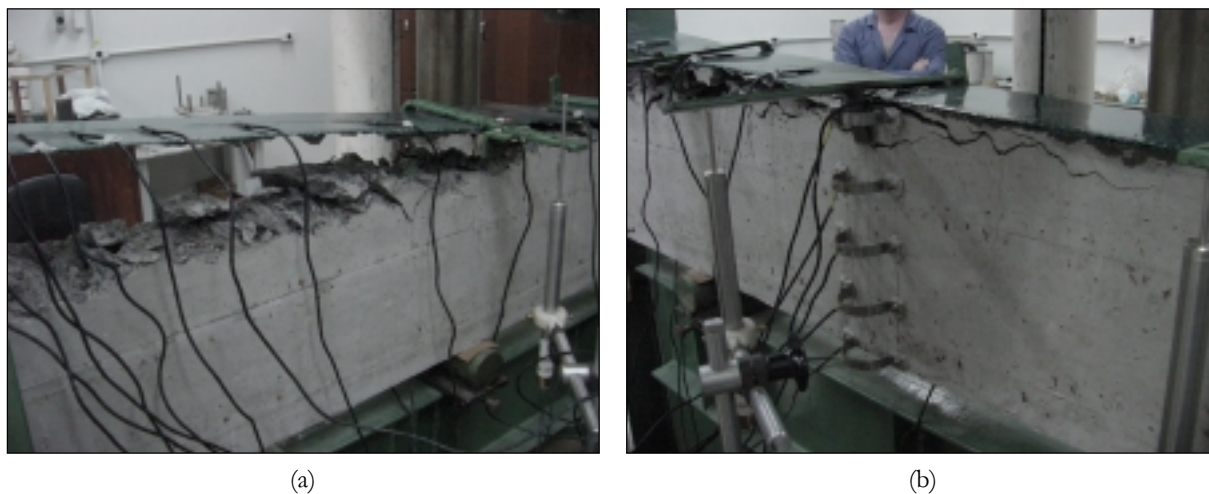


FIGURA 5-6 — Detalhe do modo de ruptura das vigas V5

Por outro lado, o modo de ruptura apresentado pelas vigas reforçadas com a manta do tipo *C-Sheet 240* (V7_A e V7_B) teve sua origem a partir do meio do vão. Embora pouco comum, este modo de ruptura está associado ao processo de transferência de tensões junto às fissuras. Basicamente, quando uma fissura se forma, a tensão de tração correspondente é transferida para o reforço, resultando no surgimento de tensões tangenciais entre concreto e reforço, próximo a esta fissura. O incremento na carga aplicada conduz a um aumento

natural nas tensões de tração e a conseqüente elevação da tensão tangencial na interface concreto/reforço, ao longo de um comprimento de ancoragem efetivo. Quando esta tensão tangencial atinge valores críticos, o descolamento tem início neste ponto e se propaga para uma das extremidades, geralmente a mais próxima.

Em outras palavras, as tensões são transferidas ao concreto, ao longo deste comprimento até que uma falha localizada promova uma mudança na posição deste comprimento de ancoragem efetivo. Esta mudança de posição do comprimento de ancoragem efetivo ocorre até o completo destacamento do reforço. Nas figuras 5-7(a) e 5-7(b) pode-se observar detalhadamente este modo de ruptura.



FIGURA 5-7 — Detalhe do modo de ruptura das vigas V7

Em última análise, este modo de ruptura pode conduzir, ainda a um arrancamento do concreto do cobrimento. Além disso, o conceito de um comprimento de ancoragem efetivo, pode explicar, em parte, o modo de ruptura das vigas V5.

Outro importante aspecto, relacionado às cargas de ruptura, pode ser verificado quando são comparados os incrementos de resistência alcançados com cada um dos sistemas de reforço. A comparação entre estes resultados abre a perspectiva para que seja avaliada, também, a eficiência dos diferentes sistemas de reforço utilizados. No caso particular desta tese, esta avaliação se limitará à comparação entre as cargas de ruptura das vigas V2_A e V2_B com V6_A e V6_B que, por coincidência, apresentaram, praticamente, o mesmo incremento de resistência em relação às vigas de controle (cerca de 14%). Neste caso, observa-se que a seção transversal de reforço das vigas V6_A e V6_B representa, somente,

24% da seção transversal de reforço das vigas V2_A e V2_B. Isto significa dizer que, se a escolha do sistema de reforço, neste caso, estivesse condicionada exclusivamente ao incremento de resistência, a aplicação da manta flexível representaria menor consumo de material e, possivelmente, menor custo.

É importante salientar, ainda, que a taxa de armadura longitudinal adotada para as vigas do grupo F ($\rho=0,55\%$) tem importância significativa sobre os valores dos incrementos nas cargas de ruptura. Com esta taxa de armadura, a “ruptura” das vigas de controle ocorre por deformações plásticas excessivas da armadura longitudinal, dentro do domínio 2 de deformação, segundo a NBR 6118/2003. Isto significa dizer que a viga está sendo submetida à flexão, sem ruptura à compressão do concreto e com o máximo alongamento permitido para a armadura longitudinal.

Maiores valores de taxa de armadura conduzem a viga a situar-se no domínio 3 de deformação, caracterizado pela flexão, com ruptura por esmagamento do concreto e escoamento da armadura longitudinal. A aplicação do reforço, então, faz com que a viga tenha sua ruptura situada no domínio 3, uma vez que a resultante de tensões de tração da armadura e do reforço são somadas, ou seja, como se a taxa de armadura fosse aumentada. A aplicação de reforços em estruturas, que originalmente já apresentem taxas de armadura elevadas, conduz, por esta razão, a menores incrementos nas cargas de ruptura.

5.1.2 Avaliação da rigidez: deslocamentos e deformações específicas

Uma vez evidenciado o excelente desempenho dos compósitos de *CFRP* na elevação da resistência das vigas reforçadas, discute-se, nesta seção, o comportamento das vigas reforçadas em relação à rigidez, avaliada através de parâmetros como os deslocamentos verticais e deformações específicas na armadura e no concreto.

5.1.2.1 Deslocamentos verticais

Os deslocamentos verticais de uma viga dependem do carregamento, vão, vinculação, geometria da seção e propriedades dos materiais. A incorporação de um elemento de reforço

resulta em um aumento significativo na rigidez da seção, embora, o aumento de área da seção transversal seja muito pequeno.

O aumento em rigidez das vigas reforçadas torna-se mais evidente após a fissuração do concreto. De modo geral, é possível perceber que o comportamento de todas as vigas é semelhante até a carga de fissuração, em cerca de 24 kN. Após a carga de fissuração, pode-se, verificar, então, o significativo aumento na rigidez das vigas reforçadas. Isto ocorre pois, após a fissuração, o reforço passa a atuar de maneira efetiva, restringindo a abertura de fissuras e conseqüentemente as deformações e deslocamentos das vigas reforçadas. Nas figuras 5-8, 5-9 e 5-10, são apresentados os diagramas *carga vs. deslocamento* das vigas reforçadas, comparadas com as vigas de controle.

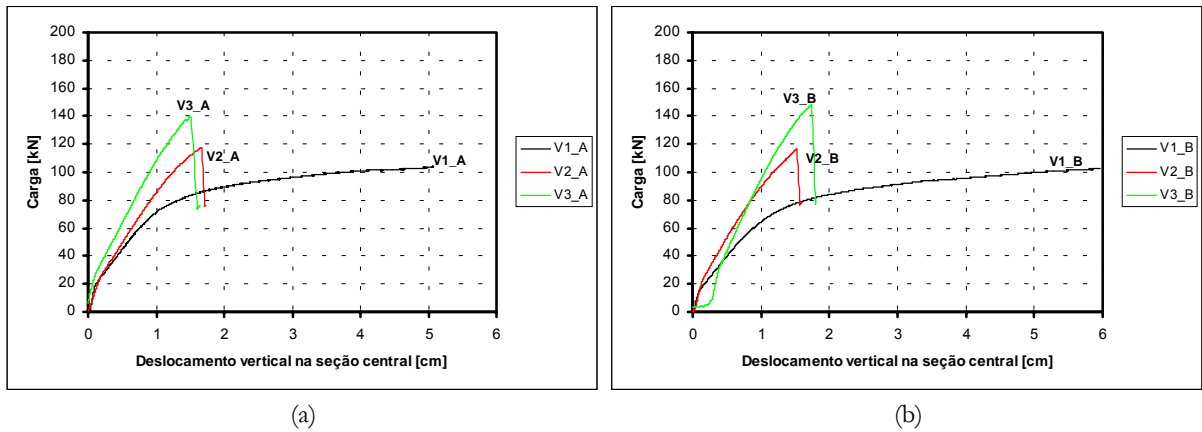


FIGURA 5-8 — Diagramas *carga vs. deslocamento* das vigas V1, V2 e V3

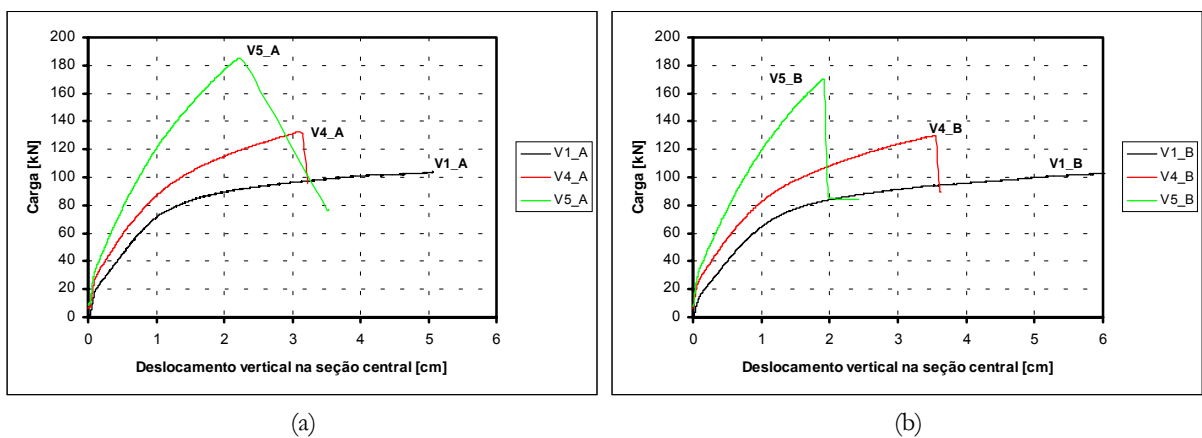


FIGURA 5-9 — Diagramas *carga vs. deslocamento* das vigas V1, V4 e V5

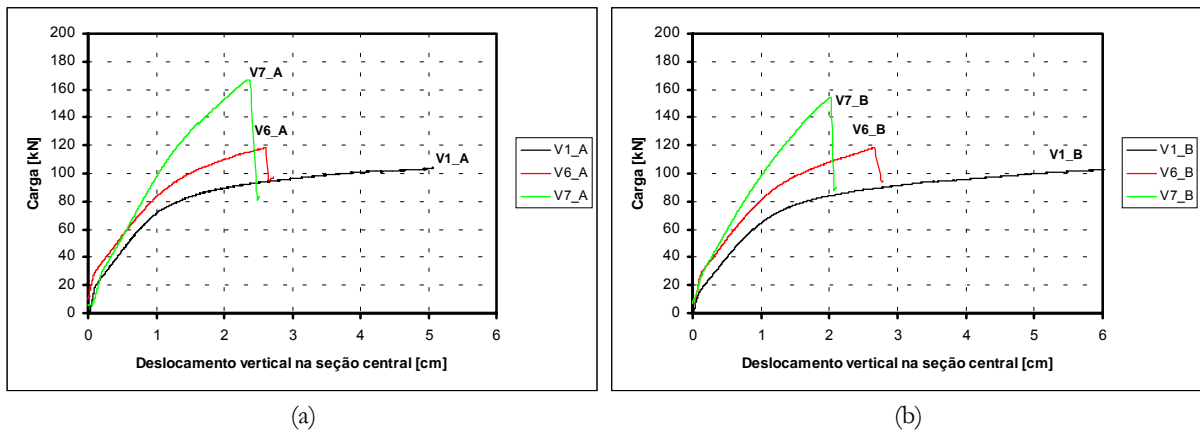


FIGURA 5-10 — Diagramas *carga vs. deslocamento* das vigas V1, V6 e V7

Além da análise individual do desempenho de cada sistema de reforço quanto ao deslocamento na seção central, é possível, ainda, estabelecer comparações entre os diferentes sistemas empregados. A figura 5-11 apresenta uma comparação entre as vigas V4 e V6, reforçadas com a mesma seção transversal de reforço, porém empregando dois sistemas distintos de manta flexível. Neste caso, observa-se que, embora as vigas V6 não tenham alcançado o mesmo incremento em resistência, seu comportamento, quanto ao deslocamento na seção central, foi absolutamente idêntico àquele apresentado pelas vigas V4.

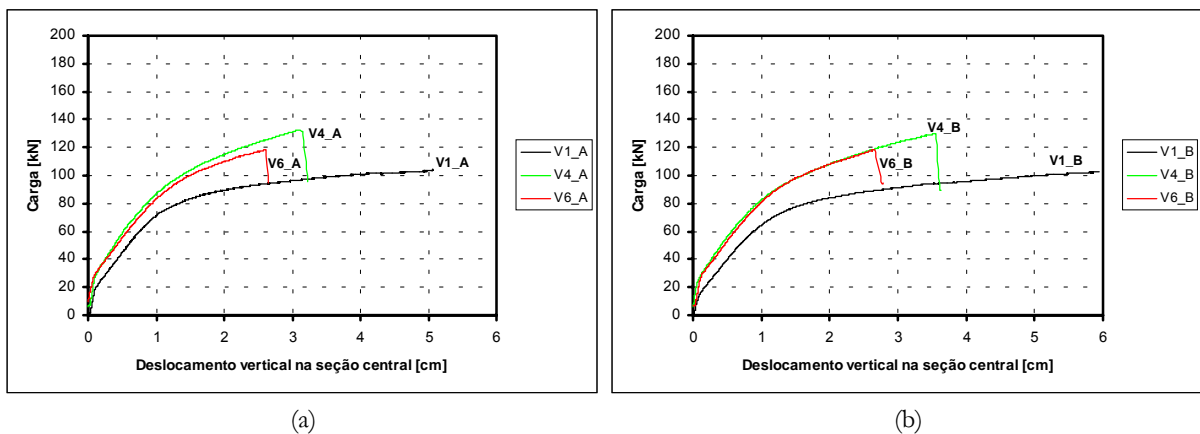


FIGURA 5-11 — Diagramas *carga vs. deslocamento* das vigas V1, V4 e V6

Por outro lado, a comparação entre as vigas V5 e V7, ilustrada através dos diagramas da figura 5-12, não conduz, necessariamente, à mesma constatação. Embora apresentem a mesma seção transversal de reforço e, praticamente, o mesmo módulo de elasticidade, as vigas V5 apresentaram um desempenho um pouco superior, tanto no incremento de

resistência quanto de rigidez. No entanto, não é possível, sem a avaliação de resultados mais específicos, confirmar esta como uma tendência. Ainda, este comportamento diferenciado pode ser atribuído às características inerentes de cada tipo de sistema de reforço.

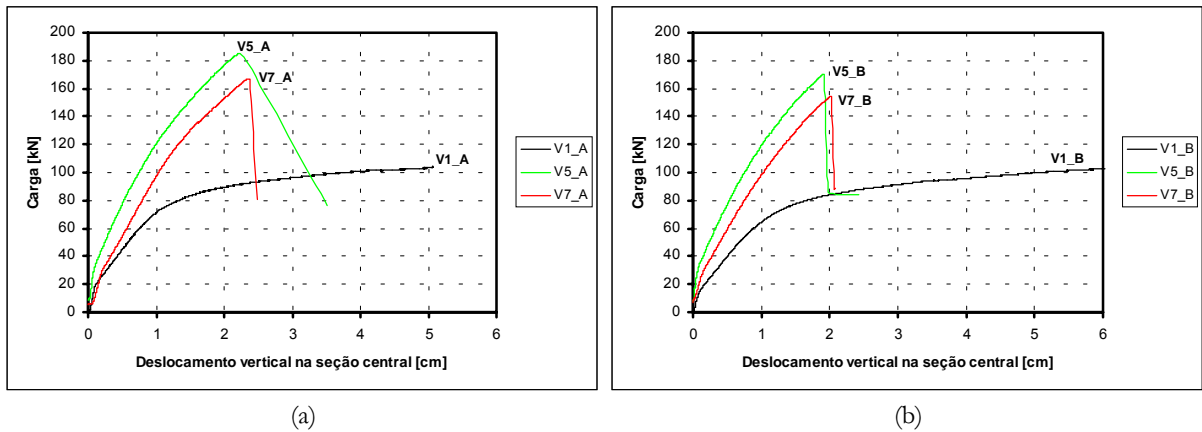


FIGURA 5-12 — Diagramas *carga vs. deslocamento* das vigas V1, V5 e V7

Finalmente, realiza-se uma comparação entre as vigas V2 e V6 que, apesar de utilizarem dois sistemas de reforço distintos, apresentaram o mesmo incremento em resistência. Neste caso, embora o incremento de resistência tenha sido o mesmo, o diagrama apresentado na figura 5-13 evidencia o desempenho superior das vigas V2 quanto à rigidez. Esta constatação confirma as expectativas quanto ao desempenho do sistema de reforço com laminados pré-fabricados na medida em que este apresenta seção transversal e espessura muito maior que a do sistema de reforço com mantas flexíveis.

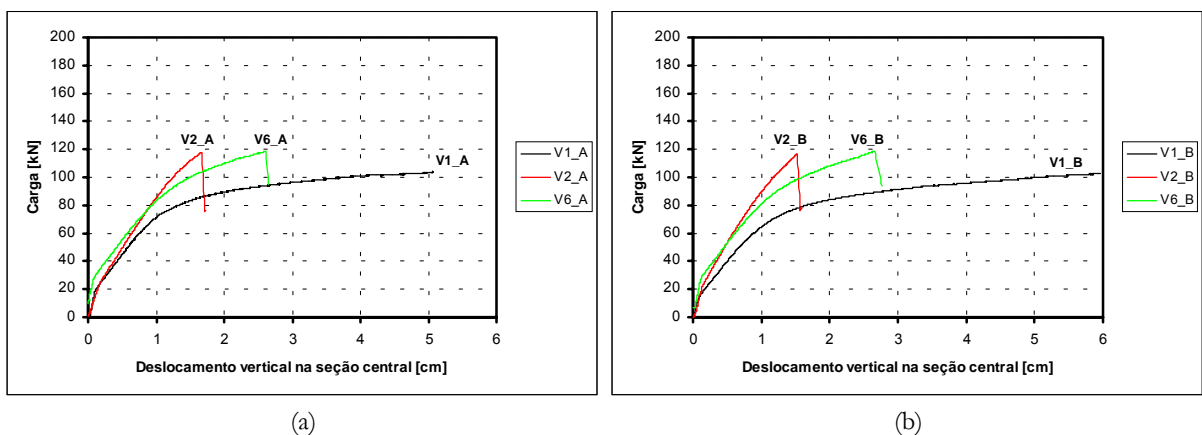


FIGURA 5-13 — Diagramas *carga vs. deslocamento* das vigas V1, V2 e V6

Por outro lado, identifica-se que a aplicação da manta flexível permite, guardadas as devidas proporções, um comportamento mais dúctil, com um quadro de fissuração e deslocamentos verticais mais pronunciados, o que pode se constituir em um aspecto favorável à sua utilização.

5.1.2.2 *Deformações específicas na armadura*

Além de sensíveis modificações no comportamento dos deslocamentos verticais, a aplicação de um reforço na zona tracionada de uma viga faz com que este passe a dividir, com as barras de armadura, a resultante das tensões de tração atuantes na seção transversal desta viga. Portanto, a presença de um elemento de reforço conduz, naturalmente, a uma redução na deformação específica das armaduras e, conseqüentemente, na tensão que atua sobre elas.

A partir dos resultados experimentais, observou-se que o escoamento da armadura das vigas de controle, V1_A e V1_B, ocorreu em 65,79 kN e 58,52 kN, respectivamente. Como esperado, o início do escoamento na armadura das vigas reforçadas ocorreu sob cargas superiores. Através dos resultados apresentados na tabela 5-2, pode-se verificar que as cargas de início do escoamento nas armaduras das vigas reforçadas sofreram um aumento considerável. Este aumento situou-se entre 32,7% e 115,1%.

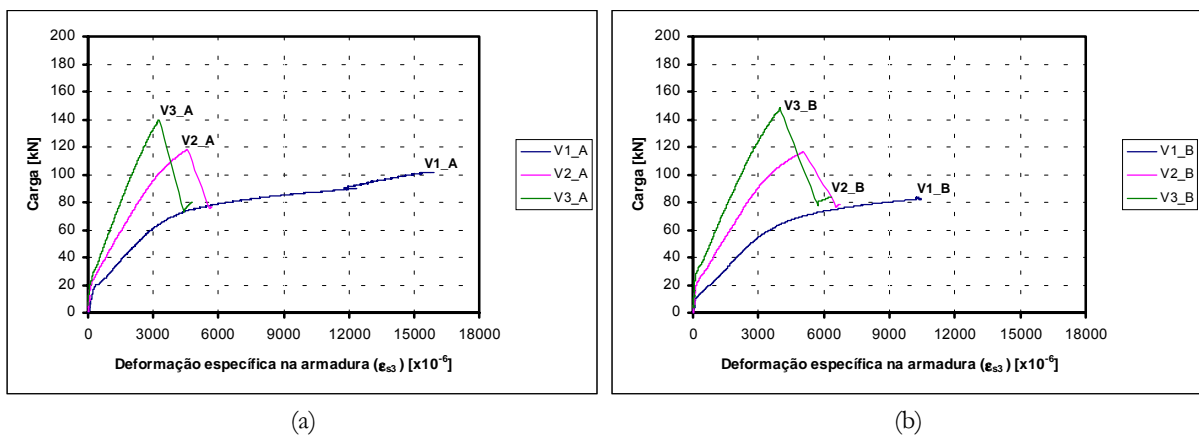
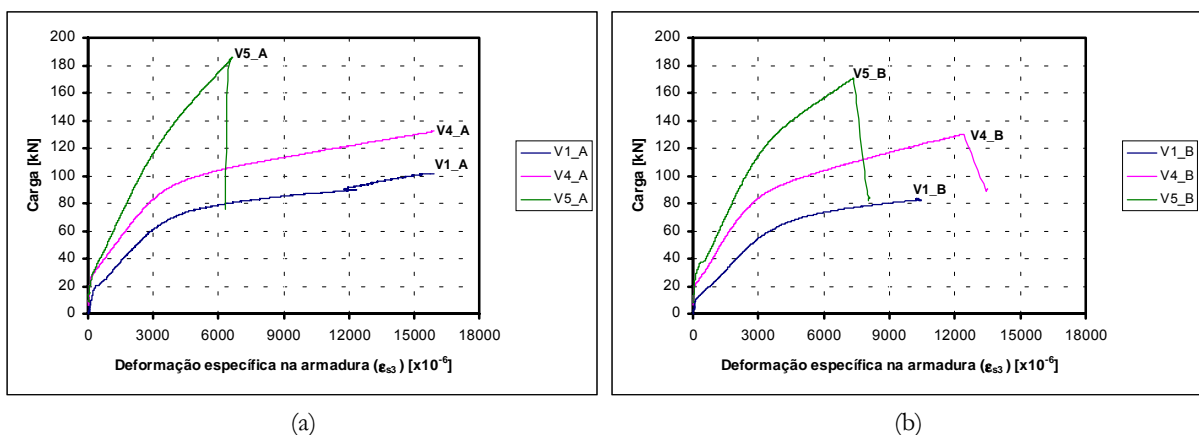
Além disso, quando comparados os valores de deformação específica para a carga de início do escoamento da armadura nas vigas de controle (cerca de 62,15 kN), observa-se, uma sensível redução nestes valores. Esta redução oscilou entre 40,7% e 66,5%. A avaliação destes resultados permite confirmar a ação do reforço, retardando o início do escoamento da armadura.

A ação do reforço após o escoamento da armadura é, igualmente considerável. Verifica-se que o reforço limita grandes deformações plásticas nas armaduras, uma vez que a maior parcela do aumento na capacidade de carga é obtida após o início do escoamento do aço, ou seja, quando o reforço passa a ser, então, plenamente solicitado. Nas figuras 5-14, 5-15 e 5-16 são apresentados os diagramas *carga vs. deformação específica* na armadura das vigas reforçadas, onde é possível observar, claramente, este comportamento.

TABELA 5-2 — Comparação entre cargas e deformações específicas no escoamento (grupo F)

Viga	Carga no início do escoamento da armadura [kN]	Diferença [%]	Deformação específica na carga de 62,15 kN [$\times 10^{-6}$]	Diferença [%]
V1_A	65,79	-	3362	-
V1_B	58,52	-	3362	-
V2_A	99,50	+ 60,1	1642	- 51,2
V2_B	97,48	+ 56,8	1767	- 47,4
V3_A	133,67	+ 115,1	1125	- 66,5
V3_B	130,54	+ 110,0	1162	- 65,4
V4_A	86,24	+ 38,8	1797	- 46,5
V4_B	84,21	+ 35,5	1993	- 40,7
V5_A	128,36	+ 106,5	1149	- 65,8
V5_B	130,94	+110,7	1163	- 65,4
V6_A	85,54	+ 37,6	1807	- 46,3
V6_B	82,47	+ 32,7	1964	- 41,6
V7_A	118,71	+ 90,1	1288	- 61,7
V7_B	122,53	+ 97,1	1235	- 63,3

Obs.: a determinação da diferença entre cargas e deformações específicas das vigas reforçadas é realizada sobre a média aritmética das cargas e deformações específicas das vigas V1_A e V1_B.

FIGURA 5-14 — Diagramas *carga vs. deformação específica* na armadura das vigas V1, V2 e V3FIGURA 5-15 — Diagramas *carga vs. deformação específica* na armadura das vigas V1, V4 e V5

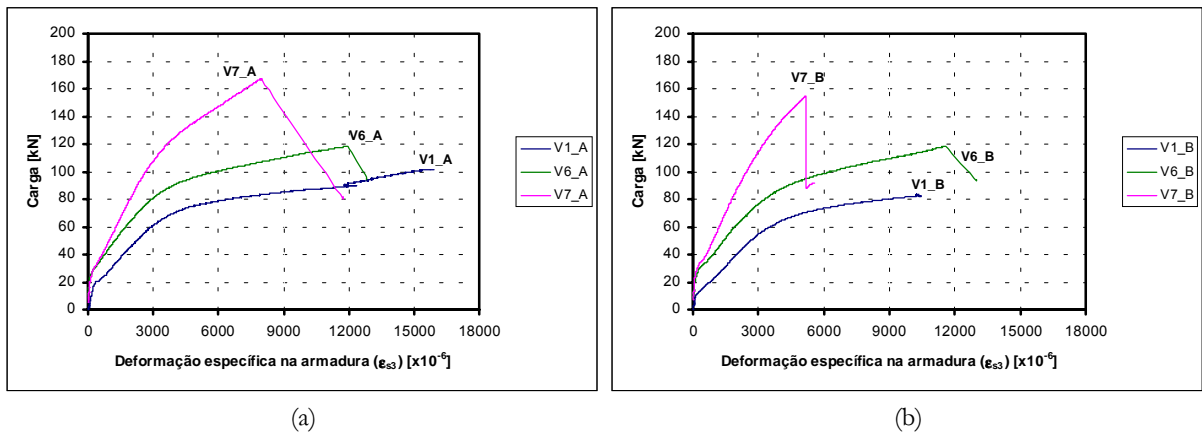


FIGURA 5-16 — Diagramas *carga vs. deformação específica* na armadura das vigas V1, V6 e V7

Realizando-se novamente uma comparação entre as vigas que empregaram sistemas de reforço com mantas flexíveis diferentes, é possível identificar que as deformações específicas na armadura apresentam um comportamento similar àquele identificado para os deslocamentos verticais.

Na figura 5-17 apresenta-se uma comparação entre as vigas V4 e V6. Neste caso fica evidente que, embora não tenham atingido a mesma carga de ruptura, o comportamento das deformações específicas na armadura foi idêntico para ambas.

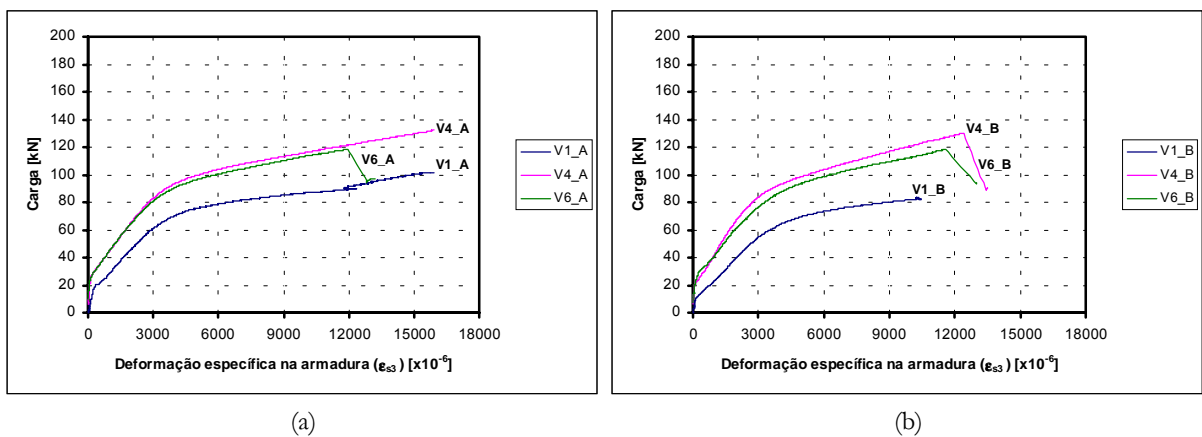


FIGURA 5-17 — Diagramas *carga vs. deformação específica* na armadura das vigas V1, V4 e V6

Diferentemente do que ocorreu quando se avaliaram os deslocamentos verticais, a comparação das deformações específicas na armadura das vigas V5 e V7 demonstra, também, um comportamento bastante parecido. Os diagramas destas vigas são apresentados na figura

5-18. No caso particular da comparação entre as vigas V5_A e V7_A observa-se, a partir de uma carga de cerca de 120 kN uma pequena divergência entre as duas curvas, com um comportamento ligeiramente superior para a viga V5_A.

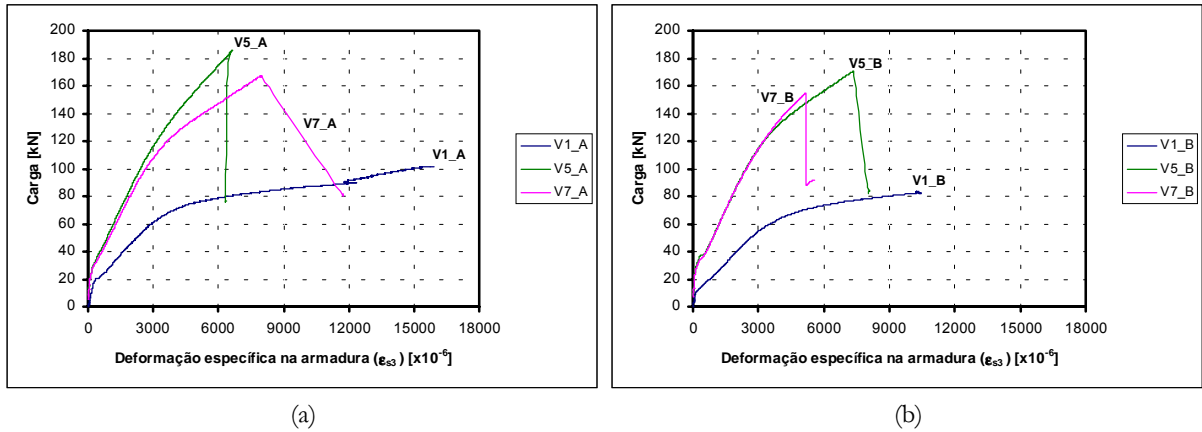


FIGURA 5-18 — Diagramas *carga vs. deformação específica* na armadura das vigas V1, V5 e V7

Já a comparação entre as vigas V2 e V6, conduz, novamente, à constatação de que, em decorrência da utilização de um material com maior espessura e seção transversal (laminado pré-fabricado), as deformações específicas na armadura das vigas V2 são significativamente menores do que aquelas observadas nas vigas V6, principalmente após a carga de 60 kN, embora tenham atingido o mesmo incremento em resistência.

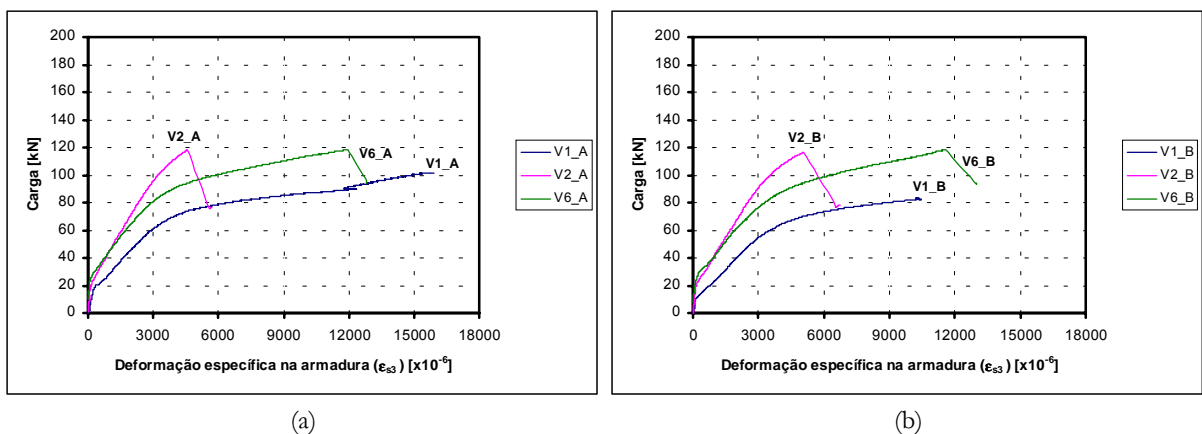


FIGURA 5-19 — Diagramas *carga vs. deformação específica* na armadura das vigas V1, V2 e V6

5.1.2.3 Deformações específicas no concreto

Outro importante indicador do desempenho das vigas reforçadas, quanto ao incremento em rigidez, pode ser observado a partir da comparação entre as deformações específicas no concreto. Nas figuras 5-20 a 5-25, são apresentados os diagramas *carga vs. deformação específica* no concreto, registradas através do transdutor de deslocamento superficial TRD-1, localizado a 1 cm do topo da seção transversal.

A observação destes diagramas corrobora, uma vez mais, o importante efeito do reforço no incremento da rigidez das vigas reforçadas, conduzindo, também, a significativas reduções nas deformações e, conseqüentemente, tensões impostas ao concreto.

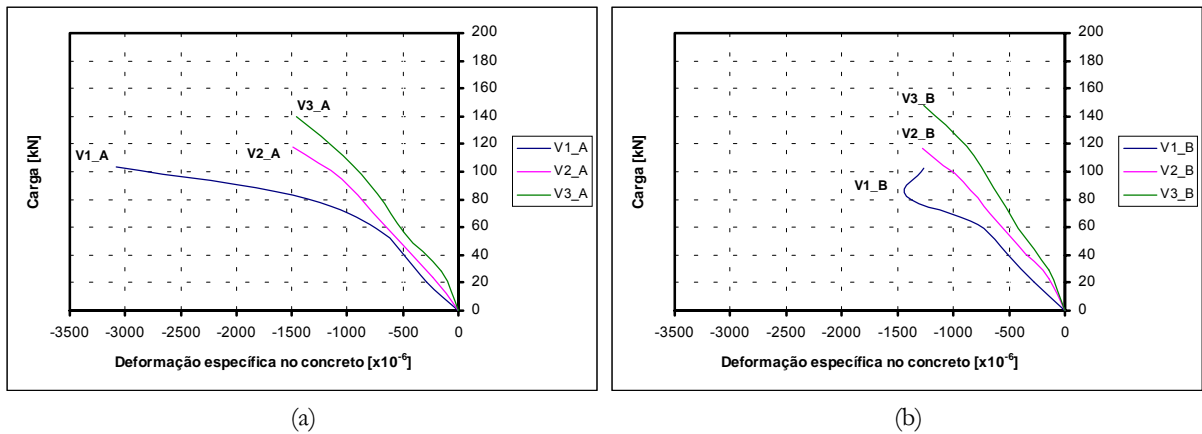


FIGURA 5-20 — Diagramas *carga vs. deformação específica* no concreto (TRD-1) das vigas V1, V2 e V3

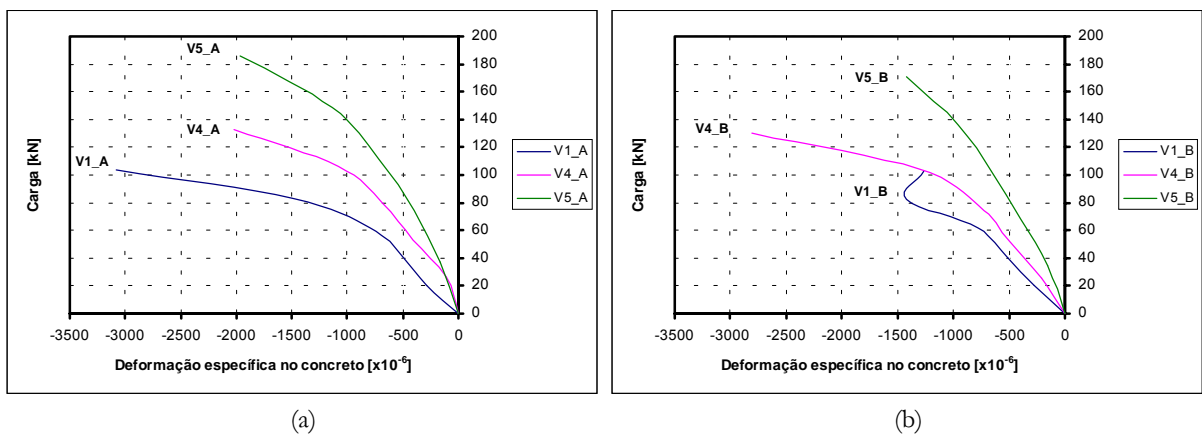


FIGURA 5-21 — Diagramas *carga vs. deformação específica* no concreto (TRD-1) das vigas V1, V4 e V5

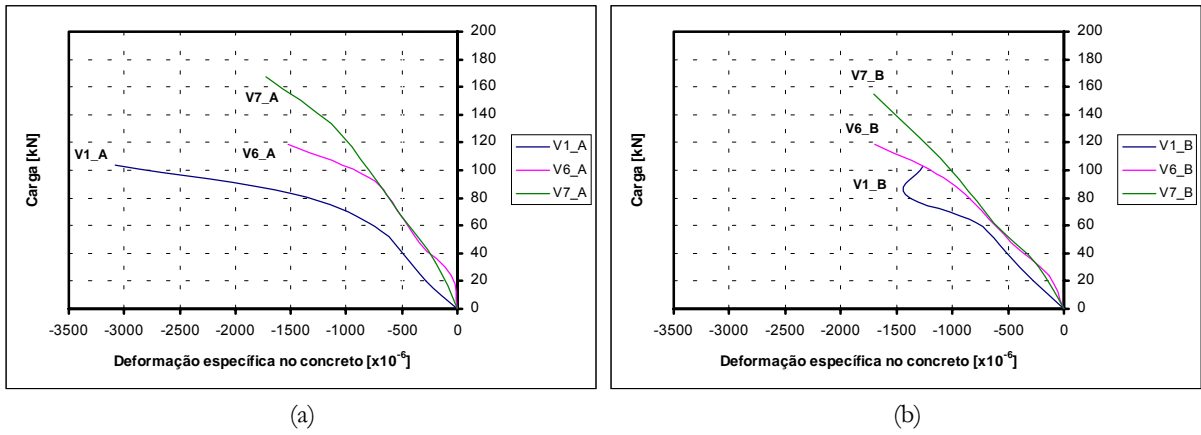


FIGURA 5-22 — Diagramas *carga vs. deformação específica* no concreto (TRD-1) das vigas V1, V6 e V7

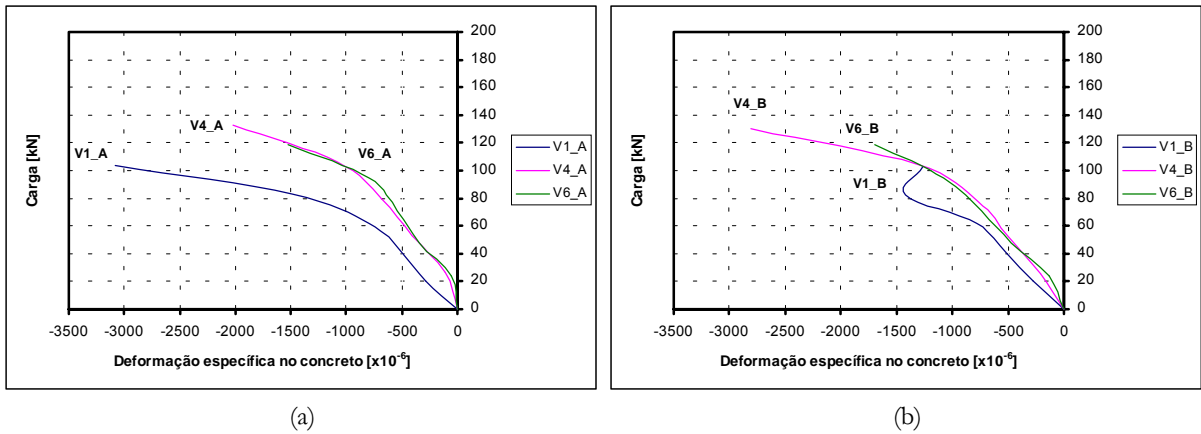


FIGURA 5-23 — Diagramas *carga vs. deformação específica* no concreto (TRD-1) das vigas V1, V4 e V6

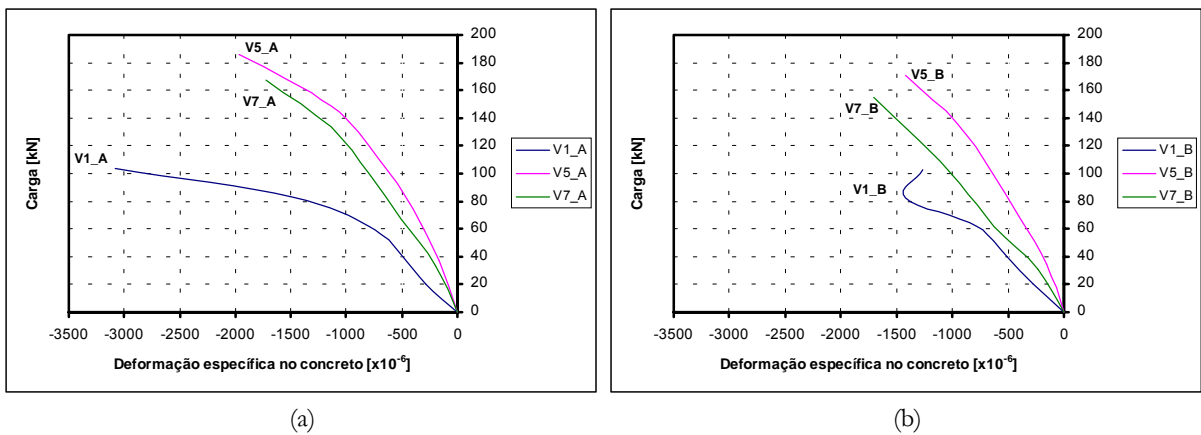


FIGURA 5-24 — Diagramas *carga vs. deformação específica* no concreto (TRD-1) das vigas V1, V5 e V7

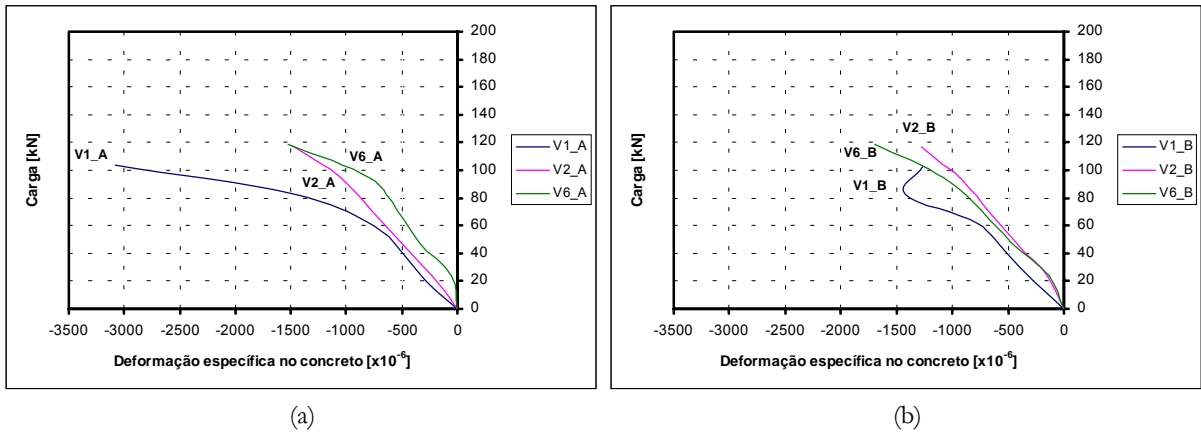


FIGURA 5-25 — Diagramas *carga vs. deformação específica* no concreto (TRD-1) das vigas V1, V2 e V6

Adicionalmente, os resultados das deformações específicas no concreto, registrados a partir dos demais transdutores superficiais de deslocamento, posicionados ao longo de toda a altura da viga, permitem avaliar o comportamento da seção transversal, através de sua inclinação (ou curvatura) com a evolução do carregamento. A análise deste comportamento permite, ainda, verificar que a hipótese de Bernoulli é válida, também, para seções transversais reforçadas com compósitos de *CFRP*. Observa-se, porém, algumas distorções nestes valores, principalmente junto ao banzo tracionado, em função da fissuração.

Nas figuras 5-26 a 5-28 são apresentados os diagramas que mostram a distribuição de deformações na seção transversal das vigas reforçadas para patamares de carregamento equivalentes à 20, 40, 60, 80 e 100% de suas respectivas cargas de ruptura.

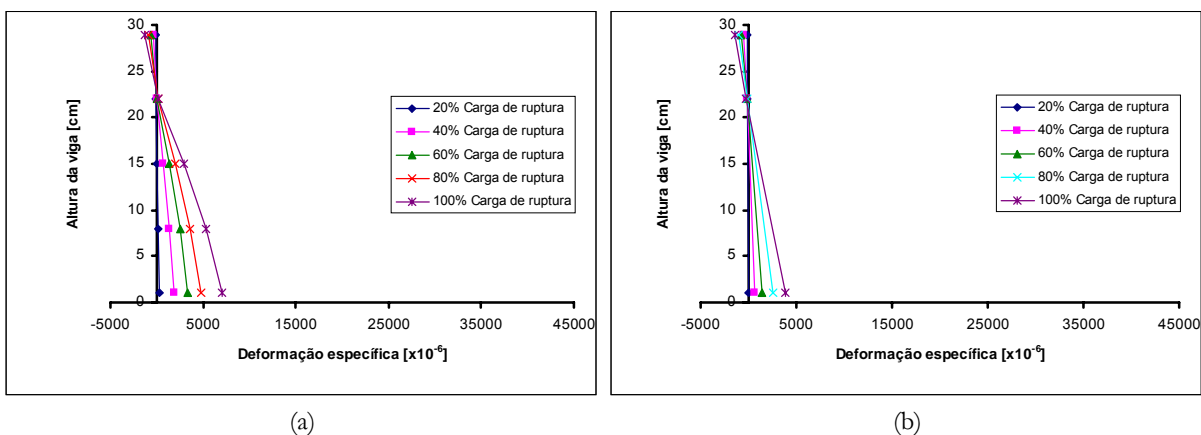


FIGURA 5-26 — Distribuição das deformações na seção transversal (curvatura) das vigas V2_B e V3_A

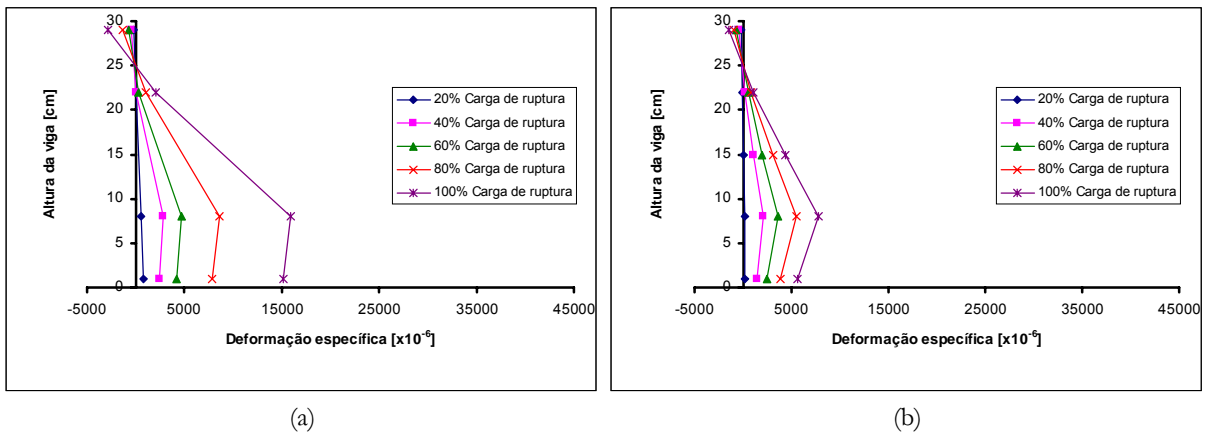


FIGURA 5-27 — Distribuição das deformações na seção transversal (curvatura) das vigas V4_B e V5_B

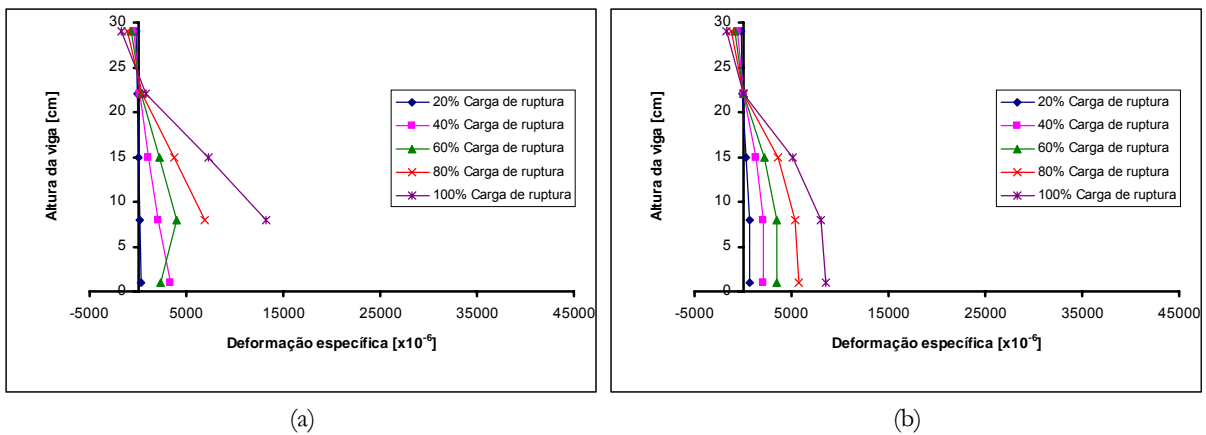


FIGURA 5-28 — Distribuição das deformações na seção transversal (curvatura) das vigas V6_B e V7_A

Outro importante aspecto que permite identificar o efeito do reforço no incremento da rigidez pode ser verificado através de diagramas *momento vs. curvatura*. Nas figuras 5-29(a) a 5-34(a), são apresentadas comparações entre os diagramas *momento vs. curvatura* das vigas reforçadas e vigas de controle.

Em conjunto com estes, são apresentados, nas figuras 5-29(b) a 5-34(b), diagramas que permitem comparar a distribuição das deformações na seção transversal das vigas reforçadas para uma carga de cerca de 80% da carga de ruptura das vigas de controle.

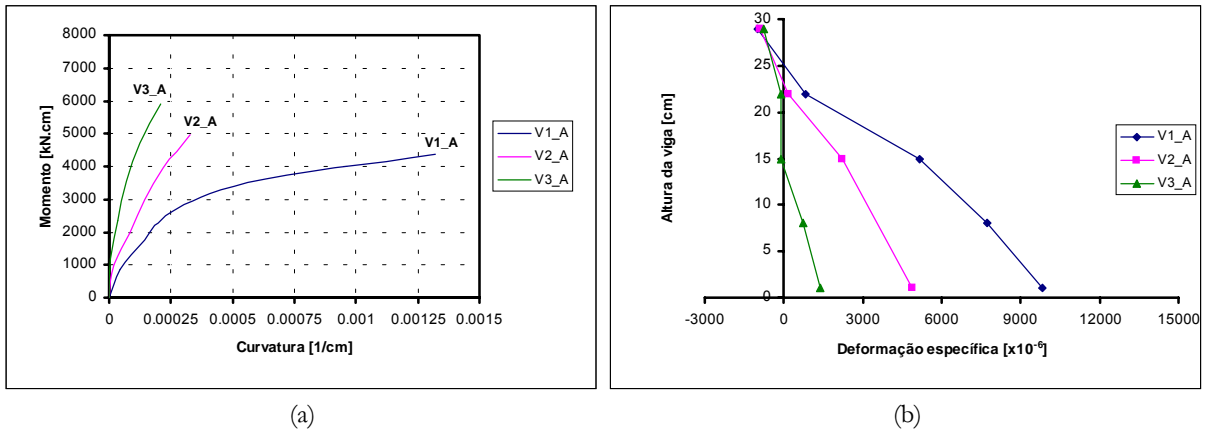


FIGURA 5-29 — Diagrama *momento vs. curvatura* e deformada das vigas V1, V2 e V3

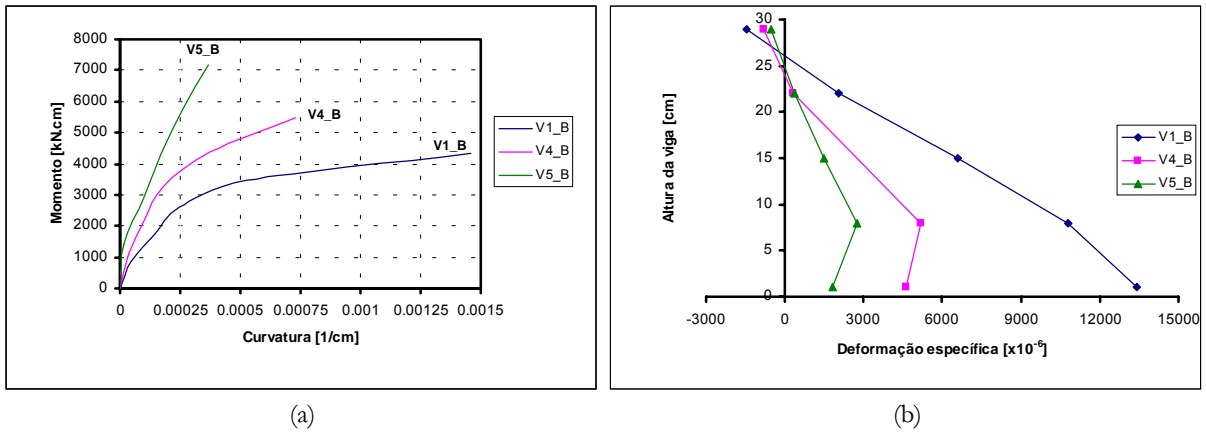


FIGURA 5-30 — Diagrama *momento vs. curvatura* e deformada das vigas V1, V4 e V5

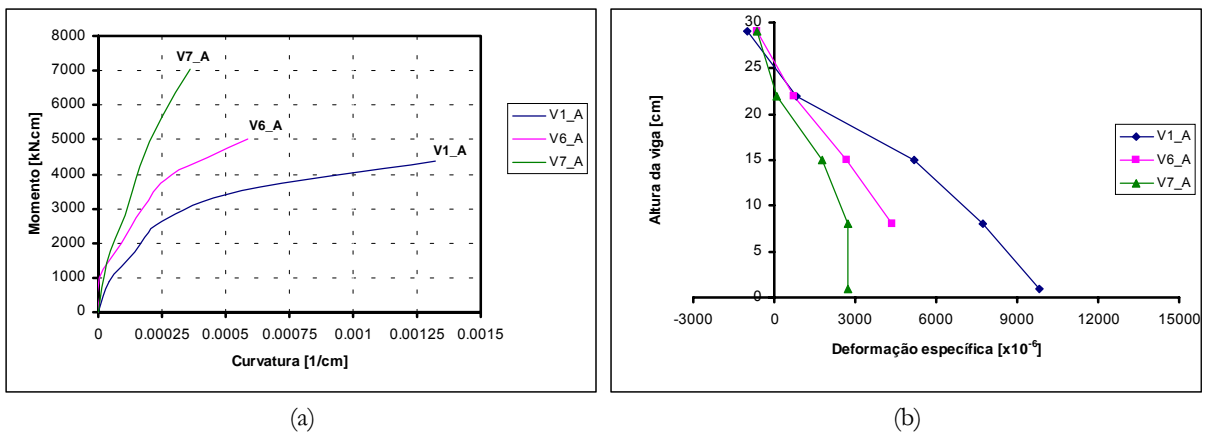


FIGURA 5-31 — Diagrama *momento vs. curvatura* e deformada das vigas V1, V6 e V7

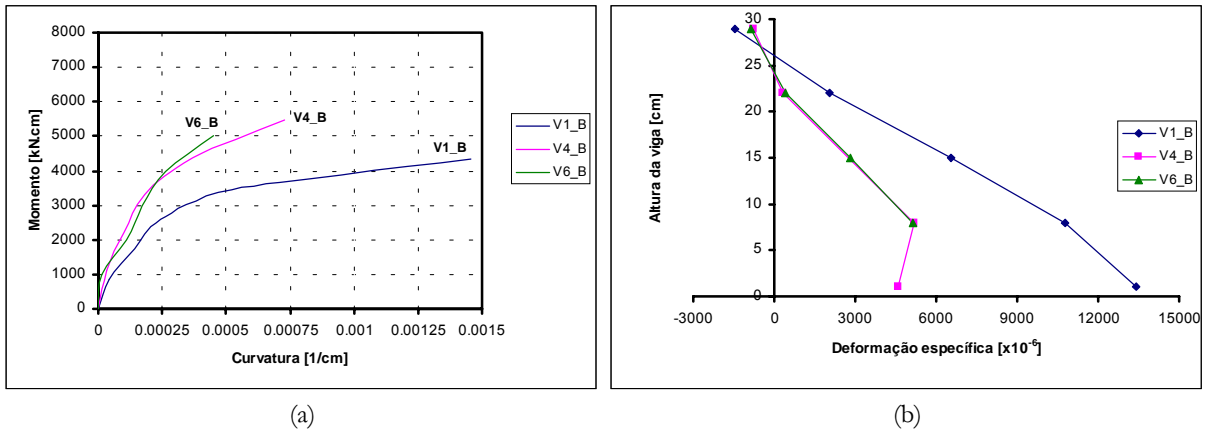


FIGURA 5-32 — Diagrama *momento vs. curvatura* e deformada das vigas V1, V4 e V6

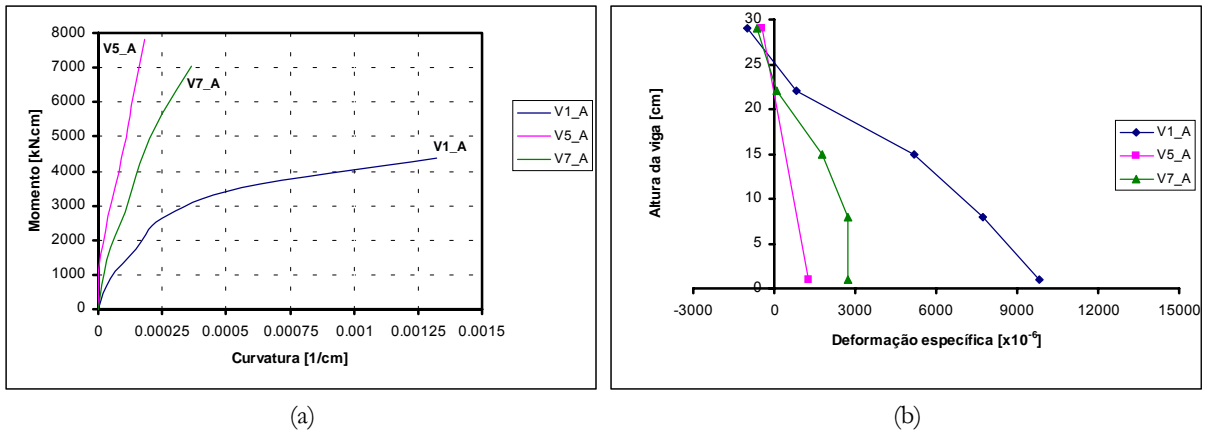


FIGURA 5-33 — Diagrama *momento vs. curvatura* e deformada das vigas V1, V5 e V7

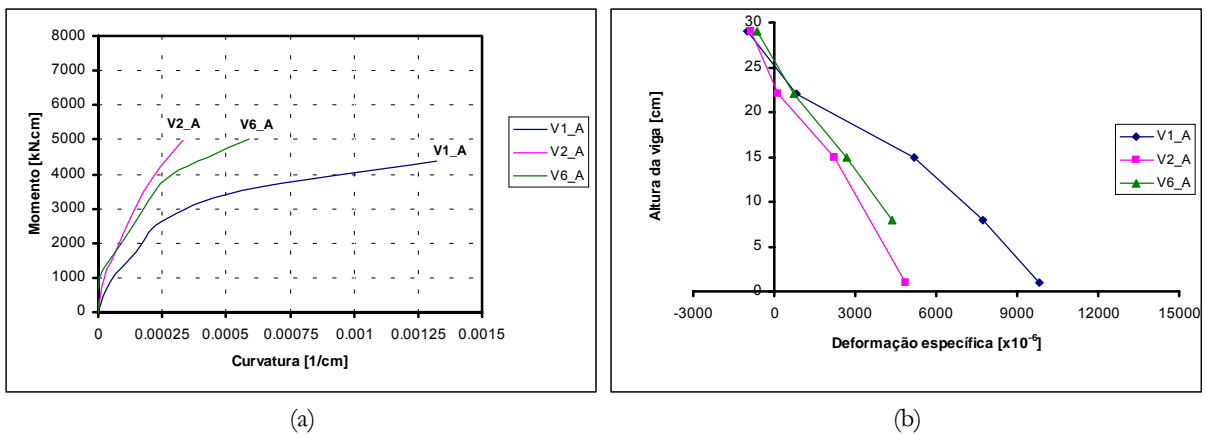


FIGURA 5-34 — Diagrama *momento vs. curvatura* e deformada das vigas V1, V2 e V6

5.1.3 Avaliação do comportamento do reforço: deformações específicas e tensões

Os resultados apresentados e discutidos anteriormente comprovam a eficiência dos compósitos de *CFRP* na elevação da resistência e rigidez de vigas de concreto armado reforçadas à flexão. Com o objetivo de complementar estas informações, avalia-se, também, o comportamento intrínseco do reforço, representado, neste caso, pela distribuição de deformações específicas ao longo de sua extensão.

A distribuição das deformações específicas, associada às propriedades geométricas e mecânicas do reforço, permite determinar um perfil de tensões tangenciais e longitudinais ao longo do reforço. Na tabela 5-3 são apresentados os resultados das tensões tangenciais e normais máximas para carregamentos de 20, 60 e 100% da carga de ruptura de cada viga, respectivamente. Estas informações são complementadas, ainda, com a posição em que estes valores máximos ocorreram.

Os perfis de tensão tangencial e normal são calculados a partir dos registros de deformações específicas, associados às propriedades geométricas e mecânicas de cada sistema de reforço empregado. As tensões normais estão relacionadas linearmente com as deformações através do módulo de elasticidade. As tensões tangenciais, por sua vez, dependem, ainda, das propriedades geométricas do sistema de reforço.

A análise destes resultados permite identificar a evolução das tensões tangenciais e normais, sendo possível, inclusive, identificar seu posicionamento. No caso das tensões normais, apesar de algumas variações, o valor máximo ocorreu, no terço médio. Por outro lado, a análise das tensões tangenciais apresenta um comportamento distinto, o que pode, em parte, ajudar a explicar os modos de ruptura apresentados pelas vigas reforçadas.

O comportamento da tensão tangencial máxima nas vigas V2_B e V3_B, reforçadas com laminados pré-fabricados, foi rigorosamente o mesmo. Inicialmente, para 20% da carga de ruptura, a máxima tensão ocorreu em 48,5 cm e foi, gradativamente, deslocando-se em direção à extremidade, para, em 100% da carga de ruptura, localizar-se em 8,30 cm. Este comportamento apresenta-se em concordância com o modo de ruptura observado nestas vigas, uma vez que o descolamento, na interface adesivo/reforço, ocorreu, exatamente, a partir da extremidade. Observa-se, ainda, que os valores de tensão tangencial para 100% da

carga de ruptura foram idênticos. As figuras 5-35(b), 5-36(b) e 5-41 ilustram este comportamento.

TABELA 5-3 — Resultados das tensões máximas no reforço (grupo F)

Viga	Patamar de carregamento	Tensão normal máxima		Tensão tangencial máxima	
		σ_f [kN/cm ²]	Posição a partir da extremidade [cm]	τ_f [kN/cm ²]	Posição a partir da extremidade [cm]
V2_B	20%	6,37	119,0	0,0225	48,50
	60%	49,79	119,0	0,1575	23,55
	100%	98,80	119,0	0,4662	8,30
V3_B	20%	6,09	58,5	0,0299	48,50
	60%	48,45	119,0	0,1203	17,30
	100%	91,82	119,0	0,4661	8,30
V4_B	20%	1,70	119,0	0,0005	32,90
	60%	74,03	119,0	0,0182	23,55
	100%	237,71	119,0	0,1058	2,30
V5_B	20%	4,77	78,5	0,0080	48,50
	60%	48,07	98,5	0,1099	17,30
	100%	104,04	98,5	0,3030	2,30
V6_B	20%	5,44	78,5	0,0031	68,50
	60%	77,43	119,0	0,0399	23,55
	100%	241,44	98,5	0,1178	48,50
V7_B	20%	9,60	78,5	0,0164	48,50
	60%	63,72	58,5	0,1075	23,55
	100%	126,18	119,0	0,3093	17,30

Embora as vigas V4_B e V6_B não tenham apresentado um modo de ruptura associado ao descolamento/arrancamento do reforço, a diferença entre as tensões tangenciais máximas, para ambas, foi muito pequena. No entanto, observa-se uma diferença significativa quanto à localização destas tensões. Enquanto a máxima tensão tangencial, para 100% da carga de ruptura, ocorre, na viga V4_B, em 2,30 cm; para V6_B localiza-se em 48,5 cm. A distribuição das tensões tangenciais pode ser observada, graficamente, através dos diagramas das figuras 5-37(b), 5-39(b), 5-42(a) e 5-43(a). Diferenças neste perfil de tensões estão associadas ao mecanismo de transferência de esforços entre concreto e reforço e dependem das características inerentes a cada sistema de reforço.

A mais interessante constatação surgiu, no entanto, da análise das vigas V5_B e V7_B que, mesmo tendo a mesma seção transversal de reforço, apresentaram modos de ruptura muito diferentes. Este fenômeno, pode ser explicado, em parte, pela evolução da tensão tangencial e sua respectiva localização.

Enquanto a viga V5_B apresentou, em 100% da carga de ruptura, uma tensão tangencial máxima de 0,3030 kN/cm², localizada em 2,30 cm; a viga V7_B apresentou uma tensão tangencial de 0,3093 kN/cm², localizada em 17,30 cm. Embora as tensões apresentem a mesma magnitude, sua localização foi diferente, explicando, parcialmente, o fenômeno de descolamento/arrancamento ocorrido nestas vigas.

Como pode ser observado nas figuras 5-38(b) e 5-42(b), as tensões tangenciais foram, consistentemente maiores, próximo à extremidade do reforço. Contudo, como pode ser observado nas figuras 5-40(b) e 5-43(b), o comportamento da viga V7 foi ligeiramente diferente, com as tensões tangenciais mais distantes extremidade do reforço. Para melhor ilustrar a evolução das tensões tangenciais e longitudinais e suas respectivas posições, são apresentados, nas figuras 5-35 a 5-40, os perfis de tensões das vigas reforçadas.

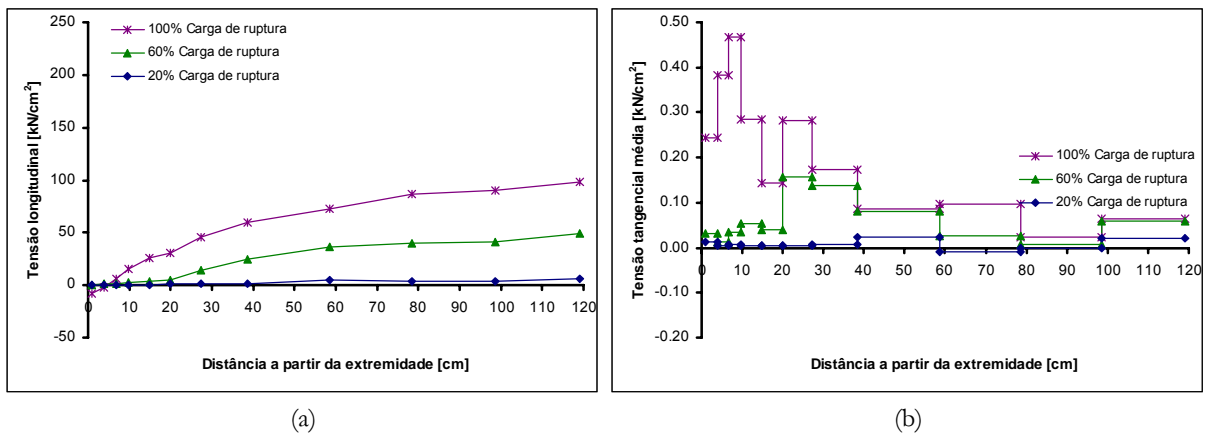


FIGURA 5-35 — Perfil de tensões da viga V2_B

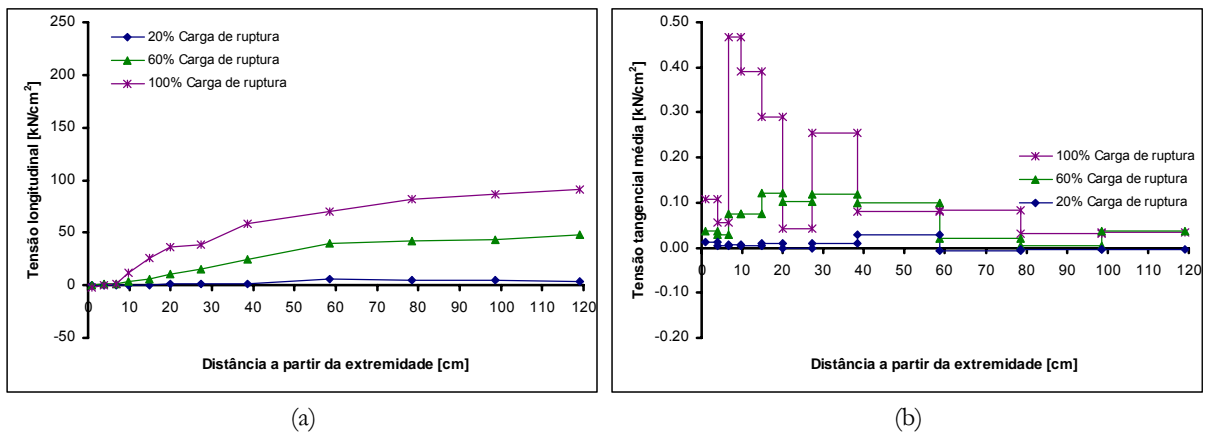


FIGURA 5-36 — Perfil de tensões da viga V3_B

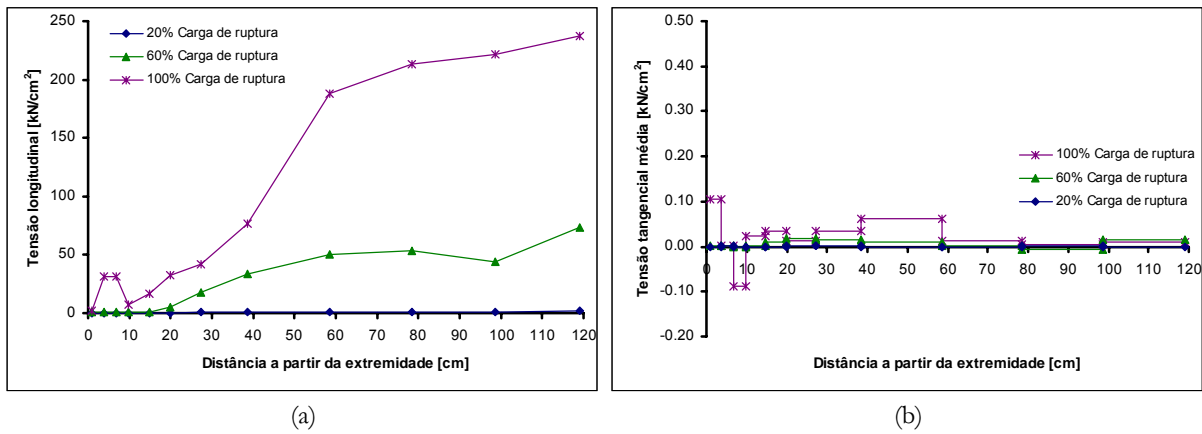


FIGURA 5-37 — Perfil de tensões da viga V4_B

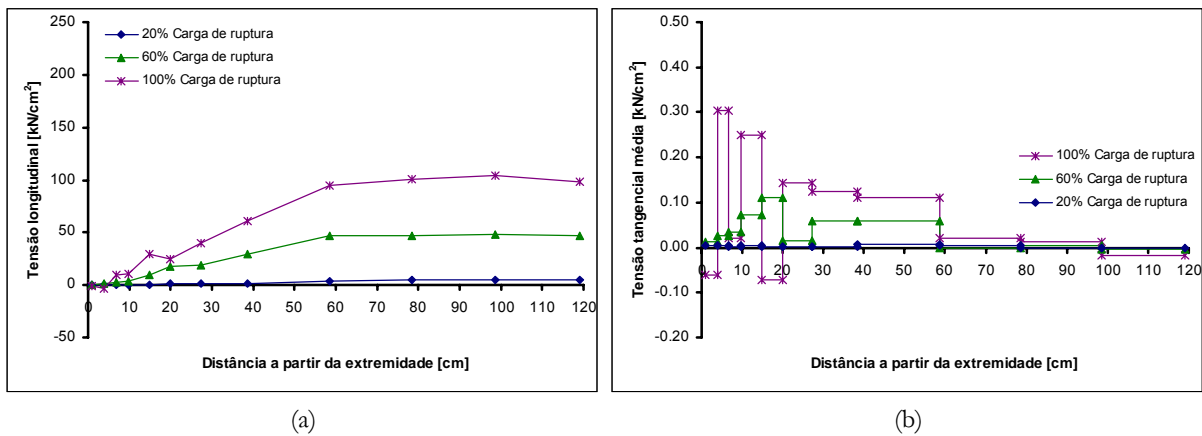


FIGURA 5-38 — Perfil de tensões da viga V5_B

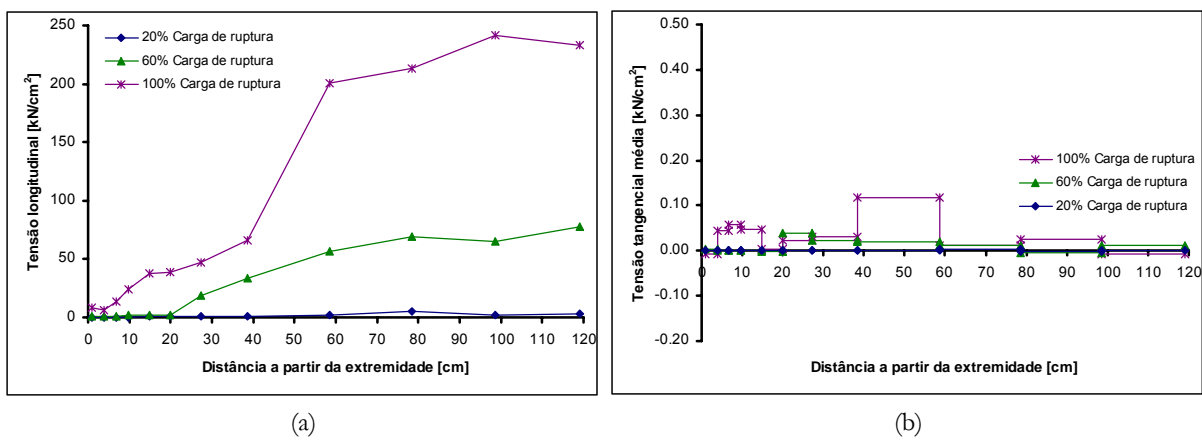


FIGURA 5-39 — Perfil de tensões da viga V6_B

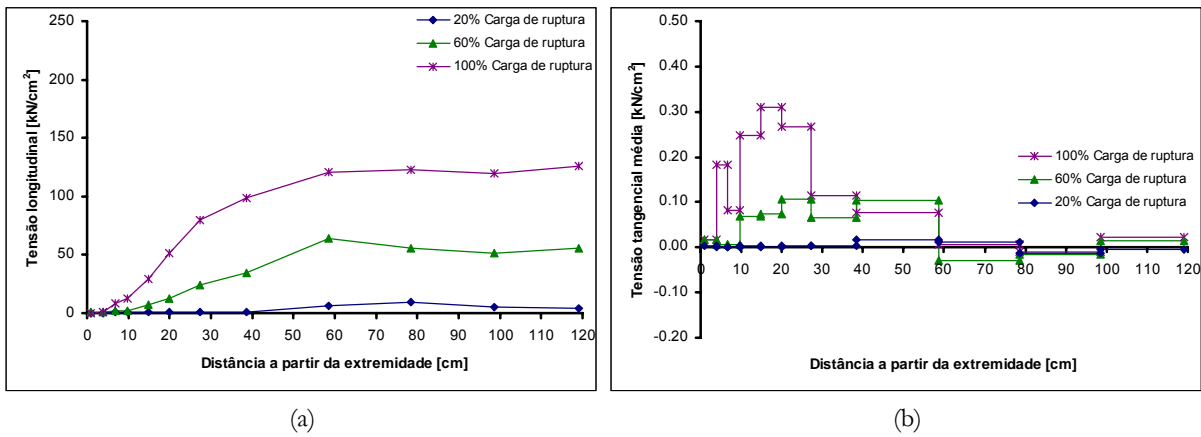


FIGURA 5-40 — Perfil de tensões da viga V7_B

Com o intuito de complementar a análise destas tensões, apresentam-se, nas figuras 5-41, 5-42 e 5-43, diagramas das tensões normalizadas. A apresentação dos resultados neste formato permite avaliar, em um mesmo diagrama, além de sua evolução, a interação existente entre as tensões tangenciais e longitudinais.

A avaliação dos diagramas acima apresentados permite identificar, facilmente, que o nível de tensão normal cresce, a partir da extremidade, em direção ao meio do vão, enquanto as tensões tangenciais máximas tendem a localizar-se próximo à extremidade. Outro importante aspecto está associado aos picos na curva de tensão tangencial. A ocorrência destes picos depende da variação nas medidas das deformações específicas. Como estas deformações específicas e, conseqüentemente tensões normais, foram medidas em pontos discretos, unidos através de retas, pequenas variações nestes valores, ou seja, na inclinação destas curvas, afetam diretamente o nível de tensão tangencial calculado.

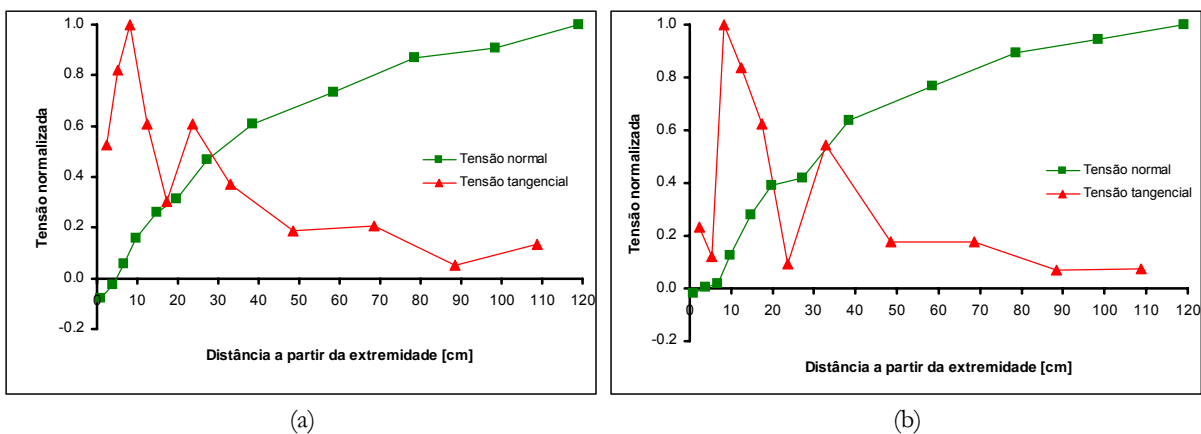


FIGURA 5-41 — Perfil de tensões normalizado das vigas V2_B e V3_B

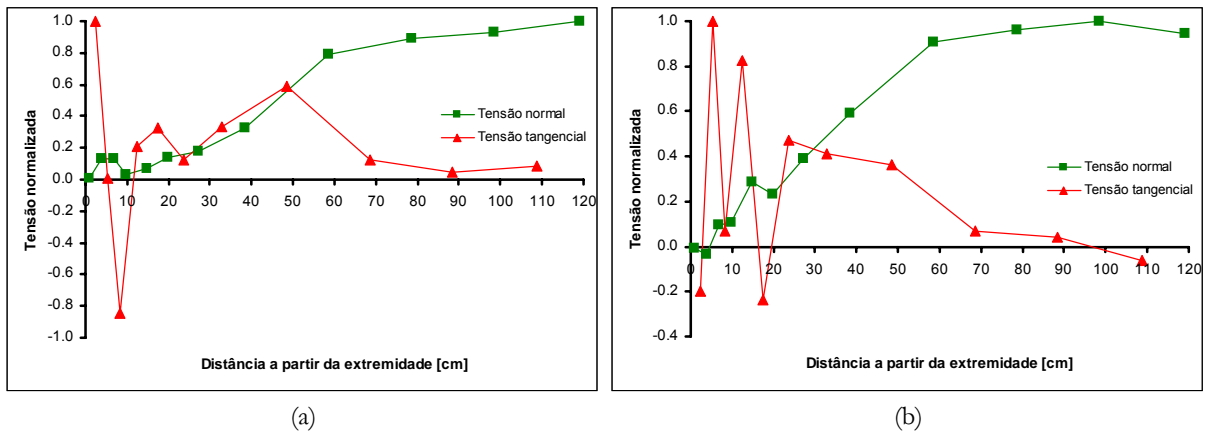


FIGURA 5-42 — Perfil de tensões normalizado das vigas V4_B e V5_B

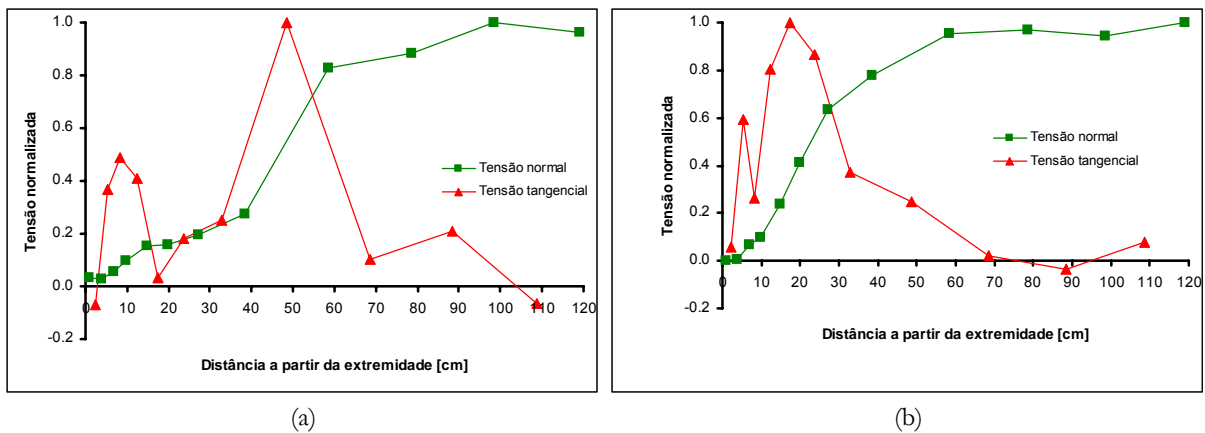


FIGURA 5-43 — Perfil de tensões normalizado das vigas V6_B e V7_B

5.1.4 Modelos analíticos para a previsão do desempenho das vigas reforçadas

A necessidade de estabelecer-se algum tipo de formulação que permitisse estimar a tensão máxima admissível no reforço, conduziu à tentativa de relacionar estas tensões com a rigidez do reforço, através do produto $E_f t_f$, uma vez que se identificou que, quanto maior este produto (principalmente devido à espessura do reforço), menor é a deformação e conseqüentemente, tensão desenvolvida no reforço.

Diversos autores (ACI, 2002; Teng et al, 2001; Triantafyllou, 1998; Khalifa et al, 1998) identificaram, igualmente, esta tendência. Na tabela 5-4 são apresentados os resultados das

tensões tangenciais e longitudinais, na ruptura, e as respectivas propriedades dos sistemas de reforço utilizados em cada viga.

TABELA 5-4 — Resultados de tensões máximas no reforço (grupo F)

Viga	Espessura t_f [cm]	Módulo de elasticidade E_f [kN/cm ²]	$E_f \times t_f$ [kN/cm]	σ_f [kN/cm ²]	τ_f [kN/cm ²]
V2_B	0,14	20500	2870,0	98,80	0,4662
V3_B	0,14	20500	2870,0	91,82	0,4661
V4_B	0,0111	23000	255,3	237,71	0,1058
V5_B	0,0176	23000	1531,8	104,04	0,3030
V6_B	0,0666	24000	422,4	241,44	0,1178
V7_B	0,0704	24000	1689,6	126,18	0,3093

Desta forma, a partir da dispersão dos resultados das tensões longitudinais e tangenciais máximas no reforço, é possível traçar os diagramas apresentados nas figuras 5-44(a) e 5-44(b), respectivamente.

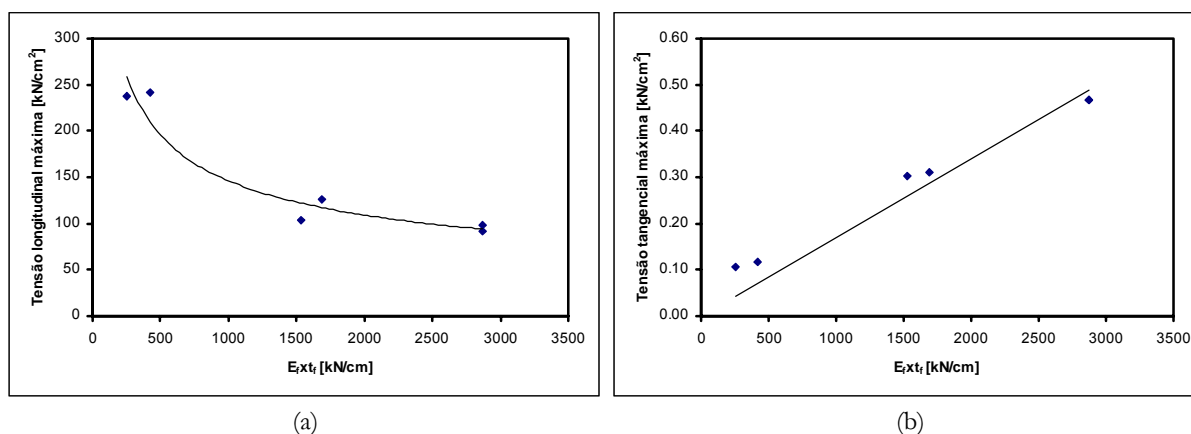


FIGURA 5-44 — Relação *tensão vs. rigidez* do reforço

Para o caso da tensão longitudinal, verificou-se que uma relação potencial apresenta o melhor coeficiente de determinação ($R^2=0,9364$), enquanto que, para a tensão tangencial, uma reta ($R^2=0,9266$) consegue melhor representar o seu comportamento frente à variação da rigidez do reforço. Estas equações são apresentadas a seguir:

$$\sigma_{f,\text{máx}} = \frac{2667,3}{(E_f t_f)^{0,4205}} \quad [\text{kN/cm}^2] \quad (\text{eq. 5.1})$$

$$\tau_{f,\text{máx}} = 1,706 \times 10^{-4} (E_f t_f) \quad [\text{kN/cm}^2] \quad (\text{eq. 5.2})$$

Alguns resultados experimentais, disponíveis na literatura, foram compilados e comparados com os resultados obtidos a partir da utilização destas equações em conjunto com os procedimentos descritos no item 3.4.3, com o objetivo de aferir a eficiência desta abordagem teórica, na determinação das cargas de ruptura de vigas reforçadas com compósitos de *CFRP*. Estes valores estão condensados na tabela 5-5.

A comparação entre os resultados teóricos e experimentais é realizada através do quociente da carga de ruptura experimental pela teórica, para cada viga. Estes resultados conduzem a um valor médio de 1,0152, com um coeficiente de variação de 7,35%.

TABELA 5-5 — Comparação entre cargas de ruptura experimentais e teóricas (grupo F)

Referência	Viga	Sistema de reforço	A_f [cm ²]	t_f [cm]	E_f [kN/cm ²]	Carga de ruptura [kN]		Exp./Teór.
						Exp.	Teór.	
David et al (1998)	P7	laminado	1,20	0,12	15000	136,0	144,9	0,939
	P8					143,0		0,987
	P9		2,40	0,24		156,0	171,0	0,912
	P10					159,0		0,930
Beber (1999a)	VR3	manta flexível	0,133	0,011	23000	65,2	64,0	1,019
	VR4					62,0		0,969
	VR5		0,533	0,044		102,2	94,0	1,087
	VR6					100,6		1,070
	VR7		0,932	0,077		124,2	109,6	1,133
	VR8					124,0		1,131
	VR9		1,332	0,111		129,6	121,7	1,065
VR10	137,0	1,126						
Pinto (2000)	V1	laminado	1,20	0,12	16500	280,0	284,5	0,984
	V3		1,80			300,0		311,8
Rahimi & Huntchinson (2001)	B3	manta flexível	0,60	0,04	12700	55,2	51,8	1,066
	B4					52,5		1,014
	B5		1,80	0,12		69,7	74,1	0,941
	B6					69,6		0,939
						Média	1,0152	
						Coef. de variação	7,35%	

Os resultados desta formulação são bastante promissores e apontam, claramente, um caminho em direção ao desenvolvimento de prescrições normativas para o projeto de estruturas de concreto armado reforçadas com compósitos de *CFRP*. No entanto, o número de resultados experimentais deve ser estendido uma vez que, nesta tese, foram empregados

apenas três sistemas de reforço com diferentes espessuras e módulos, e a resistência do concreto permaneceu inalterada.

Adicionalmente realiza-se uma comparação entre estes mesmos resultados experimentais e os resultados teóricos, obtidos a partir dos modelos propostos por Teng et al (2001) e pelo ACI 440.2R (2002), descritos no item 3.4.3. Estes resultados são apresentados nas tabelas 5-6 e 5-7, respectivamente. Estas abordagens caracterizam-se como ferramentas analíticas destinadas ao dimensionamento de vigas de concreto armado reforçadas à flexão com compósitos de *CFRP*.

TABELA 5-6 — Comparação entre cargas de ruptura de acordo com a abordagem de *Teng et al (2001)*

Referência	Viga	Sistema de reforço	Carga de ruptura [kN]		Exp./Teór.
			Exp.	Teór.	
David et al (1998)	P7	laminado	136,0	131,89	1,0312
	P8		143,0		1,0842
	P9		156,0	148,98	1,0471
	P10		159,0		1,0673
Beber (1999a)	VR3	manta flexível	65,2	63,96	1,0194
	VR4		62,0		0,9694
	VR5		102,2	90,84	1,1251
	VR6		100,6		1,1074
	VR7		124,2	103,25	1,2029
	VR8		124,0		1,2010
	VR9		129,6	112,64	1,1506
	VR10		137,0		1,2163
Pinto (2000)	V1	laminado	280,0	253,18	1,1059
	V3		300,0	274,07	1,0946
Rahimi & Huntchinson (2001)	B3	manta flexível	55,2	45,01	1,2264
	B4		52,5		1,1664
	B5		69,7	58,61	1,1892
	B6		69,6		1,1875
			Média		1,1218
			Coef. de variação		6,75%

TABELA 5-7 — Comparação entre cargas de ruptura de acordo com a abordagem do ACI 440.2R (2002)

Referência	Viga	Sistema de reforço	Carga de ruptura [kN]		Exp./Teór.
			Exp.	Teór.	
David et al (1998)	P7	laminado	136,0	150,15	0,9058
	P8		143,0		0,9524

	P9		156,0		1,0425
	P10		159,0	149,64	1,0626
	VR3		65,2		1,0194
	VR4		62,0	63,96	0,9694
	VR5		102,2		0,9676
Beber (1999a)	VR6	manta flexível	100,6	105,62	0,9525
	VR7		124,2	123,37	1,0067
	VR8		124,0		1,0051
	VR9		129,6		0,9550
	VR10		137,0	135,70	1,0096
Pinto (2000)	V1	laminado	280,0	269,78	1,0379
	V3		300,0	298,07	1,0065
	B3		55,2		1,2308
Rahimi & Huntchinson (2001)	B4	manta flexível	52,5	44,85	1,1706
	B5		69,7	73,84	0,9439
	B6		69,6		0,9426
				Média	1,0100
				Coef. de variação	8,04%

A análise destes resultados aponta, naturalmente, para uma excelente aproximação entre os resultados teóricos e experimentais, com uma ligeira vantagem para a proposição do ACI, que apresentou uma diferença média de apenas 1% em relação aos resultados experimentais, enquanto o modelo proposto por Teng et al apresentou uma diferença média de 12,18%. Além disso, salienta-se a pequena variabilidade destes resultados, para diferentes sistemas de reforço.

Comparando a aproximação destas abordagens com o modelo gerado a partir dos resultados experimentais desta tese, pode-se confirmar, novamente, a importância que a rigidez do reforço tem sobre seu desempenho. A adoção da rigidez do reforço, como elemento determinante para o fenômeno do descolamento pode, inclusive, conduzir ao desenvolvimento de ferramentas para a avaliação de reforços ao cisalhamento, uma vez que fica clara a tendência ao descolamento em qualquer reforço externo, principalmente aqueles que dependem exclusivamente do adesivo para transferir tensões entre os materiais.

5.2 VIGAS REFORÇADAS AO CISALHAMENTO (GRUPO C)

Os resultados experimentais das vigas do grupo C, reforçadas ao cisalhamento, são apresentados e discutidos nesta seção. É importante observar que esta análise está concentrada, principalmente, na avaliação dos incrementos em resistência proporcionados pela aplicação dos compósitos de *CFRP* no reforço ao cisalhamento. As diferentes configurações estudadas são analisadas com o objetivo de identificar as peculiaridades inerentes a cada uma delas.

5.2.1 Avaliação da resistência: cargas e modos de ruptura

A aplicação dos compósitos de *CFRP* no reforço ao cisalhamento produz sensíveis modificações sobre o comportamento de vigas de concreto armado. Estas modificações são evidentes, principalmente, na elevação da resistência. Em alguns casos, a aplicação de um reforço ao cisalhamento com compósitos de *CFRP* pode, até mesmo, modificar o modo de ruptura da viga que, eventualmente, pode deixar de estar associado a uma falha por cisalhamento e passe a estar associado a uma falha por flexão.

No caso particular das vigas desta tese, o esforço de cisalhamento total é resistido pela soma das contribuições do concreto e do reforço com compósito de *CFRP*, uma vez que estas não apresentavam armadura transversal. Com o aumento do carregamento, a parcela resistida pelo reforço aumenta progressivamente, principalmente após a formação de uma fissura diagonal de tração. Enquanto isso, a contribuição do concreto (incluindo-se o efeito de pino da armadura longitudinal, engrenamento dos agregados e resistência da porção não-fissurada) pode aumentar ou permanecer estável. No entanto, com o aumento gradativo na abertura desta fissura, a parcela resistida pelo concreto pode sofrer uma redução, sem que seja diminuído, porém, o esforço de cisalhamento total, aplicado sobre a viga, que continua a crescer. A viga atinge, portanto, seu valor de resistência ao cisalhamento com a ruptura do compósito à tração ou seu descolamento do substrato de concreto.

Dentre os modos de ruptura observados nesta tese incluem-se a ruptura por tração diagonal (vigas sem reforço), ruptura do compósito com descolamento associado e, em alguns casos, arrancamento do concreto do cobrimento.





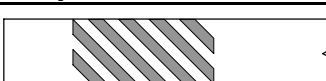


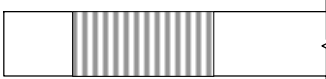
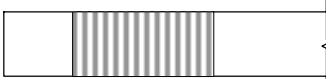

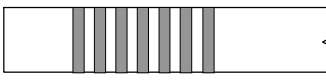
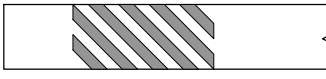
O modo de falha associado à ruptura do compósito ocorre, freqüentemente, em decorrência da formação de uma fissura diagonal de tração. Inicialmente formam-se fissuras verticais de flexão, originadas a partir da zona tracionada da viga. Em seguida, algumas fissuras próximas aos apoios podem propagar-se em direção ao ponto de aplicação da carga, inclinando-se. Em alguns casos esta fissura pode surgir bruscamente. Com o aumento da abertura desta fissura, a deformação no reforço pode atingir seu valor máximo, geralmente próximo ao banzo tracionado da viga. A ruptura do reforço ocorre imediatamente quando sua deformação máxima é atingida. Esta ruptura propaga-se ao longo desta fissura diagonal, conduzindo ao colapso da viga. Em algumas situações, observa-se um descolamento parcial do reforço, antes de ruptura do compósito.

De maneira similar, o descolamento do reforço está associado, também, a uma fissura diagonal de tração. O descolamento ocorre nas imediações desta fissura e, uma vez iniciado o processo de descolamento, a viga sofre seu colapso rapidamente. Este modo de ruptura é controlado pela aderência entre o compósito e o substrato de concreto. Assim, a determinação da máxima tensão admissível no reforço, em conjunto com o conceito de um comprimento efetivo de ancoragem, torna-se de fundamental importância.

Os resultados experimentais das vigas do grupo C são apresentados na tabela 5-8. As diversas configurações testadas foram agrupadas de maneira a permitir a comparação sob diversos aspectos: orientação, distribuição, quantidade e tipo de sistema de reforço.

O fenômeno do cisalhamento em vigas submetidas à flexão simples é bastante complexo. Embora indesejadas, possíveis oscilações nas cargas de ruptura são inerentes ao mecanismo de resistência destas vigas e, principalmente, associadas à aplicação dos compósitos de *CFRP* no reforço ao cisalhamento. Com o objetivo de estabelecer comparações acerca do desempenho das diferentes configurações de reforço estudadas nesta tese, as vigas reforçadas foram agrupadas, inicialmente, de acordo com a distribuição e orientação do reforço. Posteriormente, comparam-se vigas reforçadas com diferentes distribuições e orientações para que seja possível estabelecer considerações sobre a eficiência destas configurações.

TABELA 5-8 — Comparação entre cargas de ruptura experimentais (grupo C)

Viga	Configuração do reforço	Qtidade de reforço [m ²]	Modo de ruptura	Carga de ruptura [kN]	Incremento [%]
V8_A	-	-	tração diagonal	114,70	-
V8_B	-	-	tração diagonal	112,98	-
V9_A	 <i>Replark 20</i> — em tiras — 90°	0,4200	descolamento do reforço	196,24	72,4
V9_B				208,58	83,2
V21_A				230,38	102,4
V10_A	 <i>Replark 20</i> — em tiras — 90°	0,5824	descolamento e ruptura do reforço	214,97	88,8
V10_B				211,98	86,2
V17_A				205,57	80,6
V11_A	 <i>Replark 20</i> — em tiras — 90°	0,5075	descolamento e ruptura do reforço	196,85	72,9
V11_B				249,60	119,3
V17_B				185,86	63,3
V12_A	 <i>Replark 20</i> — em tiras — 90°	0,6615	ruptura do reforço	232,71	104,4
V18_A				254,57	123,6
V20_A				280,24	146,2
V12_B	 <i>Replark 20</i> — em tiras — 45°	0,3891	descolamento do reforço	203,30	78,6
V14_B				183,30	61,0
V19_A	 <i>Replark 20</i> — em tiras — 45°	0,5489	descolamento e ruptura do reforço	236,83	108,0
V19_B				230,26	102,3
V13_A	 <i>Replark 20</i> — contínuo — 90°	0,7860	descolamento do reforço e arrancamento do cobrimento	244,01	114,3
V13_B				251,50	120,9
V15_B	 <i>Replark 20</i> — contínuo — 90°	0,9498	descolamento do reforço e arrancamento do cobrimento	276,74	143,1
V16_B				224,85	97,5
V16_A	 <i>Replark 20</i> — contínuo — 90°	1,230	esmagamento do concreto (flexão)	367,92	223,2
V18_B				404,82	255,6
V14_A	 <i>Replark 20</i> — contínuo — 45°	0,7860	descolamento do reforço e arrancamento do cobrimento	256,78	125,6
V15_A				241,12	111,8
V20_B	 <i>CFK 200/2000</i> — em tiras — 90°	0,4200	descolamento do reforço e arrancamento do cobrimento	285,82	151,1
V22_B				225,02	97,7
V21_B	 <i>CFK 200/2000</i> — em tiras — 45°	0,3891	descolamento do reforço e arrancamento do cobrimento	271,40	138,4
V22_A				251,19	120,7

Obs.: a determinação do incremento na carga de ruptura das vigas reforçadas é realizada sobre a média aritmética das cargas de ruptura das vigas V8_A e V8_B.

O comportamento das vigas de controle, V8_A e V8_B, foi rigorosamente compatível com o que se esperava. Como estas vigas não apresentavam armadura transversal, o modo de ruptura apresentado por ambas caracterizou-se pela ruptura por tração diagonal, de forma brusca e repentina, com a formação de uma grande fissura, com inclinação aproximada de 45° em relação ao eixo longitudinal da viga. Nas figuras 5-45(a) e 5-45(b), apresenta-se, em detalhe, este tipo de ruptura. É importante ressaltar que as vigas foram ensaiadas de forma invertida e, portanto, a orientação das fissuras de cisalhamento aparecerá, igualmente, de forma invertida nas ilustrações.



FIGURA 5-45 — Detalhe do modo de ruptura das vigas V8_A e V8_B

Um diagrama comparativo das cargas de ruptura das vigas que receberam o reforço em tiras orientadas à 90° em relação ao eixo longitudinal das vigas é apresentado na figura 5-46. A observação destes resultados confirmou a expectativa de que o envolvimento completo da seção transversal, embora complexo do ponto de vista executivo, apresentou o melhor desempenho, elevando a carga de ruptura de forma consistente, alcançando incrementos de até 146,2%.

Por outro lado o desempenho das demais vigas foi relativamente semelhante, principalmente, quanto à magnitude dos incrementos de resistência alcançados. Além disso, destaca-se a relativa dispersão observada entre os resultados das vigas com configurações de reforço iguais. Esta situação pode ser atribuída, em parte, às dificuldades no procedimento de preparação das arestas das vigas que receberam o reforço tipo “L” e “U”. Apesar de contar com o apoio de técnicos qualificados, existe uma certa dificuldade na obtenção da

melhor conformação da superfície para que seja possível “assentar”, corretamente, a manta de reforço.

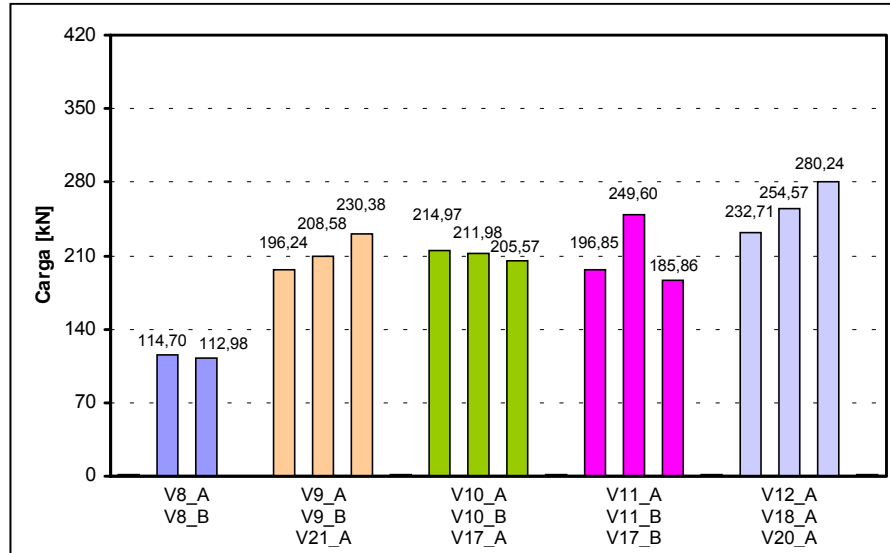


FIGURA 5-46 — Desempenho das vigas reforçadas em tiras orientadas à 90°

Embora tenham apresentado incrementos de resistência semelhantes, os modos de ruptura apresentados pelas vigas deste conjunto foram diferentes. O modo de ruptura apresentado pelas vigas que receberam o reforço somente na lateral foi controlado pelo descolamento do reforço, como pode ser observado na figura 5-47.

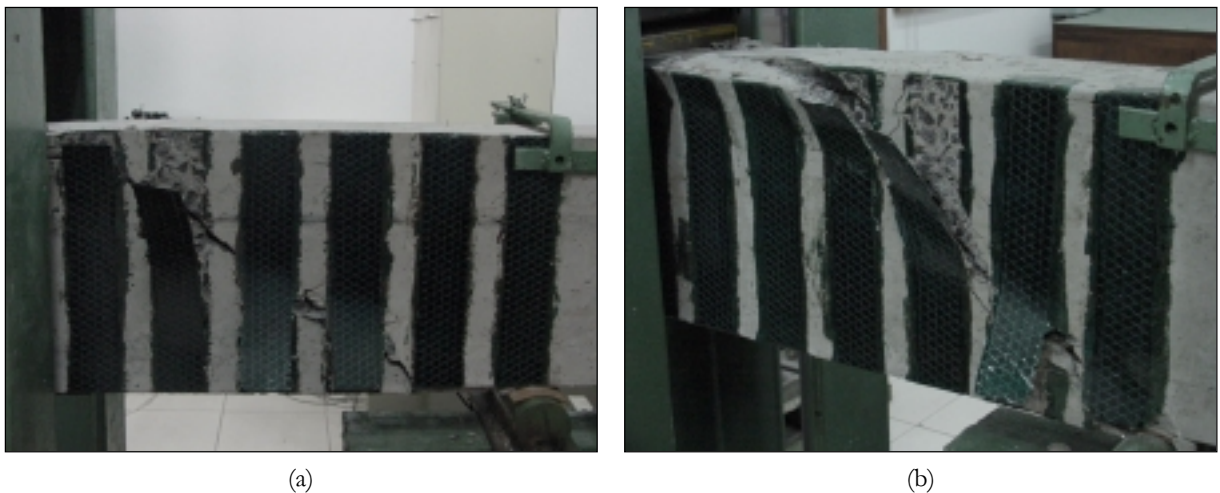


FIGURA 5-47 — Detalhes do modo de ruptura das vigas V9_A, V9_B e V21_A

Nesta figura, é possível observar, ainda, a formação de uma grande fissura, com uma inclinação aproximada de 45°, estendendo-se por praticamente todo o vão de cisalhamento. Esta fissura intercepta as tiras de reforço, definindo, assim, os comprimentos de ancoragem disponíveis em cada uma destas tiras. Na figura 5-48 é possível observar, em detalhe, o descolamento do reforço.

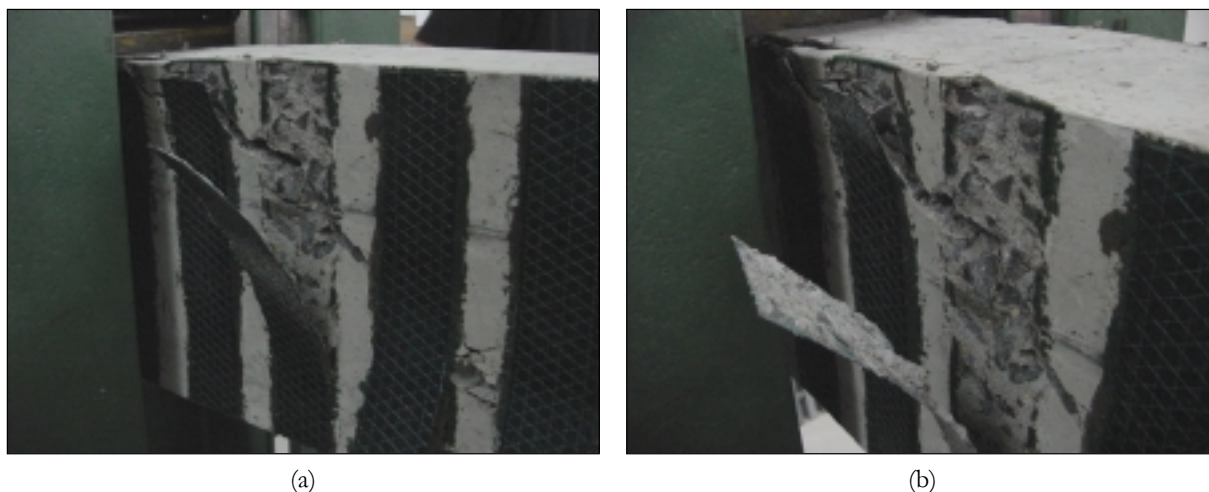


FIGURA 5-48 — Detalhes do modo de ruptura das vigas V9_A, V9_B e V21_A

A tentativa de empregar o reforço sob a forma de tiras em “L”, como forma de melhorar as condições de ancoragem e permitir, posteriormente, a comparação destes resultados com as vigas reforçadas com tiras inclinadas, demonstrou ser a mais estável neste conjunto de vigas testadas. O incremento na carga de ruptura oscilou entre 80,6% e 88,8%. O modo de ruptura destas vigas caracterizou-se pela combinação do descolamento com a ruptura do compósito à tração.

As evidências experimentais apontam, neste caso, que o início do descolamento ocorre junto ao banzo comprimido, uma vez que o reforço conta com ancoragem suficiente na base da viga. No entanto, a ruptura do compósito ocorre próximo ao banzo tracionado, junto à fissura diagonal, no ponto em que o reforço, também em decorrência do maior comprimento de ancoragem, está sendo solicitado à maior deformação e, conseqüentemente tensão. Na figura 5-49 observa-se o modo de ruptura das vigas que receberam o reforço tipo “L”.

Da mesma forma que as vigas que receberam o reforço tipo “L”, a combinação de descolamento e ruptura do compósito, fica, no caso das vigas que receberam o reforço tipo “U”, ainda mais evidente.

Na figura 5-50 é possível observar a formação de duas zonas distintas na região reforçada. A primeira, próxima ao apoio, junto ao início da fissura diagonal, na porção tracionada da viga, onde ocorre a ruptura do compósito à tração, e a segunda, na extremidade oposta, onde tem início o descolamento do reforço.

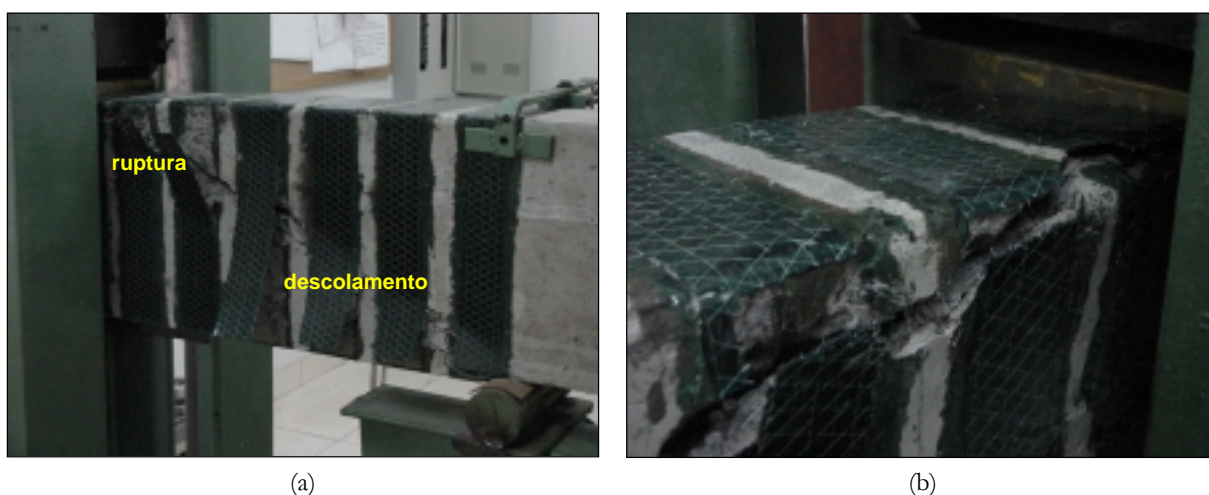


FIGURA 5-49 — Detalhes do modo de ruptura das vigas V10_A, V10_B e V17_A

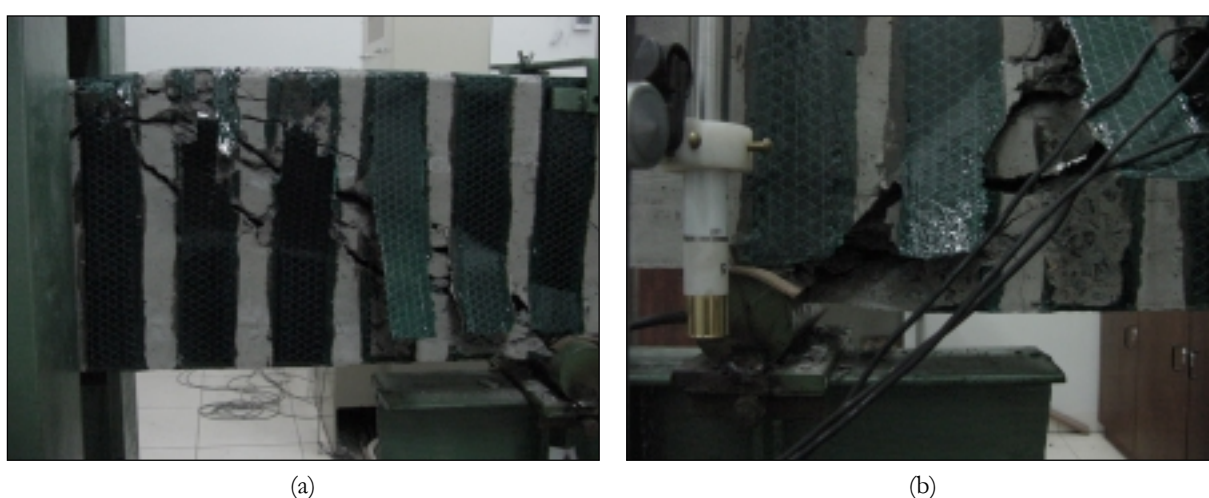


FIGURA 5-50 — Detalhe do modo de ruptura das vigas V11_A, V11_B e V17_B

As figuras 5-51(a) e 5-51(b) apresentam, em detalhe, respectivamente, estas duas zonas. Em consequência do elevado carregamento, observou-se, ainda, que, próximo ao apoio, há sinais de esmagamento. Esta situação fica ainda mais evidente através da comparação das figuras 5-52(a) (sem carregamento) e figura 5-52 (b) (na ruptura).

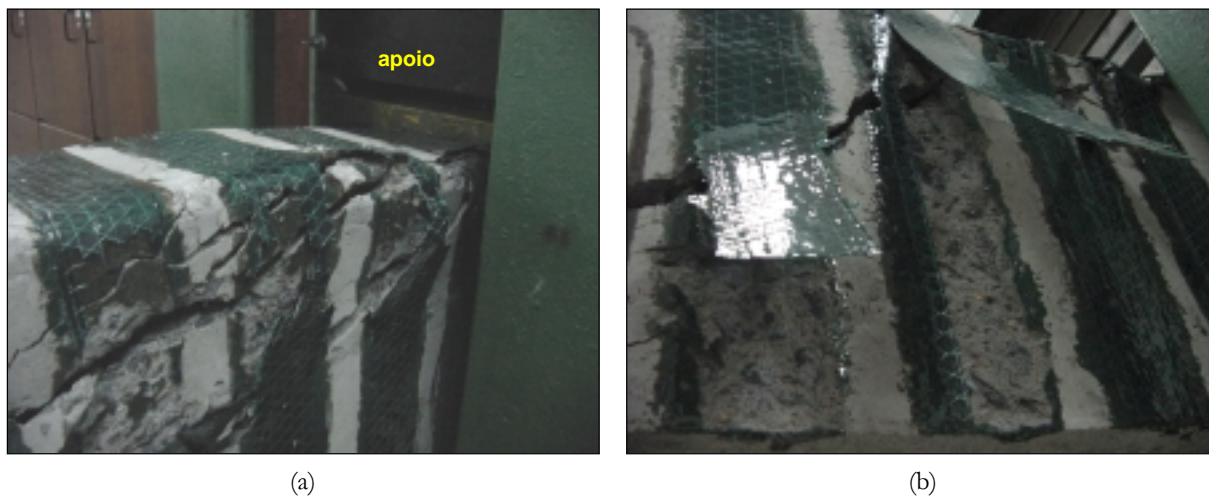


FIGURA 5-51 — Detalhe do modo de ruptura das vigas V11_A, V11_B e V17_B

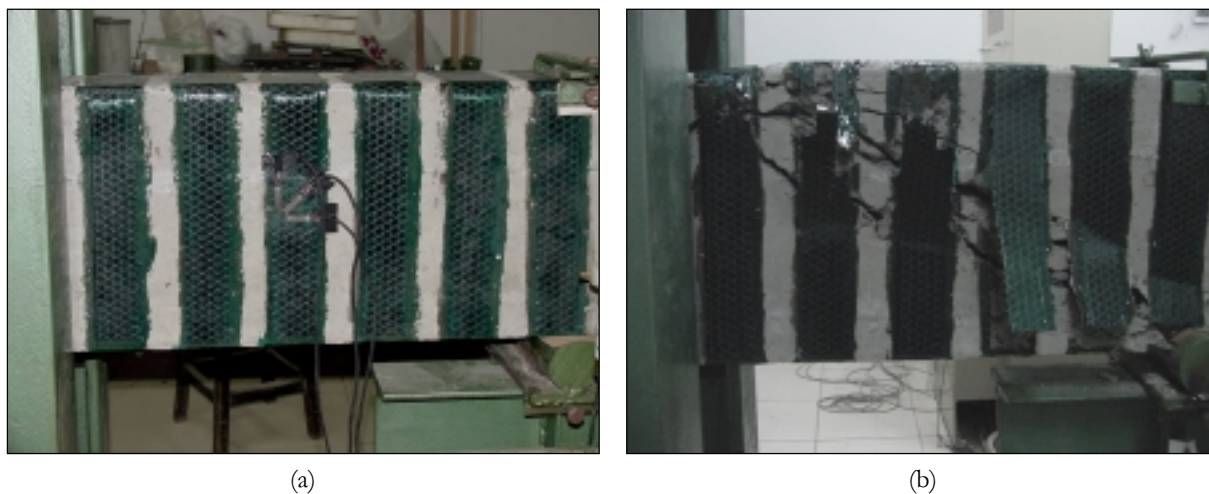


FIGURA 5-52 — Detalhe do modo de ruptura das vigas V11_A, V11_B e V17_B

Finalmente, as vigas que receberam o reforço através do envolvimento completo da seção transversal, apresentaram um modo de ruptura associado, exclusivamente, à ruptura do compósito. Nesta situação, contando com um comprimento de ancoragem suficiente, as tiras de reforço tem seu desempenho maximizado, conduzindo a maiores incrementos em resistência. Esta configuração contribui, ainda, para o retardamento no surgimento da fissura

diagonal de tração, através do confinamento parcial proporcionado pelas tiras de reforço. Este efeito pode ser observado na figura 5-53. Na figura 5-54 observa-se o modo de ruptura destas vigas, caracterizado pela ruptura do compósito à tração.

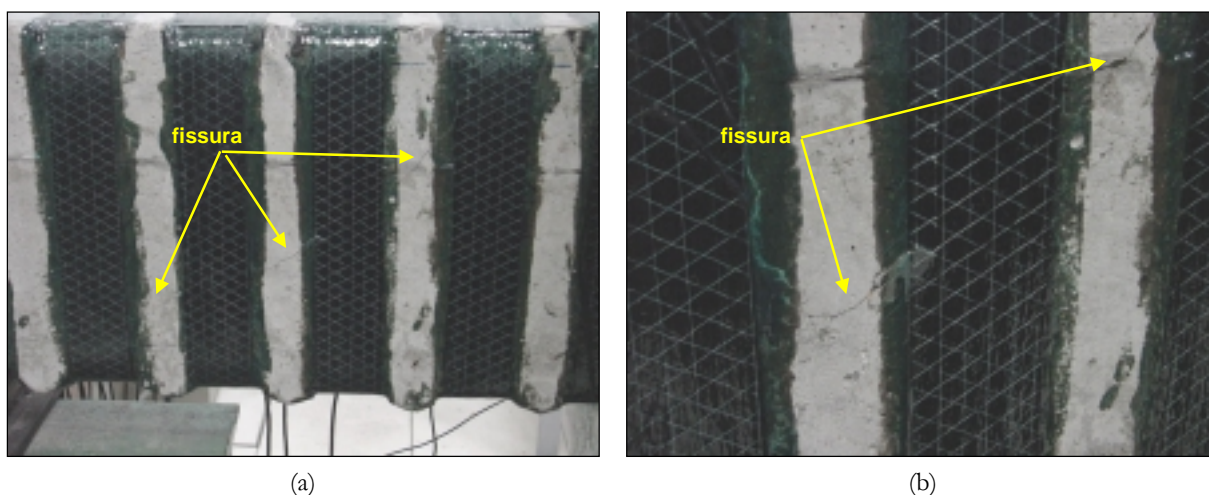


FIGURA 5-53 — Detalhe do modo de ruptura das vigas V12_A, V18_A e V20_A



FIGURA 5-54 — Detalhe do modo de ruptura das vigas V12_A, V18_A e V20_A

Quanto ao incremento de resistência, o desempenho das vigas deste conjunto (reforço somente nas laterais, tipo “L” e tipo “U”), foi muito parecido. O desempenho médio destas alternativas foi de cerca de 85%. Contudo, observa-se que a solução de reforço tipo “L” utiliza uma quantidade de fibra 15% maior que a solução tipo “U” e 39% maior que solução de reforço colado somente nas laterais.

Em virtude da natureza anisotrópica dos compósitos, deve-se procurar orientar as fibras, preferencialmente, na direção das tensões principais atuantes. Em função desta condição, um conjunto de vigas recebeu o reforço em tiras orientadas à 45° em relação ao eixo longitudinal da viga. Neste grupo foram testadas duas alternativas de ancoragem: reforço colado somente nas laterais e tipo “L”. O diagrama da figura 5-55, ilustra o desempenho destas alternativas.

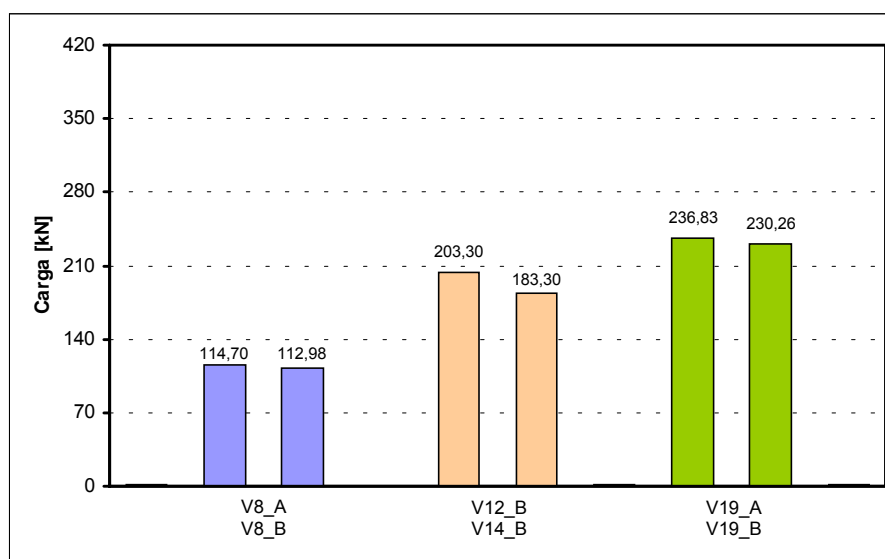


FIGURA 5-55 — Desempenho das vigas reforçadas em tiras orientadas à 45°

O modo de ruptura das vigas que receberam o reforço somente nas laterais caracterizou-se pelo descolamento, de forma semelhante ao reforço orientado à 90°. O reforço tipo “L”, por sua vez, apresentou um modo de ruptura combinando o descolamento das tiras de reforço, próximo ao banzo comprimido, e sua ruptura na região próxima ao apoio, junto ao início da fissura diagonal de tração.

O incremento médio de resistência das alternativas foi de cerca de 70% e 105%, respectivamente. O desempenho superior do reforço tipo “L” se justifica na medida em que esta configuração permite maiores comprimentos de ancoragem das tiras de reforço. Por outro lado, a quantidade de fibra utilizada no reforço tipo “L” foi 41% maior.

O modo de ruptura destas vigas pode ser observado nas figuras 5-56 e 5-57. Na figura 5-57 observa-se, novamente, a formação de duas zonas distintas, correspondendo às posições onde ocorrem a ruptura do reforço e seu descolamento.



FIGURA 5-56 — Detalhe do modo de ruptura das vigas V12_B e V14_B



FIGURA 5-57 — Detalhe do modo de ruptura das vigas V19_A e V19_B

Além da execução sob a forma de tiras, convenientemente espaçadas, um reforço ao cisalhamento, empregando compósitos de *CFRP*, pode ser aplicado de forma contínua. Esta solução, embora possa significar, inicialmente, uma elevação nos custos, pode representar uma alternativa interessante em algumas situações.

As vigas deste conjunto receberam o reforço em toda a extensão do vão de cisalhamento, orientado à 90° em relação ao eixo longitudinal da viga. Foram testadas três alternativas de ancoragem: reforço colado somente nas laterais, tipo “U” e envolvimento completo. Mesmo consumindo uma quantidade de reforço elevada, o desempenho das vigas que receberam o reforço através do envolvimento completo da seção transversal foi surpreendente. O incremento em resistência foi da ordem de 240%, como pode ser observado no diagrama da figura 5-58.

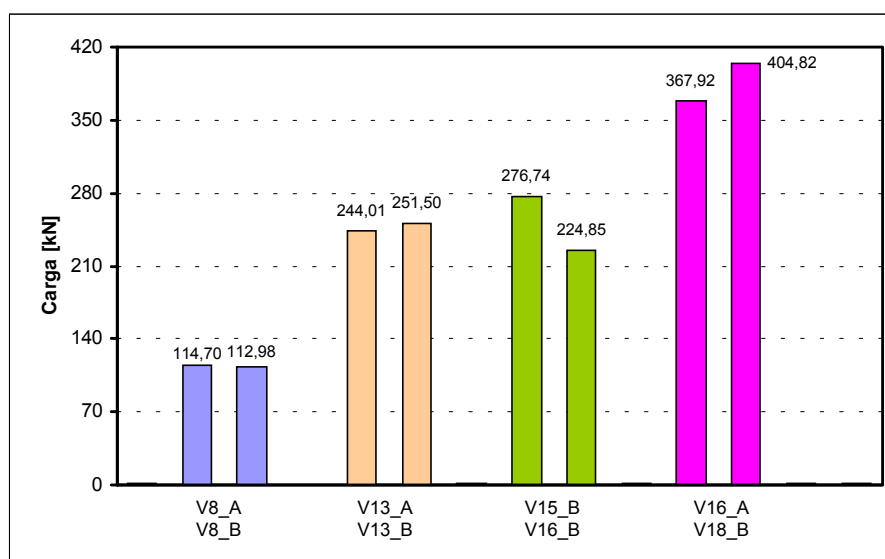


FIGURA 5-58 — Desempenho das vigas com reforço contínuo orientado à 90°

Além disso, esta alternativa promoveu uma modificação fundamental no comportamento das vigas V16_A e V18_B. Em oposição a um modo de ruptura associado ao cisalhamento, estas vigas apresentaram uma ruptura clássica de flexão, através do esmagamento do concreto e conseqüente flambagem da armadura de compressão, como pode ser observado na figura 5-59.

Por outro lado, o comportamento das alternativas de reforço colado somente nas laterais e tipo “U” foi bastante parecido, embora o consumo de material do reforço tipo “U” tenha sido cerca de 21% maior. O incremento em resistência de ambas as soluções oscilou entre 114% e 143%, e seus modos de ruptura foram idênticos, caracterizados pelo descolamento do reforço e arrancamento do concreto do cobrimento, como pode ser observado na figura 5-60 (a).

O mecanismo de transferência de esforços entre concreto e reforço ajuda a explicar o fenômeno de arrancamento do concreto do cobrimento, observado nas vigas que receberam o reforço contínuo. Como o reforço se estende por uma área bastante grande, neste caso todo o vão de cisalhamento, todo o concreto do cobrimento, nesta área, é mobilizado para a transferência de tensões entre os materiais. Com a evolução do carregamento, surgem fissuras ao longo do cobrimento, formando um plano de fratura. No instante do descolamento do reforço, em função de uma alteração dramática na distribuição de tensões ao longo do reforço, partes do cobrimento são arrancadas junto com o reforço. O surgimento destas fissuras pode ser observado através da figura 5-60(b).

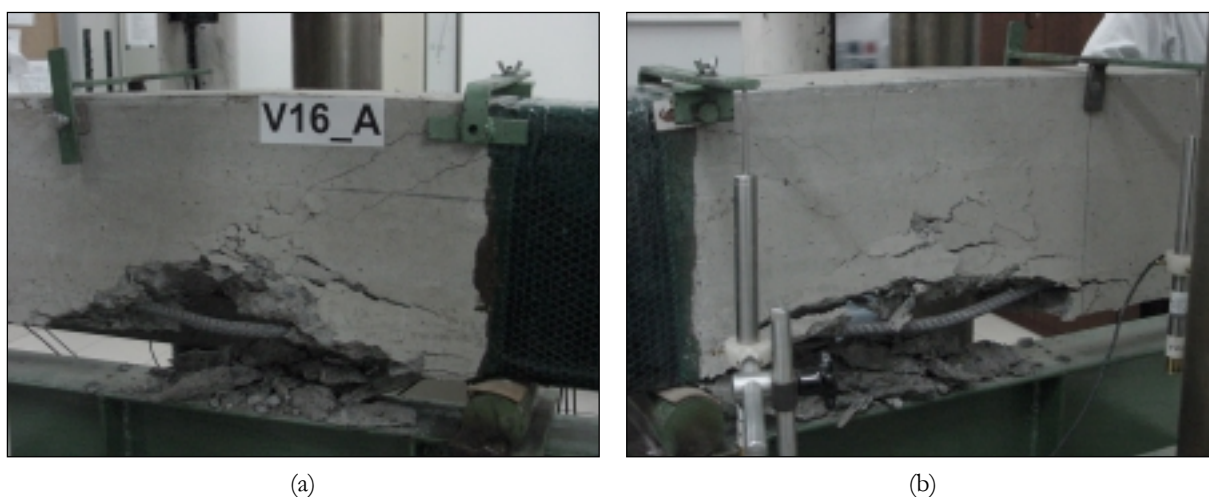


FIGURA 5-59 — Detalhe do modo de ruptura das vigas V16_A e V18_B

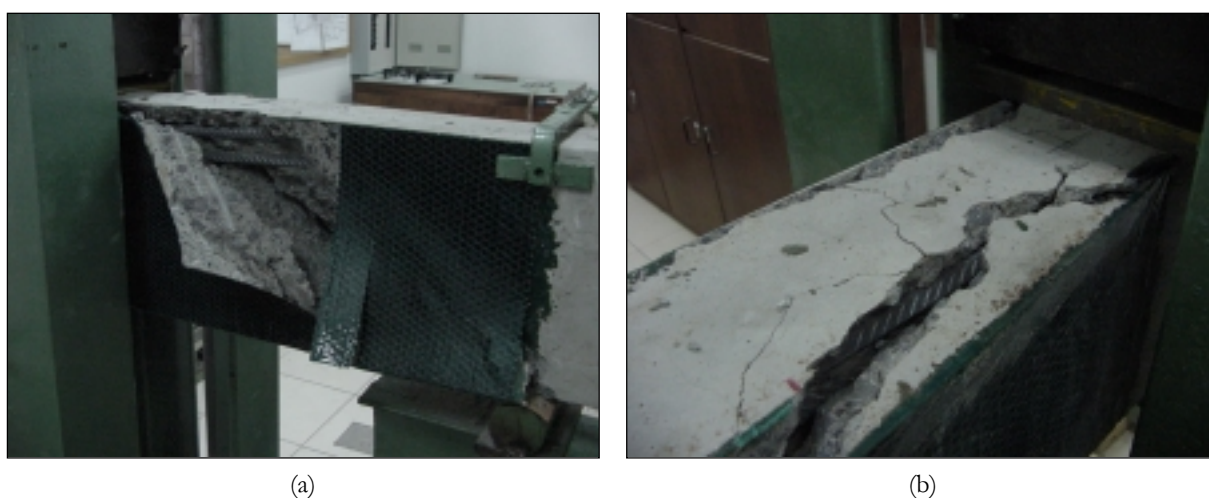


FIGURA 5-60 — Detalhe do modo de ruptura das vigas V13_A, V13_B, V15_B e V16_B

A aplicação do reforço contínuo, orientado à 45°, colado somente nas laterais, apresentou um comportamento semelhante ao reforço orientado à 90°. Esta alternativa proporcionou uma elevação de cerca de 119% na carga de ruptura. O modo de ruptura destas vigas caracterizou-se, igualmente, pelo descolamento associado ao arrancamento do concreto do cobrimento. Este modo de ruptura pode ser observado na figura 5-61.



FIGURA 5-61 — Detalhe do modo de ruptura das vigas V14_A e V15_A

A principal virtude das mantas flexíveis está associada à grande versatilidade em sua aplicação. A utilização das mantas flexíveis permite a execução de reforços com as mais variadas configurações e soluções de ancoragem possíveis. Entretanto, algumas configurações de reforço podem ser altamente eficientes do ponto de vista estrutural mas extremamente complexas do ponto de vista executivo.

No caso particular desta tese, observou-se que, embora o desempenho das vigas reforçadas com mantas orientadas à 45° tenham sido compatíveis com as demais soluções, a execução destes reforços demonstrou ser bastante complexa. O processo de preparação da superfície de concreto torna-se mais complexo, principalmente, para reforços em tiras. Além disso, o procedimento de corte das mantas, nas dimensões projetadas, é bastante complexo e o desperdício de material é elevado.

Para o reforço do último conjunto de vigas foram empregados laminados pré-fabricados. Estas vigas receberam o reforço através de tiras, orientadas a 45° e 90°, coladas somente nas laterais. O modo de ruptura apresentado nestas vigas foi controlado pelo descolamento do reforço em conjunto com o arrancamento do concreto do cobrimento.

O incremento em resistência oscilou entre 124% e 129%, para ambas as soluções. Nas figuras 5-62 e 5-63 pode-se observar este modo de ruptura.

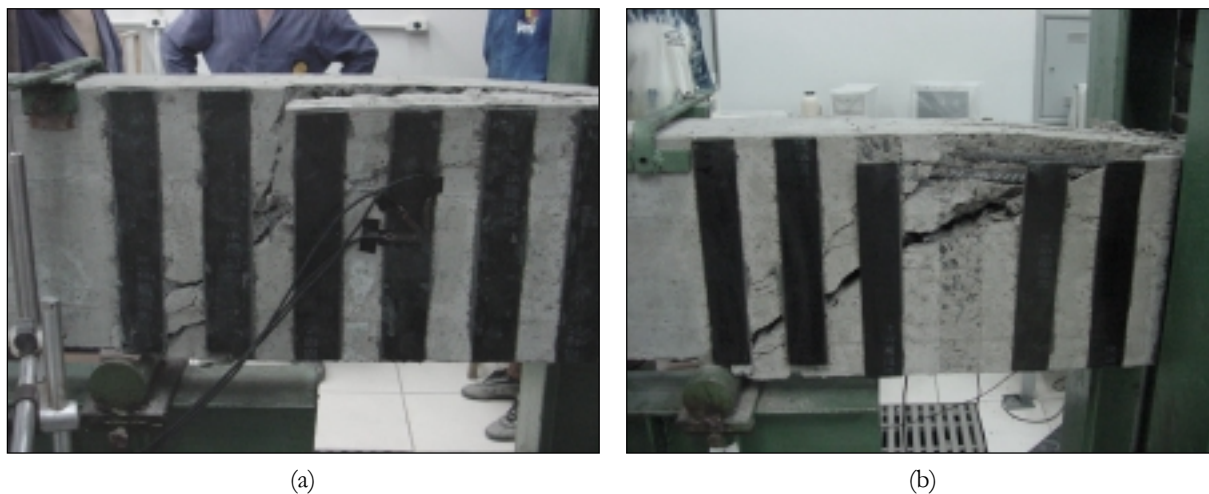


FIGURA 5-62 — Detalhe do modo de ruptura das vigas V20_B, e V22_B

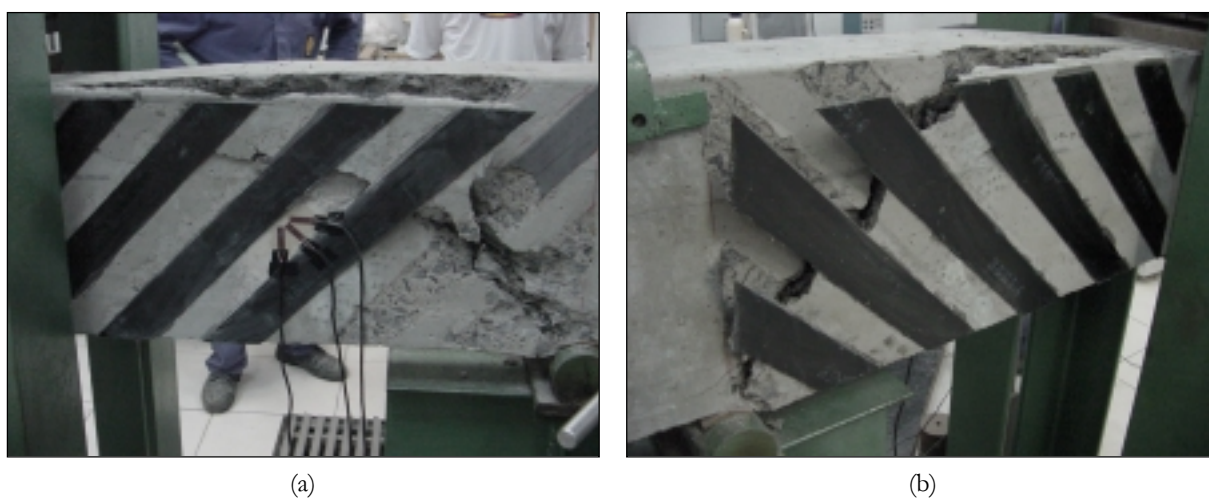


FIGURA 5-63 — Detalhe do modo de ruptura das vigas V21_B e V22_A

A comparação entre o desempenho de diferentes distribuições e orientações de reforço torna possível a avaliação da eficiência das diversas configurações testadas. O diagrama da figura 5-64 apresenta a comparação entre o reforço com tiras coladas somente nas laterais, orientadas à 45° e 90°.

Através da comparação entre as cargas de ruptura destes dois conjuntos de vigas é possível observar um comportamento distinto para a situação de reforço colado somente na

lateral e tipo “L”. No caso do reforço colado somente na lateral, observou-se uma ligeira vantagem para as fibras orientadas à 90°, mesmo utilizando uma quantidade de reforço 8% maior. Por outro lado, o reforço tipo “L”, orientado à 45°, além de consumir uma quantidade de reforço 6% menor, obteve um desempenho superior quanto à resistência. O diagrama da figura 5-65 apresenta a comparação entre os reforços tipo “L”.

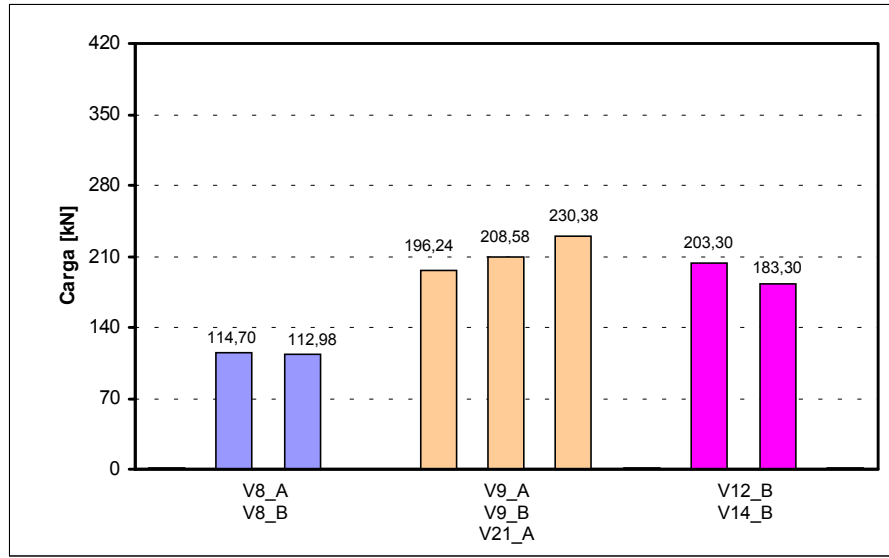


FIGURA 5-64 — Desempenho das vigas com reforço em tiras coladas somente na lateral

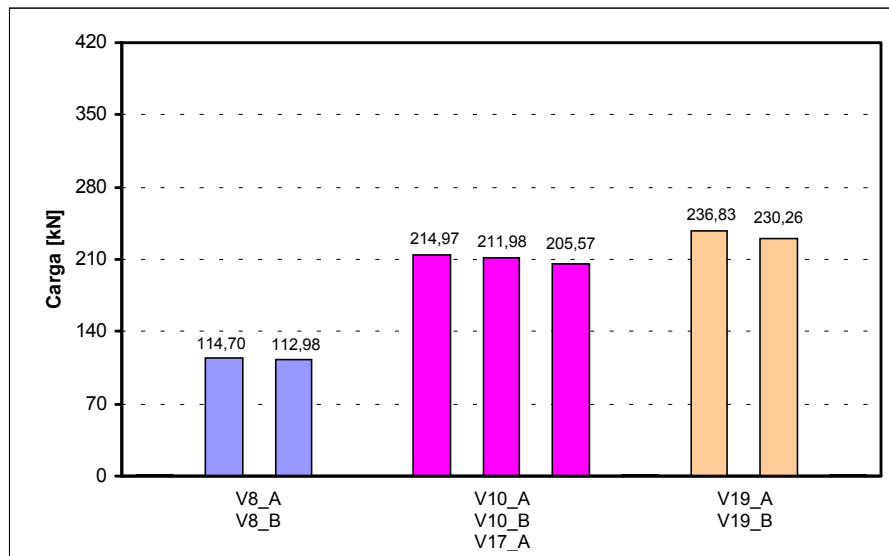


FIGURA 5-65 — Desempenho das vigas com reforço em tiras do tipo “L”

Esta superioridade no desempenho pode ser atribuída, em parte, ao maior comprimento de ancoragem das tiras de reforço na base da viga, em virtude de sua orientação. Enquanto o comprimento de ancoragem na base das vigas que receberam o reforço orientado à 90° estendia-se por 15 cm, nas vigas cujo reforço estava orientado à 45° este comprimento estendia-se por 21 cm.

Outro importante aspecto na avaliação da eficiência de uma configuração de reforço está associado à otimização de sua aplicação. Isto significa dizer que, sob determinadas condições, é possível que a utilização de maiores quantidades de reforço não necessariamente estarão associadas a maiores incrementos nas cargas de ruptura. No caso das vigas desta tese, as evidências experimentais confirmam esta possibilidade.

As vigas que receberam o reforço contínuo, colado somente nas laterais e tipo “U”, utilizaram uma quantidade de reforço cerca de 87% maior que as vigas que receberam o reforço em tiras, adotando estas mesmas soluções de ancoragem. Entretanto, mesmo aumentando consideravelmente a quantidade de reforço, o desempenho destas vigas foi apenas 38% maior. No caso das vigas com reforço contínuo orientado à 45° esta diferença fica ainda mais evidente onde, para que se alcançasse um desempenho 38% maior foi necessário o dobro da quantidade de reforço.

A observação destes resultados confirma a expectativa de que possa existir, em função das características peculiares de cada situação de reforço, um ponto de equilíbrio entre consumo de material e desempenho.

A utilização dos laminados pré-fabricados no reforço ao cisalhamento caracteriza-se como uma alternativa menos versátil do que a aplicação das mantas flexíveis. A principal limitação dos laminados pré-fabricados está associada à única solução de ancoragem possível, ou seja, apenas a colagem do reforço nas laterais da viga. Embora tenham apresentado um desempenho superior ao das vigas reforçadas com mantas flexíveis, o modo de ruptura, controlado pelo descolamento do reforço, impede que maiores incrementos em resistência sejam alcançados. Embora tenham utilizado a mesma quantidade de reforço, para as tiras orientadas à 45° e 90°, o desempenho das vigas reforçadas com laminados foi, em média, 45% maior.

Isto implica em dizer, que, sem a adoção de medidas adicionais para a melhoria das condições de ancoragem do reforço, a utilização dos laminados, em determinadas situações, pode não representar a melhor alternativa. É importante lembrar que o processo de fabricação destes dois sistemas de reforço é bastante diferente e, além dos aspectos técnicos, os aspectos econômicos podem representar um importante fator para a escolha deste sistema.

Finalmente, a maior rigidez dos laminados teve, também, influência sobre o modo de ruptura destas vigas. Mesmo tendo sido controlado pelo descolamento do reforço e arrancamento do concreto do cobrimento, o dano causado à viga, após a ruptura, foi bastante elevado. Nas figuras 5-66 e 5-67 é possível observar a gravidade dos danos causados a estas vigas.

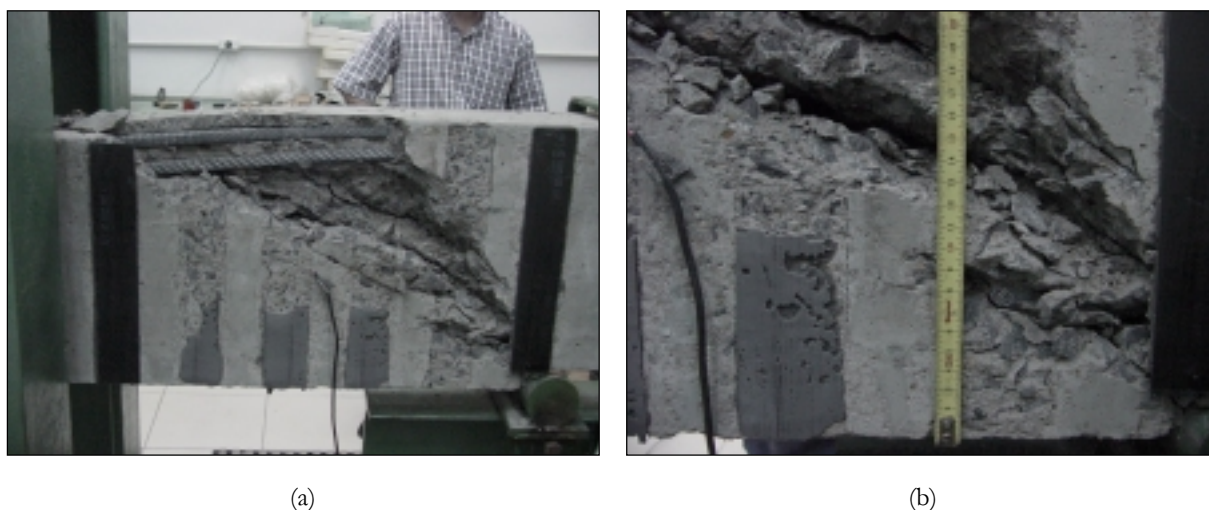


FIGURA 5-66 — Detalhe da ruptura das vigas reforçadas com laminados pré-fabricados



FIGURA 5-67 — Detalhe da ruptura das vigas reforçadas com laminados pré-fabricados

5.2.2 Deslocamentos verticais

As vigas do grupo C foram dimensionadas com o objetivo de apresentarem uma evidente deficiência ao cisalhamento. Para tanto, foi necessária uma elevação em sua resistência à flexão que, conseqüentemente conduziu a um aumento considerável em sua rigidez. Desta forma, a aplicação dos reforços dificilmente produziria modificações significativas neste comportamento.

A observação dos resultados experimentais dos deslocamentos verticais confirmou esta expectativa, impossibilitando qualquer consideração acerca do desempenho dos reforços na elevação da rigidez das vigas reforçadas. Além disso, o próprio mecanismo de resistência ao cisalhamento, em que o reforço passa a ser solicitado apenas após a formação da primeira fissura diagonal, ajuda a explicar esta situação. Nas figuras 5-68(a) e 5-68(b) são apresentados diagramas *carga vs. deslocamento*, comparando as alternativas de ancoragem testadas nas vigas que receberam o reforço em tiras e contínuo, orientados à 90° em relação ao eixo longitudinal da viga. Na figura 5-68(b) evidencia-se, ainda, que, mesmo modificando seu modo de ruptura dramaticamente, não houve qualquer alteração no comportamento da viga V18_B.

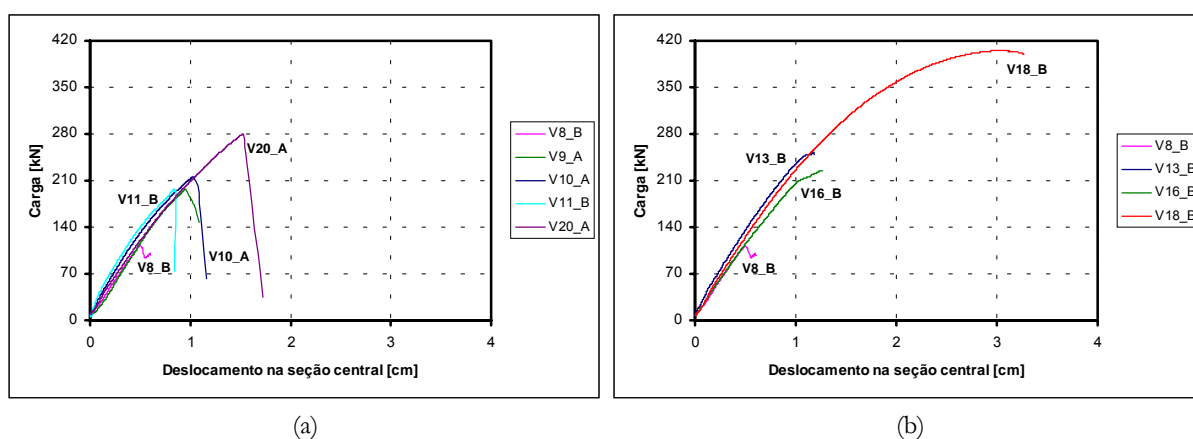


FIGURA 5-68 — Diagramas *carga vs. deslocamento* das vigas do grupo C

Por outro lado, a comparação entre os dois sistemas de reforço testados aponta, em virtude da maior rigidez dos laminados pré-fabricados, para uma ligeira vantagem das vigas reforçadas com laminados. Nas figuras 5-69(a) e 5-69(b) são apresentados os diagramas comparativos das vigas reforçadas com mantas flexíveis e laminados pré-fabricados orientados à 90° e 45°, respectivamente.

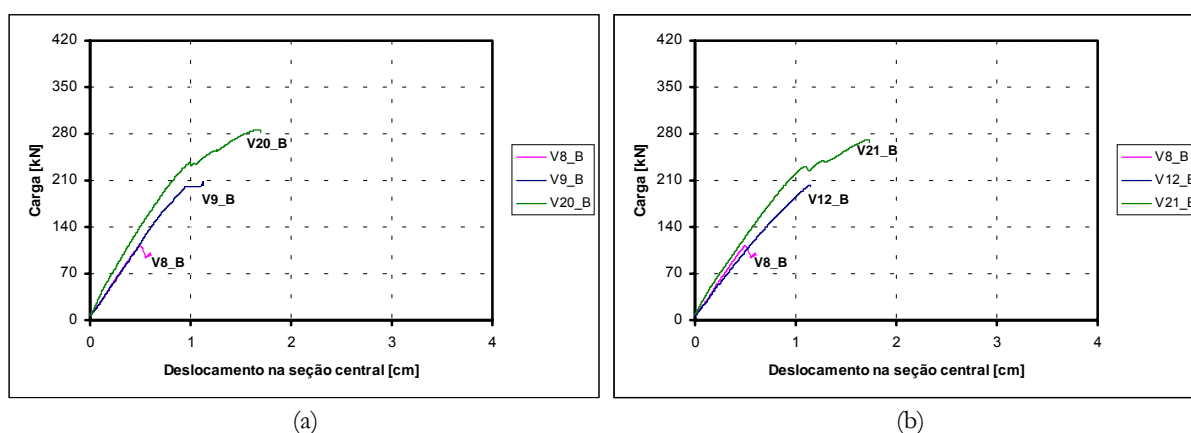


FIGURA 5-69 — Diagramas *carga vs. deslocamento* das vigas do grupo C

5.2.3 Deformações específicas

A necessidade de gerar informações adicionais que permitissem analisar o comportamento das vigas reforçadas ao cisalhamento além da avaliação das cargas de ruptura, motivou a instrumentação das deformações específicas no meio do vão de cisalhamento. Esta instrumentação foi realizada através de *strain gages* disposto sob a forma de roseta. Esta configuração além de permitir o monitoramento das deformações verticais e horizontais permite a determinação das deformações principais e suas respectivas direções.

Contudo, a grande variabilidade que estas deformações apresentam com o aumento do carregamento é inerente ao próprio mecanismo de resistência ao cisalhamento. Entretanto, no caso das deformações específicas verticais, é possível observar um comportamento padrão que pode auxiliar no entendimento de mecanismo de funcionamento das vigas reforçadas.

Os diagramas apresentados nas figuras 5-70 e 5-71 permitem verificar que, até a carga de ruptura das vigas de controle, cerca de 113 kN (posição onde o eixo das ordenadas intercepta o eixo das abscissas), o comportamento destas deformações é muito parecido. Uma vez ultrapassado este patamar de carregamento que coincide com a formação da primeira fissura diagonal, o comportamento destas deformações modifica-se dramaticamente, sem que seja possível, porém, estabelecer qualquer relação com a distribuição, orientação, solução de ancoragem ou sistema de reforço testado.

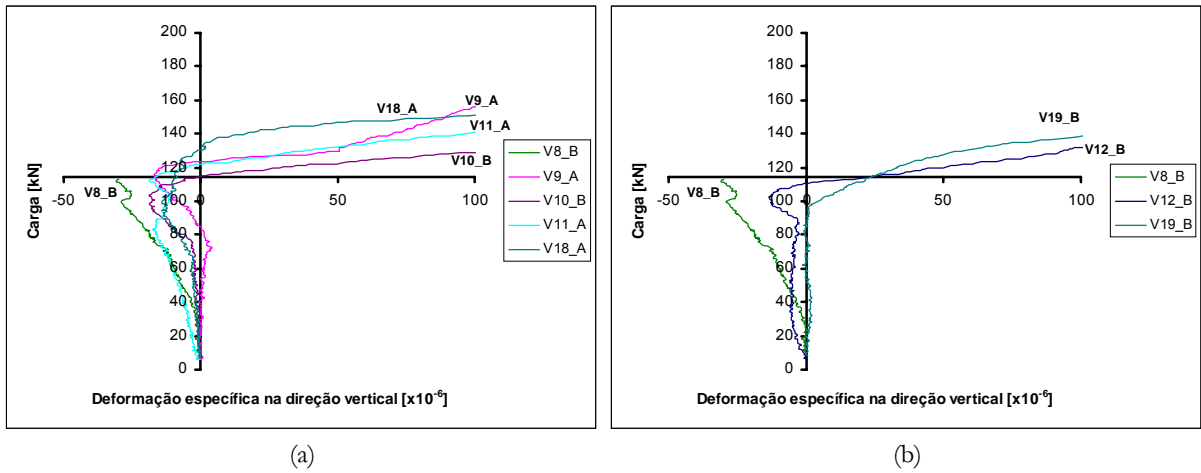


FIGURA 5-70 — Diagrama *carga vs. deformação específica vertical* no vão de cisalhamento

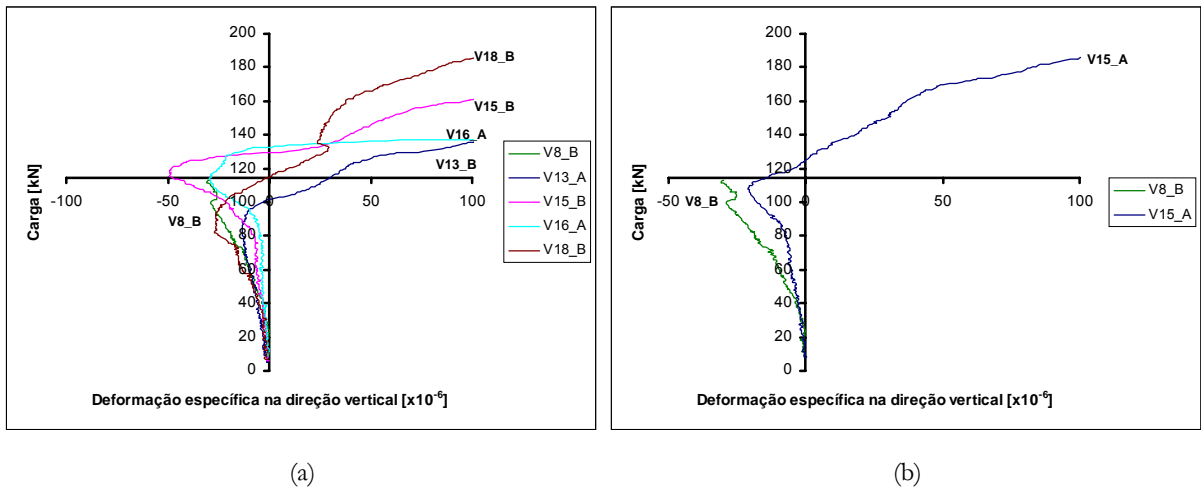


FIGURA 5-71 — Diagrama *carga vs. deformação específica vertical* no vão de cisalhamento

Outra importante informação extraída a partir da instrumentação através de rosetas está relacionada às deformações principais e suas respectivas direções. Uma informação particularmente interessante determinada a partir das direções principais está associada à inclinação da biela, no meio do vão de cisalhamento. Os resultados experimentais das inclinações das bielas, apesar da relativa dispersão nestes resultados, permitem identificar uma tendência relativa no comportamento das vigas reforçadas. Estes resultados são apresentados na tabela 5-9.

TABELA 5-9 — Resultados de inclinação da biela no momento da ruptura das vigas do grupo C

Viga	Inclinação [°]		Média
	Vão de cisalhamento A	Vão de cisalhamento B	
V9_A	66,77	55,49	61,13
V9_B	57,23	66,92	62,07
V21_A	62,15	67,17	64,66
V10_A	66,79	60,22	63,50
V10_B	58,20	90,89	74,55
V17_A	66,60	117,49	92,04
V11_A	66,45	66,82	66,63
V11_B	70,87	65,83	68,35
V17_B	86,20	47,03	92,04
V12_A	116,90	103,17	110,04
V18_A	70,44	89,65	80,05
V20_A	69,78	73,13	71,46
V12_B	56,92	50,53	53,72
V14_B	86,49	65,31	75,90
V19_A	-	54,70	54,70
V19_B	81,23	53,98	67,61
V13_A	58,78	59,11	58,95
V13_B	54,32	49,59	51,95
V15_B	66,88	58,84	62,86
V16_B	47,09	57,22	52,16
V16_A	75,39	63,42	69,40
V18_B	68,87	68,87	68,87
V14_A	48,36	68,35	58,36
V15_A	63,56	66,85	65,21
V20_B	74,99	80,65	77,82
V22_B	73,11	62,32	67,72
V21_B	-	-	-
V22_A	122,03	118,30	120,17

A análise destes resultados permite identificar, inicialmente, uma inclinação média de cerca de 70° nas bielas das vigas reforçadas, apesar da dispersão em alguns desses resultados. A relativa uniformidade desses valores aponta para a pouca influência que diferentes alternativas de ancoragem e configurações de reforço têm sobre o comportamento das tensões principais no vão de cisalhamento destas vigas. Para o conjunto de vigas reforçadas com tiras orientadas à 90°, a inclinação das bielas apresentou valores médios oscilando entre 60° e 70°, excetuando-se a solução de envolvimento completo cuja inclinação da biela oscilou entre 71° e 110°. Por sua vez, o conjunto de vigas que receberam o reforço em tiras orientadas à 45° apresentou comportamento similar, com a inclinação da biela oscilando entre 53° e 75°. O comportamento das vigas reforçadas com os laminados pré-fabricados seguiu

esta mesma tendência, embora os resultados das vigas V21_B e V22_A, reforçadas com tiras orientadas à 45°, tenham sido prejudicados por problemas em sua instrumentação.

Este mesmo comportamento foi também observado para as vigas que receberam o reforço contínuo. Neste conjunto de vigas, as inclinações das bielas oscilaram entre 51° e 69°. No entanto, estes resultados devem ser analisados cautelosamente, uma vez que estão associados a um único ponto do vão de cisalhamento. Além disso, o comportamento das deformações nesta região é altamente variável, tanto em função da evolução do carregamento e o mecanismo de resistência ao cisalhamento quanto em função da heterogeneidade do concreto.

5.2.4 Modelos analíticos para a previsão do desempenho das vigas reforçadas

Nesta seção são avaliados e discutidos os resultados teóricos alcançados através dos quatro modelos analíticos para a previsão da contribuição do reforço externo, discutidos no capítulo 3. Estes resultados são confrontados com os resultados experimentais desta tese e são realizadas considerações a respeito da eficiência destes modelos, principalmente com vistas ao desenvolvimento de ferramentas para o dimensionamento de vigas de concreto armado reforçadas com compósitos *CFRP*.

Previamente à determinação da parcela referente à contribuição do reforço ao cisalhamento empregando compósitos de *CFRP*, é de fundamental importância a determinação da parcela resistida pelo concreto, conforme discussão apresentada no item 3.5.3.1. Neste caso, são propostos cinco modelos para a determinação da contribuição do concreto na resistência ao cisalhamento. A tabela 5-10 apresenta os resultados destes modelos, comparando-os com os resultados experimentais das vigas de controle V8_A e V8_B.

A análise destes resultados confirma o modelo proposto pela *fib* (1999), como o mais adequado na previsão da contribuição do concreto na resistência ao cisalhamento. Este resultado será adicionado ao valor da contribuição do reforço externo, determinado através dos modelos propostos no capítulo 3, e posteriormente comparados com os resultados experimentais.

Este procedimento tem por objetivo uniformizar esta comparação, utilizando um único modelo para a determinação da contribuição do concreto na resistência ao cisalhamento. Contudo, embora seja uma prática adotada por diversos pesquisadores para quantificar o desempenho de um reforço ao cisalhamento, a simples adição da contribuição do reforço à parcela referente ao concreto, não necessariamente retrata a realidade do comportamento das vigas reforçadas. A simples sobreposição de efeitos não considera as possíveis interações entre os diversos materiais e sua influência sobre o comportamento global das vigas reforçadas.

TABELA 5-10 — Comparação entre os modelos para determinação da contribuição do concreto

Modelo	Contribuição do concreto [kN]	Resultados experimentais [kN]			
		V8_A	Exp./Teór.	V8_B	Exp./Teór.
NBR 6118/2000	139,74		0,8208		0,8085
ACI (1995)	72,36		1,5851		1,5614
ZSUTTY (1968)	123,49	114,70	0,9288	112,98	0,9149
<i>fib</i> (1999)	108,00		1,0620		1,0461
REBEIZ (1999)	143,38		0,8000		0,7880

O modelo proposto por Khalifa et al (1998) está baseado no conceito de uma deformação específica efetiva, determinada a partir da observação de diversos resultados experimentais. Segundo este modelo, a deformação efetiva é função da rigidez axial do reforço. Contudo, este modelo limita a rigidez axial para valores entre 200 e 900 kN/cm, em função do espectro de resultados experimentais analisados por Khalifa et al. No caso particular das vigas reforçadas com laminados pré-fabricados, este modelo não é aplicável uma vez que a rigidez axial do reforço destas vigas excede os limites deste modelo. Os resultados obtidos através deste modelo são apresentados na tabela 5-11.

TABELA 5-11 — Comparação entre cargas de ruptura experimentais e teóricas (Khalifa et al, 1998)

Viga	Configuração do reforço	Carga de ruptura [kN]		Exp./Teór.
		Exp.	Teór.	
V9_A	<i>Replark 20</i> - em tiras 90° somente nas laterais	196,24		1,5734
V9_B		208,58	124,72	1,6724
V21_A		230,38		1,8472

V10_A	<i>Replark 20</i> - em tiras 90° tipo “L”	214,97	135,25	1,5894
V10_B		211,98		1,5673
V17_A		205,57		1,5199
V11_A	<i>Replark 20</i> - em tiras 90° tipo “U”	196,85	135,25	1,4555
V11_B		249,60		1,8455
V17_B		185,86		1,3742
V12_A	<i>Replark 20</i> - em tiras 90° envolvimento completo	232,71	145,79	1,5962
V18_A		254,57		1,7461
V20_A		280,24		1,9222
V12_B	<i>Replark 20</i> - em tiras 45° somente nas laterais	203,30	124,72	1,6301
V14_B		183,30		1,4697
V19_A	<i>Replark 20</i> - em tiras 45° tipo “L”	236,83	135,26	1,8989
V19_B		230,26		1,7024
V13_A	<i>Replark 20</i> - contínuo 90° somente nas laterais	244,01	141,44	1,7252
V13_B		251,50		1,7781
V15_B	<i>Replark 20</i> - contínuo 90° tipo “U”	276,74	162,51	1,7029
V16_B		224,85		1,3836
V16_A	<i>Replark 20</i> - contínuo 90° envolvimento completo	367,92	181,52	2,0269
V18_B		404,82		2,2302
V14_A	<i>Replark 20</i> - contínuo 45° somente nas laterais	256,78	155,29	1,6536
V15_A		241,12		1,5527
V20_B	<i>CFK 200/2000</i> – tiras 90° somente nas laterais	285,82	não aplicável	-
V22_B		225,02	-	-
V21_B	<i>CFK 200/2000</i> – tiras 45° somente nas laterais	271,40	não aplicável	-
V22_A		251,19	-	-
Média				1,6860
Coef. de variação				12,13%

De acordo com este modelo, os resultados experimentais foram, em média, 68,60% maiores que os resultados teóricos, com um coeficiente de variação da ordem de 12,13%.

A proposição do *fib* está, também, associada ao conceito de uma deformação efetiva. De maneira complementar ao modelo de Khalifa et al, o modelo proposto pelo *fib* considera, ainda, a influência da resistência do concreto sobre o mecanismo de aderência concreto/reforço. Além disso, este modelo está baseado na análise estatística de um conjunto extenso de resultados experimentais.

A tabela 5-12 apresenta os resultados obtidos através deste modelo. A diferença média entre os resultados experimentais e teóricos foi de 47,00% com um coeficiente de variação de 16,83%.

TABELA 5-12 — Comparação entre cargas de ruptura experimentais e teóricas (*fib*, 2001)

Viga	Configuração do reforço	Carga de ruptura [kN]		Exp./Teór.
		Exp.	Teór.	
V9_A	<i>Replark 20</i> - em tiras 90° somente nas laterais	196,24	145,44	1,3493
V9_B		208,58		1,4341
V21_A		230,38		1,5840
V10_A	<i>Replark 20</i> - em tiras 90° tipo “L”	214,97	145,44	1,4781
V10_B		211,98		1,4575
V17_A		205,57		1,4134
V11_A	<i>Replark 20</i> - em tiras 90° tipo “U”	196,85	145,44	1,3535
V11_B		249,60		1,7162
V17_B		185,86		1,2779
V12_A	<i>Replark 20</i> - em tiras 90° envolvimento completo	232,71	157,89	1,4739
V18_A		254,57		1,6123
V20_A		280,24		1,7749
V12_B	<i>Replark 20</i> - em tiras 45° somente nas laterais	203,30	153,47	1,3247
V14_B		183,30		1,1944
V19_A	<i>Replark 20</i> - em tiras 45° tipo “L”	236,83	153,47	1,5432
V19_B		230,26		1,5004
V13_A	<i>Replark 20</i> - contínuo 90° somente nas laterais	244,01	158,79	1,5367
V13_B		251,50		1,5839
V15_B	<i>Replark 20</i> - contínuo 90° tipo “U”	276,74	158,79	1,7428
V16_B		224,85		1,4160
V16_A	<i>Replark 20</i> - contínuo 90° envolvimento completo	367,92	189,04	1,9463
V18_B		404,82		2,1415
V14_A	<i>Replark 20</i> - contínuo 45° somente nas laterais	256,78	179,83	1,4279
V15_A		241,12		1,3408
V20_B	<i>CFK 200/2000</i> – tiras 90° somente nas laterais	285,82	216,58	1,3197
V22_B		225,02		1,0390
V21_B	<i>CFK 200/2000</i> – tiras 45° somente nas laterais	271,40	239,84	1,1316
V22_A		251,19		1,0473
		Média		1,4700
		Coef. de variação		16,83%

O ACI apresenta uma série de expressões para estimar a contribuição do reforço para a resistência ao cisalhamento. A deformação específica máxima e, conseqüentemente a tensão no reforço, são limitados através da adoção de coeficiente de redução baseados nas condições de ancoragem e resistência à compressão do concreto. Os resultados das cargas de rupturas previstas através das expressões propostas pelo ACI são apresentados na tabela 5-13. Neste caso, a diferença média entre os resultados teóricos e experimentais foi de cerca de 58,68%.

Dentre os modelos propostos, a solução apontada por Teng et al é a mais elaborada. As expressões propostas neste modelo estão baseadas em um vasto conjunto de resultados experimentais assim como em conceitos da mecânica da fratura para explicar o mecanismo de aderência concreto/reforço. Na tabela 5-14 são apresentados os resultados da abordagem proposta por Teng et al. Embora represente um modelo mais elaborado, os resultados experimentais foram, em média, 63,95% maiores que os resultados teóricos.

TABELA 5-13 — Comparação entre cargas de ruptura experimentais e teóricas (ACI, 2002)

Viga	Configuração do reforço	Carga de ruptura [kN]		Exp./Teór.
		Exp.	Teór.	
V9_A	<i>Replark 20</i> - em tiras 90° somente nas laterais	196,24	131,14	1,4964
V9_B		208,58		1,5905
V21_A		230,38		1,7567
V10_A	<i>Replark 20</i> - em tiras 90° tipo “L”	214,97	131,14	1,6392
V10_B		211,98		1,6164
V17_A		205,57		1,5676
V11_A	<i>Replark 20</i> - em tiras 90° tipo “U”	196,85	138,64	1,4199
V11_B		249,60		1,8003
V17_B		185,86		1,3406
V12_A	<i>Replark 20</i> - em tiras 90° envolvimento completo	232,71	138,64	1,6785
V18_A		254,57		1,8362
V20_A		280,24		2,0214
V12_B	<i>Replark 20</i> - em tiras 45° somente nas laterais	203,30	131,16	1,5500
V14_B		183,30		1,3975
V19_A	<i>Replark 20</i> - em tiras 45° tipo “L”	236,83	138,64	1,8057
V19_B		230,26		1,6608
V13_A	<i>Replark 20</i> - contínuo 90° somente nas laterais	244,01	154,29	1,5815
V13_B		251,50		1,6300

V15_B	<i>Replark 20</i> - contínuo 90° tipo “U”	276,74	169,27	1,6349
V16_B		224,85		1,3284
V16_A	<i>Replark 20</i> - contínuo 90° envolvimento completo	367,92	169,27	2,1736
V18_B		404,82		2,3916
V14_A	<i>Replark 20</i> - contínuo 45° somente nas laterais	256,78	173,46	1,4803
V15_A		241,12		1,3901
V20_B	<i>CFK 200/2000</i> – tiras 90° somente nas laterais	285,82	222,64	1,2838
V22_B		225,02		1,0107
V21_B	<i>CFK 200/2000</i> – tiras 45° somente nas laterais	271,40	222,66	1,2189
V22_A		251,19		1,1281
			Média	1,5868
			Coef. de variação	18,82%

TABELA 5-14 — Comparação entre cargas de ruptura experimentais e teóricas (Teng et al, 2001)

Viga	Configuração do reforço	Carga de ruptura [kN]		Exp./Teór.
		Exp.	Teór.	
V9_A	<i>Replark 20</i> - em tiras 90° somente nas laterais	196,24	137,23	1,4300
V9_B		208,58		1,5199
V21_A		230,38		1,6788
V10_A	<i>Replark 20</i> - em tiras 90° tipo “L”	214,97	141,20	1,5225
V10_B		211,98		1,5013
V17_A		205,57		1,4559
V11_A	<i>Replark 20</i> - em tiras 90° tipo “U”	196,85	141,20	1,3941
V11_B		249,60		1,7677
V17_B		185,86		1,3163
V12_A	<i>Replark 20</i> - em tiras 90° envolvimento completo	232,71	141,20	1,6481
V18_A		254,57		1,8029
V20_A		280,24		1,9847
V12_B	<i>Replark 20</i> - em tiras 45° somente nas laterais	203,30	139,56	1,4567
V14_B		183,30		1,3134
V19_A	<i>Replark 20</i> - em tiras 45° tipo “L”	236,83	142,36	1,6970
V19_B		230,26		1,6174
V13_A	<i>Replark 20</i> - contínuo 90° somente nas laterais	244,01	149,34	1,6339
V13_B		251,50		1,6841
V15_B	<i>Replark 20</i> - contínuo 90° tipo “U”	276,74	154,95	1,7860
V16_B		224,85		1,4511
V16_A	<i>Replark 20</i> - contínuo 90° envolvimento completo	367,92	154,95	2,3744
V18_B		404,82		2,6126

V14_A	<i>Replark 20</i> - contínuo 45°	256,78	171,11	1,5007
V15_A	somente nas laterais	241,12		1,4092
V20_B	<i>CFK 200/2000</i> – tiras 90°	285,82	155,12	1,8426
V22_B	somente nas laterais	225,02		1,4506
V21_B	<i>CFK 200/2000</i> – tiras 45°	271,40	171,15	1,5857
V22_A	somente nas laterais	251,19		1,4677
			Média	1,6395
			Coef. de variação	17,90%

Em princípio observa-se que os quatro modelos analíticos propostos subestimam a contribuição dos compósitos de *CFRP*, na elevação da resistência ao cisalhamento das vigas testadas nesta tese. Os resultados experimentais foram, em média, cerca de 59% maiores, enquanto o coeficiente de variação oscilou entre 12,13% e 18,82%.

Mesmo caracterizando-se como um aspecto positivo, a utilização de um modelo analítico que subestima a contribuição do reforço, aumenta, inerentemente a segurança de seu dimensionamento. Contudo, esta imprecisão pode, em algumas situações particulares, inviabilizar a execução do reforço com compósitos de *CFRP*.

Os modelos testados apresentaram grande versatilidade na consideração das distribuições, orientações e sistemas de reforço possíveis. Entretanto, nenhum desses modelos permite considerar a solução de ancoragem tipo “L”. Os resultados experimentais demonstraram que esta alternativa de ancoragem é bastante eficiente, melhorando consideravelmente o desempenho do reforço em tiras orientadas à 45°. Em todos os modelos testados, esta solução de reforço foi considerada igual ao reforço tipo “U”.

Os quatro modelos propostos abordam a contribuição do reforço de maneira similar. A idéia de uma deformação específica efetiva, que depende da rigidez axial do reforço e da resistência do concreto, é compartilhada por diversos autores. Além disso, a necessidade da observação dos resultados experimentais de diferentes configurações de reforço demonstra ser de fundamental importância para o entendimento do comportamento deste tipo de reforço. Este procedimento permitirá a geração de modelos analíticos mais refinados, capazes de estimar a contribuição do reforço com maior precisão.

Assim, diante da relativa imprecisão destes modelos, utiliza-se, a exemplo do reforço à flexão, o conceito de tensão máxima admissível obtido a partir dos resultados experimentais

desta tese. Este modelo, portanto, combina o conceito de comprimento de ancoragem efetivos, proposto por Khalifa et al (1998), e a expressão 5.1 que determina a máxima tensão admissível no reforço em função de sua rigidez axial. Os resultados desta abordagem são apresentados na tabela 5-15.

TABELA 5-15 — Comparação entre cargas de ruptura experimentais e teóricas

Viga	Configuração do reforço	Carga de ruptura [kN]		Exp./Teór.
		Exp.	Teor.	
V9_A	<i>Replark 20</i> - em tiras 90° somente nas laterais	196,24	172,35	1,1386
V9_B		208,58		1,2102
V21_A		230,38		1,3367
V10_A	<i>Replark 20</i> - em tiras 90° tipo “L”	214,97	212,90	1,0097
V10_B		211,98		0,9957
V17_A		205,57		0,9656
V11_A	<i>Replark 20</i> - em tiras 90° tipo “U”	196,85	212,90	0,9246
V11_B		249,60		1,1724
V17_B		185,86		0,8730
V12_A	<i>Replark 20</i> - em tiras 90° envolvimento completo	232,71	253,45	0,9182
V18_A		254,57		1,0044
V20_A		280,24		1,1057
V12_B	<i>Replark 20</i> - em tiras 45° somente nas laterais	203,30	172,36	1,1795
V14_B		183,30		1,0635
V19_A	<i>Replark 20</i> - em tiras 45° tipo “L”	236,83	169,27	1,3740
V19_B		230,26		1,3603
V13_A	<i>Replark 20</i> - contínuo 90° somente nas laterais	244,01	172,37	1,4156
V13_B		251,50		1,4591
V15_B	<i>Replark 20</i> - contínuo 90° tipo “U”	276,74	317,87	0,8706
V16_B		224,85		0,7074
V16_A	<i>Replark 20</i> - contínuo 90° envolvimento completo	367,92	399,00	0,9221
V18_B		404,82		1,0146
V14_A	<i>Replark 20</i> - contínuo 45° somente nas laterais	256,78	290,06	0,8853
V15_A		241,12		0,8313
V20_B	<i>CFK 200/2000</i> – tiras 90° somente nas laterais	285,82	não aplicável	-
V22_B		225,02	-	-
V21_B	<i>CFK 200/2000</i> – tiras 45° somente nas laterais	271,40	não aplicável	-
V22_A		251,19	-	-
Média				1,0724
Coef. de variação				19,06%

Embora este modelo tenha sido gerado a partir dos resultados de tensões em reforços à flexão, verifica-se que, mesmo com alguma variabilidade (cerca de 19,06%), existe uma boa concordância com os resultados experimentais. Estes resultados confirmam, novamente, a viabilidade da adoção deste conceito na determinação da contribuição de reforços ao cisalhamento empregando compósitos de *CFRP*.

CAPÍTULO 6

— CONCLUSÕES E SUGESTÕES —

As principais conclusões alcançadas através da condução deste trabalho são apresentadas neste capítulo. São apresentadas, ainda, sugestões para o desenvolvimento de outros trabalhos científicos que permitam dar continuidade e/ou complementar esta tese de doutorado.

6.1 CONCLUSÕES

A civilização moderna está baseada na manutenção do desempenho de sua infra-estrutura — edifícios residenciais, comerciais e industriais, pontes, viadutos, barragens — . O número de estruturas continua a crescer em todo o mundo, assim como sua idade média. Cada vez mais, a necessidade de manutenção está tornando-se inevitável. O grande desafio, neste milênio, consiste em manter esta infra-estrutura, respeitando as enormes restrições econômicas dos dias atuais, fazendo mais com menos.

A utilização dos compósitos de fibra de carbono na reabilitação de estruturas de concreto armado representa o que existe de mais moderno, disponível atualmente, neste importante segmento da engenharia estrutural. Os resultados desta tese confirmam integralmente esta constatação, tanto no reforço à flexão quanto ao cisalhamento, empregando os dois sistemas de reforço disponíveis no mercado nacional atualmente.

O procedimento de reforço à flexão consiste, basicamente, na colagem de mantas ou laminados na parte tracionada das vigas. A elevação na resistência das vigas reforçadas nesta tese é evidente, com ganhos de até 78,9% em relação às vigas de controle. Contudo, a incorporação de um material com comportamento puramente elástico-linear, conduz, invariavelmente, a severas modificações no comportamento estrutural das vigas reforçadas.

Enquanto as vigas de controle apresentaram uma ruptura dúctil (principalmente em função de sua reduzida taxa de armadura longitudinal), o modo de ruptura de todas as vigas reforçadas ocorreu de forma frágil e repentina. Esta mudança de comportamento está associada, basicamente, ao mecanismo de transferência de esforços entre concreto e reforço. De um modo geral, embora tenham sido identificados de forma diferente, os modos de ruptura observados nas vigas reforçadas caracterizaram-se pelo comprometimento da ligação concreto/reforço.

Com o aumento do carregamento aplicado sobre a viga, o reforço torna-se, em decorrência de sua elevada resistência e capacidade de absorver grandes deformações, responsável por uma parcela gradativamente maior da resultante das tensões de tração. Ao mesmo tempo, a abertura das fissuras no concreto tende a aumentar consideravelmente, em função do escoamento da armadura longitudinal. Estas tensões, por sua vez, são transferidas ao concreto através de um comprimento de ancoragem efetivo que pode, com a evolução do carregamento mudar de posição.

Os modos de ruptura observados nesta tese podem ser distribuídos em quatro grupos distintos. O primeiro, associado às vigas reforçadas com laminado pré-fabricado, caracteriza-se por uma falha na ancoragem do reforço na interface adesivo/compósito, a partir de sua extremidade. As vigas reforçadas com os sistemas curados *in situ*, por sua vez, apresentaram modos de ruptura distintos. No caso das vigas V4 e V6, o modo de ruptura caracterizou-se pela fissuração excessiva de flexão que, em um determinado instante ocasionou uma falha localizada, associada ao deslocamento diferencial entre dois lados de uma fissura, provocando a ruptura do reforço na direção transversal.

Por outro lado, a falha na ancoragem do reforço caracterizou o modo de ruptura das vigas V5 e V7. Enquanto nas vigas V5, este fenômeno ocorreu da extremidade para o meio do vão, nas vigas V7, o processo ocorreu de forma inversa. Neste caso, as diferenças observadas quanto à posição de início da falha ancoragem podem ser atribuídas às

características inerentes de cada sistema de reforço (quantidade de fibra por m², espessura, resistência, módulo de elasticidade, etc.) e à qualidade do substrato de concreto e dos procedimentos de aplicação do reforço.

Entretanto, mesmo apresentando um limite de resistência, imposto por possíveis falhas na ancoragem, a possibilidade de aplicar-se um número variável de camadas de reforço, no caso do sistema curado *in situ*, representa uma importante vantagem sobre o sistema pré-fabricado. Além disso, a utilização do sistema curado *in situ* pode permitir que o reforço possa ser executado em múltiplas camadas com diferentes dimensões, ajustando-se às especificações de projeto.

Além de importantes incrementos em resistência, a incorporação de compósitos de *CFRP*, no reforço à flexão, conduz a significativos aumentos na rigidez das vigas reforçadas. Este comportamento foi amplamente confirmado pelas evidências experimentais desta tese. O reforço divide a resultante das tensões de tração com a armadura longitudinal, permitindo reduções consideráveis nas deformações específicas da armadura longitudinal das vigas reforçadas. A avaliação destes resultados permite confirmar a ação do reforço, retardando o início do escoamento da armadura e limitando grandes deformações plásticas na armadura.

Embora dependam de uma combinação de fatores, os deslocamentos na seção central das vigas reforçadas foram significativamente menores. De modo particular, as vigas reforçadas com laminados pré-fabricados, apresentaram, naturalmente, um desempenho elevado neste aspecto, principalmente em função de sua espessura. A incorporação do reforço conduziu, também, a importantes reduções nas deformações específicas da seção transversal. Este comportamento foi confirmado através da distribuição das deformações na seção transversal das vigas reforçadas e da comparação das curvas *momento vs. curvatura* das vigas reforçadas. Adicionalmente, as deformações específicas no concreto das vigas reforçadas foram significativamente menores que aquelas das vigas de controle.

Estes resultados confirmam, efetivamente, o excelente desempenho dos compósitos de *CFRP* na elevação da resistência e rigidez das vigas reforçadas. Além disso, é possível avaliar a eficiência da aplicação dos diferentes sistemas de reforço empregados nesta tese. Os resultados de resistência das vigas V2 e V6 foram praticamente iguais, embora estas vigas tenham recebido sistemas de reforço distintos. Enquanto as vigas V2 foram reforçadas com laminados pré-fabricados, o reforço das vigas V6 foi executado com mantas flexíveis.

Embora tenham apresentado o mesmo incremento de resistência (cerca de 14%), seu comportamento foi bastante diferente quanto à rigidez.

Naturalmente, as vigas que receberam o laminado pré-fabricado apresentaram um desempenho superior, que se refletiu em todos os aspectos monitorados nas vigas desta tese. Por outro lado, a seção transversal do reforço das vigas V6, representava apenas 24% da seção transversal de laminado aplicado nas vigas V2. Além de considerar resistência e rigidez, a eficiência de um reforço deve considerar, ainda, aspectos relacionados aos procedimentos de aplicação do sistema de reforço. A adoção de critérios desta natureza, para a escolha do sistema de reforço mais adequado, permite, em última instância, um melhor aproveitamento dos recursos disponíveis.

A instrumentação do reforço, ao longo de seu comprimento, permitiu identificar o comportamento das deformações específicas e seu desenvolvimento. A evolução e distribuição das tensões tangenciais, em cada viga, contribuíram de maneira fundamental para o entendimento dos modos de ruptura das vigas reforçadas.

Evidências experimentais desta tese conduziram à proposição de um modelo analítico que permite estimar a tensão máxima admissível no reforço. Neste modelo, a tensão depende da rigidez do reforço, relacionando-se através de uma equação exponencial. Este modelo apresentou uma excelente aproximação com diversos resultados experimentais, corroborando a sua eficiência, apresentando uma diferença média de apenas 1,52%. Os resultados do modelo proposto nesta tese são confirmados, ainda, por outros dois modelos, destacando-se dentre eles, o modelo proposto pelo ACI.

A aplicação dos compósitos de *CFRP* no reforço ao cisalhamento apresentou, igualmente, um excelente desempenho. Os incrementos de resistência foram expressivos, com ganhos de até 255,6%. Além disso, as diferentes distribuições, orientações e soluções de ancoragem permitiram explorar várias configurações e sua eficiência na elevação da resistência das vigas reforçadas.

De modo geral, o comportamento das vigas reforçadas foi controlado, basicamente, por dois modos de ruptura. O descolamento do reforço caracterizou-se como o modo de ruptura mais freqüente e está, como fora identificado anteriormente para as vigas reforçadas à flexão, associado ao mecanismo de transferência de esforços entre concreto e reforço. No

entanto, para as vigas que contavam com ancoragem suficiente, este modo de ruptura é evitado e a ruptura do reforço à tração passa a ser dominante. Existiram situações intermediárias, em que houve uma combinação destes dois modos de ruptura. O resultado mais expressivo na elevação da resistência foi alcançado pelas vigas que receberam o reforço contínuo orientado à 90° com a solução de ancoragem de envolvimento completo. Além disso, esta solução de ancoragem promoveu uma modificação fundamental no comportamento destas vigas. Em oposição a um modo de ruptura associado ao cisalhamento, estas vigas apresentaram uma ruptura clássica de flexão, através do esmagamento do concreto e conseqüente flambagem da armadura de compressão.

Em todas as vigas reforçadas, verificou-se que o fator mais importante associado à elevação da resistência depende, fundamentalmente, da solução de ancoragem empregada. Entretanto, no caso das vigas reforçadas com tiras orientadas à 90°, excetuando-se as vigas que receberam o envolvimento completo, as demais soluções proporcionaram incrementos similares de resistência.

No caso particular das vigas reforçadas com tiras orientadas à 45°, a solução de ancoragem tipo “L” representou uma alternativa eficiente na elevação da resistência. No entanto, o desempenho das vigas reforçadas com mantas orientadas à 45° tenham sido compatíveis com as demais soluções, a execução destes reforços demonstrou ser bastante complexa, podendo inclusive, inviabilizar a adoção desta alternativa.

A utilização de reforços contínuos, nas vigas desta tese, embora representem a utilização de maiores quantidades de reforço não proporcionaram incrementos de resistência na mesma proporção. Esta constatação, portanto, confirma a idéia, em função das características particulares de cada viga, da existência de um ponto de equilíbrio entre quantidade de reforço e desempenho.

Finalmente, a utilização dos laminados pré-fabricados permite, também, incrementos significativos na resistência das vigas reforçadas. Contudo, em função de suas características, a única solução de ancoragem possível, neste caso, é a colagem do reforço somente na lateral. Esta restrição limita o desempenho das vigas reforçadas com os laminados, uma vez que o modo de ruptura é controlado pelo descolamento do reforço. Em algumas situações, portanto, a variedade de soluções de ancoragem decorrentes da utilização das mantas flexíveis pode representar uma vantagem deste sistema de reforço.

Nas vigas do grupo C, em função de suas características geométricas e mecânicas não foi possível observar qualquer incremento na rigidez das vigas reforçadas, a não ser um pequeno aumento na rigidez das vigas reforçadas com laminados. Esta avaliação foi realizada com base nos deslocamentos da seção central e se deve, principalmente, à maior espessura dos laminados.

A avaliação de quatro modelos de previsão da resistência das vigas reforçadas confirma, novamente, a idéia de uma deformação específica efetiva, que depende da rigidez axial do reforço e da resistência do concreto. No entanto, todos os modelos apresentaram resultados bastante conservadores. Assim, mesmo com base nos resultados obtidos a partir das vigas reforçadas à flexão, o modelo sugerido nesta tese apresenta uma excelente aproximação com os resultados experimentais.

Finalmente, a implementação de um sistema de ensaios completamente automatizado, tanto do ponto de vista de aplicação do carregamento quanto da aquisição dos dados, representou uma mudança fundamental no paradigma da análise experimental de elementos estruturais de concreto armado, até então adotado. Apesar de inúmeras dificuldades, a qualidade, quantidade e confiabilidade dos resultados experimentais justificaram a mobilização de recursos para sua implementação.

6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O desenvolvimento desta tese permitiu um significativo avanço na compreensão das principais implicações estruturais da aplicação dos compósitos de *CFRP* no reforço externo de vigas de concreto armado. No entanto, diversas questões, suscitadas ao longo deste trabalho, merecem ser avaliadas e discutidas, com o objetivo de dar continuidade e/ou complementar esta tese. A seguir apresentam-se algumas sugestões:

- (i) avaliação do desempenho de sistemas de reforço, com fibras de alto módulo de elasticidade (da ordem de cerca 600 GPa) e as principais implicações estruturais decorrentes de sua utilização em reforços à flexão e ao cisalhamento;

- (ii) análise da distribuição das tensões normais e tangenciais ao longo de reforços à flexão com diferentes sistemas e sua relação com a resistência do concreto das vigas reforçadas;
- (iii) proposição de alternativas para o melhoramento da ancoragem de reforços à flexão; verificando ainda, a viabilidade da combinação de diferentes sistemas (flexão e cisalhamento);
- (iv) avaliação do desempenho de reforços à flexão e ao cisalhamento em vigas submetidas a um carregamento prévio (vigas pré-fissuradas);
- (v) avaliação do desempenho de reforços ao cisalhamento em vigas com presença de armadura transversal;
- (vi) avaliação do comportamento das tensões normais e tangenciais ao longo de reforços ao cisalhamento com diferentes distribuições, orientações e soluções de ancoragem;
- (vii) análise da influência do vão de cisalhamento sobre o desempenho das vigas reforçadas;
- (viii) aprimoramento dos modelos numéricos disponíveis atualmente para simular o comportamento de vigas reforçadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ABU-TAIR, A. I.; LAVERY, D.; NADJAI, A.; RIGDEN, S. R.; AHMED, T. M. A. A New Method for Evaluating The Surface Roughness of Concrete Cut for Repair or Strengthening. **Construction and Building Materials**. 2000. p. 171-176.
- [2] ACI - AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Building code requirements for structural concrete**. ACI Committee 318. Detroit, 1995.
- [3] ACI - AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **State-of-the-art report on fiber reinforced plastic reinforcement for concrete structures**. ACI Committee 440. Detroit, Jan. 1996.
- [4] ACI - AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Guide for the design and construction of externally bonded frp systems for strengthening concrete structures**. ACI Committee 440. Detroit, Jul. 2002
- [5] ADHIKARY, B.; MUTSUYOSHI, H.; SANO, M.. Shear Strengthening of Reinforced Concrete Beams Using Steel Plates Bonded on Beam Web: Experiments and Analysis. **Construction and Building Materials**. 2000. p. 237-244.
- [6] AHMED, O.; VAN GEMERT, D. Behaviour of RC beams strengthened in bending by CFRP laminates. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON STRUCTURAL FAULTS AND REPAIR, 8., 1999, London. **Proceedings...** Edinburgh: Engineering Technics Press, 1999. CD-ROM.
- [7] ALKHRDAJI, T.; NANNI, A. Surface Bonded FRP Reinforcement for Strengthening/Repair of Structural Reinforced Concrete. In: ICRI-NRCC WORKSHOP, 1999, Baltimore. **Proceedings...** 1999. p. 19-32.
- [8] ALMUSALLAM, T.H.; AL-SALLOUM, Y.A. Ultimate strength prediction for RC beams externally strengthened by composite materials. **Composites: Part B**. 32 2001. p. 609-619.
- [9] AN, W.; SAADATMANESH, H.; EHSANI, M. R. RC beams strengthened with GRFP plates. II: analysis and parametric study. **Journal of Structural Engineering**, New York, ASCE, v.117, n.11, p.3435-3455, Nov. 1991.
- [10] ARDUINI, M.; Di TOMMASO, A.; NANNI, A. Brittle failure in FRP plates and sheet bonded beams. **ACI Structural Journal**, Detroit, v.94, n.4, p.363-370, Jul-Aug. 1997.
- [11] ARDUINI, M.; Di TOMMASO, A.; NANNI, A. Parametric study of beams with externally bonded frp reinforcement. **ACI Structural Journal**, Detroit, v.94, n.5, p.493-501, Sep-Oct. 1997.
- [12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados - Determinação da composição granulométrica: NBR 7217**. Rio de Janeiro, 1987.
- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados para concreto: NBR 7211**. Rio de Janeiro, 1983.

- [14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa e Concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos: NBR 7222**. Rio de Janeiro, 1994.
- [15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland de alta resistência inicial: NBR 5733**. Rio de Janeiro, 1991.
- [16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento de tronco de cone: NBR 7223**. Rio de Janeiro, 1992.
- [17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos: NBR 5739**. Rio de Janeiro, 1994.
- [18] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos de concreto: NBR 5738**. Rio de Janeiro, 1994.
- [19] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de estruturas de concreto: NBR 6118**. Rio de Janeiro, 2003.
- [20] BARTON, R. The engineering of adhesives for external reinforcement of bridges and buildings. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON STRUCTURAL FAULTS AND REPAIR, 7., 1997, Edinburgh. **Proceedings...** Edinburgh: Engineering Technics Press, 1997. 3v. v.1, p. 277-292.
- [21] BEBER, A. J. **Avaliação do desempenho de vigas de concreto armado reforçadas com lâminas de fibra de carbono**. Porto Alegre: CPGEC/UFRGS, 1999. 108 p. Dissertação de Mestrado em Engenharia.
- [22] BEBER, A. J. **Reforço de estruturas de concreto com compósitos de fibra de carbono**. Porto Alegre: PPGEC/UFRGS, 1999. 37 p. Caderno Técnico.
- [23] BEBER, A. J.; CAMPAGNOLO, J. L.; CAMPOS FILHO, A. Utilização de compósitos de fibra de carbono no reforço de estruturas de concreto armado. In: XXX JORNADAS SUL-AMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, 30., 2002, Brasília. **Anais...** Brasília: UnB; 2002. CD-ROM.
- [24] BEEBY, A. W.; ETMAN, E. Repair of reinforced concrete beams with corroded reinforcement using CFRP plates. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON STRUCTURAL FAULTS AND REPAIR, 8., 1999, London. **Proceedings...** Edinburgh: Engineering Technics Press, 1999. CD-ROM.
- [25] BROSENS, K.; VAN GEMERT, D. Anchoring stresses between concrete and carbon fibre reinforced laminates. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPOSITE CONSTRUCTION - CONVENTIONAL AND INNOVATIVE, 1997, Innsbruck. **Conference report...** Zurich: IABSE: ETH_Hönggerberg, 1997. p.181-186.
- [26] BUYUKOSTURK, O.; HEARING, B. Failure behavior of precracked concrete retrofitted with fiber-reinforced plastic laminates. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON STRUCTURAL FAULTS AND REPAIR, 7., 1997, London. **Proceedings...** Edinburgh: Engineering Technics Press, 1997.
- [27] BUYUKOSTURK, O.; HEARING, B., GUNES, O. FRP strengthening and repair: where do we go from here? In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON

- STRUCTURAL FAULTS AND REPAIR, 8., 1999, London. **Proceedings...** Edinburgh: Engineering Technics Press, 1999. CD-ROM.
- [28] CALDER, A. J. J. Exposure tests on externally reinforced concrete beams – first two years. **Supplementary Report 529**. Transport and Road Research Laboratory, Department of the Environment, Department of Transport, Crowthorne, Berkshire, UK, 1979.
- [29] CALLISTER, W. D. **Materials Science and Engineering: an introduction**. 4 ed. New York: John Wiley & Sons, 1997. 852 p.
- [30] CAMPAGNOLO, J. L.; CAMPOS FILHO, A.; SILVA FILHO, L. C. P. Estudo teórico-experimental sobre vigas de concreto armado reforçadas. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES, 4., 1997, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, UFRGS/CPGEC, 1997. 2v. v2, p 127-134.
- [31] CAMPOS FILHO, A.; CAMPAGNOLO, J. L.; SILVA FILHO, L. C. P. Análise de vigas reforçadas de concreto armado através do método dos elementos finitos. In: CONGRESSO IBERO LATINO-AMERICANO DE MÉTODOS COMPUTACIONAIS PARA ENGENHARIA, 18., 1997, Brasília. **Anais...** Brasília: Universidade de Brasília, 1997. 4v. v.2, p.627-634.
- [32] CAMPOS FILHO, A. **Análise teórico-experimental de elementos de concreto armado para obtenção de modelo matemático**. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1987. 293 p. Tese de Doutorado em Engenharia.
- [33] CAMPOS FILHO, A. **Dimensionamento e verificação de seções poligonais de concreto armado submetidas à flexão composta oblíqua**. Porto Alegre; UFRGS, Escola de Engenharia, 1996. Caderno de Engenharia, 53
- [34] CAROLIN, A. **Strengthening of concrete structures with CFRP: shear strengthening and full-scale applications**. Department of Civil and Mining Engineering – Division of Structural Engineering. Lulea University of Technology, 2001. Licentiate thesis.
- [35] CERQUEIRA, E. C. **Reforço ao cisalhamento de vigas de concreto armado com fibras de carbono**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2000. 107 p. Dissertação de mestrado em engenharia.
- [36] CHAJES, Michael J.; THOMSON, T. A.; FARSCHMAN, Jr.; FARSCHMAN, C. A. Durability of Concrete Beams Externally Reinforced with Composite Fabrics. **Construction and Building Materials**. v. 9, n. 3, 1995. p. 141-148.
- [37] CHAJES, M. J.; JANUSZKA, T. F.; MERTZ, D. R.; THOMSON, T. A.; FINCH, W. W. Shear strengthening of reinforced concrete beams using externally applied composite fabrics. **Concrete International**, Detroit, ACI, v.92, n.3, p 295-303, May-Jun. 1995.
- [38] CHAJES, M. J.; JANUSZKA, T. F.; MERTZ, D. R.; THOMSON, T. A. Bond and force transfer of composite material plates bonded to concrete. **Concrete International**, Detroit, ACI, v.93, n.2, p 208-217, Mar-Apr. 1996.
- [39] CHALLAL, O.; NOLLET, M. J.; PERRATON, D. Strengthening of reinforced concrete beams with externally bonded fiber-reinforce-plastic plates: design guidelines for shear and flexure. **Canadian Journal of Civil Engineering**, v.25, p.692-704, 1998.

- [40] CHEN, J. F.; TENG, J. G. Anchorage strength models for FRP and steel plates bonded to concrete. **Journal of Structural Engineering**, New York, ASCE. v.127, n.7, p.784-791, Jul. 2001.
- [41] COLLINS, M. P.; MITCHELL, D.; ADEBAR, P.; VECCHIO, F. J. A general shear design method. **ACI Structural Journal**, Detroit, v.93, n.1, p.36-45, Jan-Feb. 1996.
- [42] COLOTI, V.; SPADEA, G. Shear strength of RC beams strengthened with bonded steel or FRP plates. **Journal of Structural Engineering**, New York, ASCE. v.127, n.4, p.367-373, Apr. 2001.
- [43] COSTEIRA, P. S.; JUVANDES, L. F. P.; FIGUEIRAS, J. A. Análise do efeito de extremidade numa ligação colada tipo betão-aço ou betão-frp. In: REPAR 2000. **Anais...** 2000.
- [44] CRASTO, A.; KIM, R.; MISTRETTA, J. **Rehabilitation of concrete bridge beams with externally-bonded composite plates - part II**. [S.l.: s.n., 1997?]
- [45] DAVID, E.; DJELAL, C.; BUYLE-BODIN, F. Repair and strengthening of reinforced concrete beams using composite materials. In: INTERNATIONAL PHD. SYMPOSIUM IN CIVIL ENGINEERING, 2, 1998, Budapest. **Proceedings...** 1998.
- [46] De LORENZIS, L.; MILLER, A.; NANNI, A. Bond of FRP Laminates to concrete. **ACI Structural Journal**, Detroit, v.97, n.4, Jul-Aug. 2000.
- [47] DOLAN, B. E.; HAMILTON III, H. R.; DOLAN, C. W. Strengthening with bonded FRP laminate. **Concrete International**, Detroit, ACI, v.20, n.6, p 51-55, Jun. 1998.
- [48] DUNCAN, M. Concepts of composite construction - *mutatis mutandis*. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPOSITE CONSTRUCTION - CONVENTIONAL AND INNOVATIVE, 1997, Innsbruck. **Conference report...** Zurich: IABSE: ETH_Hönggerberg, 1997. p.19-28.
- [49] EL-REFAIE, S. A.; ASHOUR, A. F.; GARRITY, S. W. Flexural capacity of reinforced concrete beams strengthened with external plates. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON STRUCTURAL FAULTS AND REPAIR, 8., 1999, London. **Proceedings...** Edinburgh: Engineering Technics Press, 1999. CD-ROM.
- [50] EL-MIHILMY, M. T.; TEDESCO, J. W. Analysis of reinforced concrete beams strengthened with FRP laminates. **Journal of Structural Engineering**, New York, ASCE. v.126, n.6, p.684-691, Jun. 2000.
- [51] EMMONS, P. H.; VAYSBURD, A. M.; THOMAS, J. Strengthening concrete structures, part I. **Concrete International**, Detroit, ACI, v.20, n.3, p.53-58, Mar. 1998.
- [52] EMMONS, P. H.; VAYSBURD, A. M.; THOMAS, J. Strengthening concrete structures, part II. **Concrete International**, Detroit, ACI, v.20, n.4, p.56-60, Apr. 1998.
- [53] ETMAN, E. E.; BEEBY, A. W. Experimental Programme and Analytical Study of Bond Stress Distributions on a Composite Plate Bonded to a Reinforced Concrete Beam. **Cement & Concrete Composites**. 2000. p. 281-291.
- [54] FANNING, P. J.; KELLY, O. Ultimate response of RC beams strengthened with CFRP plates. **ASCE-Journal of Composites for Construction**, v. 5, n. 2, May. 2001, p. 122-127.

- [55] FORTES, A. S.; PADARATZ, I. J. Vigas de concreto armado reforçadas com polímero reforçado com fibras de carbono (PRFC). In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 42., 2000, Fortaleza. **Anais...** IBRACON, 2000. CD-ROM
- [56] FERRARI, V. J.; PADARATZ, I. J.; LORIGGIO, D. D. Reforço à flexão de vigas de concreto armado com manta de fibra de carbono: mecanismos de incremento da ancoragem. In: XXX JORNADAS SUL-AMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, 30., 2002, Brasília. **Anais...** Brasília: UnB; 2002. CD-ROM.
- [57] FERREIRA, A. J. M.; MARQUES, A. T.; SÁ, J. César de. Analysis of Reinforced Concrete with External Composite Strengthening. **Composites: Part B**. 2000. p. 527-534.
- [58] FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BETÓN. **Structural Concrete: Textbook on behaviour, design and performance**. Lausanne, 1999 (Bulletins 1, 2, 3)
- [59] FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTON. **Bond of reinforcement in concrete—State-of-the-art report**. Lausanne, 2000 (Bulletin 10).
- [60] FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTON. **Externally bonded FRP reinforcement for RC Structures**. Lausanne, 2001 (Bulletin 14).
- [61] GENDRON, G.; PICARD, A.; GUÉRIN, M.-C. A Theoretical Study on Shear Strengthening of Reinforced Concrete Beams Using Composite Plates. **Composite Structures**. 1999. p. 303-309.
- [62] HE, J. H.; PILAKOUTAS, K.; WALDRON, P. Analysis of externally strengthened RC beams with steel and CFRP plates. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON STRUCTURAL FAULTS AND REPAIR, 7., 1997, Edinburgh. **Proceedings...** Edinburgh: Engineering Technics Press, 1997. 3v. v.1, p.83-92.
- [63] HE, J. H.; PILAKOUTAS, K.; WALDRON, P. CFRP plate strengthening of RC beams. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON STRUCTURAL FAULTS AND REPAIR, 7., 1997, Edinburgh. **Proceedings...** Edinburgh: Engineering Technics Press, 1997. 3v. v.1, p.119-127.
- [64] HOLLOWAY, L. C. **Polymer Composites for civil and structural engineering**. Glasgow, Blackie Academic and Professional, 1993.
- [65] HOLLOWAY, L. C.; LEEMING, M. B. **Strengthening of reinforced concrete structures using externally bonded FRP composites in structural and civil engineering**. 1 ed. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 1999. 327 p.
- [66] HOTA, V. S. GangaRao; VIJAY, P. V. Bending behaviour of concrete beams wrapped with carbon fabric. **Journal of Structural Engineering**, New York, ASCE. v.124, n.1, p.3-10, Jan. 1998.
- [67] HUTCHINSON, R.; ABDELRAHMAN, A.; RISKALLA, S. Shear strengthening using frp sheets for a highway bridge in Manitoba, Canada. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON STRUCTURAL FAULTS AND REPAIR, 7., 1997, Edinburgh. **Proceedings...** Edinburgh: Engineering Technics Press, 1997. 3v. v.1, p.263-269.
- [68] ILLSTON, J. M. **Construction materials, their nature and behaviour**. 2. ed. London: E. & F.N. Spon, 1994. 518 p.
- [69] JONES, R. **Mechanics of composite materials**. Washington: Scripta Book, 1975.

- [70] JUVANDES, L. F. P.; MARQUES, A. T.; FIGUEIRAS, J. A. **Materiais compósitos no reforço de estruturas de betão**. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1996. 112 p. Relatório Técnico.
- [71] JUVANDES, L. F. P. **Reforço e reabilitação de estruturas de betão usando materiais compósitos de “CFRP”**. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1999. 302 p. Tese de Doutorado em Engenharia.
- [72] KACHLAKEV, D.; MCCURRY, D. D. Behavior of Full-Scale Reinforced Concrete Beams Retrofitted for Shear and Flexural with FRP Laminates. **Composites: Part B**. 2000. p. 445-452.
- [73] KARBHARI, V. M.; SEIBLE, F. Design considerations for FRP rehabilitation of concrete structures. In: 1st INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE BEHAVIOUR OF DAMAGED STRUCTURES, 1998. Rio de Janeiro. **Proceedings...** CD-ROM.
- [74] KARBHARI, V. M.; ZHAO, L. Use of Composites for 21st Century Civil Infrastructure. **Computer Methods Applied Mech. Engrg.** 2000. p. 433-454.
- [75] KHALIFA, A.; BELARBI, A.; NANNI, A. Shear Performance of RC Members Strengthened with Externally Bonded FRP Wraps. In: WORLD CONFERENCE ON EARTHQUAKE ENGINEERING, 12., 2000. Auckland. **Proceedings...** Jan-Feb. 2000.
- [76] KHALIFA, A.; GOLD, W. J.; NANNI, A.; AZIZ, M. I. A. Contribution of Externally Bonded FRP to Shear Capacity of Flexural Members. **ASCE-Journal of Composites for Construction**, v. 2, n. 4, Nov. 1998, p. 195-203.
- [77] KHALIFA, A.; NANNI, A. Improving Shear Capacity of Existing RC T-Section Beams Using CFRP Composites. **Cement and Concrete Composites**, v. 22, n. 2, July 2000, p. 165-174.
- [78] KHALIFA, A.; NANNI, A. Rehabilitation of Rectangular Simply Supported RC Beams with Shear Deficiencies Using CFRC Composites. **Construction and Building Materials**, Apr 1999.
- [79] KHALIFA, A.; TUMIALAN, G.; NANNI, A.; BELARBI, A. Shear Strengthening of Continuous RC Beams Using Externally Bonded CFRP Sheets. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FRP FOR REINFORCEMENT OF CONCRETE STRUCTURES, 4., 1999, Baltimore. **Proceedings...** American Concrete Institute, 1999. p. 995-1008.
- [80] KEBLE, J.; SCHERER, J. Alternative structural strengthening with advanced composites. In: INTERNATIONAL STRUCTURAL FAULTS AND REPAIR, 8., 1999. London. **Proceedings...** Edinburgh: Engineering Technics Press, 1999. CD-ROM.
- [81] KENDALL, D. The selection of reinforcing fibres for strengthening concrete and steel structures using reinforced plastics. In: INTERNATIONAL STRUCTURAL FAULTS AND REPAIR, 8., 1999. London. **Proceedings...** Edinburgh: Engineering Technics Press, 1999. CD-ROM.
- [82] KLAIBER, F. W.; DUNKER, K. F.; WIPF, T. J.; SANDERS JR., W. W. Methods of strengthening existing highway bridges. **Transportation Research Record no 1180**. Transportation Research Board, Washington, D.C., 1987.

- [83] KLEIN, D. L. **Medida experimental de deformações**. Porto Alegre: UFRGS, Escola de Engenharia, LEME – Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais, 1975.
- [84] KOGA, M.; OHTSU, M. A retrofitting system for concrete structures with CFRP sheet and CFRP strand - it's basic mechanism and applications. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON STRUCTURAL FAULTS AND REPAIR, 7., 1997, Edinburgh. **Proceedings...** Edinburgh: Engineering Technics Press, 1997. 3v. v.1, p.63-77.
- [85] LAU, K. T.; DUTTA, P. K.; ZHOU, L. M.; HUI, D. Mechanics of bonds in an FRP bonded concrete beam. **Composites: Part B**. 2001. v. 32 p. 491-502.
- [86] LI, A.; ASSIH, J.; DELMAS, Y. Shear strengthening of RC beams with externally bonded CFRP sheets. **Journal of Structural Engineering**, New York, ASCE. v.127, n.4, p.374-380, Apr. 2001.
- [87] LIMA, R. C. A. **Investigação dos efeitos de temperaturas elevadas em reforços estruturais com tecidos de fibra de carbono**. Porto Alegre: PPGEC/UFRGS, 2001. 125 p. Dissertação de Mestrado em Engenharia.
- [88] MACHADO, A.P. **Reforço de estruturas de concreto armado com fibras de carbono – características, dimensionamento e aplicação**. São Paulo: Pini, 2002.
- [89] MAEDA, T.; ASANO, Y.; SATO, Y.; UEDA, T.; KAKUTA, Y. A study on bond mechanism of carbon fiber sheet. In: Non-metallic (FRP) reinforcement for concrete structures, 3, 1997. Sapporo. **Proceedings...** 1997. p. 279-285
- [90] MALEK, A. M.; SAADATMANESH, H.; EHSANI, M. R. Prediction of failure load of R/C beams strengthened with FRP plate due to stress concentration at the plate end. **ACI Structural Journal**, Detroit, v.95, n.1, p.142-152, Mar. 1998.
- [91] MANO, E. B. **Polímeros como materiais na engenharia**. São Paulo: Edgar Blücher, 1991.
- [92] MAYO, R.; NANNI, A.; GOLD, W.; BARKER, M. Strengthening of Bridge G270 with Externally Bonded CFRP Reinforcement. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FRP FOR REINFORCEMENT OR CONCRETE STRUCTURES, 4., 1999. Baltimore. **Proceedings...** American Concrete Institute, 1999. p. 429-440.
- [93] MBT-Master Builders Technologies. **MBrace™ Composite Strengthening System – Engineering Design Guidelines**. 2n edition, 1998.
- [94] McCORMAC, J. C. **Design of reinforced concrete**. Menlo Park: Addison Wesley Longman, 1998. 726 p.
- [95] McKENNA, J. K.; ERKI, M. A. Strengthening of reinforced concrete flexural members using externally applied steel plates and fibre composite sheets – a survey. **Canadian Journal of Civil Engineering**, v.21, p.16-24, 1994.
- [96] MEIER, U. Carbon fiber-reinforced polymers: modern materials in bridge engineering. **Structural Engineering International**. v.1 p. 7-12, 1992.
- [97] MEIER, U. Strengthening of structures using carbon fibre/epoxy composites. **Construction and Building Materials**, 1995, vol. 9, no. 6. p. 341-355
- [98] MEIER, U. Repair using advanced composites. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPOSITE CONSTRUCTION - CONVENTIONAL AND

- INNOVATIVE, 1997, Innsbruck. **Conference report...** Zurich: IABSE: ETH_Hönggerberg, 1997. p.113-124.
- [99] MEIER, U.; WINISTORFER, A. Retrofitting of structures through external bonding of CFRP sheets. In: NON-METALLIC (FRP) REINFORCEMENT FOR CONCRETE STRUCTURES, 1995, London. **Proceedings...** London: E & FN Spon, 1995.
- [100] MIDDLETON, D. **Composite materials in aircraft structures.** London: Longman Group, 1990. 394 p.
- [101] MILLER, B.; NANNI, A.; BAKIS, C. E. Analytical Model for CFRP Sheets Bonded to Concrete. In: INTERNATIONAL STRUCTURAL FAULTS AND REPAIR, 8., 1999. London. **Proceedings...** Edinburgh: Engineering Technics Press, 1999. CD-ROM.
- [102] MITSUI, Y.; MURAKAMI, K. Shear reinforcement of RC beams using carbon fiber sheets. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPOSITE CONSTRUCTION - CONVENTIONAL AND INNOVATIVE, 1997, Innsbruck. **Conference report...** Zurich: IABSE: ETH_Hönggerberg, 1997, p.924-925.
- [103] NANNI, A. Composites: Coming on Strong. **Concrete Construction**, Miami, v.44, n. 3, p.120, Jul-Ago. 1999.
- [104] NANNI, A.; ALKHSDAJI, T.; CHEN, G.; BARKER, M.; XIBAO, Y.; MAYO, R. Overview of Testing to Failure Program Of a Highway Bridge Strengthened with FRP Composites. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FRP FOR REINFORCEMENT OF CONCRETE STRUCTURES, 4., 1999, Baltimore. **Proceedings...** Selected Presentation, 1999. p. 69-80.
- [105] NANNI, A. Concrete repair with externally bonded FRP reinforcement. **Concrete International**, Detroit, ACI, v.17, n.6, p 22-26, Jun. 1995.
- [106] NANNI, A. CFRP strengthening. New technology becomes mainstream. **Concrete International**, Detroit, ACI, v.19, n.6, p 19-23, Jun. 1997.
- [107] NEUBAUER, U.; ROSTÁSY, F. Strengthening of bridges with externally bonded CFRP plates. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON STRUCTURAL FAULTS AND REPAIR, 7., 1997, Edinburgh. **Proceedings...** Edinburgh: Engineering Technics Press, 1997. 3v. v.1, p.191-196.
- [108] NEUBAUER, U.; ROSTÁSY, F. Design of concrete structures strengthened with externally bonded CFRP plates. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON STRUCTURAL FAULTS AND REPAIR, 7., 1997, Edinburgh. **Proceedings...** Edinburgh: Engineering Technics Press, 1997. 3v. v.2, p.109-118.
- [109] NEVILLE, A. Maintenance and durability of structures. **Concrete International**, Detroit, ACI, v.19, n.11, p 52-56, Nov. 1997.
- [110] NORRIS, T.; SAADATMANESH, H.; EHSANI, M. R. Shear and flexural strengthening of R/C beams with carbon fiber sheets. **Journal of Structural Engineering**, New York, ASCE. v.123, n.7, p.903-911, July 1997.
- [111] PALMERIO, A. F. **Primer on composite materials:** analysis. Lancaster: Technomic Publishing, 1984.

- [112] PARK, R.; PAULAY, T. **Reinforced concrete structures**. Christchurch: John Wiley & Sons, 1975. 769 p.
- [113] PESKHAM, V.; LEEMING, M. Application of composites to strengthening of bridges: Project ROBUST. In: 19th BRITISH PLASTICS FEDERATION COMPOSITE CONGRESS, 1994, Birmingham. **Proceedings...** Birmingham, 1994.
- [114] PICARD, A.; MASSICOTTE, B.; BOUCHER, E. Strengthening of Reinforced Concrete Beams with Composite Materials: Theoretical Study. **Composite Structures**. 1995. p. 63-75.
- [115] PINTO, C. T. M. P. **Reforço à flexão de vigas de concreto armado com fibras de carbono**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2000. 142 p. Dissertação de mestrado em engenharia.
- [116] RAHIMI, H.; HUTCHINSON, A. Concrete beams strengthened with externally bonded frp plates. **ASCE-Journal of Composites for Construction**, v. 5, n. 1, Feb. 2001, p. 44-56.
- [117] RAMANA, V. P. V.; KANT, T.; MORTON, S. E.; DUTTA, P. K.; MUKHERJEE, A.; DESAI, Y. M. Behavior of CFRPC Strengthened Reinforced Concrete Beams with Varying Degrees of Strengthening. **Composites: Part B**. 2000. p. 461-470.
- [118] REBEIZ, K. S. Shear strength prediction for concrete members. **Journal of Structural Engineering**, New York, ASCE. v.125, n.3, p.301-308, Mar. 1999.
- [119] REESE, R. T.; KAWAHARA, W. A. **Handbook on structural testing**. Lilburn: The Fairmont Press, Inc., 1993. 401 p.
- [120] RICHARDSON, B. A. **Defects and deterioration in buildings**. London: E. & F.N. Spon, 1991. 190 p.
- [121] RITCHIE, P. A.; THOMAS, D. A.; LU, L.; CONNELLY, G. M. External reinforcement of concrete beams using fiber reinforced plastics. **ACI Structural Journal**, Detroit, v.88, n.4, p.490-500, Jul-Aug. 1991.
- [122] ROBERY, P.; INNES, C. Carbon fibre strengthening of concrete structures. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON STRUCTURAL FAULTS AND REPAIR, 7., 1997, Edinburgh. **Proceedings...** Edinburgh: Engineering Technics Press, 1997. 3v. v.1, p.197-208.
- [123] SAADATMANESH, H.; EHSANI, M. R. Fiber composite plates can strengthen beams. **Concrete International**, Detroit, ACI, v.3, p. 65-71, Mar. 1990.
- [124] SAADATMANESH, H.; EHSANI, M. R. RC beams strengthened with GRFP plates. I: experimental study. **Journal of Structural Engineering**, New York, ASCE, v.117, n.11, p.3417-3433, Nov. 1991.
- [125] SALES NETO, M. **Comportamento ao cisalhamento de vigas "T" de concreto armado reforçadas com compósitos de fibra de carbono**. Brasília: ENC/FT/UnB, 2000. 219 p. Dissertação de Mestrado em Engenharia.
- [126] SCHWARTZ, M. M. **Composite materials handbook**. New York: McGraw-Hill, 1984.
- [127] SEIBLE, F.; KARBHARI, V. M. Rehabilitation & renewal of civil structural systems with advanced composites. In: 1st INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE

- BEHAVIOUR OF DAMAGED STRUCTURES, 1998. Rio de Janeiro. **Proceedings...** CD-ROM.
- [128] SHAHAWY, M. A.; BEITELMAN, T.; AROCKIASAMY, M.; SOWRIRAJAN, R. Experimental Investigation on Structural Repair and Strengthening of Damaged Prestressed Concrete Slabs Utilizing Externally Bonded Carbon Laminates. **Composites Part B**. 1996. p. 217-224.
- [129] SILVA FILHO, L. C. P. **Towards advanced bridge management systems: Investigation of the possibility of developing an improved model based on a novel system architecture**. Leeds: Department of Civil Engineering, 1999. Doctoral thesis.
- [130] SILVA FILHO, J. N. **Vigas “T” em concreto armado reforçadas ao cisalhamento com compósitos de fibra de carbono**. Brasília: ENC/FT/UnB, 2001. 266 p. Dissertação de Mestrado em Engenharia.
- [131] SMITH, S. T.; TENG, J. G. FRP-strengthened RC beams I: Review of debonding strength models. **Engineering Structures**. Elsevier: 2002. p. 385-395.
- [132] SMITH, S. T.; TENG, J. G. FRP-strengthened RC beams II: Assessment of debonding strength models. **Engineering Structures**. Elsevier: 2002. p. 397-417.
- [133] SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. 1. ed. São Paulo: Pini, 1998.
- [134] SPADEA, G.; SWAMY, R. N.; BENCARDINO, F. Design to repair/up-grade RC structures: the key to a successful utilization of CFRP laminates. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON STRUCTURAL FAULTS AND REPAIR, 7., 1997, Edinburgh. **Proceedings...** Edinburgh: Engineering Technics Press, 1997. 3v. v.2, p.183-190.
- [135] SWAMY, R. N.; JONES, R.; BLOXHAM, J. W. Structural behaviour of reinforced concrete beams strengthened by epoxy-bonded steel plates. **The Structural Engineer**, London, v. 65A, n.2, p.59-68, Feb. 1987.
- [136] SWAMY, R. N.; MUKDHOPADHYAYA, P. Role and effectiveness of non-metallic plates in strengthening and upgrading concrete structures. In: NON-METALLIC (FRP) REINFORCEMENT FOR CONCRETE STRUCTURES, 1995, London. **Proceedings...** London: E & FN Spon, 1995.
- [137] SWAMY, R. N.; MUKDHOPADHYAYA, P. Debonding of carbon-fibre-reinforced polymer plate from concrete beams. **Structures and Buildings**. London: Proceedings of the Institution of Civil Engineers, v134. Nov. 1999, p. 301-317.
- [138] SWAMY, R. N.; MUKHOPADHYAYA, P.; LYNNSDALE, C. J. Strengthening for shear RC beams by external plate bonding. **The Structural Engineer**, London, v. 77, n.12, p. 19-30, Jun. 1999.
- [139] SÜSSEKIND, José Carlos. **Curso de Concreto: concreto armado**. 7. ed. São Paulo: Globo, 1993, v.1.
- [140] TAKEDA, K.; MITSUI, Y.; MURAKAMI, K.; SAKAI, H.; NAKAMURA, M.. Flexural Behaviour of Reinforced Concrete Beams Strengthened with Carbon Fibre Sheets. **Composites Part A**. 1996. p. 981-987.

- [141] TÄLJSTEN, B. Defining anchor lengths of steel and CFRP plates bonded to concrete. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, London, Elsevier Science, v.17, n.4, p.319-327. 1997.
- [142] TÄLJSTEN, B. Concrete beams strengthened for bending using CFRP sheets. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON STRUCTURAL FAULTS AND REPAIR, 8., 1999, London. **Proceedings...** Edinburgh: Engineering Technics Press, 1999. CD-ROM.
- [143] TAYLOR, G. **Materials in construction**. 2.ed. London: Longman Scientific & Technical, 1994. 284p.
- [144] TEDESCO, J. W.; STALLINGS, J. M.; EL-MIHILMY, M. Finite Element Method Analysis of A Concrete Bridge Repaired with Fiber Reinforced Laminates. **Computers and Structures**. 1999. p. 379-407.
- [145] TENG, J. G.; CHEN, J. F.; SMITH, S. T.; LAM, L. **FRP Strengthened RC Structures**. 1.ed. Chischester: John Wiley & Sons LTD., 2001. 245 p.
- [146] THOMAS, J. FRP strengthening – experimental or mainstream technology? **Concrete International**, Detroit, ACI, v.20, n.6, p.57-58, June 1998.
- [147] TOUTANJI, A. H.; GÓMEZ, W. Durability characteristics of concrete beams externally bonded with FRP composite sheets. **Journal of Cement and Concrete Composites**, London, Elsevier Science, n.19, p.351-358. 1997.
- [148] TRIANTAFILLOU, T. C.; PLEVRIS, N. Strengthening of R/C beams with epoxy-bonded fiber composite materials. **Materials and Structures**, v.25, p.201-211, 1992.
- [149] TRIANTAFILLOU, T. Shear strengthening of reinforced concrete beams using epoxy-bonded frp composites. **ACI Structural Journal**, Detroit, v.95, n.2, p.107-115, Mar-Apr. 1998.
- [150] TRIANTAFILLOU, T. C. Composites: A New Possibility for The Shear Strengthening of Concrete, Masonry and Wood. **Composites Science and Technology**. 1998. p. 1285-1295.
- [151] TRIANTAFILLOU, T. C.; ANTONOPOULOS, C. Design of concrete flexural members strengthened in shear with FRP. **ASCE-Journal of Composites for Construction**, v. 4, n. 4, Nov. 2000, p. 198-205.
- [152] TUMILIAN, G.; SERRA, P.; NANNI, A.; BELARBI, A. Concrete Cover Delamination in RC Beams Strengthened with FRP Sheets. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FRP FOR REINFORCEMENT OF CONCRETE STRUCTURES, 4., 1999. Baltimore. **Proceedings...** American Concrete Institute, 1999. p. 725-735.
- [153] WATANABE, F.; LEE, J. Y. Theoretical prediction of shear strength and failure mode of reinforced concrete beams. **ACI Structural Journal**, Detroit, v.95, n.6, p.749-757, Dec. 1998.
- [154] YAGI, K.; TANAKA, T.; OTAGURO, H. Durability of carbon fiber sheet for repair and retrofitting. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON STRUCTURAL FAULTS AND REPAIR, 8., 1999, London. **Proceedings...** Edinburgh: Engineering Technics Press, 1999. CD-ROM.

- [155] ZIARA, M. M. Structural Upgrading of RC Beams Using Composite Overlays. **Construction and Building Materials**. 2000. p. 397-406
- [156] ZSUTTY, T. C. Beam shear strength prediction by analysis of existing data. **ACI Journal Proceedings**, Detroit, v.65, n.11, p.943-951, Nov. 1968.
- [157] ZSUTTY, T. C. Shear strength prediction for separate categories of simple beam tests. **ACI Journal Proceedings**, Detroit, v.68, n.2, p.138-143, Feb. 1971.

APÊNDICE — RESULTADOS EXPERIMENTAIS

RESULTADOS EXPERIMENTAIS — VIGA V1_A

CARGA [kN]	LVDT # 2 [mm] apoio	LVDT # 3 [mm] carga	LVDT # 4 [mm] central	LVDT # 5 [mm] carga	LVDT # 6 [mm] apoio	TRD-1 [x10 ⁻⁶]	TRD-2 [x10 ⁻⁶]	TRD-3 [x10 ⁻⁶]	TRD-4 [x10 ⁻⁶]	TRD-5 [x10 ⁻⁶]	ε _{S3A} [x10 ⁻⁶]	ε _{S3B} [x10 ⁻⁶]
0,00	0,006	0,007	0,013	0,011	0,007	14	0	0	41	29	1	1
11,11	0,008	0,614	0,705	0,684	0,000	-71	-43	0	135	236	160	127
20,82	0,000	1,147	1,290	1,167	-0,011	-199	-14	163	636	825	484	448
25,97	0,004	1,821	2,029	1,756	-0,009	-271	72	637	1298	1562	854	832
30,33	0,013	2,487	2,765	2,367	-0,014	-313	144	949	1690	1975	1093	1071
35,00	0,011	3,162	3,487	2,978	-0,014	-370	217	1193	2042	2431	1341	1310
39,60	0,006	3,840	4,244	3,623	-0,014	-442	303	1397	2340	2859	1607	1555
44,33	0,011	4,524	4,969	4,250	-0,020	-456	375	1668	2664	3271	1880	1810
49,12	0,009	5,220	5,722	4,887	-0,030	-513	448	1899	3016	3699	2166	2071
53,91	0,004	5,909	6,468	5,541	-0,029	-541	549	2143	3354	4185	2472	2348
58,33	0,000	6,599	7,231	6,196	-0,030	-612	606	2373	3705	4627	2784	2632
62,39	-0,006	7,314	8,012	6,864	-0,032	-627	650	2590	4071	5099	3115	2936
66,19	0,004	8,030	8,806	7,544	-0,036	-698	650	2848	4449	5585	3483	3291
69,39	0,000	8,756	9,580	8,219	-0,069	-741	664	3119	4801	6086	3883	3697
72,39	0,006	9,491	10,370	8,899	-0,078	-783	722	3377	5207	6616	4333	4188
75,16	0,002	10,248	11,186	9,595	-0,077	-798	751	3675	5599	7146	4848	4784
77,00	0,002	11,013	12,007	10,270	-0,084	-855	765	3987	6059	7736	5423	5459
79,03	-0,011	11,767	12,818	10,948	-0,078	-926	765	4340	6545	8325	6074	6205
80,68	-0,019	12,524	13,649	11,632	-0,080	-954	808	4679	7018	8959	6774	6977
82,34	-0,015	13,297	14,470	12,308	-0,078	-997	837	5031	7533	9564	7496	7743
83,69	-0,026	14,063	15,298	13,006	-0,075	-1068	881	5411	8033	10241	8239	8507
85,17	-0,025	14,847	16,148	13,726	-0,077	-1097	938	5791	8519	10875	8990	9267
86,33	-0,023	15,614	16,987	14,436	-0,077	-1139	996	6143	9074	11567	9727	9999
87,19	-0,021	16,399	17,861	15,161	-0,087	-1225	1039	6469	9547	12187	10438	10706
88,11	-0,021	17,151	18,721	15,898	-0,087	-1239	1097	6835	10034	12805	11122	11296
89,03	-0,023	17,898	19,582	16,626	-0,093	-1296	1155	7188	10521	13395	11759	11862
89,89	-0,021	18,672	20,462	17,375	-0,089	-1325	1242	7472	11008	14029	12327	12406
90,69	-0,023	19,414	21,318	18,102	-0,087	-1382	1314	7825	11455	14603	11836	12901
91,37	-0,021	20,164	22,180	18,817	-0,093	-1439	1371	8137	11901	15178	12068	13380
92,04	-0,021	20,916	23,069	19,545	-0,094	-1496	1458	8421	12333	15723	12285	13839
92,72	-0,021	21,689	23,938	20,263	-0,093	-1538	1530	8733	12752	16298	12473	14272
93,21	-0,021	22,456	24,823	20,993	-0,093	-1609	1646	9032	13172	16799	12645	14583
93,76	-0,025	23,224	25,716	21,733	-0,096	-1652	1718	9317	13618	17344	12851	14628
94,31	-0,019	23,987	26,602	22,477	-0,096	-1666	1805	9602	14038	17860	12919	14378
94,81	-0,021	24,749	27,488	23,220	-0,098	-1738	1891	9859	14443	18390	13117	14398
95,30	-0,021	25,528	28,390	23,969	-0,098	-1795	1963	10171	14849	18950	13242	14504
95,73	-0,021	26,288	29,265	24,706	-0,098	-1852	2064	10469	15254	19436	13373	14709
96,28	-0,021	27,058	30,139	25,440	-0,094	-1880	2151	10727	15674	19952	13553	14893
96,65	-0,023	27,834	31,017	26,184	-0,093	-1923	2223	10999	16052	20483	13766	15092
97,14	-0,021	28,581	31,877	26,914	-0,096	-1980	2310	11256	16458	20969	13889	15277
97,57	-0,021	29,338	32,734	27,640	-0,096	-2051	2382	11514	16796	21455	14049	15452
98,12	-0,021	30,088	33,613	28,379	-0,098	-2122	2454	11771	17202	21957	14229	15630
98,55	-0,019	30,829	34,474	29,096	-0,096	-2137	2526	12029	17567	22428	14390	15803
99,04	-0,021	31,573	35,352	29,828	-0,096	-2193	2599	12300	17986	22943	14522	-
99,29	-0,015	32,312	36,240	30,556	-0,100	-2265	2671	12544	18270	23445	14684	-
99,78	-0,023	33,053	37,146	31,295	-0,100	-2322	2743	12816	18649	23960	14852	-
100,14	-0,021	33,801	38,048	32,046	-0,096	-2350	2815	13073	19041	24461	14998	-
100,57	-0,021	34,551	38,953	32,769	-0,096	-2421	2902	13358	19515	24963	15129	-
100,88	-0,021	35,288	39,855	33,504	-0,094	-2478	2959	13602	19866	25493	15281	-
101,19	-0,019	36,066	40,769	34,266	-0,096	-2507	3060	13846	20272	25964	15438	-
101,62	-0,023	36,850	41,669	35,014	-0,093	-2535	3118	14077	20637	26466	15586	-
101,49	-0,017	37,628	42,558	35,751	-0,089	-2592	3205	14335	21016	26966	15738	-
101,49	-0,021	38,436	43,459	36,518	-0,091	-2606	3291	14606	21367	27438	15887	-
101,80	-0,028	39,212	44,319	37,287	-0,089	-2663	3349	14863	21800	27939	-	-
101,98	-0,025	39,988	45,169	38,063	-0,087	-2720	3421	15108	22124	28381	-	15904
102,17	-0,026	40,771	45,993	38,846	-0,087	-2749	3479	15365	22422	28882	-	15843
102,35	-0,026	41,555	46,787	39,610	-0,089	-2749	3537	15609	22828	29354	-	15665
102,66	-0,026	42,313	47,537	40,361	-0,082	-2777	3609	15853	23180	29826	-	15312
102,91	-0,036	43,092	48,262	41,153	-0,098	-2820	3652	16097	23544	30297	-	13883
102,91	-0,038	43,833	48,879	41,887	-0,094	-2834	3739	16328	23883	30798	-	13574
102,97	-0,032	44,565	49,399	42,595	-0,091	-2877	3782	16572	24234	31240	-	13455
103,15	-0,038	45,281	49,828	43,307	-0,091	-2906	3869	16803	24559	31712	-	13234

103,52	-0,038	45,968	50,154	43,980	-0,089	-2934	3927	17060	24870	32154	-	13151
103,58	-0,042	46,624	50,380	44,620	-0,087	-2906	3956	17277	25127	32581	-	13106
103,83	-0,042	47,251	50,535	45,216	-0,087	-2948	4042	17535	25411	33008	-	13074
103,89	-0,040	47,824	50,630	45,760	-0,086	-2963	4013	17766	25735	33391	-	12210
104,13	-0,043	48,344	50,660	46,241	-0,084	-2977	4085	17969	25965	33863	-	12123
104,01	-0,042	48,794	50,691	46,657	-0,084	-3005	4129	18172	26249	34217	-	12064
104,20	-0,042	49,156	50,684	46,994	-0,078	-3048	4158	18362	26520	34600	-	12009
104,38	-0,043	49,494	50,693	47,264	-0,093	-3048	4215	18593	26696	34998	-	11962
104,38	-0,042	49,723	50,701	47,484	-0,086	-3105	4230	18769	26926	35336	-	11920
104,56	-0,043	49,889	50,704	47,637	-0,089	-3119	4259	18986	27183	35675	-	11883
104,56	-0,043	49,990	50,691	47,744	-0,087	-3148	4259	18986	27372	36029	-	11851
104,44	-0,045	50,055	50,699	47,834	-0,084	-3119	4273	19325	27507	36294	-	11824
104,32	-0,042	50,067	50,695	47,894	-0,084	-3190	4288	19339	27656	36530	-	11797
104,26	-0,043	50,063	50,701	47,930	-0,084	-3162	4259	19651	27777	36751	-	11770
104,32	-0,045	50,063	50,701	47,934	-0,082	-3176	4273	19637	27926	36958	-	11752
104,26	-0,045	50,065	50,704	47,937	-0,080	-3233	4259	19678	28075	37134	-	11740
104,01	-0,047	50,068	50,704	47,939	-0,082	-3205	4273	20058	28170	37356	-	11728
103,77	-0,045	50,070	50,706	47,942	-0,084	-3134	4244	20261	28318	37547	-	11714
103,83	-0,081	50,068	50,708	47,941	-0,080	-3105	4230	20465	28427	37739	-	11706
103,77	-0,081	50,070	50,708	47,941	-0,080	-3091	4244	20668	28562	37930	-	11697
103,77	-0,074	50,068	50,710	47,942	-0,078	-3048	4244	20803	28670	38107	-	11690
103,83	-0,091	50,070	50,710	47,944	-0,077	-2963	4244	21061	28792	38283	-	11680
103,89	-0,094	50,070	50,712	47,942	-0,078	-3190	4230	20220	28832	38461	-	11674
104,07	-0,092	50,068	50,710	47,946	-0,077	-3219	4259	20749	28981	38667	-	11672
103,89	-0,092	50,070	50,712	47,946	-0,080	-3219	4273	21238	29157	38903	-	-
103,77	-0,085	50,070	50,714	47,948	-0,077	-3176	4273	21590	29360	39242	-	-
103,89	-0,100	50,074	50,714	47,944	-0,077	-4529	4230	18539	29509	39595	-	-
103,77	-0,108	50,072	50,716	47,948	-0,078	-4615	4187	18701	29833	40140	-	-
99,78	-0,111	50,068	50,712	47,948	-0,078	-4245	3479	18620	30550	41924	-	-
99,23	-0,115	50,068	50,714	47,944	-0,077	-4045	3248	19230	31564	43427	-	-
99,60	-0,111	50,072	50,714	47,950	-0,071	-4102	3003	20153	32808	44635	-	-
100,08	-0,179	50,074	50,719	47,953	-0,098	-4045	3104	20953	33958	45460	-	-
100,51	-0,175	50,070	50,717	47,953	-0,103	-3675	3133	21767	34986	46138	-	-
100,88	-0,181	50,072	50,717	47,948	-0,103	-3547	3176	22458	35986	46772	-	-
101,25	-0,181	50,072	50,719	47,946	-0,102	-3490	3219	23069	36879	47420	-	-
101,37	-0,183	50,078	50,721	47,953	-0,105	-2720	3219	23584	37771	48128	-	-
101,56	-0,185	50,074	50,717	47,950	-0,107	-912	8762	24017	38516	48864	-	-
101,74	-0,175	50,070	50,716	47,948	-0,110	-669	12242	5330	19975	49616	-	-
102,11	-0,177	50,074	50,721	47,946	-0,112	-869	12343	5587	-11076	-3596	-	-

RESULTADOS EXPERIMENTAIS — VIGA V1_B

CARGA [kN]	LVDT # 2 [mm] apoio	LVDT # 3 [mm] carga	LVDT # 4 [mm] central	LVDT # 5 [mm] carga	LVDT # 6 [mm] apoio	TRD-1 [x10 ⁻⁶]	TRD-2 [x10 ⁻⁶]	TRD-3 [x10 ⁻⁶]	TRD-4 [x10 ⁻⁶]	TRD-5 [x10 ⁻⁶]	ε _{S3A} [x10 ⁻⁶]	ε _{S3B} [x10 ⁻⁶]
0,00	0,009	-24,866	-23,138	-25,949	0,012	-14	14	14	14	15	1	1
9,09	0,011	-24,362	-22,592	-25,488	0,005	-43	-43	14	41	133	106	92
16,95	0,009	-23,728	-21,876	-24,923	-0,002	-185	-43	203	514	840	556	589
22,29	0,006	-23,000	-21,076	-24,310	-0,007	-271	14	597	1136	1591	930	929
26,96	0,000	-22,267	-20,255	-23,610	-0,012	-328	144	936	1677	2181	1242	1208
31,93	0,006	-21,513	-19,422	-22,895	-0,011	-399	217	1207	2083	2682	1528	1476
37,27	0,006	-20,739	-18,572	-22,179	-0,041	-484	318	1410	2502	3198	1836	1763
42,37	0,004	-19,965	-17,725	-21,469	-0,036	-527	390	1654	2894	3728	2147	2060
47,22	-0,002	-19,211	-16,905	-20,783	-0,037	-584	476	1912	3340	4200	2459	2361
51,82	0,000	-18,431	-16,057	-20,066	-0,053	-655	549	2143	3705	4671	2779	2690
55,88	0,000	-17,662	-15,214	-19,355	-0,055	-684	650	2414	4111	5143	3118	3055
59,50	-0,013	-16,890	-14,371	-18,657	-0,059	-769	722	2712	4544	5659	3489	3472
63,00	-0,009	-16,103	-13,508	-17,940	-0,055	-798	852	2997	4990	6160	3900	3980
66,31	-0,025	-15,300	-12,630	-17,217	-0,055	-869	953	3295	5464	6734	4364	4601
69,14	-0,023	-14,494	-11,740	-16,485	-0,055	-954	1054	3621	5964	7338	4895	5344
71,66	-0,023	-13,672	-10,830	-15,738	-0,055	-1011	1169	3933	6518	8031	5513	6190

73,87	-0,025	-12,882	-9,943	-15,017	-0,057	-1054	1299	4285	7086	8738	6187	3896
75,89	-0,025	-12,054	-9,000	-14,266	-0,105	-1154	1429	4679	7681	9475	6918	6331
77,61	-0,058	-11,218	-8,049	-13,500	-0,105	-1196	1559	5045	8303	10271	7691	-
79,21	-0,060	-10,382	-7,098	-12,747	-0,107	-1268	1675	5425	8953	11067	8485	7379
80,68	-0,060	-9,540	-6,136	-11,992	-0,105	-1325	1819	5831	9588	11862	9285	6282
81,85	-0,062	-8,696	-5,178	-11,232	-0,105	-1410	1934	6184	10210	12658	10091	-2532
83,08	-0,064	-7,858	-4,212	-10,481	-0,107	-1467	2079	6604	10846	13439	10215	-9469
83,88	-0,060	-6,997	-3,246	-9,720	-0,109	-1524	2266	6971	11495	14249	10361	-
84,61	-0,062	-6,170	-2,312	-8,977	-0,110	-1581	2368	7336	12117	14986	9011	-
85,53	-0,057	-5,295	-1,337	-8,183	-0,112	-1595	2526	7730	12739	15752	6217	-
86,33	-0,057	-4,435	-0,365	-7,393	-0,110	-1638	2656	8123	13348	16533	5346	-
87,19	-0,060	-3,556	0,615	-6,590	-0,114	-1695	2772	8476	13970	17255	5172	-
87,93	-0,081	-2,703	1,590	-5,798	-0,121	-1723	2887	8855	14579	17992	5079	-
88,54	-0,081	-1,868	2,560	-4,994	-0,125	-1695	3060	9235	15201	18729	5024	-
89,22	-0,083	-1,021	3,548	-4,182	-0,125	-1738	3205	9628	15795	19436	4995	-
89,89	-0,115	-0,213	4,492	-3,413	-0,125	-1766	3291	9981	16350	20114	4978	-
90,51	-0,113	0,632	5,478	-2,598	-0,126	-1823	3407	10334	16958	20778	4967	-
91,06	-0,117	1,480	6,462	-1,779	-0,125	-1837	3551	10686	17499	21440	4962	-
91,67	-0,142	2,323	7,454	-0,963	-0,128	-1909	3667	11066	18081	22118	4970	-
92,10	-0,143	3,159	8,433	-0,142	-0,130	-1923	3797	11432	18663	22811	4975	-
92,78	-0,143	4,004	9,412	0,646	-0,130	-1980	3912	11785	19258	23474	4985	-
93,27	-0,043	4,849	10,387	1,451	-0,126	-2037	4013	12151	19852	24137	4995	-
94,07	-0,040	5,687	11,362	2,261	-0,132	-2065	4129	12490	20434	24830	5019	-
93,95	-0,043	6,519	12,298	3,021	-0,130	-2122	4244	12843	20989	25478	5025	-
94,62	-0,038	7,368	13,271	3,850	-0,132	-2151	4317	13195	21543	26127	5033	-
94,87	-0,038	8,207	14,250	4,674	-0,132	-2222	4475	13521	22138	26819	5047	-
95,05	-0,040	9,038	15,221	5,505	-0,135	-2265	4576	13887	22706	27482	5066	-
95,48	-0,038	9,877	16,204	6,333	-0,134	-2307	4706	14240	23261	28175	5072	-
95,97	-0,036	10,729	17,188	7,159	-0,132	-2350	4807	14551	23815	28809	5086	-
96,40	-0,038	11,565	18,165	7,979	-0,135	-2407	4894	14918	24383	29472	5100	-
96,77	-0,034	12,397	19,153	8,805	-0,135	-2421	5024	15230	24924	30150	5103	-
97,08	-0,030	13,203	20,093	9,601	-0,132	-2478	5125	15528	25452	30798	5098	-
97,45	-0,030	14,047	21,081	10,422	-0,135	-2478	5226	15880	26033	31461	5100	-
97,75	-0,032	14,886	22,066	11,255	-0,135	-2507	5284	16220	26547	32124	5100	-
98,12	-0,028	15,737	23,050	12,078	-0,139	-2578	5428	16532	27155	32773	5106	-
98,55	-0,026	16,584	24,042	12,902	-0,137	-2578	5500	16884	27724	33480	5109	-
98,98	-0,026	17,431	25,023	13,729	-0,137	-2592	5630	17223	28305	34172	5122	-
99,41	-0,023	18,286	26,005	14,548	-0,139	-2564	5717	17576	28887	34880	5136	-
99,66	-0,023	19,095	26,951	15,340	-0,139	-2550	5803	17901	29441	35587	5145	-
100,20	-0,021	19,950	27,941	16,175	-0,141	-2493	5919	18241	30022	36280	5149	-
100,45	-0,017	20,804	28,925	17,008	-0,139	-2450	6006	18566	30618	36987	5158	-
100,70	-0,025	21,661	29,925	17,851	-0,141	-2379	6135	18932	31212	37695	5166	-
101,06	-0,021	22,510	30,924	18,695	-0,139	-2293	6236	19271	31794	38431	5175	-
101,37	-0,021	23,359	31,931	19,536	-0,143	-2236	6337	19596	32403	39139	5182	-
101,74	-0,019	24,200	32,928	20,384	-0,144	-2122	6438	19936	32984	39846	5210	-
101,92	-0,019	25,036	33,941	21,238	-0,141	-2008	6539	20234	33538	40553	5227	-
102,17	-0,017	25,846	34,920	22,094	-0,143	-1909	6626	20560	34053	41187	5243	-
102,35	-0,013	26,676	35,921	22,968	-0,146	-1752	6684	20817	34553	41806	5253	-
102,48	-0,023	27,504	36,915	23,843	-0,144	-1609	6756	21088	35067	42439	5261	-
102,60	-0,015	28,331	37,903	24,743	-0,144	-1439	6800	21319	35499	42999	5268	-
102,66	-0,015	29,167	38,889	25,637	-0,143	-1282	6828	21508	35878	43544	5275	-
102,35	-0,023	29,999	39,879	26,519	-0,146	-1296	6539	21563	36149	43972	5275	-
101,92	-0,017	30,827	40,925	27,418	-0,143	-1040	6294	21441	36230	44252	5272	-
99,72	-0,006	31,629	42,057	28,397	-0,144	-328	5443	20803	35973	44547	5185	-
99,84	-0,013	32,392	43,118	29,260	-0,146	-85	5212	20831	36284	45092	5282	-
99,96	-0,011	33,204	44,223	30,133	-0,150	128	5154	21102	37014	46050	5367	-
100,20	-0,006	34,031	45,325	31,002	-0,151	342	5168	21550	37934	47302	5416	-
100,02	-0,006	34,878	46,494	31,895	-0,153	527	5009	21875	38813	48526	5402	-
97,81	-0,006	35,766	47,859	32,787	-0,153	1752	4085	21346	38772	48938	5446	-
97,88	-0,002	36,594	49,058	33,705	-0,151	2863	3912	21482	39178	49586	5544	-
98,37	0,002	37,415	50,216	34,676	-0,153	3960	3797	21739	39841	50515	5663	-
98,74	0,004	38,193	51,279	35,657	-0,159	4828	3768	22132	40706	51679	5751	-
99,23	0,009	38,999	52,364	36,814	-0,164	5797	3768	22580	41680	52990	5813	-
99,53	0,004	39,796	53,397	37,825	-0,159	6751	3753	23069	42694	54316	5855	-
99,78	0,008	40,594	54,353	38,647	-0,160	7819	3739	23516	43641	55599	-	-
100,14	0,002	41,389	55,190	40,167	-0,159	8817	3696	23936	44534	56763	-	-
100,39	0,008	42,197	55,886	42,123	-0,162	9614	3710	24343	45399	57868	-	-
100,57	0,006	43,010	56,423	44,224	-0,157	10340	3710	24655	46102	58826	-	-
100,45	0,009	43,844	56,811	46,120	-0,157	11095	3696	24791	46548	59474	-	-
100,70	0,008	44,637	57,034	57,516	-0,159	11850	3652	24912	46968	60078	-	-

101,00	0,008	45,466	57,165	57,515	-0,159	12577	3652	25129	47482	60785	-	-
101,06	0,009	46,305	57,213	57,515	-0,166	13317	3595	25347	48050	61567	-	-
101,19	0,011	47,130	57,215	57,516	-0,167	13987	3595	25523	48510	62229	-	-
101,43	0,002	47,964	57,215	57,516	-0,173	14500	3595	25686	48996	62920	-	-
101,49	0,008	48,796	57,215	57,515	-0,171	15027	3580	25903	49496	63641	-	-
101,56	0,009	49,604	57,215	57,516	-0,171	15525	3551	26066	50051	64381	-	-
101,74	0,013	50,402	57,217	57,515	-0,169	15995	3566	26336	50605	65146	-	-
101,86	0,006	51,156	57,213	57,516	-0,171	16465	3580	26526	51174	65911	-	-
101,98	0,006	51,919	57,215	57,515	-0,171	16963	3652	26771	51782	66694	-	-
102,11	-0,004	52,647	57,226	57,520	-0,173	17590	3710	27042	52377	67534	-	-
102,17	-0,006	53,369	57,225	57,522	-0,176	18345	3768	27259	52959	62112	-	-
102,29	-0,002	54,057	57,225	57,520	-0,180	19356	3840	27503	53594	41364	-	-
102,29	-0,002	54,705	57,225	57,520	-0,180	20354	3898	27761	54162	-7913	-	-
102,41	-0,004	55,294	57,226	57,518	-0,178	21265	4028	27747	54649	-9888	-	-
102,48	-0,004	55,781	57,226	57,524	-0,180	22148	4187	28032	55312	-8031	-	-

RESULTADOS EXPERIMENTAIS — VIGA V2_A

CARGA [kN]	LVDT # 2 [mm] apoio	LVDT # 3 [mm] carga	LVDT # 4 [mm] central	LVDT # 5 [mm] carga	LVDT # 6 [mm] apoio	TRD-1 [x10 ⁻⁶]	TRD-2 [x10 ⁻⁶]	TRD-3 [x10 ⁻⁶]	TRD-4 [x10 ⁻⁶]	TRD-5 [x10 ⁻⁶]	ε _{S3A} [x10 ⁻⁶]	ε _{S3B} [x10 ⁻⁶]	ε _{F12} [x10 ⁻⁶]
0,00	0,006	-43,807	-48,340	-33,103	0,005	14	14	0	0	29	1	1	1
2,27	0,006	-43,682	-48,217	-32,987	0,002	-28	-14	0	-14	0	6	5	6
3,87	0,009	-43,529	-48,066	-32,852	0,000	-43	-29	-14	27	44	14	12	14
5,65	0,011	-43,391	-47,938	-32,739	0,002	-43	-14	0	27	29	22	18	22
7,43	0,013	-43,258	-47,807	-32,629	0,000	-43	-43	0	27	88	35	26	31
9,21	0,013	-43,120	-47,671	-32,504	0,002	-57	-14	0	27	59	50	34	42
11,18	0,013	-42,973	-47,524	-32,375	0,002	-85	-43	-27	54	133	67	45	53
13,32	0,015	-42,831	-47,373	-32,241	0,000	-85	-58	14	68	177	88	59	70
15,60	0,013	-42,691	-47,223	-32,110	-0,004	-114	-43	0	68	206	116	77	89
17,81	0,013	-42,548	-47,069	-31,982	-0,002	-128	-58	-14	149	265	154	98	111
20,14	0,013	-42,400	-46,912	-31,853	-0,005	-171	-58	41	176	324	200	130	141
22,10	0,015	-42,251	-46,763	-31,726	-0,004	-171	-72	41	230	413	246	173	178
24,07	0,017	-42,092	-46,591	-31,593	-0,005	-185	-101	68	311	472	297	261	234
25,73	0,013	-41,930	-46,416	-31,449	-0,007	-271	-101	108	379	589	341	312	280
27,20	0,013	-41,775	-46,252	-31,325	-0,007	-256	-87	136	433	678	377	356	322
28,43	0,011	-41,624	-46,090	-31,192	-0,009	-271	-115	176	487	752	410	398	363
29,90	0,011	-41,464	-45,916	-31,055	-0,009	-313	-115	176	514	810	440	443	402
31,13	0,013	-41,299	-45,739	-30,910	-0,011	-313	-115	217	541	884	479	485	445
32,24	0,013	-41,141	-45,570	-30,769	-0,011	-342	-130	258	554	1002	524	524	489
33,71	0,009	-40,979	-45,398	-30,634	-0,011	-356	-87	366	514	1149	578	572	546
34,88	0,015	-40,818	-45,225	-30,489	-0,009	-370	-115	448	487	1297	628	624	597
36,29	0,011	-40,656	-45,046	-30,341	-0,012	-399	-87	556	460	1415	684	677	650
37,58	0,013	-40,503	-44,882	-30,201	-0,007	-385	-72	637	433	1533	738	727	701
38,87	0,013	-40,337	-44,706	-30,057	-0,011	-399	-72	705	446	1680	794	778	751
40,16	0,015	-40,173	-44,533	-29,911	-0,007	-427	-87	787	433	1768	843	825	798
41,45	0,013	-40,014	-44,361	-29,769	-0,011	-427	-72	841	446	1871	890	870	839
42,61	0,015	-39,855	-44,190	-29,624	-0,012	-470	-58	895	446	1960	936	914	879
43,96	-0,002	-39,687	-44,018	-29,483	-0,016	-470	-29	963	433	2034	981	959	919
45,44	-0,006	-39,527	-43,851	-29,341	-0,012	-484	-43	963	392	2166	1028	1002	961
46,67	-0,004	-39,363	-43,675	-29,201	-0,012	-484	0	1017	392	2225	1074	1047	1007
48,02	-0,008	-39,201	-43,502	-29,057	-0,014	-513	-29	1085	379	2314	1121	1093	1052
49,37	-0,008	-39,033	-43,332	-28,915	-0,012	-513	-14	1098	352	2417	1166	1137	1099
50,60	-0,017	-38,870	-43,157	-28,773	-0,011	-541	0	1153	352	2476	1214	1179	1159
51,82	-0,013	-38,706	-42,987	-28,631	-0,016	-541	0	1180	338	2608	1261	1229	1232
53,11	-0,013	-38,542	-42,818	-28,492	-0,020	-570	0	1248	338	2667	1311	1277	1311
54,46	-0,023	-38,376	-42,648	-28,358	-0,023	-584	0	1275	270	2800	1360	1327	1402
55,88	-0,021	-38,208	-42,475	-28,215	-0,023	-612	0	1315	243	2918	1412	1379	1491
57,04	-0,028	-38,044	-42,297	-28,077	-0,023	-612	29	1383	230	2962	1463	1435	1577
58,21	-0,028	-37,874	-42,124	-27,933	-0,020	-612	29	1397	216	3050	1514	1492	1658
59,62	-0,028	-37,704	-41,954	-27,795	-0,025	-641	58	1465	189	3153	1563	1542	1728

61,03	-0,038	-37,536	-41,781	-27,649	-0,018	-669	43	1492	122	3242	1613	1594	1794
62,26	-0,036	-37,368	-41,604	-27,509	-0,016	-684	29	1519	108	3330	1664	1642	1857
63,49	-0,038	-37,200	-41,434	-27,365	-0,016	-698	58	1587	81	3433	1711	1689	1916
64,78	-0,036	-37,031	-41,259	-27,219	-0,023	-712	58	1614	41	3507	1761	1738	1974
66,01	-0,047	-36,865	-41,091	-27,081	-0,053	-712	58	1654	27	3596	1810	1784	2033
67,30	-0,047	-36,693	-40,918	-26,937	-0,053	-726	72	1682	27	3699	1860	1831	2090
68,46	-0,047	-36,521	-40,744	-26,793	-0,053	-755	72	1736	-14	3772	1911	1879	2146
69,75	-0,049	-36,352	-40,573	-26,651	-0,053	-755	87	1790	-81	3861	1962	1926	2204
70,98	-0,043	-36,184	-40,399	-26,512	-0,055	-769	87	1817	-95	3964	2013	1973	2261
72,33	-0,049	-36,014	-40,232	-26,368	-0,048	-783	101	1844	-95	4067	2064	2019	2317
73,50	-0,045	-35,842	-40,054	-26,230	-0,050	-840	130	1926	-122	4126	2117	2067	2374
74,73	-0,057	-35,672	-39,887	-26,086	-0,048	-812	130	1953	-149	4244	2169	2115	2433
75,96	-0,058	-35,499	-39,715	-25,944	-0,053	-826	115	1966	-176	4332	2223	2163	2495
77,12	-0,058	-35,327	-39,544	-25,804	-0,052	-840	130	2007	-189	4436	2276	2210	2551
78,23	-0,060	-35,150	-39,370	-25,658	-0,055	-883	130	2061	-257	4509	2329	2257	2607
79,46	-0,060	-34,986	-39,197	-25,512	-0,053	-869	115	2102	-298	4627	2385	2304	2663
80,56	-0,064	-34,816	-39,027	-25,369	-0,052	-883	144	2156	-325	4686	2438	2350	2718
81,79	-0,068	-34,643	-38,854	-25,223	-0,055	-912	130	2170	-365	4789	2491	2394	2770
83,02	-0,066	-34,471	-38,678	-25,084	-0,052	-897	188	2224	-419	4892	2546	2440	2824
83,88	-0,066	-34,301	-38,512	-24,942	-0,050	-940	159	2251	-460	4981	2600	2485	2875
85,04	-0,062	-34,133	-38,348	-24,804	-0,053	-940	188	2278	-487	5084	2654	2528	2923
86,09	-0,064	-33,965	-38,186	-24,671	-0,066	-969	188	2333	-514	5158	2708	2572	2973
87,13	-0,064	-33,794	-38,018	-24,532	-0,064	-954	173	2373	-527	5261	2765	2618	3025
88,24	-0,062	-33,628	-37,851	-24,394	-0,064	-1011	202	2414	-541	5364	2823	2664	3076
89,28	-0,077	-33,458	-37,683	-24,257	-0,064	-997	202	2468	-581	5452	2882	2711	3127
90,38	-0,074	-33,290	-37,515	-24,122	-0,064	-997	231	2482	-622	5541	2943	2758	3176
91,43	-0,077	-33,122	-37,347	-23,985	-0,064	-1011	217	2550	-622	5629	3004	2806	3228
92,47	-0,077	-32,954	-37,172	-23,843	-0,066	-1040	202	2563	-690	5718	3067	2855	3279
93,52	-0,074	-32,790	-37,002	-23,705	-0,066	-1054	245	2604	-717	5850	3131	2904	3331
94,62	-0,077	-32,622	-36,834	-23,570	-0,064	-1054	245	2658	-744	5953	3195	2953	3384
95,67	-0,077	-32,454	-36,663	-23,431	-0,066	-1054	260	2699	-771	6056	3261	3001	3434
96,59	-0,077	-32,286	-36,493	-23,293	-0,071	-1097	260	2739	-825	6145	3327	3050	3485
97,51	-0,079	-32,124	-36,322	-23,158	-0,073	-1111	260	2767	-852	6248	3394	3099	3533
98,43	-0,075	-31,958	-36,150	-23,016	-0,075	-1139	274	2834	-879	6380	3464	3152	3573
99,53	-0,075	-31,788	-35,979	-22,877	-0,073	-1139	303	2862	-893	6483	3538	3204	3622
100,33	-0,077	-31,627	-35,807	-22,740	-0,069	-1139	303	2929	-920	6558	3612	3255	3672
101,31	-0,077	-31,460	-35,634	-22,598	-0,071	-1154	289	2970	-960	6646	3686	3305	3722
102,11	-0,077	-31,295	-35,458	-22,460	-0,071	-1182	332	2997	-974	6749	3763	3357	3774
103,15	-0,077	-31,127	-35,285	-22,318	-0,080	-1196	318	3038	-987	6881	3841	3410	3826
103,89	-0,077	-30,956	-35,119	-22,179	-0,077	-1225	346	3092	-1055	6970	3920	3463	3878
104,63	-0,077	-30,786	-34,944	-22,035	-0,078	-1211	361	3119	-1068	7058	4000	3515	3928
105,55	-0,075	-30,614	-34,765	-21,891	-0,080	-1225	361	3187	-1068	7146	4080	3566	3978
106,34	-0,072	-30,441	-34,590	-21,751	-0,078	-1268	346	3241	-1109	7250	4160	3618	4027
107,08	-0,072	-30,271	-34,411	-21,607	-0,080	-1253	361	3228	-1136	7368	4242	3671	4076
107,94	-0,098	-30,099	-34,233	-21,467	-0,078	-1268	346	3295	-1150	7427	4326	3726	4126
108,68	-0,096	-29,922	-34,053	-21,312	-0,078	-1268	390	3323	-1150	7515	4413	3782	4177
109,54	-0,096	-29,751	-33,875	-21,174	-0,080	-1296	404	3377	-1190	7633	4498	3837	4227
110,27	-0,096	-29,583	-33,702	-21,035	-0,086	-1310	404	3390	-1177	7722	4585	3892	4276
110,95	-0,096	-29,409	-33,525	-20,892	-0,087	-1325	404	3431	-1204	7824	4672	3948	4292
111,56	-0,098	-29,237	-33,346	-20,749	-0,086	-1353	419	3499	-1231	7913	4763	4005	4337
112,42	-0,098	-29,068	-33,174	-20,613	-0,086	-1353	404	3512	-1271	8016	4849	4057	4385
112,98	-0,096	-28,898	-32,997	-20,467	-0,084	-1367	404	3567	-1271	8119	4935	4112	4434
113,59	-0,094	-28,730	-32,818	-20,323	-0,086	-1410	462	3594	-1312	8222	5020	4165	4483
114,27	-0,098	-28,562	-32,647	-20,178	-0,082	-1410	448	3635	-1325	8311	5106	4219	4530
115,00	-0,098	-28,392	-32,468	-20,034	-0,086	-1410	448	3675	-1393	8414	5193	4275	4577
115,68	-0,096	-28,226	-32,289	-19,888	-0,084	-1453	448	3716	-1406	8502	5280	4330	4626
116,35	-0,096	-28,053	-32,112	-19,746	-0,086	-1453	462	3757	-1447	8620	5367	4386	4674
116,72	-0,098	-27,879	-31,936	-19,599	-0,084	-1467	476	3797	-1501	8709	5456	4445	4713
117,46	-0,096	-27,711	-31,759	-19,455	-0,082	-1481	476	3838	-1501	8812	5546	4503	4764
75,46	-0,098	-26,114	-31,179	-17,480	-0,062	-1353	1112	4733	-2421	10433	7273	5589	-24
76,57	-0,094	-25,958	-31,002	-17,354	-0,064	-1367	1126	4855	-2488	10639	7404	5692	-20

RESULTADOS EXPERIMENTAIS — VIGA V2_B

CARGA [kN]	LVDT # 2 [mm] apoio	LVDT # 3 [mm] carga	LVDT # 4 [mm] central	LVDT # 5 [mm] carga	LVDT # 6 [mm] apoio	TRD-1 [x10 ⁻⁶]	TRD-2 [x10 ⁻⁶]	TRD-3 [x10 ⁻⁶]	TRD-4 [x10 ⁻⁶]	TRD-5 [x10 ⁻⁶]	ε _{S1A} [x10 ⁻⁶]	ε _{S1B} [x10 ⁻⁶]	ε _{S2A} [x10 ⁻⁶]	ε _{S2B} [x10 ⁻⁶]	ε _{S3A} [x10 ⁻⁶]	ε _{S3B} [x10 ⁻⁶]
0,00	0,000	-47,010	-42,275	-41,586	-0,004	0	0	14	-14	15	1	1	1	2	2	2
1,17	-0,004	-46,861	-42,117	-41,435	-0,004	-14	-14	-14	-14	-29	2	2	5	7	7	7
3,13	0,000	-46,671	-41,921	-41,272	-0,005	-28	-14	-27	-14	15	3	4	13	12	15	15
4,97	0,000	-46,527	-41,766	-41,121	-0,005	-57	-14	-14	0	29	3	5	19	18	24	23
6,75	-0,002	-46,455	-41,680	-41,041	-0,009	-43	-29	-14	14	29	4	6	25	25	33	33
8,96	-0,002	-46,363	-41,580	-40,945	-0,011	-57	-29	-14	27	59	6	7	33	34	50	46
11,61	-0,002	-46,266	-41,473	-40,844	-0,012	-71	-58	0	27	88	7	9	42	45	71	65
14,06	0,000	-46,154	-41,354	-40,741	-0,014	-71	-58	-14	27	133	8	10	51	56	98	85
16,09	0,002	-46,065	-41,251	-40,647	-0,014	-71	-29	-14	41	133	10	11	60	67	118	100
18,48	0,002	-45,940	-41,113	-40,533	-0,016	-100	-58	-27	54	162	10	12	116	93	162	124
20,69	0,000	-45,820	-40,981	-40,420	-0,018	-114	-43	0	95	206	11	13	152	121	228	176
22,72	-0,002	-45,693	-40,843	-40,301	-0,018	-142	-72	27	135	280	12	14	212	199	298	231
24,01	0,000	-45,579	-40,726	-40,205	-0,020	-157	-58	41	162	339	14	14	282	299	350	276
25,54	0,002	-45,438	-40,575	-40,089	-0,023	-157	-72	27	176	383	15	15	393	394	398	319
26,89	-0,002	-45,298	-40,429	-39,967	-0,021	-171	-58	54	257	472	15	16	449	444	445	375
28,00	0,002	-45,152	-40,267	-39,842	-0,025	-185	-43	122	379	560	16	17	498	482	497	443
29,10	0,000	-45,033	-40,140	-39,739	-0,027	-214	-29	163	433	663	16	17	538	521	545	492
30,27	0,000	-44,887	-39,980	-39,604	-0,025	-228	-58	231	527	781	17	19	589	571	599	554
31,68	-0,004	-44,742	-39,821	-39,471	-0,027	-256	-58	298	581	869	17	18	640	624	658	615
32,97	-0,006	-44,585	-39,659	-39,336	-0,030	-228	-29	325	649	943	18	19	687	671	708	670
33,96	0,000	-44,445	-39,534	-39,230	-0,029	-271	-43	366	717	1046	19	20	723	707	745	714
35,31	-0,004	-44,303	-39,372	-39,097	-0,030	-285	-29	407	784	1149	20	21	766	754	791	765
36,78	-0,002	-44,162	-39,214	-38,965	-0,030	-299	-14	448	852	1223	21	21	813	800	839	815
38,07	-0,004	-43,997	-39,051	-38,828	-0,030	-342	-29	488	893	1282	22	21	853	842	884	864
39,24	-0,002	-43,885	-38,926	-38,724	-0,030	-342	0	515	960	1341	22	22	884	876	920	903
40,59	-0,004	-43,745	-38,768	-38,592	-0,029	-356	0	556	1028	1415	22	23	926	915	968	952
41,88	-0,004	-43,583	-38,611	-38,457	-0,029	-356	0	597	1082	1488	23	23	967	954	1013	1000
42,98	-0,002	-43,471	-38,488	-38,351	-0,029	-370	-14	637	1136	1562	23	23	1000	986	1048	1037
44,27	0,000	-43,314	-38,326	-38,214	-0,030	-385	-14	651	1190	1621	24	25	1040	1025	1093	1083
45,81	-0,002	-43,169	-38,168	-38,079	-0,030	-413	-14	692	1258	1724	24	25	1079	1065	1139	1131
47,10	-0,002	-43,018	-38,005	-37,944	-0,029	-413	-14	732	1352	1827	25	25	1119	1106	1190	1196
48,08	-0,006	-42,902	-37,873	-37,834	-0,030	-442	14	773	1406	1901	25	26	1148	1139	1228	1237
49,49	-0,002	-42,747	-37,716	-37,704	-0,029	-442	43	814	1474	1989	26	27	1182	1183	1274	1291
50,78	-0,002	-42,596	-37,558	-37,573	-0,029	-456	14	854	1542	2078	26	27	1221	1226	1319	1342
52,13	-0,002	-42,438	-37,394	-37,440	-0,025	-470	29	909	1623	2137	27	28	1259	1268	1366	1392
53,11	-0,002	-42,314	-37,274	-37,331	-0,030	-484	43	909	1677	2225	28	28	1292	1302	1404	1433
54,53	-0,004	-42,156	-37,109	-37,198	-0,032	-513	58	963	1745	2314	28	29	1332	1344	1451	1484
55,82	-0,004	-42,003	-36,943	-37,060	-0,034	-513	58	1004	1785	2387	29	29	1373	1385	1497	1535
57,10	-0,002	-41,850	-36,782	-36,926	-0,032	-513	72	1071	1853	2505	29	30	1413	1428	1549	1597
58,27	-0,004	-41,721	-36,650	-36,811	-0,032	-513	87	1085	1934	2594	31	31	1445	1461	1587	1641
59,50	-0,047	-41,564	-36,482	-36,669	-0,032	-527	58	1112	2029	2652	30	31	1487	1506	1636	1695
60,91	-0,045	-41,410	-36,312	-36,529	-0,032	-541	87	1180	2083	2741	30	32	1530	1549	1686	1749
62,14	-0,043	-41,251	-36,145	-36,390	-0,030	-570	87	1221	2150	2800	31	32	1574	1588	1734	1799
63,24	-0,045	-41,126	-36,018	-36,276	-0,062	-584	72	1234	2191	2888	31	33	1611	1625	1772	1841
64,41	-0,045	-40,962	-35,843	-36,133	-0,059	-598	43	1261	2245	2962	32	33	1660	1673	1820	1891
65,82	-0,045	-40,799	-35,675	-35,989	-0,057	-598	72	1288	2313	3036	31	34	1705	1719	1868	1940
66,99	-0,045	-40,643	-35,505	-35,845	-0,059	-612	101	1329	2367	3095	33	34	1749	1766	1918	1989
67,97	-0,045	-40,518	-35,371	-35,726	-0,061	-641	87	1356	2421	3153	33	34	1784	1802	1956	2029
69,20	-0,043	-40,355	-35,196	-35,578	-0,066	-612	87	1383	2475	3227	33	34	1832	1849	2005	2079
70,55	-0,045	-40,195	-35,026	-35,431	-0,066	-641	87	1424	2515	3330	34	34	1877	1896	2055	2128
71,53	-0,043	-40,064	-34,884	-35,312	-0,066	-655	72	1424	2569	3389	34	35	1913	1934	2096	2167
72,76	-0,083	-39,906	-34,713	-35,165	-0,059	-669	87	1451	2624	3433	35	36	1957	1980	2146	2216
74,05	-0,092	-39,745	-34,537	-35,012	-0,059	-698	101	1451	2678	3507	35	37	2002	2028	2195	2265
75,34	-0,091	-39,587	-34,366	-34,864	-0,061	-698	87	1532	2718	3610	35	38	2048	2077	2244	2314
76,26	-0,091	-39,464	-34,233	-34,742	-0,066	-712	87	1546	2745	3654	35	38	2086	2116	2285	2353
77,55	-0,091	-39,301	-34,056	-34,593	-0,064	-741	101	1560	2813	3713	35	38	2132	2166	2337	2403
78,72	-0,109	-39,139	-33,879	-34,442	-0,066	-755	115	1587	2867	3787	35	40	2182	2217	2389	2452
80,01	-0,109	-38,978	-33,706	-34,296	-0,066	-769	115	1641	2908	3861	37	41	2230	2269	2439	2502
80,81	-0,108	-38,850	-33,566	-34,175	-0,068	-783	115	1641	2962	3905	35	41	2271	2310	2482	2543
82,10	-0,111	-38,689	-33,394	-34,024	-0,066	-812	115	1695	3002	4008	37	42	2321	2363	2535	2594
83,26	-0,108	-38,520	-33,214	-33,874	-0,064	-812	130	1709	3070	4067	38	44	2373	2417	2586	2646

84,43	-0,125	-38,357	-33,048	-33,726	-0,066	-826	115	1749	3137	4141	37	44	2425	2471	2641	2700
85,41	-0,125	-38,228	-32,906	-33,605	-0,064	-826	87	1749	3178	4229	38	45	2466	2511	2686	2744
86,58	-0,121	-38,064	-32,733	-33,456	-0,069	-840	101	1817	3246	4288	39	47	2518	2565	2742	2800
87,74	-0,125	-37,900	-32,557	-33,307	-0,087	-855	115	1817	3313	4391	40	48	2570	2619	2798	2854
88,85	-0,125	-37,736	-32,384	-33,160	-0,089	-855	115	1844	3354	4450	41	49	2622	2672	2855	2909
89,83	-0,121	-37,605	-32,238	-33,041	-0,094	-883	101	1885	3408	4494	42	50	2665	2713	2900	2953
90,81	-0,123	-37,443	-32,063	-32,888	-0,096	-883	115	1926	3462	4612	44	53	2719	2767	2958	3010
91,86	-0,123	-37,275	-31,888	-32,739	-0,094	-912	130	1953	3516	4686	44	55	2774	2821	3016	3066
92,96	-0,125	-37,107	-31,713	-32,586	-0,094	-926	115	1994	3570	4745	46	57	2828	2873	3072	3122
93,82	-0,121	-36,978	-31,573	-32,465	-0,100	-940	130	1994	3597	4833	48	59	2871	2918	3118	3168
94,87	-0,123	-36,814	-31,401	-32,314	-0,102	-954	115	2034	3665	4863	50	62	2928	2973	3177	3224
95,85	-0,147	-36,643	-31,224	-32,163	-0,100	-969	101	2088	3746	5010	53	66	2989	3034	3233	3282
96,83	-0,153	-36,475	-31,047	-32,012	-0,103	-969	101	2088	3787	5054	55	69	3051	3093	3293	3342
97,63	-0,145	-36,338	-30,907	-31,888	-0,100	-997	115	2143	3827	5128	56	72	3102	3143	3343	3391
98,61	-0,177	-36,169	-30,730	-31,726	-0,103	-1011	115	2183	3881	5202	60	75	3164	3203	3404	3451
99,66	-0,179	-35,995	-30,555	-31,570	-0,102	-1025	130	2197	3976	5290	63	82	3230	3266	3470	3517
100,63	-0,177	-35,861	-30,409	-31,444	-0,100	-1054	130	2238	4017	5349	65	88	3285	3318	3523	3570
101,43	-0,196	-35,689	-30,234	-31,290	-0,098	-1054	115	2265	4071	5452	68	93	3354	3382	3589	3634
102,41	-0,209	-35,518	-30,055	-31,139	-0,098	-1082	144	2319	4165	5541	73	99	3431	3453	3655	3702
103,15	-0,232	-35,337	-29,869	-30,982	-0,100	-1040	130	2346	4192	5585	80	107	3511	3522	3721	3769
103,89	-0,232	-35,206	-29,729	-30,862	-0,100	-1068	130	2387	4206	5688	84	115	3577	3581	3775	3824
104,87	-0,234	-35,032	-29,557	-30,711	-0,100	-1082	144	2414	4301	5762	91	123	3663	3657	3844	3895
105,73	-0,230	-34,857	-29,382	-30,556	-0,102	-1097	144	2414	4382	5865	107	134	3752	3737	3915	3967
106,71	-0,228	-34,684	-29,211	-30,407	-0,100	-1111	144	2468	4449	5924	179	169	3851	3826	3986	4041
107,33	-0,228	-34,540	-29,067	-30,286	-0,098	-1139	159	2509	4490	5998	213	203	3937	3903	4044	4101
108,13	-0,226	-34,365	-28,888	-30,137	-0,102	-1139	130	2550	4557	6071	275	272	4041	3998	4114	4175
109,05	-0,225	-34,187	-28,718	-29,988	-0,102	-1168	130	2577	4625	6174	331	343	4143	4088	4186	4253
109,11	-0,230	-33,997	-28,550	-29,855	-0,100	-1154	130	2604	4639	6233	782	972	4197	4136	4228	4300
109,97	-0,230	-33,855	-28,414	-29,734	-0,100	-1168	144	2617	4720	6292	840	1043	4258	4192	4281	4358
110,89	-0,225	-33,685	-28,239	-29,585	-0,100	-1196	144	2672	4787	6365	871	1081	4353	4278	4356	4440
111,81	-0,226	-33,512	-28,064	-29,432	-0,098	-1182	130	2699	4855	6454	891	1109	4460	4374	4435	4525
112,61	-0,226	-33,340	-27,887	-29,279	-0,098	-1211	159	2726	4909	6558	908	1131	4586	4485	4515	4611
113,16	-0,225	-33,200	-27,743	-29,158	-0,100	-1225	130	2767	4950	6631	921	1148	4691	4579	4578	4681
114,08	-0,225	-33,025	-27,572	-29,004	-0,109	-1239	144	2821	5031	6704	934	1166	4826	4701	4659	4770
114,88	-0,226	-32,850	-27,391	-28,853	-0,109	-1253	173	2848	5098	6793	945	1182	4961	4820	4740	4860
115,74	-0,226	-32,669	-27,225	-28,697	-0,109	-1253	144	2889	5180	6867	956	1197	5100	4944	4821	4951
116,29	-0,228	-32,527	-27,079	-28,579	-0,107	-1239	159	2929	5234	6985	964	1208	5222	5050	4887	5023
80,01	-0,198	-30,271	-26,665	-28,322	-0,086	-1154	318	3716	6275	8414	792	965	5714	5448	6349	6468
77,18	-0,192	-30,049	-26,490	-28,192	-0,087	-1182	346	3784	6410	8576	787	964	5769	5489	6474	6609
78,10	-0,194	-29,913	-26,352	-28,075	-0,087	-1168	361	3824	6477	8694	788	967	5812	5527	6570	6707

CARGA [kN]	ϵ_{F1} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{F2} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{F3} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{F4} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{F5} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{F6} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{F7} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{F8} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{F9} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{F10} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{F11} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{F12} [$\times 10^{-6}$]
0,00	0	1	0	0	1	1	1	1	1	2	1	2
1,17	0	1	1	1	2	3	3	4	5	6	8	7
3,13	0	2	3	4	5	5	7	10	13	16	17	17
4,97	0	3	5	5	7	9	10	14	20	25	25	26
6,75	2	5	6	6	10	11	14	19	27	33	35	36
8,96	1	6	8	10	13	15	20	27	38	48	49	52
11,61	3	9	10	13	16	20	24	35	49	62	64	76
14,06	3	10	13	15	21	24	31	42	61	77	80	105
16,09	3	12	14	19	23	29	35	51	69	94	94	124
18,48	4	13	16	21	27	33	41	58	110	108	112	156
20,69	5	15	20	24	31	37	45	67	141	126	130	212
22,72	5	17	21	28	36	41	50	75	200	148	151	278
24,01	5	19	22	29	38	43	52	80	283	176	170	334
25,54	5	20	24	32	41	47	57	85	391	208	204	382
26,89	6	21	25	33	43	48	60	89	445	247	251	439
28,00	7	21	28	35	45	50	61	92	486	301	297	516
29,10	7	22	28	36	48	52	62	95	526	349	338	576
30,27	7	23	29	39	51	54	65	99	574	396	400	657
31,68	8	23	30	40	53	56	68	103	626	442	460	738
32,97	8	24	32	41	56	59	71	109	673	490	524	807
33,96	8	26	32	43	59	62	73	113	706	530	572	862
35,31	9	26	34	45	62	64	76	120	750	586	631	924
36,78	9	28	34	46	64	67	79	127	796	642	689	985

38,07	9	29	35	48	67	69	81	134	836	694	745	1045
39,24	10	30	37	50	69	72	85	141	869	739	790	1094
40,59	10	31	38	51	72	73	88	153	909	793	845	1156
41,88	10	31	40	52	75	76	93	172	948	847	896	1213
42,98	10	32	40	54	77	78	95	187	977	886	937	1259
44,27	10	33	42	55	80	80	101	205	1015	936	988	1314
45,81	10	34	42	58	82	83	107	225	1054	988	1041	1372
47,10	11	34	44	58	85	85	115	249	1090	1039	1094	1442
48,08	11	35	44	61	88	87	121	276	1120	1083	1136	1491
49,49	11	36	46	62	91	91	130	342	1155	1134	1190	1552
50,78	11	36	46	63	95	94	139	397	1192	1192	1244	1610
52,13	11	37	46	66	97	97	150	445	1230	1251	1296	1666
53,11	11	37	47	67	99	101	160	492	1260	1295	1341	1712
54,53	12	39	49	68	104	106	179	557	1298	1348	1393	1769
55,82	12	39	50	71	107	111	202	627	1336	1399	1445	1824
57,10	12	40	51	71	110	116	231	693	1373	1447	1495	1888
58,27	12	40	51	74	114	121	266	742	1403	1485	1534	1933
59,50	12	41	53	76	118	127	307	799	1442	1534	1585	1992
60,91	12	42	53	78	123	134	344	849	1482	1584	1638	2047
62,14	12	43	54	80	128	143	378	911	1520	1633	1688	2100
63,24	12	42	55	81	132	153	405	957	1552	1674	1729	2144
64,41	12	43	55	84	139	171	439	1006	1595	1723	1780	2198
65,82	13	44	57	86	148	190	482	1051	1636	1774	1831	2250
66,99	12	44	57	89	157	210	530	1096	1675	1825	1881	2303
67,97	12	44	58	91	167	224	579	1132	1706	1867	1923	2345
69,20	13	44	59	95	179	244	636	1178	1749	1919	1974	2397
70,55	13	46	60	99	193	264	686	1221	1790	1971	2024	2450
71,53	13	46	61	101	203	280	719	1257	1823	2012	2066	2492
72,76	12	47	62	105	215	299	758	1304	1863	2063	2115	2543
74,05	13	47	64	110	226	318	795	1352	1904	2114	2167	2595
75,34	13	48	65	114	237	340	830	1399	1945	2165	2218	2645
76,26	13	48	66	119	246	358	858	1437	1979	2206	2259	2687
77,55	13	50	69	124	260	392	890	1483	2020	2257	2311	2739
78,72	13	51	71	132	278	442	923	1529	2062	2310	2363	2793
80,01	13	51	73	142	299	475	958	1575	2103	2361	2414	2844
80,81	14	52	76	151	331	509	982	1610	2134	2401	2455	2885
82,10	14	53	79	162	363	539	1019	1657	2174	2455	2505	2937
83,26	14	54	83	173	392	567	1052	1703	2213	2506	2557	2987
84,43	15	55	86	184	423	596	1085	1748	2250	2559	2609	3038
85,41	15	57	90	193	444	618	1109	1785	2284	2600	2649	3079
86,58	15	58	94	209	471	649	1139	1830	2326	2652	2700	3133
87,74	15	60	100	225	500	680	1168	1874	2368	2703	2751	3183
88,85	15	62	107	242	531	715	1195	1918	2411	2755	2802	3233
89,83	16	63	111	254	554	741	1218	1951	2447	2795	2844	3274
90,81	16	66	118	271	583	775	1245	1996	2491	2847	2895	3323
91,86	15	68	129	298	646	832	1268	2035	2534	2896	2946	3372
92,96	17	71	144	334	717	892	1292	2073	2576	2944	2996	3422
93,82	17	75	160	357	768	928	1310	2104	2610	2983	3037	3462
94,87	18	79	177	381	815	971	1336	2143	2657	3033	3087	3513
95,85	18	85	194	408	863	1015	1369	2181	2706	3081	3138	3562
96,83	19	90	213	436	898	1049	1394	2219	2754	3131	3189	3616
97,63	19	94	224	454	920	1072	1413	2249	2792	3172	3231	3658
98,61	19	100	239	473	946	1099	1438	2285	2835	3222	3283	3711
99,66	21	108	255	491	966	1122	1465	2323	2877	3273	3336	3758
100,63	21	115	267	504	984	1141	1486	2351	2911	3314	3378	3800
101,43	21	123	280	524	1009	1168	1513	2388	2952	3364	3430	3854
102,41	22	131	295	547	1033	1195	1542	2425	2992	3415	3483	3908
103,15	23	144	316	576	1059	1223	1570	2462	3026	3461	3532	3962
103,89	24	159	331	594	1076	1242	1593	2492	3058	3500	3575	4007
104,87	26	173	348	618	1096	1264	1622	2528	3098	3547	3627	4063
105,73	29	201	373	641	1117	1287	1660	2564	3138	3595	3682	4119
106,71	39	286	431	674	1136	1307	1694	2604	3173	3642	3733	4176
107,33	50	337	464	701	1154	1325	1722	2640	3196	3679	3773	4219
108,13	69	419	517	749	1176	1349	1757	2678	3231	3725	3825	4271
109,05	3	364	516	766	1192	1369	1789	2714	3270	3771	3876	4322
109,11	-283	-59	277	618	1130	1344	1811	2733	3292	3790	3901	4347
109,97	-315	-84	270	631	1143	1352	1834	2757	3322	3823	3939	4386
110,89	-330	-95	269	650	1157	1364	1862	2790	3363	3871	3990	4440
111,81	-341	-100	269	668	1170	1376	1891	2826	3399	3920	4042	4494
112,61	-349	-105	271	681	1182	1389	1925	2866	3430	3967	4095	4546

113,16	-355	-109	271	692	1191	1401	1953	2896	3452	4003	4135	4587
114,08	-361	-112	271	706	1203	1416	1991	2926	3485	4049	4187	4639
114,88	-364	-114	273	720	1214	1432	2031	2943	3521	4096	4239	4691
115,74	-368	-117	274	735	1227	1450	2075	2949	3550	4143	4292	4742
116,29	-371	-119	277	748	1239	1469	2132	2934	3567	4178	4333	4783
80,01	-	-113	-	-	45	112	-	167	-179	415	262	86
77,18	-	-78	-	-	3	52	-	81	-206	246	138	-2
78,10	-	-73	-	-	-1	42	-	70	-199	216	124	-8

RESULTADOS EXPERIMENTAIS — VIGA V3_A

CARGA [kN]	LVDT # 2 [mm] apoio	LVDT # 3 [mm] carga	LVDT # 4 [mm] central	LVDT # 5 [mm] carga	LVDT # 6 [mm] apoio	TRD-1 [x10 ⁻⁶]	TRD-2 [x10 ⁻⁶]	TRD-3 [x10 ⁻⁶]	TRD-4 [x10 ⁻⁶]	TRD-5 [x10 ⁻⁶]	ε _{S3A} [x10 ⁻⁶]	ε _{S3B} [x10 ⁻⁶]	ε _{F12} [x10 ⁻⁶]
0,00	0,008	-40,885	-35,343	-44,566	0,002	-14	0	-14	0	0	1	0	0
17,50	-0,002	-40,423	-34,834	-44,137	-0,004	-85	-58	0	27	29	49	48	57
25,60	0,002	-39,952	-34,327	-43,728	-0,002	-128	-87	14	14	29	181	134	143
31,50	0,002	-39,460	-33,797	-43,307	-0,004	-228	-87	27	14	103	333	296	285
37,03	0,000	-38,936	-33,214	-42,828	0,000	-271	-115	14	14	206	469	464	440
42,06	-0,004	-38,437	-32,665	-42,377	-0,004	-328	-101	-14	14	324	589	613	594
47,10	-0,006	-37,934	-32,115	-41,927	-0,016	-385	-101	-27	54	413	706	756	735
52,38	-0,023	-37,389	-31,530	-41,448	-0,037	-427	-101	-54	81	516	831	913	884
57,41	-0,021	-36,872	-30,982	-40,999	-0,041	-484	-87	-68	122	619	953	1046	1023
62,51	-0,036	-36,372	-30,449	-40,549	-0,066	-527	-115	-81	243	766	1074	1192	1168
67,60	-0,034	-35,837	-29,884	-40,086	-0,070	-584	-101	-81	379	914	1198	1341	1317
72,64	-0,053	-35,329	-29,352	-39,640	-0,075	-655	-72	-95	473	1046	1318	1489	1462
77,49	-0,053	-34,823	-28,830	-39,198	-0,077	-684	-87	-95	609	1208	1441	1636	1603
82,71	-0,060	-34,284	-28,273	-38,727	-0,080	-741	-87	-95	717	1400	1570	1796	1757
87,44	-0,079	-33,767	-27,745	-38,280	-0,086	-798	-87	-95	784	1562	1693	1947	1903
92,23	-0,081	-33,249	-27,206	-37,823	-0,084	-826	-58	-81	757	1739	1815	2096	2046
96,89	-0,079	-32,728	-26,675	-37,361	-0,078	-869	-58	-108	663	1945	1938	2252	2194
101,74	-0,091	-32,169	-26,093	-36,864	-0,096	-954	-72	-68	636	2181	2069	2414	2354
106,41	-0,087	-31,641	-25,552	-36,392	-0,096	-969	-72	-68	609	2372	2192	2564	2504
110,77	-0,091	-31,118	-25,006	-35,918	-0,098	-1054	-87	-95	595	2549	2315	2714	2651
115,13	-0,089	-30,558	-24,423	-35,411	-0,096	-1082	-101	-95	595	2741	2439	2871	2804
118,20	-0,093	-30,021	-23,904	-34,964	-0,118	-1125	-115	-81	568	2888	2535	2993	2926
122,43	-0,093	-29,499	-23,352	-34,490	-0,121	-1168	-115	-108	541	3065	2656	3144	3077
126,55	-0,110	-28,928	-22,761	-33,977	-0,121	-1239	-130	-108	487	3271	2786	3309	3241
130,23	-0,113	-28,400	-22,202	-33,492	-0,123	-1296	-159	-81	487	3419	2909	3472	3395
133,67	-0,136	-27,875	-21,654	-33,003	-0,127	-1367	-144	-108	487	3581	3036	3626	3553
137,17	-0,151	-27,325	-21,059	-32,490	-0,127	-1424	-159	-95	473	3772	3163	3789	3707
139,20	-0,174	-26,810	-20,479	-31,932	-0,134	-1453	-159	-122	460	3831	3244	3892	3804
75,16	-0,098	-25,084	-19,081	-31,313	-0,082	-1296	173	-271	-122	4244	4470	5548	76
78,35	-0,100	-24,588	-18,488	-30,799	-0,082	-1353	188	-271	-135	4421	4646	5770	55
80,68	-0,094	-24,053	-17,841	-30,263	-0,080	-1396	217	-258	-122	4627	4877	6070	54
82,46	-0,096	-23,538	-17,226	-29,757	-0,082	-1410	231	-271	-135	4892	5142	6409	58
83,88	-0,096	-23,004	-16,608	-29,238	-0,084	-1424	260	-285	-162	5217	5431	6784	57
85,23	-0,098	-22,431	-15,960	-28,686	-0,093	-1467	289	-271	-176	5541	5760	7220	64
86,27	-0,108	-21,892	-15,354	-28,199	-0,091	-1538	332	-271	-176	5909	6090	7644	65
87,13	-0,134	-21,355	-14,738	-27,727	-0,098	-1553	361	-271	-176	6219	6437	7712	66
88,05	-0,132	-20,789	-14,086	-27,201	-0,095	-1595	390	-271	-203	6675	6812	8050	65
88,79	-0,155	-20,248	-13,461	-26,699	-0,096	-1624	390	-271	-216	7058	7159	8286	65
89,65	-0,157	-19,705	-12,853	-26,196	-0,100	-1666	462	-285	-230	7441	7497	8103	61
90,32	-0,170	-19,107	-12,204	-25,656	-0,105	-1695	462	-285	-230	7869	7864	7320	62
90,94	-0,164	-18,554	-11,597	-25,150	-0,105	-1738	491	-285	-243	8252	8222	7300	61
91,61	-0,178	-18,006	-10,976	-24,644	-0,105	-1766	520	-298	-230	8664	8574	7250	24
92,04	-0,178	-17,427	-10,325	-24,101	-0,107	-1823	549	-285	-216	9062	8940	6497	43
92,66	-0,179	-16,892	-9,708	-23,582	-0,111	-1837	563	-285	-216	9430	9272	5955	24
93,15	-0,189	-16,358	-9,078	-23,069	-0,111	-1894	577	-285	-216	9814	9590	5766	45
93,58	-0,193	-15,808	-8,454	-22,550	-0,111	-1937	592	-285	-216	10138	9902	5663	43
94,13	-0,189	-15,231	-7,788	-21,994	-0,111	-1951	635	-285	-216	10477	10229	5545	44

94,56	-0,204	-14,700	-7,171	-21,486	-0,111	-1980	635	-271	-216	10801	10532	5356	43
94,99	-0,208	-14,174	-6,556	-20,959	-0,111	-2037	664	-271	-203	11111	10832	5204	68
95,42	-0,200	-13,606	-5,892	-20,410	-0,111	-2051	678	-271	-203	11450	11147	5020	72
95,73	-0,215	-13,073	-5,254	-19,879	-0,111	-2108	693	-271	-216	11789	11435	4901	76
95,91	-0,212	-12,547	-4,631	-19,343	-0,111	-2165	722	-271	-176	12098	11719	4816	54
96,34	-0,212	-11,998	-3,971	-18,789	-0,112	-2179	751	-285	-176	12422	12016	4693	74
96,65	-0,213	-11,474	-3,358	-18,263	-0,111	-2222	765	-271	-176	12731	12291	4642	39
96,95	-0,210	-10,948	-2,730	-17,741	-0,111	-2250	780	-258	-189	13026	12574	4585	68
97,32	-0,215	-10,392	-2,081	-17,196	-0,111	-2279	780	-271	-176	13351	12879	4531	59
97,63	-0,212	-9,868	-1,469	-16,672	-0,111	-2307	808	-258	-162	13660	13175	4484	49
98,06	-0,212	-9,342	-0,854	-16,159	-0,111	-2336	837	-271	-162	13999	13461	4445	57
98,37	-0,215	-8,816	-0,246	-15,638	-0,112	-2350	852	-258	-176	14279	13739	4414	56
98,80	-0,213	-8,254	0,408	-15,086	-0,114	-2407	866	-271	-135	14588	14030	4398	32
99,17	-0,213	-7,713	1,027	-14,571	-0,114	-2450	881	-271	-149	14854	14304	4351	32
99,41	-0,215	-7,189	1,635	-14,060	-0,112	-2464	895	-271	-135	15148	14575	4319	50
99,78	-0,213	-6,623	2,282	-13,504	-0,112	-2521	938	-285	-135	15458	14860	4309	24
100,08	-0,213	-6,099	2,897	-12,978	-0,114	-2535	909	-271	-122	15767	15131	4315	64
100,51	-0,212	-5,573	3,511	-12,458	-0,116	-2578	938	-285	-108	16032	15401	4362	59
101,00	-0,213	-5,015	4,178	-11,900	-0,114	-2606	938	-271	-108	16342	15686	4427	78
101,19	-0,212	-4,498	4,790	-11,385	-0,114	-2635	938	-258	-95	16607	-	4401	79
101,56	-0,213	-3,968	5,403	-10,866	-0,112	-2663	982	-285	-95	16828	-	4371	75
101,86	-0,212	-3,411	6,056	-10,316	-0,112	-2692	982	-285	-108	17123	-	4332	72
102,11	-0,212	-2,883	6,667	-9,794	-0,111	-2735	982	-298	-108	17388	-	4280	73
102,41	-0,212	-2,355	7,286	-9,272	-0,112	-2777	1025	-298	-95	17609	-	4250	76
102,60	-0,215	-1,793	7,937	-8,714	-0,109	-2792	1011	-271	-81	17904	-	4226	77
102,91	-0,219	-1,269	8,556	-8,191	-0,112	-2834	1011	-271	-81	18155	-	4214	78
103,21	-0,212	-0,750	9,168	-7,667	-0,111	-2863	1025	-271	-95	18434	-	4203	78
103,52	-0,213	-0,231	9,781	-7,137	-0,112	-2920	1025	-285	-81	18656	-	4191	77
103,83	-0,212	0,325	10,435	-6,582	-0,112	-2948	1039	-285	-54	18950	-	4180	78
104,07	-0,212	0,858	11,041	-6,054	-0,112	-2977	1039	-258	-54	19201	-	4171	78
104,26	-0,212	1,384	11,654	-5,523	-0,111	-3005	1083	-271	-68	19466	-	4159	82
104,50	-0,212	1,961	12,298	-4,964	-0,111	-3034	1068	-285	-54	19731	-	4148	82
104,75	-0,212	2,502	12,907	-4,431	-0,112	-3077	1083	-271	-68	19982	-	4139	84
104,99	-0,210	3,030	13,513	-3,911	-0,111	-3105	1097	-271	-54	20276	-	4130	84
105,18	-0,213	3,597	14,162	-3,357	-0,109	-3148	1097	-271	-68	20527	-	4121	81
105,42	-0,208	4,123	14,770	-2,829	-0,128	-3176	1097	-298	-54	20807	-	4113	79
105,67	-0,215	4,668	15,391	-2,310	-0,125	-3205	1097	-258	-14	21102	-	4108	76
105,85	-0,210	5,233	16,036	-1,744	-0,132	-3247	1112	-285	-27	21396	-	4101	75
106,04	-0,212	5,765	16,659	-1,209	-0,128	-3276	1112	-285	-54	21662	-	4097	72
106,28	-0,213	6,304	17,287	-0,680	-0,134	-3333	1112	-258	-27	21986	-	4095	72
106,41	-0,212	6,838	17,901	-0,149	-0,127	-3347	1112	-258	-14	22251	-	4091	67
106,59	-0,212	7,400	18,570	0,417	-0,132	-3376	1112	-258	0	22575	-	4088	63
106,77	-0,212	7,931	19,196	0,948	-0,132	-3418	1112	-271	0	22884	-	4088	60
106,84	-0,212	8,459	19,828	1,478	-0,130	-3447	1140	-285	0	23194	-	4086	58
107,02	-0,212	9,025	20,500	2,044	-0,128	-3461	1126	-271	0	23518	-	4084	58
107,14	-0,213	9,556	21,135	2,568	-0,130	-3475	1097	-285	41	23784	-	4083	54
107,20	-0,212	10,093	21,771	3,095	-0,134	-3518	1112	-271	0	24108	-	4082	49
107,14	-0,212	10,673	22,454	3,666	-0,132	-3575	1140	-298	14	24491	-	4078	53
107,20	-0,210	11,214	23,102	4,195	-0,130	-3661	1126	-271	27	24815	-	4077	47
107,20	-0,213	11,750	23,751	4,715	-0,132	-3703	1126	-285	27	25198	-	4078	44
107,27	-0,213	12,319	24,447	5,283	-0,130	-3789	1112	-285	41	25611	-	4078	40
107,27	-0,213	12,860	25,092	5,820	-0,134	-3860	1112	-271	27	26009	-	4077	38
107,39	-0,217	13,395	25,733	6,358	-0,128	-3917	1112	-258	54	26451	-	4078	61
107,45	-0,219	13,933	26,390	6,891	-0,130	-3960	1097	-271	68	26819	-	4082	60

RESULTADOS EXPERIMENTAIS — VIGA V3_B

CARGA [kN]	LVDT # 2 [mm] apoio	LVDT # 3 [mm] carga	LVDT # 4 [mm] central	LVDT # 5 [mm] carga	LVDT # 6 [mm] apoio	TRD-1 [x10 ⁻⁶]	TRD-2 [x10 ⁻⁶]	TRD-3 [x10 ⁻⁶]	TRD-4 [x10 ⁻⁶]	TRD-5 [x10 ⁻⁶]	ε _{S1A} [x10 ⁻⁶]	ε _{S1B} [x10 ⁻⁶]	ε _{S2A} [x10 ⁻⁶]	ε _{S2B} [x10 ⁻⁶]	ε _{S3A} [x10 ⁻⁶]	ε _{S3B} [x10 ⁻⁶]
0,00	-0,002	-50,151	-49,190	-48,200	-0,004	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0

3,38	-0,004	-49,895	-48,909	-47,896	-0,002	-28	0	-14	0	-29	1	0	1	1	1	1
3,50	-0,004	-49,710	-48,624	-47,477	-0,002	-28	-14	0	0	0	1	0	3	1	2	1
3,75	-0,002	-49,516	-48,329	-47,065	0,000	-28	-29	-27	14	-15	2	0	2	1	2	1
4,24	-0,004	-49,266	-47,995	-46,646	0,000	-28	-29	-27	14	0	3	1	4	4	4	3
4,24	-0,006	-48,975	-47,596	-46,151	0,000	-14	-29	-14	-27	0	2	1	4	4	4	4
5,16	-0,008	-48,721	-47,266	-45,744	0,000	-28	-14	-14	0	-15	4	2	6	7	7	9
4,85	-0,006	-48,544	-47,009	-45,371	-0,002	-14	-29	-14	-14	0	5	2	7	6	7	8
7,61	-0,004	-48,091	-46,487	-44,852	-0,005	-28	0	-14	0	0	6	3	13	16	15	20
11,73	-0,008	-47,828	-46,205	-44,579	-0,007	-57	-43	0	41	29	7	5	26	30	32	40
16,70	-0,004	-47,634	-45,982	-44,364	-0,009	-57	-43	-14	41	44	9	6	42	51	52	68
22,29	-0,008	-47,445	-45,780	-44,177	-0,007	-100	-43	14	41	44	11	9	65	85	79	111
27,08	-0,011	-47,246	-45,560	-43,993	-0,011	-157	-29	0	14	118	13	10	99	154	130	206
31,25	-0,015	-46,999	-45,303	-43,778	-0,021	-157	-14	-27	14	103	14	12	202	242	215	306
34,45	-0,019	-46,727	-45,018	-43,552	-0,021	-199	0	-81	-14	44	17	12	294	336	354	428
37,64	-0,032	-46,397	-44,718	-43,311	-0,025	-199	14	-81	-41	-59	17	13	385	439	452	526
40,83	-0,032	-46,106	-44,419	-43,060	-0,020	-228	29	-108	-68	-88	20	15	458	522	553	619
44,15	-0,034	-45,813	-44,115	-42,806	-0,025	-271	58	-136	-68	-147	20	16	532	606	643	717
47,34	-0,034	-45,524	-43,813	-42,535	-0,025	-299	43	-149	-95	-206	21	17	596	687	730	809
50,66	-0,038	-45,246	-43,509	-42,286	-0,023	-342	58	-163	-81	-251	22	19	662	770	815	900
53,85	-0,036	-44,966	-43,205	-42,029	-0,020	-356	115	-163	-81	-295	22	20	714	849	901	991
57,23	-0,040	-44,680	-42,894	-41,760	-0,023	-370	115	-203	-81	-324	24	20	779	926	983	1081
60,54	-0,060	-44,398	-42,590	-41,496	-0,048	-413	144	-217	-95	-383	25	20	844	1000	1066	1170
63,80	-0,060	-44,106	-42,284	-41,224	-0,052	-442	144	-217	-54	-427	26	21	906	1072	1154	1262
67,11	-0,062	-43,818	-41,977	-40,972	-0,053	-470	159	-217	-81	-486	28	22	966	1147	1247	1357
70,18	-0,064	-43,522	-41,671	-40,714	-0,061	-499	173	-244	-68	-545	29	22	1014	1225	1336	1450
73,25	-0,058	-43,231	-41,361	-40,455	-0,057	-499	173	-271	-68	-589	29	24	1075	1297	1422	1542
76,39	-0,077	-42,930	-41,052	-40,187	-0,059	-527	188	-258	-68	-619	30	26	1133	1360	1508	1633
79,46	-0,079	-42,641	-40,746	-39,926	-0,059	-570	217	-285	-68	-634	31	27	1193	1425	1597	1727
82,46	-0,077	-42,350	-40,439	-39,665	-0,062	-598	245	-298	-95	-693	32	28	1254	1489	1687	1818
85,53	-0,089	-42,064	-40,131	-39,407	-0,059	-627	245	-285	-108	-722	34	30	1314	1555	1778	1913
88,54	-0,104	-41,770	-39,812	-39,139	-0,078	-641	245	-325	-95	-752	36	31	1374	1618	1868	2008
91,67	-0,104	-41,460	-39,497	-38,878	-0,078	-684	231	-312	-122	-810	39	32	1432	1682	1958	2104
94,68	-0,121	-41,139	-39,178	-38,621	-0,077	-698	274	-353	-108	-869	42	33	1492	1747	2049	2200
97,81	-0,134	-40,833	-38,857	-38,356	-0,077	-698	260	-353	-135	-884	45	36	1549	1815	2140	2296
100,88	-0,130	-40,518	-38,539	-38,084	-0,077	-741	289	-380	-149	-943	51	38	1607	1881	2231	2392
103,70	-0,136	-40,204	-38,214	-37,805	-0,078	-769	289	-407	-162	-973	64	43	1661	1945	2318	2485
106,53	-0,140	-39,889	-37,888	-37,523	-0,077	-812	289	-407	-189	-1031	75	50	1716	2011	2407	2582
109,54	-0,162	-39,585	-37,569	-37,248	-0,080	-812	289	-420	-203	-1076	86	59	1774	2079	2497	2679
112,55	-0,181	-39,249	-37,241	-36,965	-0,102	-840	361	-448	-216	-1090	113	117	1831	2148	2586	2777
115,31	-0,187	-38,932	-36,915	-36,692	-0,103	-869	346	-461	-243	-1135	146	182	1885	2216	2676	2876
117,95	-0,183	-38,609	-36,586	-36,415	-0,105	-883	332	-448	-257	-1179	195	251	1946	2284	2767	2977
119,55	-0,202	-38,275	-36,279	-36,168	-0,110	-912	332	-488	-284	-1223	877	1009	1983	2333	2832	3054
122,43	-0,202	-37,950	-35,954	-35,893	-0,105	-912	332	-502	-284	-1238	1175	1205	2062	2397	2926	3152
125,13	-0,200	-37,611	-35,617	-35,616	-0,114	-954	346	-515	-298	-1282	1294	1294	2123	2468	3021	3257
127,59	-0,202	-37,299	-35,289	-35,337	-0,112	-969	375	-529	-325	-1341	1326	1367	2151	2537	3111	3365
129,98	-0,204	-36,993	-34,959	-35,055	-0,114	-983	390	-570	-352	-1400	1384	1426	2200	2609	3206	3474
132,26	-0,221	-36,687	-34,621	-34,756	-0,114	-1025	390	-583	-365	-1415	1427	1478	2285	2677	3294	3581
134,65	-0,221	-36,376	-34,286	-34,463	-0,121	-1068	375	-597	-406	-1474	1476	1527	2346	2747	3388	3695
136,80	-0,253	-36,051	-33,954	-34,174	-0,121	-1068	390	-610	-406	-1503	1534	1583	2419	2821	3485	3808
139,13	-0,260	-35,730	-33,616	-33,884	-0,123	-1125	404	-637	-433	-1533	1586	1648	2481	2897	3582	3928
141,41	-0,258	-35,415	-33,277	-33,591	-0,134	-1139	404	-651	-433	-1577	1633	1699	2544	2975	3677	4048
143,06	-0,260	-35,096	-32,934	-33,284	-0,135	-1168	433	-651	-446	-1562	1694	1747	2602	3049	3763	4159
144,41	-0,274	-34,771	-32,572	-32,948	-0,139	-1196	419	-637	-500	-1606	1740	1787	2660	3115	3837	4254
146,38	-0,275	-34,452	-32,233	-32,653	-0,135	-1225	404	-637	-500	-1621	1797	1830	2727	3190	3922	4363
147,98	-0,274	-34,118	-31,895	-32,364	-0,139	-1225	419	-624	-527	-1636	1835	1875	2815	3288	4006	4469
81,48	-0,160	-33,275	-31,036	-32,119	-0,077	-1196	924	-665	-730	973	1197	1265	3049	3665	5907	6705
82,83	-0,158	-32,963	-30,672	-31,835	-0,077	-1211	996	-637	-771	943	1217	1271	3111	3745	6148	7004
84,06	-0,158	-32,637	-30,305	-31,536	-0,078	-1225	1011	-610	-771	914	1227	1276	3164	3821	6404	7312
85,10	-0,158	-32,303	-29,940	-31,240	-0,073	-1282	1097	-610	-825	958	1232	1280	3214	3896	6669	7623
86,21	-0,160	-31,973	-29,576	-30,956	-0,077	-1296	1140	-570	-838	987	1237	1283	3264	3972	6940	7929
87,07	-0,158	-31,635	-29,212	-30,673	-0,082	-1296	1198	-556	-852	973	1132	1287	3260	4047	7199	8228
87,87	-0,160	-31,307	-28,843	-30,382	-0,082	-1310	1285	-488	-865	1017	1147	1289	3317	4125	7473	8522
88,48	-0,158	-30,976	-28,472	-30,073	-0,080	-1325	1343	-448	-906	1061	1150	1291	3368	4203	7742	8808
89,10	-0,162	-30,648	-28,097	-29,773	-0,084	-1353	1415	-366	-947	1120	1155	1294	3416	4280	8012	9089
89,53	-0,164	-30,301	-27,710	-29,460	-0,082	-1396	1444	-271	-960	1164	1169	1300	3462	4355	8285	9372
89,96	-0,162	-29,974	-27,335	-29,160	-0,084	-1396	1516	-203	-1001	1223	1175	1304	3507	4434	8554	9646
90,51	-0,162	-29,629	-26,958	-28,862	-0,084	-1396	1588	-122	-1028	1297	1182	1307	3558	4514	8830	9917
90,94	-0,162	-29,288	-26,583	-28,555	-0,080	-1424	1660	-54	-1055	1370	1179	1310	3607	4594	9103	10182
91,43	-0,162	-28,945	-26,205	-28,249	-0,080	-1467	1689	27	-1055	1429	1184	1313	3654	4676	9371	10438
91,80	-0,162	-28,611	-25,832	-27,944	-0,086	-1467	1761	54	-1095	1518	1188	1316	3700	4758	9635	10686

92,23	-0,166	-28,271	-25,455	-27,644	-0,086	-1481	1819	136	-1122	1636	1197	1319	3746	4843	9898	10930
92,66	-0,164	-27,931	-25,081	-27,349	-0,084	-1524	1877	190	-1136	1783	1198	1322	3793	4930	10152	11172
92,90	-0,166	-27,597	-24,708	-27,056	-0,086	-1524	1949	285	-1177	1945	1200	1323	3835	5016	10406	11411
93,27	-0,166	-27,262	-24,331	-26,764	-0,091	-1553	2021	339	-1204	2092	1187	1325	3874	5103	10651	11645
93,64	-0,166	-26,928	-23,956	-26,470	-0,093	-1581	2050	353	-1231	2225	1175	1327	3905	5195	10892	11871
94,01	-0,164	-26,584	-23,587	-26,173	-0,091	-1567	2093	448	-1258	2358	1200	1329	3951	5286	11132	12093
94,31	-0,164	-26,250	-23,205	-25,878	-0,093	-1609	2165	515	-1258	2461	1197	1331	3981	5378	11368	12315
94,68	-0,168	-25,909	-22,838	-25,569	-0,098	-1624	2238	556	-1285	2549	1202	1333	4025	5468	11602	12532
94,87	-0,168	-25,575	-22,452	-25,253	-0,098	-1638	2281	610	-1312	2726	1202	1336	4070	5557	11841	12750
95,24	-0,164	-25,234	-22,066	-24,907	-0,096	-1666	2324	692	-1339	2903	1191	1337	4117	5645	12075	12967
95,48	-0,166	-24,894	-21,684	-24,585	-0,096	-1681	2411	732	-1352	3065	1202	1340	4164	5729	12303	13179
95,79	-0,164	-24,556	-21,301	-24,273	-0,096	-1709	2440	787	-1366	3242	1203	1342	4211	5812	12527	13387
96,22	-0,162	-24,224	-20,921	-23,960	-0,096	-1723	2512	827	-1393	3478	1211	1344	4260	5897	12748	13595
96,40	-0,164	-23,888	-20,546	-23,641	-0,096	-1766	2555	868	-1420	3654	1212	1344	4312	5982	12961	13799
96,65	-0,164	-23,547	-20,168	-23,332	-0,094	-1766	2599	909	-1420	3846	1200	1346	4366	6070	13173	14002
97,02	-0,164	-23,215	-19,800	-23,017	-0,094	-1809	2627	976	-1461	4097	1219	1346	4425	6161	13383	14200
97,32	-0,168	-22,873	-19,424	-22,708	-0,093	-1795	2685	990	-1474	4362	1214	1346	4475	6251	13591	14397
97,69	-0,183	-22,545	-19,051	-22,397	-0,094	-1866	2714	1044	-1515	4657	1213	1347	4529	6341	13795	14593
97,94	-0,185	-22,204	-18,665	-22,072	-0,093	-1894	2772	1098	-1542	4922	1317	1345	4662	6429	14013	14788
98,12	-0,183	-21,873	-18,283	-21,748	-0,093	-1909	2830	1139	-1555	5113	1302	1349	4698	6514	14214	14976
98,18	-0,187	-21,543	-17,904	-21,423	-0,093	-1966	2858	1193	-1582	5349	1229	1353	4683	6598	14405	15160
98,49	-0,189	-21,215	-17,529	-21,101	-0,093	-1994	2916	1234	-1609	5570	1220	1354	4724	6685	14601	15343
98,55	-0,185	-20,885	-17,144	-20,780	-0,093	-2051	2959	1302	-1623	5703	1220	1356	4769	6777	14799	15526
98,92	-0,187	-20,551	-16,771	-20,456	-0,093	-2065	3017	1356	-1650	5880	1222	1358	4810	6867	14997	15707
99,17	-0,183	-20,222	-16,390	-20,137	-0,094	-2108	3032	1451	-1650	6086	1224	1359	4833	6958	15192	15885
99,35	-0,185	-19,883	-16,010	-19,812	-0,094	-2122	3089	1505	-1677	6263	1226	1361	4884	7048	15387	-
99,53	-0,187	-19,547	-15,624	-19,485	-0,094	-2193	3133	1560	-1717	6454	1232	1362	4935	7137	15581	-
99,84	-0,185	-19,217	-15,245	-19,160	-0,103	-2193	3162	1627	-1745	6660	1234	1363	4972	7223	15771	-
100,02	-0,187	-18,886	-14,874	-18,842	-0,107	-2250	3205	1682	-1731	6896	1238	1364	5023	7308	-	-
100,27	-0,187	-18,551	-14,496	-18,521	-0,107	-2279	3219	1749	-1772	7058	1239	1366	5071	7395	-	-

CARGA [kN]	εF1 [x10 ⁻⁶]	εF2 [x10 ⁻⁶]	εF3 [x10 ⁻⁶]	εF4 [x10 ⁻⁶]	εF5 [x10 ⁻⁶]	εF6 [x10 ⁻⁶]	εF7 [x10 ⁻⁶]	εF8 [x10 ⁻⁶]	εF9 [x10 ⁻⁶]	εF10 [x10 ⁻⁶]	εF11 [x10 ⁻⁶]	εF12 [x10 ⁻⁶]
0,00	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1
3,38	0	0	1	0	1	0	0	1	1	2	2	1
3,50	0	-1	0	1	1	0	1	1	1	2	1	2
3,75	0	0	0	1	0	0	0	1	2	2	2	2
4,24	0	0	0	1	1	1	2	3	5	5	4	5
4,24	0	0	0	1	1	1	2	4	4	6	5	5
5,16	0	1	1	2	3	3	3	5	8	10	10	11
4,85	0	0	2	2	2	3	3	5	7	10	8	9
7,61	0	2	4	5	7	8	9	13	19	24	23	23
11,73	1	4	7	10	12	15	16	26	36	47	44	44
16,70	2	8	10	14	18	24	26	41	61	81	73	73
22,29	1	11	15	19	27	35	37	59	117	139	128	100
27,08	2	13	19	24	32	46	46	78	219	206	181	147
31,25	3	16	22	28	38	55	54	95	352	305	261	221
34,45	3	17	25	32	41	63	59	112	484	439	385	383
37,64	3	19	26	34	46	71	66	140	611	542	500	505
40,83	3	21	30	38	50	80	72	170	706	637	613	623
44,15	4	23	31	41	54	88	78	212	801	741	723	747
47,34	4	24	35	44	58	96	84	273	880	837	826	870
50,66	5	26	37	48	62	104	92	342	963	942	926	1005
53,85	5	28	40	50	65	108	110	398	1048	1039	1025	1138
57,23	6	30	43	56	71	118	138	485	1122	1133	1119	1259
60,54	6	31	45	59	75	132	176	552	1197	1226	1217	1377
63,80	6	33	47	63	79	155	213	616	1269	1323	1313	1494
67,11	5	33	49	66	86	184	258	685	1339	1419	1412	1610
70,18	6	34	52	71	94	217	301	749	1418	1513	1511	1721
73,25	6	36	53	76	119	253	365	818	1498	1605	1608	1831
76,39	6	37	56	82	142	292	428	895	1576	1694	1702	1937
79,46	7	39	60	90	164	337	502	994	1663	1784	1796	2042
82,46	7	42	64	104	194	389	571	1082	1746	1873	1891	2148
85,53	7	43	68	128	242	433	653	1151	1829	1962	1986	2252
88,54	8	45	73	151	281	489	751	1214	1913	2050	2082	2353
91,67	8	47	80	178	316	537	818	1279	1992	2142	2182	2456

94,68	8	49	87	204	350	588	878	1342	2069	2232	2279	2558
97,81	8	53	95	233	384	638	939	1403	2144	2321	2377	2659
100,88	9	59	108	277	418	693	1005	1468	2220	2408	2472	2759
103,70	11	69	131	340	459	766	1076	1531	2292	2492	2563	2855
106,53	11	78	160	374	496	833	1133	1594	2364	2578	2655	2953
109,54	13	91	192	413	536	907	1192	1668	2436	2664	2749	3050
112,55	37	156	261	489	591	974	1249	1737	2506	2749	2843	3145
115,31	53	205	317	560	639	1032	1301	1800	2575	2835	2938	3241
117,95	64	242	360	613	679	1090	1354	1863	2645	2922	3034	3335
119,55	-43	107	214	500	658	1141	1402	1915	2690	2981	3100	3398
122,43	-52	107	206	505	680	1192	1443	1971	2754	3061	3188	3488
125,13	-56	106	206	513	707	1233	1486	2031	2822	3148	3282	3579
127,59	-59	104	205	523	730	1270	1528	2091	2889	3234	3376	3669
129,98	-61	102	205	535	757	1314	1570	2151	2956	3320	3470	3757
132,26	-63	101	204	547	791	1357	1610	2206	3023	3401	3557	3838
134,65	-64	97	203	563	828	1406	1652	2264	3095	3483	3648	3927
136,80	-62	67	191	568	860	1456	1693	2326	3161	3567	3742	4014
139,13	-62	41	176	571	889	1505	1734	2391	3220	3651	3832	4100
141,41	-63	31	164	570	920	1563	1782	2436	3279	3734	3922	4185
143,06	-64	23	155	577	963	1615	1819	2483	3329	3809	4004	4260
144,41	-64	16	142	576	1013	1661	1843	2517	3372	3871	4074	4324
146,38	-65	6	107	570	1081	1699	1860	2586	3436	3940	4152	4400
147,98	-89	22	92	572	1217	1755	1880	2835	3439	4000	4226	4472
81,48	-8	12	18	-48	-51	-7	24	112	144	116	209	23
82,83	-10	11	16	-42	-45	-5	27	105	131	97	178	22
84,06	-10	10	14	-38	-40	-3	30	101	122	92	163	20
85,10	-11	9	13	-36	-36	-1	32	98	114	89	153	20
86,21	-11	8	12	-34	-33	1	33	97	108	87	146	20
87,07	-12	8	11	-31	-30	2	34	94	104	87	141	21
87,87	-13	7	11	-31	-28	3	36	93	102	84	136	22
88,48	-14	7	10	-30	-26	4	36	92	100	82	133	22
89,10	-13	6	10	-28	-24	4	38	91	99	80	129	24
89,53	-13	6	10	-27	-23	6	39	91	96	80	126	24
89,96	-14	6	10	-27	-22	6	41	91	102	75	120	22
90,51	-15	5	10	-26	-21	7	41	92	102	73	118	24
90,94	-15	5	9	-26	-20	7	42	91	102	74	113	25
91,43	-15	4	9	-26	-20	8	43	92	105	70	109	26
91,80	-15	4	9	-26	-18	9	43	91	108	70	105	27
92,23	-15	4	9	-25	-16	9	44	91	108	70	101	28
92,66	-14	4	9	-25	-15	10	44	90	105	75	97	26
92,90	-15	4	8	-25	-16	10	44	90	111	70	95	27
93,27	-15	4	7	-25	-16	10	44	89	115	71	91	28
93,64	-15	3	8	-24	-13	11	45	86	114	75	88	28
94,01	-15	4	8	-23	-14	11	45	86	114	79	84	27
94,31	-16	4	8	-23	-14	11	44	84	113	82	84	26
94,68	-15	3	8	-23	-11	12	45	82	113	85	83	26
94,87	-14	4	7	-22	-11	13	47	87	124	66	89	28
95,24	-15	3	8	-22	-10	15	48	87	125	65	88	28
95,48	-14	3	8	-21	-7	17	49	85	128	66	87	28
95,79	-15	3	8	-20	-5	18	49	84	126	68	86	28
96,22	-15	3	8	-19	-3	20	49	81	122	74	84	27
96,40	-15	3	8	-18	-1	23	51	77	118	80	83	28
96,65	-15	3	7	-20	-2	26	54	77	112	86	79	28
97,02	-16	2	8	-19	0	29	55	76	110	88	79	28
97,32	-15	3	8	-17	4	28	53	74	112	88	79	27
97,69	-16	3	8	-16	6	28	52	73	112	90	79	28
97,94	-15	2	8	-15	8	31	55	73	105	95	75	28
98,12	-16	2	8	-15	9	34	57	72	104	99	76	29
98,18	-16	3	8	-14	11	34	56	70	104	103	78	29
98,49	-15	3	8	-13	12	35	55	69	104	105	85	32
98,55	-15	3	8	-11	16	37	57	68	104	109	86	33
98,92	-15	3	8	-12	18	39	58	68	105	111	85	32
99,17	-16	2	8	-11	18	40	58	67	106	114	85	32
99,35	-15	2	8	-13	12	41	60	67	105	117	84	33
99,53	-15	2	8	-14	10	44	64	68	99	116	101	33
99,84	-15	3	8	-14	11	45	63	64	98	119	104	35
100,02	-15	2	8	-14	10	47	64	63	97	122	106	35
100,27	-15	2	8	-14	11	49	65	61	97	124	106	35

RESULTADOS EXPERIMENTAIS — VIGA V4_A

CARGA [kN]	LVDT # 2 [mm] apoio	LVDT # 3 [mm] carga	LVDT # 4 [mm] central	LVDT # 5 [mm] carga	LVDT # 6 [mm] apoio	TRD-1 [x10 ⁻⁶]	TRD-2 [x10 ⁻⁶]	TRD-3 [x10 ⁻⁶]	TRD-4 [x10 ⁻⁶]	TRD-5 [x10 ⁻⁶]	ε _{S3A} [x10 ⁻⁶]	ε _{S3B} [x10 ⁻⁶]	ε _{F12} [x10 ⁻⁶]
0,00	0,006	-39,669	-44,102	-38,976	0,002	14	0	0	41	15	0	2	0
10,19	0,008	-39,322	-43,709	-38,583	0,000	-28	-29	0	27	29	15	24	17
15,60	0,006	-39,143	-43,517	-38,406	0,000	-57	-29	-14	68	59	41	54	42
22,17	0,004	-38,928	-43,293	-38,210	-0,004	-100	-58	14	122	147	72	88	73
27,20	0,008	-38,732	-43,075	-38,024	-0,002	-114	-58	54	325	206	149	176	108
30,15	0,006	-38,501	-42,818	-37,827	-0,004	-171	-43	68	784	103	268	295	153
32,91	0,006	-38,214	-42,516	-37,601	0,000	-199	0	108	1298	118	440	418	251
35,00	0,006	-37,964	-42,241	-37,395	-0,005	-256	14	54	1488	118	551	522	297
37,15	0,009	-37,712	-41,973	-37,184	-0,009	-271	14	0	1717	103	645	626	359
39,48	0,013	-37,417	-41,671	-36,939	-0,014	-299	43	-68	1947	133	744	744	448
41,57	0,009	-37,159	-41,389	-36,710	-0,020	-299	43	-122	2110	177	834	843	516
43,60	0,004	-36,900	-41,117	-36,477	-0,030	-342	72	-163	2285	177	920	940	570
45,87	0,002	-36,616	-40,819	-36,225	-0,032	-370	101	-203	2448	236	1018	1049	646
48,02	0,002	-36,357	-40,549	-35,990	-0,032	-370	101	-231	2610	354	1106	1149	732
49,98	0,004	-36,102	-40,287	-35,749	-0,034	-370	101	-271	2732	457	1189	1241	813
52,19	0,000	-35,812	-39,989	-35,486	-0,039	-413	115	-298	2881	560	1290	1353	902
54,28	0,002	-35,547	-39,719	-35,225	-0,032	-399	115	-298	3002	693	1378	1449	980
56,18	0,000	-35,275	-39,448	-34,987	-0,032	-456	115	-325	3178	796	1467	1539	1063
58,33	0,002	-34,975	-39,139	-34,717	-0,032	-456	130	-366	3286	958	1582	1647	1174
60,36	-0,021	-34,698	-38,865	-34,472	-0,029	-484	159	-380	3530	1120	1684	1749	1287
62,20	-0,034	-34,422	-38,587	-34,227	-0,029	-499	144	-407	3651	1223	1780	1835	1373
64,35	-0,038	-34,111	-38,266	-33,948	-0,030	-513	159	-420	3841	1356	1893	1935	1468
66,13	-0,038	-33,827	-37,976	-33,701	-0,030	-527	173	-461	3976	1533	1999	2026	1572
67,73	-0,040	-33,538	-37,664	-33,438	-0,029	-555	188	-461	4125	1636	2102	2114	1686
69,69	-0,043	-33,230	-37,343	-33,161	-0,030	-570	202	-475	4260	1798	2216	2214	1791
71,53	-0,043	-32,952	-37,045	-32,904	-0,029	-584	202	-488	4422	1916	2324	2305	1881
73,07	-0,051	-32,674	-36,756	-32,653	-0,050	-598	231	-529	4490	2048	2435	2393	1961
74,85	-0,051	-32,363	-36,424	-32,371	-0,046	-584	231	-542	4652	2181	2561	2500	2060
76,51	-0,053	-32,081	-36,118	-32,075	-0,045	-612	231	-583	4774	2314	2676	2599	2152
78,10	-0,059	-31,807	-35,828	-31,813	-0,045	-655	231	-597	4869	2461	2791	2696	2242
79,88	-0,060	-31,501	-35,494	-31,529	-0,043	-655	260	-637	5004	2623	2922	2805	2342
81,36	-0,062	-31,230	-35,199	-31,277	-0,039	-698	274	-651	5112	2785	3045	2906	2446
82,89	-0,060	-30,950	-34,910	-31,021	-0,043	-669	260	-665	5247	2888	3170	3008	2544
84,55	-0,060	-30,641	-34,571	-30,737	-0,046	-712	289	-719	5382	3036	3311	3128	2648
85,90	-0,059	-30,357	-34,271	-30,483	-0,043	-741	289	-719	5450	3183	3439	3235	2737
87,25	-0,060	-30,062	-33,963	-30,224	-0,050	-755	303	-759	5545	3301	3572	3347	2830
88,73	-0,087	-29,751	-33,624	-29,938	-0,080	-769	332	-787	-11954	3448	3723	3474	2924
90,08	-0,085	-29,454	-33,316	-29,679	-0,079	-798	346	-841	-12063	3596	3867	3605	3014
91,18	-0,108	-29,137	-33,007	-29,421	-0,079	-812	332	-868	-12130	3772	4008	3737	3103
92,41	-0,110	-28,795	-32,667	-29,137	-0,077	-812	375	-949	-12171	3949	4169	3890	3207
93,70	-0,106	-28,514	-32,358	-28,885	-0,079	-855	361	-976	-12239	4126	4316	4034	3299
94,81	-0,102	-28,223	-32,056	-28,626	-0,079	-855	375	-1044	-12306	4259	4465	4184	3385
95,91	-0,100	-27,900	-31,711	-28,342	-0,077	-897	390	-1098	-12225	4421	4634	4362	3479
96,89	-0,104	-27,609	-31,398	-28,084	-0,079	-926	404	-1139	-12239	4598	4789	4529	3542
97,88	-0,102	-27,323	-31,084	-27,830	-0,079	-940	433	-1221	-12333	4760	4944	4700	3626
98,92	-0,106	-27,006	-30,743	-27,532	-0,080	-926	448	-1275	-12306	4907	5125	4900	3731
99,90	-0,128	-26,724	-30,430	-27,272	-0,079	-954	419	-1329	-12293	5099	5287	5087	3824
100,76	-0,128	-26,439	-30,119	-27,015	-0,075	-983	462	-1383	-12306	5261	5464	5296	3945
101,86	-0,128	-26,118	-29,770	-26,722	-0,075	-997	462	-1478	-12320	5467	5661	5531	4063
102,78	-0,130	-25,836	-29,453	-26,452	-0,073	-983	491	-1546	-12333	5600	5835	5741	4161
103,52	-0,140	-25,547	-29,138	-26,187	-0,073	-1040	491	-1587	-12347	5762	6011	5952	4265
104,50	-0,142	-25,232	-28,793	-25,894	-0,073	-1054	491	-1668	-12401	5924	6194	6190	4381
105,36	-0,142	-24,956	-28,476	-25,626	-0,075	-1040	534	-1749	-12455	6115	6249	6411	4485
106,16	-0,144	-24,655	-28,131	-25,331	-0,080	-1054	534	-1817	-12414	6277	6378	6671	4610
106,96	-0,142	-24,379	-27,820	-25,068	-0,075	-1097	534	-1871	-12441	6424	6509	6905	4708
107,76	-0,155	-24,103	-27,505	-24,806	-0,073	-1139	577	-1926	-12482	6543	6615	7138	4803
108,56	-0,168	-23,795	-27,150	-24,500	-0,077	-1125	549	-1980	-12577	6675	6729	7394	4909
109,29	-0,172	-23,513	-26,833	-24,230	-0,075	-1125	606	-2048	-12523	6896	6866	7660	5034
109,97	-0,170	-23,230	-26,524	-23,966	-0,073	-1154	592	-2088	-12577	7029	7001	7901	5136
110,77	-0,174	-22,894	-26,171	-23,657	-0,071	-1168	606	-2170	-12618	7235	7149	8161	5249
111,50	-0,174	-22,599	-25,856	-23,385	-0,077	-1168	606	-2238	-12685	7353	7278	8391	5351
112,12	-0,172	-22,297	-25,534	-23,108	-0,077	-1196	621	-2305	-12726	7485	7383	8626	5460

112,73	-0,174	-21,972	-25,179	-22,808	-0,073	-1211	664	-2360	-12726	7663	7508	8884	5575
113,34	-0,172	-21,678	-24,859	-22,538	-0,073	-1225	664	-2414	-12739	7839	7628	9115	5680
114,14	-0,174	-21,386	-24,544	-22,264	-0,077	-1282	664	-2495	-12780	7972	7745	9343	5785
114,76	-0,176	-21,067	-24,191	-21,969	-0,079	-1282	693	-2536	-12739	8163	7854	9592	5896
115,37	-0,172	-20,776	-23,878	-21,696	-0,080	-1268	707	-2604	-12780	8296	7957	9814	5991
116,05	-0,174	-20,480	-23,548	-21,417	-0,077	-1310	722	-2658	-12780	8370	8056	10040	6090
116,66	-0,189	-20,153	-23,188	-21,112	-0,086	-1353	736	-2739	-12793	8547	8159	10283	6197
117,34	-0,189	-19,860	-22,873	-20,842	-0,082	-1353	751	-2807	-12780	8679	8257	10498	6295
117,95	-0,191	-19,567	-22,543	-20,568	-0,086	-1382	751	-2848	-12807	8871	8348	10713	6385
118,69	-0,206	-19,241	-22,185	-20,261	-0,086	-1382	765	-2916	-12820	9033	8434	10947	6491
119,36	-0,208	-18,946	-21,864	-19,982	-0,082	-1424	794	-2984	-12820	9225	8518	11159	6591
119,98	-0,206	-18,651	-21,538	-19,702	-0,079	-1439	808	-3038	-12820	9416	8610	11370	6689
120,47	-0,215	-18,325	-21,171	-19,386	-0,079	-1439	808	-3106	-12820	9593	8716	11597	6796
120,96	-0,217	-18,028	-20,841	-19,101	-0,084	-1481	823	-3173	-12834	9755	8807	11794	6877
121,45	-0,219	-17,739	-20,509	-18,817	-0,084	-1496	852	-3241	-12820	9932	8897	11995	6940
121,94	-0,223	-17,405	-20,142	-18,499	-0,086	-1496	866	-3282	-12834	10079	8996	12210	7003
122,55	-0,221	-17,106	-19,812	-18,213	-0,086	-1538	866	-3350	-12834	10197	9086	12380	7093
123,05	-0,231	-16,812	-19,480	-17,926	-0,082	-1553	909	-3418	-12847	10315	9170	12559	7182
123,60	-0,227	-16,480	-19,109	-17,608	-0,079	-1624	924	-3499	-12847	10506	9255	12769	7285
124,34	-0,227	-16,177	-18,777	-17,322	-0,079	-1624	895	-3553	-12861	10713	9329	12966	7386
124,64	-0,225	-15,883	-18,451	-17,040	-0,080	-1652	938	-3621	-12888	10845	9415	13157	7478
125,20	-0,227	-15,547	-18,078	-16,716	-0,079	-1652	953	-3702	-12888	11022	9503	13369	7583
125,75	-0,219	-15,252	-17,744	-16,430	-0,080	-1709	967	-3784	-12874	11155	9571	13558	7680
126,36	-0,221	-14,955	-17,410	-16,139	-0,082	-1709	996	-3852	-12929	11302	9642	13746	7782
126,85	-0,219	-14,614	-17,039	-15,814	-0,079	-1738	1011	-3919	-12861	11450	9724	13954	7891
127,47	-0,219	-14,312	-16,705	-15,521	-0,080	-1752	1011	-3987	-12901	11582	9792	14138	7991
127,84	-0,221	-14,013	-16,368	-15,226	-0,084	-1795	1054	-4096	-12901	11729	9839	14326	8066
128,33	-0,219	-13,696	-15,999	-14,903	-0,084	-1809	1054	-4150	-12874	11877	9910	14533	8170
128,88	-0,221	-13,401	-15,663	-14,615	-0,086	-1823	1054	-4204	-12874	12009	9960	14717	8259
129,13	-0,223	-13,104	-15,324	-14,317	-0,084	-1880	1097	-4285	-12915	12157	9990	14898	8352
129,86	-0,225	-12,778	-14,960	-13,994	-0,084	-1894	1097	-4272	-12861	12319	10026	15090	8457
130,41	-0,221	-12,474	-14,630	-13,701	-0,086	-1909	1112	-4041	-12861	12466	10054	15262	8551
130,97	-0,221	-12,172	-14,293	-13,408	-0,084	-1923	1112	-4153	-12874	12555	10039	15437	8644
131,40	-0,225	-11,839	-13,925	-13,079	-0,086	-1951	1126	-4139	-12847	12702	10031	15627	8747
132,01	-0,225	-11,550	-13,597	-12,783	-0,079	-1966	1155	-4180	-12847	12849	9655	15800	8847
132,50	-0,231	-11,263	-13,267	-12,490	-0,079	-2008	1169	-4180	-12847	12968	9501	-	8975
132,81	-0,248	-10,936	-12,887	-12,152	-0,080	-2023	1198	-4180	-12847	13144	9294	-	9095
97,02	-0,206	-9,668	-11,934	-9,634	-0,080	-1909	1732	11622	-11062	8311	8973	-	-2089
97,32	-0,208	-9,000	-11,647	-8,972	-0,077	-1951	1761	10822	-11116	8296	7681	-	-1280

RESULTADOS EXPERIMENTAIS — VIGA V4_B

CARGA [kN]	LVDT # 2 [mm] apoio	LVDT # 3 [mm] carga	LVDT # 4 [mm] central	LVDT # 5 [mm] carga	LVDT # 6 [mm] apoio	TRD-1 [x10 ⁻⁶]	TRD-2 [x10 ⁻⁶]	TRD-3 [x10 ⁻⁶]	TRD-4 [x10 ⁻⁶]	TRD-5 [x10 ⁻⁶]	ES1A [x10 ⁻⁶]	ES1B [x10 ⁻⁶]	ES2A [x10 ⁻⁶]	ES2B [x10 ⁻⁶]	ES3A [x10 ⁻⁶]	ES3B [x10 ⁻⁶]
0,00	-0,006	-47,852	-48,821	-44,463	-0,005	-43	-14	14	-14	0	0	-6	2	-26	1	3
11,91	-0,004	-47,665	-48,614	-44,263	-0,011	-71	-29	-14	-27	29	1	-5	18	-4	22	32
18,11	-0,006	-47,503	-48,437	-44,108	-0,014	-142	-43	0	14	118	4	-4	37	28	52	74
22,72	-0,006	-47,337	-48,243	-43,947	-0,016	-157	-29	54	311	383	5	-1	68	77	173	272
26,03	-0,008	-47,098	-47,977	-43,725	-0,016	-214	-14	176	554	737	6	8	171	283	329	459
28,80	-0,006	-46,824	-47,676	-43,444	-0,018	-214	0	353	852	1002	6	13	334	444	462	612
31,01	-0,006	-46,557	-47,380	-43,178	-0,012	-242	14	529	1122	1164	7	14	447	546	564	738
33,46	-0,006	-46,255	-47,044	-42,874	-0,016	-342	0	502	1352	1326	8	19	564	652	664	862
35,92	-0,004	-45,958	-46,698	-42,577	-0,018	-385	14	312	1582	1503	10	18	671	764	758	984
38,07	-0,006	-45,680	-46,390	-42,315	-0,014	-399	43	203	1785	1665	11	16	766	868	845	1093
40,71	-0,008	-45,376	-46,047	-42,023	-0,012	-413	0	68	1988	1827	11	13	866	982	936	1210
43,23	-0,009	-45,066	-45,683	-41,723	-0,012	-427	14	-81	2204	1930	11	10	969	1094	1030	1328
45,50	-0,009	-44,787	-45,363	-41,446	-0,014	-442	43	-203	2394	2092	11	7	1061	1193	1112	1436
47,96	-0,023	-44,479	-45,014	-41,150	-0,011	-470	29	-298	2542	2210	12	15	1167	1310	1199	1540
50,29	-0,032	-44,199	-44,710	-40,883	-0,012	-484	29	-380	2691	2314	13	13	1273	1429	1278	1643
52,44	-0,034	-43,880	-44,358	-40,578	-0,029	-470	29	-461	2867	2476	12	10	1383	1551	1369	1758

54,96	-0,049	-43,572	-44,003	-40,274	-0,030	-527	72	-542	3029	2608	13	8	1487	1664	1463	1876
57,10	-0,060	-43,283	-43,681	-39,993	-0,030	-570	58	-597	3178	2741	14	9	1572	1760	1545	1980
59,07	-0,068	-42,966	-43,319	-39,684	-0,029	-584	87	-692	3354	2888	16	17	1667	1864	1634	2092
61,46	-0,072	-42,650	-42,954	-39,381	-0,027	-612	87	-719	3516	3021	16	25	1762	1965	1732	2204
63,55	-0,070	-42,354	-42,622	-39,102	-0,029	-641	101	-787	3638	3139	17	21	1847	2054	1821	2303
65,52	-0,077	-42,027	-42,260	-38,795	-0,027	-641	101	-868	3787	3257	18	17	1939	2150	1926	2405
67,67	-0,075	-41,699	-41,897	-38,489	-0,029	-669	144	-909	3922	3404	19	18	2033	2248	2023	2515
69,32	-0,083	-41,391	-41,544	-38,194	-0,023	-669	144	-949	4057	3522	19	18	2122	2341	2113	2613
71,29	-0,085	-41,076	-41,201	-37,894	-0,021	-712	173	-990	4179	3640	20	34	2220	2445	2212	2715
72,95	-0,089	-40,779	-40,867	-37,599	-0,021	-726	188	-1044	4314	3787	20	32	2309	2540	2306	2802
74,73	-0,089	-40,454	-40,500	-37,289	-0,025	-755	217	-1098	4476	3905	22	24	2408	2639	2408	2906
76,57	-0,089	-40,115	-40,131	-36,980	-0,029	-769	231	-1139	4598	4038	22	22	2506	2739	2511	3035
78,17	-0,096	-39,824	-39,805	-36,694	-0,075	-769	231	-1193	4760	4156	23	19	2599	2840	2609	3142
79,88	-0,096	-39,493	-39,435	-36,372	-0,073	-798	274	-1248	4869	4303	22	21	2701	2949	2718	3270
81,42	-0,096	-39,167	-39,064	-36,045	-0,075	-798	274	-1343	5031	4465	23	33	2807	3060	2829	3406
82,83	-0,096	-38,861	-38,721	-35,738	-0,077	-783	332	-1356	5193	4553	24	32	2898	3160	2929	3537
84,31	-0,096	-38,525	-38,348	-35,410	-0,075	-726	361	-1438	5315	4715	25	34	3003	3275	3044	3692
85,72	-0,100	-38,197	-37,979	-35,085	-0,075	-655	375	-1505	5477	4863	25	39	3116	3401	3166	3858
87,01	-0,098	-37,883	-37,644	-34,792	-0,075	-897	404	-1587	5626	5010	26	39	3222	3521	3282	4024
88,30	-0,138	-37,534	-37,232	-34,456	-0,077	-912	448	-1695	5788	5187	27	41	3342	3655	3418	4220
89,53	-0,145	-37,204	-36,866	-34,135	-0,075	-926	505	-1831	5964	5349	28	42	3458	3797	3573	4448
90,57	-0,143	-36,898	-36,521	-33,842	-0,075	-954	534	-1912	6140	5511	29	42	3573	3939	3708	4654
91,80	-0,142	-36,544	-36,130	-33,506	-0,075	-954	577	-2048	6288	5659	30	42	3701	4099	3861	4890
92,78	-0,140	-36,208	-35,768	-33,202	-0,073	-1025	592	-2129	6464	5821	31	40	3819	4247	4002	5112
93,82	-0,140	-35,853	-35,376	-32,867	-0,078	-1025	621	-2211	6626	5968	32	41	3954	4415	4162	5369
94,99	-0,145	-35,497	-34,979	-32,529	-0,077	-1068	678	-2333	6775	6130	33	38	4095	4586	4327	5633
95,91	-0,153	-35,176	-34,618	-32,224	-0,078	-1040	707	-2414	6937	6263	33	42	4225	4746	4480	5881
96,89	-0,151	-34,818	-34,219	-31,884	-0,075	-1082	765	-2509	7113	6424	35	39	4369	4928	4648	6163
97,81	-0,151	-34,467	-33,820	-31,544	-0,077	-1111	765	-2604	7289	6587	36	42	4515	5112	4820	6456
98,61	-0,149	-34,139	-33,456	-31,235	-0,077	-1125	808	-2699	7451	6734	37	37	4652	5274	4980	6727
99,53	-0,153	-33,781	-33,053	-30,899	-0,077	-1168	837	-2794	7600	6911	39	33	4812	5457	5155	7033
100,45	-0,162	-33,413	-32,652	-30,558	-0,077	-1196	866	-2875	7776	7073	40	39	4967	5641	5335	7350
101,13	-0,164	-33,092	-32,287	-30,252	-0,078	-1211	895	-2956	7979	7220	41	40	5104	5803	5494	7635
101,86	-0,164	-32,736	-31,890	-29,911	-0,073	-1282	938	-3051	8168	7397	43	42	5259	5972	5666	7949
102,72	-0,164	-32,411	-31,528	-29,601	-0,075	-1296	953	-3092	8303	7544	44	36	5406	6130	5821	8233
103,64	-0,181	-32,053	-31,127	-29,253	-0,077	-1296	1011	-3201	8493	7707	46	30	5571	6307	5993	8545
104,26	-0,185	-31,689	-30,726	-28,908	-0,086	-1296	1025	-3295	8655	7854	48	33	5738	6483	6165	8862
105,06	-0,183	-31,361	-30,361	-28,595	-0,080	-1310	1054	-3350	8830	8046	48	42	5891	6644	6321	9148
105,85	-0,185	-30,999	-29,958	-28,249	-0,075	-1339	1112	-3445	8993	8193	50	45	6059	6820	6491	9458
106,77	-0,185	-30,639	-29,559	-27,905	-0,078	-1353	1112	-3540	9196	8370	52	39	6232	7004	6659	9763
107,39	-0,198	-30,310	-29,194	-27,592	-0,087	-1339	1140	-3607	9345	8532	54	37	6402	7179	6814	10044
108,13	-0,196	-29,946	-28,798	-27,251	-0,086	-1410	1169	-3716	9534	8694	55	48	6595	7367	6980	10346
108,86	-0,198	-29,588	-28,398	-26,901	-0,084	-1439	1198	-3811	9710	8871	56	46	6786	7567	7146	10647
109,60	-0,213	-29,256	-28,034	-26,585	-0,084	-1439	1242	-3906	9886	9047	57	51	6954	7740	7299	10921
110,21	-0,211	-28,889	-27,635	-26,233	-0,086	-1496	1256	-4014	10075	9225	59	47	7139	7935	7464	11219
110,89	-0,213	-28,530	-27,236	-25,880	-0,087	-1553	1299	-4150	10264	9445	61	44	7325	8125	7630	11508
111,56	-0,230	-28,202	-26,867	-25,560	-0,087	-1609	1328	-4299	10440	9578	64	42	7493	8296	7778	11767
112,24	-0,228	-27,846	-26,464	-25,205	-0,086	-1638	1343	-4448	10616	9755	65	44	7681	8485	7937	12044
112,79	-0,228	-27,512	-26,101	-24,884	-0,089	-1681	1371	-4665	10778	9917	69	54	7856	8658	8081	12289
113,41	-0,228	-27,157	-25,702	-24,530	-0,087	-1709	1400	-4882	10954	10094	71	56	8053	8851	8238	12554
114,20	-0,241	-26,797	-25,295	-24,172	-0,087	-1780	1429	-5126	11130	10256	75	54	8251	9045	8395	12816
114,76	-0,241	-26,469	-24,935	-23,848	-0,091	-1795	1444	-5303	11292	10418	78	53	8430	9221	8535	13049
115,25	-0,253	-26,112	-24,533	-23,499	-0,089	-1780	1458	-5492	11455	10580	87	63	8633	9416	8688	13301
116,11	-0,253	-25,752	-24,130	-23,145	-0,091	-1866	1516	-5628	11643	10757	108	61	8833	9604	8840	13553
116,72	-0,260	-25,430	-23,768	-22,822	-0,091	-1866	1487	-5750	11779	10934	119	57	9015	9780	8978	13776
117,34	-0,260	-25,071	-23,360	-22,467	-0,093	-1923	1530	-5912	11954	11081	130	67	9218	9980	9127	14017
118,01	-0,262	-24,713	-22,964	-22,113	-0,089	-1937	1559	-6048	12117	11214	138	82	9430	10184	9273	14252
118,38	-0,268	-24,381	-22,584	-21,778	-0,091	-1937	1602	-6184	12279	11391	147	78	9608	10355	9406	14469
118,87	-0,264	-24,026	-22,181	-21,423	-0,089	-1966	1617	-6388	12469	11567	155	85	9805	10539	9556	14705
119,55	-0,268	-23,698	-21,814	-21,092	-0,091	-2008	1617	-6523	12604	11729	163	96	9980	10701	9688	14912
120,10	-0,266	-23,332	-21,404	-20,732	-0,089	-2051	1660	-6686	12793	11892	175	106	10171	10877	9833	15136
120,77	-0,266	-22,978	-21,001	-20,375	-0,089	-2065	1675	-6821	12942	12053	185	122	10359	11049	9976	15357
121,20	-0,296	-22,646	-20,630	-20,044	-0,087	-2122	1704	-6943	13091	12216	194	124	10529	11204	10107	15561
121,82	-0,289	-22,284	-20,218	-19,689	-0,093	-2151	1718	-7079	13253	12363	239	198	10712	11372	10246	15776
122,25	-0,294	-21,920	-19,815	-19,338	-0,091	-2193	1718	-7160	13415	12511	481	420	10874	11518	10374	-
122,86	-0,289	-21,582	-19,435	-19,004	-0,091	-2208	1732	-7283	13564	12658	561	514	11025	11656	10496	-
123,41	-0,296	-21,226	-19,032	-18,647	-0,091	-2222	1772	-7377	13727	12820	592	557	11195	11810	10629	-
124,03	-0,291	-20,862	-18,609	-18,279	-0,091	-2179	1776	-7472	13889	12997	611	583	11367	11970	10768	-
124,40	-0,291	-20,534	-18,240	-17,956	-0,091	-2222	1805	-7567	13997	13159	626	599	11524	12119	10889	-
124,77	-0,296	-20,170	-17,830	-17,595	-0,091	-2336	1833	-7690	14186	13307	643	616	11694	12279	11022	-

125,32	-0,294	-19,804	-17,418	-17,231	-0,093	-2364	1848	-7798	14349	13483	656	633	11869	12438	11152	-
125,63	-0,294	-19,474	-17,054	-16,906	-0,091	-2322	1862	-7893	14484	13616	666	645	12033	12578	11271	-
126,24	-0,292	-19,112	-16,636	-16,548	-0,091	-2364	1862	-8055	14646	13793	677	660	12220	12728	11400	-
126,67	-0,294	-18,787	-16,258	-16,219	-0,091	-2478	1906	-8178	14741	13955	686	666	12390	12856	11515	-
127,04	-0,294	-18,429	-15,844	-15,860	-0,091	-2521	1920	-8259	14943	14073	694	676	12582	12996	11640	-
127,65	-0,294	-18,071	-15,447	-15,502	-0,086	-2550	1920	-8395	15106	14220	703	691	12781	13133	11762	-
128,08	-0,300	-17,745	-15,076	-15,177	-0,087	-2621	1934	-8516	15227	14367	710	696	12959	13258	11874	-
128,51	-0,302	-17,386	-14,669	-14,820	-0,086	-2663	1949	-8557	15349	14529	718	700	13146	13394	11997	-
128,82	-0,302	-17,028	-14,261	-14,456	-0,086	-2735	1963	-8679	15512	14676	725	710	13323	13535	12120	-
129,31	-0,304	-16,707	-13,903	-14,132	-0,087	-2763	1992	-8788	15633	14839	733	718	13481	13656	12229	-
129,80	-0,304	-16,353	-13,498	-13,768	-0,086	-2792	2007	-8869	15782	15015	740	728	13660	13791	12346	-
89,65	-0,241	-15,791	-12,579	-13,235	-0,075	-2606	2757	5479	17608	3566	639	645	12925	12905	13439	-
91,24	-0,240	-12,659	-12,210	-12,958	-0,075	-2678	2743	5479	17784	3537	638	644	13390	13425	13528	-
93,15	-0,240	-12,129	-11,798	-12,621	-0,073	-2678	2801	5533	18013	3537	641	645	13472	13509	13673	-
94,19	-0,238	-11,688	-11,423	-12,308	-0,075	-2663	2844	5520	18230	3522	643	645	13520	13558	13818	-

CARGA [kN]	ϵ_{F1} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{F2} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{F3} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{F4} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{F5} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{F6} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{F7} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{F8} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{F9} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{F10} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{F11} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{F12} [$\times 10^{-6}$]
0,00	1	1	1	1	1	1	2	0	2	3	3	4
11,91	2	4	5	6	6	6	9	12	22	25	23	26
18,11	5	7	9	9	11	13	16	29	45	44	36	49
22,72	7	10	12	12	14	18	23	37	49	50	49	57
26,03	9	11	13	15	18	21	26	47	47	52	67	74
28,80	9	12	14	17	20	22	29	64	48	54	93	108
31,01	10	12	16	18	21	24	31	95	51	61	119	143
33,46	11	13	17	19	24	26	34	125	54	81	155	201
35,92	10	14	18	21	25	28	37	165	61	157	193	287
38,07	11	15	20	22	26	31	40	225	71	380	230	434
40,71	12	17	20	23	28	33	42	314	110	535	280	597
43,23	14	18	22	25	30	34	45	415	145	688	342	740
45,50	14	19	23	26	32	36	49	459	173	787	396	892
47,96	15	20	25	27	34	36	51	532	207	893	462	1066
50,29	15	21	25	29	34	39	53	593	260	982	521	1334
52,44	16	21	26	31	36	41	51	654	341	1076	591	1535
54,96	17	22	28	30	38	42	51	738	419	1174	667	1802
57,10	17	23	29	32	39	47	53	826	503	1267	746	1892
59,07	19	25	30	33	40	51	67	923	595	1365	858	2007
61,46	19	27	32	35	40	54	86	1003	672	1470	970	2136
63,55	20	27	32	34	40	56	118	1061	790	1565	1072	2256
65,52	21	29	33	36	42	59	157	1114	931	1662	1193	2395
67,67	21	30	35	37	43	69	201	1216	1079	1757	1320	2512
69,32	22	30	35	37	42	86	241	1275	1232	1838	1429	2616
71,29	22	31	36	39	43	96	314	1320	1370	1939	1542	2735
72,95	22	31	38	40	44	105	381	1368	1507	2028	1634	2860
74,73	23	33	38	40	45	129	517	1416	1683	2125	1727	2995
76,57	24	34	40	41	47	197	711	1448	1921	2217	1813	3115
78,17	25	34	41	41	49	242	777	1483	2180	2320	1896	3219
79,88	24	35	42	43	52	270	829	1525	2358	2426	1987	3333
81,42	25	36	43	43	54	302	873	1566	2534	2527	2074	3438
82,83	25	37	44	44	60	333	911	1608	2674	2616	2153	3532
84,31	26	37	44	44	69	357	963	1635	2836	2710	2245	3636
85,72	26	39	45	45	76	381	1008	1660	3016	2806	2338	3742
87,01	28	39	45	46	84	403	1043	1685	3182	2888	2424	3840
88,30	28	41	45	47	89	433	1074	1711	3303	2980	2523	3962
89,53	29	41	47	48	98	470	1099	1737	3353	3071	2621	4063
90,57	29	41	47	47	111	501	1119	1759	3391	3155	2710	4154
91,80	29	43	47	46	128	534	1140	1784	3430	3250	2811	4257
92,78	30	43	45	44	154	556	1159	1804	3407	3335	2904	4352
93,82	29	43	44	42	191	579	1179	1823	3465	3434	3009	4464
94,99	29	42	43	40	211	602	1200	1838	3542	3533	3117	4574
95,91	30	43	43	38	229	626	1216	1854	3620	3623	3217	4672
96,89	30	43	43	38	244	654	1234	1873	3719	3725	3325	4780
97,81	30	44	43	37	256	681	1251	1885	3808	3824	3436	4844
98,61	30	44	43	37	266	706	1267	1899	3894	3917	3534	4916
99,53	31	44	42	37	278	732	1283	1914	3984	4016	3641	4986
100,45	31	45	43	36	290	758	1299	1933	4071	4119	3747	5084

101,13	31	45	43	36	300	782	1312	1948	4147	4212	3840	5177
101,86	31	46	43	36	312	810	1327	1948	4229	4326	3947	5287
102,72	32	46	43	36	322	832	1340	1963	4305	4450	4045	5389
103,64	32	46	43	36	330	857	1354	1980	4391	4571	4156	5507
104,26	32	47	43	36	338	881	1367	1997	4490	4683	4272	5630
105,06	32	47	43	36	344	903	1380	2010	4571	4785	4382	5734
105,85	32	48	44	36	352	928	1393	2031	4655	4895	4506	5857
106,77	32	48	44	37	362	952	1405	2049	4734	5005	4624	5976
107,39	33	49	44	36	368	973	1415	2067	4810	5103	4735	6069
108,13	32	49	44	36	376	995	1426	2083	4929	5206	4857	6180
108,86	33	49	45	36	385	1016	1438	2103	5028	5312	4978	6298
109,60	32	50	46	36	392	1033	1449	2120	5108	5412	5088	6409
110,21	32	51	45	37	400	1053	1461	2138	5201	5523	5213	6526
110,89	33	51	46	37	408	1072	1473	2157	5290	5634	5338	6624
111,56	32	52	46	37	415	1087	1483	2174	5368	5740	5434	6729
112,24	32	53	47	38	423	1104	1494	2194	5459	5851	5558	6848
112,79	32	53	47	37	431	1118	1505	2212	5535	5959	5670	6954
113,41	33	54	48	37	439	1133	1516	2234	5526	6082	5790	7070
114,20	32	54	48	38	447	1147	1526	2253	5581	6208	5908	7190
114,76	33	55	48	39	455	1159	1534	2271	5658	6328	6027	7296
115,25	32	57	51	39	463	1172	1545	2291	5747	6456	6146	7412
116,11	30	73	61	36	469	1187	1555	2311	5839	6578	6266	7534
116,72	29	82	66	36	476	1200	1563	2330	5974	6683	6378	7637
117,34	28	91	82	32	484	1213	1573	2352	6073	6793	6503	7753
118,01	28	98	92	32	492	1227	1581	2376	6153	6906	6640	7867
118,38	27	106	102	32	502	1243	1594	2398	6179	6999	6760	7969
118,87	26	113	111	31	512	1257	1604	2417	6274	7105	6900	8080
119,55	26	126	130	29	520	1268	1613	2440	6361	7202	7026	8166
120,10	23	146	146	31	526	1281	1623	2464	6458	7313	7159	8257
120,77	24	162	159	32	532	1292	1633	2485	6556	7427	7296	8321
121,20	24	176	170	35	538	1304	1641	2507	6653	7526	7422	8412
121,82	25	244	324	52	550	1309	1649	2532	6753	7631	7561	8518
122,25	60	930	864	110	592	1301	1652	2552	6841	7718	7694	8617
122,86	73	1077	1036	135	622	1307	1662	2573	6925	7810	7815	8714
123,41	79	1125	1096	151	639	1313	1671	2596	7030	7910	7939	8823
124,03	83	1154	1132	165	650	1320	1681	2621	7132	8014	8071	8933
124,40	85	1176	1155	181	659	1326	1690	2646	7230	8105	8193	9034
124,77	88	1200	1179	197	667	1335	1701	2671	7324	8199	8322	9148
125,32	90	1221	1203	210	676	1345	1711	2704	7401	8299	8454	9259
125,63	93	1238	1223	221	684	1352	1721	2736	7470	8392	8569	9360
126,24	95	1253	1243	232	691	1360	1729	2783	7545	8492	8696	9468
126,67	97	1267	1259	242	697	1368	1739	2823	7619	8621	8806	9564
127,04	100	1281	1276	250	704	1378	1749	2876	7699	8717	8929	9672
127,65	101	1294	1291	259	711	1385	1758	2942	7768	8811	9042	9774
128,08	103	1304	1303	267	718	1392	1766	2999	7838	8894	9143	9870
128,51	104	1313	1315	277	725	1400	1775	3051	7923	8987	9254	9979
128,82	108	1328	1330	287	733	1408	1785	3107	8013	9056	9365	10083
129,31	110	1337	1342	295	739	1415	1794	3173	8084	9125	9465	10175
129,80	112	1348	1355	304	746	1422	1804	3248	8158	9206	9574	10272
89,65	95	1104	1141	255	611	1148	1467	2626	4565	1667	1639	-2883
91,24	94	1115	1149	256	617	1163	1486	2569	2776	677	1400	-
93,15	95	1124	1156	259	623	1174	1499	2586	2809	810	1482	-1632
94,19	96	1126	1158	259	625	1179	1505	2595	2807	816	1528	-1515

RESULTADOS EXPERIMENTAIS — VIGA V5_A

CARGA [kN]	LVDT # 2 [mm] apoio	LVDT # 3 [mm] carga	LVDT # 4 [mm] central	LVDT # 5 [mm] carga	LVDT # 6 [mm] apoio	TRD-1 [x10 ⁻⁶]	TRD-2 [x10 ⁻⁶]	TRD-3 [x10 ⁻⁶]	TRD-4 [x10 ⁻⁶]	TRD-5 [x10 ⁻⁶]	ε _{S3A} [x10 ⁻⁶]	ε _{S3B} [x10 ⁻⁶]	ε _{F12} [x10 ⁻⁶]
0,00	0,006	-44,092	-43,947	-44,961	-0,011	-14	29	0	14	29	1	1	1
10,25	0,008	-43,880	-43,675	-44,641	-0,009	-14	-29	-14	0	15	4	8	6

14,31	0,008	-43,788	-43,575	-44,542	-0,007	-43	0	14	27	15	18	32	27
17,99	0,004	-43,710	-43,485	-44,470	-0,011	-71	0	27	27	0	33	63	45
22,47	0,009	-43,611	-43,364	-44,373	-0,012	-71	0	14	27	29	66	113	64
25,97	0,008	-43,509	-43,252	-44,277	-0,009	-71	-14	68	27	44	107	161	90
29,47	0,006	-43,367	-43,097	-44,142	-0,011	-114	-14	68	14	44	162	225	131
32,24	0,006	-43,223	-42,937	-44,014	-0,012	-128	-14	68	-14	88	253	328	187
35,06	0,004	-43,064	-42,745	-43,852	-0,011	-142	14	54	-27	118	326	400	257
37,70	-0,009	-42,882	-42,545	-43,686	-0,011	-157	14	54	-54	192	394	473	334
39,97	-0,009	-42,710	-42,363	-43,531	-0,014	-199	14	41	-41	236	471	552	403
42,43	-0,008	-42,525	-42,148	-43,355	-0,012	-199	43	14	-54	324	547	634	481
44,64	-0,006	-42,361	-41,960	-43,195	-0,012	-199	14	27	-54	354	608	700	546
47,10	-0,008	-42,178	-41,746	-43,009	-0,012	-228	29	14	-54	457	680	780	614
49,25	-0,040	-42,003	-41,557	-42,840	-0,012	-242	14	0	-95	472	739	847	670
51,70	-0,042	-41,811	-41,341	-42,655	-0,014	-271	29	-27	-81	545	805	923	732
53,91	-0,042	-41,633	-41,145	-42,485	-0,014	-256	29	0	-54	604	863	989	787
56,37	-0,040	-41,438	-40,921	-42,286	-0,016	-271	43	14	-81	634	927	1062	842
58,82	-0,042	-41,242	-40,694	-42,085	-0,016	-285	29	0	-54	707	993	1136	902
60,97	-0,040	-41,066	-40,494	-41,906	-0,014	-328	0	0	-68	737	1049	1198	953
63,37	-0,042	-40,863	-40,269	-41,704	-0,016	-328	43	-14	-81	810	1112	1269	1011
65,46	-0,055	-40,686	-40,073	-41,535	-0,014	-342	29	-14	-81	884	1167	1330	1063
67,97	-0,055	-40,479	-39,838	-41,334	-0,014	-356	14	-14	-81	958	1232	1401	1124
70,06	-0,057	-40,296	-39,633	-41,148	-0,025	-370	29	-41	-81	973	1289	1465	1178
72,52	-0,062	-40,089	-39,396	-40,943	-0,027	-413	43	-54	-68	1031	1355	1537	1239
74,97	-0,066	-39,880	-39,165	-40,741	-0,023	-399	29	-41	-54	1076	1424	1611	1301
77,00	-0,074	-39,689	-38,953	-40,560	-0,061	-413	29	-81	-41	1149	1484	1677	1356
79,58	-0,072	-39,477	-38,712	-40,357	-0,066	-442	29	-41	-54	1223	1553	1753	1419
81,60	-0,076	-39,283	-38,503	-40,166	-0,062	-456	29	-68	-68	1267	1615	1820	1474
84,00	-0,077	-39,066	-38,263	-39,958	-0,059	-456	43	-68	-41	1312	1687	1896	1535
85,96	-0,087	-38,876	-38,046	-39,770	-0,064	-470	29	-81	-41	1356	1748	1959	1587
88,30	-0,104	-38,650	-37,789	-39,546	-0,064	-513	29	-68	-68	1429	1819	2032	1646
90,32	-0,108	-38,458	-37,563	-39,358	-0,068	-484	29	-68	-54	1474	1881	2095	1697
92,66	-0,110	-38,228	-37,308	-39,144	-0,068	-527	43	-81	-54	1518	1953	2167	1755
94,81	-0,106	-38,001	-37,049	-38,935	-0,059	-555	14	-95	-54	1562	2024	2241	1816
96,77	-0,123	-37,797	-36,827	-38,740	-0,068	-584	0	-54	-27	1621	2086	2304	1866
98,98	-0,125	-37,561	-36,568	-38,521	-0,070	-598	0	-81	-27	1665	2159	2379	1927
101,06	-0,134	-37,350	-36,335	-38,326	-0,071	-598	-14	-68	-14	1695	2223	2447	1981
103,21	-0,130	-37,102	-36,076	-38,100	-0,068	-598	-29	-81	-14	1754	2296	2525	2048
105,24	-0,147	-36,881	-35,843	-37,903	-0,068	-627	-14	-68	-14	1798	2360	2593	2099
107,39	-0,142	-36,644	-35,582	-37,679	-0,070	-655	0	-81	14	1871	2432	2673	2157
109,41	-0,159	-36,441	-35,348	-37,482	-0,068	-655	-14	-81	0	1901	2496	2742	2207
111,56	-0,164	-36,199	-35,087	-37,260	-0,070	-698	-43	-95	41	1945	2569	2822	2266
113,53	-0,168	-35,952	-34,811	-37,031	-0,070	-698	-29	-95	14	2004	2643	2901	2323
115,31	-0,174	-35,741	-34,580	-36,834	-0,070	-726	-43	-95	14	2048	2707	2971	2375
117,40	-0,178	-35,495	-34,312	-36,601	-0,068	-755	-29	-81	27	2107	2781	3051	2432
119,24	-0,187	-35,284	-34,081	-36,401	-0,066	-755	-58	-108	41	2137	2846	3122	2484
121,20	-0,191	-35,029	-33,810	-36,173	-0,068	-798	-43	-68	41	2181	2923	3204	2543
122,92	-0,195	-34,818	-33,577	-35,973	-0,121	-798	-43	-108	68	2225	2989	3277	2593
124,83	-0,206	-34,564	-33,301	-35,735	-0,121	-840	-72	-68	68	2284	3067	3361	2653
126,85	-0,204	-34,314	-33,023	-35,499	-0,118	-855	-58	-81	68	2343	3145	3447	2715
128,45	-0,210	-34,087	-32,788	-35,292	-0,121	-869	-72	-95	68	2372	3212	3519	2764
130,17	-0,213	-33,842	-32,505	-35,039	-0,119	-869	-58	-81	81	2402	3281	3592	2813
131,64	-0,213	-33,622	-32,261	-34,824	-0,121	-926	-43	-95	122	2461	3347	3663	2860
133,48	-0,213	-33,364	-31,985	-34,582	-0,121	-926	-87	-95	108	2490	3425	3749	2919
135,02	-0,215	-33,135	-31,731	-34,362	-0,119	-954	-72	-68	135	2549	3493	3822	2971
136,68	-0,225	-32,879	-31,463	-34,129	-0,119	-969	-72	-81	122	2594	3569	3904	3026
138,34	-0,236	-32,652	-31,220	-33,920	-0,134	-1011	-58	-95	122	2652	3640	3979	3080
139,93	-0,232	-32,391	-30,935	-33,671	-0,130	-1025	-87	-68	122	2726	3720	4062	3143
141,59	-0,230	-32,124	-30,656	-33,424	-0,132	-1040	-58	-95	135	2756	3800	4145	3212
143,19	-0,249	-31,894	-30,404	-33,200	-0,132	-1082	-87	-81	135	2785	3871	4221	3270
144,60	-0,255	-31,639	-30,137	-32,964	-0,132	-1082	-87	-81	122	2859	3944	4299	3325
145,89	-0,253	-31,420	-29,895	-32,753	-0,134	-1111	-101	-81	135	2888	4013	4372	3413
147,55	-0,259	-31,157	-29,617	-32,506	-0,130	-1111	-87	-81	149	2962	4096	4459	3520
149,02	-0,257	-30,932	-29,375	-32,289	-0,134	-1154	-87	-81	135	3021	4170	4535	3590
150,62	-0,261	-30,667	-29,089	-32,037	-0,134	-1196	-72	-54	149	3050	4253	4621	3686
151,91	-0,291	-30,441	-28,849	-31,821	-0,132	-1196	-72	-81	162	3109	4327	4696	3759
153,50	-0,291	-30,180	-28,567	-31,570	-0,132	-1225	-101	-81	135	3168	4411	4779	3835
155,04	-0,293	-29,918	-28,286	-31,316	-0,128	-1268	-101	-68	135	3198	4497	4865	3911
156,39	-0,291	-29,695	-28,049	-31,098	-0,132	-1268	-87	-81	135	3257	4572	4939	3977
157,86	-0,291	-29,432	-27,769	-30,847	-0,136	-1310	-87	-81	135	3301	4659	5024	4057
159,21	-0,289	-29,208	-27,519	-30,627	-0,132	-1339	-101	-68	135	3316	4735	5098	4126

160,75	-0,295	-28,948	-27,238	-30,377	-0,141	-1339	-87	-68	135	3404	4824	5185	4201
162,04	-0,295	-28,724	-26,997	-30,158	-0,134	-1382	-72	-95	149	3433	4902	5259	4265
163,39	-0,295	-28,469	-26,718	-29,906	-0,130	-1439	-87	-81	149	3492	4991	5342	4336
164,80	-0,293	-28,208	-26,438	-29,652	-0,136	-1439	-87	-95	135	3522	5080	5426	4433
166,09	-0,321	-27,980	-26,196	-29,439	-0,137	-1481	-87	-68	135	3581	5154	5496	4501
167,44	-0,321	-27,726	-25,916	-29,185	-0,134	-1510	-87	-81	122	3625	5242	5576	4574
168,67	-0,336	-27,500	-25,679	-28,967	-0,130	-1538	-87	-68	135	3669	5320	5647	4639
169,96	-0,332	-27,245	-25,403	-28,718	-0,136	-1567	-87	-81	149	3728	5409	5727	4708
171,12	-0,329	-27,015	-25,159	-28,496	-0,134	-1581	-130	-81	162	3758	5488	5796	4776
172,41	-0,327	-26,750	-24,876	-28,246	-0,136	-1609	-101	-81	135	3817	5575	5874	4852
173,64	-0,327	-26,527	-24,631	-28,027	-0,132	-1624	-87	-81	122	3846	5647	5942	4915
174,93	-0,349	-26,265	-24,352	-27,779	-0,134	-1666	-101	-68	122	3876	5733	6018	4983
176,04	-0,349	-26,002	-24,072	-27,528	-0,132	-1681	-101	-68	135	3949	5821	6093	5051
177,26	-0,351	-25,771	-23,826	-27,308	-0,134	-1738	-115	-95	122	3935	5899	6156	5109
178,43	-0,348	-25,513	-23,544	-27,056	-0,134	-1738	-115	-68	122	3979	5986	6226	5172
179,41	-0,351	-25,280	-23,298	-26,834	-0,132	-1780	-101	-68	149	4038	6062	6288	5226
180,46	-0,344	-25,019	-23,013	-26,582	-0,132	-1795	-115	-68	108	4067	6146	6355	5287
181,62	-0,368	-24,786	-22,774	-26,360	-0,130	-1837	-115	-68	135	4097	6220	6411	5339
182,73	-0,370	-24,512	-22,485	-26,104	-0,134	-1880	-115	-68	135	4111	6301	6473	5398
183,65	-0,376	-24,275	-22,239	-25,880	-0,132	-1894	-130	-81	149	4156	6367	6522	5443
184,51	-0,374	-24,006	-21,958	-25,628	-0,139	-1937	-115	-54	122	4170	6442	6576	5494
185,31	-0,376	-23,730	-21,676	-25,369	-0,139	-1951	-130	-81	149	4185	6510	6625	5542
76,63	-0,196	-24,353	-8,702	57,609	-0,016	-1553	-144	-68	108	2019	6481	6356	-2253
78,72	-0,200	-23,881	-8,595	57,611	-0,018	-1595	-144	-95	108	2166	6567	6422	-2038
80,56	-0,196	-23,556	-8,830	57,609	-0,023	-1595	-130	-68	108	2284	6660	6488	-1922
82,46	-0,195	-23,202	-9,140	57,607	-0,018	-1638	-130	-81	122	2372	6825	6565	-1854
83,81	-0,193	-22,909	-9,321	57,612	-0,023	-1638	-144	-95	108	2402	7058	6638	-1816
84,86	-0,200	-22,513	-10,616	57,611	-0,023	-1638	-144	-68	108	1768	7360	6733	-1797
85,29	-0,200	-21,853	-11,772	57,611	-0,023	-1681	-144	-81	81	1930	7625	6818	-1749

RESULTADOS EXPERIMENTAIS — VIGA V5_B

CARGA [kN]	LVDT # 2 [mm] apoio	LVDT # 3 [mm] carga	LVDT # 4 [mm] central	LVDT # 5 [mm] carga	LVDT # 6 [mm] apoio	TRD-1 [x10 ⁻⁶]	TRD-2 [x10 ⁻⁶]	TRD-3 [x10 ⁻⁶]	TRD-4 [x10 ⁻⁶]	TRD-5 [x10 ⁻⁶]	εS1A [x10 ⁻⁶]	εS1B [x10 ⁻⁶]	εS2A [x10 ⁻⁶]	εS2B [x10 ⁻⁶]	εS3A [x10 ⁻⁶]	εS3B [x10 ⁻⁶]
0,00	-0,004	-45,759	-41,406	-47,754	-0,004	14	14	14	14	29	1	-3	-2	-1	0	-1
11,11	-0,006	-45,641	-41,276	-47,616	-0,007	-14	0	-14	14	15	3	-2	9	7	14	9
15,72	0,004	-45,533	-41,156	-47,500	-0,004	-28	0	0	54	44	5	-1	24	22	36	26
20,57	0,006	-45,428	-41,037	-47,385	0,000	-85	-14	14	54	74	7	0	43	38	61	46
25,11	0,000	-45,320	-40,916	-47,276	-0,007	-85	-29	14	68	74	8	1	61	57	88	73
28,98	0,004	-45,178	-40,769	-47,152	-0,011	-128	-29	14	149	147	9	1	80	81	144	123
31,81	0,000	-45,044	-40,625	-47,028	-0,007	-142	-29	14	176	206	10	2	112	106	194	183
34,20	0,002	-44,887	-40,468	-46,889	-0,004	-157	-43	14	230	236	11	4	146	131	253	242
36,41	0,000	-44,716	-40,297	-46,735	-0,007	-171	-29	0	311	324	11	4	205	192	322	316
38,25	-0,011	-44,512	-40,114	-46,584	-0,020	-185	14	231	717	472	11	5	262	249	516	437
40,53	-0,015	-44,328	-39,905	-46,399	-0,021	-214	43	366	879	560	11	5	358	324	615	521
42,25	-0,015	-44,162	-39,724	-46,245	-0,021	-214	87	407	987	619	11	6	422	381	678	577
44,39	-0,011	-43,992	-39,547	-46,095	-0,023	-214	115	475	1082	678	11	6	480	435	739	632
46,30	-0,015	-43,841	-39,372	-45,943	-0,029	-242	101	542	1163	722	12	6	547	501	797	684
48,20	-0,013	-43,680	-39,195	-45,781	-0,030	-256	101	570	1244	781	12	7	606	561	854	736
50,60	-0,025	-43,486	-38,986	-45,596	-0,039	-256	173	624	1325	869	13	8	674	630	921	795
52,56	-0,021	-43,324	-38,805	-45,433	-0,039	-299	144	692	1393	914	13	9	731	685	979	845
54,46	-0,036	-43,145	-38,619	-45,257	-0,043	-299	130	732	1501	987	13	8	790	742	1036	896
56,49	-0,040	-42,977	-38,436	-45,096	-0,046	-313	188	800	1582	1046	14	9	851	798	1093	947
58,52	-0,051	-42,801	-38,250	-44,932	-0,045	-313	202	814	1663	1090	14	9	914	860	1150	998
60,79	-0,076	-42,604	-38,033	-44,740	-0,048	-342	188	895	1785	1164	14	9	991	953	1216	1057
62,75	-0,081	-42,425	-37,843	-44,577	-0,055	-356	217	963	1880	1208	14	10	1051	1019	1275	1108
64,78	-0,081	-42,251	-37,659	-44,419	-0,055	-370	202	1004	1961	1297	15	10	1116	1079	1334	1158
66,62	-0,079	-42,079	-37,472	-44,254	-0,055	-413	245	1058	2056	1326	15	11	1175	1133	1391	1207
68,83	-0,081	-41,874	-37,256	-44,066	-0,055	-399	260	1139	2150	1415	16	11	1241	1193	1453	1260
70,61	-0,077	-41,702	-37,064	-43,900	-0,055	-413	274	1166	2218	1459	15	11	1299	1246	1506	1308

72,52	-0,093	-41,525	-36,872	-43,741	-0,055	-427	274	1193	2313	1503	15	11	1354	1300	1562	1356
74,30	-0,091	-41,352	-36,680	-43,568	-0,054	-442	274	1261	2353	1577	16	11	1404	1346	1614	1400
76,08	-0,098	-41,182	-36,490	-43,405	-0,054	-456	289	1329	2448	1621	16	11	1454	1391	1668	1446
78,23	-0,100	-40,980	-36,268	-43,211	-0,057	-456	332	1370	2556	1709	16	11	1513	1447	1735	1502
80,19	-0,102	-40,809	-36,076	-43,052	-0,055	-499	332	1410	2624	1768	17	12	1563	1496	1791	1549
82,10	-0,102	-40,635	-35,889	-42,886	-0,059	-484	375	1451	2732	1783	17	13	1616	1546	1848	1595
83,88	-0,119	-40,456	-35,693	-42,723	-0,055	-513	361	1505	2786	1871	18	12	1668	1592	1905	1642
85,72	-0,115	-40,277	-35,492	-42,558	-0,055	-527	375	1573	2894	1930	19	13	1721	1640	1963	1688
87,68	-0,134	-40,070	-35,263	-42,366	-0,070	-541	390	1641	2975	1975	20	14	1782	1693	2029	1742
89,59	-0,136	-39,893	-35,069	-42,206	-0,071	-555	419	1654	3083	2034	20	14	1834	1737	2084	1786
91,37	-0,151	-39,715	-34,867	-42,041	-0,073	-541	433	1709	3137	2078	20	14	1887	1782	2140	1830
92,96	-0,162	-39,534	-34,668	-41,872	-0,068	-584	433	1777	3219	2137	22	15	1940	1827	2196	1874
94,62	-0,162	-39,355	-34,461	-41,704	-0,070	-598	462	1804	3327	2210	22	16	1984	1870	2252	1917
96,71	-0,174	-39,148	-34,233	-41,512	-0,087	-598	476	1831	3408	2284	22	16	2037	1921	2315	1966
98,43	-0,183	-38,969	-34,036	-41,348	-0,086	-655	505	1899	3489	2343	24	16	2085	1965	2374	2009
99,90	-0,185	-38,786	-33,833	-41,187	-0,084	-627	505	1953	3584	2387	27	18	2133	2009	2430	2051
101,56	-0,183	-38,609	-33,642	-41,027	-0,087	-641	491	2007	3638	2431	27	19	2179	2050	2485	2091
103,52	-0,185	-38,393	-33,411	-40,832	-0,086	-669	534	2048	3733	2505	31	22	2238	2106	2551	2140
105,06	-0,187	-38,219	-33,215	-40,670	-0,091	-669	549	2116	3800	2549	32	23	2290	2156	2611	2183
106,77	-0,197	-38,042	-33,016	-40,508	-0,095	-684	563	2156	3908	2623	34	27	2345	2210	2670	2226
108,37	-0,200	-37,859	-32,816	-40,345	-0,095	-712	563	2197	3989	2667	35	28	2400	2269	2731	2272
109,91	-0,208	-37,672	-32,610	-40,175	-0,093	-726	592	2224	4044	2711	39	31	2455	2324	2794	2315
111,44	-0,214	-37,456	-32,373	-39,976	-0,095	-755	606	2278	4165	2800	44	38	2516	2382	2870	2367
113,04	-0,212	-37,275	-32,171	-39,810	-0,096	-755	621	2346	4233	2844	49	44	2570	2435	2936	2412
114,51	-0,208	-37,092	-31,974	-39,644	-0,095	-755	650	2400	4328	2888	55	53	2625	2489	3004	2458
116,11	-0,210	-36,908	-31,776	-39,480	-0,095	-755	635	2468	4422	2962	64	60	2679	2541	3071	2504
117,70	-0,212	-36,728	-31,575	-39,313	-0,096	-812	664	2522	4503	3006	71	67	2734	2595	3143	2551
119,55	-0,206	-36,514	-31,342	-39,120	-0,096	-783	664	2563	4598	3109	81	82	2797	2660	3227	2605
120,96	-0,204	-36,327	-31,142	-38,954	-0,093	-826	693	2604	4679	3153	90	96	2854	2714	3303	2652
122,37	-0,238	-36,141	-30,946	-38,788	-0,091	-840	707	2645	4747	3212	102	107	2910	2770	3380	2699
123,84	-0,242	-35,954	-30,747	-38,621	-0,089	-840	736	2685	4814	3286	114	119	2968	2826	3455	2746
125,20	-0,242	-35,758	-30,547	-38,454	-0,091	-855	736	2753	4896	3330	127	131	3026	2883	3536	2794
127,04	-0,242	-35,546	-30,311	-38,255	-0,093	-883	751	2780	5017	3419	150	154	3097	2952	3635	2850
127,96	-0,246	-35,325	-30,117	-38,091	-0,091	-883	765	2821	5071	3448	154	158	3145	2999	3705	2889
128,57	-0,244	-35,129	-29,945	-37,956	-0,091	-897	765	2848	5085	3492	1103	1118	3174	3024	3750	2913
130,11	-0,255	-34,943	-29,746	-37,789	-0,093	-897	765	2916	5193	3537	1148	1173	3233	3083	3834	2964
131,83	-0,259	-34,734	-29,522	-37,592	-0,095	-912	794	2943	5288	3625	1174	1211	3302	3151	3936	3022
133,05	-0,257	-34,559	-29,317	-37,418	-0,152	-940	780	2997	5369	3669	1193	1236	3362	3211	4022	3070
134,34	-0,285	-34,370	-29,114	-37,237	-0,150	-954	808	3024	5437	3743	1212	1258	3423	3272	4110	3119
135,51	-0,285	-34,180	-28,914	-37,058	-0,152	-983	837	3051	5545	3802	1229	1281	3486	3332	4204	3170
136,86	-0,283	-33,990	-28,713	-36,884	-0,150	-983	852	3106	5585	3876	1246	1304	3549	3396	4300	3223
138,40	-0,285	-33,764	-28,474	-36,683	-0,155	-997	852	3160	5680	3949	1264	1328	3627	3473	4414	3286
139,56	-0,282	-33,562	-28,267	-36,509	-0,153	-997	866	3201	5761	3979	1278	1350	3696	3538	4513	3341
140,79	-0,291	-33,325	-28,064	-36,330	-0,150	-1025	866	3255	5815	4052	1294	1369	3765	3605	4616	3395
142,20	-0,295	-33,133	-27,864	-36,163	-0,153	-1025	881	3323	5896	4111	1308	1387	3836	3673	4721	3453
143,31	-0,308	-32,945	-27,659	-35,983	-0,168	-1054	895	3350	5991	4156	1325	1406	3906	3742	4825	3510
144,84	-0,314	-32,734	-27,428	-35,793	-0,170	-1082	924	3404	6085	4259	1343	1428	3984	3819	4946	3577
146,01	-0,304	-32,536	-27,225	-35,616	-0,166	-1097	924	3445	6140	4303	1361	1447	4054	3888	5052	3637
147,18	-0,314	-32,346	-27,031	-35,447	-0,168	-1097	924	3485	6221	4377	1372	1470	4123	3957	5158	3695
148,34	-0,306	-32,154	-26,826	-35,277	-0,166	-1097	953	3512	6288	4406	1388	1492	4194	4027	5265	3756
149,63	-0,317	-31,965	-26,624	-35,104	-0,166	-1125	967	3580	6370	4494	1402	1514	4268	4099	5371	3819
150,92	-0,321	-31,747	-26,393	-34,902	-0,164	-1139	982	3621	6477	4568	1422	1537	4352	4182	5496	3892
152,09	-0,319	-31,555	-26,192	-34,733	-0,162	-1154	996	3662	6532	4583	1438	1555	4423	4252	5601	3952
153,19	-0,331	-31,363	-25,985	-34,550	-0,155	-1182	1025	3689	6613	4642	1454	1575	4493	4321	5703	4012
154,05	-0,333	-31,178	-25,785	-34,364	-0,153	-1168	1039	3757	6694	4715	1469	1593	4556	4384	5792	4066
155,10	-0,334	-30,958	-25,547	-34,143	-0,152	-1196	996	3770	6775	4774	1484	1611	4637	4458	5900	4132
156,27	-0,333	-30,766	-25,342	-33,968	-0,157	-1211	1054	3811	6856	4819	1499	1630	4715	4528	5998	4192
157,49	-0,334	-30,579	-25,138	-33,790	-0,155	-1225	1039	3838	6937	4863	1513	1645	4797	4598	6097	4253
158,41	-0,336	-30,392	-24,933	-33,609	-0,153	-1211	1054	3892	6992	4951	1527	1661	4883	4671	6195	4313
159,46	-0,333	-30,196	-24,728	-33,431	-0,155	-1253	1054	3933	7086	4981	1541	1677	4979	4739	6293	4374
160,44	-0,325	-29,969	-24,499	-33,224	-0,152	-1268	1054	3987	7127	5054	1556	1695	5095	4816	6403	4443
161,48	-0,331	-29,779	-24,290	-33,046	-0,157	-1268	1054	4028	7222	5099	1569	1710	5184	4886	6496	4500
162,53	-0,325	-29,594	-24,083	-32,868	-0,153	-1282	1097	4055	7262	5143	1581	1725	5272	4956	6590	4560
163,39	-0,325	-29,413	-23,878	-32,678	-0,152	-1310	1097	4082	7330	5172	1593	1737	5347	5024	6675	4615
164,37	-0,323	-29,221	-23,669	-32,490	-0,150	-1310	1097	4123	7397	5246	1608	1752	5428	5101	6766	4675
165,66	-0,382	-29,006	-23,434	-32,281	-0,162	-1325	1112	4136	7505	5320	1626	1770	5522	5197	6874	4747
166,64	-0,380	-28,818	-23,226	-32,094	-0,153	-1353	1083	4191	7560	5379	1641	1787	5601	5281	6967	4808
167,62	-0,382	-28,624	-23,013	-31,915	-0,152	-1367	1112	4231	7614	5408	1660	1806	5677	5364	7057	4869
168,30	-0,380	-28,426	-22,808	-31,732	-0,157	-1410	1140	4231	7654	5467	1683	1837	5741	5433	7136	4922
169,16	-0,385	-28,228	-22,606	-31,563	-0,159	-1396	1126	4285	7722	5496	1709	1867	5802	5496	7209	4974

169,90	-0,380	-27,984	-22,366	-31,353	-0,155	-1396	1126	4299	7776	5555	1733	1893	5882	5591	7290	5029
170,33	-0,384	-27,777	-22,170	-31,185	-0,157	-1396	1112	4353	7816	5585	1752	1910	5952	5677	7345	5068
84,18	-0,168	57,205	-18,697	-31,819	-0,100	-1068	1516	5208	9074	-2549	1084	1214	9889	10739	8077	6541
81,79	-0,170	57,341	-14,649	-31,389	-0,086	-1025	1602	5181	9034	5703	1065	1189	9824	10682	8042	6462
82,10	-0,172	57,341	-14,766	-31,288	-0,086	-1025	1617	5194	9088	5555	1065	1187	9835	10693	8069	6476

CARGA [kN]	ϵ_{F1} [x10 ⁻⁶]	ϵ_{F2} [x10 ⁻⁶]	ϵ_{F3} [x10 ⁻⁶]	ϵ_{F4} [x10 ⁻⁶]	ϵ_{F5} [x10 ⁻⁶]	ϵ_{F6} [x10 ⁻⁶]	ϵ_{F7} [x10 ⁻⁶]	ϵ_{F8} [x10 ⁻⁶]	ϵ_{F9} [x10 ⁻⁶]	ϵ_{F10} [x10 ⁻⁶]	ϵ_{F11} [x10 ⁻⁶]	ϵ_{F12} [x10 ⁻⁶]
0,00	-1	-1	0	0	-1	0	0	0	0	0	1	0
11,11	1	0	2	2	3	4	5	7	10	14	14	11
15,72	1	3	6	7	9	10	12	16	28	37	35	32
20,57	3	7	9	11	14	18	21	27	46	61	60	52
25,11	4	9	13	14	20	22	29	36	66	88	86	71
28,98	5	11	17	17	24	31	37	45	100	113	129	106
31,81	5	12	20	20	28	34	42	53	133	152	167	149
34,20	7	14	21	22	31	36	47	58	162	207	201	194
36,41	8	15	22	23	33	40	51	63	213	258	240	262
38,25	7	16	23	25	35	42	54	66	264	302	296	404
40,53	9	17	25	27	38	46	60	70	329	361	386	485
42,25	9	18	26	28	40	49	64	75	387	419	450	538
44,39	10	19	28	30	42	52	67	82	445	476	514	588
46,30	10	20	29	31	44	54	72	87	511	530	570	638
48,20	10	21	30	33	47	56	74	115	571	582	627	686
50,60	11	22	32	35	49	59	78	142	641	647	689	744
52,56	11	22	34	35	51	62	81	167	697	701	742	794
54,46	12	24	35	37	53	64	84	188	757	754	796	845
56,49	12	25	36	38	55	68	88	215	816	813	849	893
58,52	12	27	38	40	57	70	93	242	877	872	908	943
60,79	13	27	39	41	59	74	101	290	961	936	973	997
62,75	14	28	40	43	60	78	111	332	1024	990	1027	1047
64,78	14	29	41	43	63	83	127	372	1084	1043	1080	1094
66,62	15	29	42	44	63	90	142	417	1137	1092	1132	1141
68,83	15	31	43	45	65	103	164	504	1200	1149	1189	1191
70,61	15	31	44	46	66	119	183	564	1251	1197	1238	1238
72,52	16	31	45	47	69	132	206	634	1306	1246	1286	1284
74,30	17	32	46	49	73	145	231	689	1351	1294	1332	1326
76,08	16	33	47	51	75	159	255	734	1397	1342	1379	1372
78,23	17	33	49	53	80	181	290	784	1451	1401	1436	1434
80,19	17	35	51	55	88	215	347	822	1497	1448	1484	1481
82,10	18	35	52	57	96	241	391	866	1544	1494	1533	1521
83,88	19	37	54	61	105	269	422	907	1591	1540	1584	1566
85,72	19	38	56	65	115	297	453	951	1638	1586	1635	1610
87,68	20	38	58	66	124	344	499	999	1687	1641	1692	1660
89,59	20	40	60	70	133	380	540	1038	1730	1685	1739	1703
91,37	20	41	62	73	145	418	578	1068	1772	1730	1786	1747
92,96	21	42	64	77	158	483	614	1100	1816	1775	1833	1790
94,62	21	42	67	83	172	519	646	1134	1857	1818	1877	1830
96,71	21	43	70	91	196	560	688	1176	1906	1869	1931	1883
98,43	23	44	73	100	225	598	725	1207	1948	1912	1978	1927
99,90	23	47	78	112	267	667	772	1237	1987	1957	2023	1969
101,56	24	50	91	147	357	746	825	1264	2026	1998	2066	2008
103,52	25	54	116	199	442	790	867	1296	2072	2049	2122	2056
105,06	26	59	129	227	481	818	896	1324	2112	2094	2189	2098
106,77	29	63	147	260	530	833	922	1354	2152	2139	2234	2139
108,37	30	67	164	293	557	856	947	1383	2194	2184	2280	2182
109,91	32	74	193	349	580	877	973	1413	2233	2228	2326	2224
111,44	37	85	242	414	610	908	1007	1449	2276	2277	2379	2277
113,04	40	96	278	452	631	931	1033	1478	2312	2321	2425	2320
114,51	45	110	309	490	653	954	1058	1506	2350	2366	2470	2364
116,11	54	126	336	525	673	976	1082	1536	2388	2410	2517	2407
117,70	60	147	358	558	693	997	1104	1565	2427	2455	2563	2451
119,55	70	175	388	598	718	1022	1131	1598	2472	2509	2616	2503
120,96	76	195	431	631	737	1043	1152	1627	2513	2554	2662	2544
122,37	83	214	460	656	755	1066	1175	1659	2553	2599	2709	2587
123,84	93	238	483	678	771	1086	1197	1690	2592	2645	2755	2632
125,20	104	263	504	699	789	1105	1219	1719	2630	2690	2802	2674

127,04	123	285	517	718	808	1127	1244	1752	2674	2742	2858	2724
127,96	-36	74	368	624	766	1117	1261	1772	2702	2775	2898	2755
128,57	-56	7	317	616	778	1126	1275	1784	2715	2793	2916	2772
130,11	-59	6	308	610	785	1135	1293	1809	2756	2836	2963	2816
131,83	-59	2	298	604	790	1149	1315	1836	2801	2888	3016	2865
133,05	-57	0	290	600	796	1162	1332	1857	2839	2930	3060	2904
134,34	-57	-1	282	596	802	1174	1350	1881	2876	2972	3103	2944
135,51	-58	-4	275	594	812	1187	1369	1904	2915	3016	3148	2984
136,86	-57	-5	266	589	818	1199	1388	1926	2954	3060	3193	3025
138,40	-57	-5	254	584	827	1212	1414	1954	3000	3112	3246	3075
139,56	-56	-6	243	577	833	1226	1435	1978	3040	3154	3290	3116
140,79	-55	-6	233	572	842	1238	1456	2000	3080	3199	3336	3156
142,20	-54	-6	224	569	851	1250	1476	2024	3124	3243	3382	3200
143,31	-53	-7	213	565	864	1261	1495	2045	3168	3287	3428	3243
144,84	-51	-8	199	558	876	1275	1516	2071	3218	3339	3481	3291
146,01	-51	-8	185	551	888	1287	1536	2093	3258	3386	3527	3333
147,18	-49	-7	166	535	897	1295	1553	2113	3298	3428	3574	3375
148,34	-48	-7	145	519	906	1302	1572	2133	3339	3473	3618	3416
149,63	-46	-7	126	506	919	1310	1589	2153	3380	3518	3665	3457
150,92	-44	-7	105	495	930	1319	1611	2175	3429	3570	3718	3504
152,09	-44	-6	85	483	939	1329	1630	2194	3471	3613	3764	3545
153,19	-43	-8	56	466	945	1335	1647	2214	3508	3656	3807	3581
154,05	-42	-8	34	454	953	1343	1664	2233	3543	3693	3846	3616
155,10	-41	-11	12	448	966	1354	1688	2258	3583	3741	3893	3658
156,27	-40	-10	-7	443	977	1368	1708	2284	3625	3783	3936	3697
157,49	-41	-9	-26	441	989	1381	1725	2311	3665	3825	3980	3735
158,41	-40	-8	-46	439	1001	1397	1743	2349	3703	3868	4023	3775
159,46	-39	-8	-69	438	1015	1417	1762	2387	3735	3909	4066	3814
160,44	-39	-4	-96	440	1029	1442	1787	2437	3769	3954	4113	3859
161,48	-39	-4	-123	442	1041	1464	1805	2478	3803	3994	4154	3900
162,53	-39	-2	-150	445	1051	1484	1820	2511	3840	4035	4195	3942
163,39	-39	-2	-195	446	1059	1499	1828	2539	3874	4074	4233	3977
164,37	-38	-2	-232	448	1068	1515	1838	2567	3912	4117	4274	4021
165,66	-37	-2	-293	452	1086	1531	1842	2596	3957	4167	4324	4073
166,64	-37	-3	-360	455	1094	1533	1846	2621	3993	4210	4366	4116
167,62	-35	-4	-492	474	1089	1517	1845	2643	4027	4251	4409	4158
168,30	-35	-18	-822	522	1008	1391	1790	2650	4052	4284	4442	4191
169,16	-36	-30	-587	510	1075	1306	1765	2661	4071	4314	4472	4223
169,90	-36	-70	-41	481	1128	1200	1801	2685	4089	4346	4506	4258
170,33	-38	-207	653	479	1337	1015	1745	2659	4091	4361	4526	4278
84,18	-2	-19	-40	-94	-79	-100	-167	-279	-422	-1034	-405	156
81,79	-4	-20	-44	-83	-55	-73	-149	-209	-275	-898	-239	-311
82,10	-6	-21	-45	-76	-45	-59	-133	-168	-204	-825	-174	-303

RESULTADOS EXPERIMENTAIS — VIGA V6_A

CARGA [kN]	LVDT # 2 [mm] apoio	LVDT # 3 [mm] carga	LVDT # 4 [mm] central	LVDT # 5 [mm] carga	LVDT # 6 [mm] apoio	TRD-1 [x10 ⁻⁶]	TRD-2 [x10 ⁻⁶]	TRD-3 [x10 ⁻⁶]	TRD-4 [x10 ⁻⁶]	TRD-5 [x10 ⁻⁶]	ε _{S3A} [x10 ⁻⁶]	ε _{S3B} [x10 ⁻⁶]	ε _{F12} [x10 ⁻⁶]
0,00	0,002	-48,085	-46,360	-49,766	0,000	0	29	0	14	0	2	3	2
13,57	0,002	-47,917	-46,185	-49,605	0,000	-43	-29	14	0	0	17	19	19
18,05	0,000	-47,740	-46,004	-49,443	-0,005	-43	-43	-14	14	29	34	38	37
21,92	0,002	-47,580	-45,819	-49,290	-0,005	-57	-58	-14	41	29	53	67	54
26,10	0,006	-47,374	-45,599	-49,107	-0,009	-100	-58	0	54	0	97	145	68
28,68	0,002	-47,186	-45,385	-48,937	-0,011	-128	-58	0	162	-44	168	251	78
30,95	0,002	-46,955	-45,122	-48,738	-0,012	-128	-72	149	446	-133	302	353	105
32,54	-0,002	-46,734	-44,891	-48,564	-0,014	-171	-43	258	622	-177	389	429	125
34,39	0,002	-46,490	-44,624	-48,356	-0,012	-185	-43	393	798	-236	475	513	164
35,98	0,002	-46,249	-44,356	-48,141	-0,012	-199	-14	488	920	-236	550	587	204
37,52	0,002	-46,033	-44,123	-47,953	-0,014	-228	14	556	1041	-295	621	652	242
39,11	0,002	-45,787	-43,851	-47,735	-0,014	-256	29	665	1177	-324	705	732	285

40,77	0,002	-45,572	-43,612	-47,536	-0,018	-242	58	746	1298	-354	774	807	318
42,25	0,002	-45,326	-43,340	-47,285	-0,021	-271	101	841	1393	-383	848	880	362
43,66	0,002	-45,115	-43,107	-47,074	-0,021	-313	144	909	1555	-398	910	939	402
45,32	-0,002	-44,869	-42,840	-46,831	-0,021	-299	159	990	1663	-413	985	1015	463
47,16	0,004	-44,628	-42,575	-46,596	-0,018	-342	173	1058	1785	-413	1064	1095	539
48,69	0,004	-44,410	-42,344	-46,396	-0,020	-342	202	1126	1880	-398	1135	1165	601
50,47	0,000	-44,169	-42,079	-46,166	-0,018	-342	217	1221	1988	-413	1216	1250	694
51,95	0,004	-43,954	-41,848	-45,971	-0,018	-356	245	1275	2110	-368	1291	1334	785
53,79	0,004	-43,706	-41,583	-45,744	-0,020	-370	274	1356	2218	-309	1376	1421	888
55,14	0,000	-43,492	-41,358	-45,548	-0,032	-385	318	1397	2313	-280	1446	1495	986
57,04	0,002	-43,249	-41,091	-45,321	-0,032	-399	318	1451	2380	-251	1527	1581	1100
58,76	0,004	-43,005	-40,823	-45,097	-0,029	-442	361	1546	2529	-236	1608	1667	1220
60,11	0,000	-42,792	-40,590	-44,904	-0,032	-413	346	1614	2624	-236	1681	1744	1320
61,77	-0,009	-42,542	-40,310	-44,680	-0,032	-427	390	1668	2732	-236	1762	1831	1430
63,24	-0,017	-42,322	-40,077	-44,476	-0,036	-427	404	1736	2826	-236	1836	1910	1538
64,84	-0,019	-42,077	-39,805	-44,234	-0,036	-470	433	1804	2948	-236	1922	1996	1651
66,13	-0,017	-41,861	-39,573	-44,018	-0,039	-484	448	1871	3056	-236	1991	2067	1737
67,67	-0,017	-41,617	-39,303	-43,762	-0,036	-499	462	1939	3151	-236	2072	2151	1828
69,20	-0,019	-41,355	-39,023	-43,496	-0,039	-527	491	2021	3300	-236	2157	2236	1916
70,49	-0,021	-41,135	-38,779	-43,286	-0,039	-499	505	2102	3394	-236	2231	2314	1999
72,03	-0,021	-40,885	-38,505	-43,057	-0,039	-527	549	2143	3503	-236	2318	2406	2093
73,38	-0,019	-40,661	-38,263	-42,851	-0,039	-555	549	2224	3611	-236	2395	2490	2180
74,79	-0,021	-40,413	-37,985	-42,618	-0,036	-570	577	2305	3719	-236	2483	2585	2280
76,08	-0,023	-40,191	-37,739	-42,407	-0,037	-570	592	2360	3814	-236	2561	2668	2352
77,37	-0,062	-39,939	-37,459	-42,167	-0,036	-612	606	2400	3922	-236	2652	2764	2433
78,84	-0,059	-39,689	-37,181	-41,934	-0,036	-641	635	2468	4030	-236	2748	2865	2512
80,13	-0,059	-39,465	-36,930	-41,725	-0,037	-627	678	2550	4152	-177	2834	2954	2583
81,48	-0,059	-39,214	-36,648	-41,489	-0,032	-641	678	2617	4260	-147	2935	3058	2665
82,71	-0,060	-38,992	-36,402	-41,288	-0,037	-655	707	2685	4368	-147	3026	3151	2737
83,94	-0,060	-38,730	-36,107	-41,041	-0,037	-684	736	2739	4503	-118	3133	3261	2819
85,04	-0,068	-38,510	-35,859	-40,840	-0,037	-684	765	2821	4585	-118	3232	3364	2895
86,27	-0,091	-38,255	-35,572	-40,601	-0,096	-712	780	2902	4720	-103	3351	3494	2979
87,50	-0,093	-37,997	-35,283	-40,372	-0,095	-712	823	2970	4841	-59	3470	3627	3063
88,42	-0,108	-37,768	-35,024	-40,169	-0,095	-712	837	3051	4950	-59	3579	3748	3135
89,71	-0,111	-37,501	-34,726	-39,937	-0,093	-741	837	3106	5071	-29	3708	3891	3225
90,57	-0,108	-37,264	-34,468	-39,731	-0,093	-798	881	3228	5180	-15	3818	4016	3300
91,55	-0,111	-36,997	-34,172	-39,487	-0,096	-783	909	3295	5328	-15	3950	4166	3381
92,53	-0,125	-36,769	-33,915	-39,274	-0,107	-783	938	3350	5450	0	4072	4303	3434
93,52	-0,123	-36,505	-33,622	-39,034	-0,109	-812	967	3445	5585	0	4209	4468	3503
94,50	-0,123	-36,241	-33,331	-38,807	-0,104	-826	996	3526	5693	15	4349	4639	3576
95,24	-0,125	-36,005	-33,070	-38,603	-0,105	-812	1025	3607	5815	44	4472	4795	3643
96,16	-0,127	-35,741	-32,785	-38,372	-0,104	-855	1039	3689	5950	44	4613	4984	3718
96,89	-0,125	-35,506	-32,526	-38,161	-0,105	-855	1083	3757	6059	88	4736	5152	3784
97,75	-0,155	-35,241	-32,225	-37,926	-0,105	-869	1083	3879	6234	88	4883	5350	3828
98,49	-0,155	-35,003	-31,966	-37,715	-0,104	-897	1097	3933	6356	88	5012	5519	3896
99,35	-0,163	-34,732	-31,672	-37,475	-0,096	-926	1184	4041	6491	147	5156	5716	3975
99,96	-0,168	-34,467	-31,379	-37,244	-0,093	-912	1198	4109	6626	147	5300	5908	4053
100,63	-0,170	-34,234	-31,122	-37,035	-0,091	-940	1227	4191	6748	162	5426	6077	4119
101,31	-0,185	-33,967	-30,816	-36,791	-0,095	-940	1256	4272	6883	177	5570	6268	4200
102,05	-0,183	-33,725	-30,555	-36,575	-0,089	-940	1285	4367	7005	206	5696	6434	4271
102,60	-0,181	-33,454	-30,253	-36,319	-0,089	-954	1299	4435	7167	206	5838	6622	4354
103,21	-0,185	-33,211	-29,994	-36,101	-0,089	-969	1299	4530	7275	251	5963	6784	4425
103,64	-0,189	-32,891	-29,693	-35,859	-0,087	-983	1357	4625	7424	236	6105	6972	4512
104,32	-0,191	-32,626	-29,399	-35,605	-0,086	-983	1386	4706	7573	280	6246	7160	4596
104,81	-0,187	-32,383	-29,132	-35,381	-0,087	-1011	1415	4774	7708	324	6370	7324	4669
105,48	-0,187	-32,113	-28,832	-35,129	-0,087	-1054	1472	4869	7857	368	6509	7507	4756
106,04	-0,187	-31,885	-28,575	-34,909	-0,087	-1025	1472	4964	7965	383	6632	7662	4833
106,53	-0,204	-31,616	-28,271	-34,657	-0,087	-1068	1501	5045	8114	427	6769	7838	4922
106,96	-0,206	-31,383	-28,012	-34,438	-0,089	-1082	1530	5113	8236	413	6892	7991	5007
107,51	-0,202	-31,118	-27,715	-34,188	-0,087	-1097	1559	5208	8384	501	7033	8165	5100
108,00	-0,204	-30,846	-27,421	-33,937	-0,086	-1111	1588	5276	8533	530	7171	8334	5193
108,49	-0,206	-30,611	-27,167	-33,710	-0,084	-1139	1646	5357	8668	560	7290	8480	5488
109,05	-0,229	-30,346	-26,871	-33,458	-0,087	-1139	1646	5465	8804	589	7427	8645	5606
109,48	-0,229	-30,109	-26,608	-33,220	-0,086	-1154	1689	5547	8953	575	7545	8789	5695
109,97	-0,229	-29,842	-26,308	-32,971	-0,087	-1154	1689	5615	9060	619	7681	8950	5792
110,46	-0,234	-29,611	-26,048	-32,758	-0,087	-1196	1718	5696	9183	589	7801	9090	5875
110,89	-0,232	-29,338	-25,744	-32,511	-0,095	-1196	1747	5791	9318	634	7938	9248	6005
111,38	-0,234	-29,073	-25,446	-32,250	-0,091	-1211	1776	5886	9466	619	8071	9406	6101
111,75	-0,240	-28,840	-25,181	-32,019	-0,095	-1239	1805	5940	9601	619	8187	9541	6181
112,42	-0,240	-28,571	-24,881	-31,762	-0,091	-1239	1819	6008	9737	648	8321	9697	6270

112,79	-0,240	-28,340	-24,616	-31,540	-0,089	-1268	1819	6116	9845	648	8437	9832	6350
113,28	-0,236	-28,075	-24,318	-31,286	-0,091	-1282	1848	6184	9967	648	8570	9989	6444
113,59	-0,238	-27,842	-24,050	-31,060	-0,095	-1296	1877	6252	10116	678	8688	10126	6520
113,96	-0,236	-27,570	-23,748	-30,799	-0,087	-1310	1934	6333	10264	663	8826	10284	6610
114,51	-0,236	-27,305	-23,449	-30,547	-0,091	-1339	1949	6401	10413	678	8960	10438	6699
114,88	-0,240	-27,068	-23,190	-30,318	-0,093	-1353	1963	6509	10535	663	9077	10572	6775
115,19	-0,251	-26,750	-22,868	-30,048	-0,096	-1367	1992	6591	10616	737	9222	10738	6848
115,25	-0,248	-26,530	-22,599	-29,821	-0,091	-1382	2007	6645	10751	693	9336	10870	6945
115,80	-0,246	-26,273	-22,299	-29,570	-0,091	-1396	2036	6726	10873	678	9463	11014	7040
116,29	-0,249	-26,047	-22,032	-29,354	-0,091	-1410	2036	6767	10968	678	9575	11139	7121
116,54	-0,251	-25,778	-21,728	-29,089	-0,091	-1439	2064	6862	11102	678	9700	11280	7209
117,15	-0,248	-25,512	-21,428	-28,825	-0,091	-1439	2079	6916	11251	663	9826	11420	7297
117,15	-0,251	-25,280	-21,154	-28,590	-0,093	-1481	2108	6984	11332	663	9938	11545	7373
117,64	-0,251	-25,021	-20,854	-28,338	-0,086	-1496	2122	7052	11481	634	10063	11686	7461
118,07	-0,251	-24,793	-20,595	-28,120	-0,086	-1496	2165	7133	11590	648	10172	11810	7538
118,44	-0,251	-24,530	-20,296	-27,867	-0,086	-1524	2180	7201	11766	604	10299	11954	7620
95,05	-0,215	-24,049	-19,692	-27,795	-0,073	-1439	2570	7852	12604	10226	11140	12826	-1821
96,22	-0,219	-23,812	-19,387	-27,507	-0,077	-1424	2584	7960	12766	10182	11299	12975	-1366
97,08	-0,215	-23,597	-19,112	-27,272	-0,080	-1481	2627	8083	12942	10108	11479	13156	-1560

RESULTADOS EXPERIMENTAIS — VIGA V6_B

CARGA [kN]	LVDT # 2 [mm] apoio	LVDT # 3 [mm] carga	LVDT # 4 [mm] central	LVDT # 5 [mm] carga	LVDT # 6 [mm] apoio	TRD-1 [x10 ⁻⁶]	TRD-2 [x10 ⁻⁶]	TRD-3 [x10 ⁻⁶]	TRD-4 [x10 ⁻⁶]	TRD-5 [x10 ⁻⁶]	εS1A [x10 ⁻⁶]	εS1B [x10 ⁻⁶]	εS2A [x10 ⁻⁶]	εS2B [x10 ⁻⁶]	εS3A [x10 ⁻⁶]	εS3B [x10 ⁻⁶]
0,00	-0,008	-39,949	-38,949	-45,897	-0,009	-14	0	0	0	0	-2	0	1	0	1	0
9,21	-0,006	-39,605	-38,568	-45,520	-0,009	-28	0	0	-14	29	-1	-2	9	10	9	10
13,82	-0,011	-39,432	-38,384	-45,355	-0,012	-57	-43	0	27	44	1	-2	24	28	26	30
18,24	-0,008	-39,268	-38,210	-45,200	-0,012	-85	-43	0	54	162	3	0	43	53	46	68
22,78	-0,009	-39,100	-38,022	-45,032	-0,018	-114	-43	14	81	265	4	2	84	84	66	128
26,16	-0,008	-38,930	-37,834	-44,870	-0,018	-142	-58	14	189	368	5	4	114	123	96	185
29,29	-0,008	-38,721	-37,603	-44,687	-0,021	-185	-29	54	270	530	7	7	154	186	145	260
31,13	-0,011	-38,488	-37,351	-44,488	-0,023	-199	-43	163	460	825	7	7	324	412	252	376
33,10	-0,011	-38,260	-37,092	-44,277	-0,023	-242	-43	244	636	1194	8	7	439	515	391	496
34,26	-0,008	-38,049	-36,842	-44,060	-0,025	-285	-29	325	825	1503	10	9	499	572	519	605
36,04	-0,009	-37,818	-36,572	-43,829	-0,027	-313	0	448	1001	1798	9	10	564	639	619	704
37,58	-0,008	-37,585	-36,301	-43,618	-0,027	-342	0	570	1163	2048	9	11	627	702	723	796
39,54	-0,013	-37,322	-36,029	-43,398	-0,032	-370	29	651	1339	2269	11	11	701	775	826	893
41,26	-0,013	-37,077	-35,753	-43,171	-0,032	-413	58	759	1461	2535	11	11	781	847	920	985
42,86	-0,013	-36,866	-35,514	-42,970	-0,032	-385	58	841	1650	2756	11	11	851	909	995	1062
44,58	-0,013	-36,616	-35,240	-42,743	-0,029	-427	101	936	1785	2977	12	11	923	974	1075	1148
46,30	-0,011	-36,365	-34,968	-42,522	-0,032	-442	115	1017	1934	3212	12	12	993	1038	1154	1231
47,96	-0,011	-36,118	-34,705	-42,306	-0,032	-470	130	1085	2083	3330	12	13	1068	1120	1230	1312
49,49	-0,009	-35,906	-34,470	-42,107	-0,041	-499	144	1166	2204	3168	14	13	1132	1184	1299	1386
51,27	-0,011	-35,659	-34,200	-41,881	-0,039	-541	159	1234	2340	309	15	14	1196	1256	1374	1468
52,99	-0,019	-35,409	-33,937	-41,659	-0,037	-527	188	1315	2475	486	15	14	1263	1329	1452	1554
54,71	-0,017	-35,152	-33,665	-41,430	-0,034	-541	217	1370	2583	604	16	15	1330	1405	1535	1643
56,31	-0,021	-34,932	-33,434	-41,238	-0,030	-598	202	1465	2718	693	15	14	1387	1471	1602	1719
57,90	-0,021	-34,674	-33,163	-41,011	-0,030	-598	217	1546	2826	840	16	16	1457	1547	1680	1809
59,56	-0,019	-34,420	-32,893	-40,789	-0,029	-612	245	1627	2989	973	17	17	1525	1625	1760	1899
61,22	-0,023	-34,167	-32,626	-40,567	-0,032	-627	245	1695	3110	1135	18	16	1593	1703	1841	1993
62,82	-0,023	-33,907	-32,354	-40,347	-0,032	-655	260	1790	3259	1297	17	17	1663	1781	1930	2097
64,23	-0,021	-33,682	-32,117	-40,151	-0,029	-655	303	1858	3367	1444	19	18	1726	1850	2004	2181
65,76	-0,030	-33,428	-31,841	-39,931	-0,039	-698	289	1953	3530	1650	20	19	1796	1930	2087	2277
67,30	-0,036	-33,169	-31,575	-39,706	-0,041	-698	332	2034	3638	1783	20	18	1860	2014	2169	2369
68,89	-0,042	-32,909	-31,306	-39,482	-0,043	-712	332	2088	3773	1945	20	20	1937	2093	2253	2465
70,00	-0,034	-32,678	-31,062	-39,288	-0,037	-726	375	2156	3908	2122	20	20	2009	2163	2330	2549
71,53	-0,040	-32,420	-30,793	-39,068	-0,039	-755	375	2211	4017	2299	21	21	2094	2232	2418	2649
73,13	-0,040	-32,159	-30,538	-38,848	-0,037	-755	390	2305	4165	2446	22	22	2180	2307	2511	2751
74,42	-0,042	-31,900	-30,264	-38,626	-0,039	-783	419	2373	4260	2387	23	23	2264	2381	2605	2853
75,71	-0,045	-31,670	-30,025	-38,429	-0,039	-798	404	2441	4382	2255	23	25	2342	2444	2686	2941

77,06	-0,049	-31,404	-29,746	-38,196	-0,045	-812	390	2536	4544	-2299	24	26	2430	2519	2780	3046
78,35	-0,049	-31,129	-29,460	-37,960	-0,045	-826	404	2577	4652	-2269	24	26	2516	2592	2878	3152
79,58	-0,049	-30,868	-29,186	-37,733	-0,046	-840	419	2645	4774	-2210	26	30	2600	2668	2975	3260
80,87	-0,045	-30,599	-28,908	-37,502	-0,093	-855	419	2739	4950	-2196	27	30	2686	2743	3077	3372
81,97	-0,055	-30,376	-28,670	-37,301	-0,093	-869	404	2794	5058	-2181	26	31	2760	2809	3169	3471
83,14	-0,066	-30,107	-28,398	-37,072	-0,096	-883	419	2875	5153	-2151	27	32	2847	2885	3276	3586
84,43	-0,072	-29,846	-28,124	-36,846	-0,096	-897	419	2929	5328	-2092	27	32	2938	2961	3388	3705
85,47	-0,068	-29,581	-27,853	-36,617	-0,103	-926	404	2997	5450	-2078	28	31	3024	3036	3500	3825
86,52	-0,066	-29,346	-27,609	-36,410	-0,103	-926	404	3065	5545	-2019	28	33	3100	3103	3605	3934
87,68	-0,079	-29,079	-27,335	-36,180	-0,103	-940	448	3146	5693	-2004	29	33	3188	3180	3725	4062
88,48	-0,079	-28,812	-27,061	-35,941	-0,100	-954	419	3228	5842	-1945	30	35	3278	3256	3847	4189
89,53	-0,081	-28,551	-26,790	-35,705	-0,103	-983	419	3309	5977	-1930	30	34	3368	3336	3973	4316
90,26	-0,083	-28,316	-26,546	-35,504	-0,102	-997	433	3377	6072	-1930	31	36	3455	3419	4087	4430
91,24	-0,083	-28,045	-26,272	-35,275	-0,112	-1025	433	3445	6234	-1960	32	36	3559	3517	4226	4567
92,17	-0,098	-27,771	-25,996	-35,046	-0,114	-1025	433	3526	6423	-1989	32	37	3664	3623	4372	4710
93,03	-0,098	-27,504	-25,720	-34,815	-0,114	-1040	433	3594	6545	-1989	32	38	3781	3803	4515	4850
93,70	-0,091	-27,232	-25,452	-34,589	-0,111	-1054	448	3689	6694	-1960	34	39	3909	3957	4663	4998
94,50	-0,091	-26,991	-25,196	-34,385	-0,098	-1068	476	3757	6829	-1975	35	40	4013	4069	4796	5131
95,36	-0,094	-26,724	-24,930	-34,158	-0,098	-1082	448	3838	6992	-2151	38	41	4123	4183	4946	5282
96,10	-0,096	-26,456	-24,656	-33,932	-0,102	-1111	476	3919	7140	-2137	39	43	4234	4293	5102	5437
96,83	-0,096	-26,185	-24,380	-33,701	-0,100	-1111	476	4014	7289	-2151	42	45	4347	4400	5257	5591
97,38	-0,098	-25,954	-24,137	-33,495	-0,102	-1125	505	4096	7424	-2107	45	49	4442	4492	5391	5724
97,94	-0,094	-25,683	-23,869	-33,257	-0,100	-1111	505	4150	7573	-2078	55	67	4543	4594	5532	5864
98,74	-0,102	-25,416	-23,597	-33,005	-0,103	-1125	505	4218	7695	-2196	76	109	4647	4697	5684	6010
99,29	-0,123	-25,142	-23,311	-32,748	-0,102	-1168	520	4299	7830	-2240	95	138	4752	4800	5837	6158
100,08	-0,119	-24,909	-23,065	-32,527	-0,102	-1168	520	4367	7952	-2225	106	153	4843	4891	5970	6292
100,51	-0,121	-24,640	-22,787	-32,300	-0,103	-1168	520	4475	8127	-2166	122	169	4944	4996	6124	6448
101,06	-0,117	-24,372	-22,511	-32,078	-0,102	-1196	549	4557	8276	-2107	133	184	5049	5100	6276	6600
101,62	-0,117	-24,101	-22,226	-31,847	-0,098	-1182	520	4625	8412	-2034	142	196	5158	5209	6427	6751
102,23	-0,121	-23,831	-21,946	-31,606	-0,098	-1196	520	4733	8561	-2034	150	205	5270	5321	6580	6902
102,84	-0,121	-23,599	-21,702	-31,400	-0,098	-1225	563	4774	8682	-2034	157	211	5364	5417	6711	7035
103,34	-0,127	-23,321	-21,413	-31,147	-0,100	-1253	549	4855	8830	-2004	166	219	5477	5534	6870	7200
104,01	-0,125	-23,047	-21,126	-30,918	-0,096	-1253	534	4950	8979	-1975	175	228	5595	5657	7025	7358
104,50	-0,119	-22,771	-20,841	-30,675	-0,098	-1268	549	5031	9155	-1930	183	236	5716	5782	7174	7513
105,06	-0,123	-22,534	-20,597	-30,460	-0,102	-1282	577	5099	9277	-1930	189	241	5820	5893	7304	7645
105,67	-0,119	-22,260	-20,309	-30,235	-0,102	-1310	577	5181	9426	-1871	198	250	5945	6030	7456	7801
106,04	-0,128	-21,993	-20,026	-30,013	-0,098	-1325	592	5289	9575	-1842	207	259	6083	6185	7608	7956
106,53	-0,127	-21,719	-19,741	-29,773	-0,096	-1310	592	5370	9723	-1812	217	267	6216	6333	7761	8113
107,14	-0,130	-21,482	-19,493	-29,572	-0,102	-1325	592	5438	9845	-1783	226	275	6331	6457	7889	8250
107,70	-0,121	-21,213	-19,209	-29,340	-0,096	-1339	592	5506	10007	-1768	235	285	6464	6599	8036	8410
108,00	-0,123	-20,941	-18,924	-29,100	-0,095	-1353	592	5601	10143	-1724	246	292	6600	6744	8180	8568
108,56	-0,128	-20,666	-18,644	-28,871	-0,098	-1367	606	5682	10318	-1709	256	300	6741	6894	8326	8723
109,11	-0,130	-20,386	-18,357	-28,643	-0,100	-1396	621	5750	10480	-1709	263	307	6899	7055	8471	8875
109,41	-0,123	-20,142	-18,102	-28,432	-0,098	-1382	635	5845	10575	-1754	271	313	7040	7202	8594	9006
109,84	-0,127	-19,866	-17,809	-28,185	-0,100	-1410	650	5912	10738	-1783	281	322	7196	7372	8733	9153
110,40	-0,128	-19,592	-17,526	-27,942	-0,100	-1439	635	5994	10873	-1754	291	329	7368	7558	8869	9295
110,70	-0,128	-19,308	-17,240	-27,706	-0,096	-1453	664	6062	10995	-1739	299	336	7543	7752	9005	9438
111,20	-0,132	-19,067	-16,987	-27,507	-0,102	-1439	678	6129	11144	-1739	309	340	7697	7927	9125	9566
111,44	-0,127	-18,797	-16,700	-27,271	-0,098	-1467	678	6211	11292	-1768	317	349	7891	8148	9260	9704
111,99	-0,130	-18,513	-16,420	-27,042	-0,098	-1481	678	6279	11400	-1783	324	354	8158	8484	9385	9835
112,55	-0,130	-18,230	-16,139	-26,811	-0,100	-1510	678	6360	11536	-1798	331	359	8423	8841	9516	9969
112,67	-0,132	-17,981	-15,879	-26,598	-0,098	-1496	693	6414	11657	-1768	341	367	8635	9120	9628	10086
113,16	-0,138	-17,709	-15,600	-26,365	-0,102	-1524	678	6509	11779	-1768	348	373	8858	9395	9755	10219
113,71	-0,136	-17,425	-15,314	-26,116	-0,100	-1553	707	6577	11901	-1754	356	379	9120	9754	9876	10345
113,96	-0,134	-17,138	-15,025	-25,878	-0,098	-1553	707	6631	12049	-1724	366	385	9328	10010	9998	10475
114,51	-0,130	-16,806	-14,735	-25,635	-0,100	-1553	736	6699	12158	-1665	375	394	9514	10223	10118	10599
115,13	-0,134	-16,564	-14,481	-25,427	-0,098	-1581	736	6767	12279	-1650	383	399	9682	10416	10224	10709
115,55	-0,134	-16,284	-14,199	-25,196	-0,109	-1595	751	6835	12388	-1636	392	405	9877	10637	10343	10833
115,92	-0,136	-16,006	-13,907	-24,946	-0,100	-1609	736	6889	12536	-1591	405	415	10048	10841	10465	10962
116,54	-0,138	-15,733	-13,621	-24,708	-0,102	-1638	765	6943	12658	-1577	414	421	10228	11047	10586	11087
117,03	-0,142	-15,496	-13,375	-24,495	-0,102	-1638	751	7024	12766	-1533	421	428	10381	11225	10693	11198
117,52	-0,138	-15,220	-13,081	-24,252	-0,102	-1652	765	7065	12901	-1488	429	434	10550	11424	10812	11323
117,95	-0,138	-14,937	-12,790	-24,003	-0,098	-1681	794	7174	13037	-1444	440	440	10721	11635	10930	11449
118,44	-0,136	-14,664	-12,505	-23,756	-0,102	-1695	780	7201	13158	-1459	450	457	10887	11834	11048	11570
94,38	-0,140	-13,375	-11,136	-23,856	-0,098	-1638	1039	8015	14430	-1650	438	423	10753	11768	12150	13027

CARGA [kN]	ϵ_{F1} [x10 ⁻⁶]	ϵ_{F2} [x10 ⁻⁶]	ϵ_{F3} [x10 ⁻⁶]	ϵ_{F4} [x10 ⁻⁶]	ϵ_{F5} [x10 ⁻⁶]	ϵ_{F6} [x10 ⁻⁶]	ϵ_{F7} [x10 ⁻⁶]	ϵ_{F8} [x10 ⁻⁶]	ϵ_{F9} [x10 ⁻⁶]	ϵ_{F10} [x10 ⁻⁶]	ϵ_{F11} [x10 ⁻⁶]	ϵ_{F12} [x10 ⁻⁶]
0,00	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
9,21	1	2	2	2	3	3	3	6	11	11	12	11
13,82	3	6	7	7	9	9	13	19	31	37	36	36
18,24	6	10	10	12	16	15	21	31	51	79	64	71
22,78	9	14	15	17	21	22	30	43	78	172	85	116
26,16	10	18	18	21	26	27	36	54	116	483	91	166
29,29	12	20	20	24	30	31	43	63	246	866	158	220
31,13	13	22	22	26	33	34	46	65	877	1009	465	350
33,10	14	22	22	27	35	37	51	71	1133	1103	723	700
34,26	14	24	24	29	37	39	53	75	1223	1169	860	945
36,04	16	26	27	31	39	42	57	73	1343	1260	990	1166
37,58	16	26	27	32	42	44	59	77	1453	1340	1149	1361
39,54	17	28	29	34	44	47	60	124	1503	1393	1221	1532
41,26	18	30	30	36	46	50	61	251	1507	1458	1216	1714
42,86	19	31	31	36	49	52	62	319	1548	1522	1247	1848
44,58	20	32	33	39	50	54	64	463	1601	1591	1305	1987
46,30	20	33	34	41	53	56	59	619	1642	1662	1377	2115
47,96	21	35	35	43	54	58	57	719	1694	1739	1468	2215
49,49	22	36	37	45	56	60	58	774	1738	1803	1543	2287
51,27	23	38	39	46	58	62	59	824	1783	1875	1622	2335
52,99	23	40	41	49	61	63	58	875	1833	1950	1709	2388
54,71	24	41	42	50	61	63	55	928	1882	2028	1796	2463
56,31	24	42	43	51	61	65	69	976	1921	2099	1871	2526
57,90	25	44	44	53	62	66	118	1024	1963	2180	1960	2608
59,56	26	44	46	54	63	64	341	1074	2012	2255	2055	2687
61,22	27	46	47	54	65	65	473	1124	2063	2336	2144	2758
62,82	27	48	48	58	67	66	555	1171	2116	2417	2236	2828
64,23	29	50	49	59	69	68	584	1209	2164	2490	2316	2894
65,76	29	51	51	62	71	69	629	1251	2213	2574	2403	2951
67,30	30	52	54	64	74	70	675	1290	2259	2654	2482	3025
68,89	32	54	54	64	76	71	716	1327	2303	2743	2566	3102
70,00	32	55	56	66	77	72	753	1357	2337	2821	2641	3171
71,53	33	56	56	69	79	73	791	1393	2373	2911	2728	3259
73,13	34	58	58	70	81	74	827	1425	2412	3003	2813	3345
74,42	34	60	60	73	83	75	860	1458	2458	3094	2899	3431
75,71	35	61	61	75	85	76	885	1484	2508	3176	2976	3508
77,06	36	63	63	77	87	77	913	1511	2560	3272	3065	3596
78,35	36	66	65	81	90	78	946	1544	2611	3370	3157	3684
79,58	38	67	67	84	94	79	980	1579	2663	3468	3260	3758
80,87	39	70	68	87	98	80	1021	1613	2720	3566	3357	3803
81,97	39	72	69	89	101	81	1052	1642	2766	3654	3441	3859
83,14	39	73	71	91	105	82	1086	1674	2820	3755	3538	3939
84,43	40	75	72	93	109	83	1119	1705	2883	3857	3638	4020
85,47	41	76	73	94	115	84	1149	1733	2939	3960	3738	4103
86,52	43	77	73	95	130	85	1177	1759	2988	4051	3827	4178
87,68	42	79	74	93	169	86	1210	1790	3043	4153	3932	4277
88,48	43	78	73	94	219	87	1245	1820	3096	4218	4036	4376
89,53	44	79	73	102	256	88	1277	1851	3149	4328	4142	4476
90,26	43	78	73	111	280	89	1303	1877	3194	4417	4241	4565
91,24	42	74	72	157	285	90	1330	1902	3245	4521	4352	4677
92,17	41	73	73	192	292	91	1355	1929	3294	4625	4468	4793
93,03	41	71	74	227	305	92	1376	1952	3357	4725	4583	4901
93,70	42	70	76	263	331	93	1398	1973	3444	4830	4702	5000
94,50	43	70	78	288	370	94	1415	1991	3496	4925	4807	5093
95,36	44	71	80	311	403	95	1433	2010	3554	5039	4923	5208
96,10	43	69	79	314	456	96	1449	2029	3611	5151	5040	5325
96,83	45	69	80	327	508	97	1468	2048	3670	5262	5155	5443
97,38	47	71	84	350	580	98	1482	2064	3720	5356	5254	5545
97,94	54	77	89	407	739	99	1515	2077	3771	5448	5331	5654
98,74	102	89	95	450	836	100	1537	2094	3823	5533	5440	5777
99,29	188	97	99	470	890	101	1557	2108	3884	5631	5552	5892
100,08	209	103	108	490	930	102	1572	2120	3936	5713	5658	5990
100,51	221	113	118	518	975	103	1590	2135	3996	5808	5778	6101
101,06	223	120	126	539	1012	104	1603	2149	4059	5908	5895	6210
101,62	226	126	134	556	1040	105	1617	2161	4129	6007	6019	6316
102,23	228	129	145	570	1062	106	1629	2173	4204	6107	6141	6423
102,84	231	132	158	579	1080	107	1640	2184	4269	6196	6253	6516

103,34	232	136	168	593	1101	1177	1652	2195	4351	6300	6380	6621
104,01	233	140	179	610	1120	1197	1665	2209	4436	6404	6513	6729
104,50	234	142	193	621	1138	1215	1676	2219	4523	6504	6639	6838
105,06	235	145	205	633	1153	1229	1686	2230	4613	6594	6750	6929
105,67	238	149	219	646	1170	1247	1697	2243	4812	6696	6879	6981
106,04	239	153	232	656	1187	1263	1707	2254	5033	6789	7007	7023
106,53	245	161	246	671	1204	1279	1718	2265	5182	6741	7130	7079
107,14	248	166	256	682	1220	1293	1729	2276	5298	6815	7240	7147
107,70	252	171	267	695	1236	1309	1739	2287	5428	6913	7362	7227
108,00	256	175	278	708	1256	1326	1751	2300	5551	7001	7485	7338
108,56	259	180	289	724	1275	1341	1761	2313	5669	7084	7605	7448
109,11	262	183	299	736	1292	1356	1771	2327	5818	7151	7727	7559
109,41	263	185	308	748	1306	1369	1780	2338	5942	7213	7835	7655
109,84	269	189	322	764	1326	1385	1792	2351	6082	7289	7952	7763
110,40	272	192	335	776	1342	1398	1802	2364	6230	7373	8069	7870
110,70	273	194	346	787	1357	1412	1813	2378	6361	7461	8189	7981
111,20	277	197	357	800	1371	1426	1822	2390	6478	7537	8290	8081
111,44	280	200	367	812	1386	1440	1833	2404	6547	7615	8406	8186
111,99	283	202	379	823	1398	1450	1842	2419	6724	7690	8512	8285
112,55	284	204	387	834	1411	1462	1852	2434	6902	7770	8621	8390
112,67	288	208	400	846	1426	1475	1862	2448	7066	7836	8724	8479
113,16	291	210	412	857	1437	1485	1871	2463	7239	7924	8838	8581
113,71	292	211	420	867	1448	1496	1880	2479	7443	8001	8958	8677
113,96	297	216	432	882	1465	1509	1892	2498	7594	8097	9068	8777
114,51	303	222	440	893	1476	1519	1902	2516	7710	8184	9172	8875
115,13	307	226	449	903	1486	1528	1909	2534	7780	8262	9272	8963
115,55	311	231	467	912	1497	1538	1918	2555	7851	8352	9383	9066
115,92	316	238	485	923	1510	1551	1930	2576	7960	8436	9496	9171
116,54	320	243	500	933	1520	1562	1940	2601	8087	8519	9606	9272
117,03	322	247	512	943	1528	1570	1948	2622	8179	8598	9707	9361
117,52	325	251	526	953	1537	1580	1958	2651	8219	8693	9821	9463
117,95	329	257	542	966	1548	1592	1969	2692	8242	8780	9932	9564
118,44	330	267	568	981	1553	1599	1979	2738	8314	8871	10039	9664
94,38	304	241	535	874	1385	1398	1739	2361	2189	-945	661	-439

RESULTADOS EXPERIMENTAIS — VIGA V7_A

CARGA [kN]	LVDT # 2 [mm] apoio	LVDT # 3 [mm] carga	LVDT # 4 [mm] central	LVDT # 5 [mm] carga	LVDT # 6 [mm] apoio	TRD-1 [x10 ⁻⁶]	TRD-2 [x10 ⁻⁶]	TRD-3 [x10 ⁻⁶]	TRD-4 [x10 ⁻⁶]	TRD-5 [x10 ⁻⁶]	ε _{S3A} [x10 ⁻⁶]	ε _{S3B} [x10 ⁻⁶]	ε _{F12} [x10 ⁻⁶]
0,00	0,000	-41,227	-39,991	-42,006	-0,004	0	14	14	0	-74	0	1	1
6,32	0,004	-40,827	-39,510	-41,533	-0,002	-28	0	-14	14	-15	4	5	5
7,92	0,000	-40,514	-39,171	-41,226	-0,002	-28	0	14	0	15	8	11	12
10,81	0,002	-40,327	-38,979	-41,070	0,002	-57	0	14	0	29	20	24	27
14,18	0,002	-40,156	-38,801	-40,919	0,002	-71	0	0	27	44	32	39	43
18,36	0,000	-39,956	-38,585	-40,743	-0,012	-85	0	14	108	118	49	70	71
21,74	0,000	-39,777	-38,393	-40,585	-0,009	-85	-29	54	176	221	74	108	102
25,11	0,002	-39,592	-38,201	-40,418	-0,014	-128	-29	68	243	295	110	162	149
28,18	-0,002	-39,402	-37,998	-40,251	-0,021	-128	-29	122	365	427	157	226	241
30,76	-0,004	-39,201	-37,774	-40,073	-0,025	-157	-29	203	514	560	252	312	382
33,22	-0,006	-38,962	-37,511	-39,867	-0,021	-214	0	312	663	722	337	403	511
35,12	-0,002	-38,753	-37,276	-39,681	-0,020	-228	-14	420	798	781	400	468	582
36,96	-0,008	-38,548	-37,034	-39,482	-0,029	-242	0	475	879	869	468	532	662
39,05	-0,009	-38,339	-36,806	-39,295	-0,025	-256	29	583	1001	987	542	612	745
40,83	-0,008	-38,130	-36,572	-39,107	-0,025	-299	29	665	1095	1061	605	680	811
42,92	-0,006	-37,887	-36,301	-38,885	-0,029	-313	43	719	1177	1164	667	752	873
44,82	-0,006	-37,678	-36,074	-38,695	-0,030	-313	58	746	1271	1253	724	812	930
46,79	-0,004	-37,469	-35,841	-38,498	-0,027	-313	43	827	1366	1326	781	875	983
48,75	-0,002	-37,264	-35,609	-38,306	-0,025	-356	58	895	1447	1385	837	940	1035
50,66	-0,006	-37,055	-35,373	-38,116	-0,029	-356	72	963	1515	1474	894	1003	1089
52,87	-0,006	-36,812	-35,114	-37,898	-0,029	-385	58	1004	1609	1562	955	1071	1149

54,83	-0,006	-36,600	-34,890	-37,713	-0,034	-385	58	1044	1663	1650	1009	1134	1203
56,74	-0,006	-36,387	-34,662	-37,520	-0,030	-399	87	1112	1758	1709	1066	1195	1256
58,70	-0,008	-36,172	-34,435	-37,324	-0,036	-413	87	1153	1812	1812	1125	1259	1311
61,10	-0,006	-35,930	-34,176	-37,106	-0,039	-442	72	1193	1893	1871	1192	1332	1379
63,18	-0,002	-35,719	-33,944	-36,909	-0,036	-470	72	1261	1988	1989	1252	1397	1440
65,21	-0,006	-35,510	-33,715	-36,711	-0,034	-470	58	1315	2069	2048	1311	1461	1500
67,24	-0,006	-35,301	-33,484	-36,521	-0,030	-499	101	1370	2123	2107	1371	1525	1560
69,26	-0,006	-35,090	-33,247	-36,321	-0,032	-527	72	1424	2191	2196	1433	1588	1621
71,47	-0,006	-34,850	-32,984	-36,099	-0,029	-527	58	1465	2299	2284	1502	1662	1692
73,62	-0,004	-34,635	-32,751	-35,900	-0,029	-555	72	1532	2380	2387	1564	1729	1754
75,65	-0,006	-34,424	-32,518	-35,701	-0,029	-570	87	1573	2434	2461	1627	1795	1815
77,61	-0,023	-34,202	-32,291	-35,506	-0,027	-598	87	1627	2502	2505	1686	1859	1873
79,64	-0,025	-33,986	-32,063	-35,308	-0,030	-627	87	1682	2597	2594	1747	1924	1932
81,85	-0,034	-33,738	-31,800	-35,083	-0,029	-627	58	1736	2705	2667	1820	1999	2002
83,81	-0,030	-33,525	-31,577	-34,886	-0,030	-655	72	1763	2759	2756	1881	2064	2061
85,78	-0,032	-33,314	-31,345	-34,689	-0,034	-641	72	1831	2854	2815	1943	2130	2122
87,68	-0,028	-33,096	-31,112	-34,484	-0,032	-655	72	1885	2894	2932	2005	2195	2179
89,59	-0,047	-32,883	-30,881	-34,293	-0,032	-712	72	1926	2989	3006	2067	2262	2234
91,67	-0,047	-32,635	-30,626	-34,065	-0,053	-712	101	1980	3083	3080	2138	2340	2305
93,52	-0,051	-32,420	-30,396	-33,870	-0,050	-741	87	2048	3165	3198	2202	2407	2369
95,42	-0,053	-32,211	-30,180	-33,675	-0,075	-741	72	2116	3232	3286	2265	2477	2442
97,14	-0,053	-31,995	-29,953	-33,478	-0,096	-755	87	2143	3313	3375	2329	2549	2548
99,23	-0,051	-31,743	-29,686	-33,240	-0,094	-769	101	2224	3421	3507	2403	2632	2646
101,00	-0,079	-31,529	-29,459	-33,042	-0,098	-812	101	2292	3489	3566	2467	2705	2726
102,91	-0,074	-31,314	-29,233	-32,845	-0,100	-812	101	2319	3570	3684	2531	2780	2808
104,56	-0,075	-31,098	-29,005	-32,645	-0,103	-840	101	2400	3665	3758	2596	2857	2894
106,28	-0,075	-30,887	-28,778	-32,446	-0,105	-855	72	2441	3733	3876	2663	2933	2972
108,00	-0,070	-30,637	-28,517	-32,215	-0,103	-869	101	2509	3814	3949	2738	3022	3062
109,84	-0,081	-30,428	-28,289	-32,016	-0,102	-869	101	2577	3922	4067	2803	3100	3139
111,32	-0,081	-30,213	-28,053	-31,813	-0,100	-883	101	2617	4003	4170	2870	3179	3215
112,98	-0,089	-29,991	-27,823	-31,611	-0,102	-912	115	2672	4084	4273	2937	3259	3295
114,33	-0,089	-29,777	-27,592	-31,409	-0,103	-940	101	2739	4152	4347	3006	3339	3375
116,23	-0,092	-29,527	-27,331	-31,181	-0,123	-940	87	2780	4273	4450	3086	3434	3462
117,77	-0,096	-29,301	-27,100	-30,979	-0,125	-969	115	2862	4341	4524	3155	3520	3540
119,18	-0,089	-29,084	-26,872	-30,773	-0,121	-969	115	2862	4409	4642	3227	3607	3615
120,53	-0,091	-28,866	-26,641	-30,565	-0,119	-1011	130	2956	4530	4701	3296	3694	3687
121,94	-0,096	-28,652	-26,418	-30,361	-0,125	-997	115	3011	4612	4833	3368	3783	3759
123,41	-0,092	-28,398	-26,151	-30,128	-0,118	-1040	144	3065	4693	4937	3452	3889	3847
124,77	-0,108	-28,178	-25,923	-29,926	-0,119	-1040	101	3133	4801	4995	3527	3983	3917
126,05	-0,106	-27,954	-25,687	-29,721	-0,118	-1082	115	3173	4869	5113	3604	4077	3986
127,41	-0,111	-27,730	-25,455	-29,519	-0,121	-1068	87	3228	4950	5231	3684	4176	4049
128,88	-0,108	-27,476	-25,187	-29,292	-0,118	-1111	115	3309	5044	5349	3777	4289	4124
130,17	-0,138	-27,250	-24,956	-29,086	-0,119	-1111	130	3377	5139	5423	3860	4393	4185
131,34	-0,142	-27,028	-24,723	-28,887	-0,123	-1125	115	3445	5220	5541	3945	4498	4253
132,56	-0,138	-26,801	-24,491	-28,684	-0,119	-1139	130	3499	5315	5644	4029	4603	4323
133,67	-0,136	-26,569	-24,255	-28,484	-0,118	-1139	115	3567	5409	5747	4113	4708	4391
135,08	-0,140	-26,282	-23,984	-28,258	-0,125	-1182	130	3621	5518	5850	4210	4826	4461
135,63	-0,134	-26,032	-23,744	-28,063	-0,119	-1196	130	3675	5558	5924	4275	4906	4508
136,92	-0,134	-25,806	-23,505	-27,864	-0,121	-1211	115	3716	5653	5983	4351	4995	4569
138,15	-0,134	-25,586	-23,270	-27,661	-0,121	-1225	130	3784	5734	6086	4436	5097	4635
139,26	-0,136	-25,372	-23,037	-27,457	-0,121	-1253	130	3797	5815	6174	4525	5202	4705
140,61	-0,132	-25,137	-22,759	-27,226	-0,121	-1268	115	3892	5923	6292	4627	5325	4784
141,53	-0,136	-24,918	-22,530	-27,031	-0,125	-1253	130	3946	6018	6410	4717	5434	4855
142,70	-0,145	-24,694	-22,290	-26,832	-0,126	-1282	130	4001	6099	6483	4806	5542	4926
143,74	-0,168	-24,471	-22,053	-26,628	-0,126	-1282	130	4055	6180	6587	4896	5651	4995
144,66	-0,164	-24,248	-21,803	-26,425	-0,121	-1310	101	4109	6275	6675	4986	5760	5065
145,89	-0,162	-23,985	-21,536	-26,196	-0,123	-1325	115	4191	6356	6793	5088	5884	5143
147,05	-0,162	-23,743	-21,292	-25,987	-0,121	-1353	101	4218	6464	6852	5177	5992	5212
147,85	-0,160	-23,504	-21,050	-25,766	-0,119	-1367	115	4272	6532	6955	5255	6088	5270
148,84	-0,166	-23,286	-20,805	-25,560	-0,119	-1382	101	4326	6613	7058	5339	6191	5336
150,12	-0,175	-23,019	-20,526	-25,324	-0,119	-1410	130	4367	6707	7117	5439	6313	5414
151,35	-0,172	-22,797	-20,283	-25,118	-0,119	-1439	101	4448	6802	7235	5525	6418	5479
152,46	-0,187	-22,566	-20,041	-24,912	-0,116	-1453	115	4475	6883	7324	5610	6521	5544
153,44	-0,189	-22,340	-19,804	-24,712	-0,116	-1481	115	4543	6964	7427	5695	6626	5609
154,61	-0,191	-22,116	-19,560	-24,514	-0,126	-1481	144	4584	7045	7500	5779	6729	5675
155,77	-0,191	-21,858	-19,277	-24,282	-0,126	-1524	101	4652	7154	7589	5877	6850	5751
156,88	-0,198	-21,622	-19,030	-24,070	-0,121	-1553	87	4692	7222	7707	5964	6958	5818
158,11	-0,198	-21,401	-18,794	-23,861	-0,126	-1524	101	4747	7316	7795	6050	7064	5885
159,15	-0,191	-21,166	-18,540	-23,632	-0,116	-1581	101	4801	7384	7883	6136	7170	5952
160,38	-0,194	-20,929	-18,300	-23,417	-0,118	-1581	115	4814	7465	7957	6222	7274	6017

161,36	-0,217	-20,666	-18,020	-23,177	-0,118	-1595	101	4896	7573	8046	6318	7391	6090
162,53	-0,217	-20,439	-17,774	-22,968	-0,116	-1624	87	4964	7641	8134	6404	7492	6154
163,39	-0,215	-20,211	-17,531	-22,767	-0,126	-1652	72	4977	7735	8178	6488	7591	6215
164,37	-0,213	-19,974	-17,283	-22,552	-0,119	-1666	87	5045	7816	8266	6570	7686	6277
165,35	-0,211	-19,748	-17,047	-22,353	-0,123	-1681	87	5072	7897	8340	6650	7780	6336
166,46	-0,226	-19,491	-16,765	-22,110	-0,125	-1709	43	5126	8019	8414	6741	7883	6403
166,64	-0,243	-19,256	-16,517	-21,891	-0,123	-1738	72	5140	8060	8502	6817	7968	6459
166,83	-0,243	-19,004	-16,282	-21,696	-0,114	-1766	72	5167	8101	8517	6869	8027	6494
82,28	-0,053	-26,847	-14,979	-21,643	-0,110	-1681	476	7472	10981	4362	10012	11784	32
83,45	-0,051	-26,663	-14,820	-21,103	-0,118	-1709	491	7567	11076	4450	10082	11858	-47

RESULTADOS EXPERIMENTAIS — VIGA V7_B

CARGA [kN]	LVDT # 2 [mm] apoio	LVDT # 3 [mm] carga	LVDT # 4 [mm] central	LVDT # 5 [mm] carga	LVDT # 6 [mm] apoio	TRD-1 [x10 ⁻⁶]	TRD-2 [x10 ⁻⁶]	TRD-3 [x10 ⁻⁶]	TRD-4 [x10 ⁻⁶]	TRD-5 [x10 ⁻⁶]	ε _{S1A} [x10 ⁻⁶]	ε _{S1B} [x10 ⁻⁶]	ε _{S2A} [x10 ⁻⁶]	ε _{S2B} [x10 ⁻⁶]	ε _{S3A} [x10 ⁻⁶]	ε _{S3B} [x10 ⁻⁶]
0,00	0,002	-43,598	-43,694	-41,798	0,002	0	0	0	0	29	0	0	3	1	0	0
10,50	0,000	-43,344	-43,440	-41,592	0,000	-28	-14	-14	14	0	2	0	14	11	15	12
14,12	0,002	-43,083	-43,185	-41,371	0,002	-85	-43	-27	0	15	4	2	28	22	33	27
17,87	-0,006	-42,885	-42,987	-41,203	0,000	-85	-72	-14	14	29	6	2	39	39	50	43
21,98	-0,006	-42,619	-42,717	-40,981	0,000	-157	-87	-14	14	103	9	4	50	73	75	65
26,16	-0,011	-42,327	-42,422	-40,746	-0,002	-185	-87	-41	54	147	8	7	75	119	111	102
29,29	-0,011	-42,094	-42,182	-40,551	0,000	-199	-101	-27	41	236	10	7	126	166	180	180
31,81	-0,011	-41,854	-41,936	-40,361	0,000	-242	-87	27	-135	413	11	8	192	220	249	264
33,83	-0,013	-41,619	-41,691	-40,167	-0,002	-285	-115	68	-203	486	12	9	267	278	338	342
36,23	-0,011	-41,346	-41,401	-39,938	-0,007	-328	-87	108	-257	575	13	10	350	340	473	436
38,38	-0,013	-41,111	-41,153	-39,739	-0,014	-385	-115	136	-270	589	13	10	428	397	555	505
40,22	-0,015	-40,883	-40,905	-39,539	-0,020	-413	-144	176	-298	634	15	10	522	461	629	568
42,37	-0,017	-40,660	-40,664	-39,340	-0,020	-427	-144	203	-311	707	16	11	610	548	692	625
44,82	-0,017	-40,404	-40,384	-39,109	-0,021	-442	-159	258	-325	781	18	11	667	627	762	691
46,73	-0,015	-40,176	-40,144	-38,908	-0,023	-499	-144	298	-365	855	19	12	722	688	824	751
48,88	-0,017	-39,951	-39,905	-38,713	-0,025	-513	-159	325	-392	928	19	13	819	754	881	811
50,84	-0,011	-39,725	-39,668	-38,516	-0,023	-527	-159	393	-392	987	20	13	900	820	941	873
53,30	-0,015	-39,471	-39,396	-38,283	-0,025	-570	-159	420	-406	1105	22	13	986	879	1006	942
55,08	-0,015	-39,247	-39,163	-38,084	-0,025	-584	-159	475	-406	1164	22	15	1066	932	1064	1003
57,17	-0,021	-39,016	-38,926	-37,875	-0,025	-584	-144	488	-419	1238	23	15	1143	990	1124	1065
59,38	-0,021	-38,786	-38,684	-37,683	-0,027	-612	-144	515	-446	1297	23	15	1218	1051	1182	1128
61,65	-0,025	-38,523	-38,408	-37,454	-0,034	-641	-144	583	-460	1415	24	15	1306	1128	1249	1202
63,67	-0,021	-38,297	-38,164	-37,255	-0,032	-627	-144	610	-446	1488	26	16	1385	1190	1308	1265
65,70	-0,021	-38,062	-37,918	-37,052	-0,032	-669	-144	624	-473	1547	25	16	1463	1242	1366	1326
67,79	-0,030	-37,827	-37,672	-36,852	-0,025	-712	-130	665	-487	1650	26	16	1542	1308	1423	1387
69,75	-0,042	-37,590	-37,425	-36,649	-0,027	-726	-173	705	-514	1724	28	17	1624	1372	1482	1447
72,09	-0,047	-37,327	-37,144	-36,420	-0,027	-755	-144	746	-500	1842	28	17	1711	1446	1549	1516
74,05	-0,051	-37,090	-36,898	-36,218	-0,029	-755	-173	773	-527	1916	28	18	1789	1507	1608	1580
76,08	-0,049	-36,853	-36,650	-36,014	-0,027	-769	-159	827	-541	2019	28	18	1867	1561	1667	1642
78,04	-0,055	-36,620	-36,402	-35,809	-0,043	-798	-144	841	-527	2107	29	20	1946	1625	1726	1704
80,19	-0,055	-36,355	-36,122	-35,578	-0,050	-812	-159	881	-554	2210	30	20	2037	1694	1794	1776
82,10	-0,058	-36,124	-35,878	-35,378	-0,050	-812	-144	936	-568	2299	29	20	2116	1741	1854	1838
84,06	-0,083	-35,889	-35,626	-35,168	-0,052	-869	-159	949	-568	2402	31	21	2195	1791	1915	1901
85,84	-0,081	-35,652	-35,380	-34,962	-0,050	-883	-173	976	-568	2476	31	22	2270	1847	1975	1963
87,87	-0,083	-35,387	-35,097	-34,722	-0,048	-912	-144	1031	-595	2594	31	22	2358	1916	2043	2035
89,89	-0,077	-35,154	-34,849	-34,518	-0,048	-926	-159	1085	-609	2667	33	23	2433	1974	2103	2098
91,67	-0,085	-34,917	-34,591	-34,307	-0,055	-940	-144	1098	-636	2770	33	23	2509	2031	2164	2161
93,33	-0,087	-34,684	-34,345	-34,097	-0,062	-954	-130	1126	-636	2888	34	24	2584	2088	2223	2222
95,42	-0,083	-34,411	-34,058	-33,858	-0,064	-983	-130	1139	-636	2962	36	25	2670	2155	2291	2294
97,08	-0,096	-34,176	-33,808	-33,652	-0,075	-983	-144	1153	-663	3065	36	26	2748	2216	2352	2357
98,86	-0,092	-33,939	-33,560	-33,440	-0,075	-1011	-159	1234	-649	3153	37	27	2826	2272	2414	2419
100,63	-0,092	-33,702	-33,303	-33,227	-0,078	-1025	-144	1248	-663	3242	39	29	2904	2330	2476	2482
102,60	-0,102	-33,430	-33,014	-32,980	-0,107	-1068	-130	1248	-690	3316	41	30	2996	2389	2546	2555
104,20	-0,100	-33,189	-32,762	-32,767	-0,105	-1082	-130	1288	-703	3419	44	32	3086	2448	2608	2618
105,98	-0,102	-32,948	-32,505	-32,554	-0,105	-1082	-144	1302	-703	3478	47	33	3170	2507	2672	2682

107,63	-0,113	-32,706	-32,253	-32,337	-0,105	-1111	-144	1343	-717	3566	49	33	3256	2563	2737	2749
109,66	-0,111	-32,430	-31,957	-32,092	-0,105	-1125	-144	1356	-744	3669	54	35	3360	2631	2811	2823
111,26	-0,113	-32,187	-31,701	-31,883	-0,103	-1139	-144	1370	-744	3743	59	38	3451	2694	2876	2889
112,98	-0,117	-31,950	-31,452	-31,670	-0,118	-1168	-159	1397	-730	3861	70	42	3545	2757	2943	2955
114,63	-0,121	-31,704	-31,194	-31,455	-0,118	-1196	-159	1424	-757	3920	87	51	3636	2813	3008	3019
115,98	-0,117	-31,463	-30,943	-31,238	-0,116	-1211	-173	1451	-757	4023	121	72	3728	2875	3073	3083
117,70	-0,121	-31,195	-30,656	-30,997	-0,119	-1225	-159	1465	-757	4111	172	97	3835	2943	3148	3159
119,36	-0,119	-30,952	-30,411	-30,787	-0,119	-1225	-173	1492	-784	4185	226	124	3930	3007	3213	3225
120,77	-0,123	-30,715	-30,167	-30,581	-0,110	-1225	-159	1532	-771	4288	333	163	4021	3071	3278	3292
122,37	-0,136	-30,484	-29,917	-30,375	-0,107	-1282	-130	1560	-771	4362	456	289	4114	3136	3344	3358
123,48	-0,132	-30,204	-29,660	-30,157	-0,109	-1310	-159	1573	-798	4450	955	812	4190	3198	3399	3416
124,70	-0,132	-29,973	-29,425	-29,963	-0,110	-1310	-144	1600	-798	4509	1127	979	4265	3252	3457	3476
126,48	-0,147	-29,741	-29,177	-29,752	-0,110	-1310	-159	1614	-811	4612	1178	1027	4370	3333	3527	3545
127,84	-0,147	-29,510	-28,942	-29,542	-0,110	-1353	-144	1641	-838	4686	1212	1060	4477	3417	3597	3614
129,62	-0,145	-29,243	-28,659	-29,299	-0,110	-1367	-159	1682	-825	4804	1244	1093	4609	3516	3678	3694
130,91	-0,145	-29,014	-28,409	-29,091	-0,109	-1382	-159	1722	-838	4848	1271	1120	4732	3611	3749	3763
132,38	-0,145	-28,782	-28,159	-28,878	-0,118	-1410	-144	1722	-852	4951	1297	1145	4856	3708	3820	3834
133,79	-0,179	-28,553	-27,911	-28,667	-0,116	-1410	-173	1763	-865	5025	1321	1169	4985	3812	3891	3904
135,33	-0,183	-28,288	-27,628	-28,420	-0,114	-1424	-159	1804	-865	5128	1346	1195	5138	3941	3973	3984
136,68	-0,189	-28,056	-27,374	-28,203	-0,119	-1467	-159	1831	-879	5202	1367	1217	5285	4063	4045	4055
138,09	-0,206	-27,833	-27,132	-27,990	-0,118	-1481	-159	1844	-893	5349	1388	1238	5434	4192	4117	4124
139,38	-0,206	-27,603	-26,882	-27,780	-0,116	-1496	-173	1899	-893	5438	1408	1258	5592	4329	4192	4194
140,73	-0,208	-27,340	-26,597	-27,539	-0,114	-1510	-159	1939	-865	5511	1429	1281	5812	4488	4275	4275
141,96	-0,209	-27,114	-26,358	-27,331	-0,118	-1553	-144	1966	-879	5614	1448	1299	6059	4661	4347	4341
143,19	-0,226	-26,883	-26,110	-27,121	-0,118	-1538	-159	1980	-865	5703	1465	1318	6308	4849	4418	4405
144,35	-0,226	-26,650	-25,866	-26,910	-0,118	-1567	-173	2007	-893	5776	1482	1336	6551	5045	4489	4471
145,70	-0,228	-26,388	-25,588	-26,667	-0,114	-1595	-159	2061	-933	5894	1500	1357	6834	5257	4570	4544
146,75	-0,234	-26,159	-25,349	-26,461	-0,116	-1581	-144	2075	-933	5983	1517	1376	7139	5506	4639	4607
147,91	-0,228	-25,926	-25,103	-26,249	-0,116	-1609	-159	2088	-920	6071	1532	1392	7434	5743	4708	4669
149,14	-0,240	-25,693	-24,861	-26,043	-0,121	-1638	-144	2143	-920	6160	1548	1410	7699	5976	4778	4732
150,06	-0,240	-25,463	-24,616	-25,830	-0,123	-1624	-173	2170	-920	6248	1564	1427	8002	6204	4848	4793
151,23	-0,249	-25,194	-24,339	-25,594	-0,119	-1666	-144	2183	-933	6321	1581	1445	8457	6514	4923	4860
152,21	-0,251	-24,959	-24,098	-25,386	-0,119	-1666	-144	2224	-920	6424	1595	1461	8811	6773	4989	4918
153,26	-0,251	-24,722	-23,852	-25,177	-0,119	-1681	-144	2238	-920	6498	1611	1478	9148	7064	5055	4974
154,18	-0,251	-24,489	-23,610	-24,965	-0,121	-1723	-159	2265	-947	6543	1628	1493	9483	7354	5122	5030
87,62	-0,119	-13,340	-22,996	-25,853	-0,084	-1439	-115	1899	541	1076	1235	1081	13120	10718	5177	5227
90,14	-0,109	-12,138	-22,696	-25,662	-0,087	-1496	-58	2088	717	752	1234	1082	13202	10773	5343	5466
91,55	-0,111	-10,711	-22,386	-25,466	-0,087	-1510	-29	2238	865	604	1236	1086	13257	10831	5613	5745
92,72	-0,113	-9,674	-22,068	-25,271	-0,089	-1553	29	2441	987	442	1237	1090	13302	10876	5988	6032
93,64	-0,111	-9,416	-21,643	-25,045	-0,096	-1595	101	2699	1163	206	1237	1092	13334	10918	6447	6430
87,25	-0,115	57,358	-20,833	-24,765	-0,091	-1609	202	3011	784	-251	1219	1077	13158	10776	6648	6112
84,06	-0,113	57,356	-20,830	-24,761	-0,094	-1595	231	3024	798	-236	1215	1073	13141	10765	6641	6123
83,69	-0,113	57,354	-20,833	-24,765	-0,093	-1609	217	3011	798	-221	1214	1072	13133	10768	6639	6136
83,57	-0,115	57,356	-20,850	-24,779	-0,093	-1595	217	3011	811	-236	1212	1071	13124	10772	6636	6149
83,57	-0,117	57,354	-20,856	-24,786	-0,093	-1581	202	2984	811	-221	1211	1070	13119	10776	6634	6157
83,51	-0,113	57,354	-20,863	-24,793	-0,091	-1595	202	2997	798	-192	1210	1068	13115	10776	6632	6158
83,32	-0,113	57,360	-20,900	-24,807	-0,086	-1595	231	3011	784	-206	1209	1067	13109	10777	6629	6160
83,20	-0,117	57,356	-20,912	-24,818	-0,084	-1595	231	3011	784	-221	1207	1067	13103	10780	6626	6157
83,08	-0,113	57,354	-20,925	-24,827	-0,087	-1581	231	2984	784	-206	1206	1065	13099	10781	6622	6153
82,77	-0,115	57,354	-20,936	-24,836	-0,086	-1567	217	3024	784	-221	1205	1064	13093	10787	6620	6144
82,53	-0,113	57,356	-20,953	-24,845	-0,086	-1581	217	2970	798	-206	1204	1064	13091	10796	6616	6143
82,28	-0,115	57,354	-20,964	-24,859	-0,084	-1581	217	2997	784	-221	1204	1062	13088	10804	6612	6142
81,91	-0,111	57,356	-20,977	-24,871	-0,084	-1581	217	2970	784	-192	1202	1062	13087	10809	6608	6140
81,67	-0,115	57,356	-20,994	-24,880	-0,087	-1581	217	2970	811	-221	1202	1062	13082	10805	6605	6117
81,30	-0,113	57,354	-21,007	-24,889	-0,086	-1553	202	2970	784	-206	1202	1060	13075	10804	6599	6117
81,11	-0,115	57,356	-21,012	-24,896	-0,086	-1581	245	2997	784	-221	1201	1060	13070	10806	6597	6115

CARGA [kN]	ϵ_{F1} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{F2} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{F3} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{F4} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{F5} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{F6} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{F7} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{F8} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{F9} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{F10} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{F11} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{F12} [$\times 10^{-6}$]
0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2
10,50	2	2	4	3	5	5	6	9	14	17	18	19
14,12	3	6	7	8	9	11	13	18	30	36	37	37
17,87	4	9	10	12	15	17	21	29	51	62	63	59
21,98	7	11	14	16	21	23	29	40	84	90	88	81
26,16	9	15	17	20	26	30	38	51	131	224	134	101
29,29	10	18	20	22	30	36	44	59	201	355	191	145

31,81	12	19	22	25	33	40	51	67	298	421	266	213
33,83	12	21	24	27	37	43	55	74	389	477	349	304
36,23	13	22	26	29	40	47	60	82	449	547	420	469
38,38	14	24	28	31	43	50	63	82	498	613	478	553
40,22	16	26	30	33	45	53	68	88	542	683	535	623
42,37	14	27	32	36	47	52	72	96	594	746	593	691
44,82	17	29	34	38	50	55	78	107	669	818	665	767
46,73	17	31	35	40	53	58	84	120	749	879	731	836
48,88	17	32	37	42	56	59	89	156	872	938	791	902
50,84	17	33	39	43	58	62	96	221	965	998	852	970
53,30	17	34	41	46	61	64	111	301	1066	1072	919	1042
55,08	18	35	42	48	64	66	123	376	1167	1133	978	1106
57,17	18	38	44	50	65	69	138	468	1260	1191	1039	1168
59,38	19	39	45	52	67	75	157	530	1346	1248	1098	1231
61,65	20	40	48	54	71	82	180	593	1440	1317	1166	1305
63,67	20	42	50	56	72	87	206	654	1524	1376	1225	1368
65,70	21	42	51	58	73	94	244	713	1608	1433	1283	1431
67,79	21	44	52	59	76	104	313	773	1687	1491	1342	1491
69,75	21	45	54	61	78	117	391	829	1758	1551	1399	1551
72,09	21	47	55	64	82	137	467	894	1844	1621	1464	1620
74,05	22	47	57	65	86	160	526	946	1917	1683	1522	1683
76,08	21	48	59	67	94	184	574	999	1992	1747	1580	1744
78,04	21	47	57	65	125	203	617	1049	2065	1810	1638	1805
80,19	21	47	58	65	146	228	671	1103	2151	1884	1707	1875
82,10	21	49	59	67	164	254	725	1150	2225	1948	1767	1937
84,06	21	50	61	69	182	283	769	1200	2299	2011	1830	1999
85,84	22	51	63	71	204	320	811	1247	2371	2075	1891	2058
87,87	22	53	64	74	227	370	862	1300	2455	2148	1964	2130
89,89	23	54	66	77	252	423	909	1347	2528	2209	2027	2192
91,67	24	56	68	79	273	471	955	1395	2602	2272	2091	2255
93,33	25	57	69	83	293	543	996	1441	2677	2334	2153	2315
95,42	25	59	72	87	323	656	1034	1494	2758	2404	2228	2383
97,08	27	62	76	92	356	738	1070	1540	2828	2468	2295	2443
98,86	28	65	86	103	387	817	1108	1579	2896	2528	2365	2504
100,63	30	69	94	116	422	900	1148	1612	2966	2590	2435	2565
102,60	31	72	108	136	454	969	1194	1651	3046	2661	2515	2636
104,20	31	73	116	156	498	1006	1232	1683	3119	2727	2588	2699
105,98	31	77	129	177	536	1046	1273	1713	3189	2792	2659	2762
107,63	32	78	144	199	566	1087	1318	1745	3302	2857	2731	2825
109,66	32	84	161	225	600	1136	1374	1781	3392	2931	2812	2900
111,26	33	88	184	259	629	1182	1434	1811	3466	2998	2883	2963
112,98	36	97	215	301	668	1236	1526	1839	3541	3064	2951	3028
114,63	39	111	284	380	709	1284	1599	1869	3612	3132	3017	3094
115,98	46	137	397	503	757	1326	1654	1901	3682	3203	3082	3156
117,70	54	186	556	599	806	1374	1710	1941	3764	3282	3161	3230
119,36	68	236	692	701	858	1416	1754	1988	3834	3349	3227	3295
120,77	116	325	837	807	908	1453	1802	2035	3904	3415	3291	3360
122,37	7	339	861	848	943	1488	1848	2081	3973	3481	3355	3424
123,48	113	217	653	711	894	1491	1895	2122	4033	3535	3409	3478
124,70	42	125	538	622	868	1515	1949	2162	4099	3590	3464	3532
126,48	36	106	521	607	878	1542	1985	2201	4205	3657	3530	3597
127,84	31	94	511	598	892	1563	2015	2243	4285	3725	3598	3664
129,62	25	82	503	592	915	1590	2052	2291	4343	3801	3675	3741
130,91	10	70	492	586	934	1610	2083	2337	4400	3870	3742	3808
132,38	8	61	483	579	951	1632	2117	2382	4463	3939	3808	3876
133,79	7	54	476	573	968	1652	2151	2425	4531	4008	3874	3946
135,33	8	46	471	569	987	1676	2189	2475	4604	4085	3949	4024
136,68	10	43	469	566	1005	1698	2226	2517	4673	4154	4016	4093
138,09	10	39	465	562	1019	1719	2263	2558	4739	4222	4083	4165
139,38	11	38	461	559	1036	1740	2305	2603	4808	4291	4148	4240
140,73	10	35	458	557	1053	1763	2353	2656	4892	4367	4221	4324
141,96	12	34	455	554	1067	1785	2399	2720	4946	4428	4281	4396
143,19	11	32	453	552	1081	1806	2450	2786	4998	4491	4341	4463
144,35	14	29	450	548	1095	1827	2500	2875	5047	4554	4401	4534
145,70	20	29	445	543	1108	1851	2561	2993	5075	4625	4470	4617
146,75	23	32	440	538	1122	1875	2629	3138	5061	4685	4529	4689
147,91	26	32	436	533	1135	1899	2696	3256	5086	4743	4588	4767
149,14	30	32	429	528	1148	1924	2757	3352	5110	4804	4642	4846
150,06	30	33	426	524	1162	1951	2818	3466	5130	4861	4700	4922
151,23	31	35	419	520	1180	1985	2906	3653	5127	4920	4764	5003

152,21	31	38	414	516	1194	2015	2971	3833	5139	4975	4820	5072
153,26	27	40	402	509	1203	2057	3073	3977	5160	5028	4876	5141
154,18	21	36	377	504	1204	2091	3155	4012	5157	5079	4932	5210
87,62	-19	-31	-1	-54	26	50	101	181	472	-909	-387	1232
90,14	-21	-27	-2	-55	24	38	81	145	394	-949	-375	1174
91,55	-20	-27	-1	-52	24	38	82	148	395	-950	-377	1139
92,72	-20	-25	-2	-51	26	39	82	150	395	-972	-437	1109
93,64	-20	-25	-3	-49	27	41	85	154	399	-1032	-1143	1051
87,25	-19	-23	-2	-48	29	42	88	160	403	-1926	-144	604
84,06	-19	-22	-2	-47	28	42	88	161	401	-1893	-136	641
83,69	-18	-23	-1	-45	28	41	89	159	397	-1878	-133	664
83,57	-18	-22	-2	-46	28	40	88	158	392	-1864	-131	676
83,57	-17	-21	-2	-45	27	40	86	154	384	-1832	-130	684
83,51	-16	-21	-2	-45	27	38	83	149	358	-1372	-141	648
83,32	-16	-21	-3	-45	26	39	85	154	366	-1318	-141	642
83,20	-18	-21	-3	-43	30	44	97	170	391	-1283	-137	639
83,08	-17	-20	-3	-43	27	40	85	146	352	-1273	-138	643
82,77	-17	-20	-2	-43	27	40	84	148	352	-1266	-138	644
82,53	-16	-20	-2	-43	27	38	84	144	348	-1253	-136	642
82,28	-16	-20	-3	-42	26	39	84	146	350	-1197	-133	623
81,91	-16	-19	-2	-42	27	40	85	146	349	-1189	-131	623
81,67	-15	-20	-2	-41	26	40	85	145	347	-1178	-131	622
81,30	-15	-19	-1	-41	27	40	87	148	350	-1165	-129	621
81,11	-16	-18	-2	-40	26	40	86	146	349	-1137	-128	618

RESULTADOS EXPERIMENTAIS — VIGA V8_A

CARGA [kN]	LVDT # 2 [mm] apoio	LVDT # 3 [mm] carga	LVDT # 4 [mm] central	LVDT # 5 [mm] carga	LVDT # 6 [mm] apoio	ϵ_{0A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{0B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45B} [$\times 10^{-6}$]
0,00	-0,004	-47,033	-39,033	-47,539	-0,002	0	0	0	0	0	0
6,63	-0,006	-47,018	-39,014	-47,523	-0,004	1	0	0	1	0	0
8,23	-0,006	-46,964	-38,956	-47,468	0,000	1	0	1	1	0	2
9,95	-0,008	-46,919	-38,911	-47,426	-0,005	1	-1	2	1	0	4
11,67	-0,008	-46,878	-38,867	-47,388	-0,004	2	0	2	1	1	5
13,45	-0,013	-46,839	-38,820	-47,347	-0,004	2	0	3	2	1	7
15,11	-0,013	-46,800	-38,779	-47,305	-0,004	2	0	3	2	1	8
17,25	-0,021	-46,742	-38,714	-47,246	-0,002	3	-1	4	3	1	11
18,67	-0,013	-46,697	-38,669	-47,204	-0,005	2	0	5	3	1	12
20,14	-0,017	-46,658	-38,626	-47,161	-0,005	4	-1	6	4	2	13
21,25	-0,021	-46,613	-38,578	-47,127	0,000	4	-1	5	4	3	15
22,60	-0,021	-46,574	-38,533	-47,085	-0,004	5	-1	5	5	3	16
23,95	-0,017	-46,529	-38,485	-47,044	-0,005	6	-2	5	5	5	17
25,30	-0,019	-46,488	-38,445	-47,005	-0,005	7	-2	6	6	4	19
27,45	-0,023	-46,425	-38,376	-46,946	-0,007	7	-3	6	7	5	21
28,98	-0,021	-46,382	-38,326	-46,905	-0,005	8	-3	6	8	6	23
30,27	-0,019	-46,339	-38,279	-46,868	-0,005	9	-4	7	8	7	25
31,62	-0,019	-46,300	-38,235	-46,827	-0,005	10	-4	7	9	7	27
33,10	-0,015	-46,257	-38,184	-46,785	-0,002	10	-4	8	9	8	29
34,63	-0,019	-46,214	-38,143	-46,747	-0,004	12	-4	9	10	9	30
36,78	-0,011	-46,150	-38,072	-46,689	-0,005	12	-4	9	11	12	33
38,25	-0,019	-46,113	-38,028	-46,650	-0,002	13	-5	10	12	14	35
39,73	-0,013	-46,065	-37,977	-46,607	-0,004	14	-6	10	12	16	37
41,20	-0,015	-46,024	-37,931	-46,568	-0,007	15	-6	10	13	18	40
42,61	-0,015	-45,982	-37,884	-46,527	-0,005	16	-7	11	12	19	41
44,09	-0,021	-45,941	-37,838	-46,491	-0,004	18	-8	12	13	21	43
45,62	-0,013	-45,897	-37,789	-46,451	-0,004	18	-7	12	13	21	45
47,59	-0,026	-45,828	-37,714	-46,387	-0,004	19	-8	12	13	23	48
48,94	-0,023	-45,785	-37,666	-46,349	-0,005	20	-9	13	15	24	49
50,29	-0,017	-45,738	-37,612	-46,307	-0,002	21	-9	13	19	30	54
51,52	-0,023	-45,693	-37,562	-46,268	-0,011	22	-10	12	19	34	58

52,93	-0,019	-45,647	-37,509	-46,223	-0,011	23	-9	13	20	37	60
54,22	-0,023	-45,598	-37,455	-46,179	-0,007	24	-10	13	21	41	63
55,57	-0,023	-45,553	-37,405	-46,142	-0,012	24	-10	13	22	45	67
57,60	-0,025	-45,484	-37,329	-46,076	-0,011	25	-10	13	25	55	77
59,01	-0,023	-45,438	-37,278	-46,039	-0,011	25	-10	13	27	62	83
60,24	-0,025	-45,391	-37,226	-46,001	-0,014	26	-10	14	29	69	90
61,71	-0,025	-45,324	-37,176	-45,957	-0,011	26	-10	15	31	77	97
63,06	-0,025	-45,279	-37,122	-45,914	-0,011	28	-10	13	32	85	102
64,29	-0,032	-45,231	-37,068	-45,875	-0,018	28	-11	14	34	91	108
66,31	-0,032	-45,162	-36,991	-45,811	-0,018	30	-11	15	36	100	115
67,67	-0,032	-45,113	-36,939	-45,765	-0,018	29	-11	16	37	105	120
68,83	-0,032	-45,068	-36,887	-45,724	-0,018	30	-11	16	37	111	124
70,43	-0,034	-45,018	-36,833	-45,682	-0,025	32	-11	17	38	116	129
71,66	-0,032	-44,973	-36,780	-45,643	-0,020	33	-12	18	39	121	131
73,01	-0,034	-44,923	-36,724	-45,596	-0,021	35	-12	19	39	127	138
74,48	-0,034	-44,874	-36,674	-45,550	-0,025	36	-13	21	40	133	141
76,39	-0,032	-44,800	-36,600	-45,490	-0,027	38	-13	20	41	144	150
77,74	-0,034	-44,749	-36,544	-45,444	-0,023	40	-13	20	42	156	157
79,15	-0,032	-44,693	-36,490	-45,406	-0,032	41	-13	19	40	169	164
80,38	-0,032	-44,645	-36,435	-45,367	-0,029	43	-13	18	37	181	169
81,79	-0,036	-44,600	-36,385	-45,326	-0,034	45	-14	16	36	185	177
83,20	-0,032	-44,550	-36,333	-45,280	-0,034	47	-14	15	33	194	183
84,49	-0,032	-44,503	-36,277	-45,241	-0,037	48	-14	14	30	203	188
86,64	-0,034	-44,432	-36,201	-45,179	-0,039	48	-14	11	25	218	198
87,87	-0,032	-44,384	-36,146	-45,136	-0,037	50	-15	10	22	231	207
89,16	-0,030	-44,331	-36,092	-45,092	-0,039	50	-15	7	17	253	217
90,75	-0,034	-44,257	-36,020	-45,049	-0,059	49	-15	6	10	268	220
92,04	-0,032	-44,204	-35,962	-45,001	-0,057	50	-16	4	5	284	228
93,39	-0,038	-44,160	-35,910	-44,962	-0,057	46	-16	0	1	299	233
95,42	-0,036	-44,094	-35,831	-44,895	-0,057	45	-16	-4	-8	324	243
96,71	-0,034	-44,042	-35,775	-44,849	-0,059	46	-18	-4	-17	339	248
98,00	-0,034	-43,994	-35,719	-44,799	-0,055	45	-18	-5	-23	348	246
99,41	-0,036	-43,932	-35,664	-44,755	-0,061	45	-19	-7	-28	358	247
100,70	-0,032	-43,884	-35,611	-44,710	-0,057	46	-22	-8	-32	370	248
101,98	-0,034	-43,839	-35,555	-44,661	-0,061	46	-22	-9	-39	380	249
103,46	-0,034	-43,788	-35,498	-44,614	-0,066	47	-23	-9	-45	388	249
105,36	-0,038	-43,716	-35,414	-44,543	-0,066	47	-23	-7	-54	394	246
106,59	-0,034	-43,650	-35,343	-44,486	-0,070	49	-23	-7	-61	397	244
107,88	-0,034	-43,604	-35,291	-44,444	-0,077	50	-23	-7	-68	399	241
108,98	-0,032	-43,542	-35,222	-44,391	-0,075	49	-17	-3	-76	397	235
109,97	-0,038	-43,499	-35,177	-44,357	-0,078	45	-12	-1	-83	397	232
111,13	-0,034	-43,458	-35,132	-44,320	-0,078	40	-5	1	-88	397	228
112,24	-0,036	-43,413	-35,086	-44,284	-0,073	29	-2	-2	-95	396	226
113,47	-0,036	-43,331	-35,018	-44,233	-0,073	13	-7	-13	-102	395	219
114,14	-0,034	-43,294	-34,985	-44,215	-0,075	7	-13	-21	-107	393	215
114,70	-0,036	-43,247	-34,957	-44,185	-0,071	-1	-18	-30	-110	391	213
114,08	-0,036	-43,199	-34,946	-44,185	-0,071	-15	-21	-39	-110	388	210
88,54	-0,030	-42,850	-35,030	-44,382	-0,068	-58	-21	-48	-108	345	169
87,68	-0,032	-42,772	-34,983	-44,371	-0,066	-57	-21	-48	-107	341	168
88,73	-0,032	-42,675	-34,910	-44,334	-0,064	-59	-21	-46	-107	341	168
89,46	-0,026	-42,613	-34,854	-44,302	-0,061	-60	-20	-46	-106	341	169
90,51	-0,028	-42,546	-34,804	-44,270	-0,062	-62	-21	-46	-106	342	170
91,00	-0,028	-42,497	-34,767	-44,240	-0,059	-62	-21	-46	-107	342	169
90,45	-0,030	-42,490	-34,770	-44,240	-0,062	-62	-21	-46	-107	341	169
90,08	-0,028	-42,482	-34,769	-44,238	-0,061	-62	-22	-46	-106	342	169
89,71	-0,028	-42,480	-34,767	-44,243	-0,061	-62	-22	-46	-106	341	168
89,34	-0,036	-42,480	-34,770	-44,243	-0,061	-62	-22	-46	-107	341	168
89,28	-0,034	-42,479	-34,770	-44,245	-0,061	-62	-21	-47	-106	339	167
89,10	-0,030	-42,475	-34,772	-44,247	-0,062	-62	-21	-46	-107	341	167
88,97	-0,030	-42,477	-34,772	-44,250	-0,059	-62	-20	-47	-107	340	167
88,91	-0,034	-42,473	-34,770	-44,248	-0,062	-62	-20	-45	-107	340	166
88,67	-0,036	-42,473	-34,772	-44,250	-0,057	-62	-21	-45	-107	339	167
88,60	-0,038	-42,471	-34,772	-44,252	-0,059	-62	-21	-46	-107	340	166
88,36	-0,034	-42,471	-34,778	-44,252	-0,059	-62	-21	-45	-106	340	166
88,30	-0,036	-42,466	-34,778	-44,254	-0,064	-62	-21	-46	-107	339	167
88,17	-0,034	-42,466	-34,776	-44,256	-0,061	-62	-20	-46	-107	339	166
88,11	-0,034	-42,469	-34,778	-44,254	-0,061	-61	-21	-45	-107	340	166
88,11	-0,034	-42,469	-34,780	-44,257	-0,061	-62	-21	-45	-107	338	166
87,93	-0,034	-42,466	-34,780	-44,257	-0,059	-62	-21	-46	-107	338	166
87,87	-0,034	-42,466	-34,780	-44,257	-0,061	-62	-20	-45	-107	339	166

RESULTADOS EXPERIMENTAIS — VIGA V8_B

CARGA [kN]	LVDT # 2 [mm] apoio	LVDT # 3 [mm] carga	LVDT # 4 [mm] central	LVDT # 5 [mm] carga	LVDT # 6 [mm] apoio	ϵ_{0A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{0B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45B} [$\times 10^{-6}$]
0,00	-0,006	-42,036	-45,534	-45,003	0,004	0	0	1	0	0	0
8,60	-0,002	-41,994	-45,493	-44,970	0,002	0	0	0	-1	0	0
9,70	-0,002	-41,908	-45,400	-44,902	0,005	-1	0	0	-1	0	2
10,99	-0,008	-41,833	-45,314	-44,849	0,002	-1	-1	0	-2	0	5
12,59	-0,008	-41,753	-45,230	-44,781	0,004	-2	0	0	-1	0	6
14,00	-0,002	-41,671	-45,141	-44,716	0,005	-2	-1	0	-2	0	8
15,66	-0,008	-41,596	-45,064	-44,653	0,002	-3	-1	1	-2	0	9
17,01	-0,006	-41,523	-44,993	-44,593	0,002	-3	-1	1	-2	0	12
18,42	-0,008	-41,449	-44,908	-44,529	0,005	-4	-2	1	-3	0	14
19,96	-0,008	-41,376	-44,831	-44,470	0,002	-5	0	1	-3	0	16
21,49	-0,009	-41,311	-44,760	-44,414	0,002	-5	0	1	-4	0	18
22,84	-0,009	-41,243	-44,688	-44,355	0,004	-5	0	2	-4	0	19
24,25	-0,009	-41,178	-44,611	-44,302	0,007	-6	0	2	-4	0	21
24,87	-0,006	-41,161	-44,570	-44,279	0,004	-6	0	2	-4	0	23
26,34	-0,011	-41,104	-44,507	-44,229	0,005	-5	0	2	-4	0	24
27,94	-0,013	-41,040	-44,434	-44,174	-0,002	-6	0	3	-5	0	26
29,17	-0,013	-40,980	-44,367	-44,121	0,005	-6	-1	3	-4	0	28
30,52	-0,013	-40,913	-44,302	-44,067	0,004	-7	-1	3	-3	0	30
32,05	-0,011	-40,854	-44,236	-44,014	0,004	-6	-2	3	-3	-1	33
33,53	-0,017	-40,798	-44,175	-43,966	0,005	-7	-2	4	-3	-2	34
34,94	-0,023	-40,747	-44,115	-43,918	0,002	-8	-2	4	-3	-1	36
36,47	-0,021	-40,693	-44,057	-43,870	0,004	-8	-2	6	-3	-2	39
37,95	-0,017	-40,637	-43,992	-43,824	0,005	-7	-3	6	-3	-1	41
39,36	-0,021	-40,587	-43,936	-43,776	0,005	-7	-3	6	-3	-1	43
40,83	-0,021	-40,533	-43,877	-43,732	0,007	-7	-3	7	-2	-1	45
42,31	-0,023	-40,484	-43,821	-43,686	0,004	-7	-3	8	-2	-1	48
43,23	-0,023	-40,458	-43,787	-43,662	0,004	-6	-4	9	-1	-1	48
44,58	-0,026	-40,410	-43,735	-43,616	0,002	-5	-5	10	-2	-1	51
45,99	-0,025	-40,357	-43,677	-43,570	0,002	-5	-6	11	-1	0	53
47,40	-0,025	-40,303	-43,619	-43,522	0,002	-5	-6	12	-1	0	57
48,75	-0,023	-40,257	-43,558	-43,472	0,002	-4	-6	11	0	0	58
50,23	-0,019	-40,201	-43,500	-43,430	0,004	-3	-7	12	0	-1	60
51,64	-0,021	-40,146	-43,440	-43,380	0,002	-3	-8	13	0	0	62
53,11	-0,021	-40,096	-43,381	-43,336	0,007	-2	-8	14	-1	0	65
54,28	-0,021	-40,042	-43,321	-43,288	0,005	-1	-8	13	0	0	66
55,69	-0,023	-39,988	-43,258	-43,242	0,005	-1	-8	14	-1	1	69
56,98	-0,021	-39,937	-43,200	-43,199	0,005	-1	-9	15	1	1	72
58,33	-0,021	-39,887	-43,138	-43,149	0,005	0	-10	15	0	2	74
59,07	-0,019	-39,859	-43,108	-43,128	0,004	1	-9	15	0	2	76
60,48	-0,025	-39,805	-43,045	-43,080	0,005	1	-10	16	1	2	78
61,77	-0,019	-39,751	-42,984	-43,032	0,005	3	-11	17	0	3	80
63,00	-0,021	-39,701	-42,926	-42,988	0,004	3	-11	18	0	1	83
64,41	-0,017	-39,646	-42,864	-42,936	0,005	4	-11	18	0	2	87
65,64	-0,017	-39,589	-42,803	-42,890	0,005	5	-12	19	0	0	91
66,99	-0,013	-39,538	-42,741	-42,844	0,005	5	-12	19	1	-2	96
68,28	-0,011	-39,482	-42,685	-42,794	0,005	6	-12	19	2	-6	101
69,57	-0,015	-39,428	-42,618	-42,746	0,005	7	-12	19	4	-13	94
70,92	-0,015	-39,374	-42,557	-42,695	0,002	6	-12	20	7	-24	82
72,21	-0,015	-39,318	-42,499	-42,648	0,004	8	-13	21	7	-26	79
73,50	-0,017	-39,264	-42,437	-42,600	0,002	10	-15	22	7	-28	75
74,97	-0,019	-39,210	-42,378	-42,551	0,004	12	-16	20	7	-29	70
75,65	-0,019	-39,186	-42,342	-42,528	0,002	13	-17	21	7	-30	69
77,06	-0,019	-39,131	-42,288	-42,481	0,002	14	-17	21	8	-32	68
78,29	-0,017	-39,079	-42,227	-42,432	0,002	15	-17	20	9	-33	66
79,58	-0,030	-39,025	-42,161	-42,384	0,004	17	-18	20	9	-33	63
80,93	-0,026	-38,969	-42,104	-42,336	0,004	18	-19	18	1	-33	56
82,28	-0,028	-38,913	-42,038	-42,284	0,007	18	-20	18	-1	-33	51
83,51	-0,026	-38,861	-41,979	-42,238	0,002	20	-20	17	-1	-33	50
84,86	-0,026	-38,811	-41,917	-42,190	-0,007	21	-21	15	-2	-31	48
86,33	-0,032	-38,756	-41,861	-42,140	-0,011	21	-21	14	-2	-31	47
87,56	-0,030	-38,702	-41,796	-42,096	-0,009	22	-22	13	-4	-31	46
88,79	-0,028	-38,646	-41,736	-42,045	-0,009	23	-23	13	-5	-32	45

90,08	-0,026	-38,592	-41,673	-41,995	-0,007	23	-24	11	-7	-31	44
90,81	-0,028	-38,564	-41,637	-41,972	-0,007	24	-24	11	-8	-31	44
92,17	-0,030	-38,510	-41,583	-41,922	-0,005	24	-26	8	-10	-30	44
93,45	-0,028	-38,462	-41,522	-41,878	-0,011	25	-26	8	-12	-29	44
94,74	-0,030	-38,404	-41,458	-41,826	-0,007	25	-26	6	-14	-28	43
96,16	-0,028	-38,342	-41,393	-41,775	-0,007	26	-27	4	-16	-28	41
97,26	-0,032	-38,286	-41,330	-41,723	-0,009	26	-28	1	-18	-26	40
98,67	-0,051	-38,238	-41,272	-41,673	-0,011	26	-28	-1	-21	-24	40
99,96	-0,051	-38,182	-41,207	-41,624	-0,007	27	-29	-4	-26	-23	38
101,25	-0,038	-38,122	-41,143	-41,570	-0,007	28	-26	-2	-30	-20	37
102,48	-0,047	-38,068	-41,080	-41,519	-0,009	29	-26	-1	-36	-17	38
103,83	-0,047	-38,012	-41,017	-41,469	-0,009	29	-26	0	-39	-15	37
105,12	-0,043	-37,954	-40,955	-41,419	-0,011	30	-26	0	-44	-14	36
106,28	-0,042	-37,898	-40,890	-41,364	-0,007	29	-27	-1	-49	-12	36
106,96	-0,040	-37,868	-40,854	-41,338	-0,005	30	-27	0	-51	-11	34
108,25	-0,045	-37,818	-40,795	-41,288	-0,009	28	-28	0	-55	-10	32
109,41	-0,049	-37,762	-40,733	-41,237	-0,009	29	-28	0	-59	-9	30
110,58	-0,042	-37,706	-40,668	-41,185	-0,002	31	-29	2	-66	-8	28
111,93	-0,040	-37,650	-40,604	-41,132	-0,005	32	-31	4	-72	-6	26
112,98	-0,051	-37,594	-40,547	-41,077	-0,009	33	-30	4	-83	-4	19
109,48	-0,053	-37,514	-40,397	-40,840	-0,009	31	-28	4	-147	-10	-27
108,86	-0,053	-37,450	-40,297	-40,709	-0,005	29	-27	4	-144	-14	-28
93,58	-0,047	-37,378	-40,047	-40,151	-0,021	25	-24	3	-143	-17	-24
94,01	-0,043	-37,320	-39,969	-40,050	-0,018	25	-24	5	-143	-16	-24
94,99	-0,043	-37,269	-39,896	-39,961	-0,016	24	-25	5	-144	-15	-24
96,10	-0,045	-37,219	-39,823	-39,880	-0,020	25	-25	6	-146	-15	-25
96,59	-0,053	-37,193	-39,792	-39,837	-0,021	25	-25	6	-146	-14	-25
97,14	-0,051	-37,152	-39,728	-39,775	-0,018	25	-25	7	-147	-14	-26
95,85	-0,051	-37,171	-39,737	-39,780	-0,023	24	-25	6	-146	-15	-26
100,82	-0,051	-36,984	-39,517	-39,567	-0,023	25	-25	11	-152	-13	-25
100,20	-0,045	-36,995	-39,523	-39,546	-0,018	24	-24	8	-150	-14	-26
99,66	-0,045	-36,997	-39,517	-39,535	-0,023	24	-24	9	-150	-14	-27
99,17	-0,045	-36,995	-39,508	-39,523	-0,020	23	-25	8	-150	-14	-26
98,80	-0,045	-36,993	-39,503	-39,514	-0,020	24	-25	8	-150	-14	-27
98,61	-0,043	-36,997	-39,506	-39,514	-0,023	24	-24	8	-149	-14	-27
98,24	-0,040	-36,991	-39,504	-39,503	-0,020	23	-24	8	-149	-14	-26
98,06	-0,040	-36,995	-39,503	-39,505	-0,023	23	-23	8	-150	-14	-26
97,94	-0,043	-36,997	-39,499	-39,498	-0,021	23	-24	8	-149	-14	-27
97,69	-0,040	-36,990	-39,493	-39,493	-0,018	22	-23	8	-150	-14	-27

RESULTADOS EXPERIMENTAIS — VIGA V9_A

CARGA [kN]	LVDT # 2 [mm] apoio	LVDT # 3 [mm] carga	LVDT # 4 [mm] central	LVDT # 5 [mm] carga	LVDT # 6 [mm] apoio	ϵ_{0A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{0B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45B} [$\times 10^{-6}$]
0,00	0,002	-47,246	-46,806	-42,293	-0,002	1	1	0	0	0	1
6,63	0,002	-47,246	-46,808	-42,300	-0,004	0	0	0	0	0	-1
7,55	0,000	-47,177	-46,733	-42,240	-0,002	0	0	0	0	0	1
10,01	0,000	-46,964	-46,532	-42,075	-0,004	-1	0	0	-1	-1	3
12,40	0,000	-46,775	-46,330	-41,926	-0,004	0	0	-1	-2	-1	5
14,98	-0,006	-46,615	-46,159	-41,798	-0,005	-2	0	-1	-2	-1	7
17,87	-0,008	-46,477	-46,011	-41,688	-0,004	-3	0	-2	-3	-2	9
20,75	-0,011	-46,318	-45,838	-41,553	-0,007	-4	0	-2	-3	-2	11
24,01	-0,008	-46,165	-45,678	-41,434	-0,012	-3	0	-3	-4	-2	14
27,26	-0,009	-46,012	-45,514	-41,308	-0,009	-3	0	-3	-6	-3	15
30,64	-0,008	-45,856	-45,342	-41,178	-0,004	-3	1	-3	-7	-4	19
34,14	-0,004	-45,703	-45,174	-41,055	-0,009	-3	0	-4	-6	-4	20
37,82	-0,002	-45,561	-45,023	-40,938	-0,011	-4	0	-5	-8	-5	23
41,57	-0,008	-45,426	-44,865	-40,817	-0,011	-4	0	-5	-8	-6	25
45,32	-0,004	-45,292	-44,716	-40,709	-0,007	-3	0	-5	-8	-7	27
49,25	-0,004	-45,156	-44,567	-40,597	-0,009	-3	0	-5	-8	-6	31

52,99	-0,008	-45,023	-44,419	-40,485	-0,007	-4	0	-5	-10	-8	32
56,86	-0,006	-44,887	-44,274	-40,373	-0,009	-4	1	-5	-10	-8	36
60,54	-0,008	-44,751	-44,123	-40,260	-0,007	-4	1	-5	-10	-9	37
64,23	-0,009	-44,609	-43,972	-40,146	-0,014	-4	2	-5	-11	-10	41
67,91	-0,009	-44,471	-43,828	-40,038	-0,011	-6	2	-7	-11	-11	42
71,53	-0,015	-44,331	-43,673	-39,926	-0,016	-4	3	-7	-13	-11	45
74,91	-0,023	-44,191	-43,524	-39,812	-0,014	-5	2	-7	-12	-11	48
78,53	-0,021	-44,050	-43,373	-39,702	-0,016	-6	1	-9	-13	-11	50
81,91	-0,013	-43,915	-43,232	-39,594	-0,016	-5	1	-9	-13	-12	54
85,35	-0,043	-43,775	-43,082	-39,484	-0,021	-5	-1	-11	-14	-12	57
88,85	-0,043	-43,637	-42,931	-39,368	-0,020	-4	-2	-12	-15	-12	58
92,53	-0,049	-43,497	-42,790	-39,260	-0,027	-3	-4	-12	-16	-12	61
95,79	-0,042	-43,363	-42,646	-39,153	-0,023	-3	-5	-13	-17	-12	63
99,10	-0,051	-43,225	-42,501	-39,041	-0,034	-2	-8	-14	-19	-13	68
102,41	-0,053	-43,094	-42,357	-38,931	-0,032	-1	-10	-15	-19	-12	71
105,73	-0,051	-42,960	-42,212	-38,828	-0,037	-1	-13	-15	-23	-10	82
108,92	-0,047	-42,829	-42,074	-38,718	-0,030	-1	-14	-14	-36	-7	79
112,30	-0,045	-42,693	-41,930	-38,608	-0,032	-1	-16	-14	-51	-9	67
116,05	-0,049	-42,540	-41,764	-38,473	-0,032	-1	-17	-11	-65	-8	61
119,18	-0,051	-42,408	-41,630	-38,367	-0,039	1	-15	-7	-76	-9	58
122,25	-0,049	-42,285	-41,505	-38,260	-0,043	0	-9	0	-84	-7	57
125,13	-0,051	-42,163	-41,376	-38,162	-0,043	-1	10	16	-88	-4	58
128,02	-0,049	-42,036	-41,250	-38,059	-0,048	-3	41	43	-93	-1	62
130,97	-0,051	-41,910	-41,121	-37,958	-0,048	-9	50	51	-97	4	69
133,85	-0,045	-41,783	-40,985	-37,850	-0,050	-20	56	52	-99	10	80
136,98	-0,051	-41,652	-40,839	-37,733	-0,057	-25	61	56	-103	13	88
140,05	-0,049	-41,523	-40,701	-37,617	-0,089	-29	70	63	-107	17	96
142,94	-0,055	-41,391	-40,554	-37,491	-0,091	-31	75	69	-111	21	102
145,95	-0,053	-41,257	-40,412	-37,374	-0,102	-29	82	79	-112	26	112
148,84	-0,051	-41,118	-40,260	-37,253	-0,098	-25	88	91	-117	33	125
151,78	-0,047	-40,984	-40,108	-37,122	-0,104	-26	91	98	-118	43	140
154,67	-0,047	-40,844	-39,965	-37,004	-0,105	-24	98	109	-83	63	167
157,49	-0,051	-40,708	-39,818	-36,887	-0,116	-23	104	120	-35	84	201
160,32	-0,051	-40,576	-39,676	-36,756	-0,120	-22	115	135	-7	107	237
163,08	-0,047	-40,428	-39,521	-36,632	-0,120	-19	128	153	68	182	342
165,78	-0,049	-40,290	-39,366	-36,498	-0,120	-16	143	175	147	316	496
168,24	-0,051	-40,146	-39,208	-36,358	-0,125	-11	163	203	198	553	763
170,82	-0,057	-39,999	-39,046	-36,220	-0,125	-7	183	235	288	773	1088
173,15	-0,043	-39,850	-38,887	-36,079	-0,125	1	207	275	448	1204	1619
175,55	-0,053	-39,706	-38,727	-35,939	-0,136	9	235	325	540	1465	1907
178,19	-0,051	-39,566	-38,574	-35,811	-0,139	21	264	374	616	1639	2120
180,46	-0,047	-39,424	-38,419	-35,681	-0,137	33	290	420	695	1852	2345
182,98	-0,053	-39,283	-38,270	-35,554	-0,136	44	319	464	768	2042	2562
185,62	-0,055	-39,141	-38,112	-35,419	-0,137	67	366	519	834	2196	2735
188,01	-0,049	-38,984	-37,938	-35,257	-0,145	91	414	580	904	2373	2942
190,22	-0,047	-38,831	-37,776	-35,122	-0,143	119	473	649	969	2543	3153
192,49	-0,051	-38,684	-37,618	-34,980	-0,164	150	550	737	1047	2764	3308
194,52	-0,047	-38,533	-37,453	-34,843	-0,157	171	624	821	1113	2961	3536
175,42	-0,304	-38,074	-36,553	-33,566	-0,173	196	760	962	-154	384	713
68,40	-0,059	-38,964	-35,686	-30,201	-0,061	89	556	580	-34	183	500
69,02	-0,062	-38,939	-35,645	-30,146	-0,057	91	555	580	-23	252	539
68,89	-0,060	-38,939	-35,641	-30,137	-0,059	92	554	580	-18	282	555
68,83	-0,062	-38,939	-35,639	-30,130	-0,062	92	554	580	-16	294	562
68,65	-0,059	-38,934	-35,636	-30,123	-0,057	91	554	580	-14	301	566
68,59	-0,064	-38,937	-35,637	-30,117	-0,064	92	555	579	-13	305	569
68,53	-0,057	-38,939	-35,637	-30,117	-0,059	92	555	580	-13	307	571
68,40	-0,060	-38,941	-35,636	-30,110	-0,059	93	555	579	-12	309	572
68,40	-0,060	-38,939	-35,636	-30,110	-0,064	93	555	578	-12	310	571
68,22	-0,060	-38,943	-35,637	-30,105	-0,057	92	556	579	-11	311	573
68,28	-0,066	-38,941	-35,634	-30,105	-0,064	92	556	578	-12	312	572
68,16	-0,059	-38,939	-35,628	-30,096	-0,055	92	557	579	-12	312	574
68,16	-0,062	-38,941	-35,632	-30,098	-0,061	93	558	579	-11	312	573
68,10	-0,059	-38,943	-35,630	-30,096	-0,057	92	558	579	-13	312	573
68,10	-0,060	-38,943	-35,632	-30,094	-0,061	93	558	579	-12	312	574
68,10	-0,059	-38,941	-35,628	-30,091	-0,061	93	559	580	-11	312	574
67,97	-0,057	-38,947	-35,630	-30,091	-0,061	93	560	579	-12	313	573
68,03	-0,059	-38,945	-35,628	-30,091	-0,062	93	560	579	-12	313	573
68,03	-0,060	-38,943	-35,626	-30,091	-0,059	93	560	579	-12	313	573
67,97	-0,066	-38,943	-35,626	-30,085	-0,061	93	561	579	-12	312	573
67,85	-0,059	-38,941	-35,628	-30,085	-0,057	93	562	580	-12	313	574

67,79	-0,062	-38,947	-35,628	-30,082	-0,061	93	562	580	-12	313	573
67,85	-0,064	-38,947	-35,626	-30,082	-0,061	93	562	580	-12	313	574
67,85	-0,060	-38,945	-35,623	-30,078	-0,057	93	563	580	-12	313	574
67,79	-0,062	-38,947	-35,626	-30,080	-0,064	94	563	580	-12	313	573
67,73	-0,055	-38,947	-35,626	-30,078	-0,055	94	563	580	-12	312	573
67,79	-0,062	-38,943	-35,624	-30,077	-0,059	94	564	580	-12	313	573
67,67	-0,057	-38,943	-35,624	-30,077	-0,054	94	564	580	-12	312	573
67,73	-0,060	-38,951	-35,626	-30,080	-0,057	93	564	581	-13	313	573
67,73	-0,059	-38,945	-35,621	-30,073	-0,055	94	565	581	-12	311	572
67,73	-0,060	-38,945	-35,626	-30,078	-0,061	94	566	581	-13	312	573
67,67	-0,055	-38,947	-35,623	-30,071	-0,057	94	566	582	-12	311	573
67,73	-0,060	-38,947	-35,623	-30,075	-0,061	94	566	581	-12	311	573
67,73	-0,057	-38,945	-35,621	-30,071	-0,055	94	567	582	-12	311	572
67,67	-0,060	-38,949	-35,623	-30,073	-0,061	94	569	582	-13	311	573
67,60	-0,064	-38,949	-35,623	-30,071	-0,061	94	568	581	-13	312	573

RESULTADOS EXPERIMENTAIS — VIGA V9_B

CARGA [kN]	LVDT # 2 [mm] apoio	LVDT # 3 [mm] carga	LVDT # 4 [mm] central	LVDT # 5 [mm] carga	LVDT # 6 [mm] apoio	ϵ_{0A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{0B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45B} [$\times 10^{-6}$]
0,00	0,000	-40,410	-46,808	-45,460	-0,002	0	0	0	0	0	0
7,12	-0,002	-40,215	-46,584	-45,227	-0,002	0	0	-1	0	0	0
9,27	-0,006	-39,995	-46,351	-45,016	-0,004	0	0	-1	-1	-1	3
11,61	-0,006	-39,826	-46,176	-44,852	-0,004	0	0	-1	-1	0	6
14,37	-0,013	-39,689	-46,021	-44,716	-0,004	0	0	-1	0	0	9
17,56	-0,017	-39,562	-45,885	-44,600	-0,004	0	0	-1	-1	0	12
20,88	-0,013	-39,445	-45,754	-44,494	0,002	0	-1	-1	0	1	16
24,50	-0,015	-39,331	-45,629	-44,392	0,002	0	-1	0	0	1	21
28,12	-0,017	-39,225	-45,508	-44,295	-0,002	2	-2	0	0	2	26
31,87	-0,017	-39,111	-45,379	-44,193	-0,002	4	-2	0	0	3	32
35,74	-0,017	-39,001	-45,254	-44,092	0,002	4	-3	0	1	2	36
39,48	-0,017	-38,896	-45,133	-44,000	-0,002	6	-4	0	2	4	42
43,04	-0,017	-38,794	-45,010	-43,904	0,000	7	-4	1	3	4	47
46,60	-0,017	-38,686	-44,891	-43,813	0,000	8	-5	1	4	5	53
49,92	-0,015	-38,575	-44,760	-43,723	-0,002	11	-5	1	5	5	58
53,30	-0,013	-38,460	-44,632	-43,629	0,000	13	-5	2	8	6	65
56,67	-0,015	-38,346	-44,501	-43,531	-0,002	14	-6	3	9	7	71
59,81	-0,017	-38,230	-44,373	-43,437	0,004	16	-7	4	10	10	78
63,06	-0,017	-38,115	-44,238	-43,339	0,004	18	-8	4	12	12	83
66,31	-0,015	-37,993	-44,102	-43,236	0,005	18	-8	4	14	14	91
69,69	-0,015	-37,876	-43,968	-43,140	0,002	20	-8	3	17	19	102
72,76	-0,015	-37,756	-43,841	-43,048	0,002	22	-9	3	20	23	111
76,14	-0,017	-37,635	-43,705	-42,947	0,005	22	-10	3	21	27	115
79,46	-0,017	-37,519	-43,576	-42,854	0,004	24	-11	3	22	30	118
82,77	-0,021	-37,398	-43,448	-42,760	-0,004	23	-12	2	22	38	124
86,03	-0,021	-37,273	-43,314	-42,664	0,000	24	-13	4	16	57	143
89,22	-0,021	-37,150	-43,185	-42,570	0,000	26	-17	8	4	93	166
92,41	-0,019	-37,023	-43,049	-42,473	0,002	27	-19	9	1	126	177
95,73	-0,017	-36,904	-42,916	-42,373	0,002	28	-21	13	-6	169	180
98,92	-0,040	-36,753	-42,745	-42,263	-0,050	30	-24	15	-14	213	186
102,17	-0,042	-36,633	-42,616	-42,167	-0,048	35	-28	20	-18	257	193
105,30	-0,040	-36,478	-42,467	-42,048	-0,053	40	-32	24	-23	294	200
108,37	-0,038	-36,355	-42,331	-41,950	-0,046	49	-36	27	-28	320	205
111,69	-0,038	-36,225	-42,191	-41,839	-0,046	57	-40	31	-34	343	210
114,82	-0,062	-36,107	-42,066	-41,744	-0,050	66	-45	35	-37	373	213
117,95	-0,060	-35,973	-41,921	-41,629	-0,046	86	-50	38	-42	408	221
121,08	-0,062	-35,848	-41,785	-41,524	-0,055	102	-58	29	-47	451	230
124,21	-0,079	-35,732	-41,662	-41,432	-0,084	113	-63	26	-51	497	241
127,16	-0,077	-35,590	-41,505	-41,324	-0,080	113	-68	24	-57	560	260
130,35	-0,087	-35,430	-41,363	-41,215	-0,086	108	-69	20	-58	763	362

133,36	-0,085	-35,312	-41,238	-41,119	-0,080	103	-72	20	-56	918	444
136,43	-0,091	-35,137	-41,091	-41,009	-0,086	94	-73	20	-56	1057	529
139,32	-0,085	-35,003	-40,949	-40,899	-0,082	83	-70	20	-52	1250	647
142,27	-0,089	-34,881	-40,824	-40,798	-0,086	70	-67	22	-47	1451	812
145,15	-0,087	-34,747	-40,681	-40,684	-0,093	59	-64	24	-47	1591	928
148,04	-0,145	-34,620	-40,539	-40,563	-0,094	49	-62	28	-55	1685	1000
150,86	-0,142	-34,488	-40,390	-40,448	-0,094	42	-61	32	-60	1746	1048
153,93	-0,143	-34,363	-40,246	-40,325	-0,098	36	-58	37	-63	1816	1098
156,94	-0,147	-34,236	-40,105	-40,219	-0,105	31	-56	44	-67	1894	1150
159,70	-0,142	-34,096	-39,959	-40,095	-0,105	23	-50	52	-68	1992	1216
162,47	-0,151	-33,973	-39,825	-39,992	-0,105	14	-41	64	-70	2081	1288
164,98	-0,160	-33,850	-39,696	-39,889	-0,107	0	-30	81	-72	2170	1350
167,62	-0,162	-33,726	-39,566	-39,778	-0,103	-9	-26	93	-72	2318	1445
170,14	-0,170	-33,601	-39,435	-39,679	-0,105	-14	-24	106	-71	2485	1571
172,78	-0,175	-33,467	-39,290	-39,548	-0,135	-21	-22	110	-71	2653	1709
175,48	-0,174	-33,327	-39,145	-39,430	-0,135	-28	-18	113	-72	2820	1853
178,31	-0,172	-33,193	-38,999	-39,313	-0,134	-35	-13	116	-72	3000	2017
181,07	-0,175	-33,057	-38,852	-39,194	-0,135	-41	-8	129	-68	3222	2292
183,77	-0,175	-32,900	-38,669	-39,047	-0,135	-47	-3	148	-57	3494	2632
186,48	-0,185	-32,764	-38,522	-38,924	-0,134	-53	9	178	-48	3768	2971
189,18	-0,204	-32,622	-38,367	-38,798	-0,135	-61	32	222	-33	4036	3306
191,88	-0,200	-32,484	-38,212	-38,670	-0,132	-67	68	295	77	4430	3813
194,33	-0,202	-32,333	-38,063	-38,537	-0,135	-74	115	398	229	4812	4482
196,85	-0,200	-32,183	-37,895	-38,397	-0,132	-75	265	596	351	5051	4860
199,37	-0,209	-32,045	-37,741	-38,273	-0,162	-69	405	883	438	5240	5132
201,89	-0,209	-31,905	-37,591	-38,154	-0,160	-64	545	1224	562	5432	5413
203,05	-0,209	-31,752	-37,433	-37,983	-0,169	2	882	2317	637	5543	5524
204,77	-0,209	-31,600	-37,286	-37,873	-0,169	98	1136	2867	704	5678	5680
206,86	-0,206	-31,461	-37,136	-37,757	-0,167	270	1447	3621	747	5774	5808
208,09	-0,209	-31,333	-37,006	-37,651	-0,171	1074	3176	5264	761	5742	5827
208,58	-0,208	-31,182	-36,889	-37,488	-0,175	1542	4380	6286	769	5736	5835
205,94	-0,206	-31,105	-36,864	-37,495	-0,171	1305	5457	6346	769	5658	5762
44,58	-0,011	-27,711	-37,032	-39,869	-0,014	735	-	-131	335	2230	2199
44,58	-0,015	-27,711	-37,036	-39,869	-0,016	686	-	-235	330	2233	2199
43,96	-0,013	-27,708	-37,034	-39,874	-0,014	664	-	-287	329	2235	2197
43,53	-0,015	-27,711	-37,041	-39,874	-0,012	649	-	-322	327	2236	2197
43,17	-0,011	-27,708	-37,043	-39,878	-0,014	638	-	-347	325	2236	2195
42,80	-0,011	-27,706	-37,040	-39,878	-0,012	630	-	-365	325	2236	2195
42,67	-0,015	-27,711	-37,041	-39,876	-0,016	624	-	-381	323	2236	2195
42,31	-0,013	-27,708	-37,043	-39,880	-0,012	619	-	-393	324	2236	2194
42,12	-0,017	-27,709	-37,045	-39,881	-0,014	614	-	-403	323	2236	2194
41,75	-0,013	-27,708	-37,043	-39,878	-0,011	611	-	-412	322	2236	2193
41,69	-0,013	-27,709	-37,045	-39,885	-0,014	608	-	-420	322	2236	2192
41,32	-0,011	-27,709	-37,043	-39,881	-0,012	605	-	-429	321	2236	2191
41,32	-0,015	-27,711	-37,045	-39,883	-0,014	603	-	-433	320	2235	2191
41,08	-0,013	-27,708	-37,045	-39,885	-0,012	600	-	-441	319	2235	2190
41,14	-0,009	-27,706	-37,047	-39,883	-0,011	598	-	-445	320	2235	2190
41,14	-0,015	-27,711	-37,049	-39,889	-0,016	595	-	-450	319	2234	2190
41,14	-0,015	-27,709	-37,043	-39,889	-0,012	595	-	-454	318	2235	2189
41,14	-0,009	-27,708	-37,049	-39,883	-0,012	592	-	-458	318	2235	2188
41,08	-0,011	-27,711	-37,049	-39,889	-0,012	590	-	-462	318	2234	2187
41,02	-0,013	-27,711	-37,051	-39,892	-0,018	589	-	-466	318	2233	2187
41,08	-0,009	-27,706	-37,051	-39,887	-0,014	588	-	-469	318	2234	2186
41,14	-0,009	-27,706	-37,049	-39,889	-0,014	586	-	-473	317	2233	2186
41,08	-0,011	-27,709	-37,051	-39,892	-0,016	586	-	-475	317	2233	2185
41,08	-0,015	-27,711	-37,051	-39,892	-0,018	584	-	-477	316	2233	2185
40,96	-0,011	-27,711	-37,051	-39,890	-0,016	584	-	-480	317	2233	2185
41,08	-0,009	-27,711	-37,049	-39,889	-0,012	582	-	-482	315	2232	2184
41,20	-0,011	-27,708	-37,049	-39,890	-0,014	582	-	-483	316	2232	2184
41,26	-0,013	-27,709	-37,049	-39,894	-0,012	581	-	-487	316	2231	2184
41,20	-0,015	-27,711	-37,053	-39,892	-0,016	536	-	-462	316	2231	2183

RESULTADOS EXPERIMENTAIS — VIGA V10_A

CARGA [kN]	LVDT # 2 [mm] apoio	LVDT # 3 [mm] carga	LVDT # 4 [mm] central	LVDT # 5 [mm] carga	LVDT # 6 [mm] apoio	ϵ_{0A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{0B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45B} [$\times 10^{-6}$]
0,00	0,002	-45,486	-39,719	-35,266	0,000	1	0	1	1	0	1
8,23	-0,006	-45,443	-39,670	-35,223	-0,004	1	0	1	0	-1	3
10,87	-0,006	-45,339	-39,560	-35,126	-0,005	0	-1	2	0	0	4
13,02	-0,006	-45,260	-39,473	-35,053	-0,005	0	0	4	0	-1	7
15,41	-0,011	-45,193	-39,400	-34,989	-0,005	0	0	6	1	-1	10
17,87	-0,008	-45,121	-39,322	-34,923	-0,007	1	0	8	1	-1	12
20,26	-0,011	-45,050	-39,243	-34,859	-0,007	1	-1	10	1	-1	15
22,66	-0,009	-44,971	-39,159	-34,790	-0,007	1	-1	11	2	-2	18
25,36	-0,008	-44,900	-39,076	-34,717	-0,009	1	-1	14	2	-3	21
28,00	-0,013	-44,826	-38,995	-34,653	-0,012	1	-1	15	3	-4	23
30,70	-0,011	-44,753	-38,911	-34,586	-0,016	1	-1	17	4	-3	26
33,34	-0,009	-44,671	-38,820	-34,513	-0,011	2	-2	20	4	-4	29
35,25	-0,015	-44,615	-38,746	-34,461	-0,018	2	-2	21	5	-5	31
37,89	-0,009	-44,535	-38,654	-34,390	-0,014	3	-1	24	6	-6	34
40,46	-0,015	-44,460	-38,568	-34,323	-0,016	4	-2	25	7	-7	36
42,92	-0,011	-44,378	-38,479	-34,252	-0,018	4	-2	27	8	-8	39
45,62	-0,021	-44,259	-38,371	-34,179	-0,030	4	-2	30	9	-8	42
48,08	-0,019	-44,175	-38,279	-34,108	-0,030	5	-4	32	10	-10	45
50,47	-0,019	-44,098	-38,188	-34,037	-0,029	6	-3	35	11	-11	47
52,99	-0,023	-44,018	-38,097	-33,968	-0,030	7	-4	37	12	-11	50
55,39	-0,019	-43,923	-37,996	-33,893	-0,030	8	-5	39	14	-13	52
57,84	-0,023	-43,841	-37,905	-33,824	-0,029	10	-4	41	15	-13	54
60,42	-0,025	-43,740	-37,793	-33,737	-0,039	10	-4	43	16	-14	56
62,20	-0,025	-43,676	-37,720	-33,680	-0,039	11	-4	44	17	-16	58
64,72	-0,021	-43,583	-37,616	-33,598	-0,039	12	-5	46	19	-18	58
67,17	-0,025	-43,499	-37,521	-33,527	-0,043	14	-3	46	20	-19	59
69,63	-0,026	-43,402	-37,412	-33,446	-0,045	16	-2	47	23	-22	62
72,27	-0,028	-43,318	-37,317	-33,371	-0,043	17	-1	48	24	-23	63
74,73	-0,025	-43,227	-37,211	-33,293	-0,043	20	0	49	29	-21	67
77,37	-0,025	-43,130	-37,103	-33,211	-0,046	21	2	48	30	-19	69
79,82	-0,028	-43,040	-37,004	-33,133	-0,052	22	5	49	32	-18	69
82,53	-0,025	-42,939	-36,894	-33,048	-0,048	25	8	51	33	-16	68
85,10	-0,026	-42,848	-36,793	-32,971	-0,054	26	12	53	36	-16	65
87,62	-0,034	-42,757	-36,683	-32,886	-0,050	27	14	55	39	-21	70
89,59	-0,030	-42,686	-36,609	-32,828	-0,048	28	18	57	41	-22	76
92,10	-0,032	-42,581	-36,497	-32,740	-0,050	27	24	57	44	-27	87
94,81	-0,036	-42,488	-36,389	-32,652	-0,054	25	31	60	47	-27	108
97,26	-0,034	-42,393	-36,275	-32,568	-0,052	24	38	62	49	-21	131
99,78	-0,049	-42,288	-36,159	-32,476	-0,052	23	47	67	48	-7	175
102,29	-0,049	-42,188	-36,049	-32,389	-0,050	22	72	78	49	4	228
104,99	-0,051	-42,092	-35,936	-32,300	-0,054	19	93	91	63	12	281
107,51	-0,062	-41,988	-35,828	-32,209	-0,102	17	117	107	103	27	370
110,09	-0,064	-41,885	-35,706	-32,115	-0,105	17	139	125	126	43	445
112,61	-0,062	-41,781	-35,595	-32,023	-0,102	15	162	142	164	57	523
115,06	-0,062	-41,680	-35,479	-31,938	-0,103	14	178	155	193	71	595
116,72	-0,062	-41,598	-35,393	-31,869	-0,100	17	187	161	210	79	636
119,42	-0,064	-41,499	-35,279	-31,778	-0,100	16	201	173	227	91	681
121,82	-0,076	-41,393	-35,162	-31,684	-0,102	15	226	194	233	109	718
124,34	-0,079	-41,292	-35,052	-31,597	-0,105	13	251	215	236	124	741
126,73	-0,077	-41,186	-34,936	-31,503	-0,102	12	271	235	236	140	760
129,25	-0,079	-41,083	-34,821	-31,414	-0,103	7	292	255	233	153	777
131,70	-0,077	-40,979	-34,698	-31,314	-0,098	-2	308	268	226	167	792
134,16	-0,077	-40,870	-34,575	-31,213	-0,100	-12	323	277	219	182	804
136,43	-0,077	-40,760	-34,453	-31,116	-0,107	-28	338	287	213	198	821
138,83	-0,077	-40,652	-34,332	-31,018	-0,107	-43	346	290	208	218	841
141,16	-0,081	-40,529	-34,206	-30,913	-0,107	-52	353	296	204	234	862
143,06	-0,079	-40,451	-34,116	-30,840	-0,107	-59	360	306	200	245	875
145,52	-0,083	-40,340	-33,989	-30,743	-0,111	-68	371	321	195	261	895
147,91	-0,081	-40,223	-33,862	-30,638	-0,118	-75	375	349	191	279	916
150,31	-0,079	-40,111	-33,736	-30,538	-0,118	-82	388	380	185	297	936
152,58	-0,079	-39,999	-33,609	-30,434	-0,121	-89	400	412	175	316	948
154,91	-0,106	-39,878	-33,484	-30,329	-0,121	-96	413	443	168	334	964

157,19	-0,106	-39,764	-33,361	-30,224	-0,118	-102	427	474	159	351	982
159,64	-0,106	-39,650	-33,230	-30,121	-0,120	-107	443	510	150	371	997
162,04	-0,108	-39,536	-33,100	-30,018	-0,118	-110	455	539	134	386	1003
164,19	-0,138	-39,408	-32,966	-29,904	-0,118	-113	468	566	123	400	1009
166,52	-0,136	-39,292	-32,837	-29,801	-0,136	-116	481	590	114	414	1014
168,18	-0,142	-39,206	-32,740	-29,720	-0,134	-118	489	604	108	421	1019
170,39	-0,138	-39,089	-32,608	-29,615	-0,148	-121	500	621	103	432	1025
172,48	-0,195	-38,934	-32,453	-29,476	-0,175	-124	511	637	98	443	1033
174,75	-0,191	-38,816	-32,322	-29,379	-0,166	-127	525	654	93	455	1044
177,08	-0,193	-38,687	-32,190	-29,276	-0,171	-129	537	672	92	471	1060
179,29	-0,191	-38,566	-32,054	-29,169	-0,166	-132	553	689	89	488	1076
181,44	-0,189	-38,443	-31,922	-29,061	-0,164	-135	569	707	87	509	1090
183,47	-0,189	-38,320	-31,782	-28,958	-0,166	-139	584	726	86	528	1108
185,68	-0,191	-38,195	-31,649	-28,849	-0,164	-141	601	746	83	547	1128
187,83	-0,189	-38,075	-31,515	-28,736	-0,166	-145	622	771	82	571	1158
189,98	-0,189	-37,952	-31,385	-28,635	-0,170	-149	643	793	82	594	1193
191,51	-0,189	-37,853	-31,276	-28,551	-0,164	-153	659	812	81	617	1225
193,54	-0,189	-37,725	-31,135	-28,443	-0,162	-158	685	836	84	655	1281
195,38	-0,191	-37,596	-31,000	-28,331	-0,168	-163	719	869	88	698	1339
197,34	-0,195	-37,471	-30,864	-28,224	-0,162	-168	753	905	94	735	1395
199,37	-0,187	-37,342	-30,734	-28,114	-0,164	-172	788	942	99	776	1457
201,21	-0,191	-37,214	-30,594	-28,006	-0,162	-176	826	981	108	823	1530
203,18	-0,215	-37,087	-30,458	-27,894	-0,161	-180	867	1025	116	875	1593
205,08	-0,217	-36,963	-30,322	-27,786	-0,166	-184	914	1073	125	934	1663
206,86	-0,217	-36,835	-30,184	-27,674	-0,157	-188	967	1127	135	1003	1742
208,58	-0,215	-36,708	-30,046	-27,562	-0,157	-191	1025	1186	143	1069	1822
210,42	-0,214	-36,575	-29,904	-27,448	-0,152	-193	1101	1252	153	1131	1900
211,83	-0,217	-36,482	-29,802	-27,363	-0,153	-193	1163	1310	163	1178	1962
213,55	-0,217	-36,353	-29,667	-27,248	-0,152	-195	1258	1393	189	1249	2062
214,90	-0,214	-36,212	-29,507	-27,100	-0,152	-196	1358	1479	172	1173	1795
213,06	-0,283	-36,062	-29,278	-26,812	-0,132	-196	1451	1559	135	1238	1735
62,88	-0,051	-37,144	-28,116	-21,659	-0,066	-100	941	966	142	556	671
65,64	-0,053	-37,051	-27,995	-21,515	-0,071	-101	938	967	138	539	657
65,70	-0,047	-37,042	-27,965	-21,485	-0,070	-101	937	966	138	528	648
65,39	-0,049	-37,044	-27,973	-21,478	-0,066	-100	936	963	137	522	643
65,46	-0,053	-37,046	-27,974	-21,472	-0,071	-100	936	962	135	512	639
65,39	-0,051	-37,044	-27,973	-21,467	-0,075	-100	935	961	135	507	636
65,21	-0,049	-37,046	-27,971	-21,465	-0,070	-101	935	961	135	503	632
65,27	-0,053	-37,049	-27,974	-21,465	-0,082	-100	935	960	134	500	631

RESULTADOS EXPERIMENTAIS — VIGA V10_B

CARGA [kN]	LVDT # 2 [mm] apoio	LVDT # 3 [mm] carga	LVDT # 4 [mm] central	LVDT # 5 [mm] carga	LVDT # 6 [mm] apoio	ϵ_{0A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{0B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45B} [$\times 10^{-6}$]
0,00	-0,004	-49,382	-45,982	-49,074	0,000	1	1	0	0	0	0
8,11	-0,004	-49,341	-45,944	-49,047	-0,004	0	0	0	1	0	1
10,56	-0,002	-49,195	-45,808	-48,942	-0,005	0	-1	-1	0	0	5
13,02	-0,004	-49,124	-45,734	-48,878	-0,002	0	0	0	0	0	7
15,84	-0,004	-49,020	-45,622	-48,791	-0,005	0	0	0	0	-1	12
18,42	-0,006	-48,930	-45,523	-48,713	-0,005	-1	0	0	-1	-1	14
20,20	-0,004	-48,869	-45,460	-48,658	-0,007	-1	-1	0	-1	-2	16
22,90	-0,002	-48,774	-45,359	-48,575	-0,011	-2	-1	0	-2	-1	19
25,60	0,000	-48,667	-45,245	-48,489	-0,007	-3	-1	0	-2	-1	23
27,69	-0,002	-48,593	-45,163	-48,427	-0,009	-2	-1	0	-2	-2	26
30,46	-0,004	-48,488	-45,049	-48,337	-0,012	-2	0	-1	-2	-2	30
33,53	0,000	-48,374	-44,928	-48,243	-0,012	-2	-1	0	-2	-3	33
35,55	0,000	-48,294	-44,841	-48,173	-0,009	-3	-1	0	-2	-2	37
38,44	-0,002	-48,188	-44,719	-48,085	-0,014	-2	-2	0	-1	-3	40
40,53	-0,004	-48,102	-44,624	-48,013	-0,018	-4	-1	1	-1	-3	44
43,47	0,000	-47,983	-44,496	-47,912	-0,014	-4	-2	1	-1	-3	47

46,17	-0,004	-47,874	-44,369	-47,816	-0,016	-5	-1	0	-1	-3	50
48,20	-0,004	-47,787	-44,268	-47,742	-0,018	-4	-1	1	-1	-4	52
50,72	0,000	-47,656	-44,126	-47,641	-0,014	-5	-2	1	-1	-4	56
53,30	-0,004	-47,546	-44,002	-47,543	-0,016	-5	-2	2	-2	-6	59
55,20	-0,002	-47,451	-43,893	-47,466	-0,018	-5	-3	1	-1	-7	61
57,78	0,002	-47,330	-43,759	-47,365	-0,014	-5	-2	2	-2	-7	64
60,30	0,000	-47,210	-43,621	-47,262	-0,016	-5	-2	2	-3	-8	67
62,20	0,000	-47,121	-43,515	-47,182	-0,014	-6	-2	2	-2	-9	69
64,96	-0,004	-46,999	-43,386	-47,085	-0,018	-5	-2	3	-2	-10	72
67,48	-0,004	-46,874	-43,250	-46,982	-0,018	-6	-2	3	-1	-11	75
69,39	-0,006	-46,785	-43,151	-46,907	-0,025	-7	-2	3	-1	-12	76
72,03	-0,008	-46,665	-43,019	-46,809	-0,020	-7	-3	3	0	-12	78
73,81	-0,004	-46,578	-42,920	-46,733	-0,020	-7	-3	3	0	-14	79
76,57	-0,008	-46,458	-42,790	-46,634	-0,023	-7	-3	2	-1	-14	82
79,21	-0,008	-46,331	-42,655	-46,529	-0,041	-9	-5	0	1	-16	83
81,24	-0,019	-46,240	-42,557	-46,456	-0,041	-10	-8	-3	2	-16	85
83,75	-0,015	-46,115	-42,420	-46,349	-0,037	-10	-10	-5	2	-18	86
86,39	-0,017	-45,992	-42,288	-46,250	-0,041	-11	-12	-7	3	-18	87
88,30	-0,011	-45,891	-42,184	-46,170	-0,034	-10	-13	-11	4	-17	90
90,94	-0,013	-45,772	-42,053	-46,065	-0,043	-11	-14	-31	3	-19	89
93,45	-0,017	-45,649	-41,915	-45,960	-0,043	-13	-16	-38	2	-20	88
95,36	-0,015	-45,550	-41,813	-45,882	-0,037	-16	-18	-41	0	-20	87
97,88	-0,019	-45,533	-41,677	-45,778	-0,034	-19	-18	-46	0	-20	91
99,90	-0,015	-45,436	-41,572	-45,694	-0,030	-20	-18	-47	0	-20	95
102,54	-0,017	-45,318	-41,440	-45,595	-0,034	-21	-18	-48	0	-21	100
105,06	-0,019	-45,190	-41,304	-45,488	-0,034	-23	-17	-48	0	-20	103
107,02	-0,013	-45,089	-41,199	-45,403	-0,032	-24	-15	-44	0	-16	105
109,54	-0,023	-44,966	-41,065	-45,314	-0,034	-23	-13	-39	-1	-7	115
111,99	-0,025	-44,844	-40,933	-45,216	-0,032	-21	-6	-28	-6	2	119
113,96	-0,023	-44,751	-40,834	-45,133	-0,029	-14	-4	-17	-11	3	119
116,48	-0,021	-44,626	-40,703	-45,026	-0,036	-4	11	19	-17	6	119
119,05	-0,025	-44,503	-40,569	-44,927	-0,032	5	24	48	-22	9	119
120,90	-0,019	-44,410	-40,466	-44,845	-0,030	10	37	64	-27	13	119
123,54	-0,023	-44,290	-40,330	-44,746	-0,029	16	57	86	-40	15	114
126,12	-0,025	-44,160	-40,200	-44,639	-0,030	24	75	106	-49	17	109
127,90	-0,047	-44,070	-40,095	-44,563	-0,029	29	90	125	-59	19	103
130,41	-0,049	-43,925	-39,957	-44,451	-0,027	31	136	164	-69	21	98
132,32	-0,049	-43,839	-39,861	-44,373	-0,029	31	178	198	-74	22	96
134,77	-0,049	-43,716	-39,728	-44,264	-0,025	31	236	243	-82	27	94
137,29	-0,102	-43,578	-39,586	-44,156	-0,016	28	292	301	-87	31	94
138,83	-0,098	-43,481	-39,482	-44,076	-0,007	25	316	367	-91	37	95
141,41	-0,100	-43,361	-39,348	-43,971	-0,004	21	334	443	-96	41	98
143,80	-0,100	-43,234	-39,214	-43,865	-0,004	17	355	592	-100	48	98
145,77	-0,104	-43,132	-39,115	-43,783	-0,004	12	375	681	-103	49	97
148,28	-0,102	-43,012	-38,980	-43,677	-0,005	4	405	759	-107	57	97
150,68	-0,104	-42,887	-38,846	-43,570	-0,005	-6	437	863	-109	64	100
152,46	-0,098	-42,794	-38,738	-43,481	0,004	-19	459	934	-110	72	103
154,79	-0,100	-42,675	-38,600	-43,371	0,004	-38	489	1027	-111	82	110
156,51	-0,102	-42,555	-38,503	-43,289	0,002	-51	509	1094	-112	90	115
158,84	-0,100	-42,432	-38,369	-43,176	0,005	-64	539	1168	-117	99	123
161,12	-0,123	-42,311	-38,231	-43,062	0,007	-75	570	1252	-118	111	135
162,90	-0,125	-42,221	-38,134	-42,979	0,004	-84	597	1331	-124	123	147
165,11	-0,125	-42,096	-37,998	-42,867	0,009	-96	637	1454	-142	140	162
167,32	-0,125	-41,975	-37,856	-42,751	0,009	-97	680	1601	-146	157	177
169,04	-0,125	-41,891	-37,759	-42,675	0,009	-97	710	1697	-142	172	190
171,19	-0,191	-41,772	-37,631	-42,568	0,009	-72	759	1843	-127	198	210
173,27	-0,189	-41,652	-37,496	-42,457	0,012	-48	811	1990	-116	218	224
174,93	-0,193	-41,570	-37,396	-42,377	0,011	-10	863	2208	-111	231	233
177,08	-0,189	-41,449	-37,265	-42,265	0,009	35	975	2455	-108	246	246
178,92	-0,187	-41,333	-37,129	-42,158	0,012	66	1065	2710	-100	266	263
180,52	-0,191	-41,245	-37,038	-42,077	0,011	89	1148	2900	-96	284	278
182,55	-0,191	-41,132	-36,900	-41,966	0,018	116	1238	3119	-99	315	307
184,14	-0,193	-41,048	-36,805	-41,888	0,014	135	1325	3296	-64	345	333
186,11	-0,189	-40,930	-36,669	-41,784	0,018	171	1511	3550	-32	390	388
188,07	-0,189	-40,809	-36,536	-41,668	0,018	215	1697	3817	10	440	448
189,61	-0,191	-40,725	-36,443	-41,590	0,014	257	1805	4109	58	488	525
191,51	-0,189	-40,609	-36,305	-41,478	0,018	348	1966	4512	116	587	626
193,54	-0,191	-40,495	-36,173	-41,375	0,014	413	2211	4817	170	684	751
194,95	-0,193	-40,402	-36,072	-41,288	0,018	460	2368	4976	206	750	825
196,91	-0,200	-40,279	-35,939	-41,181	0,018	513	2551	5179	259	855	933

198,51	-0,197	-40,160	-35,807	-41,070	0,023	582	2760	5442	312	983	1063
199,74	-0,202	-40,072	-35,708	-40,988	0,021	668	2909	5574	356	1080	1158
201,52	-0,197	-39,945	-35,570	-40,871	0,023	814	3130	5855	419	1241	1314
202,93	-0,246	-39,855	-35,464	-40,780	0,021	886	3304	6090	514	1663	1642
204,59	-0,240	-39,736	-35,324	-40,663	0,027	930	3512	6298	774	2310	2342
206,31	-0,244	-39,618	-35,184	-40,542	0,020	964	3671	6456	1056	2763	2902
207,66	-0,284	-39,525	-35,074	-40,446	0,020	998	3804	6564	1192	3071	3205
209,07	-0,278	-39,409	-34,933	-40,322	0,025	1046	3970	6677	1330	3429	3582
209,69	-0,329	-39,251	-34,744	-40,123	0,034	1080	4165	6783	2146	4577	5471
209,75	-0,321	-39,148	-34,595	-39,965	0,037	1082	4248	6805	2132	5349	6489
210,79	-0,319	-39,025	-34,435	-39,803	0,037	1022	4328	6740	2081	5803	6080
206,31	-0,331	-38,908	-34,142	-39,409	-0,014	969	4498	6744	-170	-267	-410
65,15	-0,091	-40,962	-33,486	-34,167	-0,012	611	2843	3946	-695	-1007	-907
67,85	-0,091	-40,887	-33,374	-34,051	-0,023	606	2831	3951	-733	-1024	-896
70,43	-0,087	-40,785	-33,230	-33,902	-0,027	604	2829	3958	-757	-1036	-892

RESULTADOS EXPERIMENTAIS — VIGA V11_A

CARGA [kN]	LVDT # 2 [mm] apoio	LVDT # 3 [mm] carga	LVDT # 4 [mm] central	LVDT # 5 [mm] carga	LVDT # 6 [mm] apoio	ϵ_{0A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{0B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45B} [$\times 10^{-6}$]
0,00	-0,002	-37,434	-39,338	-36,775	0,002	0	0	-1	0	0	0
7,61	-0,004	-37,353	-39,245	-36,694	0,000	0	-1	0	1	0	1
11,05	-0,004	-37,284	-39,167	-36,624	0,000	2	-3	1	2	-1	4
14,00	-0,006	-37,227	-39,104	-36,562	-0,002	1	-2	2	2	-2	7
16,95	-0,004	-37,165	-39,036	-36,502	0,002	2	-3	3	4	-2	11
20,20	0,000	-37,098	-38,962	-36,440	-0,002	3	-3	4	4	-3	13
23,70	0,000	-37,033	-38,884	-36,369	-0,002	4	-4	5	6	-4	17
26,96	0,000	-36,958	-38,796	-36,298	0,000	5	-5	7	7	-5	20
30,58	-0,006	-36,893	-38,718	-36,232	-0,004	5	-4	7	8	-6	24
34,08	0,004	-36,812	-38,622	-36,159	-0,004	6	-4	9	10	-8	27
36,84	-0,002	-36,747	-38,550	-36,097	-0,007	8	-6	9	11	-9	30
40,16	0,004	-36,648	-38,444	-36,014	-0,002	9	-6	10	13	-11	33
43,72	0,000	-36,555	-38,339	-35,932	-0,007	10	-7	11	15	-12	36
47,03	0,002	-36,456	-38,225	-35,843	-0,002	11	-8	12	18	-14	39
50,47	-0,004	-36,352	-38,108	-35,754	-0,009	12	-9	13	20	-16	42
53,60	0,002	-36,247	-37,989	-35,660	-0,007	12	-9	12	22	-18	45
56,80	0,004	-36,144	-37,864	-35,564	-0,005	13	-10	13	24	-18	47
60,11	0,000	-36,036	-37,744	-35,472	-0,011	15	-11	14	28	-21	47
63,43	-0,004	-35,922	-37,616	-35,376	-0,014	16	-12	14	31	-22	49
66,62	0,000	-35,807	-37,483	-35,271	-0,007	17	-12	14	31	-22	48
69,26	0,000	-35,717	-37,377	-35,188	-0,011	19	-13	15	31	-23	48
72,76	-0,004	-35,603	-37,250	-35,092	-0,007	21	-14	15	33	-24	49
76,14	-0,006	-35,482	-37,118	-34,991	-0,012	24	-14	18	34	-26	51
79,52	-0,015	-35,348	-36,980	-34,886	-0,014	26	-15	20	36	-27	54
83,02	-0,013	-35,213	-36,849	-34,781	-0,012	29	-16	24	36	-28	57
86,33	-0,015	-35,081	-36,710	-34,674	-0,012	32	-16	26	36	-29	56
89,65	-0,019	-34,963	-36,575	-34,570	-0,014	30	-14	28	34	-28	57
93,09	-0,015	-34,829	-36,432	-34,463	-0,014	31	-13	32	31	-26	60
96,53	-0,015	-34,700	-36,277	-34,348	-0,012	35	-13	38	27	-23	58
99,84	-0,015	-34,572	-36,132	-34,239	-0,014	37	-12	45	22	-24	53
102,54	-0,013	-34,475	-36,023	-34,151	-0,012	41	-13	47	14	-25	48
105,79	-0,015	-34,342	-35,878	-34,032	-0,012	44	-13	48	1	-24	42
109,11	-0,017	-34,215	-35,744	-33,925	-0,016	46	-16	48	-8	-23	39
112,55	-0,028	-34,083	-35,593	-33,806	-0,021	50	-18	48	-16	-21	36
115,86	-0,032	-33,947	-35,457	-33,701	-0,023	55	-15	56	-23	-19	36
119,12	-0,038	-33,827	-35,317	-33,591	-0,021	60	-8	68	-28	-22	33
122,37	-0,051	-33,700	-35,177	-33,479	-0,021	67	5	81	-33	-23	31
125,50	-0,053	-33,572	-35,035	-33,362	-0,020	71	19	93	-39	-21	29
128,63	-0,055	-33,437	-34,886	-33,248	-0,020	73	33	98	-46	-18	29
131,89	-0,058	-33,314	-34,742	-33,135	-0,023	70	49	106	-52	-15	28

134,28	-0,083	-33,213	-34,593	-33,021	-0,023	64	61	112	-58	-14	28
137,23	-0,079	-33,088	-34,453	-32,909	-0,018	53	78	120	-66	-8	27
140,12	-0,077	-32,965	-34,312	-32,785	-0,018	36	98	124	-78	-1	25
143,12	-0,083	-32,842	-34,150	-32,650	-0,021	21	121	125	-87	2	24
146,01	-0,092	-32,711	-33,984	-32,487	-0,020	7	144	129	-93	5	24
148,96	-0,100	-32,583	-33,838	-32,362	-0,020	-8	179	131	-98	10	23
151,84	-0,123	-32,460	-33,689	-32,241	-0,023	-25	197	130	-101	11	26
154,67	-0,121	-32,322	-33,538	-32,117	-0,018	-39	218	133	-106	12	27
157,68	-0,121	-32,191	-33,391	-31,998	-0,020	-50	246	141	-108	13	26
160,38	-0,121	-32,045	-33,230	-31,867	-0,016	-55	283	155	-113	16	27
162,47	-0,119	-31,933	-33,107	-31,764	-0,018	-53	314	171	-115	17	28
165,11	-0,123	-31,784	-32,953	-31,636	-0,014	-38	356	197	-118	17	29
167,75	-0,164	-31,642	-32,807	-31,519	-0,020	-10	417	231	-121	19	29
170,39	-0,191	-31,383	-32,570	38,095	-0,080	16	470	263	-125	20	31
173,27	-0,192	-31,251	-32,417	38,214	-0,082	31	512	291	-129	22	31
175,79	-0,185	-31,109	-32,257	38,340	-0,084	48	569	324	-131	24	32
178,12	-0,192	-30,950	-32,093	38,468	-0,087	112	821	549	-135	24	34
180,46	-0,187	-30,797	-31,935	38,590	-0,082	236	1038	776	-138	25	36
183,16	-0,183	-30,655	-31,782	38,715	-0,084	317	1180	916	-141	27	39
185,62	-0,185	-30,514	-31,629	38,841	-0,084	406	1324	1119	-143	27	42
187,76	-0,185	-30,402	-31,504	38,940	-0,182	490	1458	1288	-145	28	43
190,28	-0,187	-30,260	-31,353	39,065	-0,185	606	1888	1557	-149	30	45
192,86	-0,183	-30,113	-31,196	39,192	-0,180	729	2191	1846	-152	31	46
195,13	-0,187	-29,984	-31,060	39,299	-0,183	842	2462	2123	-153	31	48
195,44	-0,211	-29,829	-30,931	41,183	-0,191	1156	3144	2796	-153	32	48
194,27	-0,217	-29,700	-30,879	43,542	-0,191	1295	4102	3640	-152	32	48
66,62	-0,058	-26,997	-30,823	54,467	-0,066	240	-321	-372	-83	16	18
69,63	-0,058	-26,831	-30,678	54,540	-0,068	174	-343	-407	-83	15	19
72,27	-0,058	-26,652	-30,521	54,629	-0,071	146	-351	-417	-83	14	20
72,58	-0,064	-26,614	-30,490	54,650	-0,077	131	-355	-424	-83	15	20
71,84	-0,064	-26,616	-30,501	54,655	-0,073	121	-360	-429	-83	14	20
71,66	-0,062	-26,620	-30,506	54,650	-0,073	113	-363	-435	-83	15	19
71,53	-0,066	-26,629	-30,516	54,648	-0,075	105	-366	-440	-83	14	19
71,17	-0,062	-26,631	-30,521	54,652	-0,077	97	-369	-443	-83	15	20
70,92	-0,058	-26,635	-30,527	54,650	-0,071	93	-371	-446	-82	15	19
70,67	-0,058	-26,640	-30,534	54,647	-0,071	89	-373	-449	-82	15	19
70,43	-0,058	-26,644	-30,538	54,643	-0,071	86	-375	-451	-82	16	20
70,31	-0,062	-26,655	-30,547	54,641	-0,073	76	-378	-454	-83	15	19
70,12	-0,060	-26,661	-30,557	54,636	-0,075	72	-380	-456	-82	15	19
70,00	-0,060	-26,668	-30,559	54,632	-0,075	70	-381	-458	-83	16	19
69,69	-0,058	-26,672	-30,570	54,634	-0,073	70	-381	-459	-83	16	19
69,57	-0,058	-26,678	-30,573	54,632	-0,075	68	-382	-460	-82	16	19
69,39	-0,058	-26,680	-30,575	54,627	-0,071	65	-383	-462	-82	16	19
69,32	-0,057	-26,685	-30,585	54,623	-0,071	60	-387	-464	-82	15	19
69,08	-0,055	-26,694	-30,592	54,623	-0,073	61	-385	-465	-82	16	20
68,77	-0,058	-26,702	-30,598	54,620	-0,069	59	-386	-466	-83	15	18
68,53	-0,058	-26,706	-30,605	54,616	-0,073	58	-387	-466	-82	16	18
67,97	-0,058	-26,711	-30,613	54,615	-0,071	57	-387	-467	-82	16	18
67,60	-0,058	-26,721	-30,616	54,615	-0,071	56	-388	-469	-82	16	19
67,11	-0,058	-26,728	-30,626	54,609	-0,071	55	-390	-470	-83	16	19
66,87	-0,058	-26,728	-30,629	54,606	-0,073	55	-389	-470	-82	17	19
66,38	-0,057	-26,736	-30,631	54,606	-0,071	54	-390	-472	-82	16	18
66,01	-0,060	-26,745	-30,644	54,600	-0,071	42	-393	-473	-82	16	19
65,58	-0,058	-26,752	-30,652	54,600	-0,071	42	-394	-475	-82	16	19
65,03	-0,058	-26,756	-30,656	54,591	-0,073	41	-394	-476	-82	17	19
64,66	-0,057	-26,764	-30,661	54,593	-0,073	41	-395	-477	-82	16	18
64,35	-0,057	-26,765	-30,669	54,588	-0,077	40	-395	-477	-82	16	19
63,92	-0,058	-26,775	-30,674	54,588	-0,073	40	-395	-477	-82	16	18
63,49	-0,058	-26,778	-30,676	54,588	-0,073	39	-396	-477	-82	16	19
63,18	-0,055	-26,788	-30,691	54,586	-0,069	38	-396	-478	-82	16	18
62,75	-0,058	-26,790	-30,693	54,588	-0,071	39	-397	-479	-82	17	18

RESULTADOS EXPERIMENTAIS — VIGA V11_B

CARGA [kN]	LVDT # 2 [mm] apoio	LVDT # 3 [mm] carga	LVDT # 4 [mm] central	LVDT # 5 [mm] carga	LVDT # 6 [mm] apoio	ϵ_{0A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{0B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45B} [$\times 10^{-6}$]
0,00	0,000	-31,392	-35,022	-28,384	0,000	0	0	1	2	0	1
7,80	-0,002	-31,279	-34,875	-28,217	-0,007	2	0	2	2	0	2
10,07	-0,004	-31,154	-34,720	-28,050	-0,005	3	0	5	2	0	4
12,53	0,000	-31,152	-34,733	-28,056	-0,005	5	1	9	4	0	7
14,31	0,002	-31,167	-34,746	-28,068	-0,007	6	0	12	5	0	8
16,76	-0,002	-31,182	-34,754	-28,073	-0,007	8	0	14	7	-2	11
19,59	0,002	-31,183	-34,754	-28,082	-0,011	10	0	18	7	-2	13
21,68	0,004	-31,183	-34,746	-28,080	-0,009	12	0	21	9	-2	15
24,56	-0,002	-31,189	-34,748	-28,091	-0,011	15	-2	25	11	-3	18
27,45	-0,002	-31,187	-34,742	-28,088	-0,011	17	-1	30	12	-4	21
29,90	-0,004	-31,185	-34,722	-28,066	-0,018	19	-1	33	14	-3	23
33,10	-0,004	-31,169	-34,683	-28,040	-0,018	22	-3	37	15	-4	26
36,41	0,000	-31,137	-34,638	-28,001	-0,016	26	-4	42	17	-6	28
38,99	-0,004	-31,111	-34,593	-27,976	-0,018	27	-5	45	18	-5	29
42,37	-0,004	-31,060	-34,524	-27,924	-0,023	30	-5	49	19	-7	33
45,56	-0,004	-31,002	-34,453	-27,866	-0,021	33	-6	52	21	-8	36
48,20	-0,002	-30,926	-34,370	-27,805	-0,025	37	-7	55	23	-9	36
51,52	-0,006	-30,853	-34,288	-27,747	-0,030	39	-8	58	24	-10	39
54,77	-0,004	-30,786	-34,198	-27,681	-0,032	44	-9	59	26	-11	41
57,29	0,000	-30,711	-34,118	-27,612	-0,030	47	-10	60	27	-11	43
60,48	-0,002	-30,635	-34,017	-27,535	-0,030	50	-12	61	29	-12	45
63,67	-0,002	-30,562	-33,920	-27,461	-0,030	54	-13	60	30	-12	47
66,44	-0,002	-30,502	-33,848	-27,399	-0,032	58	-14	60	32	-12	47
69,69	-0,006	-30,417	-33,743	-27,322	-0,036	61	-14	58	32	-12	48
73,01	-0,002	-30,327	-33,646	-27,240	-0,037	65	-15	58	33	-12	50
76,39	-0,015	-30,243	-33,538	-27,155	-0,036	70	-16	58	34	-12	53
79,15	-0,017	-30,168	-33,447	-27,084	-0,039	76	-16	57	35	-12	56
82,59	-0,034	-30,081	-33,333	-26,995	-0,041	84	-16	55	35	-10	59
86,09	-0,034	-29,991	-33,227	-26,919	-0,039	89	-15	54	35	-9	65
88,91	-0,042	-29,924	-33,143	-26,855	-0,041	94	-8	61	36	-9	71
92,47	-0,051	-29,812	-33,005	-26,741	-0,064	92	2	66	38	-7	77
96,10	-0,051	-29,713	-32,893	-26,663	-0,068	87	7	69	38	-6	84
98,61	-0,049	-29,633	-32,800	-26,590	-0,062	84	9	65	40	-6	90
102,23	-0,072	-29,521	-32,664	-26,471	-0,068	79	11	64	39	-2	98
105,61	-0,068	-29,424	-32,552	-26,381	-0,062	70	15	63	41	0	110
108,43	-0,072	-29,334	-32,447	-26,296	-0,070	59	20	59	45	13	124
111,75	-0,072	-29,221	-32,319	-26,191	-0,066	49	25	56	51	45	153
115,31	-0,072	-29,112	-32,196	-26,099	-0,066	41	27	54	61	82	193
118,13	-0,076	-29,025	-32,086	-26,004	-0,068	35	32	53	75	119	245
121,57	-0,079	-28,900	-31,944	-25,893	-0,066	28	37	49	125	208	367
125,07	-0,085	-28,801	-31,825	-25,798	-0,066	19	42	48	164	337	523
127,71	-0,089	-28,693	-31,709	-25,702	-0,070	13	44	46	172	490	688
131,03	-0,091	-28,564	-31,562	-25,584	-0,070	8	47	45	179	653	875
134,34	-0,091	-28,445	-31,422	-25,468	-0,066	4	49	45	181	774	1027
136,98	-0,094	-28,353	-31,308	-25,376	-0,064	0	50	47	171	852	1161
140,05	-0,096	-28,239	-31,176	-25,266	-0,070	-5	51	49	157	1051	1497
143,25	-0,100	-28,120	-31,034	-25,141	-0,068	-10	53	51	170	1241	1830
145,77	-0,102	-28,027	-30,924	-25,051	-0,064	-13	56	54	178	1368	2032
148,90	-0,117	-27,900	-30,773	-24,925	-0,114	-20	58	55	204	1567	2348
152,15	-0,119	-27,777	-30,633	-24,804	-0,116	-24	61	58	252	1728	2622
155,34	-0,121	-27,661	-30,497	-24,690	-0,116	-29	64	61	366	1866	2835
157,92	-0,125	-27,562	-30,381	-24,587	-0,116	-31	65	63	464	1971	2950
160,87	-0,132	-27,441	-30,232	-24,465	-0,112	-35	69	68	583	2096	3117
163,94	-0,140	-27,323	-30,092	-24,342	-0,111	-38	74	73	750	2229	3315
166,52	-0,138	-27,217	-29,971	-24,243	-0,112	-40	78	76	861	2339	3447
169,41	-0,144	-27,084	-29,820	-24,117	-0,114	-46	92	83	987	2468	3566
171,98	-0,142	-26,948	-29,677	-23,999	-0,120	-81	110	64	1083	2574	3672
173,83	-0,151	-26,834	-29,554	-23,898	-0,116	-99	118	58	1141	2648	3752
176,04	-0,147	-26,680	-29,410	-23,777	-0,116	-121	126	61	1170	2734	3847
178,37	-0,147	-26,543	-29,259	-23,657	-0,116	-128	131	77	1189	2814	3933
180,64	-0,145	-26,433	-29,140	-23,552	-0,114	-128	136	83	1186	2883	3971
183,41	-0,145	-26,293	-28,987	-23,417	-0,112	-124	143	91	1157	2986	3959

186,11	-0,149	-26,161	-28,832	-23,291	-0,112	-106	156	103	1181	3108	4039
188,13	-0,149	-26,043	-28,709	-23,182	-0,111	-50	170	117	1226	3240	4146
191,08	-0,145	-25,903	-28,552	-23,049	-0,112	2	187	135	1284	3366	4236
193,54	-0,168	-25,763	-28,403	-22,905	-0,209	57	204	155	1331	3483	4318
195,87	-0,170	-25,655	-28,273	-22,801	-0,211	93	218	170	1364	3574	4384
198,63	-0,172	-25,515	-28,125	-22,666	-0,212	131	228	183	1421	3721	4500
201,09	-0,170	-25,375	-27,967	-22,527	-0,212	158	242	197	1475	3883	4623
202,87	-0,172	-25,269	-27,849	-22,422	-0,212	181	258	210	1512	4001	4713
205,57	-0,170	-25,118	-27,684	-22,270	-0,212	210	278	230	1557	4150	4816
207,90	-0,168	-24,982	-27,542	-22,131	-0,209	240	302	257	1591	4292	4907
209,87	-0,204	-24,866	-27,415	-22,017	-0,209	265	317	278	1606	4393	4954
212,26	-0,204	-24,713	-27,251	-21,849	-0,207	283	333	299	1595	4481	4971
210,30	-0,208	-24,523	-26,990	-21,518	-0,216	289	350	318	1436	4598	4854
211,90	-0,208	-24,381	-26,796	-21,307	-0,212	301	373	340	1417	4589	4834
213,80	-0,208	-24,271	-26,658	-21,170	-0,214	323	396	364	1417	4609	4860
215,15	-0,215	-24,118	-26,470	-20,963	-0,223	345	426	394	1406	4637	4882
217,73	-0,217	-23,974	-26,298	-20,792	-0,223	364	454	419	1409	4688	4937
219,63	-0,215	-23,860	-26,164	-20,666	-0,225	384	481	449	1412	4739	4991
222,03	-0,210	-23,715	-25,989	-20,503	-0,223	416	523	496	1414	4809	5082
224,30	-0,212	-23,571	-25,815	-20,341	-0,223	457	574	561	1413	4870	5107
226,14	-0,210	-23,457	-25,685	-20,213	-0,223	490	621	613	1419	4939	5168
228,60	-0,225	-23,310	-25,517	-20,064	-0,221	535	681	680	1426	5029	5254
230,99	-0,227	-23,170	-25,353	-19,906	-0,223	588	748	752	1437	5126	5354
232,77	-0,227	-23,051	-25,219	-19,783	-0,223	636	812	829	1446	5205	5436
235,04	-0,227	-22,909	-25,047	-19,632	-0,223	701	893	916	1445	5290	5524
237,26	-0,229	-22,758	-24,881	-19,478	-0,225	751	994	1008	1438	5364	5607
238,91	-0,225	-22,636	-24,743	-19,354	-0,223	777	1058	1065	1433	5446	5692
240,94	-0,231	-22,484	-24,572	-19,194	-0,227	817	1143	1141	1419	5538	5795
242,90	-0,232	-22,336	-24,398	-19,036	-0,227	854	1234	1220	1412	5666	5924
244,62	-0,231	-22,217	-24,262	-18,904	-0,225	872	1295	1283	1403	5771	6026
246,65	-0,232	-22,051	-24,042	-18,734	-0,225	898	1369	1356	1378	5883	6132
248,55	-0,232	-21,898	-23,865	-18,572	-0,223	923	1445	1409	1352	5985	6235
249,04	-0,268	-21,791	-23,742	-18,441	-0,223	946	1515	1459	1337	6117	6383
248,98	-0,291	-21,661	-23,585	-18,272	-0,236	988	1620	1550	1326	6258	6541
249,11	-0,291	-21,541	-23,453	-18,139	-0,236	1028	1786	1726	1321	6402	6729
45,01	-0,009	-23,250	-22,588	-11,355	-0,034	556	931	832	957	-1156	1085
46,54	-0,008	-23,138	-22,416	-11,154	-0,034	552	918	826	888	-1113	945
47,77	-0,011	-23,034	-22,247	-10,955	-0,037	550	915	825	841	-1102	875
49,12	-0,011	-22,939	-22,084	-10,767	-0,041	549	912	826	786	-1103	818

RESULTADOS EXPERIMENTAIS — VIGA V12_A

CARGA [kN]	LVDT # 2 [mm] apoio	LVDT # 3 [mm] carga	LVDT # 4 [mm] central	LVDT # 5 [mm] carga	LVDT # 6 [mm] apoio	ϵ_{0A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{0B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45B} [$\times 10^{-6}$]
0,00	-0,009	-20,571	-33,527	-18,849	-0,004	1	1	-1	0	0	0
9,64	-0,008	-20,513	-33,460	-18,783	-0,007	1	1	-2	0	-1	-3
13,20	-0,002	-20,448	-33,383	-18,709	-0,007	3	0	-4	1	0	-6
16,27	-0,002	-20,392	-33,322	-18,652	-0,009	4	2	-6	2	0	-10
19,28	0,000	-20,336	-33,266	-18,602	-0,009	5	2	-8	3	0	-12
22,60	0,000	-20,280	-33,208	-18,553	-0,013	6	3	-9	3	0	-14
25,97	-0,002	-20,224	-33,141	-18,496	-0,011	8	3	-12	5	1	-19
29,29	-0,004	-20,155	-33,066	-18,439	-0,011	10	3	-13	6	0	-22
32,85	0,002	-20,086	-32,982	-18,377	-0,013	12	4	-15	7	1	-26
36,41	0,002	-20,006	-32,897	-18,302	-0,013	14	4	-17	9	0	-29
40,71	0,004	-19,903	-32,787	-18,217	-0,016	16	5	-20	11	0	-34
44,15	0,006	-19,816	-32,690	-18,142	-0,013	17	5	-22	12	0	-37
47,53	0,004	-19,717	-32,574	-18,059	-0,014	19	4	-24	13	0	-41
50,72	0,002	-19,612	-32,470	-17,972	-0,011	21	6	-25	15	0	-45
54,10	0,002	-19,502	-32,356	-17,883	-0,014	24	6	-27	15	-1	-48
57,29	0,000	-19,399	-32,242	-17,791	-0,014	25	6	-28	17	-1	-51

60,67	0,004	-19,291	-32,121	-17,697	-0,014	26	7	-30	17	-1	-54
63,92	0,004	-19,187	-32,002	-17,606	-0,016	28	7	-30	19	-2	-57
67,30	-0,006	-19,079	-31,877	-17,494	-0,018	30	6	-30	19	-4	-60
71,17	-0,011	-18,937	-31,731	-17,372	-0,025	31	6	-31	12	-5	-63
74,54	-0,015	-18,810	-31,608	-17,272	-0,029	33	7	-31	11	-5	-65
77,98	-0,013	-18,696	-31,485	-17,171	-0,027	35	6	-31	6	-6	-66
81,36	-0,011	-18,588	-31,357	-17,068	-0,029	34	6	-29	4	-8	-66
84,55	-0,013	-18,467	-31,228	-16,965	-0,027	32	6	-29	2	-9	-68
87,99	-0,013	-18,349	-31,099	-16,858	-0,025	31	7	-27	-1	-9	-69
91,24	-0,011	-18,231	-30,961	-16,723	-0,029	29	9	-27	-4	-8	-71
94,56	-0,015	-18,114	-30,825	-16,613	-0,029	27	9	-27	-13	0	-77
97,94	-0,015	-17,985	-30,683	-16,507	-0,030	26	10	-29	-20	6	-82
101,98	-0,015	-17,840	-30,518	-16,370	-0,034	23	12	-29	-25	13	-89
105,24	-0,015	-17,720	-30,378	-16,251	-0,046	29	15	-30	-31	21	-94
108,43	-0,013	-17,597	-30,236	-16,136	-0,048	43	19	-28	-35	26	-100
111,75	-0,015	-17,474	-30,098	-16,015	-0,050	71	19	-28	-39	31	-106
115,00	-0,013	-17,353	-29,954	-15,896	-0,050	104	18	-28	-43	34	-113
118,01	-0,015	-17,230	-29,815	-15,782	-0,052	151	17	-34	-45	35	-119
121,20	-0,015	-17,108	-29,673	-15,669	-0,050	242	14	-46	-47	35	-124
124,40	-0,015	-16,980	-29,531	-15,553	-0,050	353	14	-56	-50	35	-128
127,47	-0,015	-16,845	-29,391	-15,432	-0,054	453	14	-71	-51	34	-134
131,09	-0,015	-16,689	-29,211	-15,285	-0,054	580	13	-84	-49	31	-140
134,10	-0,015	-16,554	-29,052	-15,148	-0,054	706	14	-100	-47	30	-144
136,74	-0,013	-16,412	-28,881	-14,988	-0,054	841	10	-114	-48	35	-149
139,32	-0,015	-16,265	-28,703	-14,821	-0,052	972	10	-125	-51	45	-155
142,20	-0,013	-16,127	-28,534	-14,667	-0,054	1089	9	-135	-37	53	-161
143,98	-0,009	-15,965	-28,332	-14,450	-0,055	1181	8	-146	32	54	-165
146,44	-0,025	-15,817	-28,137	-14,262	-0,057	1251	10	-157	27	67	-166
149,33	-0,028	-15,664	-27,958	-14,097	-0,059	1324	13	-170	24	75	-167
152,40	-0,025	-15,517	-27,782	-13,937	-0,059	1414	19	-187	21	82	-167
155,90	-0,030	-15,330	-27,572	-13,749	-0,059	1529	36	-212	34	89	-167
158,78	-0,028	-15,177	-27,391	-13,592	-0,061	1613	50	-239	59	97	-167
161,73	-0,030	-15,028	-27,214	-13,436	-0,061	1650	71	-263	103	104	-166
164,37	-0,038	-14,875	-27,037	-13,278	-0,066	1665	84	-284	174	109	-167
166,95	-0,036	-14,722	-26,859	-13,124	-0,066	1708	100	-302	287	119	-163
169,77	-0,064	-14,569	-26,690	-12,976	-0,068	1747	121	-311	450	128	-159
172,23	-0,066	-14,418	-26,516	-12,827	-0,068	1766	163	-311	1052	132	-162
174,32	-0,064	-14,248	-26,349	-12,683	-0,073	1877	212	-331	1451	141	-162
176,41	-0,066	-14,091	-26,183	-12,543	-0,068	1891	243	-327	1657	149	-180
178,74	-0,066	-13,901	-25,989	-12,387	-0,071	1509	296	-216	1801	161	-154
180,58	-0,076	-13,741	-25,832	-12,259	-0,129	1261	405	-235	1764	174	34
182,48	-0,074	-13,573	-25,664	-12,118	-0,130	1140	418	-320	1803	200	76
184,69	-0,078	-13,412	-25,498	-11,973	-0,129	1076	425	-357	1877	222	122
187,27	-0,074	-13,259	-25,327	-11,825	-0,130	1031	441	-382	1968	245	163
189,48	-0,087	-13,099	-25,159	-11,674	-0,134	975	462	-403	2050	290	155
191,82	-0,110	-12,937	-24,974	-11,493	-0,132	953	487	-427	1510	323	156
193,97	-0,108	-12,778	-24,780	-11,309	-0,132	934	514	-447	1413	374	204
196,18	-0,108	-12,606	-24,587	-11,133	-0,130	944	555	-466	1228	500	84
199,06	-0,110	-12,416	-24,372	-10,943	-0,134	862	595	-476	1077	645	87
201,70	-0,112	-12,261	-24,191	-10,779	-0,134	801	632	-468	927	825	104
204,04	-0,112	-12,110	-24,012	-10,623	-0,132	761	681	-466	792	1073	143
206,62	-0,115	-11,970	-23,841	-10,461	-0,132	733	749	-455	733	1297	176
208,83	-0,113	-11,823	-23,660	-10,302	-0,134	683	828	-443	690	1664	235
211,04	-0,119	-11,672	-23,477	-10,135	-0,134	645	905	-447	707	2453	51
213,31	-0,121	-11,520	-23,296	-9,974	-0,132	612	1004	-453	609	3971	208
215,64	-0,123	-11,364	-23,115	-9,808	-0,136	588	1109	-478	569	5065	382
218,04	-0,127	-11,211	-22,933	-9,643	-0,132	572	1213	-501	331	5539	787
220,31	-0,161	-11,026	-22,707	-9,427	-0,259	560	1345	-521	258	6185	719
220,31	-0,183	-10,888	-22,504	-9,205	-0,261	549	1463	-524	-27	4770	599
221,54	-0,182	-10,752	-22,317	-8,999	-0,264	544	1592	-529	76	5355	819
223,69	-0,182	-10,601	-22,135	-8,825	-0,261	533	1760	-523	124	5653	854
225,77	-0,185	-10,455	-21,960	-8,652	-0,263	500	2124	-488	163	5921	916
227,49	-0,182	-10,306	-21,769	-8,466	-0,266	472	2453	-448	185	6276	1007
229,33	-0,183	-10,149	-21,581	-8,283	-0,264	490	2768	-449	218	6591	1081
230,87	-0,182	-9,993	-21,387	-8,091	-0,268	455	2985	-408	243	6958	1191
231,97	-0,185	-9,851	-21,208	-7,912	-0,271	422	3228	-354	279	7356	1357
228,47	-0,206	-9,637	-20,858	-7,462	-0,273	406	3977	-248	131	8841	2329
46,67	-0,072	-13,076	-20,209	-3,493	-0,045	281	1853	-9	-	-590	-684
45,38	-0,070	-13,080	-20,214	-3,497	-0,043	280	1842	-8	-	-607	-658
45,62	-0,068	-13,097	-20,227	-3,506	-0,045	279	1837	-7	-	-615	-638

45,81	-0,070	-13,103	-20,235	-3,511	-0,045	278	1833	-7	-	-620	-624
45,99	-0,066	-13,108	-20,240	-3,520	-0,045	277	1831	-5	-	-624	-612
45,81	-0,070	-13,119	-20,250	-3,529	-0,043	277	1828	-5	-	-627	-601
45,81	-0,068	-13,123	-20,255	-3,536	-0,041	276	1827	-4	-	-629	-591
45,68	-0,066	-13,129	-20,265	-3,543	-0,041	275	1826	-4	-	-630	-584
45,56	-0,068	-13,136	-20,276	-3,555	-0,041	274	1826	-2	-	-632	-575
45,32	-0,072	-13,145	-20,285	-3,557	-0,043	274	1826	0	-	-633	-568
45,32	-0,070	-13,153	-20,289	-3,568	-0,041	274	1825	0	-	-633	-562
45,01	-0,068	-13,157	-20,296	-3,577	-0,043	273	1826	0	-	-633	-557
45,01	-0,068	-13,160	-20,308	-3,586	-0,043	273	1824	1	-	-632	-554
44,70	-0,070	-13,164	-20,311	-3,589	-0,043	272	1825	1	-	-632	-550
44,58	-0,070	-13,175	-20,319	-3,602	-0,043	271	1825	2	-	-632	-545
44,52	-0,068	-13,177	-20,324	-3,607	-0,045	271	1824	2	-	-598	-535
44,27	-0,070	-13,183	-20,330	-3,610	-0,041	271	1825	4	-	-596	-531
44,03	-0,066	-13,188	-20,334	-3,619	-0,043	270	1824	3	-	-595	-527

RESULTADOS EXPERIMENTAIS — VIGA V12_B

CARGA [kN]	LVDT # 2 [mm] apoio	LVDT # 3 [mm] carga	LVDT # 4 [mm] central	LVDT # 5 [mm] carga	LVDT # 6 [mm] apoio	ϵ_{0A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{0B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45B} [$\times 10^{-6}$]
0,00	0,000	-42,744	-44,796	-38,006	0,004	0	0	0	0	0	1
7,25	-0,002	-42,734	-44,785	-37,999	0,000	0	-1	0	0	0	-1
9,39	-0,004	-42,611	-44,658	-37,900	0,002	0	0	-1	-1	0	3
12,22	-0,008	-42,447	-44,488	-37,770	0,000	-2	0	0	-1	0	4
14,43	-0,006	-42,322	-44,358	-37,667	0,005	-2	0	-1	-2	0	6
17,25	0,008	-42,165	-44,199	-37,544	-0,004	-3	0	-2	-4	0	9
19,16	0,026	-42,053	-44,074	-37,456	0,000	-4	0	-1	-4	0	10
21,92	0,043	-41,908	-43,929	-37,345	-0,004	-4	-1	-1	-4	1	12
23,95	0,051	-41,829	-43,821	-37,266	-0,004	-4	-1	-1	-5	0	14
26,71	0,064	-41,719	-43,690	-37,166	-0,002	-4	0	-2	-6	0	15
29,04	0,066	-41,632	-43,597	-37,097	-0,005	-5	-1	-1	-6	0	18
31,87	0,076	-41,527	-43,472	-37,006	-0,002	-5	-1	-2	-6	0	20
33,77	0,081	-41,443	-43,373	-36,930	-0,004	-6	-1	-2	-6	0	22
36,29	0,079	-41,359	-43,276	-36,861	-0,007	-5	-1	-2	-7	-1	24
38,99	0,085	-41,253	-43,149	-36,763	-0,009	-5	-1	-2	-7	-1	26
41,08	0,093	-41,167	-43,049	-36,690	-0,004	-5	-2	-2	-8	0	28
43,84	0,095	-41,055	-42,924	-36,598	-0,004	-4	-2	-2	-8	-1	32
46,11	0,095	-40,984	-42,831	-36,530	-0,009	-5	-2	-3	-7	-1	33
48,82	0,100	-40,882	-42,706	-36,434	-0,007	-5	-3	-2	-7	-2	35
50,72	0,104	-40,794	-42,603	-36,358	-0,004	-5	-3	-3	-7	-2	37
53,24	-0,013	-40,529	-42,422	-36,241	-0,032	-6	-3	-3	-8	-3	38
55,26	-0,017	-40,438	-42,324	-36,163	-0,032	-5	-3	-3	-8	-4	39
57,78	-0,017	-40,305	-42,182	-36,058	-0,032	-5	-4	-4	-7	-5	42
59,87	-0,019	-40,210	-42,085	-35,985	-0,034	-5	-4	-4	-6	-5	43
62,45	-0,017	-40,083	-41,947	-35,879	-0,036	-4	-5	-5	-7	-6	45
64,29	-0,015	-39,982	-41,841	-35,797	-0,034	-4	-5	-5	-7	-7	46
66,31	-0,013	-39,882	-41,734	-35,719	-0,032	-4	-4	-6	-5	-7	48
68,77	-0,015	-39,753	-41,600	-35,612	-0,032	-5	-5	-7	-7	-8	49
70,80	-0,011	-39,656	-41,496	-35,534	-0,030	-4	-5	-8	-7	-8	51
73,38	-0,015	-39,527	-41,360	-35,426	-0,032	-4	-5	-8	-6	-8	52
75,46	-0,019	-39,432	-41,257	-35,351	-0,032	-4	-6	-9	-6	-8	56
77,92	-0,011	-39,299	-41,117	-35,239	-0,034	-3	-7	-11	-4	-5	60
79,95	-0,015	-39,208	-41,020	-35,161	-0,032	-2	-8	-12	-2	-4	60
82,59	-0,013	-39,077	-40,884	-35,053	-0,034	-3	-10	-15	0	-2	65
84,61	-0,015	-38,986	-40,783	-34,973	-0,034	-4	-12	-18	0	2	68
87,07	-0,013	-38,852	-40,645	-34,861	-0,032	-3	-15	-21	-5	4	69
89,03	-0,011	-38,760	-40,549	-34,783	-0,030	-3	-17	-24	-11	4	66
91,80	-0,011	-38,626	-40,409	-34,671	-0,030	-6	-24	-32	-17	7	63
93,64	-0,013	-38,529	-40,308	-34,591	-0,027	-7	-28	-36	-22	8	61
95,67	-0,015	-38,428	-40,205	-34,508	-0,027	-9	-33	-40	-26	10	60

98,31	-0,013	-38,301	-40,071	-34,403	-0,030	-12	-37	-41	-32	12	58
100,14	-0,015	-38,200	-39,967	-34,321	-0,030	-12	-38	-34	-35	14	59
102,84	-0,013	-38,064	-39,827	-34,211	-0,029	-13	-39	-24	-35	16	57
104,75	-0,013	-37,965	-39,724	-34,126	-0,030	-12	-39	-16	-30	21	57
107,20	-0,011	-37,831	-39,585	-34,017	-0,029	-8	-39	0	17	30	57
109,17	-0,011	-37,747	-39,482	-33,932	-0,025	-4	-39	17	45	37	57
111,81	-0,011	-37,620	-39,346	-33,826	-0,027	10	-36	62	79	46	57
113,59	-0,011	-37,521	-39,245	-33,740	-0,030	20	-31	117	105	55	56
116,23	-0,009	-37,389	-39,105	-33,630	-0,030	32	-28	199	139	70	57
118,20	-0,009	-37,284	-38,999	-33,550	-0,030	41	-27	257	163	85	58
119,98	-0,009	-37,178	-38,893	-33,465	-0,030	49	-24	326	188	99	60
122,31	-0,006	-37,036	-38,747	-33,355	-0,027	61	-19	430	220	118	62
124,21	-0,008	-36,930	-38,645	-33,273	-0,025	71	-10	517	242	136	64
126,61	-0,009	-36,794	-38,507	-33,165	-0,032	83	1	625	270	172	72
128,39	-0,009	-36,687	-38,402	-33,080	-0,029	89	9	693	289	204	79
130,78	-0,008	-36,544	-38,259	-32,968	-0,032	97	20	774	315	244	89
132,62	-0,011	-36,445	-38,155	-32,890	-0,029	103	29	833	334	266	92
134,96	-0,008	-36,297	-38,013	-32,778	-0,029	110	41	898	356	290	98
136,80	-0,008	-36,189	-37,905	-32,693	-0,029	115	48	943	372	306	101
139,13	-0,011	-36,051	-37,770	-32,586	-0,030	123	58	1002	393	328	103
140,85	-0,011	-35,945	-37,659	-32,501	-0,032	128	65	1043	412	345	106
143,19	-0,009	-35,799	-37,509	-32,385	-0,029	135	74	1102	437	364	109
145,09	-0,008	-35,691	-37,405	-32,298	-0,025	141	82	1147	456	377	110
146,75	-0,015	-35,588	-37,295	-32,218	-0,032	145	89	1196	478	391	113
148,90	-0,013	-35,439	-37,148	-32,099	-0,027	152	99	1272	504	406	118
150,62	-0,015	-35,327	-37,038	-32,009	-0,027	158	109	1338	523	417	121
153,13	-0,028	-35,191	-36,892	-31,895	-0,030	167	121	1432	550	439	129
154,91	-0,026	-35,083	-36,780	-31,806	-0,030	174	132	1507	575	456	137
157,06	-0,034	-34,939	-36,633	-31,689	-0,030	184	149	1613	603	480	144
158,72	-0,038	-34,833	-36,527	-31,604	-0,034	191	164	1691	622	498	154
160,87	-0,034	-34,684	-36,376	-31,492	-0,141	198	182	1794	639	520	166
162,53	-0,030	-34,583	-36,266	-31,403	-0,139	204	198	1875	650	540	189
164,74	-0,038	-34,445	-36,124	-31,288	-0,145	212	247	2009	661	564	225
166,27	-0,032	-34,337	-36,014	-31,203	-0,141	223	354	2157	666	577	246
168,48	-0,040	-34,206	-35,880	-31,087	-0,141	235	459	2338	675	600	285
170,20	-0,047	-34,103	-35,772	-31,002	-0,145	243	539	2480	678	616	311
171,74	-0,043	-33,999	-35,667	-30,915	-0,143	252	619	2628	682	632	342
173,95	-0,045	-33,868	-35,524	-30,803	-0,145	267	752	2855	699	665	413
175,61	-0,049	-33,766	-35,419	-30,723	-0,145	292	861	3047	723	713	546
177,63	-0,045	-33,633	-35,281	-30,609	-0,143	313	1015	3316	746	769	682
179,23	-0,051	-33,532	-35,177	-30,526	-0,191	325	1135	3537	760	804	776
181,26	-0,047	-33,392	-35,031	-30,410	-0,187	339	1299	3825	773	861	925
182,85	-0,047	-33,292	-34,923	-30,323	-0,189	347	1419	4036	784	909	1038
184,94	-0,045	-33,154	-34,784	-30,213	-0,187	355	1598	4338	800	965	1164
186,60	-0,047	-33,055	-34,677	-30,125	-0,187	355	1734	4573	814	1004	1251
188,56	-0,045	-32,917	-34,537	-30,011	-0,186	350	1917	4900	832	1056	1377
189,98	-0,127	-32,816	-34,433	-29,927	-0,189	348	2046	5119	841	1131	1584
191,94	-0,127	-32,680	-34,289	-29,814	-0,189	348	2244	5414	865	1239	1872
193,35	-0,129	-32,579	-34,189	-29,732	-0,187	351	2479	5691	878	1315	2082
194,83	-0,129	-32,486	-34,088	-29,650	-0,193	357	2726	6010	890	1382	2265
196,61	-0,127	-32,346	-33,946	-29,538	-0,195	368	3178	6539	901	1464	2485
198,08	-0,130	-32,249	-33,848	-29,457	-0,200	384	3615	7006	914	1524	2648
199,80	-0,125	-32,114	-33,708	-29,347	-0,198	415	4210	7679	931	1605	2873
200,90	-0,161	-32,014	-33,613	-29,274	-0,195	447	4800	8327	943	1672	3065
202,56	-0,161	-31,885	-33,478	-29,176	-0,198	508	5721	9374	969	1769	3365
203,30	-0,159	-31,786	-33,389	-29,116	-0,195	547	6467	10206	977	1837	3610
200,23	-0,161	-31,674	-33,380	-29,137	-0,196	589	8777	12475	946	1858	3699
57,66	0,006	-29,801	-34,325	-30,947	-0,089	791	-	-	271	1105	2078
60,42	0,004	-29,672	-34,224	-30,869	-0,087	767	-	-	361	1136	2123
60,79	0,004	-29,616	-34,183	-30,846	-0,086	762	-	-	374	1142	2130
60,60	0,004	-29,609	-34,181	-30,847	-0,086	757	-	-	381	1144	2132

RESULTADOS EXPERIMENTAIS — VIGA V13_A

CARGA [kN]	LVDT # 2 [mm] apoio	LVDT # 3 [mm] carga	LVDT # 4 [mm] central	LVDT # 5 [mm] carga	LVDT # 6 [mm] apoio	ϵ_{0A} [x10 ⁻⁶]	ϵ_{90A} [x10 ⁻⁶]	ϵ_{45A} [x10 ⁻⁶]	ϵ_{0B} [x10 ⁻⁶]	ϵ_{90B} [x10 ⁻⁶]	ϵ_{45B} [x10 ⁻⁶]
0,00	0,000	-41,995	-43,299	-38,640	0,000	1	-1	-2	0	1	0
5,96	-0,002	-41,910	-43,174	-38,493	0,002	1	-1	-3	0	0	0
7,00	-0,006	-41,757	-42,991	-38,301	0,002	1	-1	-2	0	0	1
8,41	-0,004	-41,632	-42,840	-38,141	0,002	1	-1	-3	0	0	2
10,25	-0,002	-41,559	-42,758	-38,061	0,002	1	-2	-1	0	-1	5
12,22	-0,002	-41,492	-42,680	-37,990	0,000	0	-2	0	0	-1	7
14,49	0,002	-41,426	-42,601	-37,919	0,000	1	-3	0	1	-2	10
17,32	0,000	-41,346	-42,503	-37,827	0,000	2	-2	2	0	-2	12
19,71	-0,004	-41,281	-42,417	-37,750	0,000	2	-2	3	0	-2	15
22,29	0,000	-41,204	-42,333	-37,672	0,000	2	-3	5	0	-4	18
24,87	0,000	-41,133	-42,240	-37,601	0,000	3	-4	6	0	-4	21
27,82	0,004	-41,057	-42,154	-37,523	0,000	3	-4	7	0	-4	25
30,58	-0,004	-40,969	-42,057	-37,443	0,002	4	-4	8	0	-4	28
34,26	-0,004	-40,868	-41,938	-37,345	0,002	5	-6	10	2	-5	32
37,27	-0,002	-40,771	-41,841	-37,264	0,004	7	-5	12	2	-6	36
40,28	-0,011	-40,686	-41,746	-37,187	0,000	7	-6	13	3	-6	40
43,23	-0,013	-40,598	-41,650	-37,109	0,000	9	-6	14	3	-7	44
46,11	-0,013	-40,514	-41,544	-37,028	0,000	10	-8	14	4	-8	47
48,94	-0,013	-40,424	-41,443	-36,948	-0,004	11	-6	16	5	-9	50
52,44	-0,013	-40,305	-41,304	-36,845	0,002	12	-8	18	7	-10	54
55,14	-0,025	-40,214	-41,199	-36,756	0,000	14	-8	19	7	-11	57
57,90	-0,026	-40,109	-41,085	-36,667	0,005	15	-9	21	9	-12	57
60,54	-0,025	-40,010	-40,975	-36,569	0,002	16	-9	21	10	-12	61
63,18	-0,028	-39,913	-40,871	-36,477	0,000	18	-10	23	11	-13	63
65,89	-0,034	-39,812	-40,755	-36,392	0,000	20	-11	24	12	-14	65
68,65	-0,040	-39,719	-40,645	-36,305	0,000	20	-11	25	14	-15	67
72,03	-0,036	-39,589	-40,502	-36,191	0,000	22	-12	27	14	-12	60
74,67	-0,032	-39,493	-40,390	-36,104	0,000	24	-12	28	12	-12	56
77,37	-0,034	-39,393	-40,265	-36,008	0,000	26	-12	29	11	-11	54
79,95	-0,032	-39,286	-40,151	-35,916	0,000	29	-13	30	11	-8	54
82,83	-0,034	-39,184	-40,036	-35,820	0,004	32	-13	32	10	-5	57
85,47	-0,034	-39,061	-39,918	-35,719	0,000	34	-13	34	10	-1	63
88,97	-0,025	-38,936	-39,778	-35,605	0,000	35	-12	36	9	4	68
91,61	-0,028	-38,839	-39,668	-35,511	0,000	37	-12	37	7	10	73
94,38	-0,030	-38,738	-39,562	-35,415	-0,004	40	-10	38	8	21	83
97,14	-0,032	-38,643	-39,454	-35,323	-0,004	41	-8	40	12	40	100
99,90	-0,030	-38,546	-39,340	-35,232	0,000	43	-2	43	19	68	115
102,66	-0,030	-38,445	-39,227	-35,138	-0,004	45	5	48	28	98	127
106,10	-0,032	-38,327	-39,083	-35,019	-0,004	47	15	52	26	133	134
108,80	-0,032	-38,228	-38,971	-34,925	-0,005	46	21	55	27	158	139
111,38	-0,032	-38,126	-38,848	-34,829	-0,004	48	25	57	26	186	145
114,27	-0,026	-38,025	-38,729	-34,733	-0,004	48	30	59	24	216	151
116,97	-0,036	-37,894	-38,608	-34,635	-0,002	48	34	60	22	254	159
119,67	-0,036	-37,786	-38,485	-34,534	-0,004	48	38	59	24	291	168
123,11	-0,036	-37,658	-38,337	-34,405	-0,005	47	42	62	33	355	183
125,87	-0,038	-37,553	-38,218	-34,305	-0,004	44	49	64	36	439	208
128,63	-0,043	-37,450	-38,102	-34,204	-0,112	41	62	70	41	501	231
131,21	-0,038	-37,348	-37,979	-34,101	-0,112	41	81	82	45	542	250
133,98	-0,038	-37,240	-37,862	-34,001	-0,114	46	94	91	54	588	271
136,43	-0,049	-37,126	-37,726	-33,886	-0,114	45	102	94	70	634	292
139,20	-0,051	-37,016	-37,604	-33,783	-0,114	46	111	98	93	695	318
142,39	-0,057	-36,878	-37,453	-33,659	-0,114	47	126	102	112	777	359
145,03	-0,057	-36,768	-37,329	-33,556	-0,114	50	140	110	125	838	394
147,61	-0,055	-36,652	-37,204	-33,454	-0,114	55	160	118	144	931	450
150,12	-0,049	-36,542	-37,077	-33,348	-0,132	71	181	126	168	1038	519
152,64	-0,061	-36,428	-36,952	-33,248	-0,130	78	197	133	192	1128	578
155,22	-0,072	-36,318	-36,829	-33,145	-0,134	87	215	140	217	1214	638
158,35	-0,072	-36,176	-36,670	-33,014	-0,136	97	237	152	259	1316	725
160,87	-0,072	-36,068	-36,547	-32,911	-0,136	106	263	164	297	1385	821
163,39	-0,072	-35,952	-36,421	-32,808	-0,134	116	289	178	324	1467	921
165,91	-0,072	-35,840	-36,297	-32,701	-0,146	123	317	193	350	1532	991
168,24	-0,070	-35,732	-36,169	-32,600	-0,146	129	341	209	371	1595	1055

170,63	-0,072	-35,624	-36,046	-32,499	-0,150	141	369	227	395	1667	1129
173,70	-0,074	-35,478	-35,869	-32,366	-0,157	158	414	269	428	1762	1222
176,04	-0,078	-35,370	-35,746	-32,261	-0,157	171	458	310	452	1837	1292
178,37	-0,096	-35,254	-35,623	-32,154	-0,173	185	492	341	482	1929	1384
180,89	-0,098	-35,139	-35,490	-32,050	-0,173	198	529	371	508	2019	1474
183,16	-0,095	-35,025	-35,360	-31,943	-0,173	207	562	396	532	2110	1560
185,62	-0,091	-34,913	-35,231	-31,831	-0,171	217	607	423	557	2203	1652
188,69	-0,093	-34,771	-35,063	-31,694	-0,180	231	667	461	592	2334	1775
190,90	-0,096	-34,659	-34,927	-31,588	-0,179	241	710	493	632	2457	1897
193,48	-0,096	-34,544	-34,797	-31,476	-0,182	255	757	528	689	2651	2090
195,75	-0,095	-34,432	-34,662	-31,368	-0,184	263	805	567	733	2813	2258
198,08	-0,093	-34,320	-34,532	-31,258	-0,186	269	851	611	775	2979	2434
200,35	-0,159	-34,200	-34,399	-31,144	-0,209	276	902	661	819	3166	2627
202,44	-0,164	-34,088	-34,271	-31,032	-0,204	281	951	716	856	3366	2834
205,20	-0,161	-33,948	-34,109	-30,894	-0,209	286	1014	790	900	3664	3157
207,41	-0,166	-33,831	-33,974	-30,782	-0,207	295	1075	860	972	3942	3561
209,50	-0,159	-33,719	-33,842	-30,663	-0,209	301	1137	928	1017	4229	3952
211,59	-0,161	-33,601	-33,710	-30,547	-0,207	307	1193	995	994	4405	4164
213,43	-0,161	-33,486	-33,572	-30,426	-0,214	315	1257	1072	984	4714	4500
215,46	-0,161	-33,364	-33,434	-30,306	-0,212	323	1315	1146	938	4992	4795
217,85	-0,161	-33,221	-33,264	-30,158	-0,212	329	1376	1232	934	5229	5152
219,82	-0,159	-33,107	-33,133	-30,039	-0,214	337	1429	1311	887	5360	5312
221,97	-0,159	-32,989	-32,997	-29,920	-0,225	346	1502	1412	860	5514	5474
223,87	-0,161	-32,870	-32,859	-29,812	-0,227	364	1589	1549	847	5658	5636
225,77	-0,159	-32,747	-32,727	-29,695	-0,225	386	1703	1735	838	5791	5790
227,68	-0,161	-32,603	-32,582	-29,570	-0,234	408	1824	1941	848	5927	6038
229,89	-0,159	-32,456	-32,408	-29,421	-0,237	437	1984	2227	931	5887	6373
231,79	-0,155	-32,333	-32,272	-29,301	-0,241	450	2106	2438	959	5967	6488
233,45	-0,159	-32,213	-32,134	-29,180	-0,241	449	2206	2617	979	6058	6586
235,17	-0,161	-32,090	-31,998	-29,057	-0,241	455	2295	2796	997	6181	6733
236,89	-0,161	-31,967	-31,854	-28,931	-0,239	467	2388	2978	995	6327	6851
238,67	-0,159	-31,844	-31,718	-28,805	-0,239	480	2483	3158	991	6410	6972
240,63	-0,157	-31,685	-31,528	-28,638	-0,245	506	2631	3448	1168	6278	7496
242,04	-0,161	-31,557	-31,381	-28,489	-0,241	521	2733	3644	1367	6364	8052
243,27	-0,159	-31,426	-31,220	-28,326	-0,243	530	2825	3821	1541	6751	8723
243,83	-0,416	-31,277	-31,027	-28,121	-0,243	536	2909	3977	1752	7428	9617
56,67	-0,030	-32,911	-30,102	-20,339	-0,041	167	1336	1675	310	-1916	-
46,97	-0,055	-32,835	-29,941	-20,163	-0,034	178	1323	1690	226	-1889	-
47,34	-0,059	-32,801	-29,889	-20,096	-0,034	183	1320	1700	198	-1899	-

RESULTADOS EXPERIMENTAIS — VIGA V13_B

CARGA [kN]	LVDT # 2 [mm] apoio	LVDT # 3 [mm] carga	LVDT # 4 [mm] central	LVDT # 5 [mm] carga	LVDT # 6 [mm] apoio	ϵ_{0A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{0B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45B} [$\times 10^{-6}$]
0,00	-0,004	-38,758	-37,608	-35,339	0,005	0	0	1	0	0	0
8,29	-0,006	-38,762	-37,606	-35,342	0,004	1	0	0	0	0	0
8,90	-0,004	-38,743	-37,588	-35,323	0,002	0	0	0	0	-1	0
11,79	-0,002	-38,667	-37,494	-35,241	-0,004	0	0	2	-1	-1	2
14,18	-0,004	-38,590	-37,412	-35,174	0,002	0	0	3	-1	-1	4
16,39	-0,004	-38,518	-37,327	-35,095	-0,002	0	0	4	-1	-1	6
18,91	-0,004	-38,436	-37,235	-35,023	-0,002	0	0	5	-2	-1	7
21,25	-0,006	-38,363	-37,148	-34,950	-0,004	0	-2	7	-2	-1	8
24,01	-0,006	-38,284	-37,056	-34,877	-0,004	0	-2	9	-2	-1	11
26,77	0,000	-38,200	-36,969	-34,802	-0,005	1	-3	11	-2	-2	12
29,66	0,002	-38,118	-36,877	-34,730	-0,007	1	-2	13	-2	-3	15
32,67	-0,008	-38,029	-36,780	-34,650	-0,007	0	-4	15	-2	-3	17
35,74	-0,004	-37,947	-36,680	-34,571	-0,007	1	-4	18	-2	-2	18
38,75	-0,002	-37,861	-36,585	-34,493	-0,009	2	-5	19	-2	-4	21
41,82	0,000	-37,779	-36,486	-34,419	-0,012	3	-5	22	-1	-3	23
45,50	-0,004	-37,663	-36,361	-34,312	-0,012	4	-6	24	0	-4	27
48,57	-0,011	-37,577	-36,256	-34,227	-0,014	3	-6	27	0	-4	28
51,46	-0,011	-37,480	-36,143	-34,135	-0,014	6	-7	29	0	-4	31
54,22	-0,006	-37,381	-36,023	-34,033	-0,016	6	-8	29	2	-5	33

57,04	-0,011	-37,271	-35,898	-33,939	-0,016	7	-9	32	2	-6	35
59,87	-0,013	-37,176	-35,779	-33,845	-0,023	8	-10	34	4	-7	37
62,82	-0,013	-37,083	-35,658	-33,747	-0,021	9	-11	36	5	-8	38
65,76	-0,028	-36,980	-35,522	-33,650	-0,021	10	-11	36	6	-8	40
68,71	-0,025	-36,881	-35,404	-33,559	-0,025	12	-13	38	6	-9	41
71,66	-0,034	-36,786	-35,289	-33,458	-0,027	12	-14	38	7	-10	42
74,60	-0,038	-36,684	-35,166	-33,367	-0,025	13	-15	40	9	-10	44
77,55	-0,034	-36,581	-35,046	-33,270	-0,029	15	-17	41	10	-10	44
80,62	-0,036	-36,475	-34,921	-33,170	-0,027	16	-17	43	11	-11	45
83,51	-0,036	-36,378	-34,804	-33,074	-0,027	17	-18	44	10	-10	45
87,38	-0,038	-36,241	-34,653	-32,948	-0,029	19	-19	46	10	-11	46
90,38	-0,055	-36,128	-34,528	-32,847	-0,029	22	-21	48	10	-12	49
93,33	-0,049	-36,012	-34,405	-32,748	-0,029	24	-21	50	12	-15	53
96,40	-0,055	-35,902	-34,278	-32,652	-0,029	28	-21	54	13	-17	61
99,41	-0,055	-35,794	-34,150	-32,550	-0,027	35	-24	59	15	-17	67
102,48	-0,059	-35,687	-34,025	-32,449	-0,032	41	-26	64	18	-17	73
105,36	-0,057	-35,564	-33,883	-32,337	-0,061	45	-28	68	24	-16	80
108,49	-0,053	-35,447	-33,749	-32,238	-0,062	49	-29	70	30	-13	91
111,50	-0,057	-35,331	-33,616	-32,130	-0,064	52	-29	73	39	-12	101
114,57	-0,053	-35,221	-33,491	-32,027	-0,066	53	-25	78	47	-12	104
117,52	-0,057	-35,113	-33,361	-31,918	-0,064	57	-21	87	52	-12	102
120,59	-0,057	-34,997	-33,238	-31,813	-0,064	59	-14	92	57	-13	101
123,35	-0,051	-34,889	-33,111	-31,703	-0,062	60	-9	96	59	-12	98
126,42	-0,055	-34,779	-32,988	-31,600	-0,066	61	-3	102	61	-12	93
130,11	-0,045	-34,637	-32,828	-31,465	-0,066	61	4	109	60	-12	86
133,12	-0,051	-34,531	-32,697	-31,361	-0,066	58	13	112	58	-13	83
136,00	-0,047	-34,419	-32,572	-31,254	-0,066	54	19	116	57	-14	82
139,01	-0,051	-34,309	-32,442	-31,147	-0,066	49	26	120	56	-14	83
141,96	-0,047	-34,200	-32,313	-31,043	-0,066	44	35	126	56	-16	86
144,72	-0,053	-34,085	-32,192	-30,936	-0,064	36	41	128	55	-17	87
147,67	-0,047	-33,978	-32,063	-30,828	-0,070	28	48	133	49	-10	96
150,43	-0,045	-33,866	-31,935	-30,718	-0,068	20	53	138	43	-4	102
153,32	-0,051	-33,754	-31,804	-30,613	-0,068	12	59	142	38	2	106
156,08	-0,047	-33,646	-31,675	-30,503	-0,070	7	63	147	34	6	111
159,15	-0,055	-33,534	-31,545	-30,394	-0,070	1	69	152	30	10	116
161,79	-0,049	-33,424	-31,416	-30,283	-0,071	-4	74	159	24	18	122
164,62	-0,057	-33,309	-31,280	-30,176	-0,071	-10	78	167	15	24	127
167,44	-0,051	-33,193	-31,137	-30,061	-0,073	-12	82	175	3	29	130
170,33	-0,053	-33,073	-30,997	-29,951	-0,070	-14	87	183	-7	33	136
173,58	-0,085	-32,932	-30,836	-29,808	-0,068	-17	91	193	-17	38	147
176,22	-0,089	-32,810	-30,702	-29,697	-0,070	-19	96	204	-24	43	155
179,11	-0,083	-32,698	-30,572	-29,585	-0,068	-20	99	212	-29	46	179
181,81	-0,089	-32,579	-30,443	-29,475	-0,070	-21	104	220	-33	49	197
184,51	-0,091	-32,458	-30,311	-29,364	-0,071	-23	110	230	-38	51	215
187,15	-0,085	-32,338	-30,182	-29,249	-0,071	-22	117	241	-41	54	234
189,85	-0,089	-32,219	-30,046	-29,141	-0,073	-17	129	253	-45	56	251
192,49	-0,085	-32,101	-29,917	-29,031	-0,171	-2	151	273	-49	58	263
195,07	-0,091	-31,986	-29,789	-28,913	-0,168	14	175	292	-53	59	274
197,65	-0,083	-31,868	-29,658	-28,798	-0,186	29	212	313	-56	62	290
200,29	-0,089	-31,754	-29,529	-28,688	-0,187	48	253	337	-61	64	306
202,87	-0,085	-31,639	-29,401	-28,578	-0,187	72	308	368	-65	65	322
205,33	-0,159	-31,525	-29,268	-28,461	-0,189	103	387	413	-67	69	340
207,84	-0,157	-31,402	-29,136	-28,350	-0,191	175	496	479	-70	70	355
210,91	-0,183	-31,256	-28,974	-28,210	-0,193	268	642	587	-73	72	375
213,25	-0,180	-31,135	-28,849	-28,102	-0,193	357	777	704	-76	72	389
215,76	-0,183	-31,017	-28,715	-27,992	-0,195	445	919	840	-77	75	402
218,10	-0,181	-30,894	-28,586	-27,878	-0,193	518	1034	956	-79	79	414
220,49	-0,187	-30,780	-28,457	-27,766	-0,220	581	1144	1063	-80	79	428
222,83	-0,181	-30,665	-28,325	-27,656	-0,220	630	1237	1156	-81	81	442
225,04	-0,185	-30,551	-28,196	-27,544	-0,227	671	1320	1239	-81	81	458
227,37	-0,180	-30,435	-28,069	-27,427	-0,229	704	1397	1319	-81	83	477
229,52	-0,187	-30,318	-27,935	-27,311	-0,232	735	1472	1400	-83	85	495
231,73	-0,180	-30,202	-27,807	-27,201	-0,234	766	1553	1489	-84	88	515
233,76	-0,187	-30,092	-27,674	-27,095	-0,234	793	1633	1579	-85	91	541
235,78	-0,180	-29,980	-27,551	-26,985	-0,234	804	1698	1671	-86	91	582
237,69	-0,185	-29,862	-27,417	-26,868	-0,230	813	1745	1788	-88	93	611
239,65	-0,180	-29,734	-27,286	-26,759	-0,236	823	1791	1905	-87	95	641
241,86	-0,185	-29,594	-27,135	-26,624	-0,254	846	1868	2068	-87	97	719
243,70	-0,187	-29,482	-27,012	-26,519	-0,255	864	1933	2236	-88	100	787
245,11	-0,302	-29,368	-26,886	-26,406	-0,257	891	1995	2775	-87	98	810

246,53	-0,302	-29,243	-26,761	-26,303	-0,255	911	2044	3146	-88	101	840
248,00	-0,301	-29,133	-26,639	-26,194	-0,254	918	2073	3379	-90	103	877
248,55	-0,304	-29,032	-26,539	-26,091	-0,257	918	2153	3718	-97	98	904
249,04	-0,299	-28,928	-26,432	-25,987	-0,254	905	2271	3960	-104	92	924
249,17	-0,308	-28,829	-26,319	-25,859	-0,257	876	2399	4095	-118	84	953
249,17	-0,308	-28,721	-26,211	-25,736	-0,259	838	2477	4160	-132	67	953
248,43	-0,310	-28,637	-26,112	-25,615	-0,257	813	2521	4217	-146	72	910
249,35	-0,306	-28,543	-26,002	-25,502	-0,257	795	2568	4307	-150	80	900
250,70	-0,314	-28,431	-25,892	-25,393	-0,261	781	2609	4393	-154	83	889
251,19	-0,304	-28,303	-25,744	-25,235	-0,273	769	2625	4448	-174	64	684
44,33	-0,055	-31,512	-24,296	-20,975	-0,021	270	1090	1978	-23	23	228
45,56	-0,053	-31,473	-24,238	-20,897	-0,023	273	1096	1996	-24	21	220

RESULTADOS EXPERIMENTAIS — VIGA V14_A

CARGA [kN]	LVDT # 2 [mm] apoio	LVDT # 3 [mm] carga	LVDT # 4 [mm] central	LVDT # 5 [mm] carga	LVDT # 6 [mm] apoio	ϵ_{0A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{0B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45B} [$\times 10^{-6}$]
0,00	0,017	-39,525	-42,301	-41,476	-0,005	0	0	0	0	1	1
9,82	0,013	-39,451	-42,227	-41,412	-0,009	0	0	0	0	0	1
12,89	0,013	-39,303	-42,076	-41,284	-0,009	-1	0	0	0	0	5
15,11	0,011	-39,217	-41,982	-41,210	-0,011	-2	0	1	0	0	8
18,18	0,013	-39,118	-41,874	-41,130	-0,011	0	-1	1	0	0	11
21,43	0,013	-39,025	-41,775	-41,052	-0,014	0	-2	2	2	0	13
24,19	0,006	-38,956	-41,697	-40,991	-0,014	0	-2	3	2	0	17
28,06	0,011	-38,863	-41,593	-40,910	-0,021	1	-2	3	4	-1	21
31,56	0,009	-38,773	-41,488	-40,830	-0,021	1	-4	4	4	-1	26
34,69	-0,004	-38,699	-41,401	-40,766	-0,027	2	-4	5	5	-1	29
38,38	-0,002	-38,602	-41,291	-40,679	-0,027	2	-4	5	6	-1	34
42,31	-0,002	-38,497	-41,177	-40,592	-0,030	3	-4	7	7	-1	37
45,25	-0,004	-38,415	-41,084	-40,519	-0,032	4	-5	7	8	-3	40
48,75	-0,004	-38,309	-40,961	-40,420	-0,032	5	-5	8	10	-3	46
51,70	-0,002	-38,219	-40,860	-40,349	-0,037	6	-7	8	12	-4	48
55,08	-0,004	-38,111	-40,731	-40,249	-0,039	7	-7	10	13	-4	52
58,64	0,000	-37,995	-40,599	-40,150	-0,045	9	-9	10	15	-6	57
61,28	0,002	-37,904	-40,491	-40,059	-0,048	10	-10	11	17	-6	60
64,53	-0,002	-37,794	-40,362	-39,967	-0,050	10	-11	12	18	-8	63
67,91	-0,021	-37,680	-40,230	-39,866	-0,061	12	-12	13	21	-9	67
70,67	-0,017	-37,585	-40,127	-39,786	-0,064	13	-12	13	23	-9	71
73,99	-0,021	-37,465	-39,982	-39,675	-0,064	14	-13	13	24	-10	76
77,43	-0,019	-37,340	-39,836	-39,560	-0,066	14	-13	14	28	-11	82
80,13	-0,023	-37,243	-39,728	-39,475	-0,070	16	-14	15	30	-12	86
83,51	-0,019	-37,120	-39,590	-39,368	-0,073	18	-16	15	35	-12	90
86,95	-0,017	-36,990	-39,448	-39,262	-0,079	20	-18	15	39	-13	96
89,71	-0,013	-36,887	-39,340	-39,171	-0,082	23	-20	16	42	-12	100
93,15	-0,017	-36,758	-39,199	-39,049	-0,087	25	-22	17	47	-13	105
95,85	-0,013	-36,661	-39,089	-38,970	-0,089	28	-22	18	49	-12	110
99,35	-0,017	-36,531	-38,951	-38,866	-0,095	32	-23	19	50	-10	118
102,60	-0,013	-36,406	-38,813	-38,757	-0,095	36	-28	24	51	-2	129
105,42	-0,011	-36,303	-38,703	-38,672	-0,095	41	-31	30	50	3	140
108,92	-0,011	-36,178	-38,550	-38,560	-0,095	46	-32	38	50	14	159
112,36	-0,008	-36,042	-38,404	-38,439	-0,091	58	-32	49	53	31	184
115,13	-0,011	-35,943	-38,291	-38,356	-0,096	68	-32	57	53	40	202
118,56	-0,011	-35,816	-38,147	-38,242	-0,095	76	-31	64	54	48	228
122,00	-0,011	-35,687	-38,007	-38,130	-0,095	83	-30	68	54	59	254
124,64	-0,009	-35,588	-37,893	-38,043	-0,095	86	-30	72	51	70	277
127,96	-0,008	-35,463	-37,757	-37,937	-0,095	89	-31	77	53	85	305
130,66	-0,008	-35,365	-37,645	-37,850	-0,091	91	-31	79	58	98	325
133,85	-0,013	-35,241	-37,502	-37,734	-0,093	93	-30	84	64	109	353
137,29	-0,015	-35,113	-37,362	-37,621	-0,095	94	-29	88	75	124	390
139,93	-0,015	-35,012	-37,254	-37,532	-0,091	94	-26	91	93	138	426

143,12	-0,013	-34,885	-37,116	-37,424	-0,093	94	-21	96	113	157	467
146,44	-0,019	-34,758	-36,980	-37,301	-0,095	94	-15	98	133	176	507
149,02	-0,015	-34,659	-36,868	-37,212	-0,096	94	-11	101	151	193	543
152,21	-0,028	-34,532	-36,723	-37,100	-0,093	94	-5	105	171	221	592
155,47	-0,030	-34,407	-36,579	-36,992	-0,095	94	-1	110	189	254	641
157,98	-0,030	-34,299	-36,462	-36,905	-0,093	95	3	116	200	280	681
161,05	-0,034	-34,165	-36,325	-36,791	-0,105	96	8	125	212	314	732
164,31	-0,034	-34,003	-36,176	-36,662	-0,105	96	13	134	222	346	789
166,64	-0,036	-33,900	-36,066	-36,571	-0,098	98	14	144	229	374	835
169,77	-0,036	-33,773	-35,919	-36,456	-0,105	102	15	159	235	410	894
172,29	-0,036	-33,667	-35,807	-36,370	-0,105	102	18	173	239	438	942
175,42	-0,038	-33,531	-35,654	-36,239	-0,104	103	21	193	244	476	1003
178,55	-0,047	-33,387	-35,498	-36,099	-0,104	107	26	213	250	523	1070
181,13	-0,047	-33,277	-35,376	-36,001	-0,105	109	29	228	257	563	1127
184,08	-0,049	-33,129	-35,237	-35,882	-0,107	112	35	247	265	616	1208
187,15	-0,059	-32,993	-35,084	-35,761	-0,105	117	41	268	276	675	1296
189,61	-0,057	-32,891	-34,961	-35,662	-0,105	120	47	285	287	727	1372
192,55	-0,051	-32,762	-34,813	-35,534	-0,105	127	54	321	302	792	1469
195,69	-0,051	-32,633	-34,655	-35,403	-0,105	134	62	369	319	863	1572
198,26	-0,070	-32,523	-34,530	-35,303	-0,223	142	72	431	333	921	1654
201,15	-0,072	-32,389	-34,384	-35,182	-0,223	150	83	477	355	990	1749
203,42	-0,072	-32,277	-34,258	-35,065	-0,221	158	91	515	369	1044	1819
206,31	-0,072	-32,142	-34,105	-34,936	-0,223	168	103	565	386	1117	1910
209,26	-0,072	-32,001	-33,950	-34,809	-0,223	180	115	625	409	1206	2010
211,47	-0,077	-31,894	-33,823	-34,699	-0,225	190	126	675	432	1287	2093
214,35	-0,076	-31,764	-33,670	-34,573	-0,225	204	141	742	445	1404	2168
217,05	-0,077	-31,635	-33,519	-34,452	-0,225	224	154	799	461	1598	2309
219,33	-0,083	-31,523	-33,394	-34,351	-0,227	236	165	841	480	1720	2407
222,03	-0,072	-31,383	-33,238	-34,223	-0,223	247	181	886	506	1893	2541
224,79	-0,070	-31,239	-33,079	-34,092	-0,221	256	199	927	536	2063	2677
227,00	-0,072	-31,124	-32,954	-33,978	-0,221	264	216	964	554	2206	2789
229,70	-0,074	-30,989	-32,798	-33,842	-0,220	274	239	1013	569	2408	2964
232,34	-0,077	-30,848	-32,637	-33,705	-0,223	283	268	1060	578	2683	3178
234,19	-0,077	-30,741	-32,507	-33,589	-0,227	292	296	1102	576	2946	3393
236,70	-0,155	-30,607	-32,348	-33,454	-0,225	303	325	1151	541	3073	3501
238,79	-0,159	-30,497	-32,224	-33,343	-0,225	314	351	1194	535	3176	3591
241,25	-0,161	-30,363	-32,069	-33,211	-0,223	332	389	1258	527	3304	3690
243,83	-0,159	-30,232	-31,908	-33,065	-0,225	350	433	1328	523	3431	3799
245,79	-0,161	-30,126	-31,784	-32,962	-0,225	362	465	1377	529	3525	3891
248,31	-0,164	-29,980	-31,621	-32,828	-0,287	375	504	1432	544	3632	3992
250,64	-0,166	-29,831	-31,459	-32,678	-0,289	437	543	1512	566	3763	4097
252,67	-0,163	-29,721	-31,325	-32,565	-0,287	468	581	1578	581	3867	4179
254,88	-0,164	-29,583	-31,159	-32,415	-0,282	495	634	1656	602	3985	4275
255,61	-0,159	-29,430	-30,959	-32,197	-0,286	510	676	1719	630	3458	3924
255,25	-0,164	-29,299	-30,777	-31,973	-0,287	521	707	1763	656	2962	3516
255,00	-0,181	-29,118	-30,529	-31,668	-0,282	533	752	1824	730	2946	3421
255,61	-0,183	-28,980	-30,342	-31,458	-0,284	542	785	1873	767	3016	3367
256,23	-0,185	-28,803	-30,105	-31,172	-0,282	553	828	1937	755	3113	3196
256,54	-0,189	-28,614	-29,850	-30,876	-0,287	563	872	2003	879	3197	3170
253,83	-0,185	-28,459	-29,604	-30,560	-0,282	572	909	2061	1071	2881	3063
251,56	-0,189	-28,288	-29,324	-30,192	-0,282	586	951	2120	1159	2676	2959
244,68	-0,191	-28,073	-28,936	-29,604	-0,300	600	993	2185	873	1603	2231
232,10	-0,189	-27,883	-28,517	-28,913	-0,291	605	1026	2224	1012	2127	2171
43,72	-0,006	-29,639	-27,566	-22,088	-0,025	278	538	977	2065	-	-
44,33	-0,006	-29,599	-27,501	-22,000	-0,027	278	532	984	2030	-	-
44,27	-0,006	-29,594	-27,499	-21,996	-0,025	277	529	985	2009	-	-
44,33	-0,008	-29,594	-27,495	-21,984	-0,023	277	526	985	1999	-	-
44,46	-0,006	-29,596	-27,491	-21,978	-0,025	276	523	985	1988	-	-

RESULTADOS EXPERIMENTAIS — VIGA V14_B

CARGA [kN]	LVDT # 2 [mm] apoio	LVDT # 3 [mm] carga	LVDT # 4 [mm] central	LVDT # 5 [mm] carga	LVDT # 6 [mm] apoio	ϵ_{0A} [x10 ⁻⁶]	ϵ_{90A} [x10 ⁻⁶]	ϵ_{45A} [x10 ⁻⁶]	ϵ_{0B} [x10 ⁻⁶]	ϵ_{90B} [x10 ⁻⁶]	ϵ_{45B} [x10 ⁻⁶]
0,00	-0,002	-41,585	-44,466	-41,780	0,002	-1	0	0	0	0	0
10,62	-0,004	-41,551	-44,430	-41,750	0,002	-2	-2	2	-1	-1	0
12,89	-0,004	-41,469	-44,343	-41,682	-0,004	-2	-2	3	-1	-1	0
14,74	-0,004	-41,387	-44,257	-41,615	-0,005	-3	-2	6	-2	0	0
16,58	-0,004	-41,320	-44,184	-41,554	-0,005	-3	-3	9	-2	0	0
18,85	-0,004	-41,243	-44,095	-41,480	-0,009	-3	-3	10	-3	-1	0
20,63	-0,002	-41,189	-44,041	-41,435	-0,005	-5	-4	12	-3	-1	0
22,60	-0,002	-41,135	-43,981	-41,389	-0,009	-4	-4	14	-3	-2	0
24,75	-0,002	-41,089	-43,923	-41,343	-0,012	-5	-4	17	-5	-1	1
26,71	-0,004	-41,033	-43,862	-41,292	-0,012	-5	-4	19	-4	-1	1
29,41	-0,002	-40,971	-43,782	-41,233	-0,016	-5	-4	22	-5	-2	2
31,44	-0,002	-40,921	-43,720	-41,180	-0,016	-6	-5	24	-6	-1	2
33,46	-0,002	-40,865	-43,660	-41,128	-0,018	-7	-6	26	-6	-1	1
35,61	-0,002	-40,811	-43,597	-41,086	-0,018	-7	-6	29	-5	-3	3
38,25	-0,002	-40,736	-43,511	-41,018	-0,020	-7	-7	33	-6	-3	2
40,40	-0,002	-40,673	-43,440	-40,970	-0,021	-8	-7	34	-6	-2	2
42,43	-0,002	-40,615	-43,371	-40,917	-0,027	-8	-8	36	-7	-2	3
44,46	-0,002	-40,555	-43,308	-40,869	-0,027	-8	-8	39	-7	-3	3
46,48	0,002	-40,495	-43,237	-40,816	-0,030	-9	-9	41	-8	-3	2
49,00	-0,004	-40,404	-43,138	-40,745	-0,032	-10	-10	43	-7	-3	3
51,09	-0,002	-40,339	-43,067	-40,690	-0,032	-10	-12	46	-7	-3	2
52,87	0,002	-40,273	-42,991	-40,636	-0,029	-10	-12	48	-7	-2	2
54,77	-0,002	-40,208	-42,909	-40,579	-0,036	-10	-13	49	-7	-3	2
57,23	0,000	-40,118	-42,806	-40,505	-0,036	-11	-13	50	-7	-4	0
59,13	-0,004	-40,049	-42,728	-40,444	-0,034	-12	-14	52	-8	-3	0
61,10	-0,004	-39,977	-42,646	-40,388	-0,034	-12	-15	52	-8	-3	-1
62,88	-0,002	-39,906	-42,558	-40,327	-0,037	-13	-15	54	-8	-4	-1
64,84	-0,004	-39,831	-42,478	-40,272	-0,037	-14	-16	54	-8	-4	-1
67,24	-0,002	-39,734	-42,370	-40,192	-0,036	-15	-16	54	-9	-4	-3
69,32	-0,002	-39,661	-42,284	-40,134	-0,036	-17	-15	54	-9	-4	-4
71,10	-0,002	-39,594	-42,204	-40,077	-0,039	-17	-15	55	-10	-5	-4
73,01	-0,002	-39,527	-42,120	-40,020	-0,039	-17	-16	56	-10	-4	-7
75,59	0,000	-39,432	-42,008	-39,942	-0,037	-17	-23	63	-9	-4	-7
77,49	0,000	-39,359	-41,928	-39,883	-0,037	-13	-26	59	-9	-4	-9
79,39	-0,004	-39,281	-41,833	-39,819	-0,041	-9	-27	52	-9	-4	-9
81,24	0,000	-39,208	-41,751	-39,757	-0,043	-5	-29	49	-9	-5	-11
83,26	-0,123	-39,124	-41,663	-39,699	-0,041	-4	-29	43	-10	-5	-11
85,72	-0,125	-39,012	-41,548	-39,601	-0,043	-2	-29	40	-9	-5	-12
87,62	-0,119	-38,941	-41,466	-39,544	-0,039	-2	-28	37	-8	-5	-13
89,77	-0,121	-38,870	-41,388	-39,485	-0,046	-1	-29	35	-8	-6	-14
91,55	-0,121	-38,786	-41,292	-39,400	-0,054	0	-32	33	-8	-7	-15
94,31	-0,119	-38,693	-41,181	-39,317	-0,054	0	-31	31	-9	-6	-14
96,16	-0,121	-38,626	-41,106	-39,260	-0,057	1	-31	30	-7	-8	-14
98,18	-0,117	-38,553	-41,026	-39,200	-0,055	1	-31	28	-7	-9	-14
100,08	-0,119	-38,477	-40,940	-39,130	-0,055	1	-29	27	-6	-10	-14
102,05	-0,119	-38,404	-40,858	-39,070	-0,057	2	-26	27	-5	-10	-13
104,56	-0,119	-38,312	-40,750	-38,981	-0,057	4	-19	30	-3	-10	-9
106,41	-0,121	-38,234	-40,666	-38,914	-0,054	3	-13	33	-1	-8	-5
108,37	-0,115	-38,161	-40,582	-38,848	-0,055	3	-5	35	-1	-6	0
110,27	-0,121	-38,090	-40,504	-38,784	-0,057	3	1	37	0	-6	3
112,98	-0,121	-37,984	-40,388	-38,695	-0,057	1	12	41	2	-5	10
114,76	-0,121	-37,911	-40,306	-38,633	-0,057	-1	18	43	2	-1	21
116,66	-0,119	-37,837	-40,230	-38,567	-0,057	-3	23	43	4	0	30
118,56	-0,121	-37,764	-40,142	-38,496	-0,057	-8	29	41	5	4	41
120,34	-0,119	-37,689	-40,056	-38,427	-0,055	-16	32	38	8	11	58
122,86	-0,123	-37,592	-39,948	-38,335	-0,055	-26	36	34	12	18	80
124,70	-0,121	-37,516	-39,862	-38,264	-0,057	-33	39	31	14	23	97
126,48	-0,121	-37,443	-39,775	-38,194	-0,057	-39	41	30	16	29	111
128,39	-0,121	-37,357	-39,691	-38,127	-0,059	-44	43	30	17	35	125
130,17	-0,121	-37,281	-39,601	-38,061	-0,059	-49	47	30	19	39	141
132,50	-0,123	-37,178	-39,488	-37,962	-0,057	-55	50	29	22	46	166
134,41	-0,123	-37,094	-39,400	-37,891	-0,059	-60	53	29	25	51	186

136,19	-0,125	-37,016	-39,324	-37,827	-0,061	-62	54	30	25	59	207
137,84	-0,123	-36,941	-39,236	-37,749	-0,061	-66	56	31	29	64	228
140,18	-0,168	-36,837	-39,115	-37,649	-0,062	-71	59	33	30	75	253
141,84	-0,168	-36,760	-39,031	-37,578	-0,127	-74	62	34	32	85	278
143,68	-0,165	-36,684	-38,943	-37,504	-0,132	-76	65	34	35	99	306
145,21	-0,166	-36,609	-38,859	-37,431	-0,129	-79	66	35	37	114	332
146,99	-0,165	-36,531	-38,774	-37,360	-0,130	-82	70	36	35	124	345
149,08	-0,166	-36,426	-38,656	-37,257	-0,132	-86	73	36	25	131	339
150,68	-0,166	-36,344	-38,568	-37,186	-0,130	-87	75	37	19	136	330
152,34	-0,170	-36,268	-38,483	-37,109	-0,130	-90	77	37	14	139	321
153,93	-0,165	-36,195	-38,395	-37,031	-0,130	-92	79	38	10	142	316
155,96	-0,165	-36,092	-38,285	-36,937	-0,129	-95	82	41	5	148	312
157,68	-0,166	-36,018	-38,199	-36,862	-0,129	-93	82	45	1	154	308
159,34	-0,170	-35,941	-38,112	-36,791	-0,132	-91	86	48	-2	160	308
160,99	-0,170	-35,863	-38,030	-36,722	-0,132	-91	89	50	-4	169	309
162,71	-0,168	-35,775	-37,940	-36,644	-0,134	-90	93	52	-7	177	312
164,74	-0,168	-35,680	-37,824	-36,546	-0,134	-87	98	52	-9	187	317
166,46	-0,168	-35,602	-37,739	-36,470	-0,136	-86	101	52	-11	194	321
167,99	-0,170	-35,519	-37,651	-36,395	-0,139	-86	105	53	-13	203	326
169,47	-0,170	-35,441	-37,562	-36,319	-0,137	-85	109	53	-14	211	330
171,62	-0,176	-35,338	-37,446	-36,212	-0,148	-82	113	53	-17	221	332
173,27	-0,176	-35,260	-37,357	-36,134	-0,150	-81	116	52	-20	228	332
174,62	-0,174	-35,184	-37,267	-36,053	-0,148	-80	116	51	-23	234	328
176,16	-0,178	-35,098	-37,170	-35,967	-0,152	-79	114	51	-24	238	326
177,39	-0,176	-35,016	-37,079	-35,882	-0,150	-78	112	51	-24	240	322
179,17	-0,180	-34,904	-36,948	-35,763	-0,152	-80	108	50	-25	244	315
180,03	-0,180	-34,816	-36,846	-35,657	-0,154	-86	99	48	-26	245	305
179,66	-0,180	-34,734	-36,719	-35,504	-0,157	-85	90	44	-22	243	304
179,48	-0,180	-34,643	-36,594	-35,360	-0,161	-85	83	41	-22	246	308
181,13	-0,178	-34,529	-36,454	-35,207	-0,161	-84	76	39	-26	250	307
182,24	-0,178	-34,439	-36,340	-35,092	-0,166	-84	72	37	-30	255	304
183,34	-0,180	-34,348	-36,227	-34,985	-0,164	-94	68	35	-36	259	285
147,48	-0,178	-33,997	-35,268	-33,296	-0,155	-74	62	1	-2406	208	295
146,87	-0,174	-33,891	-35,093	-33,067	-0,152	-74	60	1	-3453	94	247
147,67	-0,170	-33,777	-34,895	-32,828	-0,152	-73	58	0	-3574	-18	222
146,99	-0,172	-33,706	-34,778	-32,636	-0,150	-73	53	-5	-	-1081	135
102,35	-0,147	-34,111	-34,670	-31,494	-0,096	-69	53	-19	-	-	118
98,55	-0,146	-34,103	-34,605	-31,318	-0,093	-68	52	-20	-	-	142
96,34	-0,146	-34,118	-34,593	-31,247	-0,093	-67	52	-20	-	-	146

RESULTADOS EXPERIMENTAIS — VIGA V15_A

CARGA [kN]	LVDT # 2 [mm] apoio	LVDT # 3 [mm] carga	LVDT # 4 [mm] central	LVDT # 5 [mm] carga	LVDT # 6 [mm] apoio	ϵ_{0A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{0B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45B} [$\times 10^{-6}$]
0,00	-0,004	-29,663	-36,570	-28,159	0,004	1	0	0	0	0	0
9,58	-0,004	-29,594	-36,501	-28,100	-0,002	0	0	0	0	0	1
12,53	-0,006	-29,463	-36,363	-27,993	-0,002	-1	0	1	-2	0	6
15,53	-0,006	-29,342	-36,228	-27,885	-0,004	-1	0	1	-3	0	9
18,73	-0,006	-29,219	-36,098	-27,773	0,002	-1	0	1	-4	0	12
21,80	-0,006	-29,112	-35,975	-27,672	-0,004	-1	-1	2	-5	0	16
24,56	-0,008	-29,014	-35,861	-27,578	-0,004	-3	-1	4	-5	0	20
27,39	-0,009	-28,913	-35,747	-27,480	-0,002	-2	-2	3	-6	0	23
30,21	-0,011	-28,810	-35,634	-27,390	0,002	-3	-2	3	-7	0	28
32,48	-0,015	-28,732	-35,544	-27,319	-0,002	-3	-1	4	-8	0	31
35,49	-0,015	-28,633	-35,429	-27,221	-0,005	-3	-2	5	-8	0	35
38,32	-0,019	-28,527	-35,315	-27,129	-0,002	-2	-3	6	-9	0	38
41,20	-0,028	-28,420	-35,196	-27,027	-0,002	-2	-3	6	-9	0	43
44,09	-0,030	-28,312	-35,071	-26,931	-0,002	-1	-2	7	-9	-1	47
46,91	-0,026	-28,206	-34,955	-26,832	0,000	0	-3	8	-9	-1	50
49,74	-0,023	-28,094	-34,826	-26,725	0,000	0	-4	8	-9	-1	55

52,38	-0,026	-27,984	-34,696	-26,630	-0,002	0	-5	9	-11	-2	59
54,40	-0,025	-27,903	-34,605	-26,576	0,000	0	-5	10	-11	-1	61
56,98	-0,023	-27,788	-34,480	-26,475	-0,002	1	-5	11	-10	-2	66
59,87	-0,025	-27,674	-34,343	-26,374	0,000	1	-5	11	-9	-3	71
62,63	-0,030	-27,560	-34,213	-26,271	-0,005	2	-6	12	-9	-3	74
65,39	-0,036	-27,450	-34,084	-26,173	-0,002	3	-5	13	-7	-5	78
68,22	-0,038	-27,342	-33,961	-26,081	-0,020	4	-5	14	-6	-5	80
71,04	-0,038	-27,228	-33,834	-25,988	-0,020	5	-6	14	-5	-5	84
73,68	-0,036	-27,118	-33,708	-25,889	-0,018	5	-7	16	-6	-5	87
76,45	-0,038	-27,010	-33,585	-25,793	-0,021	8	-7	17	-6	-5	92
78,60	-0,036	-26,933	-33,490	-25,726	-0,020	9	-7	17	-5	-5	96
81,30	-0,038	-26,821	-33,365	-25,631	-0,020	11	-8	18	-3	-5	102
84,06	-0,034	-26,713	-33,242	-25,536	-0,020	12	-9	16	-1	-5	106
86,95	-0,036	-26,605	-33,111	-25,440	-0,021	13	-9	18	0	-5	110
89,71	-0,038	-26,499	-32,990	-25,344	-0,020	15	-11	16	4	-1	119
92,60	-0,032	-26,390	-32,861	-25,250	-0,018	16	-13	17	7	5	127
95,42	-0,038	-26,284	-32,740	-25,156	-0,020	18	-14	18	11	19	142
98,18	-0,038	-26,174	-32,617	-25,056	-0,020	21	-16	19	20	72	204
100,33	-0,040	-26,094	-32,522	-24,987	-0,020	24	-18	20	24	101	236
103,09	-0,042	-25,982	-32,393	-24,889	-0,018	28	-19	23	30	154	288
105,98	-0,042	-25,877	-32,276	-24,793	-0,075	32	-21	26	33	190	323
108,80	-0,040	-25,767	-32,147	-24,696	-0,075	35	-21	28	47	231	370
111,50	-0,038	-25,659	-32,018	-24,605	-0,073	37	-20	30	108	302	483
114,39	-0,038	-25,547	-31,897	-24,504	-0,075	39	-14	35	147	360	578
117,15	-0,070	-25,439	-31,774	-24,408	-0,075	40	-10	40	174	393	664
119,79	-0,072	-25,329	-31,649	-24,307	-0,073	41	-5	47	206	450	779
121,94	-0,074	-25,250	-31,556	-24,234	-0,073	42	-2	49	229	525	954
124,58	-0,074	-25,140	-31,429	-24,134	-0,075	43	0	53	265	650	1201
127,34	-0,076	-25,030	-31,306	-24,037	-0,075	44	2	56	267	789	1483
130,11	-0,076	-24,918	-31,179	-23,935	-0,073	45	4	60	274	862	1640
132,69	-0,076	-24,810	-31,055	-23,836	-0,073	45	8	64	294	954	1810
135,57	-0,078	-24,694	-30,930	-23,737	-0,116	46	10	70	315	1054	1959
138,15	-0,074	-24,586	-30,810	-23,635	-0,114	46	15	76	335	1152	2098
140,91	-0,078	-24,478	-30,683	-23,536	-0,118	47	19	82	356	1257	2235
143,68	-0,076	-24,362	-30,555	-23,435	-0,113	49	21	85	387	1356	2355
145,64	-0,081	-24,280	-30,463	-23,360	-0,114	51	23	88	406	1424	2439
148,28	-0,091	-24,172	-30,337	-23,261	-0,114	51	27	94	428	1511	2548
150,98	-0,089	-24,060	-30,215	-23,163	-0,114	53	31	99	453	1603	2660
153,62	-0,093	-23,948	-30,087	-23,058	-0,111	53	32	104	469	1691	2766
156,20	-0,106	-23,834	-29,964	-22,959	-0,113	52	34	110	515	1783	2872
158,78	-0,108	-23,730	-29,843	-22,859	-0,116	51	36	115	566	1868	2976
161,30	-0,104	-23,618	-29,714	-22,758	-0,113	50	38	119	596	1952	3075
164,00	-0,104	-23,508	-29,589	-22,660	-0,113	50	42	124	627	2033	3181
165,84	-0,113	-23,424	-29,496	-22,582	-0,111	49	44	129	645	2077	3253
168,12	-0,112	-23,316	-29,378	-22,481	-0,111	51	48	138	665	2148	3341
170,82	-0,113	-23,206	-29,255	-22,382	-0,111	52	55	146	690	2220	3427
173,27	-0,110	-23,094	-29,132	-22,287	-0,113	49	64	153	714	2294	3509
175,67	-0,110	-22,985	-29,007	-22,184	-0,109	44	73	159	742	2375	3590
178,19	-0,112	-22,875	-28,882	-22,076	-0,113	40	79	163	769	2454	3662
180,70	-0,112	-22,758	-28,752	-21,968	-0,114	36	85	166	755	2484	3672
183,28	-0,168	-22,640	-28,619	-21,863	-0,202	35	92	171	740	2476	3650
185,12	-0,166	-22,551	-28,524	-21,783	-0,204	35	99	177	742	2517	3690
187,58	-0,166	-22,437	-28,394	-21,668	-0,200	35	107	184	746	2578	3739
190,10	-0,163	-22,321	-28,267	-21,565	-0,202	35	115	191	750	2639	3787
192,62	-0,165	-22,206	-28,140	-21,456	-0,202	37	123	200	751	2712	3838
194,95	-0,168	-22,092	-28,006	-21,348	-0,202	39	134	211	753	2796	3898
197,40	-0,163	-21,978	-27,883	-21,243	-0,204	43	145	221	754	2883	3949
199,80	-0,166	-21,862	-27,754	-21,137	-0,202	47	157	232	754	2971	4009
202,07	-0,163	-21,747	-27,629	-21,025	-0,202	49	169	242	755	3068	4056
204,34	-0,165	-21,631	-27,506	-20,922	-0,200	53	181	251	756	3162	4097
206,12	-0,163	-21,539	-27,408	-20,833	-0,211	54	190	259	757	3241	4142
208,52	-0,166	-21,429	-27,281	-20,735	-0,213	60	203	271	757	3346	4199
210,85	-0,163	-21,312	-27,148	-20,618	-0,209	70	217	283	756	3456	4261
213,25	-0,163	-21,194	-27,018	-20,504	-0,211	83	231	295	753	3564	4318
215,52	-0,166	-21,084	-26,887	-20,392	-0,211	93	250	312	747	3686	4379
217,79	-0,163	-20,967	-26,755	-20,279	-0,213	105	271	330	741	3812	4442
220,06	-0,163	-20,847	-26,623	-20,167	-0,216	117	298	352	729	3960	4518
222,21	-0,161	-20,724	-26,492	-20,044	-0,214	132	326	376	711	4152	4601
223,93	-0,155	-20,635	-26,391	-19,954	-0,213	143	353	397	696	4282	4648
226,08	-0,157	-20,515	-26,252	-19,833	-0,214	158	390	429	678	4462	4720

228,23	-0,155	-20,390	-26,115	-19,707	-0,216	174	428	465	655	4638	4789
230,32	-0,157	-20,269	-25,983	-19,590	-0,214	191	469	505	626	4824	4866
232,40	-0,159	-20,148	-25,841	-19,464	-0,218	206	516	549	588	5024	4934
234,37	-0,155	-20,021	-25,698	-19,338	-0,218	224	568	603	543	5249	4985
236,21	-0,157	-19,899	-25,564	-19,206	-0,300	246	628	670	497	5491	5062
238,30	-0,157	-19,774	-25,418	-19,073	-0,302	265	687	737	448	5763	5157
239,65	-0,157	-19,679	-25,317	-18,970	-0,300	279	732	787	415	5961	5243
240,63	-0,155	-19,554	-25,161	-18,807	-0,300	298	792	858	382	6077	5426
240,39	-0,157	-19,414	-24,959	-18,567	-0,297	315	856	935	382	5691	5735
226,33	-0,223	-19,157	-24,376	-17,739	-0,282	330	947	1053	-130	2685	5764
219,63	-0,221	-18,998	-24,040	-17,233	-0,277	352	1014	1138	-695	1938	5995
217,61	-0,221	-18,866	-23,805	-16,892	-0,280	365	1061	1198	-920	1327	6290
45,56	-0,017	-20,776	-23,505	-12,392	-0,016	180	595	563	-1746	-	-2653
47,96	-0,017	-20,679	-23,367	-12,209	-0,013	179	571	557	-1744	-	-2571
48,32	-0,015	-20,653	-23,322	-12,154	-0,013	179	564	555	-1660	-	-2526

RESULTADOS EXPERIMENTAIS — VIGA V15_B

CARGA [kN]	LVDT # 2 [mm] apoio	LVDT # 3 [mm] carga	LVDT # 4 [mm] central	LVDT # 5 [mm] carga	LVDT # 6 [mm] apoio	ϵ_{0A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{0B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45B} [$\times 10^{-6}$]
0,00	-0,008	-42,255	-43,356	-40,707	-0,002	1	0	0	0	0	0
7,25	-0,004	-42,029	-43,112	-40,468	-0,005	0	0	0	0	0	1
10,19	-0,006	-41,841	-42,928	-40,320	-0,009	-1	0	0	-1	0	5
13,57	-0,006	-41,680	-42,769	-40,194	-0,009	-1	-1	-1	-2	-1	8
17,01	-0,013	-41,549	-42,631	-40,089	-0,018	-2	-1	0	-2	-1	12
20,51	-0,015	-41,426	-42,504	-39,984	-0,018	-2	-2	0	-4	-1	16
24,56	-0,015	-41,318	-42,383	-39,890	-0,018	-2	-2	0	-4	-3	20
28,37	-0,017	-41,217	-42,273	-39,803	-0,023	-3	-2	0	-3	-4	24
32,30	-0,017	-41,113	-42,154	-39,707	-0,023	-2	-2	0	-3	-4	28
36,17	-0,017	-41,005	-42,033	-39,617	-0,025	-2	-3	0	-3	-6	33
39,97	-0,023	-40,900	-41,915	-39,525	-0,030	-2	-3	1	-2	-7	37
43,72	-0,017	-40,790	-41,788	-39,427	-0,030	-2	-4	0	-2	-7	41
47,34	-0,019	-40,678	-41,656	-39,327	-0,032	-1	-4	1	0	-9	46
50,60	-0,021	-40,566	-41,529	-39,230	-0,030	0	-5	2	0	-10	49
53,91	-0,021	-40,451	-41,391	-39,129	-0,027	0	-5	3	2	-12	54
57,10	-0,021	-40,339	-41,261	-39,034	-0,029	1	-6	2	6	-13	55
60,42	-0,023	-40,217	-41,127	-38,933	-0,030	1	-6	4	7	-14	59
63,61	-0,021	-40,098	-40,992	-38,832	-0,032	3	-7	4	10	-15	61
66,93	-0,025	-39,980	-40,860	-38,732	-0,030	2	-6	4	11	-15	62
70,12	-0,025	-39,863	-40,729	-38,633	-0,030	3	-6	4	12	-14	66
73,31	-0,025	-39,747	-40,604	-38,528	-0,030	3	-7	4	14	-12	72
76,69	-0,026	-39,620	-40,472	-38,427	-0,029	5	-7	3	16	-9	80
80,07	-0,026	-39,493	-40,340	-38,331	-0,030	7	-8	2	18	-7	89
83,38	-0,042	-39,368	-40,211	-38,233	-0,032	8	-9	1	19	-5	99
86,64	-0,051	-39,253	-40,079	-38,139	-0,034	10	-12	1	20	0	111
89,96	-0,051	-39,131	-39,944	-38,036	-0,032	11	-14	-1	24	3	129
93,39	-0,057	-38,999	-39,797	-37,921	-0,030	14	-17	-2	27	5	136
96,53	-0,057	-38,868	-39,667	-37,814	-0,029	19	-18	-1	29	8	140
99,84	-0,059	-38,742	-39,534	-37,710	-0,034	28	-22	0	25	10	140
103,09	-0,057	-38,611	-39,400	-37,599	-0,030	40	-25	0	22	14	141
106,41	-0,059	-38,488	-39,269	-37,493	-0,029	49	-31	-5	19	19	144
109,66	-0,059	-38,357	-39,139	-37,393	-0,059	55	-37	-11	15	27	149
112,73	-0,059	-38,234	-39,008	-37,289	-0,054	61	-43	-19	10	39	156
115,92	-0,062	-38,115	-38,880	-37,180	-0,057	65	-49	-22	5	52	161
119,55	-0,077	-37,952	-38,716	-37,047	-0,054	69	-49	-18	4	71	170
122,86	-0,079	-37,822	-38,576	-36,930	-0,055	73	-43	-11	3	95	179
125,99	-0,081	-37,686	-38,419	-36,809	-0,055	79	-31	5	2	118	188
129,19	-0,079	-37,547	-38,276	-36,681	-0,057	87	-3	35	3	143	197
132,26	-0,077	-37,411	-38,136	-36,566	-0,059	78	22	53	7	175	209
135,39	-0,081	-37,268	-37,983	-36,447	-0,055	67	31	58	10	214	221

138,64	-0,085	-37,128	-37,838	-36,330	-0,055	59	37	61	13	253	230
141,84	-0,102	-36,980	-37,679	-36,207	-0,057	53	42	64	15	275	240
145,03	-0,106	-36,838	-37,524	-36,081	-0,054	48	48	67	17	297	250
148,28	-0,104	-36,693	-37,368	-35,957	-0,057	45	54	72	20	316	258
151,35	-0,106	-36,547	-37,213	-35,836	-0,057	41	61	77	23	332	266
154,55	-0,136	-36,381	-37,051	-35,701	-0,059	38	69	81	20	347	272
157,55	-0,136	-36,223	-36,896	-35,566	-0,057	35	82	88	16	362	278
160,50	-0,138	-36,075	-36,732	-35,431	-0,054	34	99	98	12	377	283
163,57	-0,132	-35,921	-36,558	-35,292	-0,054	34	116	109	15	388	283
166,70	-0,138	-35,771	-36,391	-35,165	-0,055	34	135	121	14	397	281
169,77	-0,136	-35,629	-36,225	-35,037	-0,054	35	158	134	12	407	285
172,84	-0,136	-35,475	-36,066	-34,905	-0,054	37	182	148	11	418	291
175,79	-0,138	-35,325	-35,906	-34,774	-0,148	45	210	170	8	430	294
179,05	-0,136	-35,176	-35,746	-34,648	-0,145	50	241	194	5	442	300
182,05	-0,134	-35,031	-35,583	-34,522	-0,148	63	280	223	3	454	306
184,88	-0,138	-34,885	-35,429	-34,394	-0,145	79	330	260	1	466	316
188,01	-0,147	-34,721	-35,261	-34,255	-0,148	108	402	313	-3	478	326
191,20	-0,170	-34,573	-35,099	-34,124	-0,145	136	457	364	-4	490	336
194,03	-0,172	-34,430	-34,942	-33,996	-0,146	158	499	402	-6	499	346
196,91	-0,174	-34,286	-34,784	-33,866	-0,146	178	544	440	-7	510	354
199,74	-0,176	-34,133	-34,623	-33,730	-0,146	202	594	482	-7	521	360
202,81	-0,176	-33,978	-34,455	-33,600	-0,150	229	666	545	-9	531	364
205,63	-0,172	-33,823	-34,289	-33,465	-0,148	263	733	610	-10	540	368
208,58	-0,174	-33,669	-34,123	-33,332	-0,146	311	817	700	-12	551	376
211,59	-0,176	-33,519	-33,959	-33,202	-0,146	350	905	792	-13	565	385
214,47	-0,174	-33,361	-33,792	-33,065	-0,146	376	969	860	-14	580	396
217,36	-0,172	-33,208	-33,622	-32,929	-0,146	390	1024	912	-17	598	409
220,80	-0,176	-33,031	-33,421	-32,772	-0,203	398	1093	976	-20	618	425
223,56	-0,174	-32,885	-33,256	-32,634	-0,203	410	1143	1026	-25	634	441
226,63	-0,178	-32,743	-33,091	-32,501	-0,207	417	1184	1065	-29	651	461
229,27	-0,172	-32,588	-32,921	-32,343	-0,203	422	1223	1101	-30	673	483
232,16	-0,174	-32,439	-32,755	-32,208	-0,207	429	1261	1138	-31	701	515
234,80	-0,249	-32,292	-32,589	-32,071	-0,203	436	1301	1176	-30	733	553
237,50	-0,249	-32,150	-32,427	-31,931	-0,202	443	1337	1212	-28	782	623
240,20	-0,251	-32,001	-32,259	-31,794	-0,205	448	1374	1249	-25	839	700
242,97	-0,248	-31,846	-32,089	-31,638	-0,200	451	1413	1294	-22	902	784
245,48	-0,263	-31,697	-31,923	-31,499	-0,207	457	1459	1344	-14	968	896
248,18	-0,261	-31,542	-31,756	-31,355	-0,203	464	1506	1395	-10	1033	1005
250,83	-0,259	-31,391	-31,590	-31,215	-0,205	470	1549	1446	-7	1113	1131
253,34	-0,263	-31,241	-31,416	-31,073	-0,205	479	1592	1499	-2	1204	1243
255,98	-0,259	-31,088	-31,247	-30,929	-0,203	484	1634	1555	3	1346	1462
258,38	-0,261	-30,937	-31,081	-30,785	-0,203	451	1681	1621	5	1522	1795
260,77	-0,321	-30,788	-30,909	-30,640	-0,202	441	1731	1692	12	1699	2148
263,17	-0,327	-30,639	-30,747	-30,499	-0,237	441	1786	1767	34	1875	2454
265,68	-0,352	-30,489	-30,577	-30,350	-0,239	440	1845	1842	58	2034	2731
267,96	-0,348	-30,336	-30,406	-30,201	-0,237	434	1906	1918	90	2186	2999
270,35	-0,352	-30,185	-30,242	-30,054	-0,234	429	1973	1995	115	2327	3228
272,62	-0,355	-30,038	-30,076	-29,913	-0,241	428	2056	2083	141	2431	3404
274,96	-0,346	-29,892	-29,913	-29,773	-0,237	423	2127	2165	173	2521	3560
276,25	-0,352	-29,775	-29,803	-29,666	-0,237	365	2228	2235	199	2589	3679
260,28	-0,404	-29,890	-30,158	-29,961	-0,321	446	3934	4408	198	2497	3540
260,83	-0,404	-29,777	-30,063	-29,924	-0,323	333	4382	4748	200	2487	3532
47,28	-0,057	-24,732	-29,610	-31,947	-0,059	-458	-959	-1357	88	1090	1432
49,98	-0,060	-24,543	-29,460	-31,847	-0,061	-506	-858	-1342	89	1082	1445
51,89	-0,060	-24,353	-29,309	-31,741	-0,061	-525	-823	-1330	89	1081	1453
53,73	-0,057	-24,153	-29,147	-31,627	-0,061	-539	-800	-1317	91	1083	1461
55,32	-0,059	-23,952	-28,987	-31,520	-0,062	-545	-783	-1298	92	1083	1468
56,74	-0,059	-23,745	-28,826	-31,407	-0,061	-550	-775	-1287	94	1084	1474
58,21	-0,057	-23,534	-28,653	-31,293	-0,061	-552	-768	-1278	94	1086	1481
59,50	-0,059	-23,316	-28,480	-31,178	-0,068	-550	-761	-1259	94	1088	1488
59,56	-0,055	-23,183	-28,381	-31,112	-0,066	-539	-759	-1254	95	1089	1490

RESULTADOS EXPERIMENTAIS — VIGA V16_A

CARGA [kN]	LVDT # 2 [mm] apoio	LVDT # 3 [mm] carga	LVDT # 4 [mm] central	LVDT # 5 [mm] carga	LVDT # 6 [mm] apoio	ϵ_{0A} [x10 ⁻⁶]	ϵ_{90A} [x10 ⁻⁶]	ϵ_{45A} [x10 ⁻⁶]	ϵ_{0B} [x10 ⁻⁶]	ϵ_{90B} [x10 ⁻⁶]	ϵ_{45B} [x10 ⁻⁶]
0,00	0,000	-29,885	-37,929	-40,352	-0,002	0	0	0	0	0	0
14,12	-0,004	-29,682	-37,709	-40,155	-0,005	-1	-1	0	0	-1	7
19,71	0,000	-29,473	-37,483	-39,961	-0,004	-1	0	0	1	-3	13
25,85	-0,002	-29,254	-37,245	-39,757	-0,002	-1	-1	1	1	-4	20
31,62	-0,002	-29,060	-37,034	-39,590	-0,002	-2	-2	1	1	-6	27
38,19	-0,002	-28,844	-36,792	-39,400	-0,002	-1	-1	2	2	-9	34
43,96	0,008	-28,646	-36,572	-39,230	-0,002	-2	-4	2	3	-11	40
49,55	0,006	-28,439	-36,338	-39,049	0,000	-1	-3	2	5	-14	47
55,75	0,000	-28,189	-36,066	-38,835	-0,004	0	-3	2	8	-17	54
61,03	-0,009	-27,956	-35,813	-38,640	-0,007	1	-3	3	10	-19	59
67,11	-0,009	-27,695	-35,526	-38,423	-0,007	2	-4	4	10	-21	66
72,52	-0,009	-27,465	-35,265	-38,228	-0,009	4	-3	3	10	-22	70
77,92	-0,011	-27,234	-35,004	-38,029	-0,011	6	-4	1	12	-18	81
84,24	-0,009	-26,969	-34,711	-37,807	-0,012	7	-5	-1	15	-10	94
89,83	-0,019	-26,726	-34,446	-37,605	-0,018	7	-7	-4	20	0	108
96,03	-0,019	-26,458	-34,146	-37,381	-0,025	9	-10	-6	54	122	170
101,49	-0,030	-26,217	-33,885	-37,177	-0,025	13	-18	-8	55	217	174
106,84	-0,034	-25,980	-33,620	-36,969	-0,030	16	-25	-7	67	315	201
112,98	-0,036	-25,708	-33,324	-36,742	-0,039	15	-29	-7	75	421	239
118,38	-0,038	-25,471	-33,063	-36,537	-0,041	15	-26	-3	96	521	314
124,40	-0,040	-25,198	-32,770	-36,308	-0,048	10	-23	-3	143	634	440
129,62	-0,053	-24,961	-32,513	-36,111	-0,053	12	-16	13	216	776	597
135,63	-0,062	-24,696	-32,220	-35,873	-0,050	17	42	76	295	954	797
140,73	-0,081	-24,467	-31,970	-35,671	-0,059	27	161	204	351	1078	931
146,07	-0,096	-24,239	-31,733	-35,474	-0,064	53	296	406	384	1150	1019
151,48	-0,100	-23,993	-31,461	-35,257	-0,064	71	502	697	371	1176	1044
156,51	-0,108	-23,769	-31,219	-35,065	-0,066	98	718	976	366	1211	1072
162,22	-0,113	-23,506	-30,945	-34,847	-0,075	200	931	1272	367	1261	1120
167,32	-0,119	-23,284	-30,700	-34,651	-0,075	296	1093	1497	370	1306	1165
172,11	-0,121	-23,073	-30,462	-34,454	-0,077	363	1223	1655	371	1344	1208
177,76	-0,121	-22,819	-30,182	-34,232	-0,082	423	1355	1787	370	1368	1255
182,55	-0,140	-22,594	-29,940	-34,032	-0,084	469	1449	1901	367	1385	1287
188,01	-0,140	-22,344	-29,664	-33,806	-0,087	535	1550	2023	362	1409	1320
193,05	-0,140	-22,118	-29,414	-33,593	-0,089	576	1622	2117	360	1436	1356
197,77	-0,140	-21,886	-29,155	-33,373	-0,094	599	1696	2204	354	1456	1381
202,93	-0,142	-21,623	-28,860	-33,110	-0,096	630	1783	2308	342	1463	1388
207,90	-0,142	-21,383	-28,578	-32,874	-0,112	661	1869	2409	330	1467	1389
213,25	-0,140	-21,103	-28,265	-32,597	-0,132	683	1955	2507	313	1466	1381
218,10	-0,264	-20,862	-27,986	-32,350	-0,135	697	2032	2590	301	1464	1373
222,70	-0,260	-20,618	-27,713	-32,105	-0,135	693	2103	2660	287	1465	1365
228,04	-0,260	-20,340	-27,409	-31,845	-0,139	689	2162	2716	277	1471	1366
232,65	-0,262	-20,101	-27,141	-31,615	-0,143	679	2202	2743	270	1477	1368
237,81	-0,260	-19,827	-26,841	-31,353	-0,143	671	2250	2785	263	1485	1373
242,17	-0,260	-19,588	-26,574	-31,123	-0,141	661	2289	2816	258	1493	1379
247,26	-0,262	-19,321	-26,270	-30,863	-0,141	645	2322	2837	251	1504	1384
251,68	-0,262	-19,079	-26,005	-30,632	-0,141	629	2369	2866	246	1513	1390
256,11	-0,260	-18,832	-25,735	-30,402	-0,143	621	2423	2916	243	1524	1401
260,83	-0,270	-18,560	-25,429	-30,135	-0,143	618	2481	2976	240	1538	1418
265,07	-0,274	-18,312	-25,152	-29,895	-0,230	610	2532	3024	239	1551	1433
269,68	-0,274	-18,037	-24,842	-29,631	-0,226	595	2595	3083	242	1568	1457
273,85	-0,313	-17,786	-24,574	-29,388	-0,226	553	2654	3125	245	1586	1479
277,84	-0,315	-17,539	-24,296	-29,151	-0,228	531	2722	3173	250	1606	1507
282,02	-0,311	-17,263	-23,984	-28,880	-0,230	511	2793	3217	259	1638	1554
286,01	-0,315	-17,013	-23,710	-28,638	-0,226	496	2856	3264	275	1676	1615
290,06	-0,362	-16,735	-23,397	-28,368	-0,228	471	2945	3309	298	1753	1744
293,81	-0,362	-16,489	-23,119	-28,125	-0,226	444	3019	3333	320	1838	1880
297,43	-0,370	-16,241	-22,840	-27,882	-0,230	416	3096	3367	341	1926	2005
301,30	-0,408	-15,959	-22,519	-27,610	-0,276	384	3186	3413	376	2058	2181
304,61	-0,411	-15,713	-22,241	-27,361	-0,276	355	3269	3457	389	2253	2334
307,81	-0,408	-15,431	-21,918	-27,059	-0,274	322	3384	3525	404	2890	3018
311,12	-0,423	-15,175	-21,626	-26,805	-0,273	290	3493	3589	400	3124	3274
314,75	-0,440	-14,899	-21,303	-26,528	-0,274	254	3608	3658	425	3359	3570

317,69	-0,438	-14,646	-21,018	-26,281	-0,271	221	3708	3717	483	3571	3860
320,89	-0,441	-14,401	-20,731	-26,027	-0,276	188	3828	3786	549	3751	4123
324,14	-0,440	-14,119	-20,401	-25,749	-0,273	148	3999	3881	607	3921	4356
327,21	-0,441	-13,871	-20,112	-25,504	-0,278	105	4176	3976	638	4027	4487
330,22	-0,453	-13,588	-19,786	-25,223	-0,342	47	4355	4047	677	4140	4627
332,86	-0,453	-13,345	-19,495	-24,983	-0,346	3	4515	4119	719	4239	4752
335,44	-0,457	-13,088	-19,209	-24,735	-0,347	-47	4760	4267	756	4329	4870
338,26	-0,451	-12,800	-18,878	-24,450	-0,347	-100	4980	4388	796	4420	4994
340,78	-0,449	-12,550	-18,589	-24,202	-0,347	-143	5136	4465	833	4504	5100
343,48	-0,451	-12,265	-18,257	-23,919	-0,351	-172	5259	4543	880	4599	5220
345,63	-0,487	-12,004	-17,964	-23,673	-0,346	-198	5338	4620	918	4682	5320
347,84	-0,483	-11,752	-17,669	-23,422	-0,342	-224	5397	4686	956	4764	5422
350,24	-0,506	-11,461	-17,332	-23,135	-0,415	-257	5480	4727	1033	4872	5581
352,14	-0,506	-11,209	-17,034	-22,886	-0,415	-282	5567	4656	1073	4945	5669
354,29	-0,508	-10,914	-16,694	-22,596	-0,419	-312	5665	4670	1107	5011	5743
356,25	-0,506	-10,657	-16,396	-22,341	-0,411	-340	5748	4678	1133	5068	5808
357,97	-0,504	-10,394	-16,094	-22,083	-0,415	-367	5827	4683	1152	5124	5865
359,75	-0,506	-10,095	-15,751	-21,799	-0,411	-394	5909	4700	1171	5174	5916
361,47	-0,506	-9,821	-15,445	-21,543	-0,417	-413	5979	4721	1181	5212	5956
363,07	-0,509	-9,526	-15,102	-21,257	-0,417	-428	6050	4745	1190	5256	6002
364,30	-0,509	-9,258	-14,789	-21,007	-0,417	-443	6110	4770	1201	5296	6046
365,34	-0,536	-8,954	-14,436	-20,716	-0,417	-460	6172	4792	1216	5337	6097
366,20	-0,536	-8,683	-14,121	-20,462	-0,419	-476	6219	4813	1226	5368	6135
367,00	-0,538	-8,413	-13,800	-20,208	-0,419	-489	6260	4831	1234	5399	6170
367,49	-0,538	-8,103	-13,435	-19,922	-0,420	-501	6300	4847	1238	5428	6200
367,92	-0,536	-7,814	-13,099	-19,668	-0,413	-510	6330	4857	1240	5449	6220
367,67	-0,538	-7,482	-12,725	-19,387	-0,415	-520	6354	4864	1245	5481	6243
367,61	-0,538	-7,198	-12,380	-19,137	-0,417	-527	6370	4869	1248	5506	6257
367,12	-0,534	-6,905	-12,033	-18,890	-0,415	-533	6382	4870	1249	5520	6263
366,57	-0,538	-6,571	-11,634	-18,622	-0,419	-541	6394	4873	1249	5531	6270
366,02	-0,536	-6,273	-11,282	-18,375	-0,420	-545	6399	4873	1250	5539	6275
364,85	-0,538	-5,931	-10,871	-18,100	-0,415	-550	6404	4873	1249	5545	6278
363,93	-0,538	-5,625	-10,502	-17,864	-0,415	-552	6404	4874	1249	5547	6276
361,96	-0,534	-5,310	-10,122	-17,620	-0,411	-555	6397	4869	1245	5543	6265
358,83	-0,541	-4,933	-9,660	-17,356	-0,420	-560	6382	4850	1237	5529	6241
355,76	-0,538	-4,579	-9,250	-17,121	-0,415	-563	6368	4832	1231	5515	6219
158,97	-0,251	-0,688	-6,019	-17,292	-0,262	-532	4445	3119	746	3943	4118
137,23	-0,226	0,179	-5,539	-17,302	-0,260	-502	4171	2931	683	3669	3824
128,70	-0,219	0,524	-5,437	-17,363	-0,257	-485	4055	2854	659	3553	3703

RESULTADOS EXPERIMENTAIS — VIGA V16_B

CARGA [kN]	LVDT # 2 [mm] apoio	LVDT # 3 [mm] carga	LVDT # 4 [mm] central	LVDT # 5 [mm] carga	LVDT # 6 [mm] apoio	ϵ_{0A} [x10 ⁻⁶]	ϵ_{90A} [x10 ⁻⁶]	ϵ_{45A} [x10 ⁻⁶]	ϵ_{0B} [x10 ⁻⁶]	ϵ_{90B} [x10 ⁻⁶]	ϵ_{45B} [x10 ⁻⁶]
0,00	-0,002	-44,162	-39,637	-46,250	0,002	0	-1	1	0	0	1
9,82	-0,006	-44,035	-39,510	-46,142	-0,002	-1	0	-1	0	0	3
11,79	-0,008	-43,874	-39,357	-46,010	-0,002	-1	0	0	0	0	5
13,75	-0,006	-43,760	-39,249	-45,952	-0,007	-1	0	0	0	0	7
15,84	-0,004	-43,671	-39,150	-45,863	-0,005	-2	0	0	0	0	10
18,18	-0,004	-43,570	-39,040	-45,778	-0,009	-1	0	1	0	0	12
20,63	-0,006	-43,473	-38,932	-45,687	-0,007	-2	-1	0	0	0	16
23,03	-0,002	-43,387	-38,828	-45,607	-0,012	-3	-1	0	0	0	19
25,79	-0,002	-43,283	-38,714	-45,518	-0,014	-2	0	1	0	0	22
28,37	0,002	-43,191	-38,604	-45,429	-0,014	-3	0	1	0	0	26
31,32	-0,002	-43,089	-38,494	-45,341	-0,018	-2	-2	2	1	1	29
34,20	0,000	-42,990	-38,382	-45,248	-0,020	-4	-2	2	0	0	32
36,96	0,002	-42,878	-38,266	-45,160	-0,025	-4	-2	2	0	0	36
39,73	-0,006	-42,779	-38,156	-45,071	-0,030	-2	-2	2	1	0	39
42,43	-0,006	-42,671	-38,037	-44,975	-0,030	-2	-4	4	2	0	43
45,13	0,000	-42,572	-37,921	-44,883	-0,032	-2	-3	4	2	0	46

47,89	-0,004	-42,462	-37,798	-44,787	-0,032	0	-4	6	4	-2	51
50,60	0,000	-42,355	-37,679	-44,692	-0,032	0	-4	6	4	-2	55
53,30	0,000	-42,247	-37,562	-44,602	-0,032	1	-5	6	7	-4	59
55,88	-0,006	-42,135	-37,440	-44,506	-0,030	2	-5	7	7	-4	63
58,46	-0,006	-42,023	-37,321	-44,412	-0,032	3	-3	9	8	-5	67
61,03	-0,008	-41,904	-37,192	-44,316	-0,032	2	-5	9	10	-7	70
63,67	-0,008	-41,794	-37,071	-44,222	-0,032	4	-4	8	11	-6	74
66,13	-0,009	-41,682	-36,948	-44,121	-0,030	5	-4	9	12	-8	78
68,83	-0,008	-41,564	-36,829	-44,025	-0,030	7	-5	11	13	-9	83
71,41	-0,009	-41,452	-36,706	-43,925	-0,030	7	-6	11	15	-9	87
74,05	-0,008	-41,342	-36,583	-43,829	-0,041	6	-6	10	17	-10	94
76,75	-0,008	-41,230	-36,456	-43,733	-0,045	5	-7	9	21	-11	101
79,27	-0,011	-41,120	-36,337	-43,638	-0,041	4	-7	8	24	-13	103
81,97	-0,008	-41,005	-36,210	-43,538	-0,043	3	-8	7	25	-15	111
84,61	-0,011	-40,868	-36,079	-43,440	-0,041	4	-10	8	29	-15	127
87,31	-0,011	-40,751	-35,954	-43,311	-0,041	4	-12	12	51	-22	220
89,89	-0,015	-40,637	-35,831	-43,211	-0,037	5	-14	16	51	-20	305
92,53	-0,017	-40,521	-35,703	-43,112	-0,041	7	-18	21	47	-16	395
95,05	-0,019	-40,408	-35,574	-43,011	-0,043	10	-20	33	47	-13	473
97,63	-0,017	-40,296	-35,445	-42,902	-0,039	16	-22	49	48	1	523
100,27	-0,017	-40,182	-35,319	-42,801	-0,039	26	-25	70	50	44	572
102,91	-0,021	-40,064	-35,186	-42,702	-0,045	37	-27	88	53	95	616
105,48	-0,025	-39,958	-35,065	-42,600	-0,045	49	-29	103	57	148	661
108,06	-0,023	-39,840	-34,938	-42,503	-0,046	63	-32	115	61	192	696
110,77	-0,023	-39,729	-34,810	-42,403	-0,046	77	-34	130	63	242	737
113,41	-0,025	-39,611	-34,683	-42,300	-0,043	88	-36	146	66	298	786
115,98	-0,023	-39,495	-34,554	-42,199	-0,043	98	-39	161	69	361	846
118,56	-0,026	-39,381	-34,427	-42,094	-0,043	103	-41	179	71	436	920
120,96	-0,038	-39,264	-34,301	-41,990	-0,043	108	-45	199	70	525	1005
123,60	-0,038	-39,148	-34,172	-41,887	-0,089	109	-48	222	71	620	1090
126,12	-0,036	-39,029	-34,040	-41,778	-0,089	112	-52	245	71	744	1192
128,63	-0,036	-38,913	-33,913	-41,673	-0,086	108	-54	272	75	874	1303
130,97	-0,034	-38,794	-33,784	-41,562	-0,087	104	-52	307	98	970	1424
133,42	-0,038	-38,680	-33,657	-41,451	-0,093	106	-49	352	122	1089	1556
136,37	-0,040	-38,531	-33,493	-41,315	-0,089	111	-44	408	140	1221	1703
138,70	-0,049	-38,415	-33,365	-41,212	-0,089	115	-39	467	154	1314	1805
141,16	-0,049	-38,299	-33,238	-41,105	-0,089	120	-37	535	161	1410	1891
143,49	-0,053	-38,184	-33,107	-41,004	-0,089	127	-31	605	168	1515	1998
145,89	-0,051	-38,072	-32,979	-40,899	-0,087	138	-22	678	176	1597	2093
148,16	-0,053	-37,960	-32,852	-40,798	-0,089	152	-12	758	181	1666	2172
150,49	-0,059	-37,850	-32,734	-40,695	-0,089	179	-4	817	190	1716	2235
152,83	-0,059	-37,740	-32,611	-40,595	-0,087	231	7	874	240	1775	2309
155,10	-0,072	-37,633	-32,488	-40,496	-0,143	299	20	945	254	1811	2359
157,43	-0,076	-37,521	-32,367	-40,395	-0,146	346	33	1021	257	1833	2394
159,52	-0,072	-37,413	-32,250	-40,295	-0,146	386	45	1104	271	1876	2452
161,91	-0,076	-37,305	-32,127	-40,196	-0,145	425	59	1205	290	1929	2528
164,25	-0,074	-37,195	-32,004	-40,095	-0,148	468	73	1319	313	1986	2618
166,46	-0,072	-37,083	-31,890	-39,993	-0,143	525	125	1477	343	2035	2698
168,73	-0,076	-36,971	-31,767	-39,897	-0,143	591	180	1658	366	2089	2777
171,06	-0,076	-36,863	-31,647	-39,796	-0,143	666	238	1837	393	2141	2846
173,33	-0,100	-36,755	-31,530	-39,697	-0,146	735	284	1999	419	2182	2887
175,61	-0,100	-36,648	-31,405	-39,596	-0,143	797	335	2173	438	2208	2903
177,69	-0,098	-36,546	-31,293	-39,494	-0,143	855	398	2350	451	2232	2920
180,03	-0,100	-36,434	-31,170	-39,395	-0,145	904	471	2508	471	2282	2960
181,99	-0,102	-36,331	-31,055	-39,295	-0,145	953	540	2684	490	2330	2992
183,96	-0,104	-36,230	-30,945	-39,205	-0,141	1004	600	2843	504	2377	3024
186,23	-0,111	-36,122	-30,821	-39,104	-0,143	1063	672	3018	523	2397	3089
188,32	-0,113	-36,014	-30,702	-39,004	-0,145	1115	744	3186	540	2452	3149
190,40	-0,113	-35,909	-30,590	-38,903	-0,141	1164	811	3338	561	2514	3230
192,37	-0,106	-35,799	-30,477	-38,809	-0,146	1210	877	3476	578	2567	3318
194,27	-0,119	-35,695	-30,365	-38,713	-0,148	1241	937	3594	594	2611	3424
196,36	-0,123	-35,588	-30,249	-38,613	-0,150	1269	995	3703	617	2675	3584
198,08	-0,127	-35,484	-30,126	-38,507	-0,153	1294	1047	3761	637	2742	3734
199,74	-0,136	-35,370	-30,001	-38,383	-0,212	1301	1085	3772	662	2829	3899
201,46	-0,134	-35,262	-29,878	-38,276	-0,211	1308	1126	3814	683	2913	4046
203,18	-0,132	-35,154	-29,753	-38,157	-0,211	1313	1164	3849	698	2969	4142
205,02	-0,132	-35,042	-29,636	-38,043	-0,214	1315	1204	3890	722	3025	4235
206,74	-0,134	-34,935	-29,514	-37,935	-0,212	1312	1246	3936	740	3080	4316
208,52	-0,138	-34,816	-29,380	-37,811	-0,209	1315	1292	3997	763	3133	4398
210,18	-0,144	-34,695	-29,238	-37,678	-0,211	1317	1338	4061	786	3179	4472

211,28	-0,149	-34,568	-29,089	-37,525	-0,212	1323	1381	4125	798	3213	4524
212,39	-0,151	-34,443	-28,944	-37,374	-0,218	1330	1425	4183	802	3237	4557
213,80	-0,159	-34,314	-28,789	-37,218	-0,223	1336	1468	4235	815	3265	4604
213,74	-0,172	-34,167	-28,603	-36,997	-0,225	1341	1509	4278	820	3249	4593
214,90	-0,172	-34,034	-28,439	-36,822	-0,225	1351	1551	4328	840	3257	4627
216,01	-0,176	-33,887	-28,269	-36,639	-0,225	1362	1600	4383	844	3244	4631
217,67	-0,181	-33,753	-28,116	-36,477	-0,223	1371	1651	4433	851	3241	4652
219,20	-0,185	-33,622	-27,954	-36,319	-0,225	1389	1697	4487	839	3216	4643
220,31	-0,183	-33,489	-27,788	-36,148	-0,227	1420	1745	4544	814	3161	4593
221,35	-0,189	-33,346	-27,616	-35,969	-0,228	1449	1789	4593	772	3104	4523
222,52	-0,185	-33,211	-27,450	-35,793	-0,230	1476	1837	4624	733	3062	4472
223,93	-0,225	-33,081	-27,290	-35,637	-0,237	1498	1901	4669	700	3022	4426
224,54	-0,227	-32,943	-27,111	-35,445	-0,243	1515	1961	4705	650	2942	4318
50,23	-0,051	-34,016	-25,344	-30,046	-0,023	634	1129	2132	952	359	615
52,74	-0,053	-33,891	-25,178	-29,833	-0,027	637	1124	2131	953	358	577

RESULTADOS EXPERIMENTAIS — VIGA V17_A

CARGA [kN]	LVDT # 2 [mm] apoio	LVDT # 3 [mm] carga	LVDT # 4 [mm] central	LVDT # 5 [mm] carga	LVDT # 6 [mm] apoio	ϵ_{0A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{0B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45B} [$\times 10^{-6}$]
0,00	-0,008	-39,829	-36,948	-43,169	-0,011	0	0	0	0	0	0
10,56	-0,009	-39,743	-36,857	-43,119	-0,020	-1	0	0	-1	0	-3
13,20	-0,008	-39,585	-36,687	-42,991	-0,021	-1	0	1	-3	0	-6
14,98	-0,008	-39,475	-36,570	-42,906	-0,023	-2	0	-1	-4	0	-8
17,38	-0,009	-39,342	-36,428	-42,792	-0,023	-3	0	0	-5	1	-11
19,96	-0,008	-39,215	-36,292	-42,695	-0,027	-4	-1	-1	-6	1	-14
22,04	-0,008	-39,126	-36,197	-42,618	-0,030	-4	0	-1	-7	1	-16
24,75	-0,015	-39,010	-36,068	-42,519	-0,032	-5	0	-1	-8	1	-19
27,63	-0,021	-38,895	-35,943	-42,423	-0,036	-5	0	-1	-10	1	-22
29,96	-0,019	-38,801	-35,841	-42,345	-0,037	-7	0	-1	-10	1	-25
32,79	-0,021	-38,680	-35,714	-42,245	-0,037	-6	0	-2	-12	1	-28
34,94	-0,019	-38,590	-35,613	-42,172	-0,037	-7	0	0	-12	1	-31
38,07	-0,021	-38,467	-35,481	-42,068	-0,036	-8	0	-1	-13	1	-34
41,02	-0,025	-38,342	-35,347	-41,966	-0,039	-8	-1	0	-14	0	-38
43,17	-0,025	-38,251	-35,248	-41,890	-0,037	-8	-1	0	-15	0	-40
45,99	-0,028	-38,130	-35,114	-41,791	-0,039	-7	-1	0	-15	-1	-44
48,75	-0,028	-38,001	-34,977	-41,688	-0,039	-8	-1	1	-16	-1	-47
50,60	-0,032	-37,908	-34,877	-41,609	-0,041	-8	-2	1	-16	-1	-50
53,60	-0,030	-37,779	-34,739	-41,512	-0,043	-8	-1	2	-17	-2	-53
55,45	-0,030	-37,680	-34,631	-41,427	-0,043	-9	-1	2	-18	-2	-56
58,21	-0,032	-37,557	-34,493	-41,327	-0,043	-9	-2	4	-19	-3	-59
60,79	-0,034	-37,426	-34,357	-41,222	-0,043	-9	-1	4	-18	-4	-62
62,69	-0,034	-37,329	-34,254	-41,146	-0,046	-10	0	4	-19	-4	-64
65,33	-0,032	-37,197	-34,112	-41,043	-0,041	-10	0	4	-19	-3	-68
67,91	-0,028	-37,062	-33,971	-40,929	-0,037	-10	0	4	-20	-3	-72
69,75	-0,032	-36,967	-33,868	-40,855	-0,041	-10	0	4	-21	-3	-74
72,33	-0,034	-36,835	-33,723	-40,748	-0,039	-11	1	2	-23	-3	-77
75,03	-0,036	-36,704	-33,586	-40,649	-0,041	-14	1	0	-22	-2	-81
77,00	-0,034	-36,603	-33,476	-40,567	-0,045	-15	2	-2	-21	-1	-83
79,76	-0,034	-36,467	-33,335	-40,460	-0,043	-17	2	-3	-20	-2	-86
81,67	-0,028	-36,361	-33,208	-40,379	-0,043	-18	2	-2	-21	-5	-86
84,24	-0,028	-36,230	-33,068	-40,278	-0,045	-18	1	-3	-20	-6	-87
86,95	-0,030	-36,098	-32,928	-40,171	-0,043	-17	0	-4	-20	-7	-89
88,97	-0,028	-35,991	-32,820	-40,091	-0,045	-17	-1	-5	-21	-7	-90
91,55	-0,026	-35,857	-32,680	-39,988	-0,043	-17	-5	-5	-22	-6	-91
94,25	-0,030	-35,723	-32,539	-39,885	-0,054	-15	-8	-6	-25	-5	-91
96,10	-0,032	-35,616	-32,434	-39,807	-0,055	-13	-10	-7	-25	-4	-92
98,67	-0,032	-35,480	-32,287	-39,699	-0,057	-8	-14	-7	-28	-3	-93
100,57	-0,030	-35,374	-32,184	-39,617	-0,055	-4	-15	-9	-28	-1	-96
103,03	-0,032	-35,241	-32,039	-39,507	-0,064	0	-17	-10	-28	5	-103

105,67	-0,036	-35,107	-31,903	-39,402	-0,064	3	-17	-12	-21	13	-109
107,51	-0,036	-34,999	-31,797	-39,322	-0,061	3	-18	-15	-11	19	-109
110,03	-0,038	-34,861	-31,651	-39,210	-0,061	6	-20	-18	8	27	-112
112,55	-0,045	-34,717	-31,509	-39,102	-0,061	6	-18	-22	33	36	-114
114,45	-0,045	-34,607	-31,399	-39,015	-0,061	6	-16	-22	50	44	-115
116,91	-0,059	-34,471	-31,261	-38,910	-0,064	6	-13	-22	72	52	-117
118,81	-0,055	-34,368	-31,150	-38,823	-0,059	5	-10	-22	89	61	-119
121,27	-0,062	-34,249	-31,004	-38,720	-0,059	3	-7	-23	123	74	-119
123,72	-0,057	-34,109	-30,851	-38,606	-0,059	1	-4	-24	153	80	-117
125,69	-0,064	-34,008	-30,752	-38,526	-0,061	-1	-2	-24	166	86	-115
128,08	-0,062	-33,870	-30,611	-38,415	-0,061	-5	0	-24	184	96	-115
130,78	-0,066	-33,743	-30,478	-38,313	-0,061	-7	3	-25	199	104	-113
132,62	-0,062	-33,644	-30,372	-38,233	-0,061	-12	4	-25	213	110	-112
135,20	-0,066	-33,517	-30,238	-38,123	-0,061	-15	7	-25	251	111	-118
137,66	-0,059	-33,378	-30,096	-38,008	-0,061	-18	7	-25	379	101	-140
139,50	-0,062	-33,279	-29,992	-37,930	-0,059	-21	9	-25	526	90	-166
142,02	-0,070	-33,150	-29,854	-37,816	-0,055	-24	11	-24	668	88	-191
143,80	-0,066	-33,049	-29,757	-37,734	-0,055	-26	12	-25	752	88	-206
146,38	-0,062	-32,917	-29,611	-37,624	-0,055	-30	12	-24	855	90	-229
148,84	-0,074	-32,790	-29,481	-37,516	-0,059	-32	13	-24	969	94	-250
150,55	-0,066	-32,683	-29,371	-37,427	-0,055	-35	14	-24	1025	96	-268
152,95	-0,068	-32,553	-29,237	-37,321	-0,057	-39	14	-24	1124	99	-306
155,28	-0,068	-32,420	-29,099	-37,205	-0,059	-41	14	-21	1195	102	-325
157,06	-0,070	-32,318	-28,994	-37,120	-0,055	-44	15	-21	1205	103	-341
159,40	-0,066	-32,183	-28,854	-37,003	-0,055	-47	15	-19	1271	108	-361
161,05	-0,064	-32,081	-28,746	-36,914	-0,054	-49	17	-19	1334	113	-374
163,39	-0,072	-31,956	-28,610	-36,804	-0,057	-52	18	-17	1427	118	-388
165,66	-0,078	-31,823	-28,474	-36,692	-0,057	-55	19	-14	1460	129	-410
167,32	-0,074	-31,723	-28,368	-36,596	-0,054	-58	18	-13	1437	139	-430
169,65	-0,079	-31,592	-28,232	-36,484	-0,055	-59	20	-11	1399	153	-434
171,86	-0,083	-31,463	-28,094	-36,367	-0,055	-62	20	-9	1350	177	-446
173,64	-0,081	-31,359	-27,984	-36,276	-0,055	-64	21	-8	1302	197	-446
175,91	-0,081	-31,230	-27,849	-36,150	-0,057	-67	22	-5	1246	235	-443
177,63	-0,115	-31,127	-27,745	-36,063	-0,052	-69	22	-5	1211	271	-418
179,72	-0,144	-31,002	-27,611	-35,950	-0,193	-71	22	-1	1150	345	-386
181,93	-0,140	-30,870	-27,478	-35,831	-0,191	-75	24	0	1087	488	-292
183,22	-0,168	-30,779	-27,376	-35,742	-0,193	-78	25	2	1041	691	-185
184,63	-0,166	-30,663	-27,262	-35,637	-0,195	-83	28	0	994	1097	-102
186,48	-0,168	-30,540	-27,139	-35,527	-0,191	-87	33	1	945	1502	-52
187,89	-0,170	-30,454	-27,050	-35,452	-0,193	-88	35	2	847	1747	-10
189,98	-0,170	-30,327	-26,915	-35,339	-0,193	-91	38	6	756	2116	35
191,94	-0,174	-30,206	-26,790	-35,227	-0,195	-93	40	9	691	2602	69
193,54	-0,166	-30,113	-26,693	-35,145	-0,193	-95	41	11	664	2831	73
195,26	-0,174	-29,999	-26,589	-35,049	-0,196	-100	46	14	614	3063	82
196,67	-0,161	-29,913	-26,500	-34,976	-0,191	-101	49	17	590	3204	89
195,26	-0,251	-29,853	-26,483	-34,991	-0,175	-136	92	55	548	3294	97
194,64	-0,253	-29,782	-26,457	-34,975	-0,157	-202	155	209	518	3347	93
195,93	-0,251	-29,706	-26,390	-34,923	-0,155	-213	183	258	504	3406	86
197,96	-0,248	-29,605	-26,294	-34,838	-0,155	-223	229	311	486	3505	77
200,05	-0,246	-29,499	-26,179	-34,742	-0,173	-216	275	372	466	3631	64
200,66	-0,263	-29,411	-26,104	-34,669	-0,218	-202	345	454	449	3705	43
202,44	-0,270	-29,301	-25,996	-34,573	-0,259	-205	447	542	432	3821	-1
203,42	-0,270	-29,215	-25,918	-34,508	-0,262	-191	572	616	423	3908	-86
204,47	-0,268	-29,111	-25,828	-34,440	-0,259	-108	754	722	427	4031	-331
205,02	-0,270	-28,991	-25,737	-34,358	-0,243	-17	924	872	411	4135	-377
205,33	-0,278	-28,917	-25,688	-34,323	-0,245	265	1351	1387	397	4185	-411
93,88	-0,079	-27,135	-26,050	-35,298	-0,152	409	234	157	177	2932	-206
96,16	-0,078	-26,989	-25,935	-35,209	-0,155	403	218	140	181	2930	-213
97,69	-0,074	-26,870	-25,840	-35,140	-0,155	401	212	134	182	2931	-216
98,80	-0,076	-26,726	-25,733	-35,062	-0,154	399	207	129	183	2933	-221
97,81	-0,076	-26,711	-25,737	-35,065	-0,154	399	202	124	184	2931	-223

RESULTADOS EXPERIMENTAIS — VIGA V17_B

CARGA [kN]	LVDT # 2 [mm] apoio	LVDT # 3 [mm] carga	LVDT # 4 [mm] central	LVDT # 5 [mm] carga	LVDT # 6 [mm] apoio	ϵ_{0A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{0B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45B} [$\times 10^{-6}$]
0,00	-0,004	-41,854	-28,349	-32,643	0,004	0	0	-1	0	0	0
9,76	-0,004	-41,788	-28,286	-32,590	-0,002	-1	0	0	-1	0	2
11,79	-0,006	-41,645	-28,140	-32,472	-0,005	-2	0	-2	-3	0	4
13,82	-0,006	-41,514	-28,004	-32,362	-0,007	-4	0	-1	-4	0	5
15,66	-0,008	-41,387	-27,874	-32,259	-0,005	-5	0	-1	-6	0	7
16,95	-0,004	-41,298	-27,782	-32,185	-0,007	-6	0	-1	-6	0	9
18,48	-0,006	-41,206	-27,689	-32,108	-0,007	-7	0	-1	-8	0	10
20,02	-0,004	-41,107	-27,594	-32,030	-0,005	-8	0	-3	-9	0	11
21,68	-0,006	-41,018	-27,478	-31,950	-0,004	-10	1	-3	-10	0	13
22,96	-0,002	-40,934	-27,395	-31,884	-0,005	-11	0	-1	-11	0	15
24,87	-0,006	-40,833	-27,277	-31,792	-0,005	-11	0	-3	-12	0	16
26,83	-0,002	-40,725	-27,160	-31,696	-0,005	-13	0	-2	-13	1	20
28,92	0,000	-40,617	-27,038	-31,604	-0,005	-14	0	-2	-15	0	22
31,32	-0,006	-40,505	-26,913	-31,510	-0,005	-15	2	-3	-16	0	24
32,97	-0,002	-40,411	-26,817	-31,428	-0,004	-16	0	-3	-17	0	26
35,43	-0,002	-40,288	-26,686	-31,334	-0,004	-18	0	-3	-19	0	30
37,70	-0,002	-40,165	-26,550	-31,233	-0,007	-18	0	-3	-20	-1	33
40,28	-0,004	-40,046	-26,418	-31,132	-0,007	-20	1	-3	-21	0	36
41,94	-0,002	-39,947	-26,317	-31,060	-0,002	-20	1	-2	-20	-1	38
44,46	-0,004	-39,824	-26,181	-30,956	-0,007	-21	0	-2	-21	-3	42
46,97	-0,004	-39,691	-26,041	-30,846	-0,004	-22	1	-3	-21	-3	45
49,18	-0,002	-39,566	-25,901	-30,739	-0,002	-24	0	-3	-22	-4	47
51,21	-0,004	-39,471	-25,793	-30,657	-0,007	-24	0	-3	-24	-3	49
53,42	0,000	-39,342	-25,647	-30,545	-0,004	-24	-2	-5	-23	-4	53
55,82	-0,004	-39,212	-25,511	-30,442	-0,009	-26	-2	-4	-24	-4	56
58,09	-0,002	-39,070	-25,358	-30,327	-0,005	-28	-3	-4	-24	-4	58
60,42	-0,008	-38,934	-25,215	-30,215	-0,007	-30	-2	-5	-25	-5	61
62,08	0,000	-38,831	-25,103	-30,132	-0,002	-28	-4	-5	-25	-5	63
64,47	-0,006	-38,704	-24,961	-30,029	-0,005	-29	-4	-7	-25	-6	67
66,99	-0,004	-38,572	-24,823	-29,922	-0,005	-30	-5	-9	-24	-7	70
69,39	-0,013	-38,447	-24,687	-29,819	-0,007	-30	-6	-10	-23	-8	69
71,17	-0,013	-38,344	-24,583	-29,737	-0,005	-31	-7	-11	-23	-9	70
73,87	-0,021	-38,223	-24,449	-29,638	-0,009	-32	-7	-12	-23	-11	70
76,32	-0,021	-38,092	-24,309	-29,531	-0,004	-31	-8	-12	-23	-12	70
78,78	-0,025	-37,969	-24,176	-29,434	-0,009	-31	-10	-13	-23	-12	70
80,74	-0,026	-37,874	-24,076	-29,356	-0,014	-31	-11	-13	-22	-12	71
83,26	-0,023	-37,736	-23,938	-29,251	-0,016	-30	-13	-15	-22	-12	72
85,84	-0,030	-37,613	-23,813	-29,150	-0,016	-29	-16	-17	-23	-12	75
88,30	-0,032	-37,484	-23,680	-29,045	-0,012	-27	-17	-20	-22	-10	76
90,81	-0,032	-37,355	-23,542	-28,940	-0,016	-23	-21	-27	-23	-9	80
92,90	-0,032	-37,256	-23,440	-28,864	-0,012	-22	-23	-31	-24	-8	83
95,30	-0,036	-37,131	-23,308	-28,761	-0,091	-21	-25	-33	-24	-7	91
97,94	-0,042	-37,001	-23,173	-28,658	-0,096	-19	-27	-36	-23	-7	109
100,63	-0,038	-36,870	-23,041	-28,556	-0,093	-17	-28	-34	-20	-10	135
102,48	-0,040	-36,773	-22,937	-28,478	-0,091	-15	-28	-33	-11	-10	199
104,99	-0,036	-36,643	-22,800	-28,373	-0,089	-13	-26	-31	16	0	326
107,51	-0,034	-36,512	-22,668	-28,267	-0,091	-11	-24	-29	49	6	445
110,15	-0,040	-36,381	-22,530	-28,164	-0,091	-8	-19	-25	67	12	534
111,99	-0,045	-36,284	-22,431	-28,086	-0,093	-6	-13	-22	81	15	597
114,70	-0,043	-36,154	-22,295	-27,981	-0,091	-3	-6	-17	101	22	681
117,21	-0,049	-36,025	-22,161	-27,876	-0,100	0	0	-13	122	31	762
119,67	-0,053	-35,898	-22,019	-27,775	-0,098	4	3	-9	145	41	862
122,25	-0,057	-35,771	-21,885	-27,674	-0,095	7	6	-6	199	56	1072
124,21	-0,055	-35,672	-21,786	-27,597	-0,091	9	8	-3	221	69	1196
126,61	-0,055	-35,544	-21,652	-27,491	-0,093	11	13	0	260	86	1349
129,06	-0,053	-35,415	-21,516	-27,388	-0,096	12	16	2	317	109	1522
131,70	-0,051	-35,288	-21,380	-27,281	-0,093	16	19	5	398	133	1739
133,55	-0,057	-35,189	-21,281	-27,205	-0,096	18	22	7	447	156	1928
135,94	-0,057	-35,053	-21,141	-27,095	-0,096	18	25	10	508	188	2140
138,21	-0,083	-34,921	-20,999	-26,981	-0,095	19	27	11	500	220	2225
139,93	-0,087	-34,792	-20,859	-26,848	-0,095	18	31	13	405	239	2134
141,71	-0,093	-34,693	-20,753	-26,759	-0,093	17	32	14	379	246	2118

144,05	-0,100	-34,557	-20,615	-26,649	-0,118	17	35	16	356	254	2107
146,19	-0,098	-34,426	-20,487	-26,548	-0,116	16	39	16	337	258	2099
148,22	-0,094	-34,290	-20,358	-26,447	-0,116	14	40	16	320	262	2085
150,49	-0,098	-34,157	-20,226	-26,345	-0,114	13	43	16	302	268	2076
152,27	-0,102	-34,062	-20,125	-26,260	-0,112	12	45	16	289	271	2071
154,67	-0,098	-33,930	-19,989	-26,154	-0,114	10	47	16	271	277	2064
156,88	-0,094	-33,794	-19,853	-26,040	-0,114	7	51	17	254	284	2059
159,15	-0,096	-33,659	-19,715	-25,933	-0,111	3	54	18	237	290	2053
160,75	-0,140	-33,560	-19,621	-25,859	-0,175	0	57	20	227	293	2049
162,84	-0,140	-33,437	-19,493	-25,756	-0,178	-8	68	24	212	299	2046
164,92	-0,136	-33,297	-19,357	-25,647	-0,177	-17	78	27	200	304	2043
166,95	-0,140	-33,165	-19,232	-25,550	-0,175	-28	92	31	187	310	2042
168,42	-0,140	-33,062	-19,133	-25,472	-0,177	-38	101	32	176	315	2040
170,26	-0,138	-32,926	-19,002	-25,374	-0,177	-51	118	37	164	319	2039
172,17	-0,136	-32,795	-18,878	-25,271	-0,177	-55	146	51	154	325	2038
173,83	-0,142	-32,663	-18,753	-25,177	-0,178	-55	187	73	144	329	2036
175,05	-0,140	-32,531	-18,646	-25,099	-0,177	-49	258	128	135	333	2035
176,34	-0,136	-32,435	-18,559	-25,024	-0,173	19	313	172	130	337	2034
178,25	-0,170	-32,305	-18,436	-24,932	-0,186	70	391	232	122	341	2035
180,15	-0,164	-32,182	-18,313	-24,838	-0,184	98	461	276	114	346	2036
182,36	-0,168	-32,051	-18,182	-24,736	-0,184	119	545	324	108	349	2038
183,90	-0,178	-31,961	-18,094	-24,664	-0,186	148	677	443	102	350	2038
185,86	-0,206	-31,836	-17,979	-24,573	-0,184	207	861	578	94	352	2040
172,11	-0,236	-31,831	-18,203	-24,790	-0,195	173	4930	3386	103	342	1987
173,95	-0,238	-31,726	-18,119	-24,738	-0,202	103	5237	3824	103	344	1985
175,42	-0,236	-31,644	-18,053	-24,687	-0,196	68	5411	4059	102	344	1985
177,26	-0,240	-31,538	-17,969	-24,617	-0,196	-3	5508	4262	101	344	1986
178,55	-0,234	-31,430	-17,884	-24,564	-0,196	-110	5707	4492	100	346	1984
165,78	-0,240	-31,480	-18,145	-24,775	-0,198	104	7460	4571	110	335	1923
167,07	-0,234	-31,405	-18,122	-24,752	-0,196	348	7492	4187	109	333	1913
168,55	-0,238	-31,340	-18,074	-24,722	-0,198	412	7467	4105	109	333	1907
170,26	-0,236	-31,251	-18,014	-24,678	-0,198	257	7169	3528	109	332	1904
171,98	-0,236	-31,155	-17,945	-24,621	-0,196	265	7174	3381	109	332	1900
172,72	-0,240	-31,083	-17,897	-24,577	-0,203	320	7374	3308	109	331	1892
173,46	-0,240	-31,016	-17,846	-24,525	-0,205	355	7586	3410	109	332	1890
174,38	-0,246	-30,913	-17,776	-24,474	-0,207	426	7752	3898	109	330	1886
174,50	-0,242	-30,788	-17,682	-24,360	-0,207	481	6755	4254	109	330	1881
82,53	-0,055	-28,980	-17,563	-25,022	-0,128	1296	1410	288	122	258	1516
84,06	-0,053	-28,876	-17,483	-24,962	-0,134	1236	1398	218	122	258	1516

RESULTADOS EXPERIMENTAIS — VIGA V18_A

CARGA [kN]	LVDT # 2 [mm] apoio	LVDT # 3 [mm] carga	LVDT # 4 [mm] central	LVDT # 5 [mm] carga	LVDT # 6 [mm] apoio	ϵ_{0A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{0B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45B} [$\times 10^{-6}$]
0,00	0,000	-38,038	-40,739	-40,585	0,000	0	0	0	0	0	0
9,64	0,000	-37,924	-40,625	-40,482	-0,002	-1	0	0	0	0	1
12,22	0,002	-37,762	-40,457	-40,343	0,000	-2	0	1	-1	-1	5
14,43	0,004	-37,609	-40,310	-40,219	-0,005	-2	0	0	-1	0	7
16,03	0,004	-37,510	-40,220	-40,135	-0,004	-2	-1	1	-2	0	10
18,48	-0,004	-37,381	-40,103	-40,027	-0,007	-3	0	1	-2	-1	12
21,12	-0,006	-37,251	-39,969	-39,928	-0,007	-4	0	1	-2	0	15
23,82	-0,009	-37,126	-39,836	-39,814	-0,007	-4	-1	1	-2	0	19
26,46	-0,011	-37,033	-39,741	-39,729	-0,005	-4	-1	2	-2	0	21
29,60	-0,015	-36,917	-39,622	-39,628	-0,007	-4	0	3	-1	0	25
32,91	-0,017	-36,797	-39,493	-39,523	-0,011	-4	-1	4	-1	0	28
35,55	-0,015	-36,700	-39,394	-39,445	-0,012	-4	-1	6	-1	0	31
38,87	-0,017	-36,579	-39,266	-39,345	-0,014	-3	-1	7	1	0	35
42,18	-0,015	-36,449	-39,139	-39,247	-0,016	-3	-2	9	1	0	37
45,38	-0,019	-36,322	-39,003	-39,137	-0,016	-3	-2	10	2	-1	42
47,89	-0,017	-36,217	-38,889	-39,054	-0,021	-1	-2	12	3	-1	44

51,03	-0,019	-36,090	-38,753	-38,944	-0,021	0	-2	12	4	-1	49
54,10	-0,015	-35,956	-38,613	-38,839	-0,023	0	-2	14	6	-2	50
56,49	-0,017	-35,850	-38,498	-38,747	-0,021	0	-3	14	8	-2	52
59,56	-0,015	-35,712	-38,356	-38,640	-0,027	1	-3	15	10	-1	54
62,57	-0,017	-35,581	-38,216	-38,528	-0,025	0	-3	17	12	-1	56
65,82	-0,019	-35,443	-38,069	-38,413	-0,025	1	-3	18	13	0	56
68,34	-0,021	-35,338	-37,955	-38,322	-0,025	2	-4	20	14	1	57
71,53	-0,015	-35,199	-37,810	-38,207	-0,027	2	-6	22	15	5	58
74,67	-0,015	-35,060	-37,664	-38,090	-0,025	2	-6	24	19	5	56
77,74	-0,017	-34,928	-37,521	-37,972	-0,025	4	-6	25	21	6	57
80,44	-0,015	-34,816	-37,407	-37,882	-0,029	4	-8	27	20	12	59
83,63	-0,013	-34,684	-37,260	-37,765	-0,027	6	-10	31	18	17	60
86,95	-0,019	-34,547	-37,112	-37,649	-0,027	6	-11	34	14	27	63
89,46	-0,036	-34,439	-36,999	-37,557	-0,027	8	-12	30	9	45	70
92,53	-0,034	-34,301	-36,849	-37,438	-0,029	8	-13	25	3	221	100
95,79	-0,036	-34,165	-36,702	-37,321	-0,027	8	-12	24	-1	348	128
98,92	-0,034	-34,031	-36,558	-37,202	-0,027	7	-14	25	3	515	200
101,49	-0,034	-33,922	-36,441	-37,104	-0,052	9	-13	29	103	864	452
104,50	-0,036	-33,788	-36,297	-36,980	-0,050	12	-11	38	250	1260	747
107,63	-0,036	-33,652	-36,150	-36,857	-0,054	15	-11	47	343	1539	1015
110,21	-0,038	-33,542	-36,038	-36,765	-0,054	16	-11	53	409	1749	1214
113,34	-0,032	-33,398	-35,884	-36,639	-0,050	18	-10	60	558	2068	1717
116,48	-0,038	-33,271	-35,742	-36,527	-0,052	22	-10	68	677	2333	2131
119,61	-0,034	-33,124	-35,572	-36,399	-0,073	27	-6	72	757	2618	2560
122,00	-0,036	-33,017	-35,457	-36,307	-0,079	28	-8	73	784	2828	2824
125,01	-0,072	-32,883	-35,311	-36,184	-0,073	33	-7	71	765	3069	3127
127,96	-0,066	-32,753	-35,162	-36,056	-0,071	34	-3	68	771	3263	3413
130,54	-0,072	-32,652	-35,048	-35,964	-0,077	31	0	67	750	3372	3574
133,48	-0,074	-32,517	-34,908	-35,841	-0,080	18	1	70	740	3538	3783
136,31	-0,068	-32,379	-34,746	-35,715	-0,080	6	4	76	744	3708	4012
139,26	-0,066	-32,241	-34,599	-35,587	-0,082	-4	14	81	740	3861	4182
141,47	-0,070	-32,139	-34,480	-35,486	-0,104	-11	21	81	712	3989	4305
144,54	-0,076	-31,999	-34,329	-35,358	-0,104	-21	35	82	685	4140	4418
147,36	-0,079	-31,851	-34,168	-35,220	-0,100	-35	58	85	663	4257	4514
150,06	-0,079	-31,706	-34,013	-35,081	-0,096	-56	90	94	642	4361	4600
152,46	-0,076	-31,579	-33,877	-34,966	-0,096	-65	137	107	620	4456	4678
155,34	-0,081	-31,432	-33,717	-34,822	-0,098	-66	190	147	591	4583	4788
158,48	-0,087	-31,280	-33,549	-34,680	-0,102	-63	248	178	561	4720	4907
160,81	-0,091	-31,163	-33,421	-34,568	-0,102	-45	304	212	542	4831	5003
163,63	-0,089	-31,016	-33,264	-34,431	-0,104	14	388	270	523	4985	5135
166,40	-0,089	-30,866	-33,098	-34,291	-0,104	132	489	353	510	5148	5276
169,34	-0,087	-30,717	-32,938	-34,151	-0,109	218	596	437	497	5316	5416
171,37	-0,091	-30,599	-32,813	-34,042	-0,105	297	702	516	487	5456	5526
174,19	-0,089	-30,448	-32,649	-33,902	-0,102	377	860	615	471	5641	5672
177,02	-0,096	-30,295	-32,479	-33,756	-0,132	434	1005	705	430	5822	5794
179,23	-0,091	-30,172	-32,343	-33,639	-0,130	480	1115	772	395	5944	5891
182,05	-0,095	-30,017	-32,168	-33,483	-0,130	531	1272	863	376	6108	6061
184,76	-0,095	-29,862	-31,992	-33,334	-0,130	602	1483	986	355	6260	6169
187,40	-0,091	-29,706	-31,821	-33,183	-0,127	604	1668	1115	330	6400	6229
189,61	-0,093	-29,575	-31,681	-33,058	-0,127	956	2476	2310	309	6527	6286
192,19	-0,123	-29,417	-31,500	-32,900	-0,127	1081	2903	2792	283	6688	6365
194,83	-0,123	-29,258	-31,327	-32,746	-0,125	1160	3187	3132	264	6780	6382
197,10	-0,121	-29,137	-31,189	-32,620	-0,130	1186	3381	3370	257	6833	6414
199,55	-0,127	-28,978	-31,012	-32,467	-0,132	1212	3621	3673	242	6942	6431
202,13	-0,138	-28,823	-30,840	-32,305	-0,141	1205	3884	3977	220	7080	6432
204,53	-0,140	-28,665	-30,661	-32,146	-0,141	1287	4127	4272	195	7218	6401
206,49	-0,140	-28,538	-30,523	-32,016	-0,143	1333	4292	4504	186	7343	6422
209,01	-0,140	-28,381	-30,344	-31,858	-0,141	1312	4503	4780	184	7439	6471
211,34	-0,144	-28,221	-30,167	-31,696	-0,145	1345	4695	5050	185	7550	6482
213,86	-0,142	-28,060	-29,988	-31,533	-0,145	1410	4899	5332	185	7676	6508
215,76	-0,136	-27,935	-29,843	-31,401	-0,141	1452	5055	5528	181	7758	6537
217,42	-0,151	-27,771	-29,680	-31,265	-0,141	1534	5413	5779	178	7797	6529
219,63	-0,153	-27,620	-29,511	-31,112	-0,139	1637	5571	5897	179	7890	6556
221,41	-0,157	-27,489	-29,371	-30,982	-0,145	1649	5681	5943	178	7994	6584
223,75	-0,155	-27,331	-29,196	-30,821	-0,145	1658	5805	6018	138	8119	6600
225,77	-0,155	-27,161	-29,017	-30,656	-0,145	1569	5937	5934	109	8184	6571
227,92	-0,151	-26,995	-28,839	-30,490	-0,143	1554	6060	6029	84	8306	6571
229,70	-0,161	-26,872	-28,696	-30,366	-0,141	1557	6157	6116	67	8421	6564
231,54	-0,170	-26,717	-28,528	-30,213	-0,137	1556	6347	6278	57	8507	6551
233,51	-0,176	-26,564	-28,353	-30,048	-0,141	1572	6491	6399	42	8628	6490

235,17	-0,178	-26,439	-28,209	-29,910	-0,141	1577	6601	6455	22	8741	6459
237,50	-0,178	-26,273	-28,023	-29,732	-0,145	1577	6739	6502	20	8889	6442
239,47	-0,172	-26,111	-27,836	-29,563	-0,139	1565	6897	6615	-5	9015	6389
241,19	-0,180	-25,943	-27,644	-29,372	-0,143	1555	7044	6742	-67	9097	6257
242,90	-0,180	-25,816	-27,501	-29,233	-0,143	1558	7139	6760	-114	9152	6175
244,99	-0,172	-25,650	-27,311	-29,064	-0,141	1545	7265	6811	-171	9197	6060
247,02	-0,172	-25,489	-27,141	-28,901	-0,143	1491	7291	6733	-217	9254	5924
248,68	-0,206	-25,364	-26,999	-28,773	-0,143	1457	7360	6718	-227	9336	5822
249,78	-0,257	-25,222	-26,846	-28,638	-0,295	1413	7566	6904	-290	9110	5202
251,38	-0,255	-25,054	-26,665	-28,468	-0,293	1409	7641	6974	-264	9203	5038
253,34	-0,259	-24,905	-26,492	-28,308	-0,296	1391	7722	7090	-217	9336	4907
254,33	-0,257	-24,782	-26,343	-28,164	-0,295	1382	7778	7174	-67	9617	4889
41,14	-0,038	-27,792	-24,068	-20,048	-0,016	895	3033	2745	-	-330	-
44,03	-0,040	-27,674	-23,891	-19,826	-0,020	880	3019	2725	-	-445	-
44,95	-0,045	-27,618	-23,807	-19,728	-0,021	873	3015	2717	-	-481	-

RESULTADOS EXPERIMENTAIS — VIGA V18_B

CARGA [kN]	LVDT # 2 [mm] apoio	LVDT # 3 [mm] carga	LVDT # 4 [mm] central	LVDT # 5 [mm] carga	LVDT # 6 [mm] apoio	ϵ_{0A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{0B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45B} [$\times 10^{-6}$]
0,00	0,000	-37,702	-35,035	-36,775	0,002	-1	-2	0	0	0	-1
12,34	0,000	-37,408	-34,718	-36,504	-0,004	-2	-2	-1	-2	-2	4
18,36	-0,004	-37,126	-34,424	-36,264	-0,004	-3	-3	0	-4	-2	9
24,99	-0,004	-36,896	-34,166	-36,058	-0,007	-3	-2	0	-6	-3	16
32,36	-0,002	-36,676	-33,922	-35,857	-0,009	-2	-3	1	-8	-3	23
39,85	-0,004	-36,456	-33,669	-35,651	-0,009	-1	-3	3	-9	-6	30
47,22	-0,004	-36,213	-33,402	-35,436	-0,009	-1	-5	3	-9	-8	38
54,16	-0,004	-35,960	-33,126	-35,218	-0,005	0	-6	5	-8	-10	46
60,67	-0,004	-35,699	-32,837	-34,989	-0,007	1	-6	8	-7	-13	53
67,36	-0,006	-35,430	-32,552	-34,765	-0,007	1	-5	9	-7	-15	61
74,05	-0,006	-35,156	-32,259	-34,540	-0,004	6	-6	7	-7	-16	67
80,74	-0,006	-34,891	-31,970	-34,314	0,000	10	-5	3	2	-25	55
87,50	-0,006	-34,629	-31,677	-34,074	0,000	12	-2	-3	0	-26	41
94,01	-0,008	-34,368	-31,392	-33,849	0,000	13	-3	-10	-2	-26	37
100,88	-0,015	-34,103	-31,101	-33,605	0,000	16	-7	-12	-9	-22	40
108,37	-0,015	-33,797	-30,782	-33,351	0,000	18	-8	-9	-14	-11	50
115,13	-0,025	-33,517	-30,475	-33,103	-0,045	19	-7	-4	-20	1	58
122,06	-0,017	-33,221	-30,156	-32,858	-0,045	21	12	9	-27	15	69
129,13	-0,015	-32,943	-29,846	-32,613	-0,052	32	64	69	-39	26	78
135,94	-0,019	-32,656	-29,529	-32,348	-0,073	63	133	184	-71	24	71
142,94	-0,017	-32,364	-29,222	-32,089	-0,073	100	194	311	-93	26	69
149,51	-0,081	-32,079	-28,914	-31,828	-0,075	137	259	430	-107	30	69
156,27	-0,077	-31,784	-28,599	-31,568	-0,071	181	332	547	-118	36	73
162,47	-0,087	-31,506	-28,299	-31,311	-0,070	229	428	687	-128	42	76
168,85	-0,087	-31,236	-27,997	-31,062	-0,071	270	484	755	-131	56	89
175,30	-0,100	-30,939	-27,691	-30,803	-0,157	264	509	771	-138	73	100
181,62	-0,129	-30,657	-27,381	-30,535	-0,162	248	523	771	-144	88	109
187,89	-0,134	-30,364	-27,064	-30,263	-0,162	230	531	765	-147	114	126
194,03	-0,134	-30,073	-26,740	-29,993	-0,177	207	543	757	-141	165	157
200,84	-0,136	-29,752	-26,390	-29,689	-0,171	189	555	754	-121	277	266
206,98	-0,138	-29,461	-26,069	-29,418	-0,216	173	570	753	-95	388	388
213,25	-0,180	-29,157	-25,741	-29,130	-0,211	162	586	762	-68	525	531
219,20	-0,197	-28,862	-25,411	-28,857	-0,225	154	599	773	-11	711	734
225,10	-0,191	-28,570	-25,077	-28,569	-0,227	146	617	791	44	923	974
230,99	-0,191	-28,275	-24,749	-28,295	-0,227	140	628	810	99	1173	1244
236,46	-0,197	-27,986	-24,423	-28,020	-0,228	129	637	820	176	1432	1603
242,11	-0,231	-27,685	-24,089	-27,738	-0,225	120	650	835	232	1625	1844
247,51	-0,229	-27,390	-23,766	-27,455	-0,225	111	666	853	281	1791	2053
252,91	-0,231	-27,092	-23,438	-27,169	-0,225	100	682	870	318	1917	2236
258,32	-0,229	-26,797	-23,110	-26,887	-0,227	92	699	888	339	2025	2400

263,47	-0,232	-26,497	-22,780	-26,599	-0,227	87	714	905	357	2136	2551
268,69	-0,234	-26,198	-22,441	-26,312	-0,225	83	731	922	382	2280	2748
273,73	-0,232	-25,898	-22,096	-26,013	-0,227	80	755	944	405	2441	2980
279,32	-0,232	-25,571	-21,732	-25,699	-0,227	75	784	970	429	2591	3231
284,47	-0,272	-25,269	-21,395	-25,409	-0,307	71	809	994	460	2710	3472
289,32	-0,270	-24,959	-21,053	-25,116	-0,307	63	834	1020	497	2816	3765
294,05	-0,276	-24,650	-20,714	-24,822	-0,309	53	863	1045	524	2921	3994
298,72	-0,274	-24,346	-20,371	-24,514	-0,311	48	896	1075	530	3026	4172
303,32	-0,278	-24,034	-20,030	-24,218	-0,309	47	938	1117	532	3133	4323
307,81	-0,274	-23,739	-19,694	-23,928	-0,309	47	1000	1175	526	3218	4429
312,29	-0,352	-23,429	-19,344	-23,635	-0,305	45	1057	1226	527	3308	4548
316,77	-0,350	-23,118	-18,993	-23,337	-0,309	33	1138	1286	535	3405	4679
321,07	-0,352	-22,804	-18,641	-23,037	-0,312	23	1252	1357	540	3489	4789
325,12	-0,380	-22,500	-18,294	-22,733	-0,309	19	1366	1435	545	3571	4894
329,24	-0,380	-22,189	-17,942	-22,424	-0,309	17	1460	1495	548	3655	4990
333,04	-0,380	-21,877	-17,593	-22,128	-0,309	8	1483	1505	555	3750	5098
336,79	-0,378	-21,564	-17,240	-21,835	-0,309	-1	1526	1530	560	3843	5203
340,66	-0,382	-21,261	-16,892	-21,540	-0,307	-7	1576	1564	556	3922	5279
344,16	-0,425	-20,929	-16,508	-21,222	-0,314	-12	1636	1609	553	4031	5383
346,74	-0,425	-20,666	-16,196	-20,929	-0,312	-14	1684	1645	550	4312	5690
350,24	-0,421	-20,362	-15,864	-20,636	-0,314	-19	1735	1685	554	4457	5847
353,49	-0,420	-20,056	-15,514	-20,337	-0,316	-22	1792	1726	543	4547	5933
356,68	-0,420	-19,748	-15,163	-20,032	-0,314	-23	1854	1774	532	4629	6010
359,88	-0,421	-19,435	-14,817	-19,723	-0,312	-25	1912	1823	526	4718	6101
362,89	-0,423	-19,108	-14,453	-19,403	-0,314	-25	1970	1870	524	4806	6197
365,71	-0,484	-18,799	-14,099	-19,108	-0,396	-24	2030	1918	515	4886	6268
368,53	-0,484	-18,480	-13,745	-18,796	-0,394	-22	2092	1969	506	4965	6334
371,24	-0,480	-18,170	-13,401	-18,505	-0,400	-20	2155	2022	502	5046	6404
373,69	-0,484	-17,864	-13,047	-18,201	-0,400	-12	2214	2075	498	5123	6474
376,15	-0,486	-17,504	-12,695	-17,899	-0,400	0	2276	2134	495	5200	6547
378,54	-0,488	-17,194	-12,339	-17,599	-0,402	7	2340	2197	492	5272	6620
380,88	-0,484	-16,884	-11,984	-17,299	-0,396	9	2401	2270	493	5336	6703
383,27	-0,484	-16,528	-11,585	-16,951	-0,398	8	2453	2322	497	5409	6796
385,30	-0,493	-16,209	-11,224	-16,649	-0,398	11	2504	2374	499	5459	6883
387,26	-0,529	-15,896	-10,864	-16,331	-0,412	14	2557	2426	503	5513	6968
389,23	-0,527	-15,582	-10,500	-16,013	-0,418	17	2613	2478	503	5567	7052
390,95	-0,531	-15,269	-10,129	-15,692	-0,418	29	2666	2541	504	5618	7152
392,54	-0,541	-14,953	-9,766	-15,386	-0,416	40	2718	2598	505	5668	7229
394,14	-0,552	-14,636	-9,395	-15,084	-0,418	50	2771	2650	507	5719	7307
395,74	-0,544	-14,317	-9,030	-14,781	-0,416	70	2825	2706	509	5772	7383
397,15	-0,550	-13,996	-8,657	-14,475	-0,418	83	2877	2756	511	5828	7459
398,44	-0,554	-13,683	-8,282	-14,164	-0,416	93	2926	2806	513	5886	7526
399,54	-0,554	-13,364	-7,904	-13,848	-0,416	131	2971	2859	515	5945	7592
400,77	-0,554	-13,048	-7,527	-13,520	-0,418	146	3015	2906	516	6004	7653
401,57	-0,565	-12,722	-7,143	-13,214	-0,414	153	3060	2956	519	6059	7716
402,49	-0,567	-12,395	-6,757	-12,903	-0,416	166	3186	3042	525	6110	7770
403,35	-0,561	-12,047	-6,330	-12,552	-0,416	178	3256	3106	538	6159	7830
403,90	-0,567	-11,722	-5,940	-12,236	-0,416	185	3311	3161	571	6192	7893
404,45	-0,567	-11,405	-5,541	-11,911	-0,416	187	3357	3207	583	6227	7938
404,70	-0,567	-11,084	-5,142	-11,587	-0,418	189	3400	3248	591	6260	7974
404,70	-0,567	-10,759	-4,738	-11,273	-0,418	190	3437	3290	596	6286	8005
404,76	-0,567	-10,420	-4,324	-10,950	-0,416	194	3470	3324	601	6309	8028
404,45	-0,565	-10,089	-3,919	-10,627	-0,414	198	3497	3355	603	6328	8047
403,72	-0,573	-9,741	-3,492	-10,287	-0,452	201	3519	3381	605	6344	8062
402,92	-0,575	-9,379	-3,067	-9,970	-0,452	201	3538	3401	608	6354	8069
401,45	-0,571	-9,002	-2,631	-9,659	-0,452	202	3550	3415	608	6359	8066
398,93	-0,569	-8,595	-2,170	-9,363	-0,452	202	3554	3423	607	6357	8058
394,81	-0,571	-8,161	-1,682	-9,068	-0,453	202	3552	3421	605	6343	8034
387,39	-0,510	-7,681	-1,137	-8,782	-0,450	201	3538	3407	600	6311	7983
130,54	-0,244	-3,571	3,058	-9,670	-0,182	44	2209	2071	261	3763	4526
125,75	-0,236	-2,769	3,548	-9,514	-0,178	49	2193	2071	279	3731	4480

RESULTADOS EXPERIMENTAIS — VIGA V19_A

CARGA [kN]	LVDT # 2 [mm] apoio	LVDT # 3 [mm] carga	LVDT # 4 [mm] central	LVDT # 5 [mm] carga	LVDT # 6 [mm] apoio	ϵ_{0A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{0B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45B} [$\times 10^{-6}$]
0,00	0,000	-41,273	-43,563	-38,535	-0,002	0	0	-1	0	0	0
11,67	-0,002	-41,171	-43,457	-38,447	0,002	-1	0	-1	-1	0	1
14,18	-0,006	-41,018	-43,302	-38,322	-0,002	-2	-1	-1	-2	0	5
16,70	-0,006	-40,885	-43,166	-38,216	-0,005	-2	-1	0	-4	0	8
18,85	-0,006	-40,743	-43,023	-38,100	-0,009	-4	-1	0	-5	0	11
21,25	-0,004	-40,596	-42,877	-37,981	-0,009	-4	-1	0	-6	0	13
23,52	-0,008	-40,447	-42,734	-37,866	-0,012	-4	-1	0	-8	0	17
26,03	-0,009	-40,299	-42,585	-37,749	-0,011	-6	-1	0	-8	0	20
29,17	-0,008	-40,133	-42,413	-37,610	-0,012	-6	-2	0	-9	0	23
31,93	-0,009	-40,012	-42,288	-37,511	-0,012	-7	-1	1	-10	1	27
34,69	-0,011	-39,885	-42,159	-37,406	-0,014	-7	-2	1	-11	1	31
37,76	-0,015	-39,770	-42,036	-37,310	-0,016	-6	-2	1	-11	0	35
40,53	-0,015	-39,656	-41,915	-37,207	-0,016	-6	-3	2	-11	0	38
43,53	-0,017	-39,544	-41,792	-37,107	-0,016	-6	-4	3	-11	0	43
46,30	-0,015	-39,432	-41,677	-37,004	-0,012	-6	-4	4	-10	0	48
49,86	-0,019	-39,292	-41,520	-36,884	-0,014	-5	-4	4	-10	-1	53
52,62	-0,015	-39,184	-41,401	-36,790	-0,016	-5	-4	5	-10	-1	58
55,51	-0,017	-39,070	-41,276	-36,688	-0,012	-4	-6	7	-9	-2	62
57,90	-0,017	-38,956	-41,154	-36,585	-0,014	-3	-6	5	-9	-2	65
60,48	-0,017	-38,842	-41,030	-36,489	-0,014	-2	-6	6	-8	-1	69
63,18	-0,019	-38,728	-40,899	-36,394	-0,012	-1	-5	7	-7	-1	73
65,64	-0,017	-38,613	-40,776	-36,294	-0,014	-1	-6	6	-7	0	78
69,02	-0,017	-38,469	-40,623	-36,170	-0,016	0	-5	8	-5	2	86
71,66	-0,019	-38,355	-40,496	-36,070	-0,014	-1	-4	8	-4	7	88
74,36	-0,015	-38,240	-40,368	-35,960	-0,014	0	-5	3	-3	8	93
77,18	-0,017	-38,124	-40,245	-35,868	-0,014	0	-4	0	-3	11	99
79,64	-0,019	-38,016	-40,122	-35,768	-0,012	1	-5	-2	-1	17	106
82,40	-0,019	-37,898	-39,997	-35,674	-0,023	1	-3	-4	1	27	120
85,23	-0,021	-37,784	-39,875	-35,580	-0,025	1	-2	-6	7	45	139
88,54	-0,017	-37,648	-39,723	-35,459	-0,023	2	-2	-5	82	107	118
91,31	-0,017	-37,534	-39,598	-35,364	-0,023	4	-3	-5	193	156	129
94,01	-0,011	-37,424	-39,475	-35,269	-0,023	5	-4	-3	260	192	145
96,59	-0,011	-37,312	-39,355	-35,175	-0,021	7	-5	-2	311	220	158
99,35	-0,017	-37,204	-39,240	-35,081	-0,023	8	-6	-2	359	248	171
102,11	-0,015	-37,096	-39,118	-34,991	-0,025	10	-6	-1	405	277	181
104,87	-0,017	-36,988	-39,005	-34,904	-0,025	10	-8	0	455	312	193
108,25	-0,021	-36,857	-38,861	-34,788	-0,023	12	-10	1	524	363	211
110,95	-0,019	-36,758	-38,751	-34,701	-0,025	14	-11	3	585	410	224
113,65	-0,021	-36,650	-38,632	-34,612	-0,023	16	-12	4	655	467	243
116,41	-0,015	-36,546	-38,520	-34,522	-0,025	16	-14	5	723	528	262
118,99	-0,019	-36,445	-38,408	-34,433	-0,025	18	-15	6	789	592	282
121,70	-0,019	-36,342	-38,292	-34,342	-0,027	20	-17	6	854	658	303
124,46	-0,021	-36,234	-38,175	-34,248	-0,025	23	-18	4	927	729	326
127,77	-0,021	-36,107	-38,039	-34,129	-0,025	25	-19	2	1040	839	358
130,29	-0,019	-36,003	-37,925	-34,028	-0,025	31	-16	5	1119	927	383
132,87	-0,053	-35,900	-37,808	-33,920	-0,025	35	-10	8	1191	1027	409
135,45	-0,053	-35,796	-37,687	-33,820	-0,027	35	-6	9	1236	1117	430
137,91	-0,053	-35,691	-37,567	-33,723	-0,029	39	-3	10	1241	1181	441
140,30	-0,068	-35,585	-37,448	-33,623	-0,109	46	8	21	1227	1224	446
142,70	-0,072	-35,480	-37,330	-33,525	-0,105	48	20	33	1211	1256	446
145,27	-0,074	-35,376	-37,213	-33,428	-0,109	26	7	17	1193	1278	446
148,41	-0,070	-35,245	-37,056	-33,303	-0,107	1	-4	4	1177	1291	453
150,74	-0,066	-35,135	-36,935	-33,209	-0,107	-12	-10	0	1168	1309	460
153,13	-0,066	-35,031	-36,818	-33,112	-0,109	-30	-18	-7	1160	1333	468
155,65	-0,066	-34,922	-36,696	-33,018	-0,105	-47	-29	-13	1154	1359	475
158,11	-0,066	-34,810	-36,573	-32,922	-0,107	-58	-35	-15	1151	1389	482
160,50	-0,066	-34,700	-36,452	-32,820	-0,107	-67	-39	-16	1150	1422	491
162,96	-0,094	-34,592	-36,335	-32,726	-0,107	-75	-43	-15	1148	1456	500
165,97	-0,094	-34,450	-36,178	-32,598	-0,107	-84	-43	-16	1144	1491	511
168,42	-0,094	-34,342	-36,057	-32,501	-0,105	-97	-43	-16	1143	1520	522
170,76	-0,130	-34,226	-35,934	-32,401	-0,109	-108	-42	-16	1142	1549	532
173,09	-0,130	-34,111	-35,813	-32,304	-0,105	-120	-43	-17	1142	1581	545

175,55	-0,130	-33,999	-35,690	-32,206	-0,107	-131	-43	-19	1142	1613	558
177,82	-0,138	-33,879	-35,567	-32,101	-0,105	-141	-43	-21	1142	1644	570
180,15	-0,144	-33,764	-35,444	-31,996	-0,105	-150	-41	-22	1140	1675	581
183,04	-0,138	-33,590	-35,279	-31,861	-0,105	-162	-40	-23	1140	1713	594
185,37	-0,181	-33,482	-35,153	-31,760	-0,205	-171	-39	-24	1140	1740	605
187,83	-0,183	-33,366	-35,028	-31,659	-0,207	-179	-37	-26	1143	1768	618
190,04	-0,183	-33,251	-34,903	-31,559	-0,207	-187	-36	-27	1141	1796	635
192,37	-0,181	-33,131	-34,776	-31,456	-0,205	-195	-35	-28	1135	1815	651
194,52	-0,183	-33,016	-34,646	-31,348	-0,203	-206	-32	-29	1130	1826	669
196,85	-0,181	-32,900	-34,519	-31,243	-0,207	-215	-30	-30	1127	1836	687
199,62	-0,183	-32,756	-34,358	-31,114	-0,207	-231	-24	-30	1124	1856	716
201,83	-0,183	-32,635	-34,230	-31,007	-0,207	-249	-22	-32	1121	1874	746
203,97	-0,189	-32,516	-34,101	-30,901	-0,205	-269	-20	-34	1116	1892	785
206,06	-0,187	-32,396	-33,976	-30,798	-0,205	-298	-14	-37	1112	1913	841
208,09	-0,191	-32,275	-33,844	-30,693	-0,203	-340	-12	-42	1116	1941	913
210,12	-0,189	-32,152	-33,710	-30,583	-0,205	-387	-14	-48	1120	1962	1012
211,90	-0,191	-32,029	-33,577	-30,474	-0,207	-473	-20	-56	1124	1990	1110
214,29	-0,210	-31,872	-33,411	-30,338	-0,202	-594	-54	-43	1124	2023	1239
216,32	-0,206	-31,752	-33,281	-30,235	-0,203	-750	11	48	1113	2051	1429
218,10	-0,212	-31,622	-33,143	-30,149	-0,207	-545	344	724	1100	2085	1648
219,82	-0,210	-31,493	-33,009	-30,052	-0,207	-430	505	1096	1082	2126	1940
221,60	-0,208	-31,372	-32,880	-29,963	-0,207	-371	641	1316	1063	2172	2262
223,38	-0,212	-31,243	-32,746	-29,858	-0,207	-345	732	1480	1045	2219	2579
225,04	-0,212	-31,113	-32,604	-29,737	-0,205	-332	856	1624	1021	2264	2865
227,12	-0,206	-30,950	-32,427	-29,586	-0,205	-326	1037	3072	998	2319	3228
228,72	-0,212	-30,820	-32,289	-29,467	-0,223	-275	1235	-	979	2361	3552
230,50	-0,212	-30,687	-32,145	-29,352	-0,225	-264	1369	-	964	2411	3905
232,04	-0,212	-30,562	-32,015	-29,249	-0,223	-253	1366	-	947	2464	4331
233,57	-0,210	-30,441	-31,886	-29,144	-0,221	-326	1398	-	894	2626	5405
234,92	-0,210	-30,318	-31,754	-29,029	-0,223	-399	1531	-	815	2809	6017
235,97	-0,214	-30,189	-31,623	-28,912	-0,223	-477	1754	-	756	3032	5307
234,68	-0,291	-30,036	-31,439	-28,786	-0,275	-614	2399	-	788	3431	5755
234,00	-0,291	-29,928	-31,368	-28,729	-0,275	-543	2713	-	806	3608	6061
234,55	-0,291	-29,799	-31,250	-28,633	-0,277	-472	3231	-	834	3847	6496
234,43	-0,293	-29,667	-31,142	-28,544	-0,277	23	3696	-	868	4065	6886
233,33	-0,291	-29,480	-31,013	-28,455	-0,269	3659	4132	-	894	4132	7086
51,27	-0,042	-25,211	-30,976	-30,704	-0,052	-	-	-	441	2136	3518
53,24	-0,040	-25,086	-30,887	-30,638	-0,057	-	-	-	459	2151	3507
53,30	-0,042	-25,082	-30,887	-30,641	-0,055	-	-	-	469	2154	3501

RESULTADOS EXPERIMENTAIS — VIGA V19_B

CARGA [kN]	LVDT # 2 [mm] apoio	LVDT # 3 [mm] carga	LVDT # 4 [mm] central	LVDT # 5 [mm] carga	LVDT # 6 [mm] apoio	ϵ_{0A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{0B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45B} [$\times 10^{-6}$]
0,00	0,009	-36,868	-32,813	-38,754	0,002	0	0	-1	0	0	0
9,46	0,004	-36,811	-32,759	-38,701	-0,005	-1	0	0	0	0	0
12,46	0,006	-36,672	-32,617	-38,580	-0,005	-3	0	-2	-3	0	3
15,72	0,006	-36,542	-32,479	-38,471	-0,007	-3	0	-1	-5	0	4
18,73	0,004	-36,421	-32,352	-38,372	-0,009	-5	0	-1	-7	0	8
21,49	0,008	-36,303	-32,231	-38,274	-0,009	-6	0	-2	-8	0	10
24,25	0,006	-36,191	-32,117	-38,182	-0,007	-7	1	-2	-11	1	12
26,96	0,006	-36,085	-32,009	-38,098	-0,007	-8	0	-2	-12	1	14
29,96	0,006	-35,973	-31,894	-38,004	-0,011	-9	0	-2	-14	1	17
32,67	0,000	-35,861	-31,776	-37,916	-0,009	-10	0	-3	-15	1	19
35,86	-0,004	-35,749	-31,664	-37,825	-0,011	-11	-1	-4	-17	1	22
38,68	-0,008	-35,637	-31,545	-37,733	-0,011	-12	0	-3	-20	1	24
41,69	-0,006	-35,521	-31,426	-37,640	-0,011	-12	0	-4	-21	1	26
43,72	-0,011	-35,435	-31,338	-37,575	-0,009	-12	0	-2	-22	1	28
46,54	-0,013	-35,318	-31,211	-37,482	-0,009	-12	-1	-2	-24	1	31
49,43	-0,013	-35,197	-31,088	-37,385	-0,011	-11	-1	-1	-25	1	35

52,19	-0,017	-35,075	-30,963	-37,289	-0,009	-11	-1	-1	-27	0	37
54,83	-0,017	-34,952	-30,831	-37,189	-0,011	-12	-1	-2	-29	0	41
57,47	-0,015	-34,827	-30,697	-37,086	-0,011	-12	-2	-2	-29	0	43
59,99	-0,019	-34,697	-30,562	-36,983	-0,011	-13	-1	-2	-30	0	47
62,39	-0,017	-34,568	-30,422	-36,882	-0,012	-13	-3	-1	-31	-1	49
65,03	-0,017	-34,439	-30,286	-36,781	-0,011	-12	-5	0	-31	0	51
67,73	-0,019	-34,310	-30,150	-36,672	-0,011	-12	-5	1	-33	0	53
70,24	-0,015	-34,176	-30,012	-36,566	-0,011	-12	-6	2	-34	0	56
72,82	-0,015	-34,044	-29,876	-36,463	-0,023	-9	-10	2	-35	0	57
75,28	-0,017	-33,911	-29,731	-36,353	-0,023	-6	-12	4	-36	0	60
77,31	-0,017	-33,814	-29,632	-36,275	-0,023	-6	-15	4	-37	0	62
79,95	-0,019	-33,680	-29,490	-36,166	-0,021	-2	-18	6	-37	0	62
82,65	-0,017	-33,547	-29,349	-36,056	-0,021	1	-20	6	-37	0	64
85,29	-0,019	-33,411	-29,211	-35,948	-0,029	4	-23	7	-37	-1	66
87,87	-0,017	-33,279	-29,067	-35,838	-0,029	9	-28	10	-37	0	68
90,57	-0,019	-33,144	-28,929	-35,731	-0,030	12	-32	12	-36	0	69
93,27	-0,017	-33,010	-28,791	-35,633	-0,020	17	-37	12	-34	1	70
96,03	-0,019	-32,878	-28,653	-35,522	-0,021	22	-40	11	-34	0	73
98,86	-0,015	-32,739	-28,515	-35,415	-0,020	25	-45	7	-34	2	74
101,43	-0,021	-32,607	-28,377	-35,307	-0,020	29	-47	8	-33	6	75
104,32	-0,021	-32,473	-28,235	-35,195	-0,070	32	-51	8	-33	10	77
107,02	-0,017	-32,335	-28,094	-35,086	-0,068	37	-55	7	-33	13	65
109,05	-0,015	-32,230	-27,989	-35,005	-0,070	39	-56	9	-33	15	63
111,69	-0,021	-32,098	-27,849	-34,898	-0,070	42	-55	12	-36	20	63
114,51	-0,019	-31,961	-27,708	-34,786	-0,070	46	-51	12	-40	24	67
117,15	-0,021	-31,827	-27,566	-34,676	-0,080	46	-51	13	-42	29	77
119,79	-0,023	-31,691	-27,430	-34,568	-0,077	47	-49	14	-46	33	92
122,55	-0,019	-31,553	-27,288	-34,460	-0,078	47	-47	13	-46	38	113
125,26	-0,021	-31,413	-27,143	-34,348	-0,080	47	-46	14	-46	43	134
127,90	-0,021	-31,277	-27,005	-34,238	-0,078	48	-42	16	-43	51	174
130,54	-0,021	-31,137	-26,865	-34,126	-0,078	50	-38	20	-38	58	226
133,18	-0,023	-30,999	-26,727	-34,019	-0,071	53	-35	21	-29	70	287
135,76	-0,030	-30,863	-26,589	-33,911	-0,073	50	-33	21	-24	83	348
138,46	-0,034	-30,732	-26,449	-33,801	-0,070	48	-31	21	-19	103	414
141,04	-0,036	-30,601	-26,313	-33,691	-0,071	47	-27	22	-16	120	465
143,06	-0,038	-30,502	-26,214	-33,611	-0,073	47	-23	24	-16	134	505
145,77	-0,038	-30,376	-26,074	-33,504	-0,073	48	-15	30	-19	150	549
148,41	-0,036	-30,245	-25,942	-33,399	-0,136	49	-4	36	-25	165	585
150,98	-0,036	-30,116	-25,810	-33,293	-0,137	51	8	40	-32	181	626
153,56	-0,038	-29,986	-25,675	-33,188	-0,137	49	8	39	-38	196	661
156,14	-0,038	-29,861	-25,543	-33,085	-0,137	45	10	38	-46	206	680
158,72	-0,038	-29,737	-25,411	-32,973	-0,137	42	13	37	-57	210	679
161,42	-0,036	-29,626	-25,276	-32,867	-0,139	38	20	37	-70	214	669
164,00	-0,038	-29,499	-25,144	-32,760	-0,136	35	30	40	-80	220	667
166,58	-0,036	-29,376	-25,010	-32,648	-0,134	33	45	40	-89	223	664
169,10	-0,040	-29,245	-24,872	-32,536	-0,136	31	66	41	-96	221	653
171,62	-0,040	-29,122	-24,738	-32,423	-0,137	26	88	40	-102	223	649
173,58	-0,040	-29,032	-24,637	-32,344	-0,136	26	106	42	-105	225	647
176,16	-0,045	-28,911	-24,505	-32,234	-0,136	27	139	43	-107	225	648
178,55	-0,042	-28,793	-24,376	-32,128	-0,134	29	177	42	-108	226	648
181,01	-0,045	-28,674	-24,245	-32,021	-0,134	27	204	42	-111	231	650
183,65	-0,043	-28,555	-24,115	-31,915	-0,137	26	227	42	-114	237	653
185,98	-0,043	-28,431	-23,979	-31,805	-0,137	25	248	42	-116	245	657
188,56	-0,043	-28,312	-23,852	-31,698	-0,137	23	271	43	-119	252	664
190,83	-0,047	-28,195	-23,718	-31,588	-0,137	23	298	43	-121	263	672
193,29	-0,072	-28,071	-23,589	-31,478	-0,139	23	327	44	-122	272	681
195,50	-0,076	-27,956	-23,457	-31,371	-0,139	24	370	46	-124	280	688
197,77	-0,076	-27,833	-23,332	-31,263	-0,139	31	430	46	-123	286	691
199,80	-0,072	-27,713	-23,199	-31,153	-0,137	35	485	45	-123	289	690
201,83	-0,072	-27,596	-23,071	-31,044	-0,137	36	541	42	-120	292	697
202,93	-0,074	-27,514	-22,981	-30,952	-0,139	38	582	39	-115	290	704
204,90	-0,076	-27,396	-22,851	-30,838	-0,139	30	598	32	-115	291	712
206,86	-0,074	-27,277	-22,720	-30,728	-0,139	3	590	25	-117	293	719
208,83	-0,076	-27,155	-22,593	-30,618	-0,139	-19	583	22	-119	296	727
210,73	-0,074	-27,034	-22,465	-30,510	-0,139	-53	589	20	-120	297	731
212,82	-0,076	-26,913	-22,331	-30,402	-0,139	-85	599	21	-125	299	739
214,72	-0,076	-26,797	-22,207	-30,293	-0,139	-115	601	22	-127	300	744
216,56	-0,077	-26,680	-22,079	-30,187	-0,137	-155	598	21	-129	302	751
218,40	-0,083	-26,564	-21,956	-30,080	-0,137	-200	591	20	-132	303	760
220,31	-0,108	-26,439	-21,816	-29,961	-0,255	-245	587	21	-136	303	768

222,03	-0,111	-26,323	-21,695	-29,856	-0,253	-314	584	21	-142	304	775
223,62	-0,113	-26,211	-21,568	-29,748	-0,253	-372	585	22	-148	305	782
224,91	-0,115	-26,125	-21,475	-29,665	-0,253	-436	594	23	-154	306	786
226,51	-0,113	-26,013	-21,355	-29,563	-0,251	-539	603	25	-160	305	791
228,11	-0,115	-25,898	-21,238	-29,460	-0,250	-643	606	26	-167	305	795
229,27	-0,113	-25,784	-21,126	-29,366	-0,250	-755	606	26	-175	303	798
230,19	-0,108	-25,693	-21,038	-29,297	-0,248	-921	615	31	-182	301	799
230,26	-0,106	-25,603	-20,977	-29,242	-0,250	-1106	619	29	-185	297	800
224,73	-0,145	-25,532	-21,033	-29,317	-0,250	-1807	476	17	-179	290	781
222,64	-0,162	-25,437	-21,007	-29,317	-0,251	-2841	301	-3	-176	285	770
206,19	-0,217	-25,383	-21,210	-29,535	-0,257	-7915	80	-70	-160	268	715
201,33	-0,213	-25,198	-21,154	-29,530	-0,255	-8780	-87	-10	-156	261	703
63,55	-0,008	-24,351	-20,865	-30,602	-0,127	-	2879	68	-95	144	403
64,10	-0,011	-24,301	-20,822	-30,576	-0,125	-	2887	69	-95	145	411
64,10	-0,011	-24,293	-20,824	-30,581	-0,128	-	2883	68	-96	145	413

RESULTADOS EXPERIMENTAIS — VIGA V20_A

CARGA [kN]	LVDT # 2 [mm] apoio	LVDT # 3 [mm] carga	LVDT # 4 [mm] central	LVDT # 5 [mm] carga	LVDT # 6 [mm] apoio	ϵ_{0A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{0B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45B} [$\times 10^{-6}$]
0,00	-0,002	-37,178	-28,851	-37,871	0,002	0	-1	0	0	0	0
10,99	0,002	-37,040	-28,729	-37,772	0,000	0	0	-1	0	-1	2
12,83	-0,002	-36,878	-28,603	-37,674	0,000	-1	-1	0	0	0	4
15,66	0,000	-36,719	-28,459	-37,560	-0,002	-1	-1	-1	0	0	7
18,05	0,002	-36,602	-28,344	-37,470	-0,002	-2	-1	-1	0	0	10
21,25	0,000	-36,463	-28,209	-37,363	-0,004	-2	-2	-2	0	-1	13
25,48	0,004	-36,296	-28,040	-37,228	-0,005	-2	-1	-1	1	0	17
28,43	-0,004	-36,185	-27,926	-37,147	-0,009	-2	-1	-1	1	-1	20
32,30	0,004	-36,047	-27,784	-37,031	-0,011	-1	-3	-1	1	-1	25
36,10	0,004	-35,919	-27,652	-36,917	-0,016	0	-3	0	2	-2	29
39,85	0,002	-35,788	-27,512	-36,809	-0,016	0	-3	0	4	-1	33
43,72	0,000	-35,656	-27,368	-36,694	-0,025	0	-4	1	5	-3	37
47,28	0,008	-35,516	-27,221	-36,578	-0,025	1	-4	1	7	-3	41
50,72	0,008	-35,372	-27,074	-36,463	-0,030	1	-4	2	7	-5	44
54,28	0,006	-35,228	-26,919	-36,344	-0,030	2	-4	2	10	-5	49
57,53	0,006	-35,079	-26,764	-36,220	-0,030	2	-5	3	12	-6	52
60,73	0,008	-34,928	-26,606	-36,095	-0,030	3	-4	3	13	-7	55
64,17	0,006	-34,788	-26,455	-35,976	-0,034	4	-5	5	13	-8	54
67,36	-0,021	-34,633	-26,300	-35,848	-0,032	3	-4	5	14	-9	55
70,61	-0,025	-34,488	-26,147	-35,722	-0,034	5	-6	6	12	-10	58
73,99	-0,019	-34,340	-25,991	-35,598	-0,034	5	-6	6	13	-11	58
77,31	-0,026	-34,193	-25,840	-35,477	-0,038	8	-9	7	12	-12	58
80,56	-0,017	-34,042	-25,685	-35,349	-0,036	12	-10	8	11	-12	57
83,94	-0,025	-33,900	-25,534	-35,229	-0,036	18	-11	8	9	-13	58
87,25	-0,021	-33,751	-25,379	-35,101	-0,034	25	-10	4	7	-14	59
90,69	-0,044	-33,605	-25,226	-34,975	-0,034	29	-10	3	1	-13	59
93,95	-0,044	-33,462	-25,069	-34,849	-0,034	34	-9	-1	-3	-11	62
97,20	-0,042	-33,307	-24,911	-34,721	-0,030	38	-8	-4	-9	-4	70
100,57	-0,044	-33,167	-24,762	-34,600	-0,038	42	-8	-11	-11	4	81
103,89	-0,040	-33,014	-24,607	-34,472	-0,036	46	-8	-16	-13	18	92
107,20	-0,038	-32,864	-24,452	-34,349	-0,036	44	-9	-19	-15	28	99
110,46	-0,042	-32,719	-24,298	-34,225	-0,038	45	-10	-22	-21	42	105
113,59	-0,042	-32,573	-24,143	-34,097	-0,034	42	-10	-27	-28	90	127
116,60	-0,040	-32,428	-23,992	-33,966	-0,030	38	-12	-34	7	134	155
119,85	-0,074	-32,282	-23,835	-33,838	-0,036	37	-13	-36	68	179	185
122,86	-0,079	-32,141	-23,682	-33,712	-0,038	36	-12	-36	103	232	218
125,99	-0,078	-31,988	-23,526	-33,579	-0,034	34	-10	-35	133	293	263
129,19	-0,110	-31,838	-23,369	-33,447	-0,030	31	-8	-34	145	371	312
132,26	-0,108	-31,697	-23,222	-33,318	-0,036	28	-5	-29	174	501	415
135,45	-0,106	-31,547	-23,065	-33,186	-0,038	24	-3	-24	221	648	589

138,40	-0,106	-31,400	-22,909	-33,048	-0,034	21	1	-18	271	803	809
141,47	-0,106	-31,258	-22,756	-32,923	-0,032	13	8	-14	322	953	1004
144,66	-0,110	-31,116	-22,603	-32,796	-0,038	5	13	-11	394	1145	1274
147,48	-0,104	-30,971	-22,448	-32,668	-0,036	-2	19	-5	479	1354	1565
150,55	-0,121	-30,825	-22,295	-32,533	-0,038	-10	24	-1	556	1562	1853
153,38	-0,123	-30,682	-22,142	-32,396	-0,032	-20	28	2	618	1753	2117
156,33	-0,142	-30,536	-21,987	-32,265	-0,038	-30	31	5	685	1963	2388
159,15	-0,144	-30,389	-21,827	-32,117	-0,036	-39	35	9	720	2140	2572
162,04	-0,178	-30,249	-21,674	-31,987	-0,138	-47	37	13	760	2344	2764
164,80	-0,174	-30,103	-21,516	-31,847	-0,130	-55	40	18	788	2503	2927
167,56	-0,176	-29,967	-21,363	-31,714	-0,138	-64	44	25	809	2653	3071
170,26	-0,180	-29,821	-21,208	-31,575	-0,130	-71	47	31	822	2788	3197
172,97	-0,195	-29,682	-21,055	-31,441	-0,127	-78	51	42	825	2925	3319
175,73	-0,199	-29,529	-20,897	-31,300	-0,138	-83	61	63	826	3066	3442
178,49	-0,197	-29,379	-20,735	-31,156	-0,136	-88	69	85	826	3202	3557
181,13	-0,199	-29,234	-20,582	-31,020	-0,139	-96	81	122	813	3366	3672
183,65	-0,197	-29,084	-20,423	-30,883	-0,132	-102	103	168	830	3562	3833
186,17	-0,212	-28,943	-20,272	-30,744	-0,134	-109	139	227	846	3777	4034
188,62	-0,206	-28,790	-20,108	-30,604	-0,129	-115	211	284	867	4032	4272
191,33	-0,216	-28,639	-19,955	-30,469	-0,132	-121	394	362	883	4324	4526
193,72	-0,210	-28,489	-19,789	-30,323	-0,130	-129	549	454	914	4667	4818
196,12	-0,210	-28,342	-19,627	-30,180	-0,134	-136	668	553	941	5174	5192
198,63	-0,210	-28,195	-19,461	-30,030	-0,166	-143	765	643	959	5664	5569
201,09	-0,238	-28,049	-19,303	-29,890	-0,168	-149	874	765	867	5930	5731
203,55	-0,238	-27,900	-19,146	-29,745	-0,170	-154	981	878	870	6239	6033
206,06	-0,238	-27,749	-18,982	-29,606	-0,168	-159	1075	1003	845	6452	6234
208,58	-0,238	-27,599	-18,814	-29,459	-0,170	-165	1187	1141	805	6664	6396
210,91	-0,231	-27,450	-18,657	-29,327	-0,170	-169	1340	1429	702	6829	6469
213,37	-0,240	-27,301	-18,499	-29,190	-0,170	-178	1641	1975	624	7045	6598
215,70	-0,261	-27,144	-18,333	-29,047	-0,164	-174	1861	2360	593	7221	6714
218,28	-0,267	-26,989	-18,167	-28,908	-0,168	-164	2040	2721	569	7380	6824
220,80	-0,267	-26,833	-18,007	-28,768	-0,170	-153	2210	3027	541	7506	6917
223,13	-0,267	-26,678	-17,843	-28,626	-0,168	-130	2396	3349	501	7620	6934
225,71	-0,270	-26,527	-17,682	-28,485	-0,171	-112	2684	3647	437	7740	6854
228,11	-0,269	-26,372	-17,516	-28,342	-0,170	-80	2945	3954	394	7854	6871
230,69	-0,267	-26,211	-17,345	-28,196	-0,168	-56	3175	4249	342	7942	6804
233,08	-0,293	-26,060	-17,183	-28,057	-0,273	-34	3382	4497	327	7840	6885
235,60	-0,287	-25,898	-17,013	-27,908	-0,270	9	3587	4748	323	7819	7007
238,11	-0,287	-25,739	-16,845	-27,759	-0,268	48	3779	4972	302	7885	7068
240,82	-0,289	-25,584	-16,672	-27,613	-0,271	69	3961	5157	256	7970	7101
243,21	-0,287	-25,420	-16,498	-27,461	-0,266	88	4123	5323	212	8034	7133
245,79	-0,282	-25,262	-16,331	-27,317	-0,275	101	4266	5484	160	8021	7146
248,25	-0,282	-25,103	-16,159	-27,164	-0,270	115	4408	5639	92	8015	7120
250,76	-0,280	-24,941	-15,989	-27,020	-0,270	128	4533	5782	57	8070	7148
253,28	-0,286	-24,788	-15,822	-26,875	-0,271	140	4665	5917	30	8121	7188
255,25	-0,299	-24,618	-15,650	-26,727	-0,266	145	4824	6064	-1	8188	7213
257,52	-0,299	-24,461	-15,484	-26,582	-0,268	148	4970	6214	-34	8256	7241
259,73	-0,301	-24,303	-15,318	-26,438	-0,271	148	5113	6356	-60	8329	7269
261,94	-0,354	-24,140	-15,145	-26,289	-0,268	-23	5270	6555	-82	8402	7310
264,21	-0,376	-23,984	-14,977	-26,139	-0,289	-76	5427	6698	-106	8458	7336
266,24	-0,373	-23,823	-14,807	-25,990	-0,289	-87	5542	6597	-129	8523	7354
268,45	-0,371	-23,661	-14,632	-25,834	-0,286	-90	5690	6615	-156	8585	7360
270,11	-0,374	-23,500	-14,464	-25,687	-0,288	-94	5856	6602	-182	8643	7362
272,13	-0,374	-23,338	-14,302	-25,539	-0,291	-96	6030	6616	-207	8707	7373
273,97	-0,378	-23,178	-14,132	-25,392	-0,289	-106	6227	6630	-225	8768	7383
275,75	-0,378	-23,013	-13,968	-25,246	-0,289	-140	6394	6611	-243	8824	7398
277,60	-0,378	-22,853	-13,806	-25,104	-0,288	-179	6595	6572	-259	8880	7415
279,13	-0,410	-22,689	-13,649	-24,953	-0,291	-265	6887	6476	-274	8931	7425
34,82	-0,025	-16,341	-11,585	-31,030	-0,016	1155	-	-	-262	2444	2056
36,04	-0,021	-16,127	-11,462	-30,959	-0,013	893	-	-	-253	2456	2062
35,25	-0,021	-16,121	-11,464	-30,966	-0,020	797	-	-	-250	2463	2064

RESULTADOS EXPERIMENTAIS — VIGA V20_B

CARGA [kN]	LVDT # 2 [mm] apoio	LVDT # 3 [mm] carga	LVDT # 4 [mm] central	LVDT # 5 [mm] carga	LVDT # 6 [mm] apoio	ϵ_{0A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{0B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45B} [$\times 10^{-6}$]
0,00	0,011	-26,159	-30,911	-30,693	-0,002	0	0	0	0	0	0
9,03	0,004	-26,045	-30,803	-30,609	-0,005	0	0	1	0	0	2
12,16	0,004	-25,915	-30,669	-30,494	-0,009	0	0	4	0	-1	4
15,60	0,006	-25,818	-30,553	-30,396	-0,012	1	-1	7	0	0	6
19,34	0,004	-25,715	-30,436	-30,293	-0,014	2	-1	10	1	0	9
23,46	0,008	-25,584	-30,316	-30,192	-0,016	4	-2	15	1	-2	12
27,08	0,004	-25,493	-30,223	-30,116	-0,016	4	-3	17	2	-1	14
31,50	0,011	-25,377	-30,098	-30,020	-0,018	7	-3	21	4	-2	17
36,10	0,015	-25,271	-29,962	-29,908	-0,023	9	-4	25	4	-3	20
40,53	0,004	-25,137	-29,830	-29,798	-0,021	11	-4	29	5	-3	22
44,89	-0,004	-25,008	-29,684	-29,681	-0,023	12	-5	32	6	-3	24
48,39	-0,002	-24,888	-29,555	-29,576	-0,023	13	-6	34	7	-3	26
52,56	-0,008	-24,743	-29,399	-29,439	-0,029	14	-6	34	8	-3	27
56,80	-0,009	-24,607	-29,240	-29,302	-0,029	15	-6	35	9	-3	30
61,16	-0,011	-24,471	-29,086	-29,166	-0,030	17	-8	36	11	-3	31
65,39	-0,008	-24,316	-28,920	-29,018	-0,030	19	-8	36	12	-3	33
68,83	-0,017	-24,185	-28,778	-28,894	-0,032	20	-8	36	12	-4	35
73,13	-0,015	-24,047	-28,606	-28,748	-0,036	20	-6	38	15	-4	35
77,37	-0,019	-23,896	-28,440	-28,599	-0,037	20	-3	40	17	-3	35
81,73	-0,015	-23,748	-28,276	-28,464	-0,036	19	0	43	19	0	34
85,90	-0,017	-23,594	-28,105	-28,315	-0,041	18	3	47	20	3	35
90,32	-0,038	-23,428	-27,931	-28,160	-0,046	18	7	49	20	7	35
93,95	-0,043	-23,304	-27,794	-28,036	-0,046	16	13	53	20	10	37
98,31	-0,055	-23,153	-27,626	-27,880	-0,046	14	17	57	19	14	39
102,60	-0,059	-22,991	-27,450	-27,731	-0,050	11	22	59	17	18	42
106,77	-0,068	-22,842	-27,279	-27,583	-0,050	8	28	65	16	20	48
111,07	-0,091	-22,679	-27,107	-27,438	-0,050	5	34	75	13	24	53
114,70	-0,085	-22,551	-26,964	-27,319	-0,052	3	42	95	13	27	58
119,12	-0,098	-22,396	-26,792	-27,171	-0,055	4	58	125	15	32	67
123,41	-0,100	-22,232	-26,610	-27,013	-0,054	30	105	220	17	39	78
127,77	-0,106	-22,060	-26,432	-26,860	-0,061	70	157	327	23	50	94
132,01	-0,108	-21,896	-26,261	-26,706	-0,064	107	210	446	29	60	108
135,70	-0,115	-21,760	-26,108	-26,580	-0,061	137	254	530	32	68	119
139,93	-0,113	-21,592	-25,922	-26,413	-0,059	159	292	609	35	81	130
144,17	-0,117	-21,431	-25,739	-26,241	-0,061	175	325	677	36	94	137
148,65	-0,145	-21,273	-25,560	-26,079	-0,141	193	359	746	47	115	151
152,83	-0,140	-21,107	-25,372	-25,921	-0,137	208	394	827	57	131	165
156,33	-0,142	-20,980	-25,226	-25,788	-0,141	225	431	910	63	147	176
160,50	-0,162	-20,795	-25,027	-25,628	-0,139	236	465	975	70	159	187
164,55	-0,168	-20,612	-24,844	-25,466	-0,134	239	494	1027	74	175	199
168,73	-0,159	-20,442	-24,661	-25,303	-0,134	244	519	1070	80	190	213
172,91	-0,159	-20,284	-24,475	-25,140	-0,137	247	542	1105	87	204	229
177,14	-0,185	-20,116	-24,288	-24,973	-0,155	249	561	1136	92	217	243
180,46	-0,206	-19,978	-24,126	-24,829	-0,150	251	577	1157	96	229	255
184,39	-0,204	-19,814	-23,945	-24,662	-0,152	251	590	1171	104	241	269
188,62	-0,206	-19,636	-23,757	-24,504	-0,155	250	602	1182	109	253	283
192,31	-0,212	-19,467	-23,572	-24,337	-0,153	248	610	1184	114	264	295
196,24	-0,206	-19,293	-23,384	-24,173	-0,161	244	617	1184	119	276	307
199,43	-0,204	-19,148	-23,214	-24,030	-0,159	239	621	1183	124	289	317
203,36	-0,227	-18,961	-23,024	-23,856	-0,162	235	624	1179	129	307	330
207,05	-0,232	-18,758	-22,832	-23,676	-0,159	228	624	1171	133	321	341
210,73	-0,227	-18,586	-22,634	-23,507	-0,155	222	622	1164	138	333	353
214,29	-0,229	-18,412	-22,446	-23,342	-0,161	217	616	1154	140	345	364
217,24	-0,276	-18,271	-22,290	-23,202	-0,232	215	610	1148	141	353	371
220,49	-0,272	-18,092	-22,092	-23,035	-0,232	208	592	1129	140	361	377
223,87	-0,291	-17,909	-21,896	-22,865	-0,232	201	575	1116	138	369	384
227,06	-0,293	-17,730	-21,708	-22,696	-0,232	195	561	1101	136	373	389
230,19	-0,293	-17,554	-21,512	-22,529	-0,232	187	549	1085	133	374	392
232,59	-0,293	-17,401	-21,357	-22,390	-0,230	179	540	1068	129	376	395
235,29	-0,291	-17,213	-21,152	-22,216	-0,230	165	530	1044	126	378	398
237,32	-0,289	-17,015	-20,968	-22,044	-0,230	146	518	1013	117	379	398
232,04	-0,348	-16,827	-20,861	-21,980	-0,273	45	498	856	110	373	383

234,00	-0,348	-16,621	-20,692	-21,852	-0,277	6	492	792	105	372	382
234,80	-0,346	-16,297	-20,423	-21,646	-0,284	-59	472	676	100	373	385
235,90	-0,344	-16,080	-20,239	-21,510	-0,278	-96	466	619	97	373	386
238,54	-0,344	-15,871	-20,030	-21,346	-0,282	-118	466	590	92	373	386
241,31	-0,348	-15,670	-19,834	-21,179	-0,280	-138	464	565	85	371	387
243,70	-0,346	-15,459	-19,631	-21,007	-0,275	-157	459	543	79	369	387
246,16	-0,342	-15,269	-19,429	-20,833	-0,289	-173	455	525	70	366	385
248,12	-0,346	-15,105	-19,263	-20,682	-0,287	-186	453	509	62	364	382
250,03	-0,342	-14,910	-19,064	-20,508	-0,287	-201	450	492	50	361	378
251,93	-0,344	-14,729	-18,868	-20,330	-0,289	-215	448	477	35	363	373
253,34	-0,342	-14,556	-18,682	-20,153	-0,289	-227	447	466	11	366	363
254,69	-0,336	-14,384	-18,484	-19,959	-0,285	-236	446	456	-15	373	349
255,25	-0,336	-14,241	-18,318	-19,792	-0,287	-245	445	446	-42	377	337
255,49	-0,342	-14,091	-18,145	-19,579	-0,289	-251	444	438	-80	383	322
257,21	-0,346	-13,938	-17,958	-19,386	-0,285	-260	443	429	-101	389	313
259,24	-0,344	-13,772	-17,764	-19,197	-0,287	-269	442	420	-116	394	307
261,26	-0,344	-13,591	-17,570	-19,009	-0,289	-279	443	413	-130	398	302
263,04	-0,346	-13,431	-17,405	-18,853	-0,285	-287	442	405	-140	401	298
265,13	-0,344	-13,252	-17,211	-18,670	-0,287	-296	442	397	-150	406	294
267,34	-0,346	-13,058	-17,024	-18,492	-0,287	-306	441	390	-161	409	290
269,18	-0,342	-12,881	-16,828	-18,315	-0,287	-316	440	382	-171	413	286
270,90	-0,346	-12,696	-16,638	-18,144	-0,289	-327	439	372	-181	417	283
272,62	-0,367	-12,506	-16,444	-17,974	-0,326	-337	438	363	-191	422	279
273,97	-0,363	-12,325	-16,278	-17,808	-0,325	-347	438	357	-199	427	276
275,51	-0,378	-12,142	-16,083	-17,634	-0,328	-356	437	347	-207	431	272
277,11	-0,378	-11,948	-15,891	-17,457	-0,326	-367	437	340	-218	436	267
278,52	-0,376	-11,756	-15,693	-17,281	-0,328	-377	437	332	-227	442	264
279,87	-0,389	-11,565	-15,501	-17,098	-0,335	-388	435	323	-236	447	259
280,91	-0,387	-11,401	-15,337	-16,951	-0,335	-398	433	314	-243	451	256
282,14	-0,389	-11,198	-15,143	-16,777	-0,337	-409	429	304	-252	456	253
283,37	-0,389	-10,996	-14,943	-16,601	-0,337	-422	426	294	-260	459	246
284,29	-0,389	-10,791	-14,750	-16,432	-0,337	-434	421	282	-269	465	242
285,09	-0,389	-10,586	-14,550	-16,267	-0,339	-447	415	266	-276	470	237
285,46	-0,389	-10,412	-14,395	-16,130	-0,337	-459	408	251	-283	474	233
285,82	-0,389	-10,198	-14,201	-15,969	-0,337	-475	395	227	-288	478	228
284,90	-0,389	-9,969	-14,004	-15,802	-0,335	-502	371	181	-295	482	224
39,05	-0,008	2,127	-10,525	-18,160	-0,023	-	-128	-205	-70	328	149
39,91	-0,009	2,263	-10,429	-18,091	-0,027	-	-120	-187	-69	327	150
39,79	-0,006	2,265	-10,429	-18,093	-0,021	-	-116	-178	-68	326	149

RESULTADOS EXPERIMENTAIS — VIGA V21_A

CARGA [kN]	LVDT # 2 [mm] apoio	LVDT # 3 [mm] carga	LVDT # 4 [mm] central	LVDT # 5 [mm] carga	LVDT # 6 [mm] apoio	ϵ_{0A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{0B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45B} [$\times 10^{-6}$]
0,00	-0,002	-24,012	-42,704	-37,841	0,002	0	0	-1	0	0	0
9,64	-0,002	-23,915	-42,581	-37,711	-0,004	1	-1	0	0	0	0
11,05	-0,002	-23,711	-42,331	-37,463	-0,011	3	-1	2	1	-1	2
13,39	-0,002	-23,622	-42,227	-37,360	-0,009	2	-3	2	2	-2	5
15,78	0,000	-23,556	-42,152	-37,301	-0,012	4	-1	4	2	-3	8
18,36	-0,004	-23,498	-42,087	-37,251	-0,014	5	-2	5	2	-4	11
20,94	-0,004	-23,435	-42,020	-37,203	-0,012	4	-2	7	3	-6	14
23,52	-0,004	-23,379	-41,958	-37,159	-0,012	6	-3	8	3	-8	17
25,60	-0,002	-23,340	-41,913	-37,125	-0,014	6	-3	8	4	-8	19
28,25	0,000	-23,288	-41,856	-37,084	-0,014	7	-4	8	4	-9	22
31,13	0,002	-23,234	-41,790	-37,040	-0,014	7	-5	10	5	-10	25
33,96	0,002	-23,181	-41,729	-36,997	-0,018	8	-4	12	5	-11	28
36,84	-0,002	-23,122	-41,663	-36,951	-0,014	9	-5	12	5	-12	32
39,91	-0,004	-23,062	-41,596	-36,903	-0,014	9	-6	14	6	-14	35
42,86	-0,002	-22,995	-41,524	-36,848	-0,016	10	-5	14	7	-15	38
46,05	-0,004	-22,929	-41,453	-36,795	-0,018	11	-6	15	7	-16	42
48,39	-0,009	-22,881	-41,395	-36,756	-0,018	10	-6	17	8	-18	44
51,52	-0,009	-22,812	-41,324	-36,697	-0,020	11	-5	18	8	-20	47
54,59	-0,004	-22,741	-41,248	-36,639	-0,021	12	-6	19	8	-21	49

57,53	-0,004	-22,670	-41,173	-36,576	-0,021	13	-6	19	9	-22	51
60,36	-0,011	-22,594	-41,089	-36,513	-0,025	14	-7	21	8	-22	52
63,12	-0,015	-22,491	-40,998	-36,433	-0,023	16	-7	20	9	-23	54
65,82	-0,015	-22,401	-40,901	-36,356	-0,027	16	-7	21	9	-24	55
68,53	-0,013	-22,312	-40,793	-36,266	-0,029	17	-8	21	8	-25	55
70,61	-0,019	-22,230	-40,714	-36,202	-0,029	18	-8	21	7	-26	57
73,25	-0,017	-22,136	-40,610	-36,125	-0,030	19	-6	20	6	-27	58
75,83	-0,019	-22,039	-40,494	-36,031	-0,032	18	-5	19	4	-30	59
78,66	-0,019	-21,950	-40,392	-35,957	-0,034	19	-5	20	-2	-31	56
81,11	-0,023	-21,860	-40,289	-35,882	-0,032	20	-5	23	-8	-32	54
83,81	-0,025	-21,763	-40,189	-35,802	-0,032	21	-5	25	-17	-34	51
86,64	-0,021	-21,664	-40,084	-35,713	-0,034	21	-3	29	-23	-32	49
88,54	-0,021	-21,595	-40,010	-35,651	-0,030	23	-1	32	-27	-31	47
91,24	-0,021	-21,502	-39,907	-35,568	-0,034	23	-1	35	-36	-27	47
94,07	-0,026	-21,403	-39,805	-35,490	-0,046	23	-2	36	-41	-24	47
96,59	-0,025	-21,308	-39,696	-35,406	-0,046	22	-2	37	-48	-19	47
99,35	-0,026	-21,211	-39,581	-35,317	-0,046	22	-1	38	-56	-15	47
101,98	-0,026	-21,110	-39,469	-35,232	-0,045	22	-1	40	-65	-7	47
104,75	-0,026	-21,011	-39,363	-35,142	-0,045	23	-1	43	-74	1	47
107,39	-0,034	-20,913	-39,253	-35,053	-0,045	22	1	47	-81	5	48
109,35	-0,032	-20,832	-39,171	-34,980	-0,048	22	5	53	-84	9	50
112,12	-0,042	-20,722	-39,040	-34,879	-0,057	22	8	56	-90	13	51
114,88	-0,040	-20,618	-38,925	-34,777	-0,068	21	11	60	-94	19	55
117,52	-0,042	-20,511	-38,805	-34,678	-0,071	19	13	65	-99	28	60
120,22	-0,040	-20,403	-38,686	-34,580	-0,070	19	14	70	-104	35	64
122,86	-0,040	-20,289	-38,567	-34,481	-0,071	18	18	74	-108	44	68
125,63	-0,040	-20,170	-38,440	-34,373	-0,068	19	22	80	-113	51	70
128,33	-0,040	-20,058	-38,315	-34,266	-0,070	19	23	83	-117	59	74
130,23	-0,043	-19,974	-38,223	-34,184	-0,070	17	25	86	-121	68	76
132,87	-0,043	-19,864	-38,093	-34,083	-0,070	19	28	93	-125	76	79
135,45	-0,042	-19,756	-37,966	-33,978	-0,079	21	31	99	-129	85	82
138,15	-0,047	-19,646	-37,841	-33,875	-0,079	23	36	107	-132	93	84
140,79	-0,066	-19,528	-37,705	-33,763	-0,118	24	42	117	-136	104	88
143,25	-0,060	-19,413	-37,578	-33,653	-0,120	24	49	124	-137	111	92
145,95	-0,066	-19,301	-37,444	-33,540	-0,120	23	55	128	-138	120	99
147,79	-0,068	-19,209	-37,349	-33,454	-0,118	19	60	129	-138	128	102
150,37	-0,062	-19,082	-37,213	-33,341	-0,118	13	65	128	-132	162	116
152,89	-0,064	-18,970	-37,077	-33,227	-0,120	12	74	133	-131	194	131
155,34	-0,079	-18,847	-36,944	-33,119	-0,120	-1	86	132	-127	220	148
157,43	-0,081	-18,726	-36,821	-33,012	-0,116	-5	123	154	-123	244	167
159,64	-0,081	-18,605	-36,687	-32,902	-0,120	21	185	204	-119	267	183
161,79	-0,081	-18,476	-36,551	-32,792	-0,116	113	303	328	-115	288	197
164,00	-0,079	-18,353	-36,421	-32,680	-0,118	197	392	422	-110	316	217
165,91	-0,081	-18,269	-36,318	-32,590	-0,120	255	461	492	-107	335	231
168,24	-0,081	-18,149	-36,184	-32,476	-0,116	322	548	577	-100	361	252
170,69	-0,081	-18,028	-36,049	-32,364	-0,116	391	634	655	-95	390	273
173,09	-0,083	-17,909	-35,915	-32,249	-0,118	453	723	726	-89	422	297
175,42	-0,081	-17,795	-35,779	-32,135	-0,116	518	828	803	-74	455	323
177,69	-0,081	-17,675	-35,649	-32,021	-0,116	598	993	917	-61	490	350
180,03	-0,100	-17,556	-35,514	-31,909	-0,118	692	1271	1043	-53	530	379
182,30	-0,191	-17,439	-35,369	-31,794	-0,214	777	1594	1210	-45	577	413
184,02	-0,189	-17,345	-35,274	-31,709	-0,214	832	1746	1323	-38	615	440
186,23	-0,191	-17,226	-35,136	-31,591	-0,211	872	1944	1455	-33	665	481
188,44	-0,189	-17,108	-35,004	-31,474	-0,214	923	2118	1583	-36	721	530
190,71	-0,193	-16,993	-34,864	-31,357	-0,214	972	2299	1724	-35	786	598
192,74	-0,191	-16,873	-34,728	-31,242	-0,214	1019	2505	1942	-32	876	679
194,95	-0,191	-16,748	-34,591	-31,121	-0,214	1064	2710	2155	-21	975	760
197,10	-0,189	-16,634	-34,452	-31,002	-0,212	1109	2889	2358	-7	1083	844
198,51	-0,189	-16,543	-34,351	-30,913	-0,214	1144	3019	2505	3	1173	909
200,60	-0,191	-16,425	-34,213	-30,792	-0,214	1185	3193	2697	26	1492	1051
202,81	-0,193	-16,302	-34,073	-30,673	-0,212	1227	3362	2887	57	1839	1206
204,71	-0,206	-16,185	-33,935	-30,551	-0,214	1268	3536	3098	81	2032	1324
206,74	-0,204	-16,062	-33,803	-30,434	-0,212	1302	3737	3354	114	2233	1452
208,70	-0,204	-15,950	-33,665	-30,313	-0,212	1323	3935	3592	145	2424	1588
210,67	-0,202	-15,830	-33,525	-30,194	-0,212	1344	4124	3786	174	2610	1722
212,57	-0,229	-15,709	-33,385	-30,068	-0,212	1362	4337	3972	219	2862	1979
213,98	-0,232	-15,616	-33,273	-29,966	-0,214	1386	4580	4208	307	3145	2448
215,21	-0,231	-15,487	-33,119	-29,817	-0,212	1451	4846	4623	518	3634	3269
216,38	-0,238	-15,360	-32,962	-29,656	-0,212	1477	5039	4884	550	3785	3558
217,67	-0,238	-15,237	-32,802	-29,496	-0,212	1508	5206	5103	561	3880	3724

218,90	-0,240	-15,118	-32,649	-29,340	-0,212	1536	5359	5298	563	3959	3835
220,55	-0,238	-14,991	-32,499	-29,194	-0,212	1581	5502	5543	560	4050	3945
222,09	-0,240	-14,873	-32,350	-29,054	-0,216	1630	5678	5806	556	4139	4051
223,87	-0,238	-14,750	-32,209	-28,919	-0,214	1685	5848	6014	552	4222	4152
224,97	-0,238	-14,657	-32,099	-28,814	-0,212	1713	5943	6149	547	4277	4220
226,45	-0,240	-14,535	-31,948	-28,670	-0,212	1749	6080	6352	535	4335	4287
227,68	-0,236	-14,410	-31,800	-28,523	-0,223	1789	6198	6603	525	4373	4335
228,72	-0,242	-14,285	-31,647	-28,366	-0,223	1846	6207	6922	509	4383	4351
229,89	-0,240	-14,168	-31,502	-28,215	-0,223	1881	6275	7181	498	4427	4395
217,48	-0,325	-13,948	-31,021	-27,478	-0,271	1898	6432	7466	271	4200	3998
51,09	-0,047	-17,136	-30,279	-23,303	-0,037	624	2980	3246	369	4579	-
51,52	-0,049	-17,116	-30,247	-23,255	-0,037	616	2958	3242	358	4570	-

RESULTADOS EXPERIMENTAIS — VIGA V21_B

CARGA [kN]	LVDT # 2 [mm] apoio	LVDT # 3 [mm] carga	LVDT # 4 [mm] central	LVDT # 5 [mm] carga	LVDT # 6 [mm] apoio	ϵ_{0A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{0B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45B} [$\times 10^{-6}$]
0,00	0,006	-34,986	-31,013	-38,988	0,009	-	-	-	-	-	-
12,10	0,008	-34,853	-30,885	-38,885	0,002	-	-	-	-	-	-
15,90	0,002	-34,713	-30,743	-38,773	0,002	-	-	-	-	-	-
19,16	0,000	-34,592	-30,620	-38,672	0,005	-	-	-	-	-	-
23,21	0,000	-34,450	-30,465	-38,557	0,000	-	-	-	-	-	-
26,65	-0,004	-34,333	-30,344	-38,455	0,000	-	-	-	-	-	-
30,89	-0,004	-34,152	-30,186	-38,328	-0,005	-	-	-	-	-	-
34,51	-0,006	-34,029	-30,051	-38,226	-0,007	-	-	-	-	-	-
38,81	-0,006	-33,885	-29,895	-38,106	-0,005	-	-	-	-	-	-
42,37	-0,002	-33,756	-29,759	-38,001	-0,005	-	-	-	-	-	-
46,48	0,002	-33,603	-29,593	-37,869	-0,005	-	-	-	-	-	-
49,86	0,002	-33,463	-29,447	-37,757	-0,005	-	-	-	-	-	-
53,91	0,000	-33,288	-29,274	-37,612	-0,004	-	-	-	-	-	-
57,17	0,004	-33,144	-29,127	-37,491	-0,007	-	-	-	-	-	-
61,22	0,004	-32,969	-28,944	-37,333	-0,007	-	-	-	-	-	-
64,60	0,004	-32,825	-28,795	-37,219	-0,007	-	-	-	-	-	-
68,71	0,004	-32,644	-28,610	-37,077	-0,005	-	-	-	-	-	-
72,09	0,004	-32,497	-28,457	-36,957	-0,009	-	-	-	-	-	-
76,20	0,000	-32,288	-28,262	-36,809	-0,009	-	-	-	-	-	-
79,64	0,004	-32,146	-28,114	-36,692	-0,007	-	-	-	-	-	-
83,75	0,000	-31,971	-27,924	-36,546	-0,005	-	-	-	-	-	-
87,19	0,002	-31,728	-27,769	-36,408	-0,009	-	-	-	-	-	-
91,24	0,002	-31,519	-27,572	-36,253	-0,009	-	-	-	-	-	-
94,81	0,002	-31,366	-27,409	-36,127	-0,009	-	-	-	-	-	-
98,92	0,002	-31,178	-27,214	-35,973	-0,005	-	-	-	-	-	-
102,48	0,004	-31,019	-27,051	-35,841	-0,011	-	-	-	-	-	-
106,65	0,004	-30,833	-26,859	-35,685	-0,012	-	-	-	-	-	-
110,21	0,002	-30,676	-26,695	-35,555	-0,012	-	-	-	-	-	-
114,39	0,004	-30,497	-26,505	-35,397	-0,012	-	-	-	-	-	-
118,01	0,004	-30,342	-26,343	-35,269	-0,012	-	-	-	-	-	-
122,13	0,002	-30,159	-26,149	-35,110	-0,012	-	-	-	-	-	-
125,56	0,002	-30,002	-25,985	-34,975	-0,014	-	-	-	-	-	-
129,74	-0,045	-29,812	-25,789	-34,815	-0,014	-	-	-	-	-	-
133,18	-0,045	-29,655	-25,623	-34,682	-0,007	-	-	-	-	-	-
137,35	-0,045	-29,465	-25,426	-34,506	-0,014	-	-	-	-	-	-
140,73	-0,045	-29,307	-25,265	-34,374	-0,012	-	-	-	-	-	-
144,84	-0,045	-29,060	-25,064	-34,215	-0,012	-	-	-	-	-	-
148,16	-0,047	-28,911	-24,900	-34,081	-0,025	-	-	-	-	-	-
152,21	-0,047	-28,719	-24,702	-33,920	-0,029	-	-	-	-	-	-
155,59	-0,064	-28,564	-24,538	-33,787	-0,027	-	-	-	-	-	-
159,58	-0,066	-28,376	-24,335	-33,623	-0,027	-	-	-	-	-	-
162,90	-0,064	-28,213	-24,171	-33,488	-0,027	-	-	-	-	-	-
166,95	-0,091	-28,025	-23,975	-33,319	-0,027	-	-	-	-	-	-

170,20	-0,093	-27,868	-23,796	-33,184	-0,029	-	-	-	-	-	-
174,26	-0,091	-27,678	-23,597	-33,021	-0,077	-	-	-	-	-	-
177,45	-0,093	-27,523	-23,431	-32,881	-0,077	-	-	-	-	-	-
181,44	-0,093	-27,346	-23,233	-32,719	-0,077	-	-	-	-	-	-
184,76	-0,091	-27,191	-23,065	-32,579	-0,077	-	-	-	-	-	-
188,56	-0,093	-27,004	-22,864	-32,408	-0,077	-	-	-	-	-	-
191,88	-0,095	-26,851	-22,698	-32,272	-0,073	-	-	-	-	-	-
195,44	-0,129	-26,668	-22,496	-32,101	-0,120	-	-	-	-	-	-
199,06	-0,129	-26,491	-22,308	-31,931	-0,120	-	-	-	-	-	-
201,76	-0,127	-26,340	-22,146	-31,797	-0,123	-	-	-	-	-	-
205,26	-0,129	-26,161	-21,945	-31,625	-0,120	-	-	-	-	-	-
208,09	-0,129	-26,010	-21,767	-31,476	-0,120	-	-	-	-	-	-
211,65	-0,130	-25,823	-21,562	-31,291	-0,120	-	-	-	-	-	-
214,47	-0,129	-25,665	-21,385	-31,132	-0,120	-	-	-	-	-	-
217,85	-0,204	-25,482	-21,171	-30,938	-0,121	-	-	-	-	-	-
220,62	-0,200	-25,327	-20,994	-30,775	-0,120	-	-	-	-	-	-
223,69	-0,200	-25,140	-20,781	-30,579	-0,123	-	-	-	-	-	-
226,02	-0,202	-24,982	-20,598	-30,416	-0,121	-	-	-	-	-	-
228,35	-0,204	-24,784	-20,391	-30,228	-0,120	-	-	-	-	-	-
229,95	-0,206	-24,625	-20,218	-30,075	-0,237	-	-	-	-	-	-
230,99	-0,208	-24,390	-20,007	-29,897	-0,237	-	-	-	-	-	-
227,98	-0,204	-24,155	-19,881	-29,817	-0,234	-	-	-	-	-	-
225,16	-0,208	-23,883	-19,703	-29,714	-0,234	-	-	-	-	-	-
226,02	-0,206	-23,691	-19,554	-29,611	-0,229	-	-	-	-	-	-
228,78	-0,210	-23,465	-19,360	-29,466	-0,230	-	-	-	-	-	-
231,05	-0,208	-23,290	-19,198	-29,327	-0,229	-	-	-	-	-	-
233,57	-0,206	-23,073	-18,991	-29,155	-0,227	-	-	-	-	-	-
235,54	-0,206	-22,909	-18,818	-28,999	-0,227	-	-	-	-	-	-
237,32	-0,208	-22,707	-18,603	-28,791	-0,230	-	-	-	-	-	-
238,48	-0,208	-22,551	-18,413	-28,594	-0,227	-	-	-	-	-	-
238,42	-0,208	-22,373	-18,176	-28,324	-0,227	-	-	-	-	-	-
238,42	-0,206	-22,232	-17,979	-28,084	-0,227	-	-	-	-	-	-
239,04	-0,206	-22,058	-17,748	-27,816	-0,230	-	-	-	-	-	-
240,26	-0,208	-21,900	-17,556	-27,603	-0,229	-	-	-	-	-	-
242,04	-0,216	-21,715	-17,326	-27,359	-0,229	-	-	-	-	-	-
243,83	-0,214	-21,558	-17,134	-27,171	-0,227	-	-	-	-	-	-
245,97	-0,214	-21,364	-16,914	-26,949	-0,230	-	-	-	-	-	-
247,82	-0,216	-21,205	-16,731	-26,777	-0,230	-	-	-	-	-	-
250,03	-0,212	-21,013	-16,517	-26,573	-0,227	-	-	-	-	-	-
251,81	-0,217	-20,849	-16,342	-26,406	-0,230	-	-	-	-	-	-
253,71	-0,214	-20,653	-16,133	-26,212	-0,230	-	-	-	-	-	-
255,49	-0,210	-20,493	-15,958	-26,049	-0,227	-	-	-	-	-	-
257,33	-0,212	-20,295	-15,740	-25,852	-0,230	-	-	-	-	-	-
258,93	-0,208	-20,129	-15,568	-25,688	-0,230	-	-	-	-	-	-
260,34	-0,236	-19,929	-15,367	-25,507	-0,246	-	-	-	-	-	-
261,82	-0,234	-19,761	-15,191	-25,354	-0,248	-	-	-	-	-	-
263,41	-0,236	-19,564	-14,996	-25,180	-0,246	-	-	-	-	-	-
264,52	-0,236	-19,403	-14,835	-25,038	-0,250	-	-	-	-	-	-
266,05	-0,242	-19,198	-14,638	-24,864	-0,248	-	-	-	-	-	-
267,34	-0,246	-19,032	-14,477	-24,726	-0,248	-	-	-	-	-	-
268,82	-0,244	-18,827	-14,287	-24,557	-0,246	-	-	-	-	-	-
269,98	-0,265	-18,556	-14,099	-24,397	-0,246	-	-	-	-	-	-
270,97	-0,267	-18,355	-13,927	-24,237	-0,248	-	-	-	-	-	-
271,33	-0,268	-18,181	-13,778	-24,111	-0,248	-	-	-	-	-	-
268,94	-0,267	-17,989	-13,664	-24,046	-0,252	-	-	-	-	-	-
40,34	0,009	-8,623	-13,187	-29,691	-0,041	-	-	-	-	-	-
41,32	0,009	-8,450	-13,051	-29,590	-0,046	-	-	-	-	-	-
39,48	0,009	-8,456	-13,057	-29,606	-0,045	-	-	-	-	-	-

RESULTADOS EXPERIMENTAIS — VIGA V22_A

CARGA [kN]	LVDT # 2 [mm] apoio	LVDT # 3 [mm] carga	LVDT # 4 [mm] central	LVDT # 5 [mm] carga	LVDT # 6 [mm] apoio	ϵ_{0A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{0B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45B} [$\times 10^{-6}$]
0,00	-0,004	-36,678	-36,376	-38,493	0,002	0	0	0	1	0	0
9,89	-0,004	-36,559	-36,271	-38,407	0,000	0	1	-2	0	0	-1
12,59	-0,002	-36,421	-36,135	-38,296	0,000	-1	1	-3	0	0	-4
15,17	-0,004	-36,310	-36,020	-38,201	-0,004	-2	0	-5	-1	0	-7
17,81	-0,006	-36,199	-35,906	-38,113	-0,005	-2	1	-7	0	0	-10
20,20	-0,006	-36,116	-35,818	-38,038	-0,009	-2	0	-9	0	0	-12
23,27	-0,008	-36,006	-35,703	-37,942	-0,007	-2	1	-11	-1	-1	-15
26,40	-0,015	-35,896	-35,582	-37,850	-0,011	-1	1	-13	-1	-1	-18
29,66	-0,013	-35,786	-35,466	-37,745	-0,011	-2	0	-15	0	-1	-22
32,79	-0,017	-35,671	-35,345	-37,654	-0,007	-2	2	-18	2	-2	-25
35,31	-0,019	-35,585	-35,251	-37,573	-0,007	-1	1	-19	2	-3	-27
38,19	-0,019	-35,484	-35,141	-37,486	-0,007	-1	2	-21	3	-2	-30
41,32	-0,021	-35,389	-35,039	-37,402	-0,011	0	1	-23	3	-2	-33
44,64	-0,021	-35,284	-34,927	-37,312	-0,011	0	2	-26	5	-3	-36
47,28	-0,023	-35,197	-34,830	-37,232	-0,011	0	2	-28	7	-4	-37
50,66	-0,023	-35,079	-34,700	-37,129	-0,011	0	3	-31	8	-4	-41
53,85	-0,023	-34,954	-34,573	-37,019	-0,011	1	2	-32	10	-5	-43
57,17	-0,021	-34,831	-34,435	-36,912	-0,009	2	3	-34	13	-5	-46
60,54	-0,023	-34,708	-34,299	-36,798	-0,011	2	3	-35	16	-5	-48
63,24	-0,015	-34,603	-34,185	-36,711	-0,012	3	2	-36	19	-7	-49
66,74	-0,015	-34,478	-34,045	-36,598	-0,011	4	3	-37	24	-7	-51
70,12	-0,015	-34,348	-33,900	-36,486	-0,011	5	3	-39	25	-7	-53
73,62	-0,015	-34,219	-33,756	-36,370	-0,012	6	4	-40	29	-9	-55
76,51	-0,015	-34,109	-33,642	-36,276	-0,011	6	4	-40	33	-8	-56
79,95	-0,013	-33,980	-33,501	-36,163	-0,012	7	6	-41	36	-9	-58
83,51	-0,017	-33,851	-33,357	-36,045	-0,011	7	6	-42	41	-9	-59
87,07	-0,015	-33,719	-33,208	-35,927	-0,011	8	7	-44	47	-10	-60
90,69	-0,017	-33,583	-33,064	-35,809	-0,011	10	8	-46	56	-10	-60
93,45	-0,026	-33,476	-32,947	-35,719	-0,009	10	9	-48	63	-9	-61
97,14	-0,025	-33,350	-32,803	-35,598	-0,012	10	10	-50	73	-10	-60
100,70	-0,028	-33,211	-32,656	-35,477	-0,011	12	9	-53	78	-10	-60
104,38	-0,023	-33,073	-32,509	-35,356	-0,011	15	8	-56	83	-10	-60
107,14	-0,026	-32,963	-32,391	-35,257	-0,012	19	7	-59	89	-9	-60
110,77	-0,025	-32,825	-32,238	-35,131	-0,004	22	7	-64	96	-10	-58
114,39	-0,026	-32,683	-32,087	-35,003	-0,005	26	6	-69	104	-9	-57
118,13	-0,045	-32,542	-31,936	-34,875	-0,005	27	5	-72	114	-8	-55
121,76	-0,047	-32,394	-31,780	-34,746	-0,007	30	4	-74	128	-6	-54
124,52	-0,047	-32,273	-31,640	-34,635	-0,005	34	4	-76	137	-1	-52
128,33	-0,049	-32,129	-31,487	-34,504	-0,005	39	4	-78	150	3	-54
131,83	-0,049	-31,984	-31,329	-34,371	-0,005	45	4	-81	159	10	-58
135,51	-0,051	-31,844	-31,174	-34,238	-0,007	53	5	-83	166	13	-62
138,58	-0,047	-31,726	-31,041	-34,129	-0,005	59	6	-87	170	18	-66
142,02	-0,049	-31,572	-30,881	-33,996	-0,004	64	6	-90	174	23	-73
145,70	-0,051	-31,432	-30,719	-33,854	-0,007	68	6	-92	179	28	-82
149,39	-0,055	-31,277	-30,559	-33,715	-0,007	67	7	-93	169	35	-92
152,89	-0,055	-31,131	-30,394	-33,582	-0,007	64	9	-96	162	42	-104
155,77	-0,055	-31,014	-30,264	-33,469	-0,007	61	10	-99	159	46	-112
159,34	-0,060	-30,864	-30,102	-33,334	-0,007	54	10	-101	157	50	-121
162,90	-0,060	-30,710	-29,940	-33,197	-0,009	46	11	-105	155	53	-130
166,34	-0,059	-30,564	-29,781	-33,060	-0,009	40	14	-108	152	54	-140
169,04	-0,060	-30,446	-29,652	-32,946	-0,005	34	19	-112	151	54	-148
172,54	-0,066	-30,303	-29,492	-32,810	-0,005	30	22	-116	148	55	-160
176,10	-0,068	-30,155	-29,326	-32,668	-0,007	25	30	-120	135	54	-180
179,48	-0,096	-30,002	-29,162	-32,526	-0,004	23	38	-125	121	53	-198
182,67	-0,115	-29,851	-28,994	-32,382	-0,129	18	45	-129	114	54	-213
185,37	-0,115	-29,728	-28,867	-32,268	-0,127	15	54	-132	108	55	-225
188,75	-0,115	-29,583	-28,715	-32,126	-0,129	11	73	-136	104	56	-237
192,00	-0,113	-29,430	-28,554	-31,980	-0,130	7	95	-141	100	54	-248
195,19	-0,112	-29,275	-28,386	-31,842	-0,129	5	133	-147	95	55	-261
198,39	-0,115	-29,129	-28,219	-31,696	-0,129	2	155	-153	88	58	-272
200,84	-0,117	-29,004	-28,081	-31,579	-0,130	0	166	-159	85	58	-281
203,85	-0,115	-28,849	-27,917	-31,428	-0,127	-3	179	-164	80	57	-293

207,11	-0,115	-28,693	-27,747	-31,281	-0,130	-8	193	-170	74	56	-305
210,12	-0,115	-28,542	-27,577	-31,130	-0,130	-10	204	-177	70	57	-316
212,63	-0,153	-28,420	-27,441	-31,014	-0,129	-13	216	-182	64	56	-324
215,64	-0,153	-28,265	-27,270	-30,867	-0,132	-17	226	-188	60	56	-333
218,53	-0,155	-28,114	-27,102	-30,719	-0,132	-21	237	-192	55	55	-342
221,47	-0,157	-27,958	-26,927	-30,565	-0,134	-26	244	-197	48	54	-352
224,42	-0,153	-27,805	-26,761	-30,418	-0,132	-30	253	-202	44	52	-361
226,63	-0,153	-27,687	-26,628	-30,302	-0,132	-34	261	-206	40	50	-370
229,03	-0,240	-27,530	-26,444	-30,128	-0,134	-37	273	-210	66	45	-405
231,67	-0,242	-27,375	-26,270	-29,965	-0,134	-43	281	-217	86	32	-432
234,19	-0,244	-27,222	-26,099	-29,807	-0,134	-47	286	-222	84	22	-449
236,09	-0,244	-27,103	-25,957	-29,670	-0,130	-50	288	-227	79	19	-460
238,30	-0,242	-26,952	-25,782	-29,499	-0,127	-54	291	-235	61	15	-471
240,20	-0,242	-26,797	-25,599	-29,315	-0,129	-60	293	-243	34	12	-479
241,98	-0,246	-26,646	-25,413	-29,119	-0,196	-65	295	-252	1	10	-487
242,66	-0,246	-26,480	-25,198	-28,865	-0,196	-72	296	-261	-69	11	-490
243,15	-0,246	-26,361	-25,034	-28,667	-0,195	-76	296	-267	-121	12	-496
235,29	-0,259	-26,291	-24,825	-28,333	-0,195	-76	292	-264	-293	19	-529
236,70	-0,259	-26,155	-24,639	-28,114	-0,195	-77	293	-267	-331	20	-543
239,16	-0,257	-26,015	-24,458	-27,912	-0,198	-79	294	-271	-357	21	-554
241,12	-0,263	-25,894	-24,314	-27,750	-0,198	-81	295	-275	-376	21	-560
243,58	-0,259	-25,747	-24,128	-27,553	-0,198	-85	295	-282	-396	22	-569
245,91	-0,263	-25,588	-23,945	-27,363	-0,196	-90	295	-290	-415	23	-575
248,00	-0,259	-25,431	-23,759	-27,173	-0,198	-97	291	-299	-434	25	-583
249,90	-0,261	-25,267	-23,561	-26,985	-0,196	-108	280	-312	-450	26	-589
251,01	-0,259	-25,120	-23,408	-26,836	-0,198	-119	272	-326	-462	27	-595
247,76	-0,263	-24,900	-23,270	-26,731	-0,198	-171	261	-362	-470	27	-594
229,52	-0,295	-24,420	-23,149	-26,795	-0,245	-366	327	-441	-463	27	-578
230,99	-0,297	-24,213	-22,985	-26,683	-0,245	-388	331	-460	-466	27	-580
232,96	-0,297	-24,062	-22,849	-26,583	-0,241	-400	335	-471	-469	27	-581
235,23	-0,295	-23,875	-22,685	-26,457	-0,245	-415	341	-483	-471	27	-584
237,50	-0,295	-23,689	-22,519	-26,331	-0,245	-428	346	-494	-475	27	-586
239,59	-0,293	-23,498	-22,353	-26,205	-0,245	-439	352	-503	-479	27	-589
241,37	-0,293	-23,317	-22,191	-26,075	-0,245	-449	359	-510	-484	28	-591
242,35	-0,297	-23,166	-22,060	-25,971	-0,245	-455	365	-514	-487	28	-594
240,57	-0,295	-22,903	-21,877	-25,848	-0,245	-458	375	-508	-490	27	-595
56,74	-0,009	-14,944	-21,594	-27,137	-0,086	-	192	-	-283	8	-382
58,39	-0,009	-14,767	-21,443	-27,024	-0,087	-	192	-	-283	8	-383
57,60	-0,009	-14,763	-21,441	-27,029	-0,089	-	191	-	-282	8	-383

RESULTADOS EXPERIMENTAIS — VIGA V22_B

CARGA [kN]	LVDT # 2 [mm] apoio	LVDT # 3 [mm] carga	LVDT # 4 [mm] central	LVDT # 5 [mm] carga	LVDT # 6 [mm] apoio	ϵ_{0A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45A} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{0B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{90B} [$\times 10^{-6}$]	ϵ_{45B} [$\times 10^{-6}$]
0,00	0,002	-33,842	-40,108	-34,037	0,004	0	0	0	0	0	1
9,46	-0,002	-33,734	-39,998	-33,945	0,000	-2	1	0	-1	0	3
11,42	0,000	-33,600	-39,866	-33,831	0,000	-2	0	-1	-3	0	3
13,63	0,000	-33,473	-39,739	-33,714	-0,002	-3	0	-1	-3	0	4
15,84	0,000	-33,350	-39,613	-33,605	0,000	-5	0	0	-4	0	6
18,18	0,000	-33,230	-39,493	-33,504	0,004	-4	0	-1	-4	0	8
20,69	-0,002	-33,111	-39,372	-33,396	0,000	-6	0	-2	-5	1	11
23,33	0,002	-32,997	-39,253	-33,293	0,000	-6	0	-2	-6	0	13
26,03	0,002	-32,881	-39,137	-33,197	0,000	-8	0	-2	-6	0	16
28,80	0,002	-32,764	-39,014	-33,089	0,000	-7	0	-2	-6	0	19
31,62	0,002	-32,648	-38,891	-32,989	-0,002	-7	-1	-3	-5	-1	22
34,45	0,000	-32,525	-38,768	-32,886	0,002	-8	-1	-3	-4	-1	25
38,07	-0,002	-32,379	-38,621	-32,758	-0,002	-8	-2	-4	-3	-2	30
40,89	0,002	-32,262	-38,492	-32,655	0,002	-9	-2	-4	-2	-1	32
43,78	-0,006	-32,139	-38,371	-32,552	-0,004	-8	-4	-4	-1	-2	36
46,48	-0,006	-32,017	-38,244	-32,444	-0,002	-9	-4	-3	0	-3	37

49,18	-0,004	-31,889	-38,112	-32,334	-0,002	-10	-4	-4	0	-4	39
51,82	-0,006	-31,771	-37,985	-32,231	-0,002	-10	-5	-4	2	-4	40
54,53	-0,004	-31,641	-37,852	-32,117	-0,002	-10	-5	-6	2	-5	43
57,35	0,000	-31,525	-37,724	-32,007	0,002	-12	-5	-7	4	-5	45
59,93	-0,002	-31,404	-37,603	-31,904	0,000	-13	-6	-9	6	-6	47
62,57	0,000	-31,277	-37,465	-31,792	0,002	-14	-7	-9	7	-6	49
65,27	-0,006	-31,154	-37,332	-31,687	0,002	-15	-6	-10	9	-6	50
68,65	0,002	-31,002	-37,174	-31,558	0,000	-16	-8	-12	11	-5	55
71,41	-0,009	-30,887	-37,051	-31,455	-0,012	-16	-9	-14	12	-4	57
73,99	-0,004	-30,760	-36,930	-31,343	-0,011	-15	-9	-15	12	-2	57
76,69	-0,004	-30,641	-36,803	-31,247	-0,011	-14	-11	-17	12	-1	59
79,52	-0,006	-30,527	-36,670	-31,140	-0,012	-14	-11	-19	14	1	62
82,22	-0,004	-30,402	-36,540	-31,037	-0,007	-13	-12	-22	16	1	65
85,04	-0,006	-30,284	-36,413	-30,933	-0,012	-13	-12	-24	18	5	70
87,68	-0,009	-30,159	-36,279	-30,822	-0,007	-12	-13	-25	19	7	76
90,51	-0,017	-30,040	-36,152	-30,718	-0,012	-12	-14	-27	23	11	84
93,27	-0,009	-29,917	-36,018	-30,600	-0,004	-12	-13	-27	25	13	89
96,10	-0,017	-29,797	-35,884	-30,496	-0,007	-10	-15	-22	27	16	95
99,47	-0,017	-29,646	-35,721	-30,363	-0,014	-8	-19	-13	32	25	112
102,29	-0,025	-29,523	-35,591	-30,252	-0,016	-5	-22	-4	41	33	135
104,93	-0,026	-29,402	-35,449	-30,144	-0,012	-2	-24	7	47	39	152
107,88	-0,028	-29,282	-35,326	-30,036	-0,014	-1	-23	17	54	46	168
110,64	-0,023	-29,154	-35,183	-29,927	-0,012	0	-24	29	64	52	185
113,41	-0,026	-29,042	-35,052	-29,819	-0,014	2	-23	43	73	60	205
116,23	-0,025	-28,918	-34,918	-29,711	-0,012	10	-19	67	79	68	222
118,99	-0,025	-28,795	-34,784	-29,604	-0,011	18	-15	92	84	78	238
121,70	-0,028	-28,674	-34,649	-29,494	-0,014	29	-10	118	81	88	238
124,40	-0,025	-28,551	-34,508	-29,384	-0,018	42	-4	147	80	95	243
127,16	-0,028	-28,431	-34,381	-29,274	-0,018	54	4	177	78	100	246
130,54	-0,023	-28,271	-34,209	-29,128	-0,016	71	14	212	77	106	253
133,24	-0,026	-28,153	-34,079	-29,027	-0,018	83	23	241	73	112	257
135,94	-0,026	-28,032	-33,941	-28,908	-0,021	98	33	274	67	119	258
138,52	-0,025	-27,907	-33,805	-28,793	-0,014	111	44	305	61	127	258
141,28	-0,026	-27,790	-33,667	-28,679	-0,016	124	56	333	58	134	259
143,98	-0,032	-27,672	-33,534	-28,562	-0,021	136	68	364	54	139	260
146,56	-0,026	-27,545	-33,400	-28,441	-0,014	148	83	394	50	143	261
149,27	-0,026	-27,424	-33,266	-28,329	-0,014	159	99	423	48	146	263
151,97	-0,051	-27,301	-33,130	-28,219	-0,079	176	125	480	43	150	262
154,61	-0,053	-27,181	-32,995	-28,114	-0,077	191	152	531	36	152	262
157,25	-0,047	-27,056	-32,857	-27,997	-0,073	212	191	599	30	155	261
160,44	-0,085	-26,907	-32,690	-27,858	-0,073	236	250	684	16	156	254
163,08	-0,085	-26,786	-32,555	-27,747	-0,075	249	295	741	3	158	247
165,60	-0,085	-26,663	-32,421	-27,635	-0,071	254	330	778	-5	160	246
168,12	-0,081	-26,541	-32,291	-27,523	-0,073	258	361	808	-12	162	238
170,76	-0,083	-26,422	-32,149	-27,411	-0,071	261	389	834	-17	165	239
173,21	-0,083	-26,303	-32,015	-27,299	-0,071	264	418	861	-23	167	239
175,79	-0,085	-26,176	-31,892	-27,191	-0,080	267	449	888	-27	167	239
178,49	-0,125	-26,060	-31,759	-27,077	-0,079	270	480	916	-31	170	242
180,95	-0,125	-25,941	-31,625	-26,967	-0,080	276	510	943	-34	172	244
183,41	-0,130	-25,819	-31,495	-26,852	-0,175	278	544	968	-37	174	246
185,74	-0,130	-25,704	-31,362	-26,740	-0,175	274	578	993	-39	175	248
188,69	-0,128	-25,551	-31,196	-26,594	-0,177	251	618	1004	-43	178	252
191,08	-0,130	-25,435	-31,069	-26,479	-0,173	238	645	1013	-46	180	255
193,48	-0,132	-25,316	-30,939	-26,372	-0,175	227	671	1021	-49	182	258
195,81	-0,130	-25,202	-30,814	-26,260	-0,175	215	695	1025	-52	183	261
198,08	-0,134	-25,082	-30,682	-26,143	-0,177	203	713	1023	-55	186	261
200,35	-0,132	-24,959	-30,549	-26,033	-0,175	193	732	1021	-58	188	258
202,50	-0,132	-24,840	-30,421	-25,926	-0,173	178	747	1012	-60	190	261
204,34	-0,136	-24,722	-30,290	-25,820	-0,175	160	755	996	-62	189	263
206,37	-0,134	-24,603	-30,165	-25,713	-0,177	139	761	980	-64	189	265
208,33	-0,134	-24,485	-30,029	-25,598	-0,178	118	765	963	-64	187	267
210,18	-0,164	-24,362	-29,902	-25,482	-0,187	98	764	944	-68	187	268
212,39	-0,163	-24,217	-29,742	-25,349	-0,182	70	761	915	-72	184	268
213,86	-0,163	-24,097	-29,615	-25,239	-0,184	46	760	882	-76	177	255
215,33	-0,164	-23,976	-29,492	-25,122	-0,184	20	752	849	-84	174	249
216,81	-0,164	-23,860	-29,371	-25,015	-0,184	-3	742	816	-91	170	244
218,04	-0,163	-23,743	-29,246	-24,909	-0,186	-29	721	771	-97	166	238
219,14	-0,166	-23,620	-29,130	-24,804	-0,184	-61	701	723	-103	163	236
220,31	-0,164	-23,502	-29,005	-24,701	-0,186	-94	684	674	-110	159	232
221,17	-0,164	-23,385	-28,894	-24,605	-0,186	-130	675	624	-115	158	227

222,03	-0,161	-23,267	-28,778	-24,511	-0,184	-164	669	583	-121	155	223
223,01	-0,161	-23,146	-28,655	-24,411	-0,182	-196	665	548	-128	155	221
224,36	-0,161	-23,023	-28,539	-24,307	-0,182	-219	662	523	-133	155	220
224,67	-0,166	-22,903	-28,420	-24,179	-0,182	-244	657	495	-153	147	216
218,96	-0,280	-22,870	-28,317	-23,946	-0,244	-256	649	472	-235	138	198
214,29	-0,280	-22,817	-28,187	-23,722	-0,244	-263	644	461	-271	127	186
215,46	-0,285	-22,728	-28,053	-23,563	-0,252	-267	645	459	-282	126	183
216,56	-0,285	-22,631	-27,926	-23,404	-0,252	-271	644	457	-296	125	179
217,54	-0,283	-22,536	-27,795	-23,248	-0,250	-277	645	454	-305	123	177
217,79	-0,282	-22,437	-27,672	-23,088	-0,250	-281	645	451	-315	119	172
122,62	-0,102	-23,590	-26,608	-19,259	-0,012	-194	457	314	-656	-1503	-2440
75,46	-0,142	-23,513	-26,334	-19,343	-0,043	-198	464	310	-620	-1401	-2228
78,23	-0,144	-23,411	-26,201	-19,195	-0,048	-198	465	312	-618	-1404	-2214
79,21	-0,142	-23,357	-26,115	-19,098	-0,046	-199	465	311	-617	-1406	-2207
78,35	-0,144	-23,368	-26,123	-19,103	-0,048	-200	465	308	-617	-1410	-2202