

REFORÇO À FLEXÃO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO POR MEIO DE
PROTENSÃO EXTERNA

Diana Valeria Schwenk Romero

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM
ENGENHARIA CIVIL.

Aprovada por:

Prof. Ibrahim Abd El Malik Shehata, Ph.D.

Prof^a. Lídia da Conceição Domingues Shehata, Ph.D.

Prof. Giuseppe Barbosa Guimarães, Ph.D.

Prof^a. Regina Helena Ferreira de Souza, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

MARÇO DE 2007

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

ROMERO, DIANA VALERIA SCHWENK

Reforço à Flexão de Vigas de
Concreto Armado por Meio de Protensão
Externa [Rio de Janeiro] 2007

XIX, 106 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ,
M.Sc., Engenharia Civil, 2007)

Dissertação - Universidade Federal
do Rio de Janeiro, COPPE

1. Reforço à Flexão
2. Vigas
3. Protensão Externa

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

A toda minha querida família, especialmente
Rossy, Hugo e Flavia;
e aos meus saudosos amigos de Santa Cruz.

AGRADECIMENTOS

São várias as pessoas às quais desejo agradecer, pelo apoio e forças ao longo da minha vida que me possibilitaram obter logros como o presente trabalho.

A toda minha família, em especial aos meus pais e à minha irmã, pelo carinho, encorajamento e confiança que depositaram em mim.

Ao professor Ibrahim Shehata, pela dedicação e colaboração que se vê refletida neste trabalho e pelos ensinamentos fundamentais para essa realização.

Aos amigos e professores de Santa Cruz de la Sierra, pela contribuição na minha formação profissional.

Aos amigos da COPPE, especialmente Mauricio e Maria Luisa, pela grande e valiosa ajuda em todos os momentos da elaboração deste trabalho.

À Valeria, pelo apoio, incentivo e amizade nestes anos.

Aos funcionários do laboratório de estruturas da COPPE/UFRJ, pelos serviços prestados na realização dos ensaios do programa experimental.

Ao CNPq e à CAPES, pelo apoio financeiro.

À HOLCIM, pelo fornecimento de material usado nesta pesquisa.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

REFORÇO À FLEXÃO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO POR MEIO DE PROTENSÃO EXTERNA

Diana Valeria Schwenk Romero

Março/2007

Orientador: Ibrahim Abd El Malik Shehata

Programa: Engenharia Civil

A finalidade deste trabalho foi analisar o comportamento estrutural de vigas de concreto armado reforçadas à flexão por meio da protensão de barras externas.

O programa experimental consistiu no ensaio de quatro vigas simplesmente apoiadas, com seção transversal de 150 mm x 400 mm e comprimento de 4500 mm. A taxa de armadura de flexão dessas vigas variou de 0,49% a 1,08%. A primeira viga não foi reforçada e serviu como referência. Duas vigas foram reforçadas com duas barras externas (uma de cada lado) e a última foi reforçada com quatro barras externas (duas de cada lado).

O comportamento estrutural das vigas descritas foi avaliado em termos de flechas, deformações do concreto e da armadura longitudinal de tração e do reforço; e carga de ruptura.

A eficiência da técnica estudada foi verificada com os resultados experimentais, nos quais constatou-se o aumento de resistência das vigas com o reforço; que tiveram um comportamento dúctil, apresentando ruptura por flexão. A teoria da flexão simples pode ser utilizada para avaliar a capacidade resistente das vigas reforçadas.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

FLEXURAL STRENGTHENING OF REINFORCED CONCRETE BEAMS BY EXTERNAL PRESTRESSING

Diana Valeria Schwenk Romero

March/2007

Advisor: Ibrahim Abd El Malik Shehata

Department: Civil Engineering

The purpose of this work was to analyze the structural behavior of reinforced concrete beams strengthened in bending by external prestressing.

The experimental program comprised tests of four beams simply supported, with 150 mm x 400 mm rectangular cross section and 4500 mm length. The flexural reinforcement ratio of those beams varied between 0,49% and 1,08%. The first beam was not strengthened and served as a reference beam. Two beams were strengthened with two external bars (one on each side) and the last one was strengthened with four external bars (two on each side).

The structural behavior of these beams was evaluated in terms of deflections, concrete, internal steel and prestressed steel strains and ultimate load.

The efficiency of the studied technique was verified with the experimental results, where the increase of resistance of the strengthened beams, that had ductile behavior and flexural failure, was achieved. The bending theory can be used to evaluate the flexural resistance of the strengthened beams.

ÍNDICE

1.	Introdução	1
2.	Revisão Bibliográfica	3
2.1	Generalidades.....	3
2.2	Técnicas de Reforço de Vigas à Flexão.....	4
2.2.1	Reforço por Adição de Concreto Armado.....	4
2.2.2	Reforço com Chapas de Aço Coladas.....	5
2.2.3	Reforço por Compósitos de Fibras Colados.....	7
2.2.4	Redução do Vão.....	8
2.2.5	Reforço por Protensão Externa.....	8
2.2.5.1	Aplicação da Protensão Externa.....	10
2.2.5.2	Configuração dos Cabos e Desviadores.....	10
2.2.5.3	Vantagens e Desvantagens.....	11
2.3	Estudos sobre a Técnica de Protensão Externa.....	13
2.3.1	HARAJLI (1993).....	13
2.3.2	BRANCO (1993) e ARAÚJO (1997).....	17
2.3.3	TAN & NG (1997).....	20
2.3.4	ALEMIDA (2001).....	23
2.3.5	TAN, FAROOQ & NG (2001).....	26
2.3.6	NG (2003).....	31
2.4	Modelos de Cálculo.....	33
3.	Programa Experimental	37
3.1	Introdução.....	37

3.2	Materiais.....	38
	3.2.1 Concreto.....	38
	3.2.2 Aço.....	39
3.3	Características das Vigas.....	43
	3.3.1 Dimensões e Armaduras.....	43
	3.3.2 Reforço.....	47
3.4	Execução das Vigas.....	49
	3.4.1 Concretagem.....	49
	3.4.2 Instrumentação.....	50
	3.4.2.1 Extensômetros Elétricos de Resistência (EER).....	50
	3.4.2.2 Extensômetros Mecânicos.....	50
	3.4.2.3 Transdutores de deslocamento.....	51
	3.4.3 Confeção do Reforço.....	52
3.5	Ensaio.....	54
	3.5.1 Montagem.....	54
	3.5.2 Execução.....	56
3.6	Resultados dos Ensaios.....	56
	3.6.1 Viga REF1.....	57
	3.6.2 Viga VRP1.....	60
	3.6.2.1 Pré-fissuração da Viga VRP1.....	60
	3.6.2.2 Ruptura da Viga VRP1.....	62
	3.6.3 Viga VRP2.....	64
	3.6.3.1 Pré-fissuração da Viga VRP2.....	65
	3.6.3.2 Ruptura da Viga VRP2.....	67
	3.6.4 Viga VRP3.....	69
	3.6.4.1 Pré-fissuração da Viga VRP3.....	70
	3.6.4.2 Ruptura da Viga VRP3.....	71
4.	Análise dos Resultados	75
	4.1 Introdução.....	75
	4.2 Resistência Teórica das Vigas antes do Reforço.....	75
	4.3 Resistência Teórica das Vigas depois do Reforço.....	77
	4.4 Análise das Grandezas Medidas.....	80
	4.4.1 Cargas de Serviço e de Ruptura, Rigidez e Ductilidade.....	80

4.4.2	Aumento de tensão na armadura protendida.....	88
4.4.3	Comparação entre as Flechas Teóricas e Experimentais.....	90
5.	Conclusões e Sugestões	94
	Referências Bibliográficas	96
	Apêndice – Tabelas de Resultados dos Ensaio	99

Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

Fd d d gua 21 – r f t i e e g u n a o i e m s r E . 9

F d bG d gua 22 – reon i t a o c r o e p t e n s ã o r s s . 11

F d G g d a 23 – reon i t a a r g a e n h a i a s p o i H s s r i (d 3 L I A 9 9 . 1 R

F d gua 24 – r d t a ñ n g t u v m a d e i s e ç ã o t a n i e l a s a r g a e n a s a l a s p o i s s r i s
NC ÚJ (1 3) e B 9 9 7) R O A 9 9 . R O 17

F d gua 25 – r d t a ñ n g t u v m a d e i s e ç ã o t a n i e l a s a r g a e n a s a l a s p o i s s r i s
T N N G (1 7) A 9 9 . & 21

F d G g d a 26 – reon i t a a r g a e n h a i a s p o i D s s r i L (2001) A A24 E

F d bG gua 27 – reon i t a o m a r o e x t e m i D r L (2001) A A E 25

F d G g d a 28 – reon i t a a r g a e n h a i a s p o i N G s r i s (2001) A 28 Q R O O &

F d g d a 2 d e r e ç ã o i t a n e 9 a r a r g a e n a s a l a s p o i s (2003) s . 32

Capítulo 3 – Programa Experimental

Fd	gua 31 – ra a i e a p n t u n e s t a B e p s n a p a a o e n a r o s s i e t a ç ã o m p e s i l s .	40
F	d gDa 3d2 – b r a g a i m a e l n r ã o – i e f o m a ç ã o s r a a a c o m r r â n e t o e s 8 m m i	41 .
F	d gDa 3d3 – b r a g a i m a e l n r ã o – i e f o m a ç ã o s r a a a c o m r r â n e t o e s 10 m m i	41 .
F	d gDa 3d4 – b r a g a i m a e l n r ã o – i e f o m a ç ã o s r a a a c o m r r â n e t o e s 12,5 m m i	42 .
F	d gDa 3d5 – b r a g a i m a e l n r ã o – i e f o m a ç ã o s r a a a c o m r r â n e t o e s 16 m m i	42 .
F	d gDa 3d6 – b r a g a i m a e l n r ã o – i e f o m a ç ã o s r a a a c o m r r â n e t o e s 20 m m i	43 .
F	G gDa 37 – r e d u z i d a c a e g a n e m e i a g a m a e r e f o ç o o s t a n t e s s s l i i s	
d	v a g a e n a a a s i s s i s .	44
F	d d gDa 38 – d r e t a i a n e m e n t o a a m a l h u a r n e m a r g a i s s i s .	46
F	d gDa 39 – d e t a i a n e m e n t o o V e l h a e e f o ç o s i s a P r g a l e s i s s	47 . R
F	d gDa 310 – d e t a i a n e m e n t o o V e l h a e e f o ç o s i s a g a 2 i .	48 R
F	d b gDa 3d11 – r e z u m e a u t a r a e i a B o i l e r n e r ã o p a a r o i r s	
d	a e n a n e m e n t o o c o n c e t o r .	4 9
F	dP gDa 312 – r o d i a m e n t o d e s i x t e n ô m e t o e s t r o s m a r a i s a l u a i r s s	
d	v n e m a a r g a i s s i s .	50
F	dP gDa 313 – r o d i a m e n t o a s i a p a e c o e s p a h a m e ç ã o a i	
d	e f o m a ç ã o o c o n c e t o r .	51

F d	dP	gua 314	-r o d ã o o . t a n u t o r e p a s n e s ç ã o a s i s			
			d v f e c a m g a e l n d a s a s i s s i s .			52
Fd	dT	gua 315	-r a n i u t o r e . u a o r n e n a s o s a s g s s i s s i s .			52
F d d	G d	gula 316	-v e o r i e t a . o e r a o d i a b c a n t o r e a p a s a n c o r a g e m a r a a			53 r r s s
F d		gua 317	-r a b e i a b . n e v á c o s o i n e o o ã o) t i o e x t r m o s i s s E			
	d		p é - t a c o m a o i s .			54
F d	d	gua 318	-r q u i n t a o e n a o s a g a s i E s i s .			55
F	d C	gula 31	-r o m p o r e n t e 9 o e q u e m a o s n a o s (1) p ó t c o (s 2) i r m a c o i			
	; ;		v á u c o (r 3) g a i (4) h i p o o i i s .			55
F d		gua 320	-r p a l n c a a r g a l a i o a i u p t u a r s R E			57
F	d	gula 321	-r d a g i a m a c a d a e f o r m a ç ã o n a a m a u a r o n g t u m a l i i l			
	v Fd		a g a l e m d e ç ã e t u a a n s n e v s R E q u a t o o i ã o			58 .
F		dgula 322	-r a g i a m a c a g a f e i c a a g a l l h i .			RE 58
F d d		gula 323	-r d g i a m a a r e f o r m a ç ã o o n g t u m a a e l ç ã o à 130 r h m s			
d d			v o n e o f o ã o a g a i l i .			RE 5
F d	V	gua 324	-r p a l n c a a r g a l a i o o e i n a o e p é - f u a ç ã o R r i s s			60
F	d	gula 325	-r d a g i a m a c a d a e f o r m a ç ã o n a a m a u a r o n g t u m a a l g a i l i l i			
d			e m d e ç ã e t u a a n s n e v s i n o q u a t o o i ã o (p é - f u a ç ã o) r i s s .			
F		dgula 326	-r a g i a m a c a g a f e i c a a g a l l (p é - f i u a ç ã o) r i s s			R . 61
F d	V	gua 327	-r p a l n c a a r g a l a i o a i u p t u a r s R			62

F	d	gula 3 28	-r da gíama ca da edormação ra a ma uarong tu ma e tãção i ri l	
d	V		v ed o e pfo do na ga 1, ma ve ção o ne o os ão R i .63	
F		dgula 3 30	-r agíama ca ga-Pe ã n a ga 11h i . R 63	
F	d d	gula 3 30	-r d gíama a re fõ mação ong tu ma a elção à 130 rhm s	
d	d	V	v v o ne o B ão a gai 1 i . R 64	
F	d	V	gua 3 31 -r pañ nca ar ga 2 aipó o eina o e pé-f uarçã R r iss 65.	
F	d	gula 3 32	-r da gíama ca da edormação ra a ma uarong tu ma a lga i 3 l i	
d			e m d çõe tua a ns nevs sino q u a to o iãõ (pé- f uarção) r 66 .	
F		dgula 3 33	-r agíama ca ga-Pe ã n a ga 12(hpé- f i uarção) r iss R .66	
F	d	V	gua 3 34 -r pañ nca ar ga 2 aipó a iuptua r s R 67	
F	d	gua 3 35	+ dig a ma .carg- e iformação ra alma uarong tu ma e tãção e i rol	
	d		Ve fõ ço nêv de upe m i a irgars 2i ma ve ção o ne o os ão 68 i .	
F		dgula 3 36	-r agíama ca ga-Pe ã n a ga 12h i . R 68	
F	d d	gula 3 37	-r d gíama a re fõ mação ong tu ma a elção à 130 rhm s	
d	d	V	v v o ne o B ão a gai 2 i . R 6	9
F	d	gula 3 38	-r da gíama ca da edormação ra a ma uarong tu ma a lga i 3 l i	
d			e m d çõe tua a ns nevs sino q u a to o iãõ (pé- f uarção) r 70 .	
F		dgula 3 39	-r agíama ca ga-Pe ã n a ga 13(hpé- f i uarção) r iss R .71	
F	d	V	gua 3 40 -r pañ nca ar ga 3 aipó a iuptua r s R 72	
F	d	gua 3 41	+ dig a ma .carg- e iformação ra alma uarong tu ma e tãção e i rol	
d	V		v d e pfo do na ga 3 ma ve ção o ne o os ão R i . 72	

F dgula 342 – r agiam ca ga Pe c n a ga l 3 h i . R 73

F d d dgula 343 – r dgiam a re fo ma ção o ng tu ma a elção á 130 rhm s
d d V v o ne o B ão a gai 3 i . R 73

Capítulo 4 – Análise dos Resultados

F dgDa 41 – r agiam a t ranguai d mp frca o t t sni ãeliei agama s rs i
d d e fo ma çõe ra e ção a ga s i . 76

F G dgula 42 – r doni t a, ca e ga ne mo ei agama e mo ne into fe to r l
d v a ga e fo ç a rs i s s . 78

F dgDa 43 – r agiam a t ranguai d mp frca o t t sni ãeliei agama s rs i
d d e fo ma çõe ra e ção a ga e fo ç a r ri . 7 9

F dgDa 44 – r agiam a v ca ga f c n a a B ga H h s lie s 2 RE81 R R

F dgDa 45 – r agiam a v ca ga f c n a a P ga l ãe s B s . RE81 R

F dgDa 46 – r agiam a v ca ga f c n a a B ga H h s lie s 2 RE R R
d = v a é o a o e δ m 16lmm li . 83

F dgDa 47 – r agiam a v ca ga f c n a a P ga l ãe s B s RE R
d = v a é o a o e δ nr 16 rhm li . 83

F dgDa 48 – r agiam a ca ga e i fo ma ção ro aço ma ta co ma o no ne o i i
d v V v V o F ão a P ga P l, s lie s 2 RE. R R84

F dgDa 49 – r agiam a ca ga e i fo ma ção d ra a ma u a r o ng tu ma ne ha e io e fo ç o r r
V v F d a P ga l e s il, sa ve ção o ne o o R ão R i . 85

F dgDa 100 – r agiam a ca ga e i fo ma ção d ra a ma u a r o ng tu ma ne ha e io e fo ç o r r
d d V o ng tu ma ve d ol e fo ç o i a l ga 2 sa ve ção o ne o os ão 86 i .

F d gua D 11 d- ã g a m a . c a g a - V e f o r m a ç ã o d r a D a 2 e s i s (a m a u a r r R E
d d d V o n g t u m v e d o l e f o i ç o i a l g a 3 m a v e ç ã o o n e o s ã o 8 7 i .

F d gua D 4 1 2 r - a g i a m a . c a g a - e f o r m a ç ã o r a a m a u a r v o n g t u m a l g a i , m i l s i s
d d e ç ã o c o e p o n e m e a u m q s a t o o ã o . 8 7

F d g u a 4 1 3 - r a g i a m a c a g a - F e i ç a a g a 1 1 (t e ó c a i e e x p e m e n t a) r R E i 1 1 . 9

F d g u a 4 1 4 - r a g i a m a c a g a - F e i ç a a g a 1 1 (t e ó c a i e e x p e m e n t a) r R i 2 1 . 9

F d g u a 4 1 5 - r a g i a m a c a g a - F e i ç a a g a 1 2 (t e ó c a i e e x p e m e n t a) r R i 2 1 . 9

F d g u a 4 1 6 - r a g i a m a c a g a - F e i ç a a g a 1 3 (t e ó c a i e e x p e m e n t a) r R i 3 1 . 9

LISTA DE TABELAS

Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

Tabela 2.1 – Características das vigas ensaiadas e resultados obtidos por HARAJLI (1993).	15
Tabela 2.2 – Descrição das vigas e resultados obtidos por BRANCO (1993).	18
Tabela 2.3 – Descrição das vigas e resultados obtidos por ARAÚJO (1997).	19
Tabela 2.4 – Características das vigas ensaiadas e resultados obtidos por TAN & NG (1997).	22
Tabela 2.5 – Resultados das forças nos cabos na ruína obtidos por ALMEIDA (2001).	25
Tabela 2.6 – Descrição das vigas sob investigação por TAN, FAROOQ & NG (2001).	27
Tabela 2.7 – Resultados obtidos por TAN, FAROOQ & NG (2001).	29
Tabela 2.8 – Características das vigas e resultados obtidos por NG (2003).	32

Capítulo 3 – Programa Experimental

Tabela 3.1 – Quantidade de material por m ³ de concreto.	38
Tabela 3.2 – Valores médios de resistência do concreto à compressão e à tração.	39

Tabela 3.3 – Características das barras de aço usadas na armadura das vigas e do reforço.	43
Tabela 3.4 – Características das vigas ensaiadas.	45
Tabela 3.5 – Características das vigas reforçadas.	48
Tabela 3.6 – Altura da linha neutra experimental da viga REF1.	59
Tabela 3.7 – Altura da linha neutra experimental da viga VRP1.	64
Tabela 3.8 – Altura da linha neutra experimental da viga VRP2.	69
Tabela 3.9 – Altura da linha neutra experimental da viga VRP3.	74
 Capítulo 4 – Análise dos Resultados	
Tabela 4.1 – Características e resistências teóricas à flexão das vigas antes do reforço.	77
Tabela 4.2 – Valores teóricos do momento resistente devido à protensão	79
Tabela 4.3 – Características e valores teóricos de resistência à flexão das vigas reforçadas.	80
Tabela 4.4 – Cargas de serviço, de escoamento e de ruptura das vigas.	82
Tabela 4.5 – Cargas de escoamento e de ruptura, deslocamentos verticais e índice de ductilidade das vigas.	88
Tabela 4.6 – Relação entre o aumento de tensão dado pela NBR 6118 (2004) e experimental nas barras externas.	89
Tabela 4.7 – Relação entre as cargas de ruptura teórica e experimental das vigas ensaiadas.	90

LISTA DE SÍMBOLOS

Letras Latinas

A_p	Área da seção transversal da armadura protendida
A_s	Área da seção transversal da armadura longitudinal de tração passiva
A'_s	Área da seção transversal da armadura longitudinal de compressão
A_{sw}	Área da seção transversal da armadura de cisalhamento no comprimento s
b_w	Largura da alma de uma viga
d_s	Altura útil em relação à armadura longitudinal passiva tracionada
d'_s	Distância do eixo da armadura de compressão à face mais próxima do elemento
d_p	Altura útil em relação à armadura protendida
E_{ps}	Módulo de elasticidade do aço da armadura ativa
E_s	Módulo de elasticidade do aço da armadura passiva tracionada
f_c	Resistência à compressão do concreto
f_{ck}	Resistência à compressão do concreto característica
f_{pu}	Resistência à tração do aço da armadura ativa
f_{py}	Resistência ao escoamento do aço da armadura ativa
f_y	Resistência ao escoamento do aço da armadura passiva tracionada
f'_y	Resistência ao escoamento do aço da armadura passiva comprimida
F	Força de protensão
h	Altura da seção transversal da peça
h_f	Altura da mesa da seção transversal da peça
l	Vão
M_n	Momento fletor resistente

M_u	Momento fletor último
P	Força externa aplicada (Carregamento)
s	Espaçamento da armadura de cisalhamento
x	Altura da linha neutra
y	Altura do diagrama retangular das tensões de compressão no concreto

Letras Gregas

α_c	Distância crítica de ancoragem desde o apoio
β_1	Fator de redução da altura do diagrama das tensões de compressão no concreto
ε_c	Deformação específica do concreto
ε_{cu}	Deformação específica última de compressão do concreto
ε_p	Deformação específica da armadura ativa
$\varepsilon_{p\infty}$	Deformação específica da armadura ativa, após perdas
ϕ	Diâmetro
ρ	Taxa geométrica da armadura longitudinal de tração
ρ_p	Taxa geométrica da armadura longitudinal de protensão
ρ_{sw}	Taxa de armadura transversal
σ_p	Tensão normal na armadura ativa
$\sigma_{p\infty}$	Tensão normal na armadura ativa após perdas de protensão

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Há muitos anos o concreto é o material estrutural mais usado na construção civil, razão pela qual diversas pesquisas têm visado o desenvolvimento de sua tecnologia e de novas técnicas construtivas, assim como também de programas computacionais para a otimização de peças e seções, todo isto buscando a maior capacidade resistente, maior durabilidade (conseqüentemente uma maior vida útil) e menor custo.

Como as estruturas de outros materiais, as estruturas de concreto sofrem degradação ao longo do tempo, o que pode ser agravado se elas forem projetadas e/ou executadas inadequadamente.

São várias as causas pelas quais é preciso reforçar e/ou reparar as estruturas existentes; devido a erros no projeto, à perda de resistência estrutural devido à deterioração, para corrigir problemas em estado de serviço (grandes deformações, fissuras) ou para aumentar a capacidade de carga das mesmas.

Dentre as existentes, a escolha da técnica de reparo e/ou reforço de estruturas de concreto armado deve ser feita após uma criteriosa avaliação das condições da estrutura e dos materiais e mão de obra disponíveis.

O reforço por meio da protensão externa oferece certas vantagens em relação às outras técnicas, tais como a economia, o aumento da resistência sem aumento significativo de peso do elemento estrutural, a fácil inspeção e manutenção dos cabos, a possibilidade de reprotender ou substituir os cabos e a possibilidade de ser realizado com a estrutura sob ação da carga acidental.

Este trabalho visou analisar o comportamento de vigas com protensão externa aplicada como reforço à flexão. Foram confeccionadas e ensaiadas quatro vigas simplesmente apoiadas, uma sem reforço que serviu como viga de referência, e três que receberam um carregamento prévio antes da execução do reforço a fim de simular uma situação mais próxima da realidade.

No segundo capítulo desta tese são abordadas diferentes técnicas de reparo e/ou reforço, indicando as principais características de cada uma delas e são resumidos alguns estudos experimentais sobre reforço usando protensão externa.

O detalhamento do programa experimental desenvolvido e os resultados obtidos são apresentados no terceiro capítulo.

No capítulo quatro é feita uma análise dos resultados obtidos; são feitas comparações entre os resultados experimentais das vigas e entre resultados experimentais e teóricos.

Finalizando, o quinto capítulo apresenta as conclusões deste trabalho e as recomendações para futuras pesquisas relacionadas ao tema abordado. As tabelas com os resultados dos ensaios de cada viga podem ser encontradas no Apêndice.

2.1 GENERALIDADES

C d once to é um male a evcont ução idrat ane u á le ie que eq ue urta r
 d no manutenção o que eb tutua e N utos ma ersa ão os tanej is.pa oe resfoço r r
 d e e tutud e d trnts po e nve is re e s ár o es ro a ss is i :
 v

- e nde e dme nto ma tulal, dip o p to ma eq ua o, má i q ua a e o ma elia , rs i is
- d d pát ca er con t ução i sr eq ua sa i s
- b d
 - rlf uê nca am e intal e a icse nê i(o isvca ga ,r mpscto e cusa é , e emoto ,r s s
 - fu açõe , fo go) s
 - d mu açna ma ut açõe (a sune ntido ca e gme nto a é m o a oe lo po isto l r s
 - o g ma) r i i l
 - d
 - a une nto a ex gê nca e esgu a nça i sr s .

d d e f cê nca e q ua q u e d A é cu lar e le ph o e r ó u re fo ço re p e r n e mu to a i
 lvd a a açõe do e ta o h a e tutua e n d e d ão a é lcn ca le e fo ço e p e m e o t p o e i
 d d ed tutua, a m rgnstud e o da une nto i a e ê nca eq ue s r s oricu to i s s s.

2.2 TÉCNICAS DE REFORÇO DE VIGAS À FLEXÃO

de fô çõ e e e r d e n t o e t u t u á p e s e s é t o n i r a n t e s i i :

- a çã o e m a t e a i d (c o n c e t o , c i a p a n e t á c a l h o a s a c o l i n e m e p ó x , s i i
- b d c o m p ó t o a m a o d o s i d f e l a P e c a r o b o (i r G F) D u e o (r) , c a ò R s
- b d p o t e n ; σ , o u c o m m a ç õ e s e e m a t e a) s s s i i s
- d d e l t n çã o r e e f e i d i p o i n e o e r e ; f o m a çã o i m p o t a o t e m a e t u t u a s i r r s l
- v ▪ a çã o e m o o e e n e n t o e t u t u á r r s s i s .

F Ç E 2 1 Ç D . C N O T I M R E O R D O R Õ E O A R E A O R O

e n é t d o e e f o ç o é r o m a d a n E g o m a n ú i s a à c o m t u a çã o e r c o n c e s t o , e r

v e m o e a c o o c a çã o d c o n c e t o a m a r o a r c o m e m u m e e i n t e t u t u a l r r s l .

P d d o e m e a u m e n t a a e s ç õ e e p a e s , s g a s a ç i l e p a e e s p a a a u m e n t a a s r

d c a p a c i d a d e e c a g z e i o u r g e d r m t o o i d i c a o , á a s u m e n t o s f o p e o p ó p o r r s i

d e o a o a d m e n t o a e çã o , q u e e e s c o n e r a o n o p o ç i r .

d d U d m a c a n t a a e c o n c e t o a c o m a c o d a a e i m c l m l a a ç o g i r a p o d i i l

d d a u m e n t a a c a p a c i d a d e t u t u a i r g a s q u e a l u p o t a m s e r o a o a u m e n t o á a t u a r l

v d e f t a a a m a u a i r m a e g ã o e d m o t e n t o i p o t o a m é m s p i e . a u m e n t a a r

d c a p a c i d a d e e t e n e r i a e g ã o s e l e v m o t e n t o i n t e g a t o e o u e a i çã o s e h a m a u a i r r

b r e a c a m a a m a s m o o c a o é r e c e s á s o ç i e a r n t e s a c i e v n t e c o i n c e r t o n o r o e s

d a n t g o e j a d c a p a i e t a n m t r a e r r õ e s e i c s a a s e n t o P e a i s e l h e n e a l a i s r s .

d d z m n n d a o p e o a r i ç i o i a o e s f o ç o i p o e t e r e v u a c o n c e t o e l e s l .

d d d n é t o o a l u m e n t o a e çã o e c o n c e s t o a m a o é r e a t a n e n t e m p l e i e s i l s

e x e c u t a e e c o n f i r m a çã o i .

SC N e g u n o d d (1 I 8) , v o z a u m e n t o 9 a o R e F r R O n e n ç e l a s e ç a e s s

d c o n e q u e n t e n e d e a s c a g a p e m a d e n t e r e b o e f e t d a e t a çã o , r c i u a n o p o e m a r s e l s

a d e ê n c a e i f u a çã o e v i t e a i s a m a a d m o a e o e e n e n t o a n t g o , l i a e a i n t a g n s s

v mad e e anter el adē dn ca s uss a avitr. ação eia t vilinō conce to ino sr a f m i
e anua oe ē tor a etlação r i .

d d guma a e Colne nra sō s o (dl 83) pa a ga anō a Be f cê fca i o i i i
e nca m a n e n t o ã o i s s :

d v d ▪ edmo e rod conce to e dne gal o ob red s i o a o com ta a i e a, e cor lh o ai r s i s
d av ná u d r q u e r t e e m p o s o a s o n r e m a e ê n c a a o r c o n c e t o i r

dv d ▪ p o m o e r u m a u n e n t o e u g o a r e, e r e c e á s i o s r s s i

d v ▪ e m o e l n; g a x a o r c o n c e t o e f s r u g e m r a ç o

v d ▪ e m o e f t o a u ç ã e p ó l a u s p f i c e o i n c e t o, u t i r a n o j a t o e á g i a o
p e ã o r s s

▪ a t u a o c o n c e t o s a n t g o p o, p e d n e n i o, 6 o a l a n t e r s a p h c a ç ã o s m a e d i r i l
n o o

▪ a p l c a o c o n t e t o l i a r g a n t a a r c o m e d m p e s s a e a, a p a t r e u n i ú n c o a i o, i l
d v b a f o; m a a e r t a a f o m a r ç ã o e i o a e a t h s

d v ▪ p o r t o e r a c u a r o c o n c e t o p o m e o e r m o á g e n i u e a l h p o s o s m s s i n o s i
10 a i s

d d d ▪ u a c o n c e t o e q u a a e u p d o, o b i n e r s é n c i a à c o m p e s i ç ã o e r n o m n m s i
d MPd 5 a a m a o q u e a o c o n c e t o e x t e n t e i s .

F Ç Q 2 M C P . . § B C R E S O R O A O I A A E A O A O

d e f o l ç o r d e e n e n t o e d c o n d e t o a d n s r o n e a n t e c a p a e a ç o c o a h a f o l s i
v v e e n o í o n o a s o e l S i n t a l n s N s a s s e d m a n a e t e n t e t o o h a e n e n t o e a ç o l s
d í ã o c o d o à u p f c e l e r s o n s e t o c o i n r a e o e p ó x p a a c s à u m r i t e m a e i t e n t e s i s s i s
P c o m p o t o d o ç t o d e r e s f . c a ç ã e , e e s e c u i ç ã o a e q u a o ã o r e c e á o s p s a r a e g r a i s r r s s
a a ç ã o c o m p o t a o t e m a e e s t e n t o s i s g n a h a e f o ç o i r l r i s .

d d c d p d e a ç o c o a l l a a f a c t a c l o m a r e u m a i g a e c o n c e t o a u n e n t a m
d a e ê n z a e a l g s i s à r f e x ã d, e i n j u a n t o a l c o a a v r a a t s a l a s r g a n t e o i s m o i r l h
c o m p o t a n e n t o b r à f e x ã o e d a o c o t a n t e, e r a n o d à m n u l ç ã o a t e n i ç e i a a n a u a r s s r s
v o g m a r a g a i i s i .

d d í pe pa açãõ ar up e f dã or e s me nto ion es d ão co ara a scapa d as s h s
d o p e açãõ arco a g th e em e le x e cuta r a co sm cu a o p s a que e r a e gue a açãõ s s
d conjunta o e e me nto o g ma el ro e fõ ç i r l r .

d d c a pad e açõ es p h ta Ae e dm e d p o e s g r a r co sm um t em s a eq ua os is go l
d C õ o a n ta açãõ a p l i se l a ç o co alda es x t e r a n e n e r n ão e em e u a a co mo s m a s s
o u çãõ ze o ng o s p h o p a r d t u t u a n e t a s a m E n t e a i g e s o i r o t s çãõ a s i f o g o
d t a m é m é u m a co n e açãõ m p o t a s i t e a o r u a i e t a é m c a e s e f o ç o r i r .

d D d e n t e a d g u n t a a a n t e g n s e s n é t o o s e s s i o ç õ e r t i o (H H s
d 2005) a d m p c z a e e s i p e d i o p l o c e l i o r e e d e c u çãõ e s s a f a c a e e a q u çãõ o i s i
d m a t C a n e l e r v á o i o l t r o e s s a i n t a g e n d p d e s h e c t a r a a m p o i a e i e s s i l i
v b z d u a a f u a r i o a r c a p i s e e s t e c t a c h o a b d a r p a t e n t e s a a c a p a i e e a e h s s i
d t e m a e p o t e çãõ l o m t a l n e n r o e c o o ão, e r m p a s e e e s s o a l i m e n t o e s l
e t a c a n e n t o a c a p a h .

d d e C o n e n r a ç õ e d s o A (1 8 3) s p a a o t e r o u B r o r a l f a t ó s d c o m e i a i s s s
é c n c a ã o i s :

- v d ■ e e - e t a t a a d p e ç a r s e co n c e t i (e a d f c a çãõ r a s u p i f c e , e m o çãõ r e i
d p e açõ o t o e co n c e s t u d g o s r u a , ó r o e r p o e a) e a l k r a p a e a ç o (e m b o çãõ r
d e e c a d a e o x r a ç õ e s , g a s x a e ó i r o) a n t e a c o a l e m a c a p a l h
d ■ a l o d a e p e u r a m á x m s s d a s a l é e s m a e p ó x e a c s a p a e a ç o e 1,15
; m m e v 3 0 m m e p e c t a n e n t e s i
■ a p c a u n d p e r ão l e d e e l u n f o s s e r a c r a p a e a ç o q u a n h o e u a c o a g e m n o s l
í d o n c e d o , d p o r m o d n r r m o 2 4 d o a (e p e r n e h t p o a e m a e r a i t e m p e a t u a r r
a m e n t e) i
d v ■ d p o e p o r e çãõ r a e l g ão e i f o ç a r c o n t a a m u r a n ç a e t e m p e a t u a e s f o g o r .

d v d a n o e d a e i s o a r n e n t i e e s t a d a m e n t o v a c s a p a , q u e e a m h à u p t u a l r r
d u c a o r e e n t e n t o s e d o ç a h d e r d e m e c o n d i r a i ç õ e e v u o e s p o t o e i s i s i s
d d n c o a g e m e r e c a e e m a çãõ i a t e n ão n ò co n c e t o j u n t o à g a çãõ co m a c a l p a h .

F Ç 223C MP T . . S F S D C NE OR D BOR O IÓ CB AE RA O O

v D d e do ao e ulpedo, a capí e sço po tam s e f e mais ue o ni oita a si l l
 d d de fo çade a re de a ele entua ssie ne na p b e tam é sm um fa to comp ra o r li .
 d vd ta ed anta gens s xam e e d Est quan or be us am compó sto se e ma es f sa si i s
 F P () . R

í d ca ace tra sma Anps iane d fols Peifo çov comr ão e oc a e es l i R
 fãc d a e e mta a ção no o scul to o ma e ia es e fo ço po é ile comp ma o p a s l
 d b e ução re cudo em mdo e os ase d na q u ma ae e t mpo i e ixe cução o e fo ço r r .

d f l a u a a r d pas adic a s A P cod spó vob é ão si o, a a mra ercai om R ri
 d en o a e ca o so a rta u a a mo e fo çol s d r ut GE Pe conce to (sr) e o a i
 u a po pe a e sr s i s.

C o mo em quaque outo r e lra compo tisa gação e ste o li fo ço r or
 í conce to d x te ne é cdt ca í e sa pe pa a ção ar d p f ce or conce to e o r po e o re ss
 d co age n d o e fo çol e mbe f t d e g un s n d i u ç õ s o f a i c a n e s m a e á o r s i s
 e fo ço r r .

dC v d o mo a d tag n e a é cn ca p se m se c tai a r s i s:
 d ; ▪ fãc za e e ape m i e x e cução i
 zd ▪ m p e a a p z ca ção e e e a li ma e al r il
 ; ▪ ma o e a ção e r é n c r a / p e o s i s i s
 ▪ ma e a e e fo ço m d e d u n e á e à co o ão e r é l f o r e c s e m quaque i r l
 comp ne n to r i .

d v e nte a e r a n tag n s s E s:
 d d d ▪ m p b a z e á ; d s a i d i f u a r i o a r â m i s s o u s t s c o l i i
 ▪ a t o c u t o l s
 d d e l c o e f c e n t d e a t a ç ã o i é n d c a d r o c o m p ó t o i f e n t e a q u i e o c o n c e t o l r
 d d b d e m ê n d a e e t a c a n e n t d o s o e r o a s c o n c e i t a ç ã o e r e n ã e s s
 e l r e c d á a p o t e ç ã o c o n s t a i n e n t e e a a ç ã o r u t e i o e t a í H H l i, 12005) A A

N d a d atua ão d u g e l i o m s e s p a a i e s f i r m a ç ã o r o c o m p ó t o e p a a t e n ã o s i s
 c a a n t e m o d o c o n c i s t h j u n t o a o b o m p ó d t o , a n o e t s i u p t a r r u a c i o e e n e n t o s s l
 d v d e f o ç a o e r d o a e c o a n e n t o e e t a c a l e n t o o c o m p ó t o s i .

V UÇ D 2 4 D ã E ã O O

d d e d i ç ã o r e ã o t e m A u z a s a a e s t u v o r e f o r ç o e m i z g a s e a s a a r i s . l i
 c o m a a ç ã o e d p a e i v q u e e q u e s m o a r f u n a ç ã e , o q u e p o e s a u n e n t a r
 v d c o n e a e n e m e o s i c u t o l o e f o ç o r s m e o m a t . a p a l h e t a r a p i d a ç ã e ã o s l i s s
 d d p e f n e t r c o , q u e ã o á p l i o s e n s t a a i s r i s l .

F Ç D 2 5 P T N X S N R E O R O O R ã O E O E A E R

d p l o t e n ã o e x t e m a ã e A u m n e t o o e c o n t u ç ã o m o r a n o s c r i t e n t a , s e t e m i
 d v o e f t a n e n t s i u a a p a a u n e n t a a e r e n c r a à f e x ã o e a o i c a l a n e n t o e i s l h
 d m n u e f o m a ç ã o e r m e e n e n t o e N o n d e t o a m o r o e e n e n t o a e f o ç a r ã o r s r s
 a p c a a f o ç a e x t r i m a s c o n t e s t o c o n s t á o a b i r a c a g a i s u o m a s , p o s n e d i e r i s i
 d d a o e p o t e n ã o r o s a d a o f s a d a v e l ã o D a s p e ç a í e s o a o p e o a c i m a m n s m o i i l i i
 o t e m a e e f o ç a s e t a r e c n c a é p a d s c u a m i n e v e c o m o m l c a p a a g a r e i g a n e i r s s
 v ã o s .

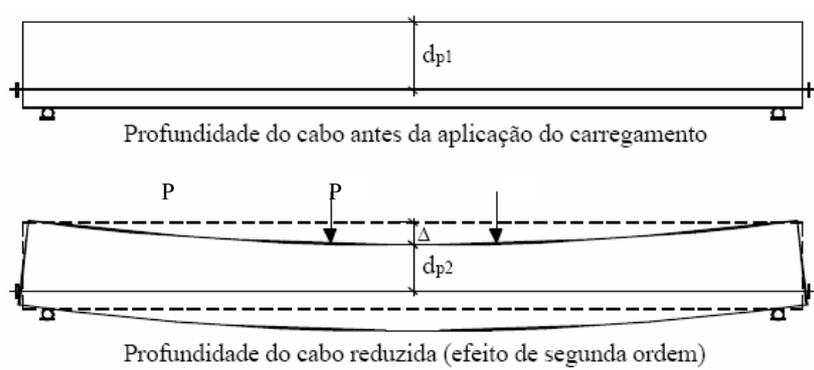
d f o ç a a p r o t e ç ã o é t a d a m t r a s à g a p o s n e i o e r e a o e e a n o a g i n i s s
 d n o e x t e m o r u s o a p o t e n ã o e x t e m a f o r s O p o p u a m a i ú t m a l u a é c a l á , s s s
 d e p o a n e o d a a s p r o t e ç ã o i n t a a c o r o ã o o r c a o e x t e m o s c o m e s p ó x o u s i
 b d g a x a a r o e f F a P e p r á t c o (b s) , n ã s d i e t o a c o o ã o , t m s e m é n s o s i
 u a o s s .

d r e f e r e n c i a a p r o t e ç ã o A r i o e t a o d s e e s ç o s e r e s m e ú t m o p o l i e l i r s
 v a a a e n t o d e a i m p o n e t e , d e e d o s m a i n i d s f e s e l n e i n e t o o i a a p s a ç ã o s l i
 d p o t e n ã o e u a n o t s n t o p e s f e c i r i o s i s s .

U d ma de cd vmpo tantesque eide e con era oéque o sime nto a e ê nca sis i
 à fe xão e ad edfo do co ante simda comp ddo e uma e lução ra uct a e a ili s
 d í ga do po que a s ns e rá po uptuas ro bnce to e gra ne nre m que ol ca os s s
 e po nã o nte m m e scoa nte o d nta nto, a gun e na o ê n h m s taso i que ra s s
 b ga d po n ã b d m ca o e d e s m e e f o s m a m á s t a n t e a n t e e a t s n g a u n a r r i i .

a m d do, e m g e a b q u i a a g a É p b e n a r i o m c a o e i x t e m o p e n s e s r s
 d d a m a a b c o m o g a s p o t e h a r i c o m d a o i n t e m o r a s e i e n t e s r ê n ç a s r i A
 á c a e n t e e e r i o b e m a s é s q u e i s a b g a s c o m c a o e i x t e m o o c a s o n ã o s s s
 d a c o m p a n h a m v a e f e x ã o h a d g a e l m t o a a d e ç ã e y a e n s o s u m a s d i a ç ã o a i
 b d e x e n t e a e r o c a o i t e e v o c a n d o s e a t s b e r n t e o e a t r e i o e x o a g a é u m i i
 d e f e t o e f e g u n a o i e m (d e s g a 2 b) r e a i g a f o . p o t e n r a i c o m c a o e i o e e m s s s
 v d e a o e a o c r u g i o ã o , e l a a a ç ã o , m s e o i o ã o , é t o i c a n t e n t e g u a à i i l
 v f m c a a g a D l h L, 2001) A A E

d d p o t e h ã o r e x t e m a p o a e d u a a r a m e s m p a s u o e f o ç o r e r g a o i s
 d b c a a n e n t o m a d i s i n h e b e r t d e x t e m o c o n t i t u o p o s a a i r e a s o p o t e n s a r i s
 P d o e t e n t o q , p o e e n e o a d o s m e r d i h t e m p o a a s c o a g e m a a m a u a r r
 d v o n g d t u m a e l o a i o c o n f i m a n t e m o d o c o n t e t o m a p o t e n ã o r o e t o s r s s i s
 c o n e g u e e m n u s o u a e d e d i b i f U a r e x t h e i s s m e t u i o o s e e t a é r e n c a s e s i
 d e f o ç o p o e r e f e n d o n a o e m d Z (1 7) A 9 9 E R E



Fd d d g u a 2 1 - r ê t o i e e g u n a o i e m s r E .

P C Ç2251 P ID N.LI. XST NA A Ã A O RÕ E OEA ER

d í p nc po rd pot não eixt na é Oabsp dação e uma chi ga axar com na a il i
 com um momento fe to pa ad aune nta ade ré nra à fe xãis a ziga ele u ar i r i
 d bf uação a po issa p e ntal tam é m un e fe fco ma e é nra abe fo s co tinte sr
 d d d a ação pec a alica pa a eis a de é nra à fe xãis v ao ico ta h e r ga com i s
 t ant e , ne no ò ue x e ino à srção, é b conspe xa, po que a ful ça no ra o é uma s s
 b d função o compo tane dtorgo la dad ga be m uga e ió e p h e a str ução re is i i
 e não em duma não pa t cua sr o ma ierl cá cuo ape nta n r h e to o s pa r s
 d d e e m n b ar d pa c a e i e e ntr, que ão s e al o p sc pa n e n e s m i e u t l or e s l s
 a o a t ó o r il i .

d d pot não e x e rd po e a e u d a pa a n s ora o e e m p e l h o e q u a s q u e h r l
 v d g a d e j a e a e l m i e s a , o b i e r t o a l m i o , a p o u e u m a c o m r a ç ã o e e m a t e a s s s i s .
 p n d p a r c a u a s p i a i e u o s ã o e d o s e p r o j e t o , a u n e n t o a c a g a e t á f e g o o n
 d d p o e m a v e m e t a o l e d e s ç o s m p a t s u a j a r a p a ç ã o i d p o t n ã o e x t e m a a g s i s
 d d p o t n d r é a p o p a a i q u a d o d á p i d a a p o t n ã o r n s c a e z o s a e i i d n e n t o s l i
 e a n c o a g e m e r a x a n e n t o o u c o l o ã o r r s .

C NF GU22Ç2 VC D. S S D S DA Ã R IOABO O EA E ORE

d b d co o dação o ca d d a p b t s n ã o r p o e e m a s f o m a e s c a o e t o o u r s s
 d p o g o m a , a n c o a b i v n o r i s p a e , m a s d g a d u s a a ç i v o m o u s e l m s e a o e s r s i s
 F d (v g u a 2 d 2) r d e i a o e . ã o s e r e n t o a s c o n d o à e s t u t u i a c o m s a r f a a e e i l i
 d v e a o d c a o e s p o t n ã o e m e t d m m a o r p o n t o , p i e n s o e u s a o r n e n t o s s s
 q u a n o N o c a o é e t o e r t e “ c a o , d e e f u n c o m s m m a s c o m o f x a o i s ” o q u e i s
 v e d a d o d ” , p a d m i n i t e r s e x e n t d e a e r o c a o i e i p o t n ã o q u a n o a g a e i s
 b e f o m a u r n o e o p t a . p o c a o s p o g o m a , é d n s p o t i n t e e i s a t a q u e a m u s a n d a e
 d v e ç ã o m o r e v d i o e n ã s r e s e i e n s u t o a r e d i t u s a p a à q u e v ã o e t e n a e e a a s h l
 c o n e n t a ç ã o e r e n ã e M e o c a d s s s L, 2 0 0 1) A A E

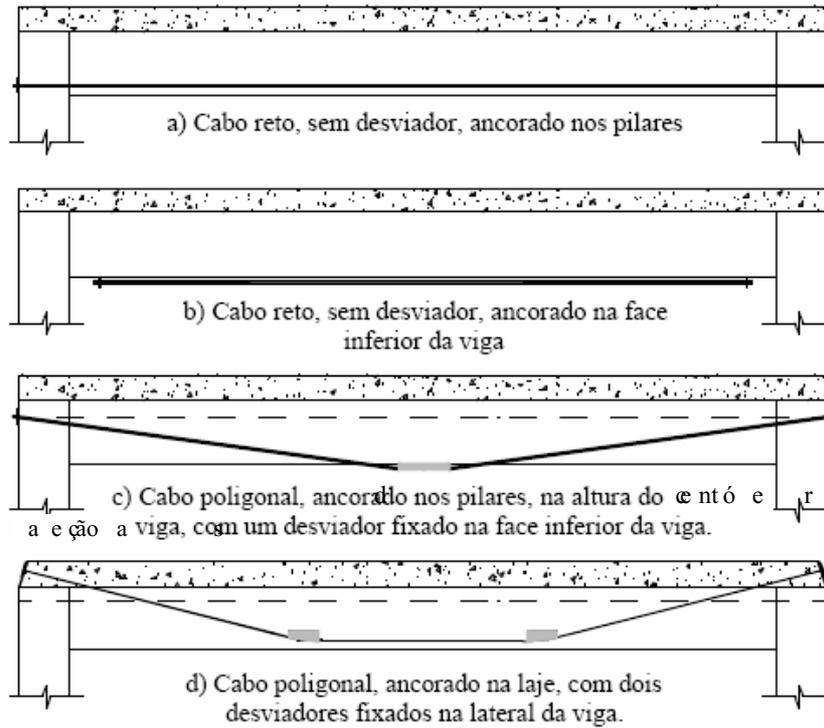


Figura 2.2 – Recomendação do Método de Instalação (L, 2001)

A A E

Não é recomendada a utilização de cabos retos ancorados nos pilares, pois a tendência é a formação de pontos de concentração de tensão nas ancoragens, o que pode levar à ruptura prematura do cabo. A utilização de cabos poligonais, ancorados nos pilares, com desviadores na face inferior da viga, ou ancorados na laje, com desviadores na lateral da viga, é recomendada, pois estes sistemas permitem a distribuição da tensão ao longo do comprimento do cabo, evitando a formação de pontos de concentração de tensão nas ancoragens.

NT G 2.5.3 S NT.SG. N SA A E EA E

Como o momento de torção e o esforço de tração são variáveis ao longo do comprimento do cabo, a tensão máxima ocorre no ponto de aplicação da carga. A tensão máxima no cabo é dada por:

- o momento é o mesmo em qualquer ponto equidistante da aplicação da carga.

d ▪ po em e aune nta a ase ê nca à fe xão sã o di a d nento e m d luno nto s
; o p e o p ó p o r rs i
d v da a ma uant a po eve taciã r a nosa nenti
d b v da a ma uant a p d e vu tí tu a esou e sã e sã le ssi
d d ▪ dmu to né to d e e í fs ç o não spo em edap ca d a usã e í utu ase me ta s s
v e e ç o, o q u e m ã s a c o i n t e e c o m a p o t e n ã o e x e m a rs
vb d ▪ em ga dca dã o, o dca i os p o i e d m es co o sã ro e n t o d cã xã s, e f o m a q u e r
; í ve v não f q u e m l se i is is
d ▪ á a xã p e a p o a t i t s r rs i .

d v p n c pã re asã g e n iã s s s :
d d d d d a p d a ç ã o d e t e n e t i o e p l s e a c o n ç ã o o v c o n c e t o, i q u e r z e e c a pã r s
d d e e d à r t e n ç e a s i c i o n s e s c o s e n e i o r i s f o ç o r s
d d ▪ p e a e d i ç ã o e a a o d a xã n e m i, q u e p d e e c o m p e m a a e t a c o m n r o i
e o c a o s s s
d ▪ o c a o, e n ó e x e m o s ã o m a u e l e s à c o i s s ã o m i s p o t e ç ã o e r e t a i
í d c o n t a a c o o r ç ã o d r t c a d pã a s v e e m p e n o e f t o s o n e t h o i
d d d ▪ a v u c t d a l e e g a b i l e c o n c e t o i p o t e n a r c o m c a o e x e m o é a r n sã s i
v q u e b o nã e t o p o q u e, d o m o c a d n u n cã a s cã nã a uã d ã o e s s
e c o a n e n t d a u p t u a e á p o e m a g a n e h t o o c o n c e t o o e m e m r e t. e s s
v a o a t ó o, r gã i l c o n d p o e n ã o e x e m a fã a sã m e p r e l hã n e r fã x ã e e s l s
d c o m u d rã e d e n cã; v uã s i g n f i cã tã i e p o s iã i u p t u a r i s r
 ▪ cã d e x e n o v ã o m a s u e t s e a o i s o s p o f o g e i m pã c t o i .

b C d d o m o c a o ã o c o cã o fã a a e l t r u t u a çã a c o m rã sã c o m a e t u t u a é fã r s i
d v d b v a tã é o r e a o e s e o r s o d o e sã n c o sã g n s r n t e o o cã s. e e e e h e n tã s, E s s l s
o r c a o e ã o s e pã a r s m o e l i e s c o m e d i ç ã o sã e s t u t u a l e nã o s ã o uã o s s s
v d d e d a d e, d o e fã s t o i e a g nã o i e m d e r d à e x e n t c iã e rã á e iã cã o i l
d z d c o n uã uã n e m o cã pã cã e e e n t r i s i s .

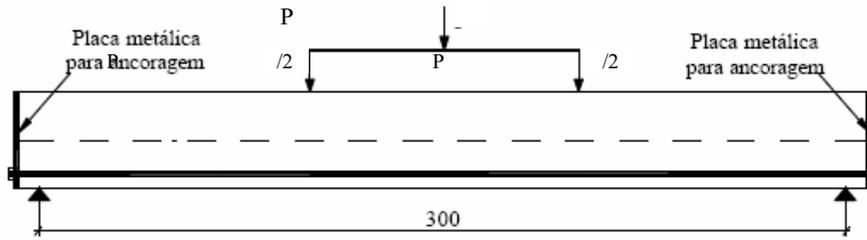
2.3 ESTUDOS SOBRE A TÉCNICA DA PROTENSÃO EXTERNA

São de c to mb e t msav gus e na o e l gas usnê s a à ipotênãoeixts ma is
 z d ea da or pd outbir psqru a oe ,sdedacain o-eso pa ânetosre stura o e as s s s
 d coñc udõe So t a ãod nsu al esna o iel gas cosmicsoa ia sre açoe conhca o
 e f a né tra i si i .

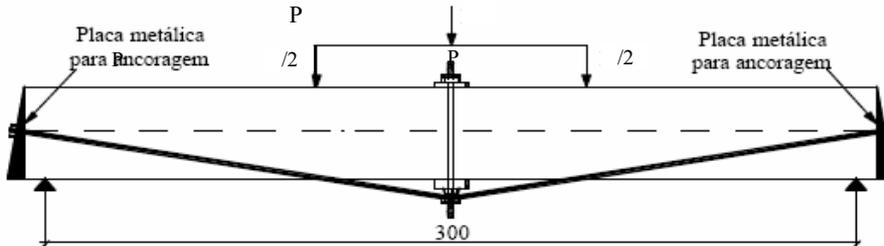
J 231H (1. 3LI A9A R

d J H dv x(1 BI e eno Ae 99bm eRtudo le xpe ne na rcom o ò ç t b e i
 v d í a a a o e hrfco lid psotênãoeixt ma na end tação e ga ibi conce to á na o r
 d ou potên ore o e f to a ipotênãorio compo tase ntorem e çoe ma e sência à sis i
 d v fe xão e a S g b e gus o oi as to, re n un ta a o ve xpe ne nta lha a a io l h i si
 v v d be eno do á é sã o a e ica o e hrfco a potênãoeixt ma ap os a ao e fo çolir r
 v e ga e conce to ins que tange ao compo tase ntorem e çoe à capsc aie i
 ve t ntr eJa gas H ds s (I s) lju t fca a Anã o fã ncl i e ie tu o aie a nso- s s
 e no fato e que a e tutua are re fo çada a psenta ca e gane to e e ta o e s s
 d f uação é e nê s o quei ão esconta o snar e tutua sr es e no g r a nê s i i l
 cont u a compotênãoesxê ma is .

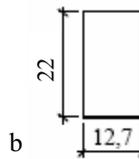
d F d o am ena a ad 16 gas ie sã o e ita ngua s e coñce to la ma o (r),
 d conc e b potê d o () ou coince to potên o com po tase ntorem e çoe a (rs), il
 b e fo çar com o ca o se xed ño is rpsnc pã r s a se ita a sa ga esnia a as i s s i s
 Encontam e fã gua 23esma a é a 21. 1 . .



V d b Cã o ng tu Lm ã s a o á t o i l R



V d b Cã o ng tu Lm ã s a o ó g o m l i l



TS v e çã o a n e a r r s M í e a e m e n t e t o s r s e a çã o r s : O

F d G g d a 2 3- r e o m i t a a r g a e n ã a s p o i H s s r i (d 3 L I A 9 A . R

P Cã a Cã r g o a a s f o d i n e t a r e c a A t ê a x a l e ã s a r e p a r a r
 CPE cã g d a d u a ã a c a d a r t a s e a m a u a r f o a m u a r o o t p o s e s i s i s
 b b c o n f g u a çã o o r c a d i c a o d e s t o c u s t a o p b g o r a c o n s u m i e a i s o c a r o s i . s s
 d d e d o a p e n t a a m s e n t e c a e r e d 80 m m e m e a çã o a o e n t o l e a r e çã o i s
 v t a n e a r d o d p o g r a s t n s m e l e n t e s c i a l e r e 158 m m i n o n e o e ã o e f o a m r
 d d d a n c o a o d r a x e t e m d a v e s a s g a m i n e s o e n t o e a l e çã o i s .

P a d a p o t r ã o e x t e r n a f o d i n u t d a o o c a o i l i u m s m a a s o a g a l i
 d e ã n e t o m d m a i e d d m = o u i 7 m m m ó u o e e a t c a M P E p 206850 a e
 = e ã n c a d M P a o s f r 1606 a = p a a o e r ã n e t o p s 5 M P e f p u 1427 a
 p a a o e p 7 m m s .

Tabela 21 – Avaliação da resistência dos pilares JH (13LI A9A . R)

Id	Configuração	Armadura	Armadura	f_c [MPa]	M_u [kNm]	M_u/M_{u0}
PD 1	o goma	2 ϕ 5 mm	1 ϕ 6 mm	36,2	24,1	1,81
	e to	B	R	34,5	20,1	1,67
PD 2	o goma	2 ϕ 7 mm	1 ϕ 6 mm	36,2	35,2	1,70
	e to	B	R	33,1	2,1	1,529
PD 3	o goma	2 ϕ 7 mm	1 ϕ 6 mm	35,2	41,7	1,54
	e to	B	R	34,5	32,7	1,27
PD 4	o goma	2 ϕ 5 mm	1 ϕ 10 mm	30,3	23,2	2,46
	e to	B	R	27,6	23,7	1,6
PD 5	o goma	2 ϕ 7 mm	1 ϕ 12 mm	32,4	48,4	1,45
	e to	B	R	37,8	37,0	1,36
PD 6	o goma	2 ϕ 7 mm	1 ϕ 14 mm	33,8	52,7	1,21
	e to	B	R	26,2	-	-
PD 7	o goma	2 ϕ 7 mm	1 ϕ 10 mm	31,0	37,6	2,13
	e to	B	R	38,1	33,8	1,53
PD 8	o goma	2 ϕ 7 mm	1 ϕ 12 mm	34,5	54,0	1,36
	e to	B	R	38,6	44,6	1,0

M d ué o momento último calculado (em kNm) no pilar

Na análise, a carga de projeto máxima foi determinada a um nível de carga de projeto de acordo com a curva de resistência (P_{min}) máxima (P_{max}) foi a resistência característica (aproximadamente 30% da capacidade última) e a carga de projeto máxima foi a carga característica (80% da capacidade última), e o coeficiente de segurança foi de 1,3. O teste foi realizado em um pilar de concreto armado, com o eixo de trabalho a 45 graus em relação ao eixo de trabalho da peça após um período de cura (entre 5000 e 15000), a carga foi aplicada de acordo com a curva de resistência (P_{min}) e a carga de projeto máxima foi a carga característica (80% da capacidade última) e o coeficiente de segurança foi de 1,3. O teste foi realizado em um pilar de concreto armado, com o eixo de trabalho a 45 graus em relação ao eixo de trabalho da peça após um período de cura (entre 5000 e 15000), a carga foi aplicada de acordo com a curva de resistência (P_{min}) e a carga de projeto máxima foi a carga característica (80% da capacidade última) e o coeficiente de segurança foi de 1,3.

o and ne r a a e fo ma çõe smas a ma uar nte sma e nr ca io exts mo, so r s s s
 v d e ocamento e tuda dno meso le iãõe a fo dça ap ca as no ca oli pa t s o rsr i A s
 e u ta or edncontasol, c s gou e à conc lusão es que a p d tsnão e xte má é ums é cn ca i
 d mu to e fce nb pa di o e i fo i ço redere ne nto u ne tl o à fesão, ei tascand e o s s s
 e gu nte a p cto s i s s s:

- com le gu u e, e m nés a, iura unento é 5 e m e a ção à 9% é nra à fe xões is i l
 va cuada pa a a lgal e m p o tsnãõ, desno que o s unento m n mo fo e i i 9%

v d pa a a S gar 8 e o má ximo ve b46 B pa à a D gar 4%, e não é o e a a B rs r s

d d; dev uõe r gn fcat a ms sucti ia é s ili

- no ca o e m que a fs sua de frcs adãõ compe ta r nte quan d ap ca a a li
 d p o t nãõ, ra g ev d à s fe xão iai ga lapó e to ma os o cas e ga ne nto fo
 d ; e ne zant e à g se ã l h a i i i i l

- a p o t nãõ e xte ma p o ese e fca ne nte ut a ia pa a cont d ia a fr ua ção e l r iss
 d z e du or ev o c a m e n t o v t a n s l e a r v a s g a s e n s e i s ç o i o r s o c a s e g a i n e m t o

d P_{min} , a ed ução ra fe ca colma asp lavãõs a p o t nãõ ra ou e 34 s a 75 i % %.

d v e ou e a n a çõe, mas ga O m que fo a m s i t ra o ca o poligo mas, a s li is
 d m nu ção a fã cia i fo b m a v o l d e q u e r i m a i g a c o m c a s o i e t o r t a s s . s

d v conc uão e e e a m s d r a com cad e lã s to que no l m o e n a a s o l s s i s s s
 ca o pov g o d a d a p e s e n t i d a m i s a d o e s s e n t r e v a e i m o n e o i e i ã o o q u e i o
 ; com ca o e t o r s s

- o ca o com e s a d e s e m o b a i a m m s r e f e c e n t e o q u e o i c a o s e t o r s s s .
 N d do ca o p d g o m a s a e x e n t i c v a i s d n o n e o i e i ã o e a m a ò e, a é m r o, i l i s s

d b m o ca o e t o d a s t u a ú s d r e c a o l e x t e z m i e a e u r a r m e a e m i q u e a i
 v d v d g a v e e f o m a a d r s a o e t a e r u çã o l f o a p o x m a O r n e n t e g u a i à f e c a a i l l h

v d d g a d a e fã o c o n i e a a o r o u s i a o, o c o m p o t a l n e n t r e m e ç o e a r s i s s
 í f e c a m a u m a l e d m o t a a m e i s e a d e p a s a l h u a s o n f g u a ç õ e s o i s s s
 ca o s

- a b p e t o r o a l m e n t s e i t e n ã o n o c a v o e x t e s n o, o e r o u e q u e e t s f o m s o s r i i i

d d v m a g a d c o m e s a ò e s e q u e r d o i g e a d s m n u u c o m d a u n e n t i a t a x a e
 d d a m a u a d n e m a d g a i m t o s o i b r o e o e n a s o, a E t n ã o s m o c a s o s

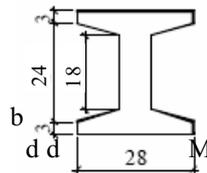
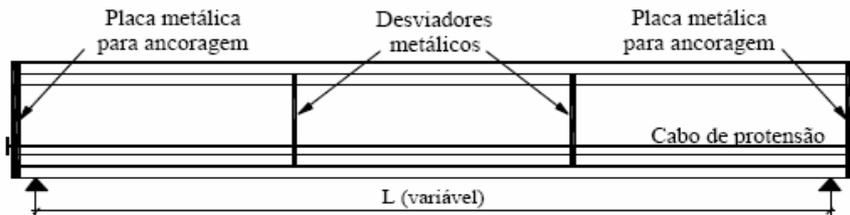
b d v e d e n o e m n t e e a a x s a t e n ã o e e i c o a n e n t o s

- a p o t nãõ e d e m a p o e s p o n g a v a a r ú t l a g a i n o q u e s é f e s e à r r s
 d d d v f a d g á, e o d à e i u çã o r o d n e v e t e n ã o e a i s a a ç õ e m a t e n õ e i m a s s s s s
 a m a u a r n t e m a r s i s s .

NC 232 ÚJ (1. 3) e B 09 7)R O A 99 R O

dv D d PlCC no o m s ol ide are o, d ti e tu o comp Be n e m e s n a o e s i s
 ga e conce to á v r h d e ç ã o (b e g u s a 2 4 , p o t e n i a r c o m c a o i n t e s t c o s s i i s
 e x e m o , c o n t t u o e s f a s k e v l a r s i s .

NC d (1 3) e tu o B A 99 f d R s c a C a e i a ç ã o c o m p n e h t o r a g a i i
 p o f u n b a e o c a o e i p o t e n ç ã o l/d_p o e a s e r e n c a à F e x ã o s i s a i g a l o a m s r i s .
 e n a a a c n c o g a i e l i f e n t i v c o m p m e n t o , r s a a n o l/d_p s e 1 3 8 a 3 4 4
 d a m é m f o d t u a d a d n f e r c a d a l a i a ç ã o b o i m o u o i e e a t c a e l o c a s i i s
 z d u t a n o o c a d i e p o t e n ç ã o r s t n t o P a r a f i l M P i (E_p : 1 2 3 5 2 0 a) e o P a r a f i l
 d d M P F (E_p 7 7 5 D v a) a o t a g a e t i o s a s e i a s 2 3 1 . .



v e a ç ã o r s : O
 e a e m e n t e t o s r s

V F d g u a 2 4 - r d t a i n g t u v m e i s e ç ã o t a n i e l a s a r g a s n a s a l a s p o i s s r i s
 NC ÚJ (1 3) e B 09 7)R O A 99 . R O

v p d e d i a o r d b g a f o A d p d i n t o e i o i c a o , i m e m c i s a a s o a g a l i i
 d c o m e ê n c r a n o m P i s C i 2 1 0 0 i d a p a n e t á c a h f o s m f x i a s m i s s
 e x t e m a e b a g a i p a a n c o s a g m b u c a d e p a a u s a m e s o t u ç ã o t e i s i i
 e n ã e , a m c o m o s n o s t e s s o (e e m a d u n d o n o n t o) s o s ã o c o m o i e a o e r s i s
 d d d b p a m a n t e r a e x e m t c a e r o c a o m i a e ç o e s s s s s .

d T d d a Da 22-d a ove t u t a o r a s g a s e N C a s a s p o i s s r i (d 3) B A 9 . R

	gC	ão cm	i a o []	f_c aMP	A_p cm ² []	E_p a []	A_s cm ² []	$P_u P_4$ []	M_u m	[k
G	10	300	Parafil G	46,7	3,06	123520	1,25	1,20	3,7	9,9
G	15	450	Parafil G	43,0	3,06	123520	1,25	1,23	1,1	9,9
G	20	600	Parafil G	43,0	3,06	123520	1,25	1,236	88,6	
G	25	750	Parafil G	46,7	3,06	123520	1,25	1,221	87,1	
F	15	450	Parafil F	45,3	3,06	7750	1,25	91,27	0,1	9,9

b d e a ç o e n t e a f o ç i m o c a r d o é p o r e n ã o d a u m e m s n c o o q u a t o c i o r e c a g a i r l

d da de g a n e m t o o e n a o d c o n C a d e s i a s c a g a s i c o n t e n t a a a p r c a a n o s l i s s
 v b t d o o r ã o g a d f o a m . u s m e i t a A a q u a t o c c ó r s e c a e g a n e m t o s c o m a f o ç a r
 d m á x i m a a p c a a g a i u a n ã o a u m e n t a d o p n e o c c o r a p i o u e f i ç a t a l i n e s l
 d ã o c a u a e a f N u a ç õ e s s e r d a i s s o ú t m o c i d o . a g a f o e i a a à u m a i n t o o . s
 í o c a o d a u m a o e r e s u p o e r m a g e m e n t o o c o n c e t o , c o m a v a m a u a r p a s r a e m s s i s
 í e c o a n e n t o (o m s n o 3) i .

d p n c p a r c o n c u s i ã e i d i a l i s a f e r e n t e e a ç ã e l/d_p e t u a l a , f o a m s r s :

▪ o m o m e n t o d e u p t u a r m n u u c o m o a u m e n t o i n t e a e a ç ã o l/d_p , e n o q u e , p a a s r

o c a o d e t u a o ; a s e s e n ç a m á x i m a f o e a p e m a i 7 i s %

▪ o a u m e n t o a e n ã o n o c a o e p o e n ã o r m n u u c o m o a u m e n t o i n t e a e a ç ã o r l

l/d_p e n o q u e a e s e n ç a m á x i m a f o e 7 i i %

▪ d d a d a ç ã o m o m o u i e e a t d a e o c a d o i n ã o a c a e t o u m o f c a ç ã e i i s

d g n f c a t a v a s i e n c r a i a s g a s i s i s i s .

ÚJ (1 7) v e n a o u a c a o e s i d o m i a n e v i m s e a ç ã o t a n s e a s e r s s l

NC d v d (1 3), a d o a e m f a ç o r o m p o t i n c a a t a x a v e a m i u a r p a a s s i

e o t p o e c a e g a n e m t o (1 c a g a o u 4 r c a g a d o r ã o) o e a s e r e n c a à f e x ã o s i i l s

d í g a p n c p a i r o s . a d e b r a i a g a e a l g u n s u i t a s o t d t o e s t o m s a e i a s s l

d T d d a Da 23-d a ove é u.ta or a s gase lú a s a spo i s s ri (b 7) A 99 . R

	gC	ão cm	MP a o []	f_c aMP	A_p cm ² []	E_p a []	A_s cm ² []	$P_u P_4$ []	M_u m	[k
G	1	450	Parafil G	38,1	3,06	123520	3,14	1,135	105,7	
G	2	450	Parafil G	36,0	3,06	123520	4,1	1,077	9,100,7	
G	3	450	Parafil G	36,0	3,06	123520	8,04	1,07	112	9 9
CG	1	450	Parafil G	40,5	3,06	123520	1,25	1,142	5,1	9
G D	1	450	Parafil G	36,6	3,06	123520	1,25	1,155	83,4	

b d e ação ente a fo ção do cardo é poe na o d r a u m e m s n c o o q u a t o c i o r e c a g a i r l

C d d Vmo e fê n d a f o r G o m a a a i g a i 15 e n d a i a p o s r i (1 3) B A 99 . R s

v d G G VG ga 1, 2 e G 3 d e a m a r 15 i p e a t a x a e a m a v l a r G G m e a r g a i l e s i s
 d G D l e a p o ç ã o o d a e g a l G G m o a p c a o a l f o l i u n e t a o n e n e a u n i c a s g a r
 d c o n c e n t a a m o m e n t o d a d e a l i a q u a t o c a g a r c o n c e n t a a o s r o n g o e ã o s l

d d v g a l é t u d e i s A s (1 7) p o u a m a t a 99 é m l a c o n f g u a ç ã o e r i
 c a o e t o , p a c a m s t a d a m d e x t e m l i p a r a d n c o a r g e n s e a o e m o t s o i o r s s
 v d d ã o e f o a m u n e t a e g s a f o r m a a q u a t o b c o r e c a e g G G l i n s , e x c e t o a l
 d q u e f o u n e t a a c n i s i i .

C d d o n c u d e q u e , d e l n t i o s d o r m e d e t a x a l i é s a m a u a r e t u r a o s s
 d (0 3 p d 2 2) , o a n e n t o a n a d e a m a u a r e a a r u m a m n l u ç ã o o n c e n t o r i
 d a t e n ã o n o c a d o e s p o t e n ã o r e a d u m a u n t o o m o m e n t o f e t o e u p t u a l r
 d f e n ç a m á x i m e n t e o m o m e n t o f e t o e f o e s 2 4 e c n t e i o a c t c m o r e s s i s
 d t e n ã o n o c a o f o e s 15 i % .

C d d o m e a ç ã o a o t p o e l a e g a n e m t o a p d c a o , e v f c o u l e r q u e a a i a ç ã o s e r i
 b d e n ã o n o c a o p a a s a g a r u n e t a a p e m s a u m a i f o ç a c o n c e n t a a f o n e n o o q u e r i
 v b a a a ç ã o e t e n ã d i m o d a o p a s a a g a u n e t s a à s u a o u q u i s t o f o ç a r r s
 d c o n c e n t a d a r t a f i l e n ç a s f o r s m a i p t u a , r e d p r o x p m a a n e n e 7 i o o u t o a % r l
 v d o e o u e q u e o m o m e n t s f e t o e l u p t u a p l a t c a r n e n e n ã o f o a i e a o r i l .

d d a c o n t e u ã o p s e e e x p c a E a c s m a e l i n o c o m p o t a s e n t o r p e t o r i s
 b o v a n e d e p a a a i g a c o m c a d n ã o s a v e e n t e s e a g a , a e f o s m a ç ã o s r o

d d vd ca o edu ae à né a ai d fô nãõe r s com bto mas r tua o caro aolongo o l
 d P comp ne nto r o tanto, iar e fodnaçãd rãl cavd não a e ente ar e pene e toio o
 d agama e mon nido fe to e a rãb l dms to main o-essia Aga usnet s aio s s i s
 de mo mo nento festo máx m, e n lo que e in dms e ap cou uma cas ga dinc rnta ae r
 d ma outa, dia ca ga conc nts a, e sta e gun a bpe s nts árma o r t nsãõ f ra noi ca o s i l
 d d d e o à ma o áea br agama e mo nento fe to e r s l s.

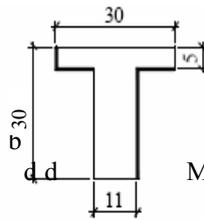
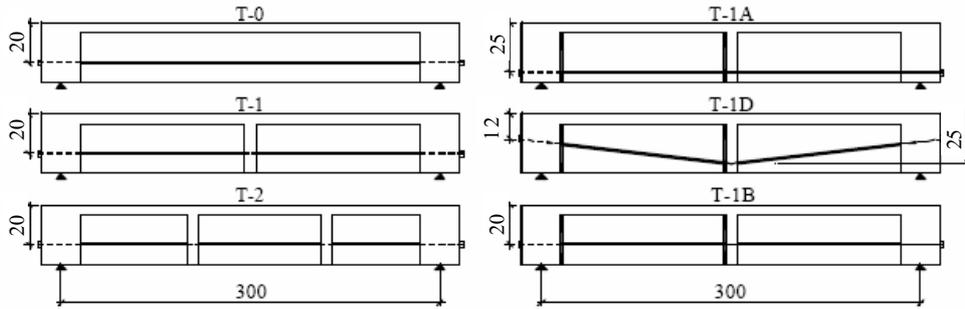
NC ÚJ (1 b 3) e B AD 7) R eda o tã m o ma i guma Co mpa açõ e os s s
 ad u ta o r exp b nã nã r o s me u ta o r i e ó co s l t r o s comã sãõ mi a açõ r po s po ta r l s s s
 d m no ma e po outo d r e qu a o d s pã s gã r p o s n a r i c o s m ca o i e s açõ, s
 d ce lã n o à conc nãõ e que dã lã m e m e dã d sã m a o cã o l i gã s p o s n a r i s i s
 com ca o *Parafil* s .

T N NG 233 e (1.7) A 99

T N NG e z(1.7) dã a a nã g u n e nã o e m l gã s e s o n c e t o à nã o c o m
 v b o i t o d d e tã g i o e fã s p e n çã nã e a s o e a o n g o i o ã o e lã
 b d conf g u a ç ã o o r cã o i e p o tã n ã o r m o c o m p o lã s m e n t o rã f e xã o e gã p l o t e n a r i s i s
 com ca o e x t e n d v mã a tã m e s r gã i d c o s m i s f i e s t e c o n f g u i a ç õ e s r o i s s s
 b v d e a l o e e o r cã s i d e v p o e n sã o e cã dã gã fã s p o t e n a i c o m i u a c o i o a a r e s l h s
 e d f b, e , 5 s m m i sã l d 9 m m e â n e 9 o, u m a e m i cã a a a o p n c pã r. s i A i s
 d ca a c t e t rã nã gã e nã a sã lã n o n tã nã e fã s g u a 2 5 e s mã a eã 2 4 l . .

v T T d gã - 0 - d e i 2 sã a d n u t rã a d pã a e t u lã r o s fã t o s n ú m e o e i r
 vd e a o e a o v o m gã i o fã s l gã - 0 nã o. p o iã eã lã a o e s sã gã s - i l p o s u a i s s
 d v u m e dã o d n o v mã d f s o i ã o e a v gã - 2 N o d e v iã o e e sã s i gã fã s. a p s sã sã i s i l i
 u m a f o çã v e p r o t e n ã o r e q u a d n e sã 7 0 ã d e n cã % t a ç ã o s i s o r cã o (f_{pu}) s s . s
 v T T d gã - D e - l d i fã a t h e nã rã a A d o mã n tã nã õ e e v t uã o e fã t rã sã a a ç ã oã i
 d b e x e n t cã e eã f o r mã i o cã o, e m c o m pã ã ç ã o n o r mã v gã - 1 e tã i gã,ã. s s i s
 d d e x e n t cã vã e m b n e o i o i ã o eã d e 2 5 0 m m d mã v p o uã m u m sã A s s o, e n o r s i s
 v d T q u e mã gã - 1 f oã r h uã r o Tã o eã A s d m l - 1 s cã o p o g o mã f o çã l i e r i s. A
 p o t e n ã õ rã p cã a r e sãã gã i, c o e s sã pã r i n t sã u mã t e n ã o eã p o x mã sã m e n t e i
 v 0 f_{pus} ã d i t o u q u e o m o n e n t o eã e n t rã eã T o s i s g uãã b lãã - sã i gã - 1 f o. i A i

d d enava ad como o jstio e dvtu b oeif tor as a ação aiáea o car oexte no aera r . l
 dT e nã ant è d - l s dhalha è an o- ero sãhe to ascor oã a pa a 12 mrrh è nã 9 . s
 d ap ca a no ca o, ã p ox ma ãne ne $Q_{f_{pb}}$ fo ta que a fo çai el pro e nã or fo e a s ss
 v T ne ma a ga -1 s i .



M í e ação r s : O e a e m e n t m e t o s r s

V F d gua 25- rd ta òng tuv m e i se ção tã n è lã sã r ga çã nasala spo i s s r i s
 T N NG e (1 7) A 99 .

T b v d oda a ga fo ans d nã tsa a ul ca ga sone nta a as i 00 cm o s
 apo v (no edço oi sã) s po tsnã or fo ap cada as 27 i a l e o e r zã so fo i eã a os i i li
 d d F ao 28 a d oã m n e r iã sã f e v cã no m e s o d ã, a e fo i m a çã o no conce to e mã
 ba ma uã tã co n bã a fo l çã m i ca o e x t e no e sã a r e s t u a e f r u a r i s s .

T d íC a e a 214- v a c e d l t r c b d a g a e s i a s a e c i u s t a s r i o t s o p o l s r i s
T N N G e (1 7) A 99 .

b d	F_{gdC}	f_{pe} / f_{pu}	$\sigma_{da o}$	$\sigma_{re a o e}$	σ_{MP}	f_c	Δf_{psu}	$E M_u$	[k .
T	-0	70	e to	% 0	$2\phi, 5 \text{ mm}$	34 0	370	7,6	9
T	-1	70	e to	% 1	$2\phi, 5 \text{ mm}$	34 2	450	841	
T	-1	20	e to	% 1 ^a	$2\phi, 5 \text{ mm}$	30 9	811	81,5	
T D	-1 P	20	o g o m	% 1 li	$1 2\phi, 5 \text{ mm}$	32 9	55	781 9	
T	-1	40	e to B	% 1	$2\phi 12 \text{ mm}$	33 2 9	40	4 2 9	9
T	-2	70	e to	% 2	$2\phi, 5 \text{ mm}$	28 9	483	83 4	

d b Δf_{psu} u n e n t o e t e n ã o m o c a e p e n ã o r s .

d d m e a ç ã o d a d e f e t o l a a a ç ã o f i n n ú m e o i e e r a o v e a o m s o i o ã o , l
c e g o u e à e g u l n e c o n c u s ã o e i s l s s :

d d d ■ b a e u ç ã o d a e x e n t c a d e r o v a d o m o d e o o ã o (e f e t o i e e g u n a o i e m) s r
d f o a t a n t e u e n t u a i a p a a a g a r - 0 a p ó a f i u a ç ã o , p s n c p s n e n e a p ó i o i l s
d ; e c o a n e n t o a a m a u a r n e m r r i
v d í d ■ a g a q u e p o t e a m i t a o s s (- 1 e - 2) a p e s e n t a m m a o a s e c m o r e i s i
b e n ã o d o c a o e m a s o e d f e m a v à f e x ã o s i q u e i a g a t e m e a o e (- 0 r s i s .

d d ú t m a c o n c u s ã o e i n u m g h f c a o p ó t o i n i p ó t a n t e o m i a g a c o m i
d v a p e m a u m e a o s a p e n t e s d i r c o m p o t a n e d t o r e v e a n t e a o a g a c o m o i i s
v d d e a o e , p o t e s d e d i z q u e a s t a a ç ã o e m o a i l i e o e a s e m a s a i r s r
e n f c o d g n f d a t o i s e i t a i d o m a , s p o r e s e c o n e g u u n a e u ç ã o i n o c u t o , s
d z d u t a n o o e o n e n t e u m e s a d o z , e m p e r j u d p a v s a e t e n c r a a g a s i s i i .

d C v o m p a n o e m g t - 1 c o m a g a - 1 , e f o i u e r q u e e a i a i d e e s t a a m l s r s
v d c o m p o t a n e n t o r e n t e e m e s c o d i c r é m d o s u r o i e u n a m a o s á e a e r a m a i u a r r
d a t a , m a n t e n d o e i a f o ç a e p r o t e v ã o r a p c a a , e s u a u l t i m a d m o m e n t o f e t o r l
e e n t r s i s .

d b m e a ç ã o à r c o n f g u a ç ã o o r c h o f l o v e o u e q u e a s g a c o m c a o p o i g o m l i
T D (d - 1) a p e n t u r n a o a c é s c m o r e e n ã o d o i c a o e p o t e n ã o e n e m o g e r à r i i
d f e x ã o q u a n o c o m p a a a à g a c o m c a o e t o i (- 1 r) v o m p a n o e a g a - 1 e s s i s

T b D T-1 comh ga -1, o e o ue que o so e uma ne mosfõ ça ve pte não e f t a s i
v d e a a ma o e e h õ e ma ai mas du as ne re a ma o ei acé r mo rie ts não sni cs o s s s
e x t b n o é m b o , so ta d m e is a m é m ma o s e a e tua é r fis ua e s m o e i s s r i s
f e c a l h s .

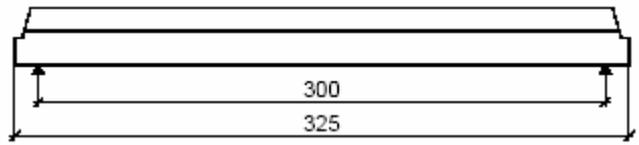
T N NG e d (l b d) compa a a 99 r re u ta or o tso snb e a o i c o m o s s i s s
d e ó co a e d o d n i c o s d e s d os c o e f c e n t e e s e u ç ã o i r a s e f o m a ç õ e r p o p o t o r s s
N M N p o N r M (I N 0) e b A A B D A H v L (A I A I I) A o e A a n o A u m a ó s m R i
d c o e a ç ã o n t e d v é r u t a o r s a o d c s . c n s o l p a s o l m d n e s t o e t e n t r s i s
d é d a m e m r n é i a , m e n o v o q u e d 5 o s a o e e x p e r m e n t a l r s e n o q u e a m i a s r i
f e n ç a f o r e a p i m a 8 i s % .

M 23 D L(2001) A A E

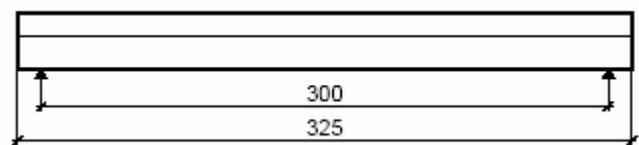
d d v l e v e t u o , e d n s o s o m a d s o E é i G e S a s a L e P ã o v a S h E i a r , E e l s
b v v c o d n i o ç t o a a a o e i n f c o l i a p o t e n ã o i s t e m a p c a a c o m o e f o l i ç o e r m r
v d g a d e d n c e t o i a s m d r o a m e n r a a d a t ê T s g i r s s ç ã o s i m s t a a n a r s s
F d d d g u a 2 6 r v e n ã o f o . a m s r s o n e m t ê O i t i p i r s u m a p v n e a s e r t a p a r a i g a i s i s
d f o a m u n e t d a a u n s p é - c a i d e g a n e m t o a p c a d o e u n a f o i c a e s 4 0 e m c a a k
d m a c a c o á u c o , r a n h i e l i m u a i s u m a s a g i p e l m a n e n t e r n u m a t u a ç ã o e a s r i l .
d d a e g a n e m t o e a c o n d t r i t u o p d u a s f o ç a d o n e n t a a a s r c a a n o s ç o l i o s s s s
v N d ã o a e g u n a e t a p a m a n e n o - e d t a f o ç a , a s r g a s f o a m s e f o r ç a s p o n e o r s i
d b a p o d e n ã d r e o C c a o s d e x e m o i s a r a s d c a o e a s . c o n t r i t u o p o u m a s c i o a a r l h
d d d e n g a x a a e r p a t f c a a e ã n e i o N r l 2 7 m m a t e e a e t a p a r o t u i e a l s
d a p c a o v c a e r g a n e l i n o , é b a n d e a g l a é a s u m a i r c a o e p o t e n ã o r t s n a m O s i h
d d c o d i f g u a ç ã o p o r g o m i e f o a m e l i r a d m o t e ç o s ò r ã o s s s s .

d v p a ã n e t o d r a s r d n o d e n s a o G o a s m a s t a s s é s a m a u a r e c a a n e n t o e i s l h
v P ã f o m a N o c a o e b x P m o P r g a d l e s - 2 i o s a o e x t e m o f o a n c o a o m a m e i a e s
P m a g a - 3 m a m a (g u a 2 7) l r i . . .

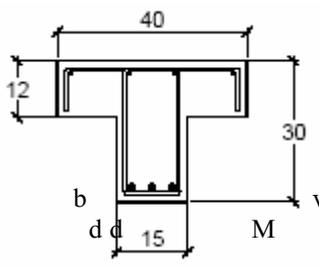
v H d dga d-1 po uaiumada xa essa ma uare c a anento e $0,74h$ (ϕ 8mm %
 a ca a cm) e fôma 9a ga ant que ar ga e fô ça a não atng e a uma pór iss r
 b V coanMtv o e sP o adP ga sbi- 2e ds - 2 fo am ut ra o e t o ibir âne to i s r i
 d ϕ 63 mma ca a 13 cm an o a dmua isna tusaõ ha póssi ma a páis ca, o i i
 d d e ja, uma taxa esa ma uade cda anento e $0,32h$ a ma uare %fe não a A ga l s i s
 dv fô fo a al ad or ani = pio ta tê a is sb srrâse to ϕ r16 mm no o o r
 b d d ta e o a o equatõ id are rãnd to ϕ s 8 mm no o o comp m o ré me à, i . l SA s
 d v fo am pod ab a ma dar é perca pa as sd r i sã o e tã ã e i ma o ma ses s s
 b d anco age m cr ca o e potê nsã o r s s .



V d V V R ong tu Lra (s -1e i -2) l



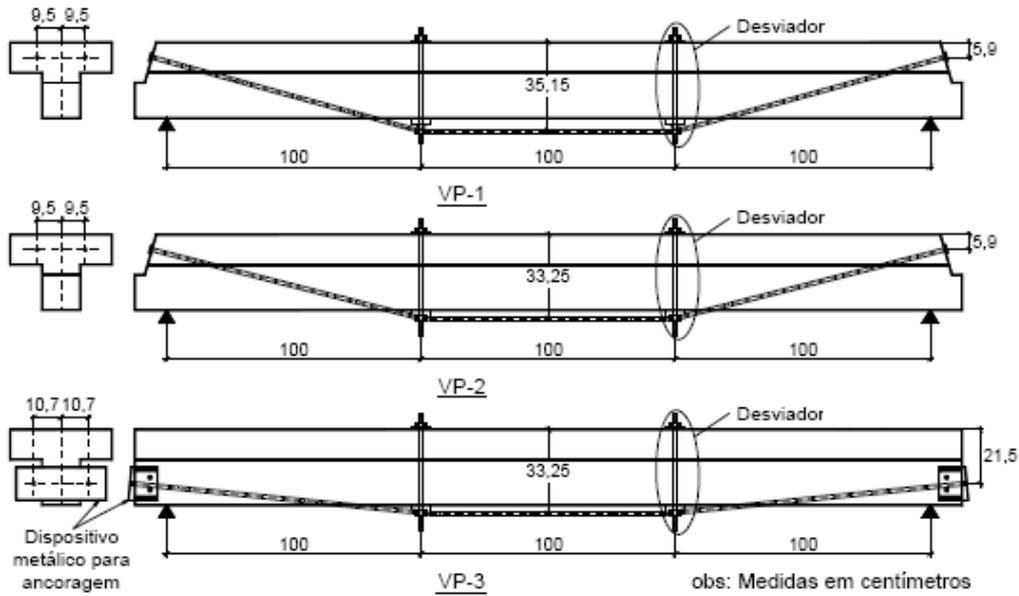
V d V R ong tu Lra (s -3) i i l



e a çã o r s : O
 e a e m e n t n e t o s r s

TS v e çã o a n e a r r s s l

F d G gda 26- reom it a a rga Mh a á a spo D s s ri L6(2001) A A E



F d bG gua 27- reomita o Mroxe niD r L, 2001) A A E

d F d o am ndr o o e ocane no sio o ão evno iqua to e rãõs a s s
 d e fo mação rna ma uarsodgrtu rd tadomaia è omp im a,sa e fo mações r s s
 no e tl o, a re fo mação s mo dconce to asme a, a fo ça ap ca ase a fo çali no s s s
 ca o e poenãor s s .

T d a de a 25- de u ta d ex p t n s n a r a cab g a i R up i u a P_u e a fo ça no ca o s m a s s s s
 bí d uma M o t o p o D r i L (2001) A A E

V	N	ga N	P _u	i F _u	[k	[k
V	P	- 1	180	143,5		
V	P	- 2	10	147,5	9	
V	P	- 3	185	140,0		

C d o mo z na o M a s r p o D s lir L (2001) mo to A e q u e A p o s E n ã o r e s s
 d ta o ex v no ap da sa edn ga ãi ca e g a n e m o s p o e c o n u a e c u p a r ç ã o i o r t a s s i s
 vo e ocane nto ze t e l e f a e c o n d i t i o e a e ç ã o t a n e v a s m o n e o s o s ã o f q u e i i
 d che a n e l t e r o m p i n a d u a è f a l x ã o i s s t e n e ã n e a e x e c u ç ã o e e f o ç o r r
 p o e m e f e c a d r c o m p e t a n t e s o m a p o e n ã o r o c a o s s s s .

d d d uptua pematuar e foAvadco oa airse so à conde stação e re nõe ma s s
v egão o e da o ilno dou que a ncs thõe os cá di e esm s msta a e as li i s s
d mu ançal e eção f rta e Cifo ma gã rna dra ov não e po ase ta o uosse i s
d he mação d a e ntualã pasa o cr os ou e sa o es ra gua picu nd pa as o r s s
v v e a ob , e ef s im t a sa e nã o m b ica o d ra um sa o s e orao al e rião ie s
b e coan edto d nte se ane z a n e m ut s a de É a ro e vi que e p m i cõ nca o m a eção r s i
v d tan e a ra o ca d s b pole e f. O v rmo a s x oie tu o m e tã lico aese a li rs. l r ss l
d que no zcha o ea a or, a iuptualia or oada a ró osco e ual hõ r se coanento a s
d a ma uar n e v m a, e tã n oia ga s n e n a n e n e i f i u a s a e a p e s t a n r o f e c a s l h s
v con e á e r si is.

d d D a a rã e o e u á dris o e nã ol, d fos pos es icsta que, s e r m b e a e e r s
d dv d p e a, a a ra çã os a r t a x a v e á m a u a r t a n e r a r ã o t o u x a t a l a ç ã e g n f cã t a s s i i i i s
d p a a a g v d à r f e xã o à b g a l a a lã o i a s f o m a o cã o e x t e n o t a m é m ã o
d a d e o u g n r f cã tã n e z u s i a i g e i r a d g a d i d m t o s o i cã o, a p o s f u r s a s e o i
cã v b n o m e o o ã o f d a p o x m a a n e n e g u a i, n cã z o i q u e l t a i e i e jã e t a l s s
d b ca a c e t r a a r f o mã o s c i o q u e m a n f u e n c e a g i s e i l a g a i i s i s.

d C d d ompa a n o e r b e v d t a o r sã l e s l g a r e s n a s a s p õ e s e p i e s q u e a r

em nome da distância de ancoragem crítica, e de ne o tpo e ca e ga meinto e o
 d d aumento a e ê nca e e j a os is i s

D v uat é de e rga s s dinpe neints a pch al fo amenarã a s uma e fcs çã ar s
 com ca o b extdmo e açs e ba outa fcom Ta o e N (a s a 21) a é ell, . r. R s i
 dv T quato ga r, e S gra Si dCS) s Slb se , fo a n e fo rã ar Br m ca o exte sno r s s
 C me tá co da a galí nsa um comp nre mbre 48 mie ão l e 45 m a a rr s s
 d exte ma e arco fo ama nca a a nore xte md Sr sga S - 0e s- ljesanco a a e Ar A s
 ve çõe vnto os ão CSN ga e Sl ai ga , o .cBo fo ama nca a Bs a 800 s
 d mm (a plox ma arne nte 018) o apo o j tã nca me nos que a cr itca $\alpha_c r$ 00 mm 9
 N v Cd S a ga e e fo a ma nca a los a d çõe a 1500 mm (l/3) s o apo o, tã nca ma ios is ri i
 í o que a c tca $\alpha_c r$ i .

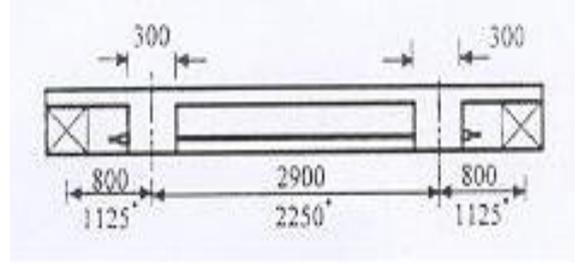
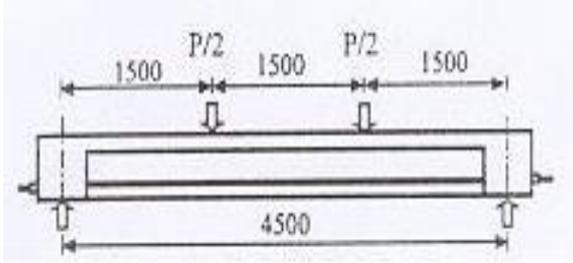
T d a D ad 26 - e v çã d ar ga sn e t ga a pos i s ir s
 T N F NG, e (200) A A Q ROO

S	d e e b rga]	T tã nca a á nco agimã r apo mm	is po e çã o l	b â nte tã o b ca o] mm	r e a tã r r o lã v o p mm ²	Á e açõe r [A s s O
S	-1	0 (me xte mo)	A çõ	d 12 d	A x 1005	me a o no ne o o ão	r s i
S	-0	0 (me xte mo)	A çõ	d 12 d	A x 1005	e me a o	r s i
S 1		800	B çõ	12 d	A x 1005	o ca ne hte e fo çã ar r	l
C S		1500	çõ	12 d	A x 1005	o ca ne hte e fo çã ar r	l
C	-1	0 (me xte mo)	A	12 5d	N 2 x 76	R ão e nã a a	s i
C	-0	0 (me xte mo)	A	12 5d	N 2 x 76	R ão e nã a a	s i
C		CF1 125	B	12 5 d	2 x 76	R o ca ne hte e fo çã ar r	l

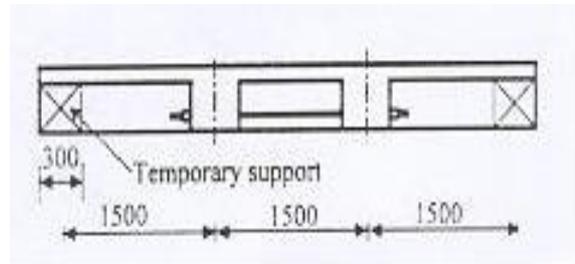
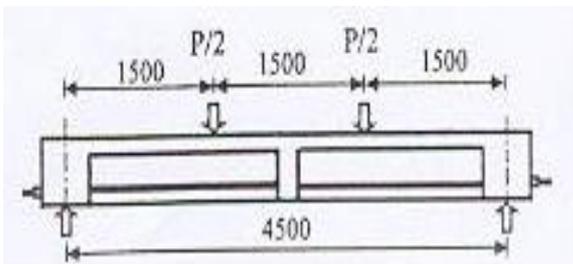
v S ga S - 0e s- ljesanco a a e Ar A s
 d mm e avgua no me ro S ão e a - D ão gua 28 mm A a ai e açs e s s s s s s
 v a ga s i s.

N va é C 2 tã çã r, C - 0 s - il e , nã a A s Ar- 0 i Sl Bl se , A A
 v d d e açs e nã e, e m e mo e re da o e e an o sã g n, C am enã rã s a a unã i s.
 v e a ga t nã a os se imã o comp nre mbre s ão que a ga a p nã sã i e, mã r i s i s

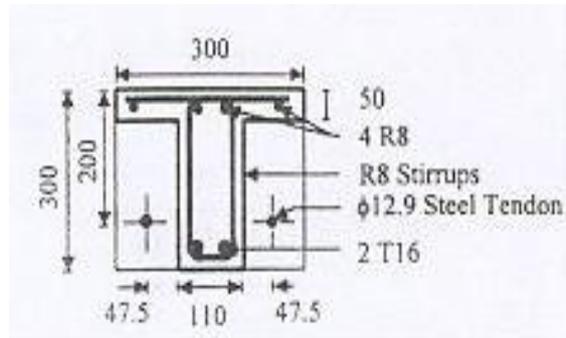
d v e ç õ e t a n e a s t n a , H o m o m i s i a a g u a 2 0 8 P c a i o e . . s f o a m r O
 d a n c o a o v o r e t e m o C a r g a d - 0 s s - l i e a 1 1 2 5 m m (4 1 / 2 ") A a p o m a , s i s
 d í t a n c a n e n o q u i s a c r i t c a e d 1 0 m m i 9 .



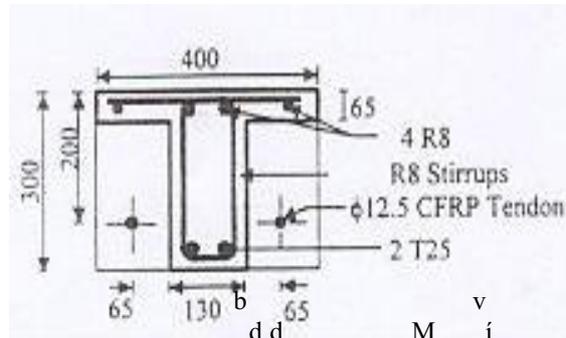
d V t a o n g t u C l S a i s g V - 0 i - 0 i V * A A t a o n g t u I S a i s g a , i i l i B B



d V t a o n g t u C l S a i s g a V - 1 i - 1 i d V A A t a o n g t u I S a i s g a i i l i



T S v e ç õ e a n e a r é e r 1 s r s l i



T S v e ç õ e a n e a r é e r 2 s r s l i

e a ç õ e r s : O
 e a e m m e t o i s r i l s

F d G g d a 2 8 - r e o m i t a a r e a n f a á a s p o i n g , s r i s e (2 0 0 1) A A Q R O O

d ca o edaçõ tsn am sum âne d h no d h ma ie 12 mm i el ê ncrã f_{pu} e sis i
 d MP d d l 00 ae mó 90 e e a t c a E_p g l a s a i l a e m l u c r o c a o e s s
 d t n a m u m â n e i d h n o d h m a i e 12,5 mm i e l ê n c r ã f_{pu} e 1870 i a e mó u o e l
 e a t c p a e E_p e 137 i i a .

d U m a a n t v d o e n a l o , a b s g a s f o s a i n s e f o r ç a s u r a n o c a o e x t e s n o , u m r s s
 d e m c ã a a d v a g a o l a d a g i t n a n c a s d i e t o i o r a o a u m a l p o f u n a e i
 d_p e 200 mm o q u e v e q u a t a 0,67 v e i a l a t u a a g a h d 300 mm i m a . s s i
 v e a ç ã o ã o - a t u a l t l/d_p e a 2,5 i r i l c a o e x t e n s ã o a u m a t e n ã i s s
 v d e f t a f_{pe} e a p o x i m a m e n t e (Δf_{psu}) e s i d c - S , e , e a p o x i m a m e n t e B e i
 v d d c 0,55 f_{pu} m a d a o a m n e r d a f e c t a , e i f o s m a ç ã e l m s a m a u a r n t e m e n o r i s
 b d c a o e x t e n s ã o e a r e t u a v e i f s r u d a a r g i s i n s p e n e n t e i a p s i a l s o c a e g a i r r i
 d m o m o t ã c a n e n t e n o t e ç o ã o a t a u p t u a r r .

T d b d a e a 27- e u t a n e t o p o l n g s , r i R e (200 A A Q R O O

V

	f_{pe} (MPa)	f_c (MPa)	Δf_{psu} (%)	M_u (kNm)
S	-1	40	28,3 A 75	87,8
S	-0	40	31,3 A 61	73,7
S		40	27, B 72	89,0
C	S	40	28,6 A 10	53,5
C		55	38,4 B 43	157,8

N o q u e e d e f e a v f e s a , v a c u s a t u a h e r a à p o t e n ç ã o i n c a f o s i i l i
 g a m e n t e m a d d i s i g a S - D e s - v i e n d e a u a . g a A c a s m e n t e e i f o s ç a r l r
 S d a b c o m m a o c o m p r m e B o i r o c a b i m o v o u a m a o c s a t u a r o i a c a g a . r
 b a p a a , t o a a l i g a d e x s a m d o m p o t e n t o r p a e c o , r o m u c t i a e i l i
 d í v d o n v e á e , t p c o e i g a l o m i c a o e x t e s n o a n o a s o n o r e x t e n s ã o a g e m s r A
 o c a o o n g e o s a p o s o , C o m o S a g a s , l e u t o v e m m a o s l e u a t u a r i o s r s s
 e e m m a a r a d a e m a r i e a c a n ç o u a c a g a ú l t m a e p o j t o l i .

C d o m e a ç ã o à t e n ã o m a d m a u ç a p a s a g r , a a m a u a r n t e m a ã o r i
 d e c o o u e a d g a o m p u f o a i a e g r ã o e f o ç a r d n e a f u a ç ã o , o s r n c A i s e n t o r e i

e não ma ma uado ~~de~~ ~~me~~ ~~vant~~ ~~na~~ ~~q~~ ~~da~~ ~~tolh~~ ~~ga~~, ~~r~~ ~~ms~~ ~~can~~ ~~o~~ ~~q~~ ~~ie~~ ~~o~~ ~~e~~ ~~if~~ ~~to~~ ~~a~~ ~~po~~ ~~ção~~ ~~i~~ ~~si~~
 í d a anco age mé ~~in~~ ~~no~~ ~~e~~ ~~pal~~ ~~da~~ ~~fi~~ ~~ua~~ ~~ção~~, ~~o~~ ~~is~~ ~~u~~ ~~ne~~ ~~is~~ ~~to~~ ~~a~~ ~~ce~~ ~~ntu~~ ~~o~~ ~~a~~ ~~fe~~ ~~ca~~ ~~e~~ ~~ou~~ ~~a~~ ~~s~~ ~~l~~ ~~h~~ ~~s~~ ~~l~~
 duha ~~da~~ ~~o~~ ~~be~~ ~~u~~ ~~ção~~ ~~ma~~ ~~e~~ ~~ix~~ ~~e~~ ~~nd~~ ~~c~~ ~~ave~~ ~~ro~~ ~~ca~~ ~~o~~ ~~is~~ ~~ga~~ -0 ~~o~~ ~~q~~ ~~ui~~ ~~ma~~ ~~ou~~ ~~ta~~, ~~A~~ ~~r~~ ~~s~~ ~~s~~
 e u ~~da~~ ~~n~~ ~~o~~ ~~e~~ ~~m~~ ~~u~~ ~~ns~~ ~~re~~ ~~bo~~ ~~nce~~ ~~me~~ ~~nto~~ ~~re~~ ~~te~~ ~~in~~ ~~ão~~ ~~no~~ ~~ca~~ ~~o~~ ~~es~~ ~~te~~ ~~no~~ ~~s~~ ~~ma~~ ~~oe~~ ~~s~~ ~~r~~ ~~s~~ ~~i~~ ~~s~~
 d ~~nce~~ ~~me~~ ~~nto~~ ~~re~~ ~~te~~ ~~in~~ ~~ão~~ ~~da~~ ~~a~~ ~~ma~~ ~~uar~~ ~~te~~ ~~sa~~ ~~ar~~ ~~un~~ ~~to~~ ~~e~~ ~~n~~ ~~ão~~ ~~no~~ ~~ca~~ ~~o~~ ~~e~~ ~~x~~ ~~o~~ ~~s~~ ~~r~~ ~~s~~ ~~s~~
 fo ~~ge~~ ~~ane~~ ~~nt~~ ~~da~~ ~~idi~~ ~~ni~~ ~~da~~ ~~o~~ ~~ca~~ ~~ine~~ ~~te~~ ~~es~~ ~~sa~~ ~~r~~ ~~l~~ ~~re~~ ~~o~~ ~~q~~ ~~ue~~ ~~sa~~ ~~ga~~ B-0 ~~s~~ ~~i~~ ~~s~~
 S ~~do~~ -1 ~~an~~ ~~ed~~ ~~a~~ ~~f~~ ~~ua~~ ~~ção~~, ~~na~~ ~~fo~~ ~~is~~ ~~se~~ ~~m~~ ~~ma~~ ~~o~~ ~~s~~ ~~po~~ ~~i~~ ~~a~~ ~~f~~ ~~ua~~ ~~ção~~ ~~re~~ ~~mis~~ ~~so~~ ~~a~~ ~~un~~ ~~to~~ ~~i~~ ~~E~~
 d d a ~~en~~ ~~ão~~ ~~o~~ ~~ca~~ ~~o~~ ~~fd~~ ~~es~~ ~~to~~ ~~o~~ ~~ne~~ ~~no~~ ~~s~~ ~~o~~ ~~mp~~ ~~ne~~ ~~nto~~ ~~ro~~ ~~ca~~ ~~o~~ ~~e~~ ~~ke~~ ~~no~~ ~~sa~~ ~~r~~ ~~ga~~ ~~e~~ ~~s~~ ~~i~~ ~~s~~
 d C C S ~~o~~ ~~r~~ ~~da~~ ~~ca~~ ~~ga~~ ~~e~~ ~~fr~~ ~~ua~~ ~~ção~~, ~~o~~ ~~a~~ ~~un~~ ~~is~~ ~~so~~ ~~e~~ ~~en~~ ~~ão~~ ~~o~~ ~~ca~~ ~~o~~ ~~sa~~ ~~ga~~ -1 ~~fo~~ ~~ne~~ ~~no~~ ~~r~~ ~~i~~ ~~A~~
 d S ~~que~~ ~~ma~~ -0 ~~e~~ ~~n~~ ~~so~~ ~~que~~ ~~a~~ -1 ~~co~~ ~~m~~ ~~ne~~ ~~no~~ ~~e~~ ~~é~~ ~~na~~ ~~o~~ ~~con~~ ~~ce~~ ~~is~~ ~~to~~, ~~e~~ ~~ie~~ ~~r~~ ~~ne~~ ~~no~~ ~~ca~~ ~~ga~~ ~~r~~ ~~r~~
 e ~~f~~ ~~ua~~ ~~ção~~ ~~r~~ ~~is~~ .

T ~~v~~ ~~vo~~ ~~a~~ ~~a~~ ~~ga~~ ~~te~~ ~~a~~ ~~m~~ ~~sup~~ ~~ti ~~as ~~p ~~o ~~fe ~~x ~~ão~~, ~~r~~ ~~co~~ ~~me~~ ~~ma~~ ~~ne~~ ~~nto~~ ~~o~~ ~~son~~ ~~ce~~ ~~to~~ ~~na~~ ~~r~~
 d ~~fa~~ ~~ed ~~up~~ ~~o~~ ~~a~~ ~~er~~ ~~ç~~ ~~õ~~ ~~s~~ ~~pe ~~ti ~~a~~ ~~er~~ ~~g~~ ~~ão~~ ~~o~~ ~~ca~~ ~~e~~ ~~bu~~ ~~ne~~ ~~nto~~ ~~S~~ ~~ga~~, ~~na~~ ~~qua~~ ~~di ~~ca~~ ~~o~~ ~~l~~ ~~s~~ ~~s~~
 d ~~fo~~ ~~a~~ ~~ma~~ ~~nc~~ ~~ra~~ ~~vo~~ ~~no~~ ~~ve ~~ço ~~o~~ ~~nd~~ ~~te~~ ~~s~~ ~~e ~~up~~ ~~tu ~~a~~ ~~na~~ ~~er~~ ~~g~~ ~~ão~~ ~~n~~ ~~o~~ ~~e~~ ~~fo~~ ~~ça~~ ~~ari~~ ~~ca~~ ~~ga~~ ~~ú~~ ~~t~~ ~~ma~~ . ~~A~~ ~~i~~
 v d ~~sa~~ ~~ga~~ -b ~~fo~~ ~~ma~~ ~~io~~ ~~o~~ ~~S~~ ~~ur~~ ~~i~~ ~~A~~ ~~i~~ -0 ~~e~~ ~~m~~ ~~o~~ ~~a~~ ~~a~~ ~~p~~ ~~ne~~ ~~a~~ ~~A~~ ~~e~~ ~~e~~ ~~u~~ ~~ma~~ ~~in~~ ~~o~~ ~~ss~~ ~~r~~
 d ~~e~~ ~~é~~ ~~na~~ ~~o~~ ~~con~~ ~~ce~~ ~~is~~ ~~to~~ ~~de~~ ~~de~~ ~~o~~ ~~à~~ ~~e~~ ~~s~~ ~~u~~ ~~ç ~~ã ~~o~~ ~~ra~~ ~~e~~ ~~ix~~ ~~e~~ ~~nt~~ ~~o~~ ~~a~~ ~~e~~ ~~ro~~ ~~ca~~ ~~S~~ ~~ni~~ ~~ga~~ - ~~i~~
 d 0 ~~ca~~ ~~ga~~ ~~e~~ ~~up~~ ~~tu ~~a~~ ~~na~~ ~~ga~~ ~~o~~ ~~ca~~ ~~ne~~ ~~nt~~ ~~S~~ ~~ib~~ ~~da~~ ~~ar~~ ~~r~~ ~~fo~~ ~~ge~~ ~~ane~~ ~~nt~~ ~~me~~ ~~in~~ ~~bi~~ ~~Bo~~ ~~que~~ ~~r~~
 b v ~~aque~~ ~~da~~ ~~ga~~ -1, ~~na~~ ~~e~~ ~~in~~ ~~na~~ ~~o~~ ~~o~~ ~~que~~ ~~sa~~ ~~da~~ ~~ga~~ -0 ~~to~~ ~~mp~~ ~~l~~ ~~ca~~ ~~que~~ ~~o~~ ~~s~~ ~~é~~ ~~to~~ ~~li~~ ~~i~~
~~e~~ ~~g~~ ~~ua~~ ~~o~~ ~~e~~ ~~m~~ ~~fo~~ ~~re~~ ~~f~~ ~~z~~ ~~an~~ ~~en~~ ~~te~~ ~~e~~ ~~i~~ ~~u~~ ~~o~~ ~~sa~~ ~~ga~~, ~~na~~ ~~qua~~ ~~à~~ ~~an~~ ~~co~~ ~~age~~ ~~n~~ ~~Bl~~ ~~o~~ ~~s~~ ~~m~~ ~~r~~ ~~s~~
 po ~~co~~ ~~ma~~ ~~a~~ ~~ma~~ ~~p~~ ~~ó~~ ~~x~~ ~~ima~~ ~~en~~ ~~te~~ ~~i~~ ~~s~~ ~~i~~ ~~s~~ ~~i~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~

a ~~u~~ ~~te~~ ~~ce~~ ~~gr~~ ~~as~~ ~~n~~ ~~à~~ ~~er~~ ~~gu~~ ~~he~~ ~~o~~ ~~nc~~ ~~is~~ ~~se~~ ~~i~~ ~~s~~ ~~l~~ ~~s~~ ~~:~~

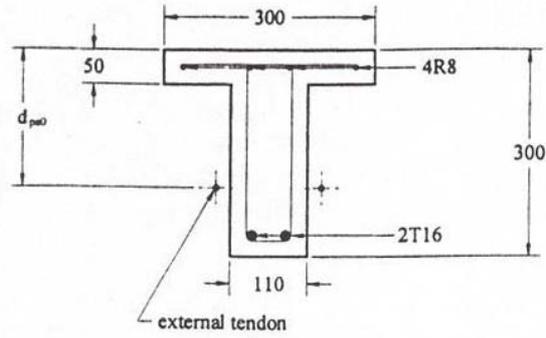
b ~~v~~ ~~o~~ ~~e~~ ~~u~~ ~~ta~~ ~~o~~ ~~r~~ ~~e~~ ~~de~~ ~~sa~~ ~~an~~ ~~q~~ ~~ue~~ ~~re~~ ~~al~~ ~~o~~ ~~d~~ ~~x~~ ~~e~~ ~~no~~ ~~an~~ ~~co~~ ~~as~~ ~~o~~ ~~e~~ ~~n~~ ~~ve ~~ç ~~õ~~ ~~e~~ ~~nt~~ ~~so~~ ~~o~~ ~~s~~ ~~ã~~ ~~o~~ ~~s~~
 po ~~e~~ ~~m~~ ~~e~~ ~~fo~~ ~~ça~~ ~~e~~ ~~f~~ ~~o~~ ~~r~~ ~~me~~ ~~nt~~ ~~ed~~ ~~ga~~ ~~i~~ ~~mp~~ ~~o~~ ~~ne~~ ~~nti~~ ~~asp~~ ~~à~~ ~~al~~, ~~s~~ ~~e~~ ~~e~~ ~~q~~ ~~ue~~ ~~o~~ ~~ca~~ ~~o~~ ~~s~~ ~~s~~ ~~s~~
 d d ~~e~~ ~~jà~~ ~~man~~ ~~co~~ ~~ado~~ ~~na~~ ~~ma~~; ~~ã~~ ~~nc~~ ~~ã~~ ~~o~~ ~~ap~~ ~~o~~ ~~is~~ ~~o~~ ~~no~~ ~~i~~ ~~o~~ ~~q~~ ~~ue~~ ~~ni~~ ~~c~~ ~~t~~ ~~ca~~ ~~r~~ ~~i~~
 b d d ~~o~~ ~~u~~ ~~e~~ ~~ca~~ ~~o~~ ~~an~~ ~~co~~ ~~va~~ ~~o~~ ~~e~~ ~~m~~ ~~so~~ ~~d~~ ~~o~~ ~~ã~~ ~~o~~ ~~n~~ ~~ã~~ ~~o~~ ~~e~~ ~~m~~ ~~re~~ ~~n~~ ~~u~~ ~~me~~ ~~f~~ ~~to~~ ~~a~~ ~~e~~ ~~h~~ ~~o~~ ~~n~~ ~~o~~ ~~n~~ ~~i~~ ~~s~~
 d ~~co~~ ~~mp~~ ~~o~~ ~~ne~~ ~~nt~~ ~~ed~~ ~~m~~ ~~e~~ ~~q~~ ~~u~~ ~~ar~~ ~~ga~~ ~~se~~ ~~fo~~ ~~id~~ ~~ã~~ ~~is~~ ~~e~~ ~~que~~ ~~a~~ ~~ã~~ ~~nc~~ ~~ã~~ ~~c~~ ~~t~~ ~~ca~~ ~~a~~ ~~i~~ ~~s~~ ~~i~~ ~~i~~
 b ~~an~~ ~~co~~ ~~age~~ ~~m~~ ~~do~~ ~~v~~ ~~ap~~ ~~o~~ ~~d~~ ~~e~~ ~~jà~~ ~~o~~ ~~e~~ ~~a~~ ~~ã~~ ~~s~~ ~~r~~ ~~e~~ ~~z~~ ~~o~~ ~~con~~ ~~s~~ ~~se~~ ~~m~~ ~~a~~ ~~e~~ ~~so~~ ~~no~~ ~~m~~ ~~ã~~ ~~no~~ ~~i~~
 d b ~~co~~ ~~mp~~ ~~ne~~ ~~nt~~ ~~o~~ ~~ro~~ ~~cal~~ ~~zo~~ ~~i~~ ~~el~~ ~~m~~ ~~n~~ ~~ms~~ ~~a~~ ~~m~~ ~~e~~ ~~f~~ ~~to~~ ~~i~~ ~~e~~ ~~i~~ ~~g~~ ~~un~~ ~~a~~ ~~o~~ ~~i~~ ~~s~~ ~~m~~ ~~e~~ ~~s~~ ~~a~~ ~~e~~ ~~m~~ ~~o~~, ~~l~~ ~~is~~
 í ~~re~~ ~~me~~ ~~be~~ ~~m~~ ~~pe~~ ~~é~~ ~~por~~ ~~e~~ ~~dan~~ ~~co~~ ~~a~~ ~~oss~~ ~~ca~~ ~~lo~~ ~~no~~ ~~e~~ ~~x~~ ~~te~~ ~~no~~ ~~s~~ ~~a~~ ~~sga~~ ~~sga~~ ~~i~~ ~~s~~ ~~i~~ ~~s~~
 d b d ~~o~~ ~~ca~~ ~~ne~~ ~~nt~~ ~~e~~ ~~be~~ ~~fo~~ ~~ça~~ ~~de~~ ~~m~~ ~~ca~~ ~~o~~ ~~e~~ ~~s~~ ~~e~~ ~~x~~ ~~a~~ ~~m~~ ~~um~~ ~~co~~ ~~mp~~ ~~o~~ ~~ne~~ ~~nt~~ ~~o~~ ~~R~~ ~~h~~ ~~a~~ ~~r~~ ~~s~~ ~~i~~ ~~l~~
 d b d ~~ao~~ ~~a~~ ~~e~~ ~~fo~~ ~~ça~~ ~~ar~~ ~~co~~ ~~m~~ ~~sa~~ ~~o~~ ~~e~~ ~~a~~ ~~ço~~ ~~s~~ .~~~~

NG 236 (2003) . .

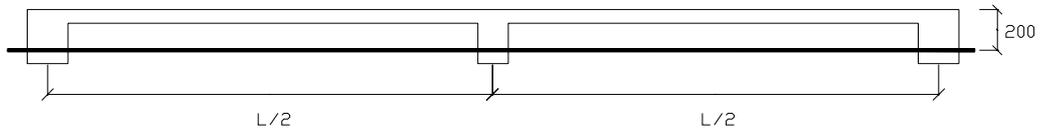
F d z o eab a or umei du die xpe nenta r d e o é f r t o l a e a ç ã o l/d_{ps0} e ol
 v d ú n e o a d e r l a o e n o a u n s n i o a e d i ã o o c a v o e s t e n o s e t s g a e c o n c e t o i s r
 d ã m a o e r e ç ã o f o a m e n s a f a a T S T S i H S , s . - S i - s A - 4 e - 5 p o u a m s s
 d v u m e v a o n o n e o T s o i d o s g a i - v d t n a i o A a o h , A n e r n s c a a t e s ç o r
 v v d T o ã o S a g a d 5 t n a t i e d e z d i h , B e a r a o v n o s q l a t i o s ã o s a t u a r . l
 d d ú t o c a o e x t e n o v d_{ps0} r e s t o a a s g a e v a 2 0 0 n m e s ã o e a a m a s e n a ç ã e l r l s
 l/d_{ps0} e 7,5 , 0 15 0 22,5 30 0 p a a T g S - T s T i s 3 S - 4 e - 5
 v e p e c t a m e n t e s i .

v d d d b g a f o a m p o t e n s a u a l n o c a o i e s t e n o u m r a n t e o e n a i o s s s i s .
 D u a d o c a d a r e s e f o d l l n a v e r d c a a i a o a g a , c o m â n e t o e 1 2 r i m e 9
 e n ã o u m f_{pu} e 1 0 0 k i a f o a m p o t e n a r d a a p o x m a i n s n e 0 4 f i , m c a a .
 v g a f o a m n e v a f e c a , c u i a t u a l r h f o r m a ç ã e r n o c o n c e t o e s m a m a u a r s r s
 b f o d a n o r a o d e x t e n o s a e G u a v e r s r u l a a s r g i s m p e n e n e i a p o s a a l f o i i
 c a d e g a a m o n o t o n c a n e n t e n o t e ç o o ã o a t a u p t u a r r .

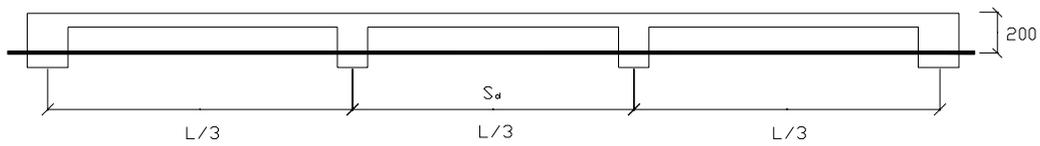
e f i c o u e r i q u e m a l i i g a s q u e d o s u a i n s u m e s s v o n o n e r o s ã o e i
 e a ç ã e l/d_{ps0} e n t e 1 7 , 5 e s 2 2 , 5 o n c e n e n t o r e t e n i ã o Δf_{ps} f o p o p o s c o m a à r e i e n c r a i l s i s i
 d o c o n c e t o f_c e c a a g a a d a g r i - 5 c o m e i a ç ã o l/d_{ps0} e 3 0 p o é m u m r
 v d e a o t u a o r n o m e o s i v ã o n ã o f o d e f e t z o d r a m n i m a ç ã o o e f i t o é e g u n a i s
 o e m e , d o t a n t o , o u e n e m o n c e n t o r e t e n i ã o a g i m s S . o n g a (i s 5 i s l s
 T d S d - 5 d) q u e p o u a m d o u t e s e l a o i s e , o a u n s n i o e t n ã o n o c a o e x t e n o s r s s
 d v d f o n o d n e n t e d e i a o e v n e p s m e n t e s o i ã o a g a i .



ST-1, ST-2, ST-3, ST-4 e ST-5 (1 desviador)



ST-5A (2 desviadores)



ST-5B (3 desviadores)

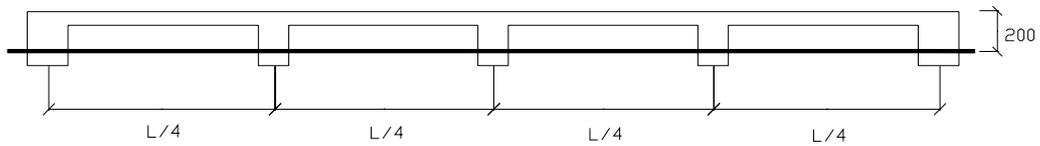


Fig. 2 - relação entre a distância dos tendões e a posição dos desviadores (2003) s

Tabela 2 - valores de utilização da seção transversal (2003) s

Tipologia	Desvio (mm)	f_{pe} (%)	Extensão (%)	Utilização (%)	f_{iil} (MPa)	Δf_{psu} (N)	M_u (kN.m)	
T S	-1	40	201	% 200	34,5	443,2	7,0	
T S	-2				2,9	380,9	3,6	
T C S	-2				26,2	330,2	0,7	
T P S	-2				36,3	25,2	2,9	
T S	-3				33,2	40,2	4,2	
T S	-4				28,3	366,2	8,8	
T S	-5				25,1	26,6	80,9	
T S	-5				A	31,7	376,0	8,8
T S	-5				B	26,4	412,4	8,4

d auto de go urà conc uãh e q ue Ob e f so a e açã o rãci/a tua lãt nar t e nãb il s
 d o ca o mo e ta ov m e útdso de ligã e xte i nã nãr psot n ar e e a e i nã so r i s s
 e a tãb nã e assuã rãh rãdã f ce nã. e e uãção imov f ca o pa a a a iãr açã o a li
 d e t nãrã à fe xãos is gã colm pot nãõs xã ma fo pão pão tãe o a uãto, a se a o lãrã s
 d compãt dã e e e fo iãlãçã o e equ o e fãrãçã il r i s.

2.4 MODELOS DE CÁLCULO

d C e m 18 22 o i d 318 (2005) O a tã e pãrã f ca m e nã s pãtã nãõ e xã ma s .
 d S d e g u n o o c o n e nã o e e r tã m a i nã d nã s a i p r o t e nã o e xã vã e u nã nã t o o e á t r s i l
 d v pã a p o m o r e a u nã d tã o e e t nã rã e l nã e o s i s a v o i n rã çã o h e m e s ç o iã r e s t u tã a i r s s s
 e xã tã nãl, e d i o, pã o tã nã o, b u m nã t o l o a e q u a o pã a a e a r tã çã o e e t u t i l iã r r s s .
 S e g u n o a d m o mã, a n e m o i q u e e jã m u t dã a o a tã f c o i lã a p o m i e iã a e t nã rã r i
 e n tã b o cã o r e xã d m o e o c o n c e tã o vã o e lã tã nã o s e e m s e tã tã s o r c o m o s cã o rã õ s s
 d a e e d e p rã o cã lã b o s d e t nã rã lã d e pã rã i cã o s e e s m e tã fã sã o rã o s i s
 c o n c e tã d d nã rã e a lã mã nã e a e xã e m t cã d e d e e jã a e i n tã e e s e r o c e n tã o e l sã r i
 d d e çã b u e çã, o s e fã d o e s e g u nã o i e i d gã rã o pã o e v o cã m e n tã o l eã tã s b e n tã o l r i
 d cã o e xã tã m o d o e e xã o a gã rã õ e c o n d iã o m o r cã s i u o v e, pã o tã nã d, lã s e e r s
 v d d e dã v o nã e a n tã vã pã õ ã o iã e a o e i s r s i s .

d v d d v e fã çã o rã a gã iã p o t e n sã r i cã o s i n cã o e xã nã o q uã n tã o a o tã o s
 d Ú m e lã d m o e fã iã d iã e mã iã e a v e nã d rã nã tã à iã s gã lã h e c o n c e tã o a i nã o r .

d d e tã mã çã rã lã e fã mã çã o e rã cã h e q u e nã e nã e nã, a tã nã õ mã a mã uã nã õ r
 d d d a e e nã pã o t e nã r e p e n e dã iã rã e e e fã mã çã o s r e m tã o a a gã, o q u e é i
 P tã a o o a a C m pã rã fã cã, o s i- 318 i (2005) p e m e tã q u e e u tã i m e q uã çã o e i l i
 d d m pã fã cã a lã pã s i e tã iã mã çã o rã dã e nã õ i nã cã o rã õ s a e e s nã e, sã r e q u e a tã nã õ s s
 v e fã dã nã cã o e d pã o t e nã õ rã pã o pã e a s e jã mã sã o q uã sã r 50 iã tã nã õ ú tã fã e s l i
 tã çã o nã rã çã o $(\sigma_{p_{\infty}} \geq 0,5 f_{pu})$ u e jã, nã õ e pã o s tã a a s rã o m tã r nã õ e lã m u tã o s s i
 d d p e q u e mã mã a mã uã pã o s tã rã rã i .

P a a o e e n e n t o c o m e d a ç ã o $l/d_p \leq 35$, a t e n ã o m a m a u a r e p o t e n ç a n ã o i a e e n t e é a a p o r :

$$\sigma_p = \sigma_{p\infty} + \frac{70MPa}{100 \cdot \rho_p} \frac{f_{ck}}{s} \quad a \quad [\quad (21)$$

e e q u e $\sigma_p \leq \begin{cases} s \frac{f_{py}}{\rho_p} + 420 \end{cases}$ a [

P a a e e n t o c o m $l/d_p > 35$, s a t e n ã o n o c a o n ã o a s e e n t e é r :

$$\sigma_p = \sigma_{p\infty} + \frac{70MPa}{300 \cdot \rho_p} \frac{f_{ck}}{s} \quad a \quad [\quad (22)$$

e e q u e $\sigma_p \leq \begin{cases} s \frac{f_{py}}{\rho_p} + 210 \end{cases}$ a [

o n d e $\sigma_{p\infty}$ é a t e n ã o e t a n o c a s o e p d e n ã o a p o p e a s r s s d d ρ_p é a t a x a g o n e t c a a a r m a u a r e p o t e n ç a r s .

D e c o c o m m e t I A 423(1 6), a e q u a ç ã o (2 1) f e e .
 d v v d d e e n o a a p a t s o b r i u t a v r e i e n a o s d m g a s g u n e n a i o s p o l e o s e A n i s r s i s
 a ç m o t a a m q u e s a a d q u a ç ã o u p e s s b m a a o s u n e n t o i e t e n ã o n o c a o p a s a s r s
 d d e a ç ã o l/d_p m a d d e a s a n i s d g b n o s o i f e s o A e x t o , a é q u e i e o t e n a u m a s h
 f d m u a g r a q u e p o l a e v h p c a r a s p a s g a l i o u a ç v , o u e s j , q u e s a a p a r l h
 q d a q u e e a ç ã o l/d_p , l a e q u a ç ã o (2 2) z e e e u t a n p a a s l/d_p i 35 .

d v b d g a a l m a a o m i c a s A n ã o a e e n t e d p r e m a p e e n t e s c o m p o r t a m e n t o r e
 a c o a t a n t a U p l o x m o i a o a i d a e g u a q u e r t o s s r ã o E a c o n t e ç a s e r e c e á o r s s i
 d í d ç o u m a á e a m i n i m a e a m a u a i e e n t e r :

$$A_{s_{mn}} = 0,0044 \tag{23}$$

...oneb4 d a áea compeeln arente od odroi ma rtacom o e oiscentí e areção i s
 d b tan e ar t a ma usa tabsém d ma função e m ta a a e tu alieif rua a r iss s
 v plça em ed ço eqdação (2i3).fo e e nAa .a a pi t e viraro compa at os iste ri s
 v b d ga pot n ardõnsca o abe sné d r gas pot n sar cõnca o não se e nê sr s.

...equação fopoda rAos d3k8 (2005) pa a a Atr m ração a t nãoi s
 d b út ma no ca o dñolai e e nê ãor a tã nê mpe de s fãc sap dação m cõn t hpa t ar r i
 mu to o palã nê tã sq ue srnfde nã o a io l a tã nã o út ma o ca so, cõ n o po r
 d e x e m p o a á e a d e a l m a l u a r p a , n ã o ã o c o n s i e a o s r f o n s i a ç ã o p o p o t a p e l a s l
 no ma a e d a e a p e m a m a s e i a ç ã o f_{ck} / σ_p d e l e c o n t n u a e m l / d p s 35 é m o , a . l i s s A s
 d e q u a ç ã o f o a m d e t r m n l a r d p o n e o i a a n á d e é u t a o r l i s e e n a s o l a p e s a e s i s s
 d b d e e n e n t o - a p o a l o u s e i o à p o t e n ã o cõ n s p e t a s l .

...N e x p e ã e d a s - 6 k s 8 (s 2 0 0 4) p a a c á d u o e σ_p Rã o l g u l à a s - i i s k
 318(2005) .

2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

...d v g u m a a e l a s a m b a d i e s e f o ç o à s e r x ã o f o a m a o f a a r e t e s s
 d d c a p t u o d o p ç ã o p o d l e e d n r m a o r p o j t o e r i l e f o ç o r e p e m e , p n c p a m e n t e , a i i l
 d í d e d a ç ã o c u t o / d r e f l e ç ã o , a m a g n t u d e i o d a u n e n t o i a e é n c r a e q u e n s o r e m p o e i
 d f c u a e a e x e c u ç ã o e f o ç o r r .

...d d d f o ç o p o a r ç ã o r e c o n c e t o á O m r o a p e e n t e c o m o m a o s e a n t a g e m ó s
 d d v z a u n e n t o a o á e r a n e d i ç ã e h p e s ç a e , c o s e q u e n t e n e n t e , s c a g a p e m a r e n t e r .

...N d d o e f o ç o c o m r o a g d m b c d a p a b e a ç o e c o m p ó s t o e f a e s a i r o m , o r
 b v f a t o r e g a t r o ã o v p o e i m a s e d a s o r a l g a ç ã o l e n t e s o m a e e f o ç o e r a l r
 d u p e f c e o r c o n s e t o , a e i m a r e e á l a p o t e n c i a c o n s t a i f o g o e r m o c a o e c a p a e s h s
 a ç o , c o n t a a c o o r ç ã o r r s .

d v d e f o ç o e d i g a e c o n d e b a i m o o p r o p r i e t a r i a e x t e r n a r s s
 é u m a é c n c a e c a á t e a t i r o , e f c e n t e d e i c o n ô m i c a , q u e n ã o e q u e n ã o e r o a r
 d a t a m e n t e q u a f c a l a m e e l i d a p o t e n c i a f o g o , n o o ã o e r i a n o a c e s t a é a i l
 d v ; d p n c p a r e a n t a g i m i e l e s n é t o o e n t e s t a n t o , e a é a ú n c a é c i l c a q u e p o e e i r s
 d d a p c a a a u m a e t u t u a v e m e t a s e e ç o s r s i .

N d o t a a o r e u n s u r a l i t e s o s e n t i r e f c o i e r q u e a p i o t e n ç ã o e x t e m a é s
 v u m a é c n c a e f i l t a p a c o i n t o r a i a f r u a ç ã o e l e u i s s a r f e c i a e o ñ e l e h e s n ã o s i s s
 b m a a m a v a r n e m e r o u i e n o . E t s i o e H s C N C (k 3 L e A 9 9 3) R B A 9
 b q u e o a u m e n t o e e d i ã o d m o c a l o a u s e n t a q u a n s u a o e a o e s e s m i s u i c o m s i i i
 d o a u m e n t o a t a x a e a m a u a r n e b r e a r e l a ç ã o ñ o a n u a ú t o r c a o l o t a i l a o r . l h
 Ú J e (1 d 7) c o n t a t o u A 9 q u e R s u n t o n o e e n ã o v n o c a o p a g a r s i s
 u n e d a a a p e s d u m a c a g a c o n t a a é n e n o o q u e r o a u m e n t o e e n ã o p a r s
 v d g a u n e t a d a i s a s o u q u a t o c a G a r c o n t e n t a a s m o z n a o s . e a a s r p o i s l i r s
 T N N G v e (1 7) e d i c o u A 9 e c o m i u m a c o n f g u a ç ã o e r a o p o g o m e m e u n i l s
 b m a o d a u m e n t o e e n ã o n o c a o l u s i v o c o m p a s o à r g a c o m c a o s e i o s r s s .

b v d i t a n d o c o n t u i c o m o z t u o i e a a s r s o e s e a l i e r c n s a s n o p e s e n t e n i s
 d v d t a a o e r n e t g a l e f c e n c a i d e v f o ç o a r f e d i ç ã o e g a p o l n e o a p o t e n ç ã o r e i s
 a a e a p e x t e m a s r s .

P

G M XP M NT

I ARA IR

3.1 INTRODUÇ O

Ã

T d v e n v o d o ç t o e a a a o i e m p e n b i a p o e n ã o z h e m a u t s a c o m o i l i
d e f o ç o ã l f e r e a o e m g a d e c o n c e t o a i m i o , f o a m e n a r a a q u a t o g a i r e s e ç ã o i s s
e t a n g u a r d e 1 5 0 m m x 1 4 0 0 m m e 4 5 0 0 m m d e c o m p n e n t o , r e n o t e i e f o ç a r e r s s
u m a e d f ê n c a d e u m e f o ç o V r i a s V g a , F v n o n s a i P s 1 , E i 1 , s 2 e 3 R E R
d f o a m - a p o a a e c a e g a a i r o d m u m a c a g a c o n c e n t a a n o m e o e ã o i .

N v a g a f e e f ê n c a i r l v f o d f e t a i u m a p é a i f i r u a ç ã o R E o g o i s p o f e t o b i s i
e n d n o v e a u p t u a s r i v r g a e f o ç a r s P s l , d 2 e s 3 f o f e t o u m e R a o i e R i R s i
p é - c a e g a n e m o p a a m u a d u m a r t u i ç ã o l e a n o s i m e n t o d e f o ç a a c o m a l s
p o e n ã o r a a a e x t r a s t a s d a a e a n d e s e r c o m s p o E t s e f x a i ç ã o s i e i
d v p o ç ã o (d e a o) s i m e n t o s o i ã o e a n c o a i a n o r e x t e m o s s s .

d v d p a â n d o t o r a s r d f o r m a t a d e s a m a u a r o n g t u m a e t a ç ã o e a r i a x a
e a m a u v r e p r o v e n ã o r a P g a s p l ; s d i l s 2 p o u a m R i t a x a R e R
a m a u a r n e m e V r 4 , i e r q t a n t o a P g a 2 e s i 3 \$ n a m u m a t a x a i g R E a R i 1
v d d , 1 0 8 b d g a 2 % f o t o r a a A N T a S i o r e S R E l h 2 0 0 6 , e f o m a q u e r e O s s

v d t e e d e ê n d i p s s a a f r e n t e d a t a x a s d i a n h a r n e m t a x a e i a m a . u a r e A
 V V v p o t e P a o r a P g a d s l e l s l i 3 q u e f o a m e f o r ç a a R c o m u R a a s e x t e r n a , e a r s r s
 d d d e 1,08 d a t a x a V e a f r a u a r e p o t e n ç a o b a g a q u e p i u a q u a t o a a s R r r s
 e x t e m a , e a r e 217 s %.

b C o m o e t a a o r d e m a a l h o e s f o r ç o à i n f e r ç ã o , t o a a l g a t n a m s i s i h
 v a m a u a n t a n e r a q u e g a a n t e s n i p t u a p o f e s s ã o r l .

N d e d e c a p t i o é f e d a e c l a ã o g i a o s m o i e z o e h e a a ç ã o s o e n a d i , s s i s
 d a d m o n o a a p e s s i n t a ç ã o o e u s t a o r o t o s l s i s .

3.2 MATERIAIS

C N C T 3 2 1 . . O R E O

d N a c o n d i ç ã o a q u a t o z g a r f o s u t a o i u m c o i n c e l i t o c o m r t a ç o e m r m a a s s
 b l 2 7 1 3 5 8 (c n e n t o : a e d i r a 1) , : e a i ç ã d á r g u a / c n e n t o e 0 6 e i o n u m o e s
 c n e n t o e d 3 0 0 d g / m ³ e d a t e f o a s s e f i n o s o q u e t a n o i u m a e i e n c a à s i s i
 d c o m p e ã o o r c o n c e t o s e l a p o m p a a r n e n t e l 3 0 i a t p o e z c n e n t o u t i a o f o o O l i i
 CP N d - a t a d a 3 1 d a p e a n t a l a c o m p o s i ç ã o p o m ³ e c o n c e t o r .

b T C d a e a 3 1 - o m p o ç ã o p o m ³ e c o n c e t o r .

Composição por m ³			
ne n t o	300 g		k
t a r	11074i g	B	k
e a r	814 g	A	k
g u a	180	Á	l

d d a g e g a o m ú o d i t a d f o à e d i t u r e o a g e i g a o g r a l ú o g r a e t a o r i s s i
 d c o m n e n ã o d á x m a d e 1 s l m n b i á g u a e n o p e g a a f r a a e e e a r a i e c n e n t o a s i
 d c a e c o n c e t o f . r m t u a o m e c a n o s e d e e m e t o e a n o a o a t o l i o e r i

d C P P t u t u a n a r d , e p a e t e m a d a r e f r o n t a i E c o n c e s s i o m i r a o e n a o s i s s s i s
 d f o a d m o r a o , z p o g á l e r c o p o d e l r p o a c n s c o c o m 1 5 l c m i e s â n e t o e r i
 3 0 d m e a t u a (e p a a e l e m e n t a o à c o m p e s s ã o e q u a t o à t a ç ã o) , c o n f o n e a r
 N d - 5 7 3 8 (d l 3) v d c o p B - 9 9 r p o R f o v a r m e f o r n a o r n e e s q u a t o s a i a p ó a h s s
 d v o n c e t a g e m e d e a o p a a a c â m a d s ú m a r o n e p e m a i e c a m e t e r a , n e m o s i s s
 b p e v o o e m q u e a d g a e e e l a m c i u s ú m a r a a o e i v e m p o s t a n t o s s g a s i s
 c o m o b c o p o e b p o a d f c a l a s m e m o n ç ã e o a m e n e i o s a o a t ó i o r d i .

N d o a o d e n a s o i e d p e c a s e i n s e m e v e u p t u a r a r g a , f o a m s r i s
 d n a a o v c o p o s e r p o s a p a r s e m m a a r e f r o n t a ã c o m p e s s ã o e i a e ê n c s s i s i
 d à t a ç ã o p o r c o m p e r ã o a n e t a s e r e n i a o f l a s s e m o r s e i n s p e n l a i s c o n s A
 d b c a p a c i d e p a a 1 0 0 N r i S o d a L l a t a e a d 3 2 ã o a p e e l t a o E s a o s n é s s l s i s
 e e ê n c r a o t o s i s i i s .

T d d a e a ß 2 - a o e n é o e l ê n c r a i s c o n c e s s i o à c o m p e s s ã o e à t a ç ã o s s .

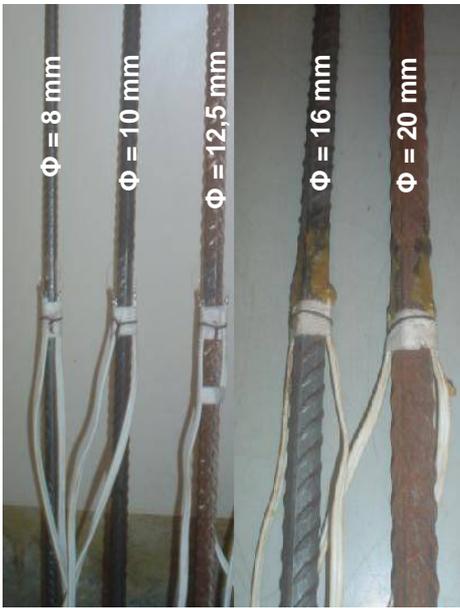
Viga	Pré-fissuração			Ruptura		
	Idade (dias)	f _{cm} (MPa)	f _{ctm} (MPa)	Idade (dias)	f _{cm} (MPa)	f _{ctm} (MPa)
F	1	-	-	5	34	9 3 02
F	2	- *	- *	36**	41,4	
P	1	28 1	9 3 65	115	41,0	3 13
P	2	35 1	9 3 76	100	36 6	3 2
P	3	51	36 6	2 77	51	35 7

* b d a o N T o S o p o S l s r i (2 0 0 6) A O
 ** d d a o n ã o e p e c f c a l N T o e S u o i e S s (2 0 0 6) A . O

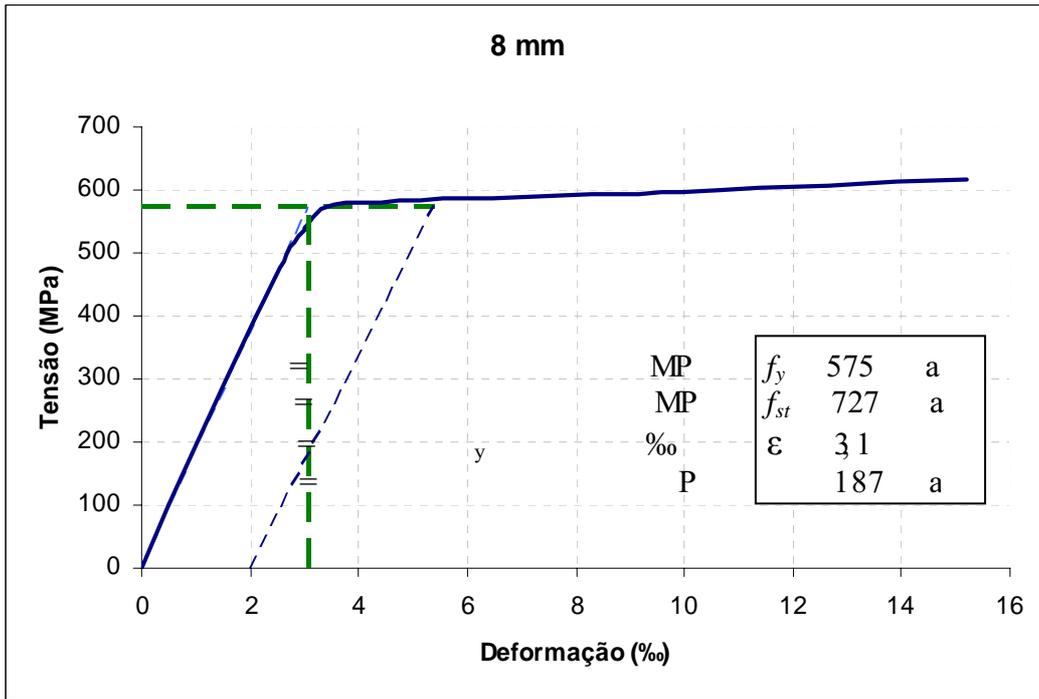
Ç 3 2 2 . . . A O

d d z a ç o u d a o m a m a l i a e b o c e f o ç o r o e m e n t o e t s t h a o f o s l h i
 C d - 5 0 a a e r a ç o . c o m a s â n e t o 8 m m z f o a m u t r a a t a n t o m a i l a m s u a r r
 v d t a l n e d a c o m o m a s t a s u l a r o n g t u m a e c o m p e ã ã , l a a c o m s s â n e t o 1 0 m m i
 d 1 2 5 m m e 1 6 m m m a l a m a d a r o n g t u d m l e t a ç ã o i e r i a l a e 2 0 m m e s â n e t o r i
 n o e f o ç o r r .

d d enad e tação snipe e Odo stia les ar a sz fo am ssa ra cr em li s
 Md d p e Sna r com cam Na A e 1000 i SPPa lka , confo me a r E O
 N d - 6152 (D 2) ated m 99 m. e R a dmi a p o p essa re r snc câ nã os aç o i s
 d d mpe ga o t nã o e e coa n e n t o , e l f o m a ç ã o c o e p o n e m e à t e n ã o e e c o a n e n t o , s
 d d t nã o ú t i l i z a d o m d u o d e a t c d e l b m s ç o i a . e s f o m i ç o e s r a s a a f o a m s r s
 d e t a c o m e x e n ã o e e t n s e e s e h d r a i s a f g s i a 3 2 a r 3 6 ã o m s t a a a s s s s
 v d b c u d a t e n ã o - b f o m a ç o s r a a d a e a p e s a t a e s a 3 3 a p e n t a d o . e u t a c r s s s l s
 o t o i s .

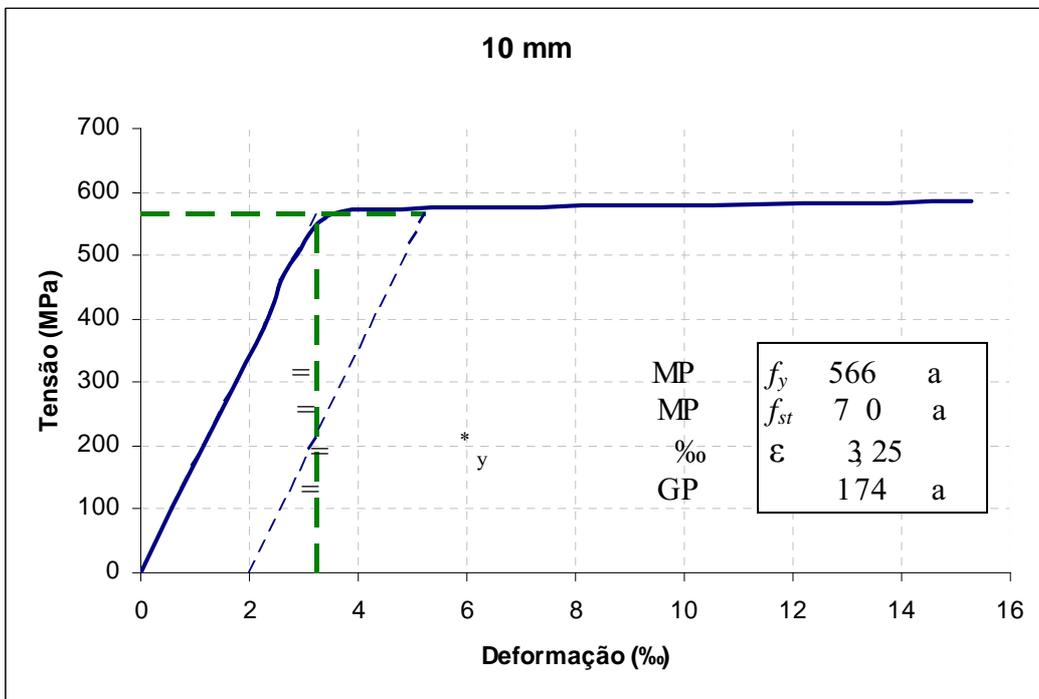


Fd g u a 3 1 - r a a i e a c o n d t u n e s t a d e i p s n a p a n o e s n a r o s t a ç ã o r s p e s i l s .



F d Da 3d2-br ag aim a enrão - ic fo ma çõ es ra a a com r r â n e to e 8 mm i .

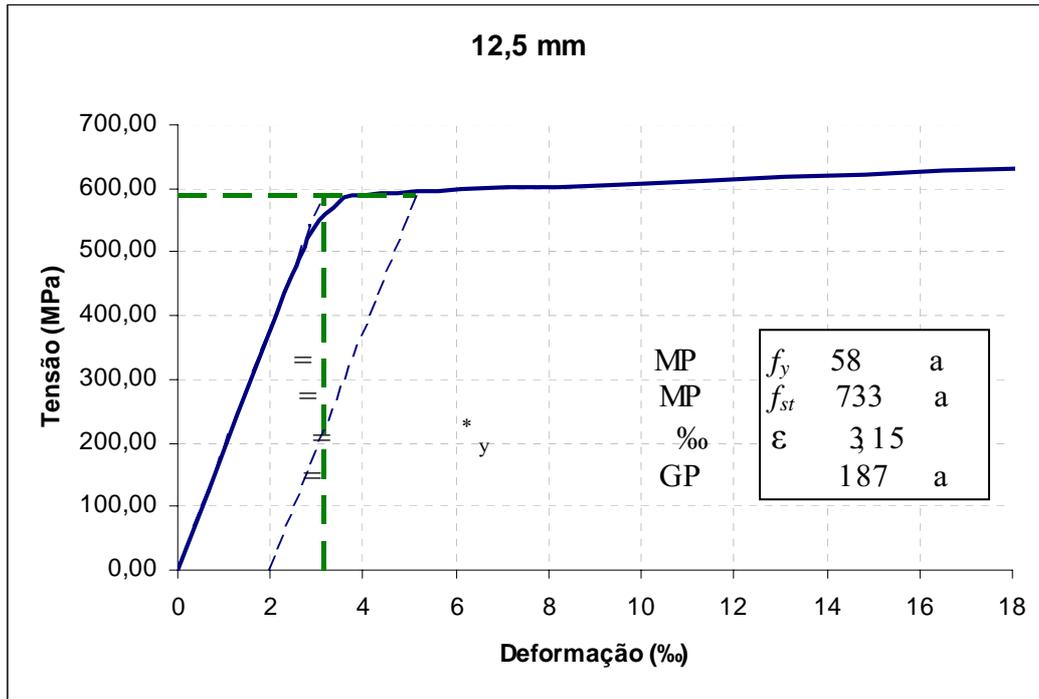
E



F d Da 3d3-br ag aim a enrão - ic fo ma çõ es ra a a com r r â n e to e 10 mm i .

9

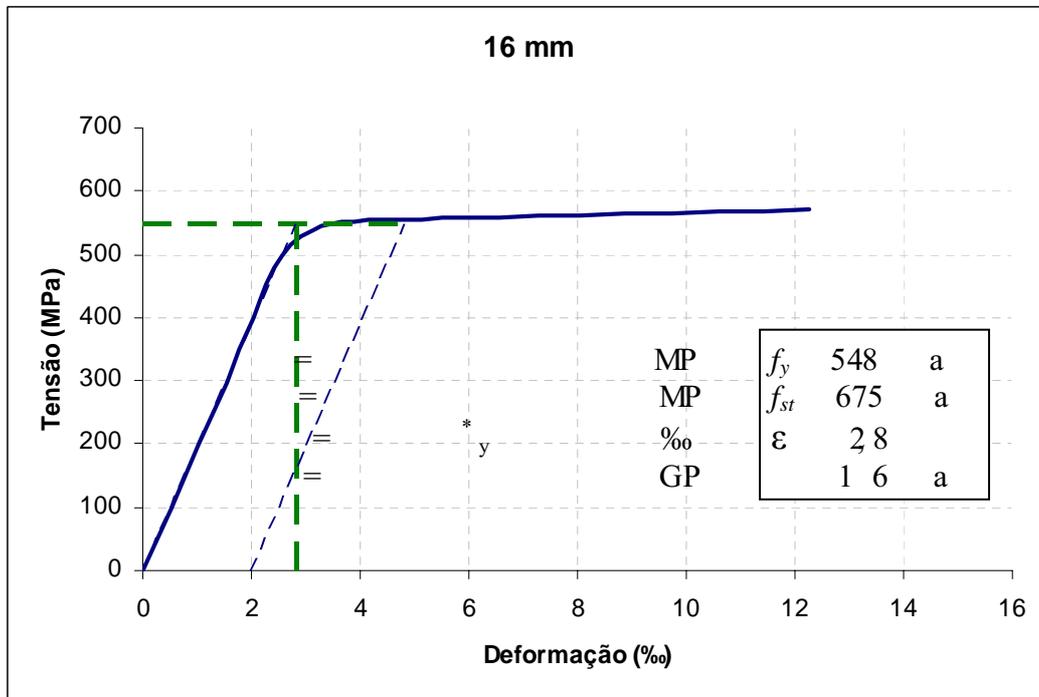
E



9

E

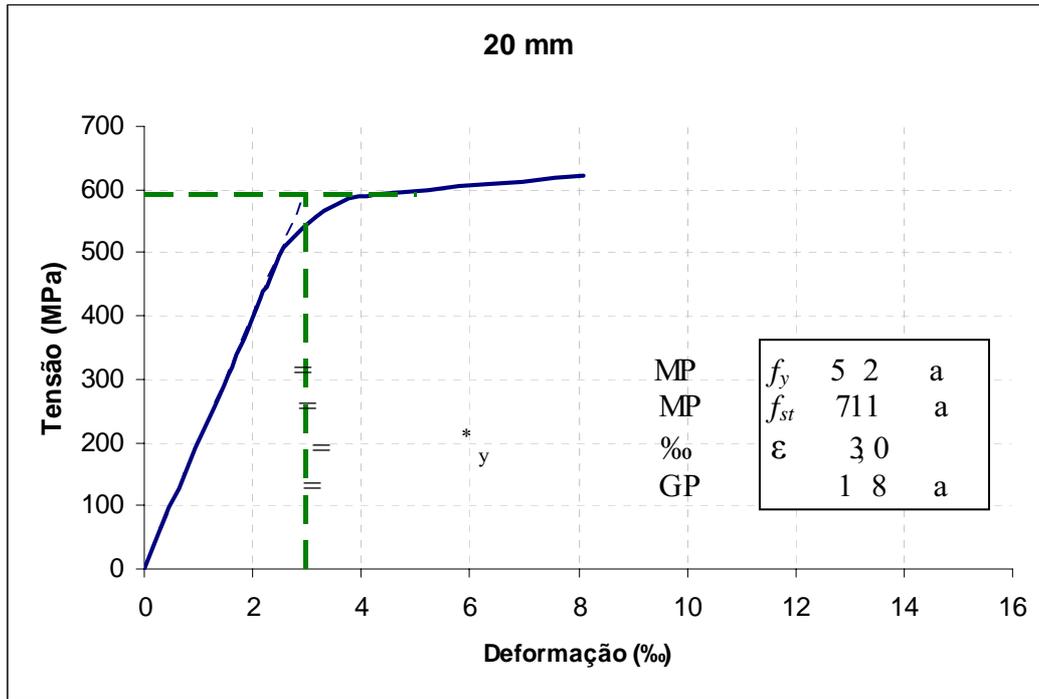
F d Da 3d4-br ag aima elrão - icfõ mações a a a comrr ânto es 12,5 mm



9

E

F d Da 3d5-br ag aima elrão - icfõ mações a a a comrr ânto es 16mm



F d da 36-br a g a i m a t r a n ç ã o - i e f o m a ç õ e s a a a c o m r r â n e t o e s 20 m m i .

T d í C b a d e a 3 3 - d a a c e l t r a n ç ã o a a e i d o u s a v m s a m a u s a r a s g a e o s i s e f o ç o r r .

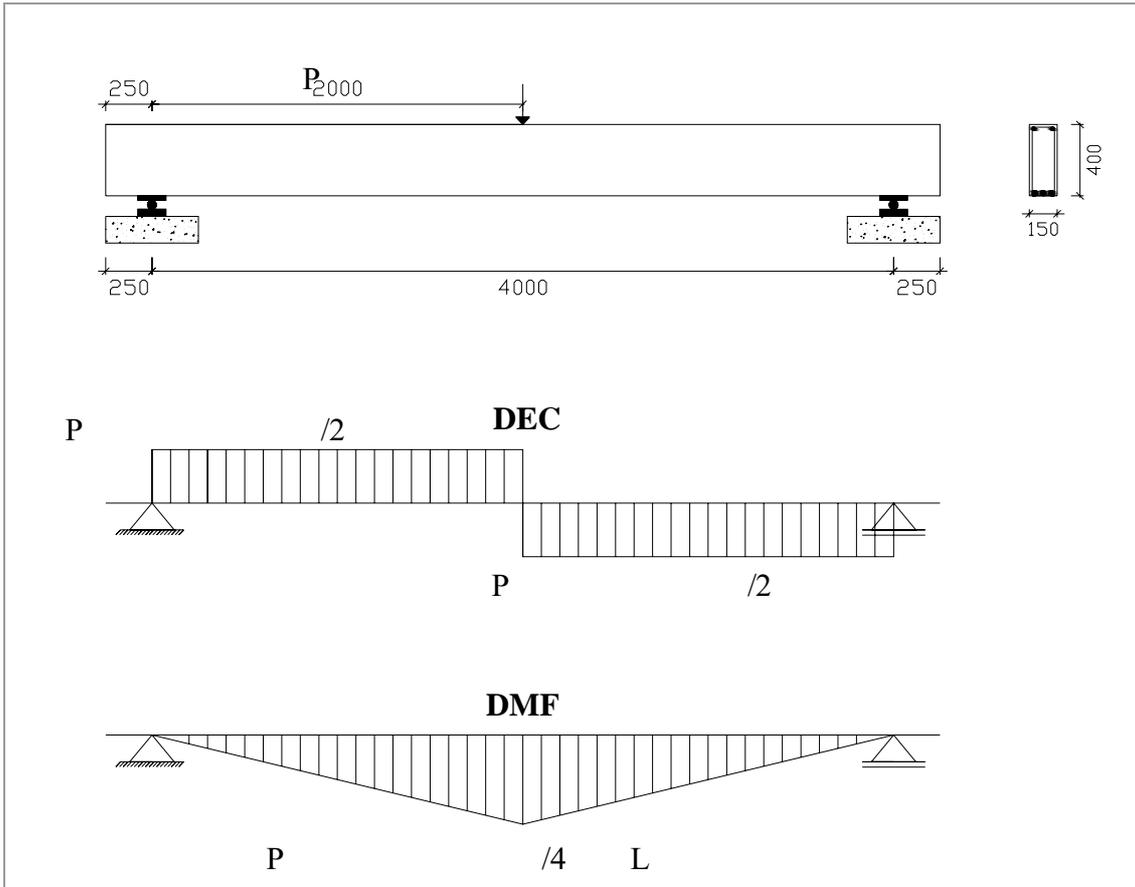
Diâmetro (mm)	f_y (Mpa)	f_{st} (MPa)	f_{st}/f_y	ϵ_y (%)	E_s (GPa)
8	575	727	1,26	3,10	187
10	566	700	1,40	93,25	174
12,5	58	733	9,24	3,15	187
16	548	675	1,23	2,82	16
20	520	711	91,20	3,00	18

3.3 CARACTERISTICAS DAS VIGAS

M N D 3 3 S M U I . D S E A Õ E A E R A R

d b v q u a t o g a r e s t e v a A ò a p e s d a a m l e ç ã o t r a n e a r s e t a n g u a r s e 1 5 0 r l d m m x 4 0 0 m m e c o m p n e n t e d r e 4 5 0 0 m m a l f o a m - a p o l a s a , c o m u m f i o e v 4 0 0 0 m m g a f o a m c a s t e g a s A r r o n d u m a c a g a c o n e n t a a n o m e o o ã o , i

d b e n d e c o n s a a a c o n t i n u a ç ã o d o p o i p o p o m s a g a m a i e e f o ç o s r s s
 F o c t a n e (g u s a 3 7) r s i . .



; D n e n ã e m m i n e t s s r i l s
 d C D ; D - a g a m a e e f o ç o c o t a n t e E s r
 d M F D D - a g a m a e m o m e n t o f e t o r l .

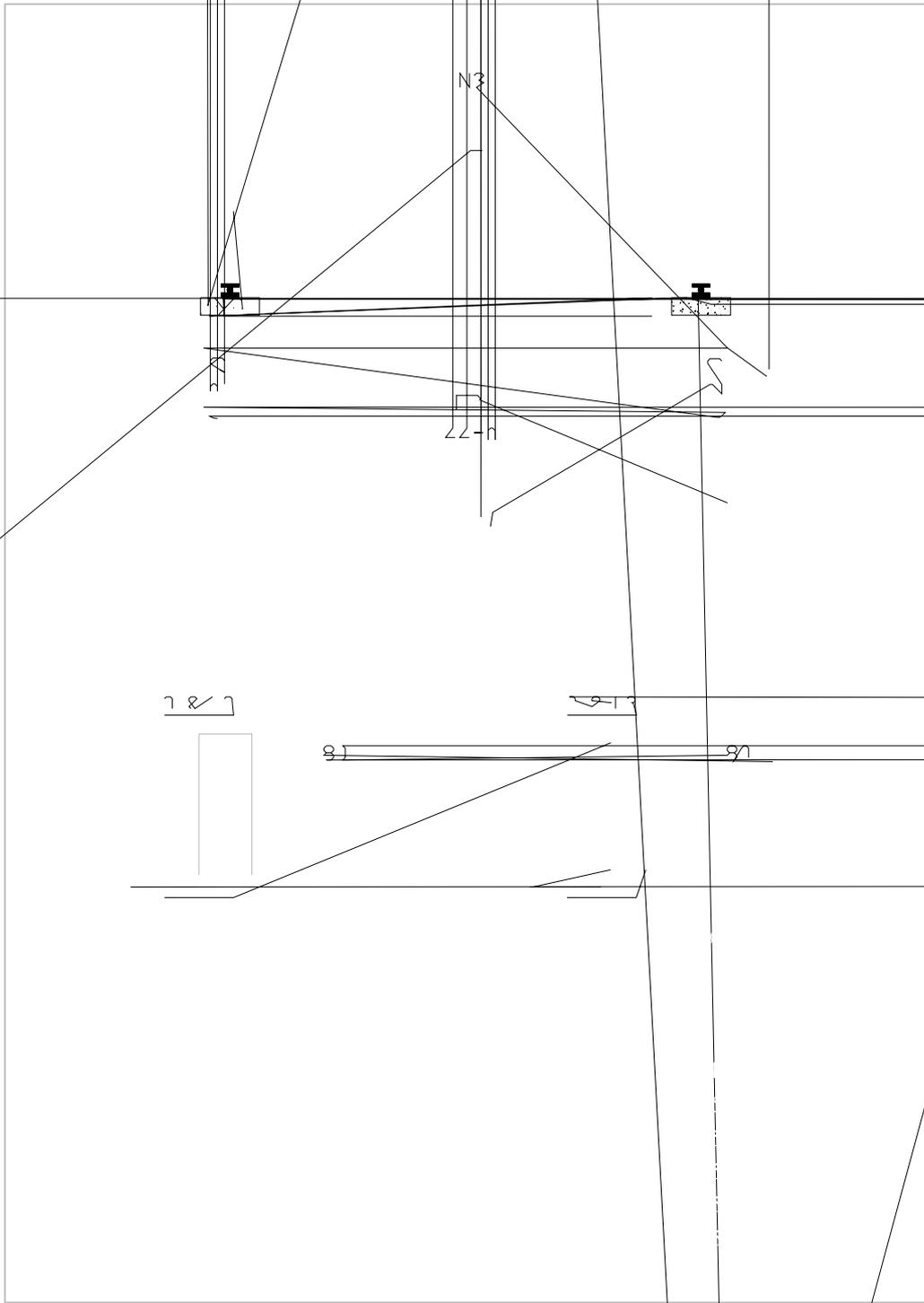
F G g u d a 3 7 - r e d u z i d a c a e n g e n e r a ç ã o d a a g a m a e e f o ç o p o r o s t a n t e s a s s a l i s s i s
 d d e n a a a n t e a e s e i ç ã o o s e f o ç o r r .

T d v d a a g a f o a n s m e n s o m a d a i a s i m p r e m à f e x ã o p o u n o l s s i
 v a m a u a r t a n d a d u f e n e s p a l a n t i t a d m o r o e u p t u à r t a x a e a m a . u a r A
 d v o n g t u d a l g a i d d e l a e d i p r o x m a a m e n t e n o l e a q u e h a g a 2 l á i .
 b v V a g a q u e e e s p i n s f o r d a r d l e 2 s n a m a n e m a t i x a R a g a s R l i
 P e n q u a n d o a b a p e n t a r u m a t a x a s ê n f a c a l a g a v i 2 a q u i a t o g a , r a s R E i s
 d a m a u a r o n g t u m e c o m p e ã d d n t a e m s u a a s i e 8 m m s e â n e t o e a r i
 b v d a m a u a r t a n e d a r e m e t s e s 8 m m p o i c o m a o a c a s i 5 0 m m s c o n t e n t o r . i
 a o t a o f o e 1 5 m m i .

b T d i C a e a 3 1 4 - v a c e l t r a n g a e n a s a s i s s i s .

Viga	Dimensões b x h (mm)	d (mm)	d' (mm)	ρ (%)	A _s (mm ²)	ρ _{sw} (%)	A _{sw} /s (mm ² /mm)	
F	1	150 x 400	386	27E	0,4	285	0,45	0,67
F	2	150 x 400	384	27E	1,08	600	0,45	0,67
P	1	150 x 400	386	27R	0,4	285	0,45	0,67
P	2	150 x 400	386	27R	0,4	285	0,45	0,67
P	3	150 x 400	384	27R	1,08	600	0,45	0,67

one
 d d d v e a s a e d i a o t a n A e a s a a m a u a r o n g t u m a e t a d i a o i r i l
 d d d w d v e a s a e d i a o t a n A e a s a a m a u a r e t a r a n e n t o m o c o m p h e n t o r i s
 d d d D ' d t a n t a o e n t e s e d i r e ç ã o a a m a b a s a r o n g t u m a e c o m p e ã o h a r o a m a s s i s
 d d d d d p a ç a n e s t o a a m a u a r e c a r e n e n t o i s l h
 d d T d d p d a x a a a m a u a r o n g t u m a e t a d i a o i r i l
 d d T d d p w a x a y e a m a u a r t a n e r r s s l



D n n ã e m m i e t s r i l s .

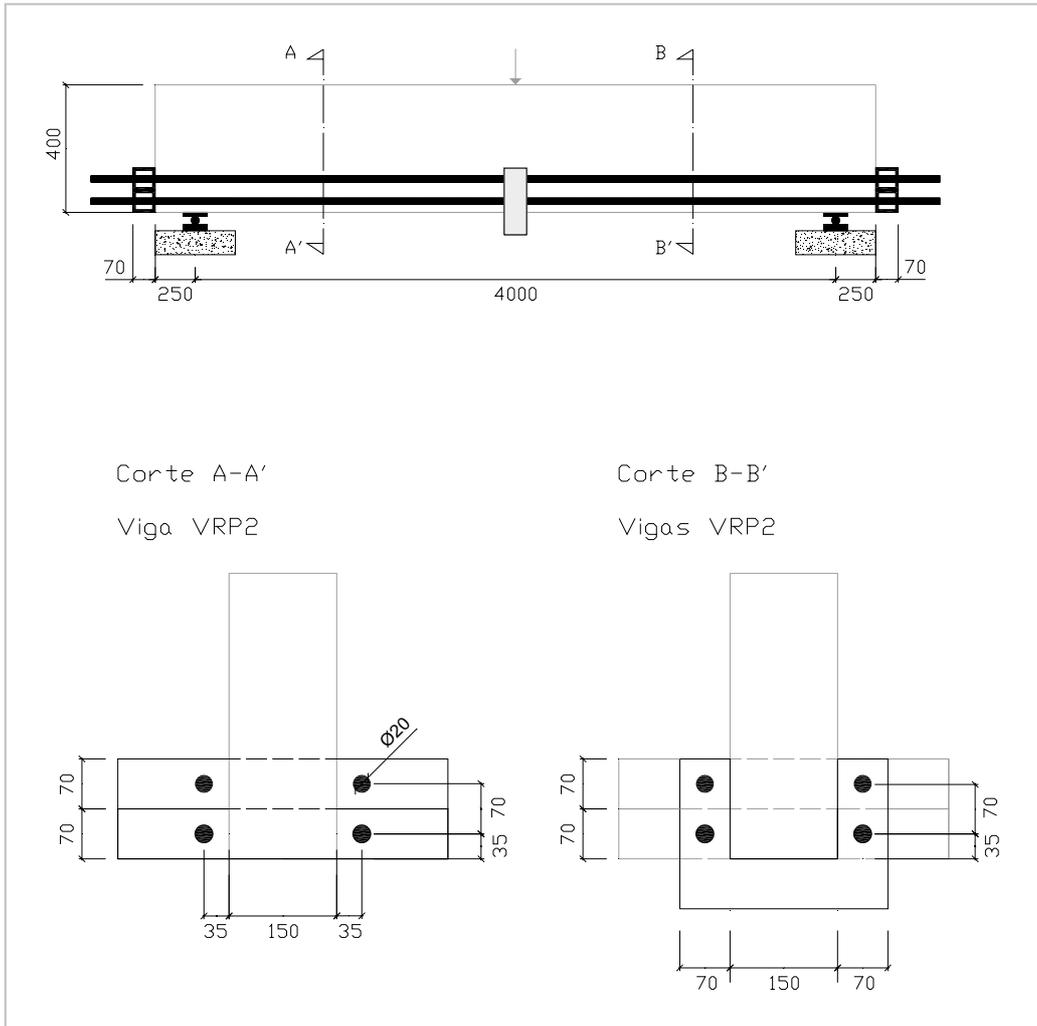
F d d g d a 3 8 - d r e t a ã m e n t o a a m a l h u a r n e m a r g a i s i s .

F Ç 332

RE OR O

d d C on d a f m a e e a u m e n t a r a c a p a c i d a d e e n t r a f e r e n c i a s g a l l s i s
 P E d 2 e 3 f o a m d e f o r ç a a d i r e a n t e a r p o t e n d i r e a a e s a r ç o e x t e r n o r
 d d p o z c o m a b a o n d i a c o n s a d a d n e m a s a , s e 20 m m e s a n e t o , t n a m i i h
 d d c o n f g u a ç ã o d e a f i x a ç ã o e p o s i ç ã o n e o c o s i ç ã o e a n c o i a g e m n o e x t e m o p o r s r s
 d d d n e o e c a n t o r e a d o d a d a e i e ç ã o t a n s a r s q u a r a a s e 70 m m x 70 m m . s
 v P d p g a d 1 e b i 3 f o a m e f o r ç a d e c o n t r o l a d a d a r a e x t e r n a , s u m a s e c a a a s o a l
 v b d p g a d e a d g a d 2 c o m 4 i a a , u a r r e c a a a s R s l .





Determine as propriedades...

Use a tabela 3.10 do manual de dimensionamento e projeto de estruturas de concreto armado.

Tabuleiro de 3,5 m de comprimento e 1,5 m de largura.

Viga	Dimensões (mm)				Barras longitudinais		A_s (mm ²)	A_{sf} (mm ²)
	b	h	d	d'	(1)	(2)	(1)	(2)
VRP1	150	400	Ø86	27	1 12,5 2 10	2 20	285	628
VRP2	150	400	Ø86	27	1 12,5 2 10	4 20	285	1256
VRP3	150	400	Ø84	27	3 16	2 20	600	628

(1) aço normal
(2) fibra de carbono

3.4 EXECUÇÃO DAS VIGAS

C N C T 34 IM . . O A R E E

b v d ga d e t a a o f o A r s d o n c r e h a e m u a e t a p a , s e n o s a g a s p o s r i s
d e t a p a u d z f i m á . u t s r a d s A e a m s c o d r i d u s e c o m p e n a o s p a t f c a o s e 2 0 l s i i
d n f m l e e p e u a a a r m p e s s a . u a a é t u a j e a r s f o a m t a a d s r a a t e a c o r r s l i s
d a d a f o e r p n o s f x a o l s a o c i h p e n i a o s c o m p e g o e r g a o e n t e s c d i r p a a f u o s i i s s .

d N d a m b t u a o c o n z e t o s f o u d a a u d a d e i t o r i a e 3 2 0 t o é c a r p a c a l i e s i
C d v d b a a d g a f o m o a a e m u a e d o r a a , c o m a n ç a n e i s t o m a n t a o c o n c e t o e l r
b d d a v e d h a n e n t o d o t h s a o e r n e r ã o e 2 5 m m e s â n e t o r i .

d v d c u a a z g a d f o d e a A a r i m s a n t e l h a n t á u n e i e c a , p o s u m p e r o e s e r
d e e d a v d o s p o - i e s r p o s a f o a s n e f i O m a o r 2 4 e a a p ó s c o n d e t a s o e s
d m a n t o e m d a m a a i ú n s a r p o o n e l m o i p e v o o e m s q u e a g a e e e a m c i u a s r
D ú m a e c o d o v e i r d e m p o , i a s g a d f o a m e s f o i n a a e o v s c o p o - e r p o s a r s
d e t a o b r a r a n d a a ú m a b f c a n d e n t a o i a c o n ç õ e a m e n t a i o a s o a t o a i e r l i
d o a e m q u e f o a m e i n a r a o s i s .



F d b g u d a 3 d l 1 - r e z t o i e a u t d a r a e i a d B o i l e r n e r ã o p a a r o a é r a s n e n t o o s
c o n c e t o r .

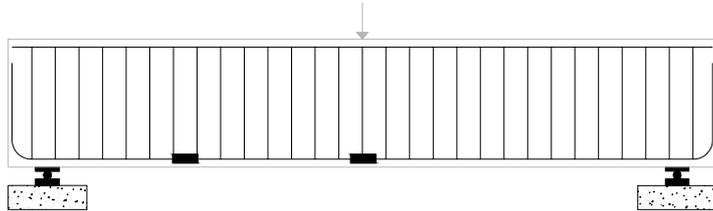
N T U M S N T 2 Ç I . . R A Æ O

d d a compa n e n t o o e e m p e n o t u t u s a a h r g a s a o n g o s o è n s a o l f o s s i s i
 d d f i l t o p o d n e ç ã e i d e f o d m a i ç ã o s r a a m a u a d o n g t u m a e t l a ç ã d i o i g h a e r o i i l
 d e f o d ç o , r a r e f o m a ç ã e r o s c o n c e t o e a r t e c a n u m a e ç ã o l p ó x m a a o s n e o o ã o i .

X T N 3 4 2 5 T S C . S D T N S I S I E Ô E R I O (E É J R O E R E A Ê E E R

d d d m e ç ã e a d s e f o d m a i ç ã o s r a a m a u a r o n g t u m a v e t l a ç ã i (n i l g a s i s
 F V F V P d , P 2 P 1 , V 2 e V v B E V o R E f o ç o (R g a r P 1 , R 2 e s 3) f o a m r R R
 É t a p o m b o a d e i x t o d o m e d i o e é t r o s , c o m a e l e m e n t o e s 5 m m i .

b d v m t o a a l g a , d a a s a s e d a p e n t a a a r m a u a r o n g t u m a f o h i i l i
 d n t u n e d t a r a , c o i n s o a l t e n ô n e t o c o a r o s e m p o s ç ã e l a s n e t a m e i n e r o p i t a m l s s
 d e ç ã o o n e o s ã o , d o u t o i o m a e ç ã o a s i n q u a t s o ã o a g a e f o ç a a r ç i s s
 d o e x t e n ô n e t o f o a m p o d e o n d o b n o n e s i i o c o m p n e n t o r e c a a a i a e x t e m a r .

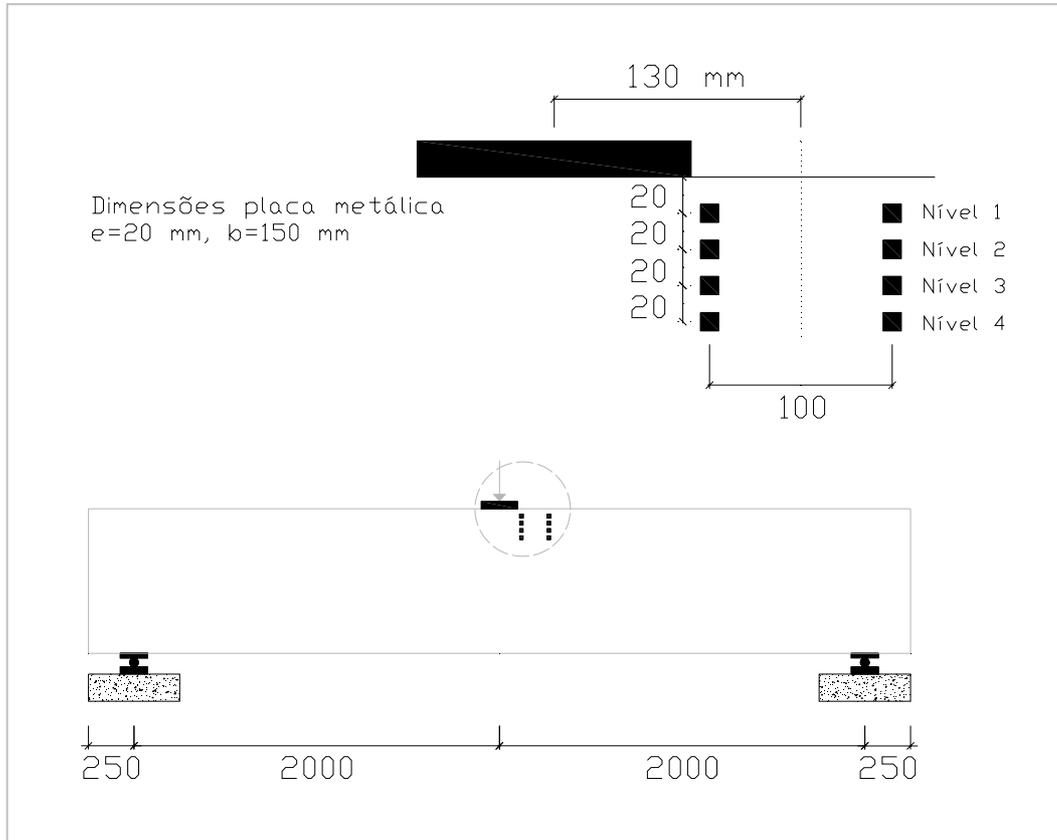


F d P g u a 3 1 2 - r o d i o m e n t o d e s i x t e n ô n e t b e s é t r o s n a r a i s a l u a i r s e m a a r s i s s
 v g a i s .

X T N 3 4 2 5 M C N C . E I E Ô E R O E O

d P d a a n e r e f o m a ç ã e r o c o n c e t o , f o s u t a o e x t e n ô n e i t i o n e c â n o s c o m i
 d a e d e m e ç ã o e s 1 0 0 m m e i p e c ã o e 0 0 0 m m i s e f o m a ç ã e . r f o s a m n e A r a s i s
 í d v e d m q u a t o n e r e p a ç a o e n t e i s d e 2 0 m m , n u n s a e ç ã o a 1 3 0 m m s o n e o e ã o , i
 v b v d a n o e t a a e g a o r a i p a c a e i l c a s e g a n e l n o , o n e e x t e u m e t a o m ú s t p o e s l i l

d e n ã o d e f u g a 3 1 3 b o t a i a d A o ç ã o s a p a l a i s i c o e s c o l a a s m a u p e f e c t o r s i
 b d d c o n c e t u a n a c o m o a e s e n s a ç ã o s i .



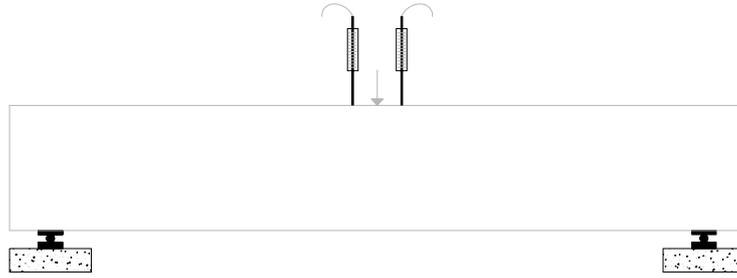
D e n ã o e m m e t e s r i l s .

d P g u a 3 1 3 - r o d i o m e n t a l s i á p a e d o e s p a h a n s a ç ã o a e f o m a ç ã o i o
 c o n c e t o r .

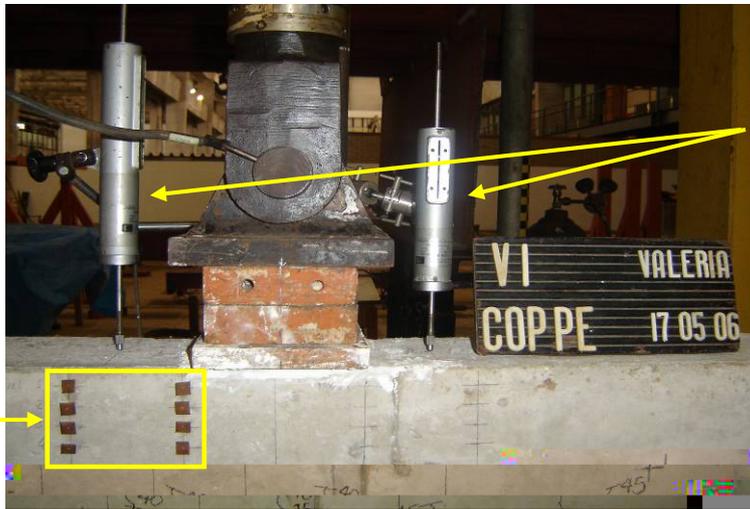
T N U 3 1 4 2 3 D S D . O M N T A R L O R E E A E O E O

d d D o t a n d i t o e i s e r o s a n e n t e c o m s l u o e 1 0 0 m m f o s a m u t r a o m a i l i s s
 m e d ç ã o e o v e o d i n e n t o d e t s a b r a g a e m a s a s e i n s q u e i a m s o s e t a a m s s
 g a o d a d e m a l i e a q u s a o a u t o m á t c a i s i a o i s .

d o t a n u t e s f o i a m p r i c o o d o m a e s p e i a 1 5 0 m m s o m e o o ã o i
 (g u a 3 1 4) r i . .



F d dP gua 314-rodção o .tan utie pa s de s ção as fe ca mã gaseln has a s i s s i s .



M
M

ae e
e ção
pa a r
xê n ô m e t o
e c â n o

an utie r s s
e e o c a n e n t o s l s

Fd dT gua 315-rodção o .tan utie pa s de s ção as fe ca mã gaseln has a s i s s i s .

C NF CÇ 3 4 3

FD Ç . .

Õ Æ O O R E O R O

d d v e f o ç o d a t e g a r e f o ç a r s o r t e z u o f o s e a s a s r p o m e i o h i a ç ã o i i
 b d e a d a d e x e r r a , u m a d a a e m e r a a o v a v g a n o d a o a P i g a s l e s i 3 s
 d d d V u a a a e m m a a P a o a d g a 1 2 d p o d e n ã o f o . a p c a a s o R e i m o l i a o s i s
 v e n a o d v c o m a l g a i p e a n e r e i f s u a a i , n e a n t e s u m t o q u n t o , a é a r a n ç a a r l
 V e f o m a ç ã o e Q P 7 0 d m a g a d 1 , 0 2 7 i (m a c a m a a n ê o % R e f o r ç o) e 1 7 6
 d (m a c a m a a u p e o V e f o r ç o) m a r 2 e Q P m a 3 9 9 a r e p u r e e - e e m r s R s
 d d d t o a e f o m a ç ã o r e s o v e m b e r 1 , 0 0 , a o u f c e n e n e n e s a x o i p a a m ã o t r - i e r s

d e coamento na edição e a no a g n i (e ç ã o n e n o e s o r à o c a) , m a i n e m e s m p e s r s
d c o n e g u e e a t n g e s a i e f o m a ç ã o i s s .



b a)

)

F d gua Dd7-;ra) lei a b. ne á co soine o o ãio) t io ext no pé-i s r s E
 d tacoma o i s.

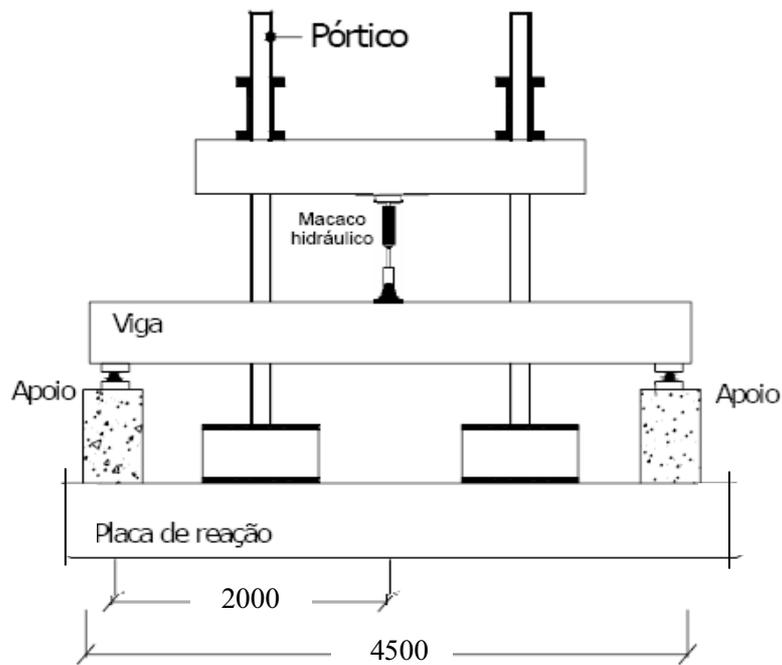
3.5 ENSAIO

M NT G M51 . . A O E

C íPP d de na oz fd am b a r s i o s d r a p a C a l i c l a ç ã o o l a o a t O l o e r t u t u a i a r s s
 v d b , a g a f o . a m p o s i c i o e a E o u n i p ó t c o s m e t á c o f x a i o à a ç l i o e i r l s
 d d o a p a e o e r a p i d o , e r l h o s u m e l i g e r e o e d ' o u t o e 2 g e r e o ° r .

MT U d S d d a e g a n e m t o f o d p c a o p o n a C o d i d m m a c a c o i á u c o c o m c a p a c d i e i
 N de 500 , f x d o n o p ó k t d o i g a o d a o i e m a l i e c o n t o s e s e c a g a e e r l o c a m e n t o s l
 m a c a p a n e t á c a e 1 5 0 m m x 1 5 0 m m x 2 0 m m f o v c o o c a a e n t e a i g a e o i
 m a c a d o f g u a 3 1 7 m m t a i b e q u e a m a o z n a s e a a s r s i s l i s .

U d v z m a e d p o c o m a a l g r i f o b m c o d r á a c a p a l e s o s e (h a e s r e s s
 d n e ç ã o) e u n o d o i f o o e x t e n s i o e s t a m s u b o r e a o r e m a e a q u s ã o i s i
 a u t o m á t c a e a o i s .



Demonstração em metálicos.

Figura 3.18 – Máquina de ensaio de vigas de aço.



Figura 3.18 – Máquina de ensaio de vigas de aço. (1) pórtico; (2) macaco hidráulico; (3) viga; (4) apoios.

X CUÇ 352 . . EÃ E O

V v V F V P ga P b s R l i, s A l 2 e 3 fo a R E u n e R a N a R o s e n R o s o i s s i s .
 d p v n e o e r n a c r o i e i o c l c i b h l e c a e g a n e i n t e , c o m a f m a e e p é - f i l i a r a r r i s s i s
 v g a , e n o - e a i m s u m a t s a d i s s i p a a l d e s f o r ç o m a r p ó x i m a r a c a a e r á n o l i .
 e g u n d e n a o , s o m o d f o ç o e x e r c u t a o (v o m e x e ç ã o s a v g a l) , a g a s i s
 ví f o a m e a r a à u m a l r s .

d N o e n a o e p é - f u s a ç ã o , e m u m i s p d e o c c o , a i g a i f o a i n c a s e g a a r r
 d c o m n e n e n t o V e f 5 i (P g a s P 1 , K 1 e N v 2) o u P 1 0 (R E g a R 3) k é R i
 d d a c a n ç a a p o x i m a m e n t e 8 0 i a c a g a e % b u p t u a t o c a o u r a e q u a i e n t e à i l
 d d e f o m a ç ã o r a a d m a u a r n e m a e 2 % o v s i m e g u a a . g a s ã o a i n c o m p l e t a m e n t e l
 d e c a d g a a r , n o s e g u n d i s c o , v c a s e g a a m é l o a o a t n g o n o p l n e ó c i c o r i i i l .
 a p a ç ã o d o e f o q u i f o f r t a c o m a g a i e c a e g a a i r s t a s t u a ç ã o ã o a c o n t e E
 e m d a o e a m a r f a c s t o u a i s e c u ç ã o i l o e f o ç o r r .

d N o e V i a o e h i p t a , a P s g a d l e s i l s e e a m n e r n e n t e R e c a i g a r s
 N N e 5 e 1 0 , V e l e c t a n e n t e , a d P a i p t u a , a r 2 n e n t e n o r e 2 0 a é s R k
 d a p o x i m a m e n t e 6 0 i á c a g a ú t m e a p a M d i n e n t e n o r e P 1 0 , e m a s 3 k
 d f o a m a p t a o d e n e n t e n o r e 2 0 a é a p o x i m a m e n t e 8 0 i a c a g a ú t m e a l i
 d e g u n d e n e n t e s r e i l 0 s k .

d ca a r d e n e n t e d a g a z f o a m e a r a a r m e ç o e l i o s e o c a n e n t o s s l
 v d e t c a e r e f o m a ç ã o i s m a c a a a r f s u a s s i s s .

3.6 RESULTADOS DOS ENSAIOS

d d d t a e a c o m o s e u t a r a d e s ç o e f s t a s u a n t e s e n i a s o a g a s i s s i s
 d ã o a p e n t a a r s o p e n e s g á f o l a i e g u s e p e i e n t a m e e e u t a o r s s s l s .

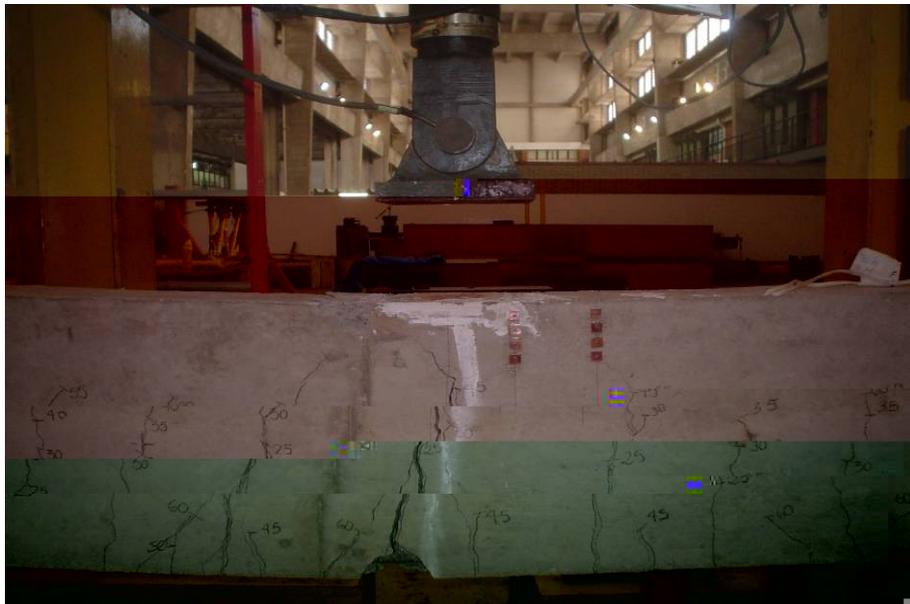
d d d f o m a ç ã e r s a d m a u a r s o n g t u n a v n o l n e ó i ó l ã o e m a e ç ã o s
 d c o e p o r b e n e v a u m ç u l t o o d ã o d o d m o t r a c a c u a n o a i n é a l a l e f o m a ç ã o i r

a a po ca ad x e n ô de to, e a fe s a p da d sa d r t a s e ca ga f o a m con r e a a r si s
 d d d com e n o d a n é a as ne a poi ca s a t a n i s t o r r s .

G F 3 6 1 I l . . A R E

v F ga l d o m p e i d e A x ã o p o d e c o a l e n t o a a s m a u a r o n g t u m a e l i i l
 d t a ç ã o , e r g u o e e d m a g a n e i n t o o s o n c e t o m a e ç ã o e m o m e n t o m á x m o c a g a i r .
 N t m a f o e 7 2 l é a p l o n e a k f d u s i e r s u s g a m d a r i s a g a i e 2 5 k .

d N d d o e d e n t r à e f o m a ç ã o d a a m a u a r e t a ç ã o , a n ú t m a n e ç ã o e g i t a a i r i s
 d t o p a l c a g a e t ó d , q u a n o d a e f o m a ç ã o m a a m a u a t a c o m a a m o n e o ó ã o i
 % J e d 7 6 r á l m a e ç ã o v a u m q u a t o o ã o , a e l f o m a ç ã o p a a a c a g a ú t m a f o e l i i
 % l , d f g u a 3 2 9 a p e e i n t a a r e u a c a g a e f o m a ç ã o p a a a e ç ã e n o n e o s a u m s i
 v q u a t o o ã o .



F d g u a 3 2 0 - r p a l c a a r g a l a i ó a i u p t a r s R E

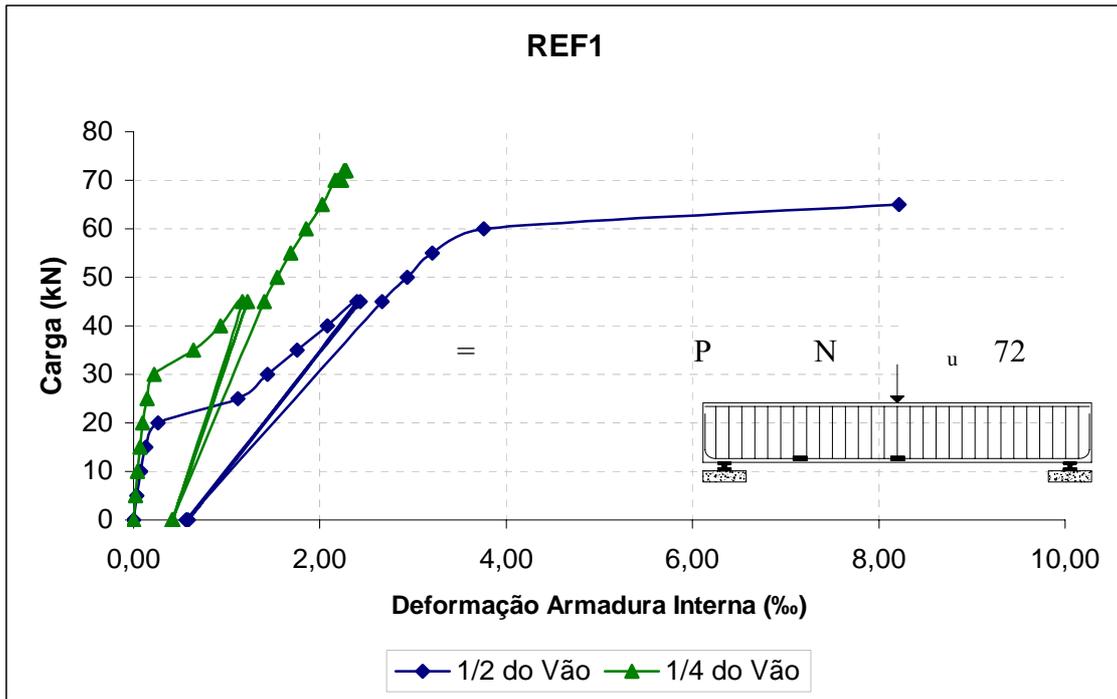


Figura 21 - Diagrama carga-deformação na armadura longitudinal na região de carga central. A curva com triângulos verdes refere-se ao meio vão e a curva com losangos azuis refere-se ao quarto de vão.

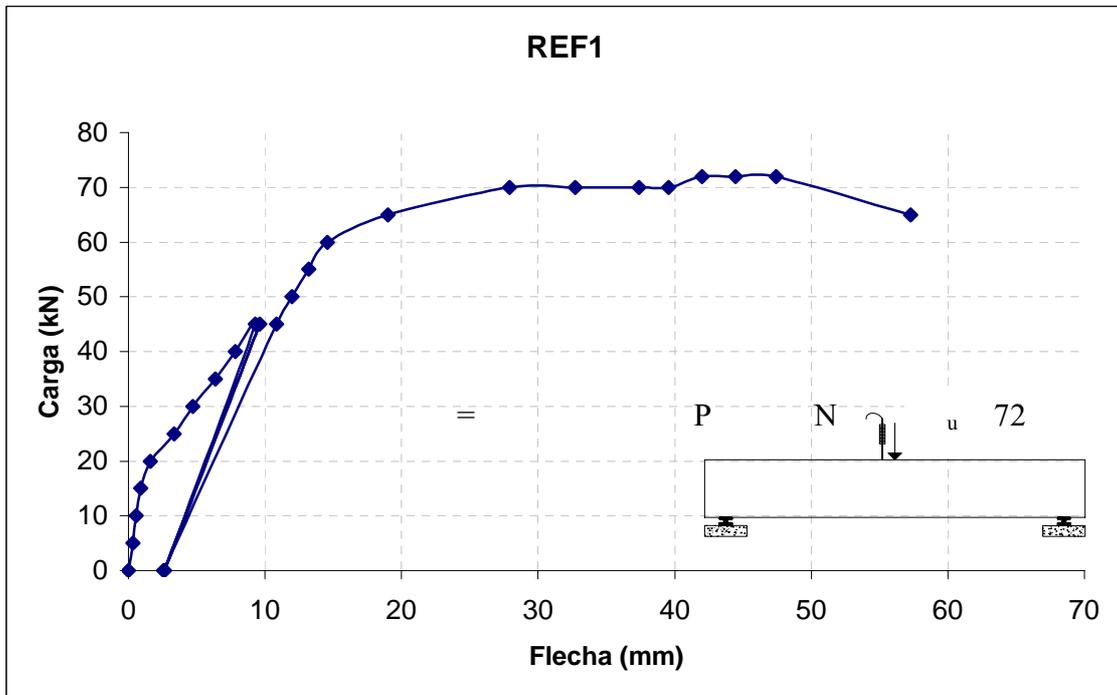
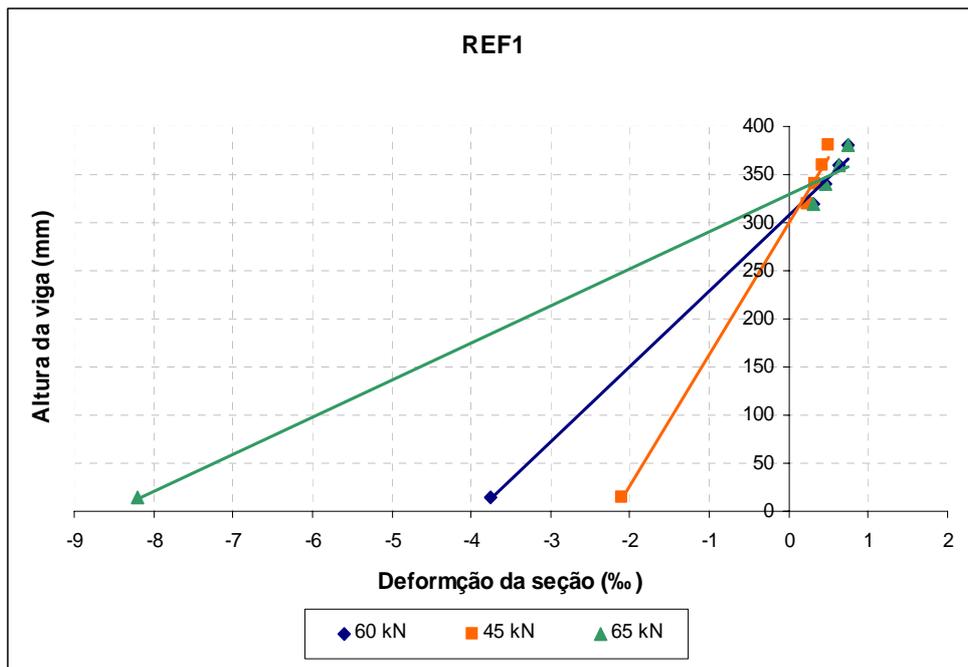


Figura 22 - Diagrama carga-deflexão na região de carga central.

d d e d e m a ç ã o n g t u m a o d e t o i a l e ç ã o a 130 m m s o m e o o ã o é i
 d m o t a a m a f i g u r a 3 2 3 p a r t e r e n e n r e s e n i c a e g e n e r a z a g a m a , é . F i
 d d e a a p o x i m a ç ã o s e c o m d e i a a d e f o r m a ç ã o r o a ç o g u a à o m e o o ã o i .

d d a o e a a t u s a l d e r a r e l u t a e x p l i m e n t a r o t o ã o a p d e n t a o s m a s s
 t a e a 3 6 l . . .



F d d g u l a 3 2 3 - r e g i a m a a r e f o r m a ç ã o n g t u m a a e l ç ã o a 130 m m s o m e o o ã o i
 d v F a g a l i . R E

T d a e a 3 6 - d t u a l n r a r e l u t a e x p l i m e n t a r a g a i l l i .

Carga (kN)	Altura da linha neutra REF1 (mm)
45	3
60	1
65	72

9
9

G P 3 6 2 I I . . A R

d W De f o ç a r i l a o n h e u r a d e x ã o p o e c o l u m e n t o a a s m a u a r r
 o n g l t u m a e t h a ç ã o e i d n h a g a n e n t o o s o n c e t o m a e ç ã o e m o n e n t o m á x m o i .
 d c a g a e d i p t u a f i e f 4 4 , 1 0 0 i a v m a k a q u e a % g a s e e f ê n c a i r l i .

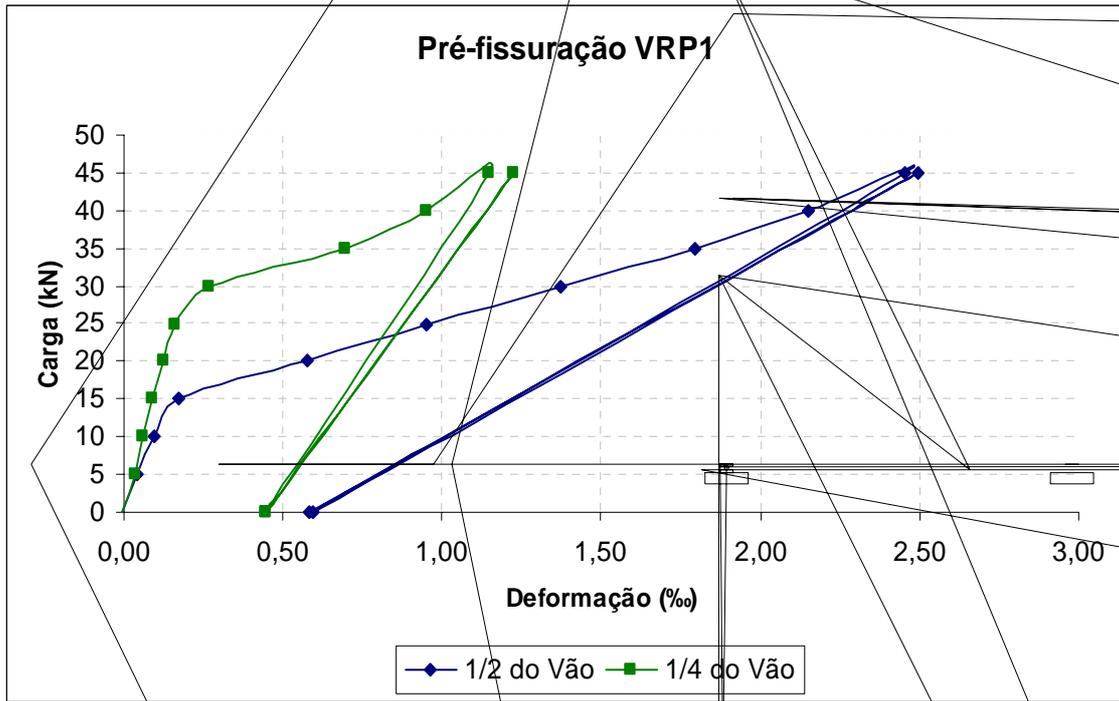
P F V U 6 X S S - G D . I P I R É A ã R A O A R

d V pé- f d u r a ç ã o a r g a s t z l f o e a i a a r e m a c i c l i o R c a e i g a n e l m o ,
 d a u n e n t a n o z a d a g a n e e o d a 4 5 r (a p o x m a v i e n t e 8 5 i o a o a c a g a e l r
 d d b u p t u a t r ó d a) d r e f o m a ç ã o r a a d a o a g t u m a e t h a ç ã o i m o i n d o o ã o , r e e i s s
 v d ; n e e c a e g a n e m t o f o e 2 1 4 5 e m u a n t o m a e ç ã o c o e p o n e m e a u m q s a t o o r
 v % ã o f o e 1 , 1 5 (e f i g u a 3 2 5) r i . .

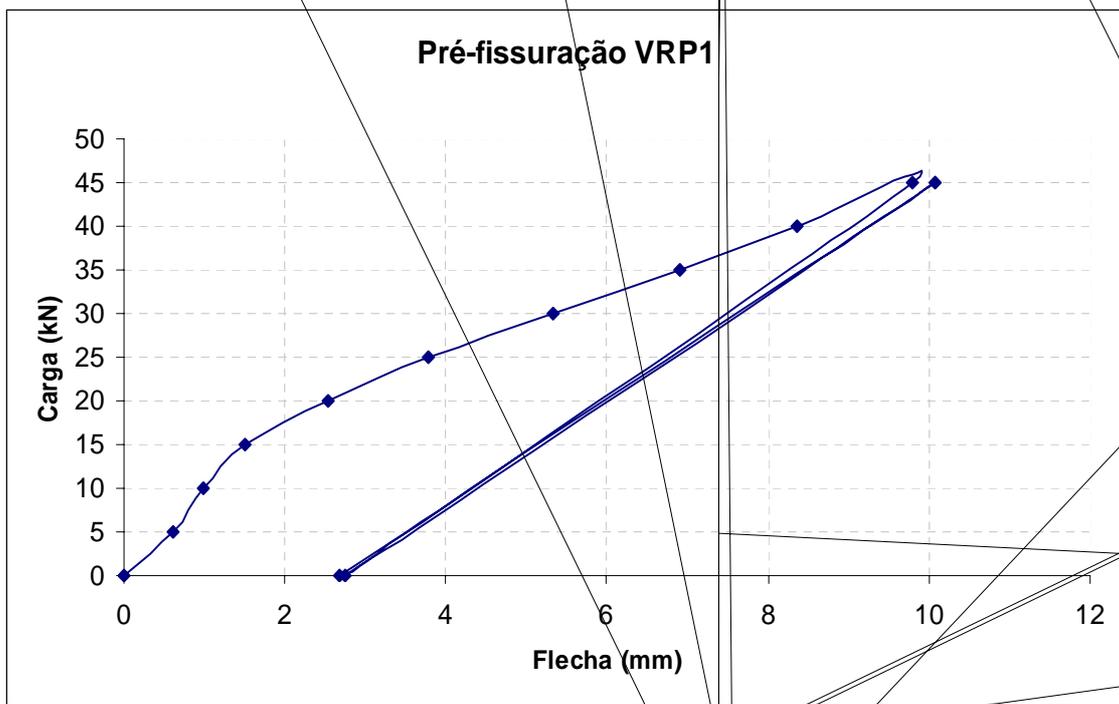


F d V g u a 3 3 4 - r p a l e n c a a r g a l a p o o i n a o e p é - s f u a ç ã o R r i s s .

d f e c a c o e p o s i b i l m e A à p é - s f u a ç ã o s ã o m o i s s a a c m a s f g u a 3 2 6 r o m i . .
 d N d a g a e 4 5 n o r e g u n o d e c o e s c a e g a n e m t o , a g a p e n t o u r u m a f e c a e l h
 U d v l 0 0 8 m m m a e q u e a f o e c a d e g a l i m i m s e e n u m a f e c a e u a r e l 2 0 8 s i l
 m m .



F d 25 r d a g i a m a c a r g a e d e f o r m a ç ã o d a m a u a r o n g t u v m e t a ç ã o i a r i g l i
 Pd l e m e ç ã o t u a n s n e v e s i n o q u a t o o i ã o (p r e f i s s u r a ç ã o) r i s s .



F d g u l a 3 2 6 - r a g i a m a c a r g a F l e c h a a g a l l (p r e f i s s u r a ç ã o) r i s s R .

V U P T U 3 6 2 2 G D P . . . I 1 R A A R A R

d V e n a o e d i p t u a r s i g a d e u n i c c o e c a e g a m e i n t o R e f o m a ç ã o r A

d a a m a d i a r o n g t u m a e t u ç ã o b i n o m e l o o ã o p a a u n i c a g a e 1 f 0 (ú t m a k l i

d e f o m a ç ã o e g % a a) f i r e 8 k 3 , e m a i d e ç ã o c o e p o n e m e v a u m ç u a t o o ã o

p a a a c a g a N e u p t u a (1 4 4 d) , 1 , 2 d i f e c a m o m e n t o l a A u m a f i r e 6 , 5 7 i 9

m m .



F d V g u a 3 2 7 - r p a n c a a r g a l a p a i u p t u a r s R

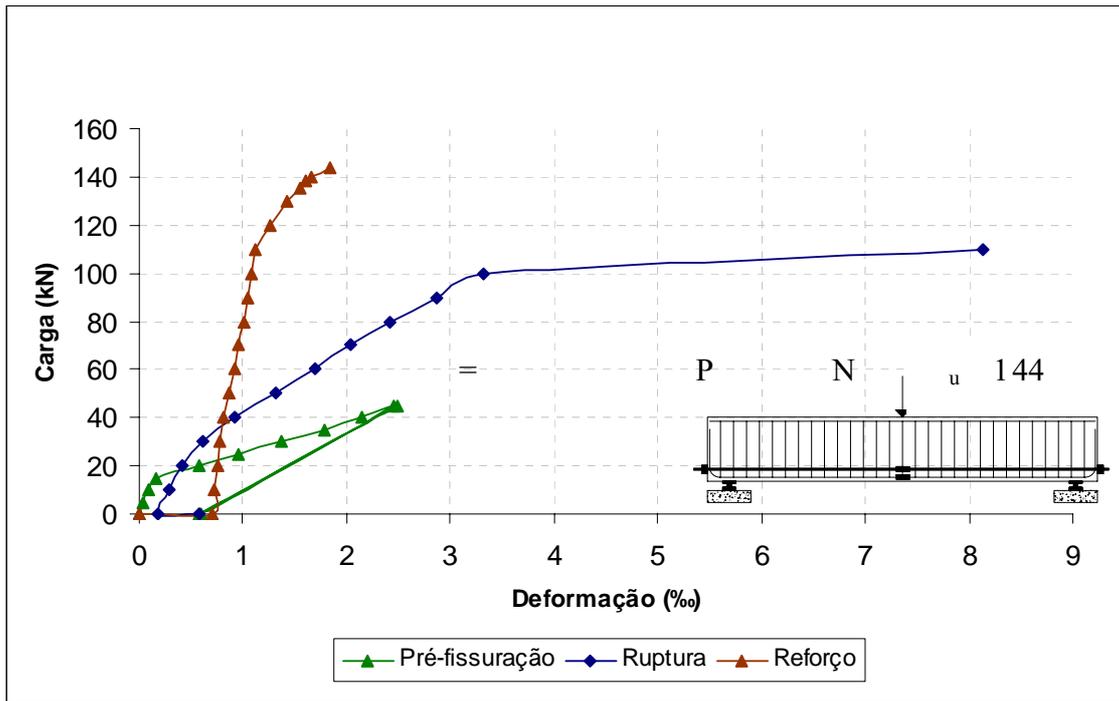


Figura 28 - Diagrama carga-deformação para a viga com armadura e tensão intrínseca

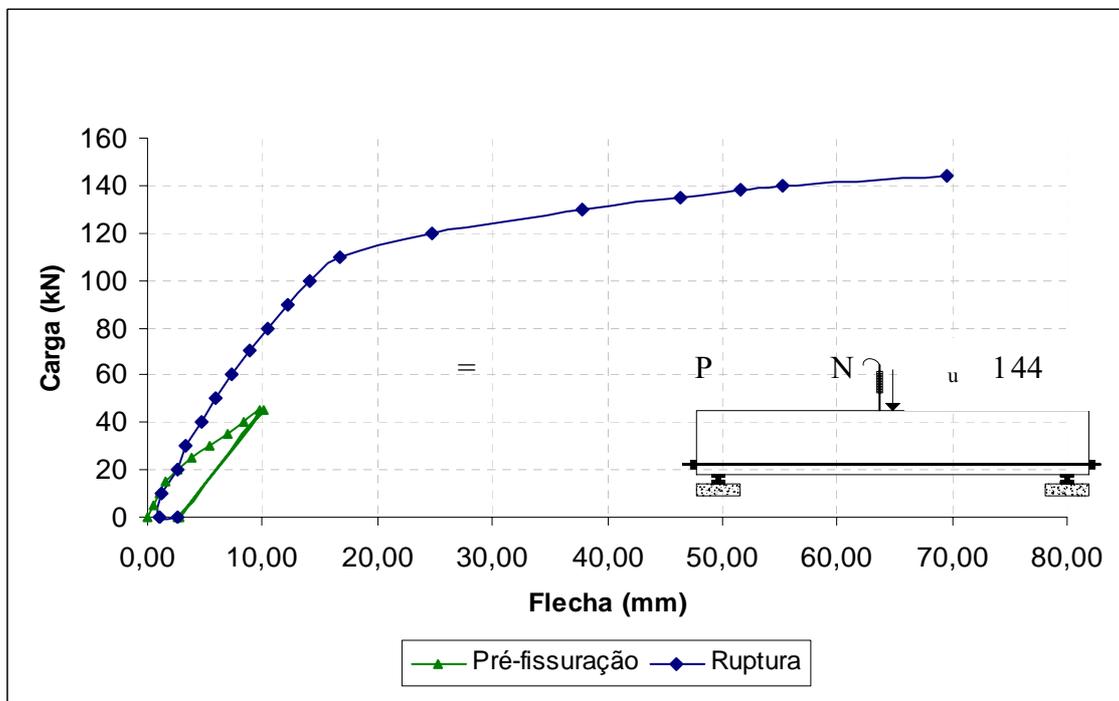


Figura 3 - Diagrama carga-deflexão para a viga com armadura e tensão intrínseca

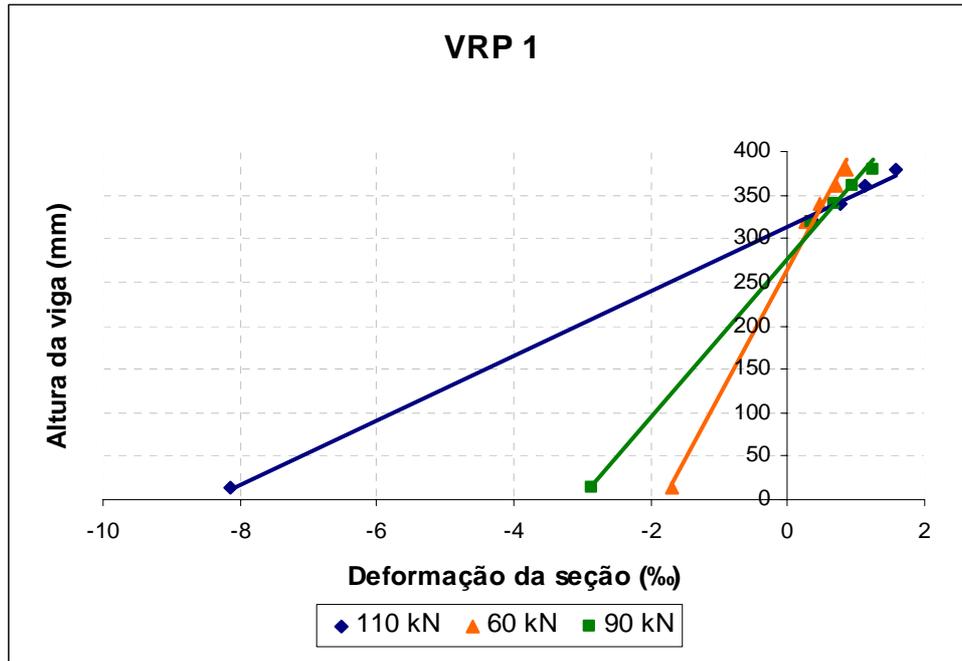


Figura 33 – Diagrama de reforço longitudinal da seção à 130 mm sobre o eixo VRP da viga 1.

Na tabela 37 são mostradas as variações da altura da linha neutra para os diferentes níveis de carga.

Tabela 37 – Altura da linha neutra para as diferentes cargas.

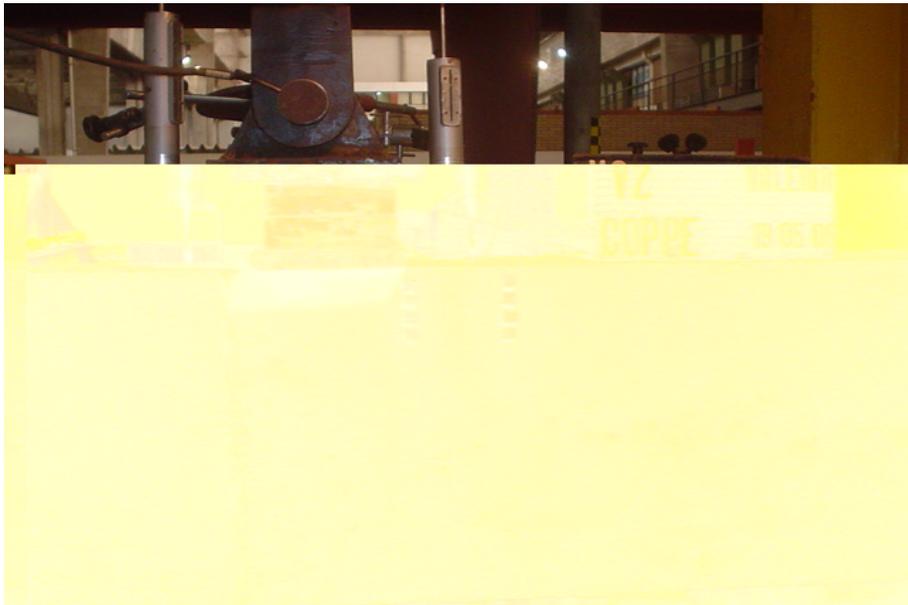
Carga (kN)	Altura da linha neutra VRP1 (mm)
60	134
0	129
110	86

G P 3 6 3 I 2 . A R

Para a viga 2, o momento de ruptura não pode ser determinado devido ao colapso por flambagem lateral-torsional antes do desenvolvimento do momento máximo. Na carga de 60 kN, o momento de ruptura foi determinado para a carga de 22 kN.

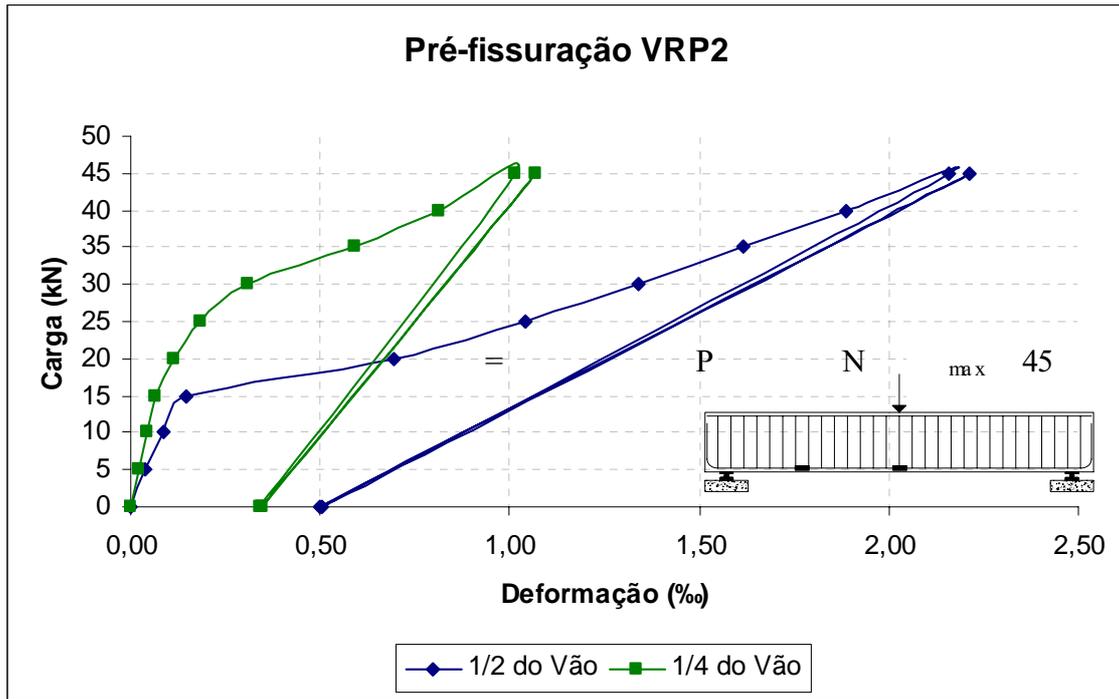
P F V U 6 V S S - G D . I P IRÉ A A R A O A R

d V pré-furação ar gais 2 fô eai a are m ã clê o R ca eiga nê lnto,
d aune ntan oza da gN e r o dâ 45 r (apox m v r h e n t e 85 i o a o a cã o g a e l r
d d b u p t u a t r ó d a) d r e f o m a ç ã o r a a d a o A g r u r a e t h ç ã o i m o i n d o o ã o , r e e i s s
v d ; n e e c a e g a m e n t o f o e 2 1 1 6 e m q u a n t o m e ç ã o c o e p o n e m e a u m q s a t o o r
v % ã o f o e 1,01 (e f i g u a 3 3 2) r i . .



F d V g u a 3 3 1 - r p a l e n c a a r g a 2 a p o e i n a o e p é - f u r a ç ã o R r i s s .

d f e c a c o e p s o l e m e A à p é - f u r a ç ã o s ã o m o i s t a a C m s f g u a 3 3 3 r o m i . .
d N d c a g a e 4 5 n o e g u n o c l e o e v s a e g a n t i m o , a g a p e e n t o u r u m a f e c a s e , 5 8 l h 9
U d v z h m m a e q u e a f o e c a d e g a d a , p e i m s e e n u m a f e c a e u a r e 2 3 h m m i l .



k

k

Figura 32 - Diagrama carga-deformação da malha de reforço com a aplicação de carga variável e momento constante. O ponto de início da fissuração (pré-fissuração) é indicado.

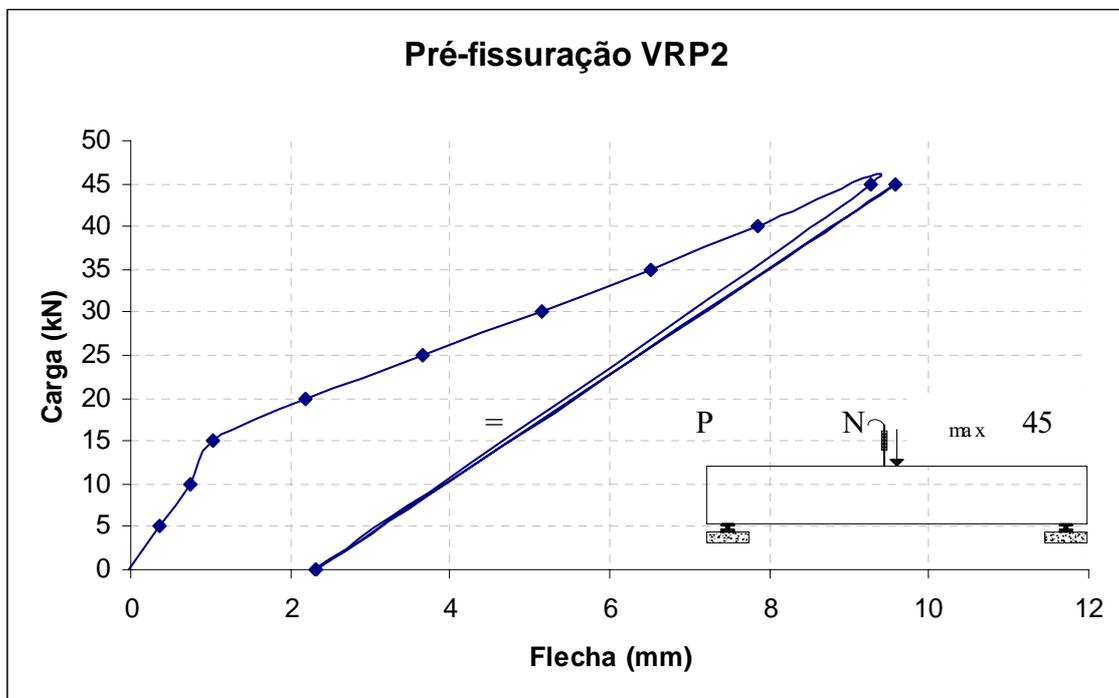


Figura 33 - Diagrama carga-deflexão da malha de reforço com a aplicação de carga variável e momento constante. O ponto de início da fissuração (pré-fissuração) é indicado.

V U P T U 3 6 3 2 G D P . . . I 2 R A A R A R

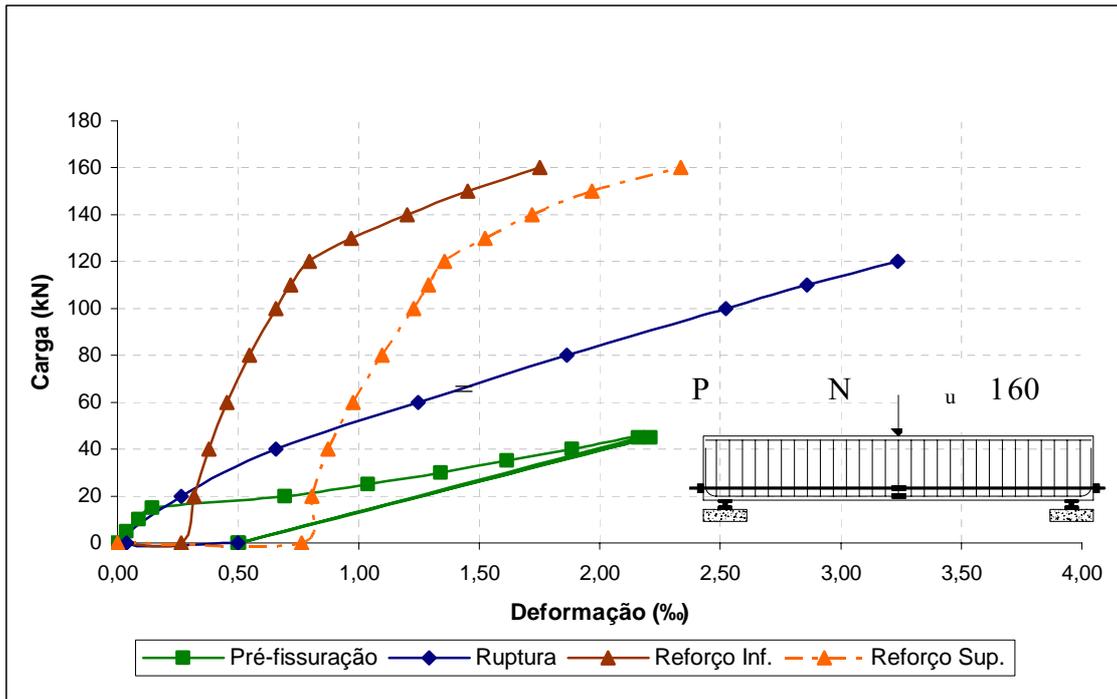
d V eno e Uptua is idz 20a oi re e m um d i o e ca Re ga me i n t o .
d e d o m a ç ã o r a a m a d u a r o n g t u r a e d i a ç ã o i n o r i n e l o o ã o p a a d a g a e 1 3 0 k
d ú t m a e f o m a ç ã o l e g % a a d f o r e 3 2 3 e m d i e ç ã o c o e p o n e m e a u m q s u a t o o r
v % ã o 0 7 7 .

d d f e c a i e g t a d a n b h t a n s a u m a (i l 6 0) f o e 3 8 , 4 6 k m i .

d t a e u 3 8 m o t a o l a o e s a r t u s d r a r e l i t a e x p e r i m e n t a m o t o i l i s
v P p a a g a r 2 i . R

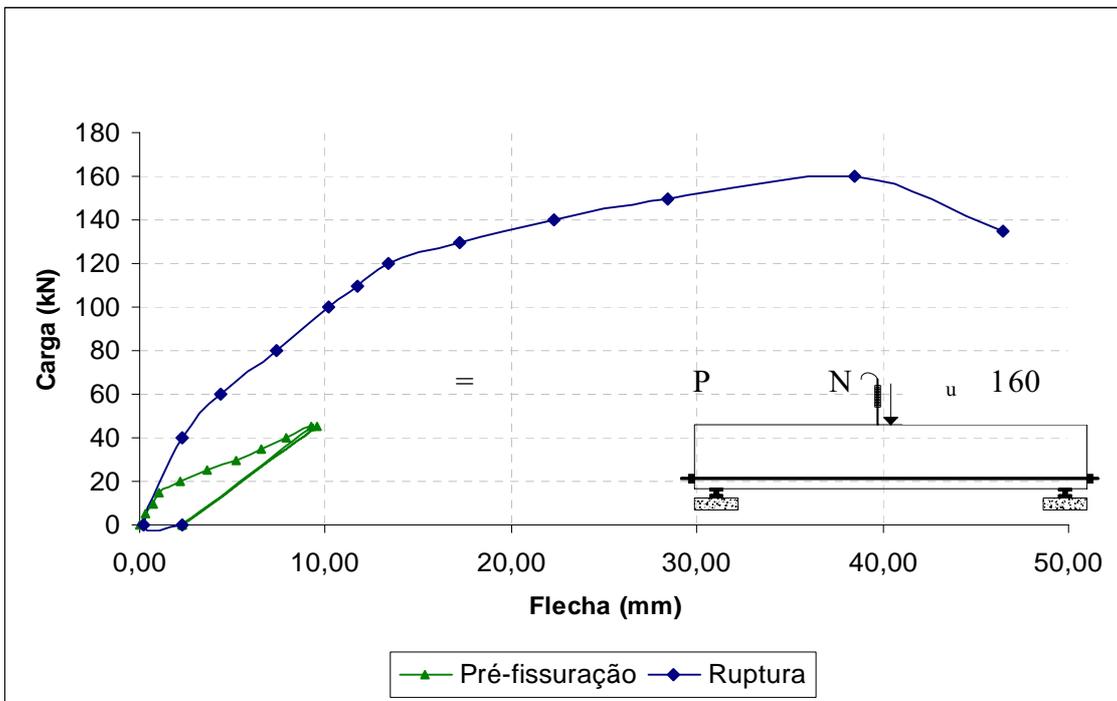


F d V g u a 3 3 4 - r p a l e n c a a r g a 2 a d o a i u p t u a r s R



k

F d d 35 - r d a g i a m a c a r g a e d e f o r m a ç ã o d a m a u a r o n t u m a e t a ç ã o e n t r e l d V e f o ç o n ã o d e u p e m a i r g a r s 2 i m a v e ç ã o n e o s ã o R i .



k

F d d 36 - r a g i a m a c a r g a F l e c h a a g a 1 2 h i . R

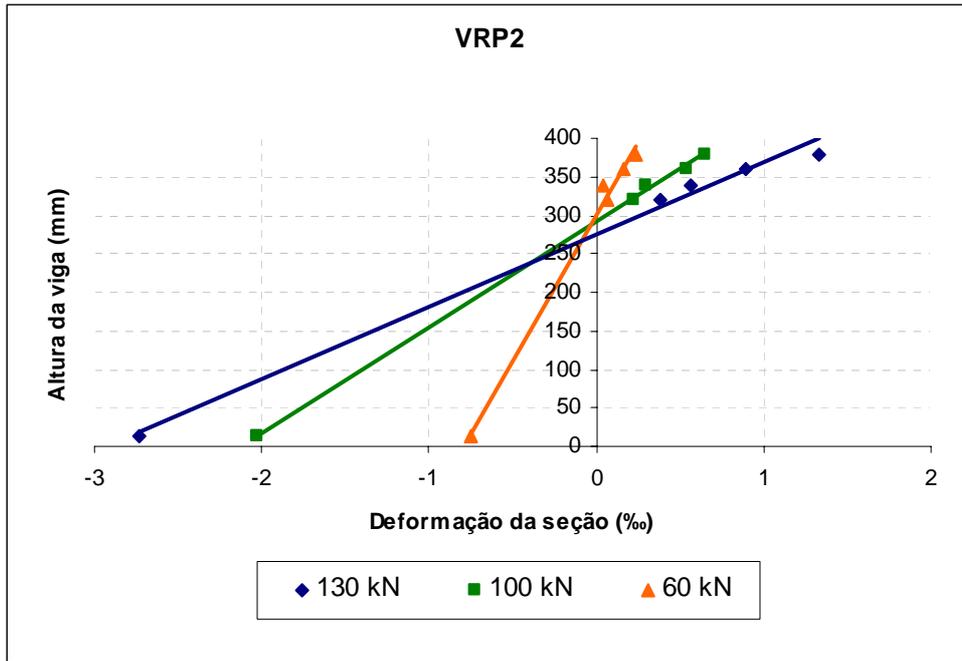


Figura 3.37 – Resultado da experiência de vigas reforçadas com fibra de carbono submetidas a uma carga de 130 kN. O eixo vertical representa a altura da linha neutra (VRP2) em mm, e o eixo horizontal representa a deformação da seção em ‰.

Tabela 3.38 – Resultados experimentais da experiência de vigas reforçadas com fibra de carbono submetidas a uma carga de 130 kN.

Carga (kN)	Altura da linha neutra VRP2 (mm)
60	
100	108
130	125

99

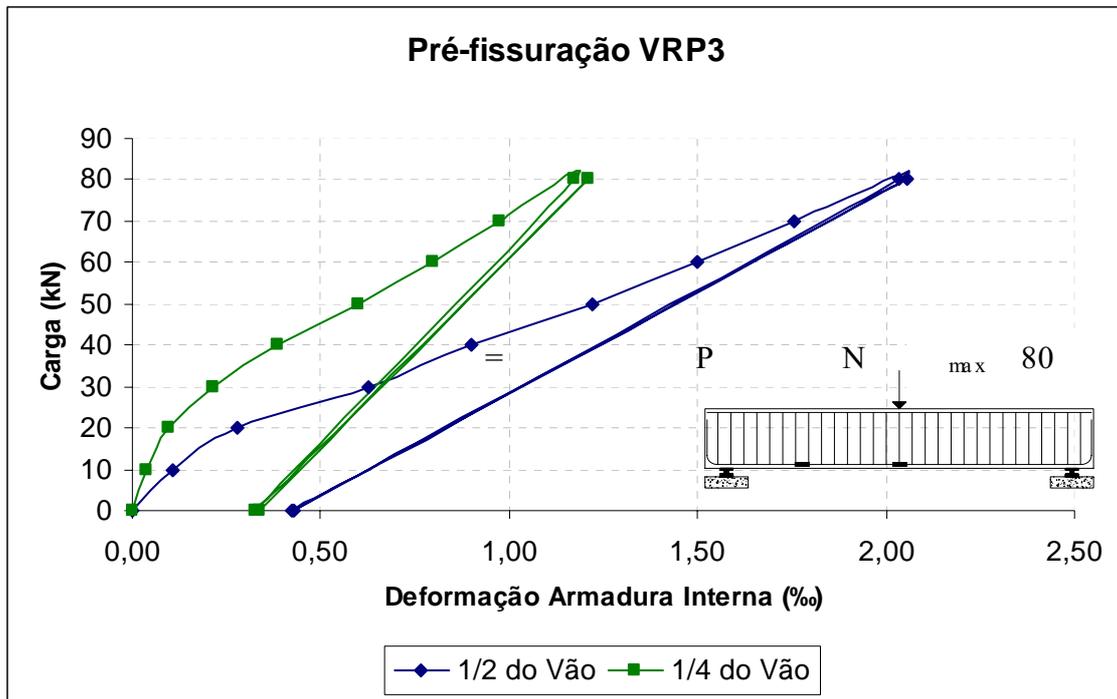
G P 3 6 4 I 3 . A R

Na Figura 3.38, pode-se observar que a altura da linha neutra (VRP2) aumenta com a carga aplicada. Isso ocorre porque, à medida que a carga aumenta, a deformação da seção também aumenta, deslocando a linha neutra para cima. O valor de 125 mm para a carga de 130 kN indica que a linha neutra se deslocou 125 mm em relação à sua posição inicial (0 mm) sob essa carga.

P F V U 6 4 S S - G D . I P

IRÉ A A R A O A R

d V pré-fidulação ar gais z 3 fo eai a are m o cl o R ca e i g a n e l m o ,
 d a u n e n t a n o z a d a g n e e r o d a 8 0 r (a p o x m a r i e n t e 8 5 i o a o a c a g a e l r
 d d b u p t u a t r o d a) d r e f o m a ç ã o r a a d a o a g r u m a e t h a ç ã o i n o m i n o o ã o , r e e i
 v d ; n e e c a e g a m e n t o f o e 2 1 0 3 e m u n t a n o m a l e ç ã o c o e p o n e m e a u m q s a t o o r
 % ã o f o e 1 , 2 1 (e f i g u r a 3 3 8) r i . . .



F d g u l a 3 3 8 - r d a g i a m a c a d a e d o r m a ç ã o r a a m a u a r o n g t i m a a l g a i 3 e l m i
 d e ç ã o t u a a n s n e v e s i n o q u a t o o i ã o (p é - f u a ç ã o) r i s s .

d f e c a c o e p o l e m e . À p é - f u a ç ã o s ã o m o i s t a a C m a r f g u a s 3 3 r o m i . 9.
 d N d a g a e 8 0 , n o e g u n o k c o e s c a e g a n e i d o , a g a a p e n t o u r u m a f e c a e 1 h
 U d v l , 4 8 m m m a e q u e a f o e c a e g a l , p e m s e e n u m a f e c a e u a r e l 2 1 2 s i l
 m m .

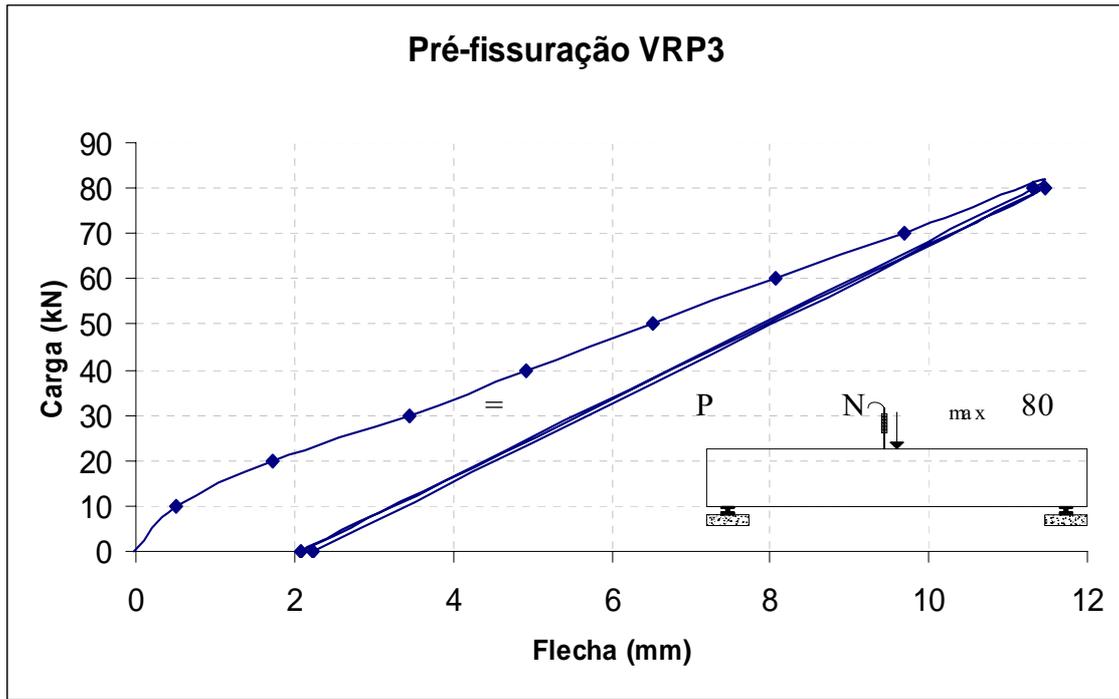
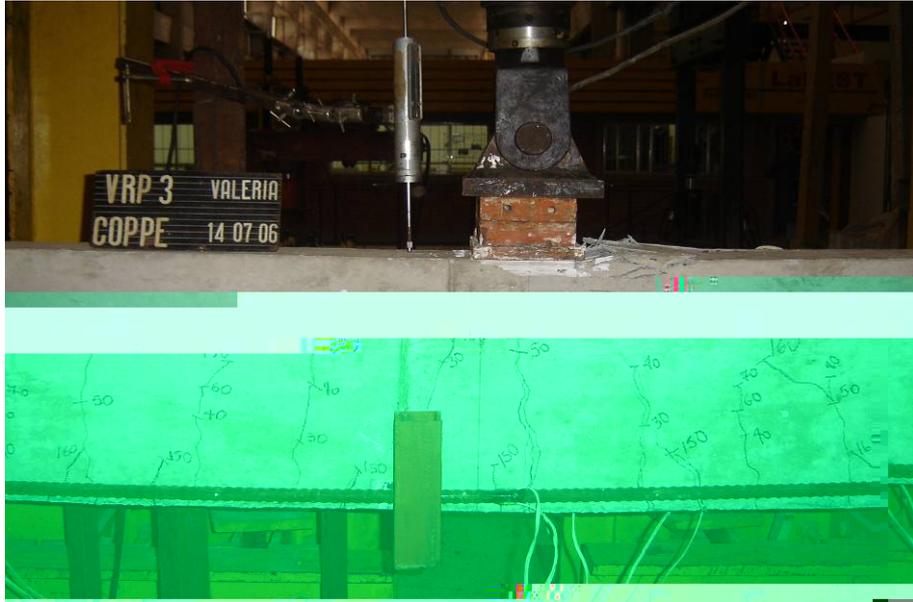


Figura 3.5 - Diagrama carga-flecha (pré-fissuração) - VRP3

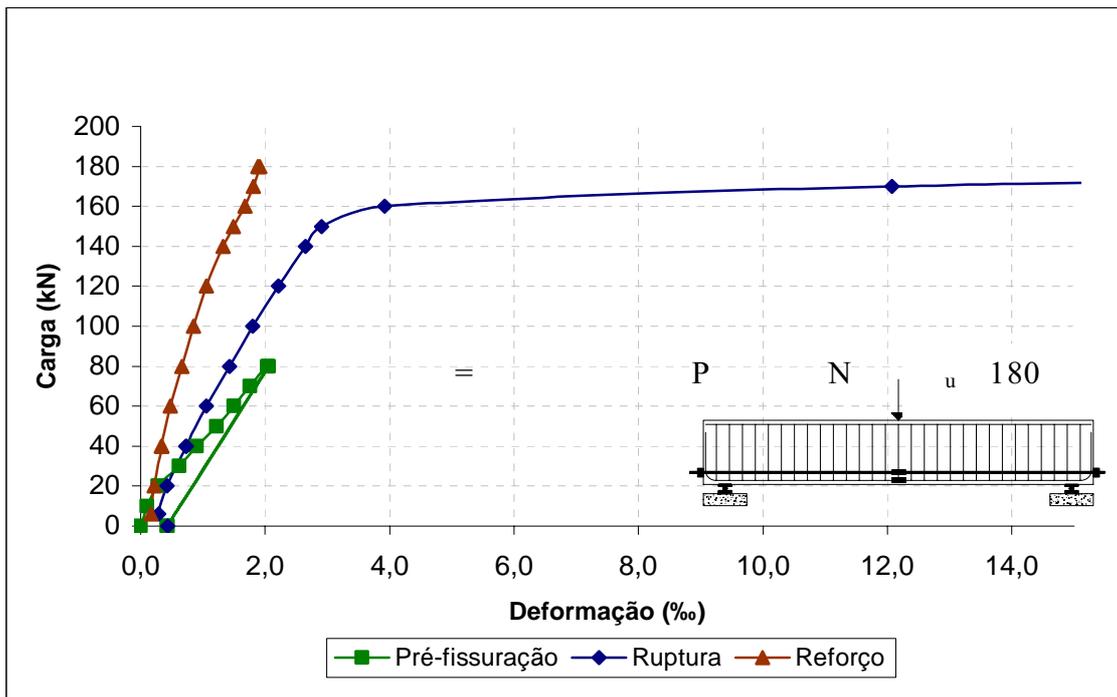
V U P T U 3 6 4 2 G D P . . . I 3 R A A R A R

devido ao aumento da carga aplicada, a deformação da estrutura aumentou em 180%, e a carga máxima suportada foi de 33,2 kN, o que representa um aumento de 1,88 vezes em relação à carga aplicada inicialmente (180%) e foi de 34,00 mm.

Os resultados experimentais para a largura de fissuras apresentaram-se satisfatórios.



F d V gua 3 40-r pa nca ar ga 3 aó a iuptua r s R



F d d 41-r d a g i a m a c a d a e d o r m a ç ã o d a m a u a r o n g t u m e t a ç ã o e r i l
 d V v d e f o r m a ç ã o 3 m e v e ç ã o m e o s ã o R i .

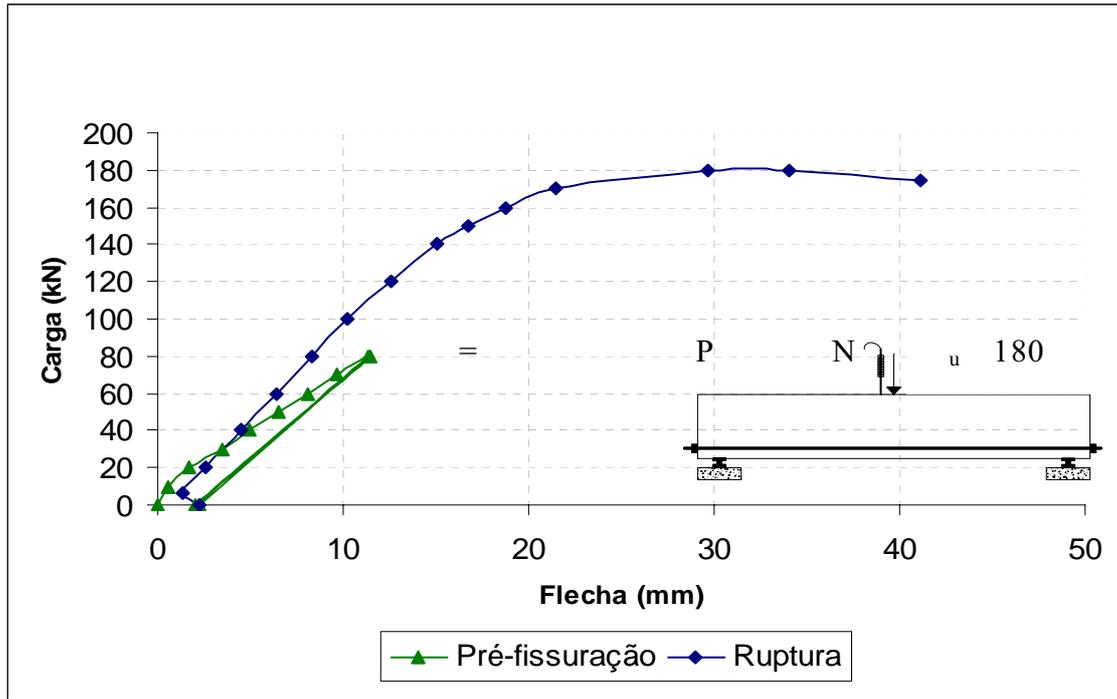


Figura 3.42 - Diagrama carga-deflexão da viga VRP3 a 13h de cura.

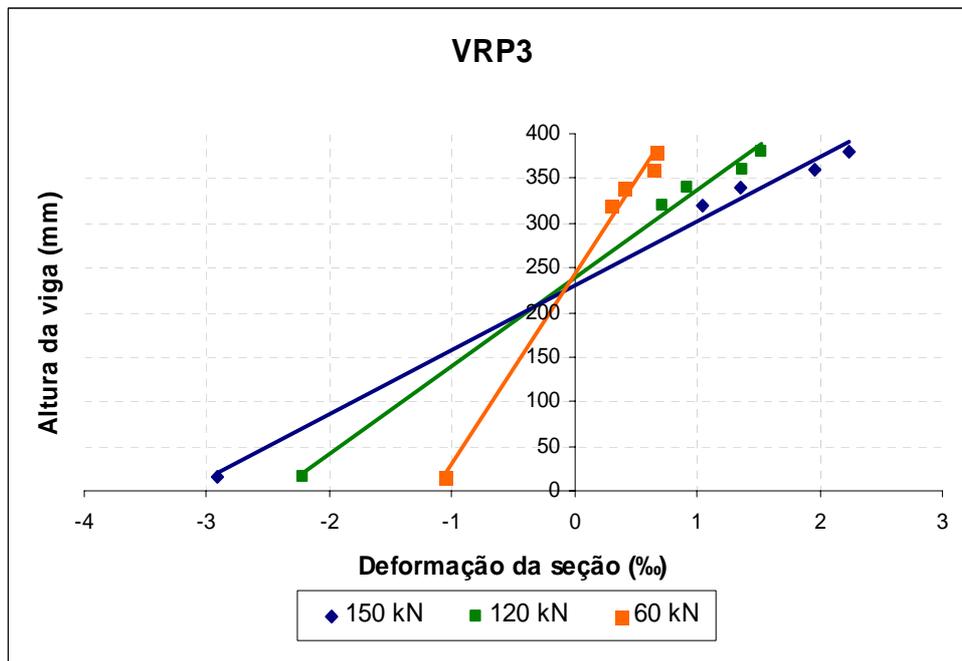


Figura 3.43 - Diagrama a reforço longitudinal da viga VRP3 a 130 mm do topo da viga.

Td a e a 3 - d t u a V l n r a r e u l a e x p e r i m e n t a r a g a i 3 l i .

Carga (kN)	Altura da linha neutra VRP3 (mm)
60	158
120	162
150	170

4.1 INTRODUÇÃO

1

Neste capítulo, apresenta-se o objetivo da pesquisa, a metodologia utilizada, a importância da pesquisa e a estrutura do trabalho. O objetivo principal é avaliar o comportamento de vigas de concreto armado submetidas a diferentes níveis de carga, com o intuito de determinar a capacidade de carga e o modo de ruptura. A metodologia utilizada foi a de ensaios experimentais em laboratório, com o uso de equipamentos adequados para a realização dos testes. A importância da pesquisa reside no fato de que, apesar de serem amplamente utilizadas, as vigas de concreto armado ainda apresentam problemas de resistência e ductilidade, especialmente em regiões de baixa renda, onde a qualidade dos materiais e a execução das obras são frequentemente deficientes. A estrutura do trabalho é a seguinte: o capítulo 1 apresenta a introdução; o capítulo 2 trata da revisão bibliográfica; o capítulo 3 descreve a metodologia utilizada; o capítulo 4 apresenta os resultados dos ensaios; o capítulo 5 discute os resultados e o capítulo 6 apresenta as conclusões.

Os resultados dos ensaios são apresentados e discutidos, com ênfase na análise do comportamento das vigas antes do reforço. A metodologia utilizada foi a de ensaios experimentais em laboratório, com o uso de equipamentos adequados para a realização dos testes. A importância da pesquisa reside no fato de que, apesar de serem amplamente utilizadas, as vigas de concreto armado ainda apresentam problemas de resistência e ductilidade, especialmente em regiões de baixa renda, onde a qualidade dos materiais e a execução das obras são frequentemente deficientes. A estrutura do trabalho é a seguinte: o capítulo 1 apresenta a introdução; o capítulo 2 trata da revisão bibliográfica; o capítulo 3 descreve a metodologia utilizada; o capítulo 4 apresenta os resultados dos ensaios; o capítulo 5 discute os resultados e o capítulo 6 apresenta as conclusões.

4.2 RESISTÊNCIA TEÓRICA DAS VIGAS ANTES DO REFORÇO

Neste capítulo, apresenta-se a metodologia utilizada para a determinação da resistência teórica das vigas antes do reforço. A metodologia utilizada foi a de ensaios experimentais em laboratório, com o uso de equipamentos adequados para a realização dos testes. A importância da pesquisa reside no fato de que, apesar de serem amplamente utilizadas, as vigas de concreto armado ainda apresentam problemas de resistência e ductilidade, especialmente em regiões de baixa renda, onde a qualidade dos materiais e a execução das obras são frequentemente deficientes. A estrutura do trabalho é a seguinte: o capítulo 1 apresenta a introdução; o capítulo 2 trata da revisão bibliográfica; o capítulo 3 descreve a metodologia utilizada; o capítulo 4 apresenta os resultados dos ensaios; o capítulo 5 discute os resultados e o capítulo 6 apresenta as conclusões.

de modo a obter a expressão para a resistência de projeto de uma seção retangular armada sob o carregamento da figura 37, tem-se:

$$P = \frac{4M_u}{L} \tag{41}$$

onde:

$$M_u = A_s f_y (d - 0,4x) + A'_s f_y (0,4x - d') \tag{42}$$

$$x = \frac{A_s f_y - A'_s f_y}{0,85 f_c} \tag{43}$$

sendo:

L - vão

M_u - momento e tensão de tração

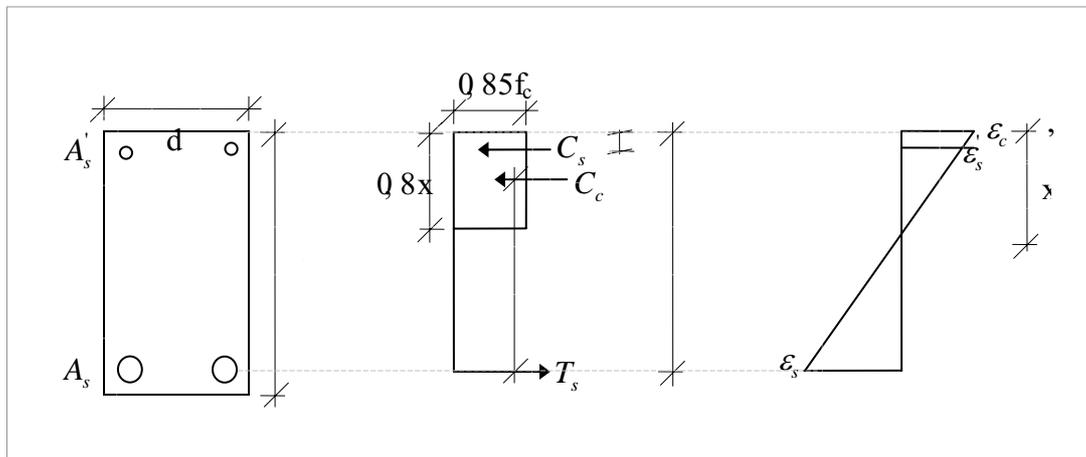
f_y - tensão de escoamento do aço

x - altura da fibra comprimida

A_s - área de aço de tração; A'_s - área de aço de compressão

d - distância da fibra de tração ao centro de gravidade da seção

d' - distância da fibra de compressão ao centro de gravidade da seção



Da Figura 41 é possível obter a expressão para a resistência de projeto de uma seção retangular armada sob o carregamento da figura 37, tem-se:

Na Figura 42 são mostrados os resultados da análise de uma seção retangular armada sob o carregamento da figura 37, tem-se:

... d... e... a... r... a... o... b... e... d... a... l... e... c... o... n... c... e... i... o... s... m... a... o... c... r... a... o... a... o... p... e... r... o... l...
 ... d... p... o... f... d... o... \$... a... m... b... e... s... s... a... a... d... i... a... n... o... l... o... h... a... g... a... m... d... p... a... á... o... a... i... r... e... t... â... n... g... u... o... r... p... a... l... a... t... e... n... ã... o... e... r...
 ... c... o... m... p... e... ã... o... n... r... c... o... n... c... e... i... o... s... s... r... .

... í... C... a... e... a... 4... 1... -... a... a... c... t... i... d... r... a... e... r... e... ê... n... c... i... t... é... v... c... a... s... f... e... x... ã... o... s... a... i... g... a... t... e... o... e... s... f... o... i... ç... o... s... r... s... .

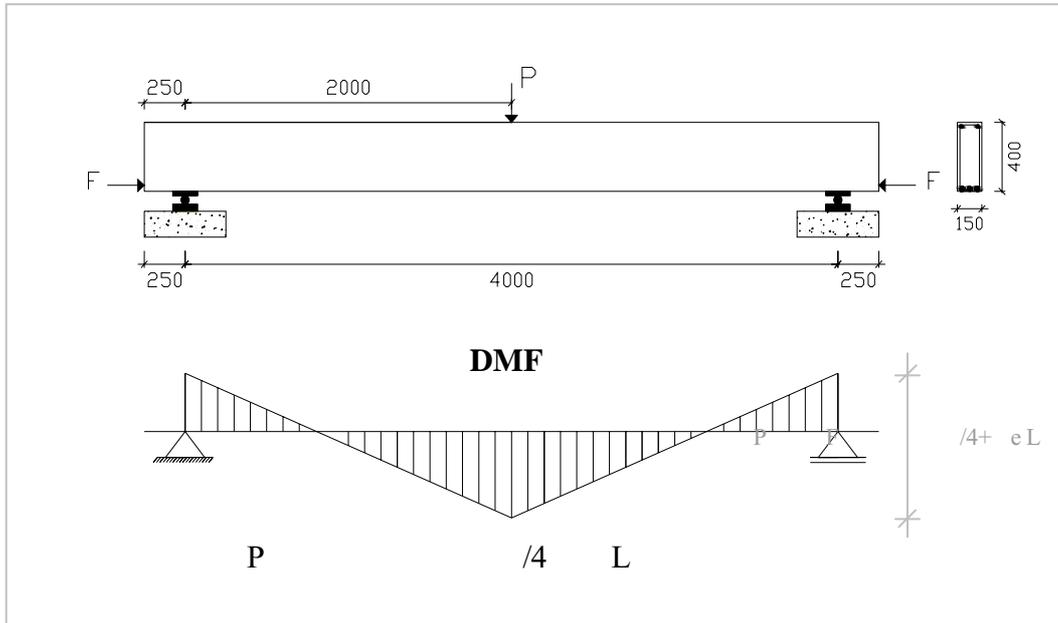
Viga	fcm (MPa)	As (mm2)	A's (mm2)	b (mm)	d (mm)	d' (mm)	ρ (%)
F	34	285	1019	R50	386	27	0,4
F	41,4	600	101	R50	36	27	1,089
P	41,0	285	101	150	386	27	0,4
P	36,6	285	101	150	386	27	0,4
P	35,7	600	101	150	384	27	1,08
NBR 6118/2003 – diagrama retangular							
Viga	x (mm)		Mu (kNm)		Pu (kN)		
	n	ex	n	ex	n	ex	
F	1	26	30	52,7	RE 60,5	52,7	60,5
F	2	5	64	103,4	RE 112,8	103,4	112,8
P	1	22	25	52,8	R 60,7	52,8	60,7
P	2	25	28	52,7	R 60,6	52,7	60,6
P	3	6	74	107	R 116,6	107	116,6
CONSEC 95 – diagrama parábola-retângulo							
Viga	x (mm)		Mu (kNm)		Pu (kN)		
	n	ex	n	ex	n	ex	
F	1	35	3	52,5	RE 60,9	52,5	60,3
F	2	61	73	103	RE 112	103	112
P	1	35	35	52	R 60,6	52,9	60,6
P	2	35	3	52,7	R 60,9	52,7	60,4
P	3	73	81	106	R 121	106	121

... b... d...
 ... d... d...
 ... d... n... -... a... o... o... t... o... r... p... a... t... l... a... t... e... n... ã... o... ;... e... ç... o... a... n... e... n... t... e... M... P... n... (... f... 500... à...)... l...
 ... d... x... -... a... o... o... t... o... r... p... a... t... l... a... t... e... n... ã... o... b... e... e... ;... ç... o... a... n... e... n... t... e... e... x... p... e... r... i... m... e... n... t... a... (... e... t... a... é... 3...)... l... .
 ... o... t... a... o... γ_c... e... γ_s... g... u... a... l... i... s... .

4.3 RESISTÊNCIA TEÓRICA DAS VIGAS DEPOIS DO REFORÇO

... d... e... ê... n... c... r... e... t... é... v... c... a... s... f... e... x... ã... o... s... a... i... g... a... t... e... f... o... ç... a... s... p... o... s... s... e... o... r... a... p... o... t... e... n... ã... o... r... e...
 ... d... d... a... d... e... x... t... e... r... n... a... f... o... ç... a... s... u... a... a... a... s... t... a... n... d... o... l... a... g... a... m... e... t... r... i... n... g... u... a... i... m... p... f... r... a... o... e... t... e... s... i... c... e... l... i... e... s... s... .

compeção no concreto ordenada a ser atingida e a ser feita e a
 v. compeção é a posição (figura 4.2 e 4.3) i s . . .



D não em m m e t s r i l s .

F G guida 4.2 – re d o n i t a , c a e g a n d o e i a g a m a e m o m e n t o f e t o a g a l s i s
 d e f o ç a a r r s .

d v d n t n o l e m a n e n t e a s o n ç o e e e q u d , c s g e a i l i h s :

$$M_{u,r} = A_s f_y (d - 0.4x) + A'_s f_y (0.4x - d') + Fe \tag{4.4}$$

$$x = \frac{A_s f_y - A'_s f_y}{0.85 f_c} + \frac{F}{0.85 f_c} \tag{4.5}$$

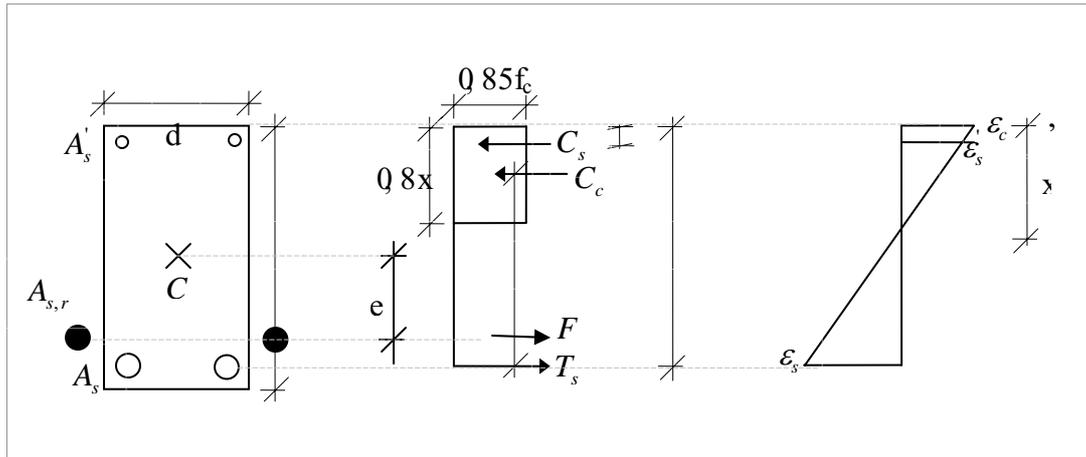
e n o s :

d $M_{u,r}$ m o m e n t o e v e n t r a e ç ã o s a s g a e f o ç a a r r i

d ; x a t u a a n n a r e u l a l i h

b dF ; F o c a m a a a o e r f o ç o r s

d d d b e e x e n t c a e r a a a i e i t e m a s r s s .



Da 43 é a relação de equilíbrio de forças e momentos. A força axial F é dada por $F = C_c - C_s + T_s$. A equação de equilíbrio de momentos é dada por $M = C_c x - C_s x + T_s e$, onde e é a distância entre o eixo da força axial e o eixo da força de tração.

do momento e da força axial. A equação de equilíbrio de momentos é dada por $M = C_c x - C_s x + T_s e$.

do momento e da força axial. A equação de equilíbrio de momentos é dada por $M = C_c x - C_s x + T_s e$. A equação de equilíbrio de forças é dada por $F = C_c - C_s + T_s$. A equação de equilíbrio de momentos é dada por $M = C_c x - C_s x + T_s e$.

V T da 42 - a de do momento e da força axial. A equação de equilíbrio de momentos é dada por $M = C_c x - C_s x + T_s e$.

Viga	$\sigma_{p\infty}$ (MPa)	σ_p (MPa)	F (kN)	M_F (kNm)
1	140	247	155R	25,6
2	nf	54		31,5
	up	152	160R	
3	18	300	98R	31,1

Tb $\sigma_{p\infty}$ é a tensão de ruptura da fibra de carbono. A equação de equilíbrio de momentos é dada por $M = C_c x - C_s x + T_s e$. A equação de equilíbrio de forças é dada por $F = C_c - C_s + T_s$. A equação de equilíbrio de momentos é dada por $M = C_c x - C_s x + T_s e$.

T íC a e a 43- v a a c t l t r a e r a d e e s i o s e e s e n c r i a à f e x ã o s i g a l s i s d e f o ç a r r s .

Viga	f _{cm} (MPa)	A _s (mm ²)	A _{s,r} (mm ²)	ρ (%)	d (mm)	d' (mm)	e (mm)	F _{in} (kN)
P	41,0	285	628	0,4R	386	27,9	165	88
P	36,6	285	1256	0,4R	386	27,9	165/5	12
P	35,7	600	628	1,08R	384	27	165	124
NBR 6118/2003 – diagrama retangular								
		x (mm)		M _u (kNm)		P _u (kN)		
		n	ex	n	ex	n	ex	
P	1	5	63	78,8	86,4	78,5	86,4	
P	2	4	8	84,8	21	84,3	21	9
P	3	120	80	137,8	147,8	137,1	147,8	
CONSEC 95 – diagrama parábola-retângulo								
		x (mm)		M _u (kNm)		P _u (kN)		
		n	ex	n	ex	n	ex	
P	1	72	72	78,8	86,2	78,5	86,2	
P	2	104	108	84,8	1	84,29	1	9
P	3	125	132	137,8	152,1	137,1	152,1	

d F F ; n - o ç a e p o t e n ç a s i i l
 b d d dn - a o o t o a p a t l a t e n ç a o e e d o a n e n o M P a (f 5 0 0 à) l
 b d d dx - a o o t o a p a t l a t e n ç a e e d o a n e n o e x p e s e n t a (e t a e á 3) l .
 d o t a o γ_c e γ_s g u a a l i s .

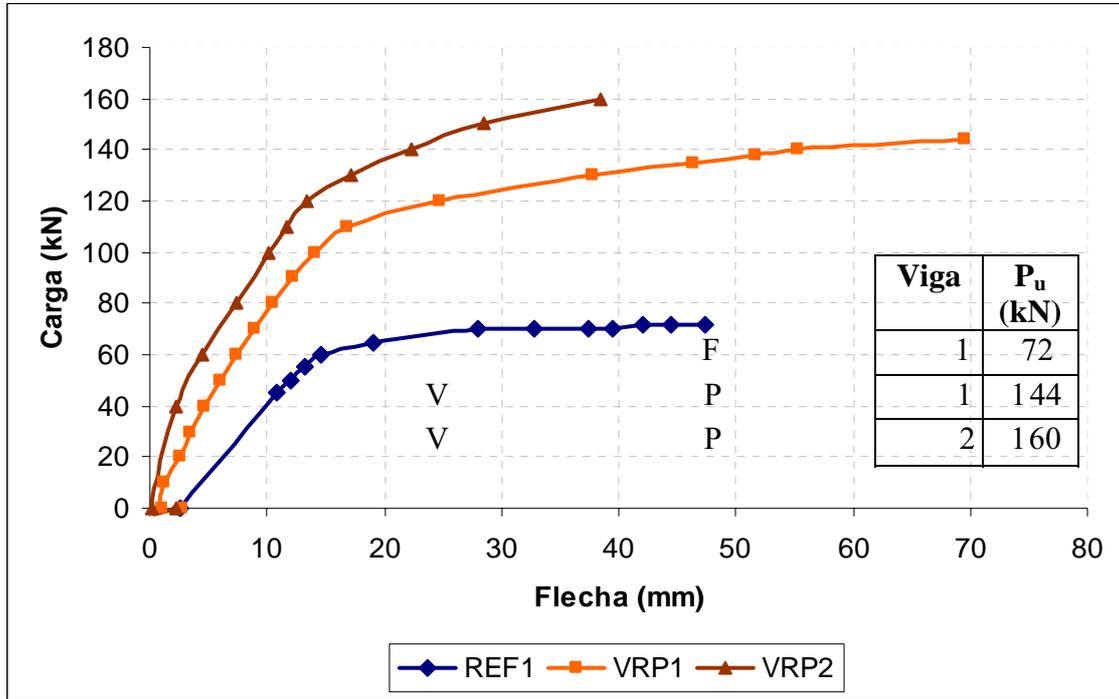
4.4 ANÁLISE DAS GRANDEZAS MEDIDAS

C VG 441SDÇS . . . UPTU A I A G R D, UCTED Z D I E D D R A R L I R E E
 (δ_u/δ_y) .

N d a f g u a 44 e r 45 i ã o s m. t a d. o s r a g a s m a s a g a f e c a o s t o m o l h i s s
 V n a v V e ; u p t u a n P i s g a P 1, F l i e s P 2 e v e R E e p e r t a n e R e s R E i R .
 d D d d a d a c o o a l e r p e V o a c a p a c i d a e e d e a g a i r g a 2 (t a x a é a m a u a r r R
 d n e m a b e 0 r 4 i e e f o ç a r 0 % m u l t o a a r e x t e r m a e 2 0 s m m e s â n e t o) f o r i
 V d m a o q u e a r a g a l i 1 (t a x a é a d m a u a d n e m e R r 4 i e e f o ç a r 0 % u a
 d d a a e x t e r m a e 2 0 s m m e s â n e t o) , q u e r p o i u a e r t e e c a g a e u p t u a m a o r r i
 v q u e a a g a f e e f ê n c i a d d 1 o m e d m o . o , a c a p a c i d a e e t e n t r i a g a s i s i

dP

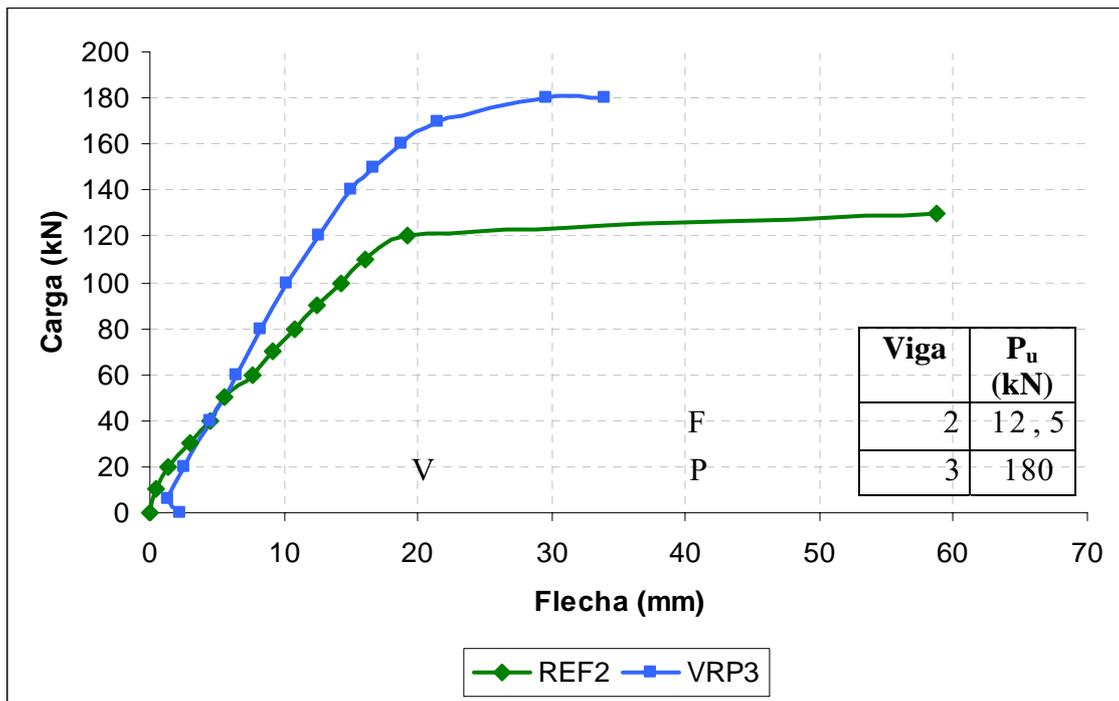
d 3 (taxa e admissibilidade) e R08 é de forma a comparar a a extrema se 20 s
 d mm e âneto) forma o que a a i g a i 2 i . RE



F

Da 44 - r a g a m v a r g a f e c a a s g a l h s i e s 2

RE. R



F

Da 45 - r a g a m v a r g a f e c a a s g a l h s i e s 3

RE

da o e co er p n e m e s à c a s o e f e s a v m e s e 16 m m (l i a ã o / 250 t e m i
 d N 13 a 6118), e o b a n e n t o B o a ç o s m a r t a c o m o e e i s u p t u a e m c o n t a m e r s
 e u m α m a t a e a s 4 4 i s l . .

a e a 4 4 d a g a c o l e r . p o n e m e s a o m s t e f e s a e h i e i ç o , l o a h c o a s e n t e à s
 d v u p t u a n a g a s i s .

Viga	ρ (%)	Reforço	d (mm)	$P_{\delta_{lim}}$ (kN)	P_y (kN)	P_u (kN)	$P_{\delta_{lim}} / P_u$	R	
								1	2
F 1	0,4	-	380	6,6	53	72,0	0,80		
F 2	1,08	-	36	1,1	11,98	12,5	0,86	9	
P Ø 1	0,4	2 20	380	10,1	63	144,0	0,74	2,00	
P Ø 2	0,4	4 20	380	12,8	117,7	160,0	0,7	2,22	9
P Ø 3	1,08	2 20	384	14,5	152,4	180,0	0,81		1,3

P d δ_{lim} - c a g a o p e r p o n e m e à f e c a m e l h l i i
 d z d - a ã o e n t e a c a g r e d u p t u a n a g a e f o d a a e a r i a g a e u p t u a n a g a e e f ê n c a i s i .

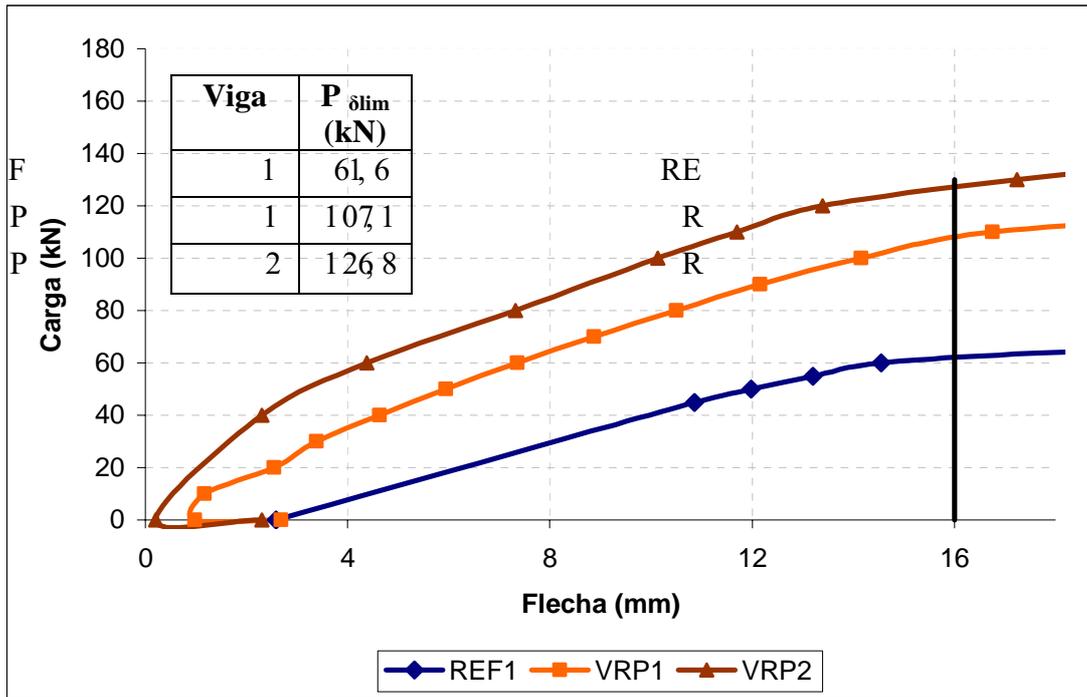
d c a p a c a e d e V e n t r a i f e x i o s i s P g a e f o ç a a r r i l a u m e n t o u 100 e m R %
 d v e a ç ã o à v a g a f e e f ê n c a i r l e a a i 2 a u m e n t o u 122 R E m e a ç ã o à R % g a l i i
 F v l m e a ç ã o à v a g a 12 a R E g a i e f o ç a a r r i 3 e e R E u m e n t o a c a p a c a e R i
 e e n t r e 3 s i s 9 % .

f g u a 4 6 e r 4 7 n o t a n d a c u a c a g a f e s a a é s o a o l a f e c r a m e l h l i i
 $\delta_{m} 16 m m$.

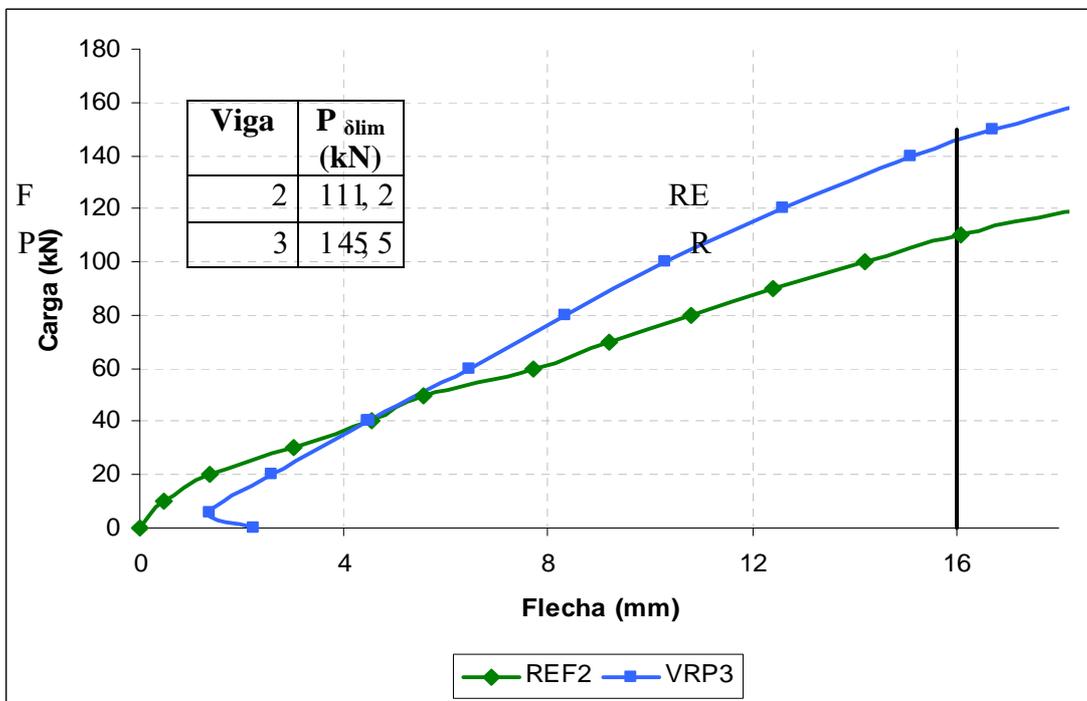
P v d o e - e d e a m d f g u a 4 6 a r m n v a ç o a f e p a i a P g a s l h l e s i 2 s
 v e m e a ç ã o à R g f e e e f ê n c a i r l i . R E

d c a g a c o e r p o n e m e à f e c a m e a P g a h l i l e i 2 f o 7 4 e 106 i R % R %
 P m a o q u e δ_{m} a i g a l i l , e p e c t a m e n t e s i R E .

N a l f g u a 4 7 d o t a e i g l a m e n t e v a s m i n u ç ã o e f e r i a i a g a l h s m i
 v e a ç ã o à v a g a 12 c a d a c o e r p o n e m e à f e c a m e a l g a h l i 3 f o 33 i i %
 d v m a o q u e a a g f e e f ê n c a i r 2 i . R E



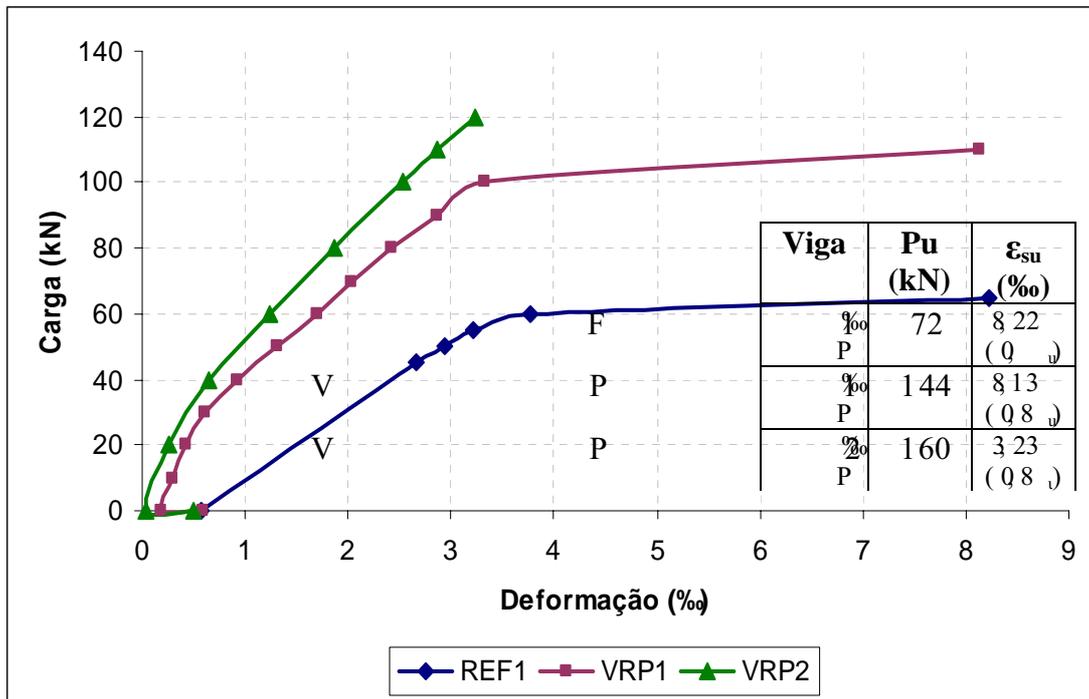
F d g D a 46 – r a g a m v a r c a g a f l e c h a a s g a l h s l e s z a é o a o e r R E r R 1 R
 = $\delta_m = 16 \text{ mm}_i$.



F d g D a 47 – r a g a m v a r c a g a f l e c h a a s g a l h s l e s z a é o a o e r R E r R 1 R
 = $\delta_m = 16 \text{ mm}_i$.

Figura 48 apresenta o diagrama carga-deformação para a viga REF1, sob o efeito de uma carga de tração. O gráfico mostra a curva de carga-deformação para a viga REF1, sob o efeito de uma carga de tração. A curva apresenta um comportamento elástico-linear até o ponto de ruptura, seguido de uma região de escoamento e deformação plástica. A carga máxima atingida foi de 72 kN, com uma deformação de 8,22%.

Figura 49 apresenta o diagrama carga-deformação para a viga VRP1, sob o efeito de uma carga de tração. O gráfico mostra a curva de carga-deformação para a viga VRP1, sob o efeito de uma carga de tração. A curva apresenta um comportamento elástico-linear até o ponto de ruptura, seguido de uma região de escoamento e deformação plástica. A carga máxima atingida foi de 144 kN, com uma deformação de 8,13%.



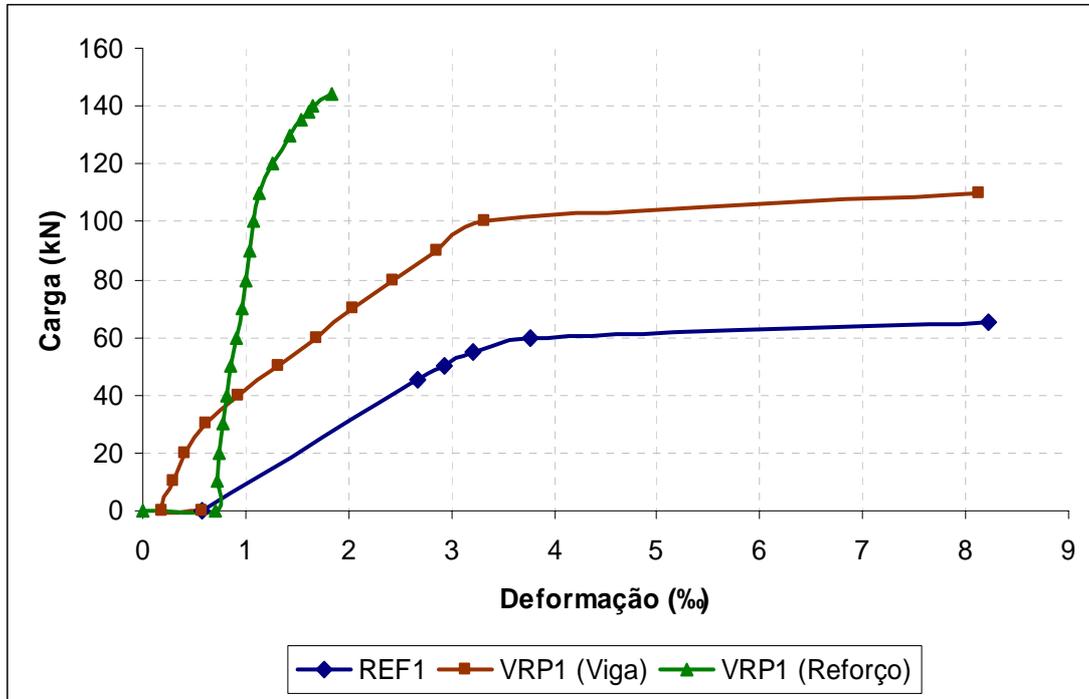
RE
9
R
R

Figura 48 – Diagrama carga-deformação para a viga REF1, sob o efeito de uma carga de tração. O gráfico mostra a curva de carga-deformação para a viga REF1, sob o efeito de uma carga de tração. A curva apresenta um comportamento elástico-linear até o ponto de ruptura, seguido de uma região de escoamento e deformação plástica. A carga máxima atingida foi de 72 kN, com uma deformação de 8,22%.

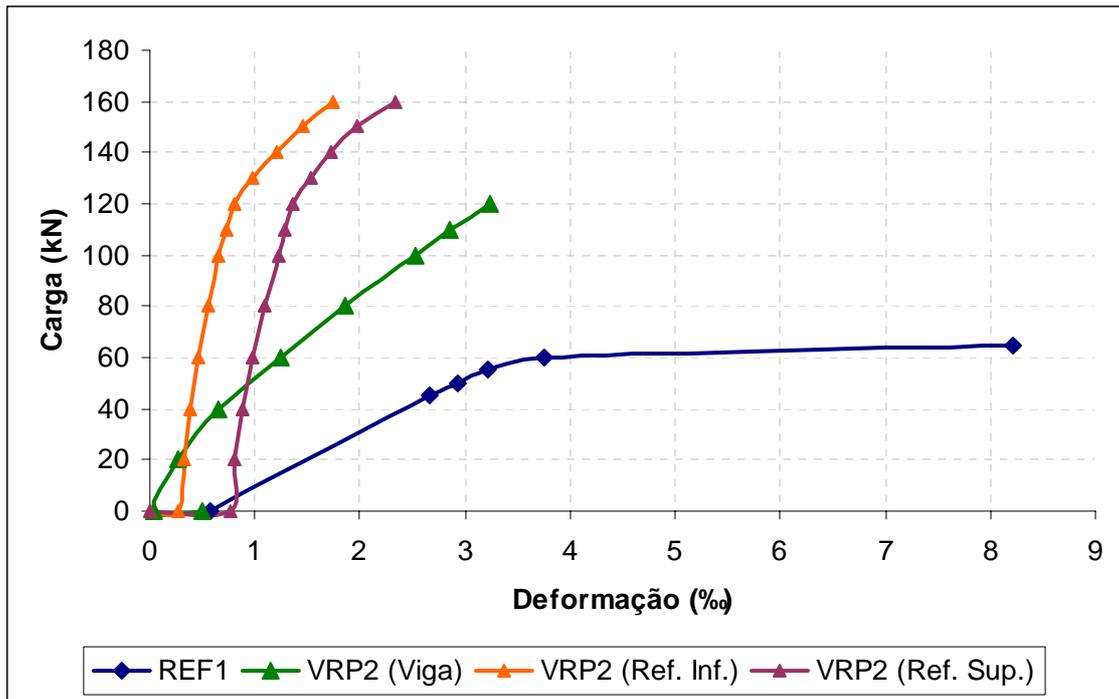
Figura 49 – Diagrama carga-deformação para a viga VRP1, sob o efeito de uma carga de tração. O gráfico mostra a curva de carga-deformação para a viga VRP1, sob o efeito de uma carga de tração. A curva apresenta um comportamento elástico-linear até o ponto de ruptura, seguido de uma região de escoamento e deformação plástica. A carga máxima atingida foi de 144 kN, com uma deformação de 8,13%.

Figura 50 – Diagrama carga-deformação para a viga VRP2, sob o efeito de uma carga de tração. O gráfico mostra a curva de carga-deformação para a viga VRP2, sob o efeito de uma carga de tração. A curva apresenta um comportamento elástico-linear até o ponto de ruptura, seguido de uma região de escoamento e deformação plástica. A carga máxima atingida foi de 160 kN, com uma deformação de 3,23%.

d n d m f o a m m i n d e q u e a r b a g a s e l e f e n c i a i n c a n o o e i n f c o o e f o q o r i i r
 d q u e n ã o c e g o u a a c a n ç a a e f o m a l ç ã o e e c o a n e n t o s .



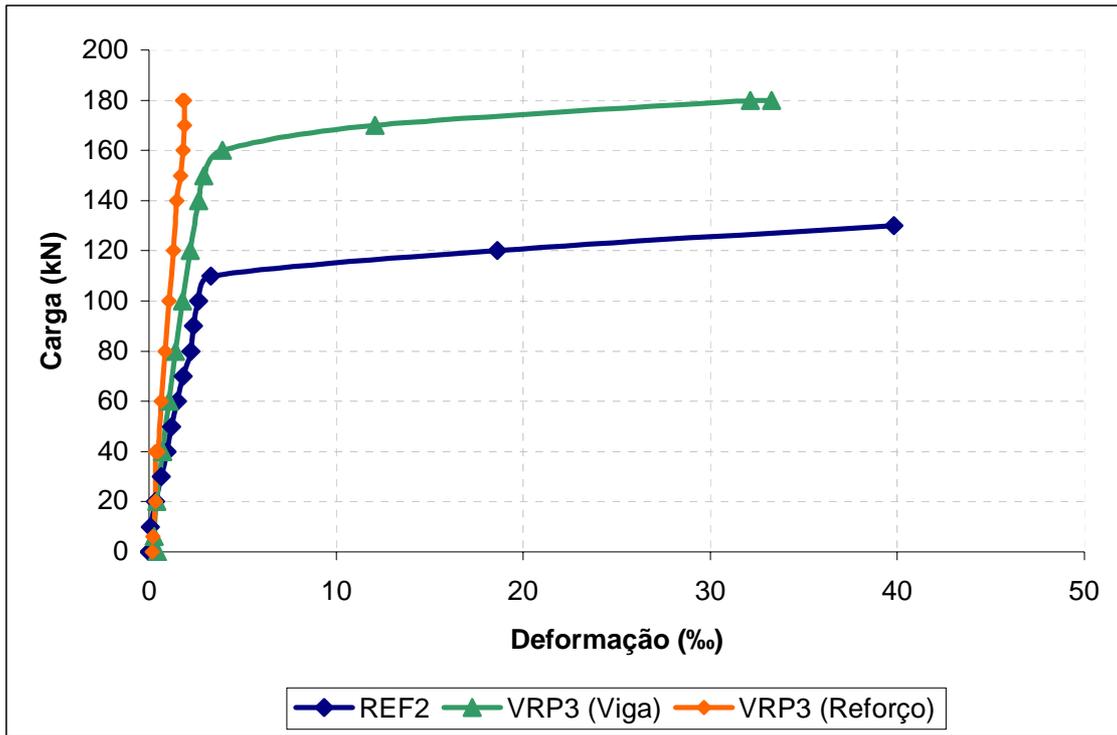
d g d a d 4 - r d a g a i m a c a r g a e i f o r m a ç ã o d a a m a u a r o n g t u m a n e h a e i o r i f o l i o r r
 d V v F d a P g l e s i l a v e ç ã o o n e o o R E O R i .



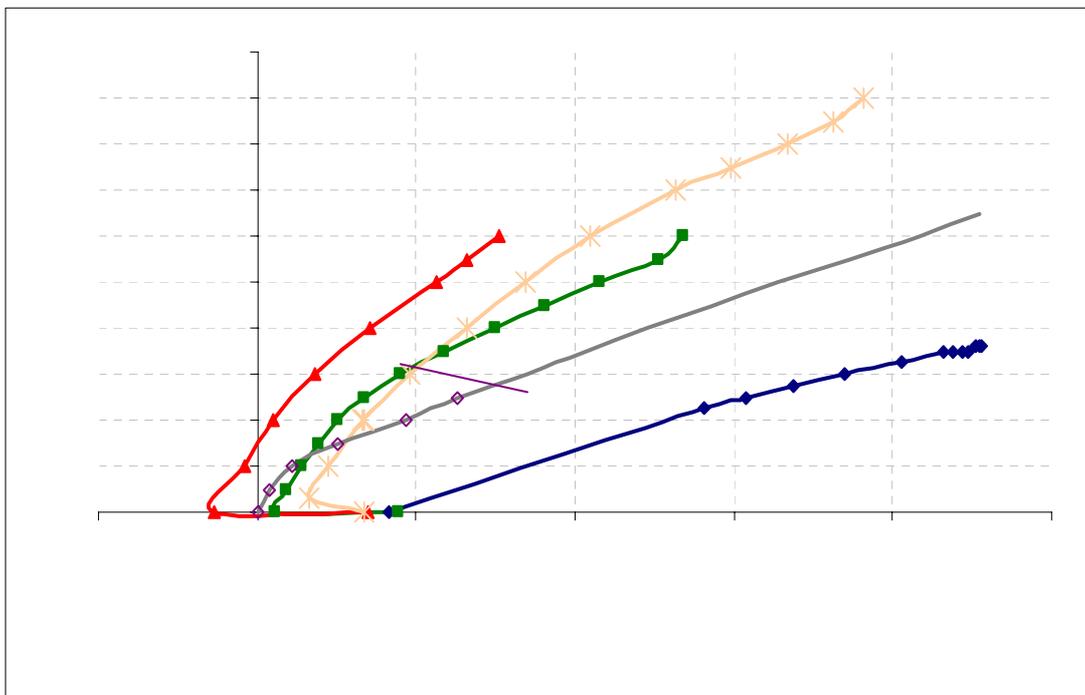
F d gula 410 - r agiam a Vrga eifomção a P ga le s 2(a ma uar r RE R
 d d V ong tu m) ed ol e P fo i o i n l ga 2 ma ve çã o m e o os ã o R i .

N d a fgua 411 bape e n t a m e l a e d o m a ç õ e s r a s a a o n g s t u s n a e s t a ç ã o i r i s
 v d a ga F e d e V ê n c a i r 2 e a f i g a e f o ç a a d r i 3 j u n t o c o m a e f o m a ç õ e r a R s s
 d V a a e x t e r m a P o e n ç o e b s r 3 e d e g á d c o n t a s s t a m é i n u m a e u ç ã o r a s
 d e f o d m a ç õ e r u a m a u a r o s u g t u v a e t a ç ã o i a i l a e f o ç a v a r e m i e a ç ã o à r g a l i
 F 2 . RE

d d e f o m a ç õ e r a s a d n a A u a r n e n a m a d r a ç ã o i o e p o n e m e a u m ç u a t o o r
 ã o ã o m o t a N m a f g u a 4 1 2 s o m e q u e m a t e g r e f o r a s i s l , 2 e s
 P 3 a e f o m a ç õ e d r f o s a m n e n o R s q u e a a g a F e e s t e n c i a s l e 2 i
 d e n t c o a o q u e a c o n t e u m o m e o o ã o i .



F d d gula 411 - r agiam a V r g e i f o r m a ç ã o n a P g a 2 e s ã (a m a u a r r R E R
d d V o n g t u m) e d o l e P o i d o i n a l g a 3 m a v e ç ã o n e o o s ã o R i .



C d v ão ão ra ve mo tra s nã s Pa 45 a s ga 11 fã que ape ento ur R
 d d d d ma o n e re uct a e, a o p e l i c a ç ã o e n t e h f e r c a c o e p o n e n t e s à s s s
 d Pa ga e r p u a r e d e r c o a n e n t o , δ u s v d u c t F a e a g a l i A f o m a o r i i I
 v F q u e a a d g a v d z q u e a V i a e f o m a v o s o p e r e a v i a i a P 2 g a i 3 f o . a i A R i
 d v l d d q u e e e o n e m o n e e u c t a e i l i .

T d C d e a 45 - d a g a e l e r c o a n e n t o e s e d i s t r i b u i d o a r e o c a n e n t o e t a e m e s e i s i i
 d d d d v u c t a e a g a l i s i s .

	Viga	ρ (%)	Reforço	P _u (kN)	P _y (kN)	P _u / P _y	δ _u (mm)	δ _y (mm)	δ _u / δ _y	
F	1	0,4	-	729	53,3	1,34	42,00	912,4	3,25	9
F	2	1,08	-	12,5	11,3	1,089	53,40	17,60	3,03	
P	Ø	0,4	2 20	144	63,3	1,50	6,97	13,42	5,18	
P	Ø	0,4	4 20	160	117,7	1,36	38,46	13,00	2,6	9
P	Ø	1,08	2 20	180	152,4	1,18	2,62	17,21	1,72	

U M N T 4 4 T N D N S . M U A P D T N E O D E E A A O A I R A R R O A E

d e a ç ã o e n t e o s a u l t i m o s a t e n s ã o m a s a e x t e r n a s e r f o r ç o m a s g a s i s
 V P P 1, v 2 e 3 p e t o r e a e x p e r i e n ç a s (2 H) , Δ σ , e s e x p e . n e n t a , r Δ σ e , s i 1
 b e m c o n t a m e P r a t a e a 4 6 e e e l e r q u e o a o s e o a n e n t o s a t e n ã o s
 b d e x p e n e n t a r f o a d m e n t a d e d o q u e o ã o e o a n e n t o l a s o p e a e x p e ã o s r l s s
 N (2 d) a 6 1 1 8 (2 0 0 4) , c u j a a B a b é e t r a p i a t e n ã o e r s n i c a m a s a i ≥ 0 f r s s
 f p u m a o f e i ç a d a p i o x A n a n e V i e 2 0 0 i , f o o t a p a % a i g r i 2 c o m i
 n e m o t e n ã o v n c a e o n e m o i a o l v Δ σ e x Δ σ t f e n c o n t a o m a r i g a 3 (8 0) , i %
 o n e d a t e n ã o n c a f o á m a p ó x i m a i a t e n ã o m i n i m a s i .

T

de a 46-d daçãoelnto o a unnto e N não Ra o p a s 6118(2004) e

B R

b expernenta ma a aie xē rta s r s s.

Viga	$\sigma_{p,ex}$ (MPa)	$\sigma_{p,t}$ (MPa)	$\sigma_{p,ex} / \sigma_{p,t}$	$\Delta\sigma_{ex}$ (MPa)	$\Delta\sigma_t$ (MPa)	$\Delta\sigma_{ex} / \Delta\sigma_t$
1	140	370	1,50	230	107	2,14
2	nf	34	2,23	26	103	2,87
	up	152	1,83	316	103	3,06
3	18	382	1,27	184	102	1,80

P

P

P

d e açõ e nte as calga RE ruptua tró dsr P, t ere xp nenta r ue a iga el s i s

d F e fē nca Wle V 2 é V Da e fõça RE H dRE 2e s 3 e ncontam e Ra R s R

d N ta e a 47 de a p d e. nota que o r sa e a car ga el upstua expe nenta rfo am ir l

d ma oe o que o d a os e car ga ú l m s tó ca r fē v nça einte e é ra A e ma ss s l s s

v ua gal Fed e fē fē nca(s v lde 2) é de a a a açõ RE nno e RE eó co e um l i

v d ad pa a a tē nã o lo açõ ma upstua ra ga gua à tē nã o i e e cõ a mē nto, e nq u s nto

d no e na çõ, a tē nã o ú l m s o açõ s fo rta o o que a i e i co a mē nto a sa çõ e nte. i A

a ca ga e upstua tró ca de xp nenta r pa a a iga e fõ ç a r s fo i ca u a a p e s fã o s l

d ad t nã o nã a ma a sã u a r p b e m a r e o mē nã o q s i e r 0,5 fpu, a o mē r l l i i

d d d e v e d e c o p a a s d a d r a e a a p çã o a e x p e lã o a a p e a n s s m a p a r e t m a r a r s i

d tē nã o e p o tē nã o s n o e t Co n s t e ú t n o o h i f o i n e h i o t a o m a t a e a 47 a n e n o l . r

P b P a d a çã o e r V / M (il 8 d) v f o b o e P a a % a r i g a s 3 o n e a i a a e x t e r n a s f o a m R s r s

u m d t a a u m s tē nã o i n s c V p ó x m a r i é nã o 0,5 fpu gas 2 p o a p i e m a r r s R

a n e n o tē nã o m c a, f o a d s e a q i e i d u i o u r a P m a D e s a çã o e u e i u t l .

N d b o tē d d a o r e fõ ç a os, a s s a d a p o t m s a r nã o s a c a n ç a à n s a e r f o l m a çã o r

d e c o a mē nto, m a d s o u e a u m e n t o s h tē nã o a o o n g o e c a e g a r e m t o .

T da e a 47- e ação elnte. a ca ~~pl~~ e ruptu ~~s~~ ~~tr~~ ~~o~~ ~~re~~ ~~e~~ ~~x~~ ~~p~~ ~~e~~ ~~m~~ ~~e~~ ~~n~~ ~~t~~ ~~a~~ ~~r~~ ~~a~~ ~~g~~ ~~a~~ ~~i~~ ~~s~~ ~~i~~ ~~s~~
 d en a a a s i s.

Viga	P _{u,t} (kN)				P _{u,e} (kN)	P _{u,e} / P _{u,t}				
	NBR 6118		CONSEC 95			NBR 6118		CONSEC 95		
	n	ex	n	ex		n	ex	n	ex	
F	1	52,7	60,5	52,5	60,5	72	1,37	1,1	1,37	1,19
F	2	103,4	112,8	103,0	112,0	12,5	1,25	1,05	1,26	1,16
P	1	78,5	86,4	78,5	86,2	144	1,84	1,67	1,83	1,67
P	2	84,3	21	84,2	91,2	160	1,9	1,74	1,90	1,74
P	3	137,1	147,8	137,1	152,1	180	1,31	1,22	1,31	1,18

b d d n- a o o t o a p a t l a t e n i ã o ; e p d o a n e n t e M P n m a (f 500 ã) l
 b d d x- a o o t o a p a t l a t e n i ã o e e ; d o a n e n t e e x p e r i m e n t a (e t a e à 33) l l .
 d o a o γ_c e γ_s g u a s i i s .

C MP 443 NT F . C S T S C A H O X P R M N T A I R E A E I A E O R E E E R A

P d a a a d e t r m m a ç ã r a d f e c a i t ó d a s l a r h e g a e n a s a z a s f ó s u t s a i a a s i i l i
 d e x p e ã o o r t d a a p a s t a e q u a ç ã o f e n c a b a n ã e á t i c a , p a l a h u m a l s g a - i i
 d a p a a c o m c a g a c i d e n t a a p r o x a a n o m e o m d i ã o , a a p i a e x p e ã o (46) s s . . s
 d c á c u o f o a m e l h u a l o s p a a a e ç ã o a s 150 m m s o m e o o ã o , e ç ã o i o n e o s s
 t a n u t o r e e r o s a n e n t e s f o a n s l p o c o m o s i i s .

$$\delta(x) = \frac{Px}{48EI} (3^2 - 4x^2) \tag{46}$$

d d v d c o n t a f e c a d r e a à p a t e h ã o p i e e c a c s a r a a p o s l r :

$$\delta_F(x) = -\frac{Fe}{2EI} (x^2 - lx) \tag{47}$$

H d a a o c á r c u o a b f e c a l u s n o s e l a h e x p e ã o e , s s u s c o u e s u t s a s m s r i l i
 m o e o t ó c o q u e r n e o i e p e r n a d o c o m p o t a n s t o r e x p e m e n t a r a g a i l s i s

b d ena a a ve e tasa d o, re an o adm l b o n t a d a ç ã o o m o n e n t o e r e c a e o i i
d d m ó u o e e a t c a e l c o n l e s a i n i o t ê r e t i r o s s i s :

d d á S o - e ç ã o d f u a a e l o r d e n e s t o c o n e a o o r m ó s i o e s l
d e a t c ; a e e o m d r e i n t o e r e c a c o n t a n t e i i s s

d d á S o - e ç ã o s f i a a o c o f i c i s s o e e n ã o m a ç o n e m o u g u a f y o i l :
d d m ó u o e e a t c a e p e m a d e i c o n t a n t e , e m q u a n t o s o a o a r e c a é l r i i

z d e u a r e g a é v f d i g u h o u m a a s a ç ã o p r m a i e v 3 ° g d i u m i h e a o r i l
l d í c o m p e t e n o e n t e o n c i a f d u a ç ã o o r c o n c i s t o e o e r c o a m e n t o o a ç o s

d d á S o - e ç ã o s f i d a a o c o f i c i s s o d p o r e c o a m e n t o o a ç o s o m ó u o e : l
d v e a t c d e é a d s i t r a m e n t e , i r m l i u n o a é u m i t e i ç o i o e u a o o g r a s r l i i l

v d d o d o o m o n e n t o e r e c a e a m t o i c o n t a n t e (f i) I s i s .

d F d d d o d u d a o o m ó u o s e e b a d t c a e a d l p s a i e x p e ã o o r t l a a p a s t e i r i
z e n a d o e a a o r c o m i s s o n c i t u d u t r a d c o n e s c a i l i e n e s m a J e a é l o o e a r e o i r i
N U N p o p o t a p s r (2 0 0 5) . E

b d d f e c a t o t a b o o l t l a A e h o i e a i o m a a g é s c a s a e x p e ã o e i (r 4) e s s s .
(4 7) f g u a 4 1 3 r a s 4 1 6 A o t a m a . c o m p a s a ç ã o e s a n t e a f e r c a t e o c a s e l r h s i

d N e x p e m e n t a r a d a v p i e e l o d s a d q u e o n o e o t o c o f o r e d y r e i m a r e a r i
d V g a (v o m e x e ç ã o v l a g a 2) , a o e a t f a t o o l e s v a e e q u i s . a o s s a l o e s r R s l s
c a c u a d e f e c h l e f e d n e r l a d e s n a o e d s p t u a f a m r a c o m o o e i u a r s s s i s

d v d o e a o a o f m a s o e n s o é p l e - f s u s a ç ã o r i s s .

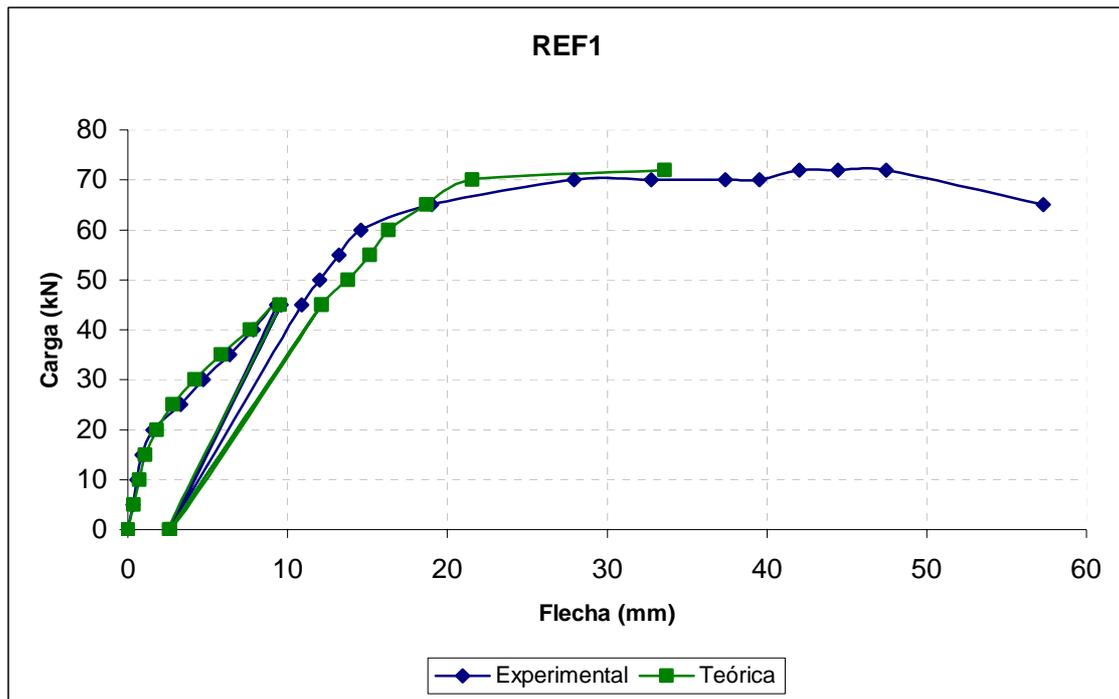


Figura 4.13 – Diagrama carga-deflexão a carga máxima (teórica e experimental) para o elemento REF1.

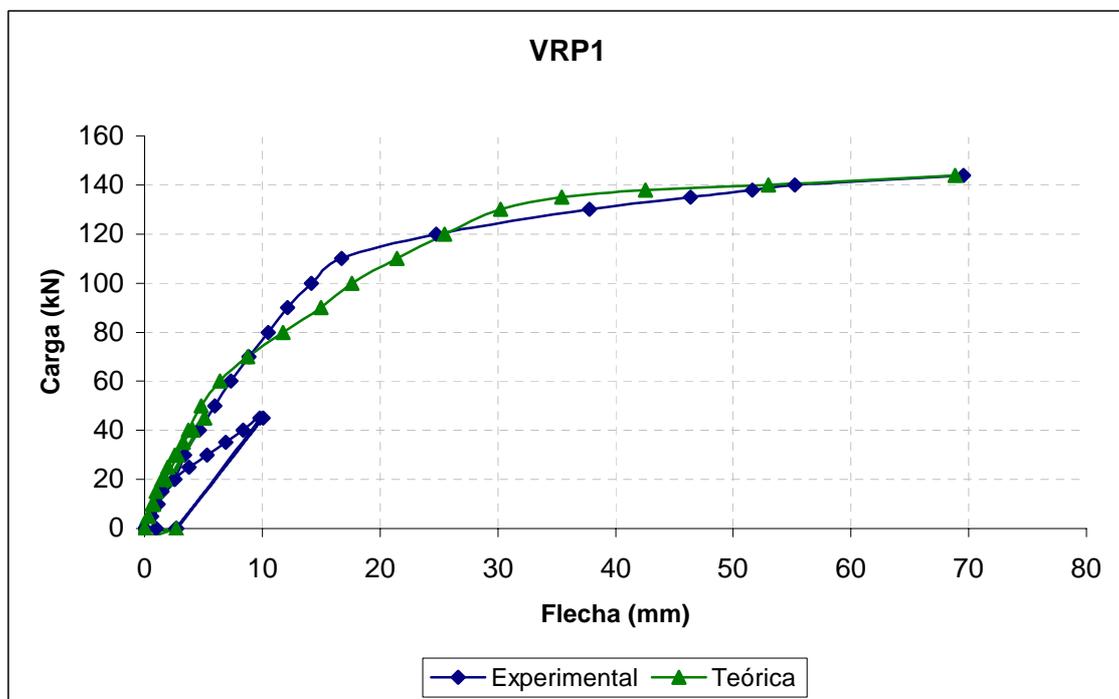


Figura 4.14 – Diagrama carga-deflexão a carga máxima (teórica e experimental) para o elemento VRP1.

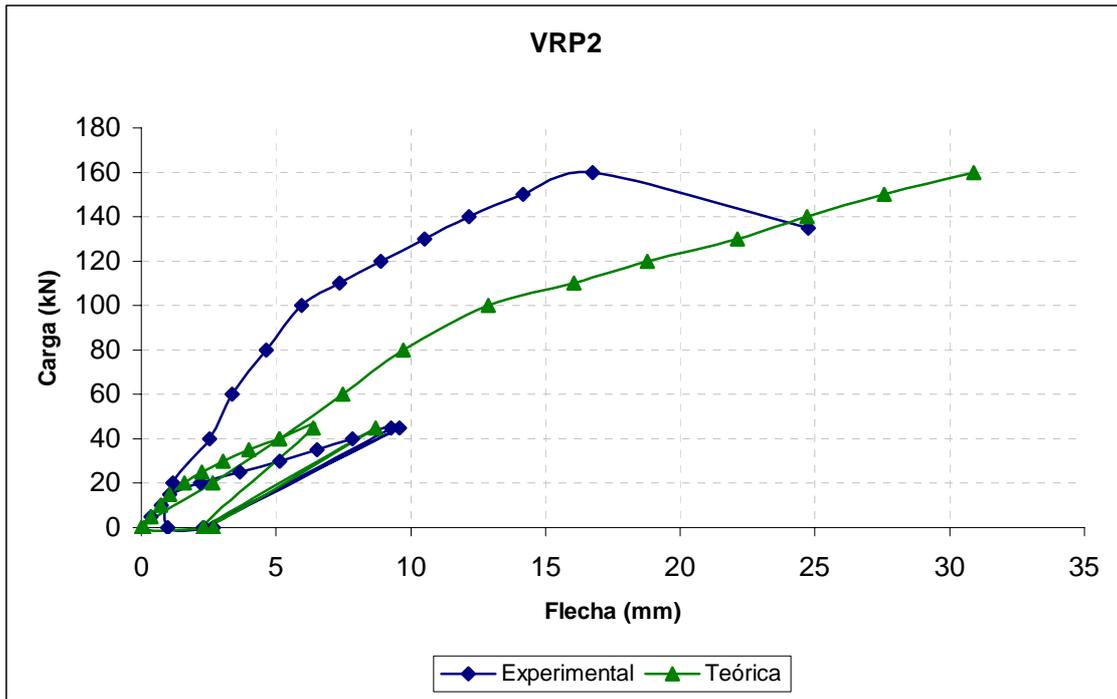
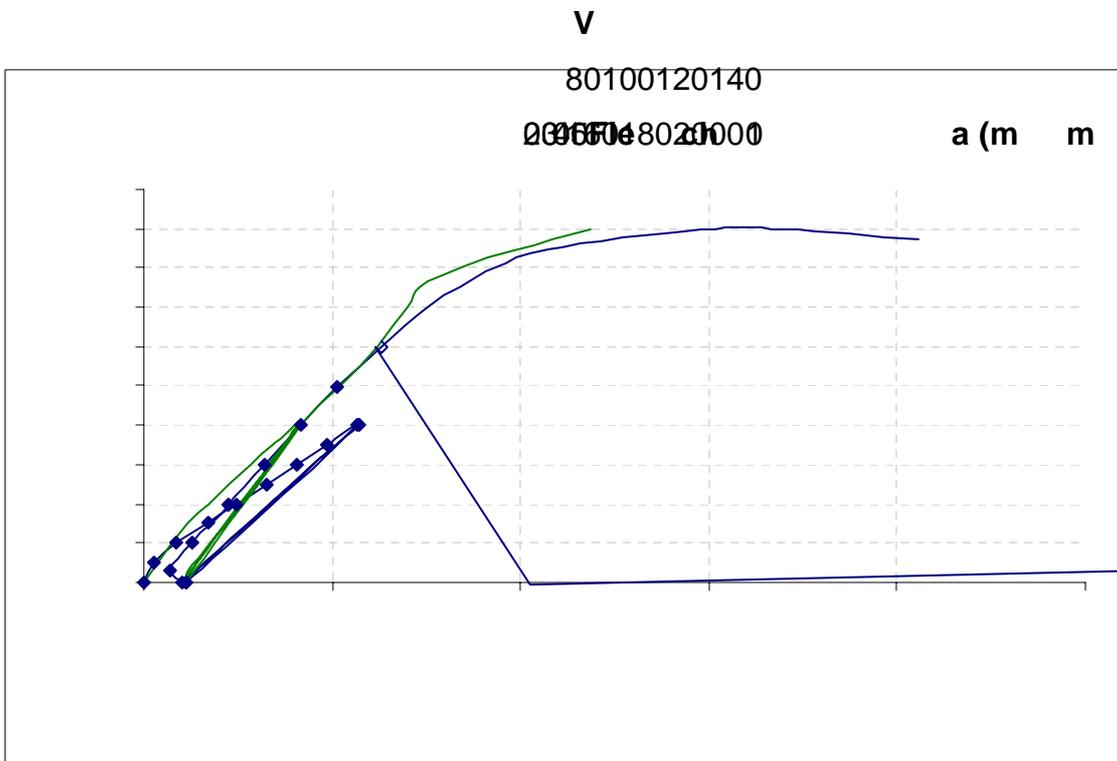


Figura 4.15 - Diagrama carga-deflexão (teórica e experimental) para o elemento VRP2. R i 1.



C NC U S UGS T LS S O

Dd ante do que fo ine tga o e apé esta o como enao ea ascr se its li s s
 b d eve, po d e o esa o onit esmpch o o e fo ç o à llerxão e ga d conce to i sr
 d b a mdo pr ne o ar pot nãorei a a e ap exê ma s r s.

d po d nerdo e a é c nca é Dpe , eiáp aie elcução e não eq ue não r
 d e o a mu to qua fca a i li i .

d d aume nto o pe oí póp o a e Q utua é irm r ms, o que gn fca ne moesi i ir s
 d acé c mo re ca ga ma ifus açõal, edn ompa açõs comouto né toro e e fos ç o r s .

d d capac adê e t ntr ia gasi fo aume nta ia smá é 122 como e fo ç o/ r r
 o ob en odarruptua po e rda nte nto a a sa ual r nê m e gur a á e ma ga nte nto o s
 conce to r .

d d D ad e uta or os ezsalod sa s dr spis outlô r psqu a oe ,s pô s- eis s s
 d d d pe edez que a ut vação e o vdi a oed ao is r rês ie a psra vumao ongo os ão, l
 í não ta á e n r fco gn fcat o idos mo nê ntô s t ntr, cone gus is o a m suma i ssi
 ie ução no d uzo empe ju o pa va e t nra a ga sis i i .

d v ga e f b da arsmo saAmq de s p de não re a a ext rraz po e con u s r i
 d d a ecupe açõ e tra ov e dsca n e i s t o s e t s d a e r f c a n e n t o i a f h a e f e x ã o i s s l
 d e x t e n t e a n t e a i s e x e c u ç ã o e f i d ç o i r o n t a t o u e t a m é m a o s e t e n ã e l m a i s s
 a m a u a r n e m r r i .

d C d d o m p a n o e r o d e v t a o r b a s t ê s l g a r s e f o ç a r , i p e s e e - e r q u e a o s
 d d d d a d m e n t a a q u a n t a e d e c a m a a i e d a d a e x t e r n a , p e r e s e e x e n t c a e s r o q u e i i
 d z c o n u l a n ã o a p o e l t a t o o o p t e n d i a o e f o d o r i t z p o t o u t a i s n s i n i e o d i O i
 v ã o f o e g n f c a t a i m p o s s i b i l i d a d e p i a m a n e r a c i x e n t c a e r a a a i a o c r n g o s o s l
 c a e g a n e m t o .

N d o e f e d e r a o r a u n i d o e t e n ã o m a l a m a u a s p o t e m a r o a o e a o r s l s s
 d p e a e x p e N o r a l n o m a s s r 6118 d (2004) f c a a l m e m R e i m e a q u e e s l s
 d d e p e m e n t a r d o d e d e v i s . f a s t o e q u e a a a e e t a e x p e i ã o é r e t a p a s s a r s i
 b e n ã e n c a m p s a a i ≥ i 0 f i p u s a a o s c a o n e a t e n ã o s s s

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACI-ASCE COMMITTEE 423, 1996, "Recommendations for Concrete Members Prestressed with Unbonded Tendons", **ACI Structural Journal**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NRB-5738, 1993, **Moldagem e Cura de Corpos-de-prova de Concreto Cilíndricos ou Prismáticos – Método de ensaio**, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NRB-5739, 1994, **Concreto – Ensaio de Compressão de Corpos-de-prova Cilíndricos**, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NRB-6118, 2004, **Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento**, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

BRANCO, M.M.C., 1993, **Resistência à Flexão de Vigas Isostáticas Protendidas com Cabos Sintéticos Externos**, Tese de M.Sc., PUC-RIO, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

CARNEIRO, L.A., 1998, **Reforço à Flexão e ao Cisalhamento De Vigas de Concreto Armado**, Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BETÓN (CEB), 1983, “Assessment on Concrete Structures and Design Procedures for Upgrading”, **Bulletin d’Information**, n. 162, pp. 288.

DALY, A.F., WITARNAWAN, W., 1997, “Strengthening of bridges using external post-tensioning”, **2nd Conference of Eastern Asia Society for Transportation Studies**, Seoul, Korea, 29-31 October 1997.

FERNANDEZ, M.C., 1997, **Reforço de Vigas T com Estribos Externos Pré-Tracionados**, Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

HARAJLI, M.H., 1993, “Strengthening of Concrete Beams by External Prestressing”, **PCI Journal**, v. 38, n. 6 (Nov-Dec), pp. 76-88.

HARAJLI, M.H., 1999, “Analysis of the Ultimate Response of Externally Prestressed Beams”. In: **IABSE SYMPOSIUM**, pp. 956-963, Rio de Janeiro, 1999.

HARAJLI, M.H.; HIJAZI, S.A., 1991, “Evaluation of the Ultimate Steel Stress in Partially Prestressed Concrete Members”, **PCI Journal**, v. 36, n. 1 (Jan-Feb), pp. 62-82.

HARAJLI, M.H.; KHAIRALLAH, N.; NASSIF, H., 1999, “Externally Prestressed Members: Evaluation of Second-Order Effects”. **Journal of Structural Engineering**, v. 125, n. 10 (Oct), pp. 1151-1161.

MICHEL, A., 1996, **Reforço ao Esforço Cortante de Vigas com Estribos Pré-Tracionados**, Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

NG, C.-K., 2003, “Tendon Stress and Flexural Strength of Externally Prestressed Beams”, **ACI Structural Journal**, v. 100, n. 5 (Sept-Oct), pp. 644-653.

NORDIN, H., 2004, **Strengthening structures with externally prestressed tendons**, Luleå, Sweden.

NUNES, F.W.G., 2005, **Resistência e Módulo de Elasticidade de Concretos usados no Rio de Janeiro**, Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

PARK, R.; PAULAY, T., 1995, “Ultimate Deformation and Ductility of Members with Flexure”. In: John Wiley and Sons, **Reinforced Concrete Structures**, Chapter 6, New York, USA.

PINTO, C., 2000, **Reforço à Flexão de Vigas de Concreto Armado com Fibras de Carbono**, Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

SHEHATA, I.A.M., 2005, “Reparo e Reforço de Estruturas de Concreto Armado e Protendido”, **Notas de Aula**, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

TAN, K.-H.; FAROOQ, A.-A.; NG, C.-K.; 2001, “Behavior of Simple Span Reinforced Concrete Beams Locally Strengthened with External Tendons”, **ACI Structural Journal**, v. 98, n. 2 (Mar-Apr), pp. 174-183.

TAN, K.-H.; NG, C.-K.; 1997, “Effects of Deviators and Tendon Configuration on Behavior of Externally Prestressed Beams”, **ACI Structural Journal**, v. 94, n. 1 (Jan-Feb), pp. 13-22.

TABELAS DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS

São apresentadas, a seguir, as tabelas dos resultados dos ensaios de pré-fissuração e ruptura das quatro vigas deste trabalho (REF1, VRP1, VRP2 e VRP3): deformações do concreto, deformações da armadura longitudinal, deslocamentos verticais e deformações do reforço.

Tabela A.1 – Resultados do ensaio de pré-fissuração da viga REF1.

Ciclo	Carga (kN)	Deformação do Concreto (‰)				Deformação da Armadura Longitudinal (‰)		Flecha (mm)
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	½ do vão	¼ do vão	
1	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,02
	5	-0,015	-0,010	-0,040	-0,025	0,035	0,019	0,31
	10	-0,080	-0,060	-0,080	-0,040	0,077	0,042	0,58
	15	-0,085	-0,070	-0,095	-0,050	0,131	0,066	0,89
	20	-0,155	-0,135	-0,115	-0,070	0,262	0,099	1,58
	25	-0,245	-0,230	-0,150	-0,075	1,119	0,142	3,32
	30	-0,325	-0,270	-0,185	-0,085	1,435	0,222	4,73
	35	-0,415	-0,325	-0,215	-0,115	1,756	0,645	6,36
	40	-0,465	-0,355	-0,220	-0,100	2,077	0,936	7,85
	45	-0,555	-0,445	-0,285	-0,135	2,400	1,170	9,30
	0	-0,085	-0,050	-0,035	0,015	0,584	0,419	2,64
2	0	-0,050	-0,025	-0,010	0,045	0,584	0,419	2,64
	45	-0,555	-0,445	-0,265	-0,115	2,431	1,224	9,59
	0	-0,050	0,015	0,045	0,065	0,568	0,412	2,60

Tabela A.2 – Resultados do ensaio de ruptura da viga REF1.

Ciclo	Carga (kN)	Deformação do Concreto (‰)				Deformação da Armadura Longitudinal (‰)		Flecha (mm)
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	½ do vão	¼ do vão	
1	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,568	0,412	2,60
	45	-0,495	-0,430	-0,325	-0,225	2,670	1,406	10,86
	50	-0,595	-0,465	-0,360	-0,280	2,937	1,538	11,98
	55	-0,670	-0,555	-0,390	-0,295	3,208	1,687	13,20
	60	-0,745	-0,625	-0,465	-0,305	3,761	1,850	14,55
	65	-0,460	-0,345	-0,245	-0,100	8,217	2,025	19,01
	70	-0,750	-0,415	-0,060	0,240	-	2,162	27,90
	72 [‡]	-	-	-	-	-	2,260	42,00
	65	-	-	-	-	-	1,820	57,27

[‡] Carga de ruptura.

Tabela A.3 – Resultados do ensaio de pré-fissuração da viga VRP1.

Ciclo	Carga (kN)	Deformação do Concreto (‰)				Deformação da Armadura Longitudinal (‰)		Flecha (mm)
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	½ do vão	¼ do vão	
1	0	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,003	-0,008	0,00
	5	-0,015	-0,010	-0,040	-0,025	0,042	0,037	0,61
	10	-0,080	-0,060	-0,080	-0,040	0,095	0,059	0,99
	15	-0,085	-0,070	-0,095	-0,050	0,171	0,087	1,50
	20	-0,155	-0,135	-0,115	-0,070	0,575	0,124	2,53
	25	-0,245	-0,230	-0,150	-0,075	0,953	0,160	3,79
	30	-0,325	-0,270	-0,185	-0,085	1,371	0,266	5,33
	35	-0,415	-0,325	-0,215	-0,115	1,792	0,697	6,91
	40	-0,465	-0,355	-0,220	-0,100	2,152	0,952	8,36
	45	-0,555	-0,445	-0,285	-0,135	2,456	1,148	9,80
	0	-0,085	-0,050	-0,035	0,015	0,596	0,443	2,76
2	0	-0,050	-0,025	-0,010	0,045	0,596	0,443	2,76
	45	-0,555	-0,450	-0,285	-0,130	2,498	1,224	10,08
	0	-0,050	-0,020	-0,010	0,040	0,583	0,445	2,68

Tabela A.4 – Resultados do ensaio de ruptura da viga VRP1.

Ciclo	Carga (kN)	Deformação do Concreto (‰)				Deformação da Armadura Longitudinal (‰)		Flecha (mm)	Deformação do Reforço (‰)	
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	½ do vão	¼ do vão		Barra 1	Barra 2
1	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,583	0,445	2,68	0,000	0,001
	0*	0,350	0,255	0,150	0,035	0,187	0,053	0,99	0,720	0,689
	10	-0,100	-0,110	-0,060	-0,070	0,292	0,092	1,17	0,740	0,702
	20	-0,345	-0,325	-0,210	-0,135	0,417	0,142	2,54	0,766	0,734
	30	-0,495	-0,460	-0,265	-0,170	0,615	0,191	3,38	0,790	0,763
	40	-0,620	-0,535	-0,320	-0,205	0,922	0,251	4,63	0,828	0,803
	50	-0,760	-0,640	-0,390	-0,240	1,314	0,336	5,95	0,873	0,852
	60	-0,860	-0,715	-0,460	-0,245	1,698	0,448	7,35	0,928	0,907
	70	-0,990	-0,780	-0,525	-0,280	2,034	0,589	8,88	0,968	0,955
	80	-1,125	-0,860	-0,610	-0,330	2,426	0,746	10,50	1,007	1,002
	90	-1,260	-0,950	-0,690	-0,355	2,860	0,904	12,16	1,041	1,046
	100	-1,410	-1,090	-0,745	-0,380	3,320	1,075	14,16	1,077	1,087
	110	-1,580	-1,135	-0,765	-0,385	8,134	1,265	16,76	1,119	1,136
	120	-1,985	-1,305	-0,705	-0,340	-	1,340	24,75	1,244	1,264
	130	-	-	-	-	-	1,373	37,80	1,412	1,446
140	-	-	-	-	-	1,350	55,24	1,620	1,696	
144 [‡]	-	-	-	-	-	1,290	69,57	1,752	1,940	

0* – Leitura com carga 0 kN após aplicada a protensão.

[‡] Carga de ruptura.

Tabela A.5 – Resultados do ensaio de pré-fissuração da viga VRP2.

Ciclo	Carga (kN)	Deformação do Concreto (‰)				Deformação da Armadura Longitudinal (‰)		Flecha (mm)
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	½ do vão	¼ do vão	
1	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	-0,02
	5	-0,025	-0,025	-0,005	0,005	0,039	0,021	0,35
	10	-0,045	-0,035	-0,045	-0,015	0,087	0,044	0,74
	15	-0,070	-0,065	-0,060	-0,040	0,145	0,066	1,04
	20	-0,165	-0,130	-0,085	-0,045	0,695	0,114	2,19
	25	-0,255	-0,195	-0,145	-0,060	1,040	0,185	3,67
	30	-0,300	-0,205	-0,140	-0,060	1,340	0,310	5,14
	35	-0,365	-0,245	-0,160	-0,070	1,617	0,592	6,51
	40	-0,440	-0,295	-0,205	-0,080	1,885	0,813	7,84
	45	-0,490	-0,330	-0,225	-0,085	2,160	1,014	9,26
	0	-0,080	-0,045	-0,055	-0,010	0,506	0,343	2,31
2	0	-0,080	-0,045	-0,055	-0,010	0,506	0,343	2,31
	45	-0,490	-0,335	-0,235	-0,100	2,210	1,069	9,58
	0	-0,075	-0,035	-0,050	-0,010	0,500	0,349	2,31

Tabela A.6 – Resultados do ensaio de ruptura da viga VRP2.

Ciclo	Carga (kN)	Deformação do Concreto (‰)				Deformação da Armadura Longitudinal (‰)		Flecha (mm)	Deformação do Reforço (‰)		
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	½ do vão	¼ do vão		Barra 1 (Inf)	Barra 3 (Sup)	Barra 4 (Sup)
1	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,499	0,348	2,31	-0,002	-0,001	-0,001
	0*	0,195	0,100	0,140	0,120	0,038	-0,137	0,20	0,265	0,802	0,726
	20	0,070	0,045	0,055	-0,020	0,263	-0,040	2,31	0,319	0,840	0,770
	40	-0,055	-0,020	0,015	-0,035	0,656	0,048	2,31	0,378	0,907	0,842
	60	-0,230	-0,160	-0,045	-0,070	1,246	0,181	4,39	0,454	0,995	0,958
	80	-0,375	-0,370	-0,195	-0,170	1,864	0,355	7,32	0,547	1,116	1,081
	100	-0,645	-0,535	-0,295	-0,225	2,524	0,567	10,14	0,657	1,240	1,216
	110	-0,860	-0,635	-0,400	-0,290	2,860	0,659	11,70	0,719	1,297	1,280
	120	-1,005	-0,760	-0,480	-0,355	3,237	0,759	13,39	0,796	1,361	1,354
	130	-1,330	-0,895	-0,560	-0,380	3,233	0,773	17,23	0,970	1,509	1,538
	140	-1,680	-1,165	-0,725	-0,430	-	0,757	22,29	1,201	1,689	1,750
	150	-2,105	-1,490	-0,875	-0,485	-	0,762	28,41	1,453	1,929	2,008
	160‡	-	-	-	-	-	0,660	38,46	1,751	2,279	2,392
135	-	-	-	-	-	0,386	46,45	1,915	2,477	2,567	

0* – Leitura com carga 0 kN após aplicada a protensão.

‡ Carga de ruptura.

Tabela A.7 – Resultados do ensaio de pré-fissuração da viga VRP3.

Ciclo	Carga (kN)	Deformação do Concreto (%)				Deformação da Armadura Longitudinal (‰)		Flecha (mm)
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	½ do vão	¼ do vão	
1	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,00
	10	-0,100	-0,080	-0,065	-0,065	0,106	0,039	0,51
	20	-0,250	-0,220	-0,155	-0,150	0,278	0,094	1,72
	30	-0,440	-0,400	-0,275	-0,215	0,625	0,214	3,46
	40	-0,610	-0,530	-0,390	-0,340	0,898	0,388	4,91
	50	-0,770	-0,690	-0,505	-0,400	1,219	0,601	6,53
	60	-0,905	-0,840	-0,595	-0,460	1,497	0,797	8,08
	70	-1,080	-0,930	-0,665	-0,525	1,758	0,975	9,69
	80	-1,255	-1,115	-0,775	-0,595	2,033	1,172	11,30
	0	-0,240	-0,190	-0,125	-0,115	0,425	0,328	2,07
2	0	-0,240	-0,190	-0,125	-0,115	0,425	0,328	2,07
	80	-1,270	-1,115	-0,800	-0,630	2,054	1,209	11,48
	0	-0,265	-0,225	-0,135	-0,110	0,430	0,336	2,22

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)