

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE MESTRADO**

MURILO MEIRON DE PÁDUA SOARES

**INFLUÊNCIA DA PROXIMIDADE DE BORDA, DA
ALTURA EFETIVA, DO COMPRIMENTO ADERENTE E
DO DIÂMETRO DA HASTE NA RESISTÊNCIA DE PINOS
DE ANCORAGEM.**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Civil da EEC/UFG, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de concentração: Estruturas e Materiais.

Orientador: Prof.: Ronaldo Barros Gomes, Ph.D

Co-orientador: Prof.: Gilson Natal Guimarães, Ph.D

Goiânia
2007

Livros Grátis

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

Milhares de livros grátis para download.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL

**INFLUÊNCIA DA PROXIMIDADE DE BORDA, DA
ALTURA EFETIVA, DO COMPRIMENTO ADERENTE E
DO DIÂMETRO DA HASTE NA RESISTÊNCIA DE PINOS
DE ANCORAGEM.**

MURILO MEIRON DE PÁDUA SOARES

Área de concentração: Estruturas e Materiais.

Orientador: Prof.: Ronaldo Barros Gomes, Ph.D

Co-orientador: Prof.: Gilson Natal Guimarães, Ph.D

Goiânia
2007

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(GPT/BC/UFG)

<p>S676i Soares, Murilo Meiron de Pádua. Influência da proximidade de borda, da altura efetiva, do comprimento aderente e do diâmetro da haste na resistência de pinos de ancoragem / Murilo Meiron de Pádua Soares. - 2007. 173 f.: il.,figs., tabs.</p> <p>Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás. Escola de Engenharia Civil, 2007.</p> <p>Orientador: Prof. Ronaldo Barros Gomes, Ph.D.; Co-Orientador: Prof. Gilson Natal Guimarães, Ph.D.</p> <p>Bibliografia: f. 140 - 142. Inclui lista de figuras, de tabelas, de símbolos e de abreviaturas. Anexos.</p> <p>1. Ancoragem (Engenharia de estruturas) 2. Pinos – Ancoragem (Engenharia de estruturas) – Influência e resultados I. Gomes, Ronaldo Barros II. Guimarães, Gilson Natal III. Universidade Federal de Goiás. Escola de Engenharia Civil IV. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 621.886</p>
--

SOARES, Murilo Meiron de Pádua. *Influência da proximidade de borda, da altura efetiva, do comprimento aderente e do diâmetro da haste na resistência de pinos de ancoragem*. 2007. 173 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007.

Cessão de Direitos

Nome do Autor: Murilo Meiron de Pádua Soares

Título da Dissertação de Mestrado: Influência da proximidade de borda, da altura efetiva, do comprimento aderente e do diâmetro da haste na resistência de pinos de ancoragem.

Grau/Ano: Mestre/2007

É concedida à Universidade Federal de Goiás permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Murilo Meiron de Pádua Soares
Rua Manaus, Qd. 125 Lt. 23 Parque Amazônia
CEP: 74843 170 – Goiânia / GO – Brasil

**INFLUÊNCIA DA PROXIMIDADE DE BORDA, DA
ALTURA EFETIVA, DO COMPRIMENTO ADERENTE E
DO DIÂMETRO DA HASTE NA RESISTÊNCIA DE PINOS
DE ANCORAGEM.**

MURILO MEIRON DE PÁDUA SOARES

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada em 25 de junho de 2007, pela banca
examinadora constituída pelos professores:

Professor Ronaldo Barros Gomes, Ph.D. (UFG)
(ORIENTADOR)

Professor Gilson Natal Guimarães, Ph.D. (UFG)
(CO-ORIENTADOR)

Professora Andréa Prado Abreu Reis Liserre, D.Sc.(UFG)
(EXAMINADOR INTERNO)

Professor Giuseppe Barbosa Guimarães, Ph.D. (PUC – RIO)
(EXAMINADOR EXTERNO)

DEDICATÓRIA

**Aos meus pais Manoel Soares e Maria de Fátima,
as minhas irmãs Paula e Helen
e em especial a minha noiva Loriene, pelo carinho e compreensão.**

AGRADECIMENTOS

À DEUS, por estar sempre presente em minha vida. À minha família, por acreditar e colaborar em todos os meus passos e a minha noiva Loriene pelo carinho e compreensão nos momentos difíceis.

Ao meu orientador Prof. Ronaldo Barros Gomes, pela dedicação na realização dessa dissertação e apoio durante o curso de mestrado.

Ao meu co-orientador Prof. Gilson Natal Guimarães, pela participação efetiva no desenvolvimento dessa dissertação.

Aos professores do CMEC/UFG, em especial ao Prof. Orlando Ferreira Gomes, pelo convívio e ensinamentos.

Ao Eng.º Reginaldo Porto, Concreto Realmix, ao Eng.º Jerônimo Sousa, Perfinasa – Perfilados e Ferros Nossa Senhora Aparecida Ltda, e ao Richileu Miranda, da IMPERCIA S.A, pelo incentivo ao desenvolvimento e colaboração ao curso de mestrado da UFG.

À empresa Carlos Campos Consultoria e Construções Limitada, na pessoa do Geólogo Carlos Campos pelo apoio e pela realização dos ensaios de caracterização dos materiais.

Aos alunos do CMEC/UFG das turmas de 2004 a 2006 e aos alunos de iniciação científica pela amizade e companheirismo; aos técnicos dos laboratórios das instituições UCG e Cefet-GO, que ajudaram na realização dos ensaios.

A todos da secretaria do curso de mestrado, em especial ao Tancredo.

À Capes – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior e ao PROCAD – Programa Nacional de Cooperação Acadêmica, pelo apoio financeiro.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE SIMBOLOS

LISTA DE ABREVIATURAS

RESUMO

ABSTRACT

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO	23
1.1 GENERALIDADES	23
1.2 OBJETIVO E JUSTIFICATIVA	24
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	24

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	26
2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	26
2.2 SISTEMAS DE ANCORAGEM.....	26
2.3 MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE CARGA	28
2.3.1 Ancoragem mecânica	28
2.3.2 Ancoragem por atrito.....	28
2.3.3 Ancoragem por aderência.....	28
2.4 TIPOS DE ANCORAGENS PARA CONCRETO	29
2.4.1 Pré-instalados	29
2.4.2 Pós-instalados	31
2.4.3 Barra de aço nervurada com ancoragem de cabeça.....	33
2.5 MODOS DE RUPTURA.....	34
2.5.1 Ruptura do Aço.....	34
2.5.2 Ruptura do Cone de Concreto	35
2.5.3 Ruptura por Escorregamento	35
2.5.4 Ruptura por Fendilhamento	36
2.5.5 Ruptura Lateral	36

2.6	FATORES QUE PODEM INFLUENCIAR A CAPACIDADE RESISTENTE DE UM PINO DE ANCORAGEM	36
2.6.1	Proximidade da Borda	36
2.6.2	Efeito de Cunha	37
2.6.3	Efeito de Disco	38
2.6.4	“ <i>Size Effect</i> ”	38
2.6.5	Relação entre o Diâmetro do dispositivo de Ancoragem e a Altura Efetiva	39
2.6.6	Aderência.....	39
2.6.7	Armadura Adicional	41
2.6.8	Excentricidade da Carga.....	41
2.6.9	Solda	42
2.6.10	Ancoragem de Grupo.....	42
2.6.11	Concreto Fissurado	42
2.7	PESQUISAS NACIONAIS	43
2.7.1	Jermann – UFF (1993).....	43
2.7.2	Oliveira – PUC –Rio (2003).....	44
2.7.3	Meira – UFG – (2005).....	45
2.7.4	Martins Junior PUC - Rio – (2006)	47
2.8	NORMAS E MÉTODOS DE CÁLCULO	48
2.8.1	Ângulo de 34°	48
2.8.2	Ângulo de 45°	53
2.8.3	Ângulo variando entre 28° e 45°	56

CAPÍTULO 3

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	58	
3.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	58
3.2	PARÂMETROS E VARIÁVEIS	58
3.3	PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	59
3.4	ESQUEMA DE ENSAIO.....	67
3.5	DETALHAMENTO DOS MODELOS ENSAIADOS	71
3.6	FÔRMAS.....	72
3.7	MATERIAIS	73
3.7.1	Concreto Convencional	73

3.7.2	Aço	73
3.8	INSTRUMENTAÇÃO	74
3.9	PROCEDIMENTO PARA A REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS.....	76

CAPÍTULO 4

APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	79	
4.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	79
4.2	MATERIAIS	79
4.2.1	Concreto	79
4.2.2	Aço	83
4.3	MODO DE RUPTURA	85
4.4	CARGA DE RUPTURA	87
4.4.1	Pinos com $A_n / A_0 = 1,00$	87
4.4.2	Pinos com $A_n / A_0 = 0,80$	89
4.4.3	Pinos com $A_n / A_0 = 0,70$	90
4.5	DESLOCAMENTO VERTICAL E HORIZONTAL.....	91
4.6	SUPERFÍCIE DE RUPTURA.....	93

CAPÍTULO 5

ANÁLISE DOS RESULTADOS	96	
5.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	96
5.1	CARGA E MODO DE RUPTURA	96
5.2.1	Influência da altura efetiva	97
5.2.2	Influência da proximidade de borda	102
5.2.3	Influência da variação do comprimento de aderência	106
5.2.1	Influência da variação do diâmetro da haste	111
5.3	COMPARAÇÃO DAS CARGAS EXPERIMENTAIS E MÉTODOS DE CÁLCULO	117
5.4	SUPERFÍCIE DE RUPTURA.....	123
5.5	DESLOCAMENTO VERTICAL DO PINO.....	127
5.6	PROPOSTA DE ADAPTAÇÃO NO MÉTODO DE CÁLCULO DE MEIRA (2005)	130

CAPÍTULO 6

CONCLUSÃO DOS RESULTADOS	135
6.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	135
6.1.1 Influência da altura efetiva	135
6.1.2 Influência da proximidade de borda	135
6.1.3 Influência do comprimento de aderência.....	136
6.1.4 Influência do diâmetro da haste do pino.....	136
6.1.5 Avaliação dos métodos de cálculo.....	136
6.1.6 Superfície de ruptura	136
6.1.7 Deslocamento vertical dos pinos	137
6.1.8 Proposta de adaptação no método de cálculo de Meira (2005)	137
6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	138
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	140
ANEXO A – CARACTERÍSTICAS DOS PINOS ENSAIADOS NO PRÉ-TESTE .	143
ANEXO B – RESULTADOS DOS PINOS ENSAIADOS NO PRÉ-TESTE.....	145
ANEXO C – CARACTERÍSTICAS DOS PINOS DA DISSERTAÇÃO.....	149
ANEXO D – DESLOCAMENTO VERTICAL DO PINO	151
ANEXO E – SUPERFÍCIE DE RUPTURA.....	159

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Elementos básicos que compõem uma ancoragem; adaptado de <i>Fastenings to Concrete and Masonry Structures</i> – (CEB, 1994)	27
Figura 2.2 – Tipos de solicitações: (a) e (b) força normal; (c) cisalhamento; (d) tração e cisalhamento combinados; (e) tração, cisalhamento e momento fletor combinados; adaptado de <i>Fastenings to concret and masonry structures</i> – (CEB, 1994).....	27
Figura 2.3 – Mecanismos de transferências de carga: (a) ancoragem mecânica; (b) atrito; (c) aderência; adaptado de <i>Fastenings to Concrete and Masonry Structures.</i> – (CEB, 1994).....	29
Figura 2.4 – Tipos de ancoragem pré-instaladas – (ACI 318M-05).....	30
Figura 2.5 – Chumbadores de encaixe – (<i>Fastenings to Concrete and Masonry</i> – CEB, 1994).....	31
Figura 2.6 – Pinos de ancoragem pós-instalados (CEB Bulletin nº 233, 1997).....	31
Figura 2.7 – Mecanismos de transferência de carga (Thompson <i>et al.</i> ,2003).....	33
Figura 2.8 – Tipos de ruptura segundo (Fuchs <i>et al</i> 1995).....	34
Figura 2.9 – Exemplo dos tipos de ruptura: (a) Ruptura do aço, (b) Ruptura do cone de concreto, (c) Ruptura por escorregamento, (d) Ruptura por fendilhamento e (e) Ruptura Lateral – <i>Fastenings to concrete and masonry structures</i> – (CEB ,1994).....	35
Figura 2.10 – Exemplo da presença de mais de uma borda (ACI 318 – 2005).....	37
Figura 2.11 – Ação de cunha segundo (Hasselwander <i>et al</i> , 1988).....	37
Figura 2.12 – Plano de inclinação do cone de ruptura (Jermann, 1993).....	38
Figura 2.13 – Gráfico Força de Arrancamento x Deslocamento (Ozbolt <i>et al.</i> ,1999)	39
Figura 2.14 – Aderência em barras nervuradas – (CEB, 1994).....	40
Figura 2.15 – Curva Força x Deslocamento da Cabeça do Pino (De Vries <i>et al.</i> , 1999)....	40
Figura 2.16 – Exemplo de armadura adicional (CEB Bulletin nº 233, 1997).	41
Figura 2.17 – Exemplo da sobreposição dos cones	42
Figura 2.18 – Exemplo da transferência de carga (Eligehausen e Balogh, 1995).....	43
Figura 2.19 – Configuração do pino – (Meira, 2005).....	46
Figura 2.20 – Distribuição dos modelos ensaiados - (Meira, 2005).....	46

Figura 2.21 – Exemplos dos cones de ruptura (CEB Bulletin 233, 1987; Fuchs <i>et al.</i> , 1995; ACI 318-05, 2005).....	50
Figura 2.22 – Cone de ruptura (De Vries <i>et al.</i> , 1999).....	51
Figura 2.23 – Cone de ruptura segundo (Bode e Roik, 1987).....	52
Figura 2.24 – Plano de tensão biaxial de compressão	53
Figura 2.25 – Plano de tensão biaxial de tração	54
Figura 2.26 – Cone de ruptura segundo Método (ACI 349 – 76, 1976).....	54
Figura 2.27 – Cone de ruptura segundo Método TRW Nelson Division (1974) (Klingner e Mendonça, 1982).....	55
Figura 2.28 – Cone de ruptura segundo Método VAC (1984) (Farrow e Klingner, 1995). 57	
Figura 3.1 – Características geométricas do pino.....	59
Figura 3.2 – Disposição dos pinos isolados e de borda da primeira etapa.	62
Figura 3.3 – Fotografia da distância da base do pórtico em relação ao cone de ruptura.....	62
Figura 3.4 – Localização e disposição dos pinos – Unidade (mm).....	63
Figura 3.5 – Fotografia dos perfis U, inferior e superior.....	68
Figura 3.6 – Desenho das chapas em L para os pinos com diâmetros de 16 e 20 mm.....	69
Figura 3.7 – Desenho do esquema de ensaio – unidade em (mm)	69
Figura 3.8 – Fotografia do esquema de ensaio	70
Figura 3.9 – Fissura de flexão nas lajes e fotografia do pórtico.....	71
Figura 3.10 – Configuração dos pinos preparados para concretagem.....	71
Figura 3.11 – Fotografias das formas preparadas para concretagem com pinos fixados	72
Figura 3.12 – Fixação dos pinos nas formas	73
Figura 3.13 – Ensaio à tração das barras de aço.....	74
Figura 3.14 – Esquema geral da posição dos relógios comparadores.	75
Figura 3.15 – Fotografia da posição dos relógios comparadores	75
Figura 3.16 – Fotografia da leitora digital e célula de carga.	76
Figura 3.17 – Fotografia do pórtico posicionado para situações de borda e pinos centrais	76
Figura 3.18 – Fotografia do pórtico montado.....	77
Figura 3.19 – Fotografia do perfil U superior e perfil U inferior	77
Figura 4.1 – (a) Curva da resistência à compressão do concreto na 1ª concretagem.	81
Figura 4.1 – (b) Curva da resistência à compressão do concreto na 2ª concretagem.....	81
Figura 4.1 – (c) Curva da resistência à compressão do concreto na 3ª concretagem	82
Figura 4.2 – (a) Curva Tensão x Deformação do aço 10 mm de diâmetro.	83

Figura 4.2 – (b) Curva Tensão x Deformação do aço 12,5 mm de diâmetro	84
Figura 4.2 – (c) Curva Tensão x Deformação do aço 16 mm de diâmetro	84
Figura 4.2 – (d) Curva Tensão x Deformação do aço 20 mm de diâmetro	84
Figura 4.3 – (a) Fotografia da formação do cone de concreto de pinos isolados	85
Figura 4.3 – (b) Vista geral da formação do cone de concreto de pinos de borda	85
Figura 4.4 – Vista inferior dos pinos P _{50-B-12-A50} e P _{75-b-12-A100} e vista lateral do pino P _{75-b-12-A100}	86
Figura 4.5 – Vista Inferior, lateral e perspectiva do pino P _{100-b-16-A0}	86
Figura 4.6 – Gráfico dos pinos com relação $A_n/A_0=1,00$	91
Figura 4.7 – Gráfico dos pinos com relação $A_n/A_0=1,00$	92
Figura 4.8 – Gráfico dos pinos com relação $A_n/A_0=0,8$ e $A_n/A_0=0,7$	93
Figura 4.9 – Posição e direções dos pontos medidos	94
Figura 4.10 – Superfície de ruptura do pino P _{100-I-16-A0}	94
Figura 4.11 – Superfície de ruptura do pino P _{100-B-16-A50}	94
Figura 4.12 – Superfície de ruptura do pino P _{100-b-16-A100}	95
Figura 5.1 – Gráfico da Carga(kN) x Altura efetiva (mm) com proximidade de borda fixada em 1,00 e variação do comprimento aderente e diâmetro da haste do pino	98
Figura 5.2 – Gráfico da Carga(kN) x Altura efetiva (mm) com proximidade de borda fixada em 0,80 e variação do comprimento aderente e diâmetro da haste do pino.	100
Figura 5.3 – Gráfico da Carga(kN) x Altura efetiva (mm) com proximidade de borda fixada em 0,70 e variação do comprimento aderente e diâmetro da haste do pino.	102
Figura 5.4 – Gráfico da Carga (kN) x Proximidade de borda com comprimento aderente fixado em 0% de l_b e variação da altura efetiva e diâmetro da haste do pino.	104
Figura 5.5 – Gráfico da Carga (kN) x Proximidade de borda com comprimento aderente fixado em 50% de l_b e variação da altura efetiva e diâmetro da haste do pino	105
Figura 5.6 – Gráfico da Carga (kN) x Proximidade de borda com comprimento aderente fixado em 100% de l_b e variação da altura efetiva e diâmetro da haste do pino.	106

Figura 5.7 – Gráfico da Carga (kN) x Comprimento aderente e relação A_n / A_0 fixada em 1,00 e variação da altura efetiva e diâmetro da haste do pino	108
Figura 5.8 – Gráfico da Carga (kN) x Comprimento aderente e relação A_n / A_0 fixada em 0,80 e variação da altura efetiva e diâmetro da haste do pino	109
Figura 5.9 – Gráfico da Carga (kN) x Comprimento aderente e relação A_n / A_0 fixada em 0,70 e variação da altura efetiva e diâmetro da haste do pino.....	111
Figura 5.10 – Gráfico da Carga (kN) x Diâmetro da haste com relação A_n / A_0 fixada em 1,00 e variação da altura efetiva e comprimento aderente	112
Figura 5.11 – Gráfico da Carga (kN) x Diâmetro da haste com relação A_n / A_0 fixada em 0,80 e variação da altura efetiva e comprimento aderente	114
Figura 5.12 – Gráfico da Carga (kN) x Diâmetro da haste com relação A_n / A_0 fixada em 0,70 e variação da altura efetiva e comprimento aderente	114
Figura 5.13 – Superfície de ruptura do pino P _{50-I-16-A0}	123
Figura 5.14 – Superfície de ruptura do pino P _{50-b-12-A50}	124
Figura 5.15 – Superfície de ruptura do pino P _{75-b-12-A0}	125
Figura 5.16 – Superfície de ruptura do pino P _{100-B-16-A0}	126
Figura 5.17 – Deslocamento vertical no eixo do pino em relação ao bloco de concreto. .	127
Figura 5.18 – Deslocamentos dos pinos com relação A_n / A_0 igual a 1,00.....	128
Figura 5.19 – Deslocamentos dos pinos com relação A_n / A_0 igual a 0,80 e 0,70.....	129
Figura A.1 – Distribuição dos pinos ensaiados no pré-teste.....	143
Figura A.2 – Distribuição dos pinos ensaiados no pré-teste.....	144
Figura B.1 – Curva da resistência à compressão do concreto na 1ª concretagem.....	145

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Programa experimental Oliveira (2003)	45
Tabela 3.1 – Programa experimental da 1ª Etapa - Pré-teste.....	61
Tabela 3.2 – Programa experimental da 2ª etapa.....	64
Tabela 4.1 – Proporção dos materiais utilizados para o concreto $f_c = 30$ MPa	80
Tabela 4.2 – Resultados dos ensaios de caracterização do concreto.....	80
Tabela 4.3 – Resistência à compressão do concreto na data do ensaio de cada bloco.....	82
Tabela 4.4 – Características dos pinos da série com relação $A_n/A_0=1,00$	88
Tabela 4.5 – Características dos pinos da série com relação $A_n/A_0=0,80$	89
Tabela 4.6 – Características dos pinos da série com relação $A_n/A_0=0,70$	90
Tabela 5.1 – Variação da altura efetiva para relação $A_n/A_0=1,00$	97
Tabela 5.2 – Variação da altura efetiva para relação $A_n/A_0=0,80$	99
Tabela 5.3 – Variação da altura efetiva para relação $A_n/A_0=1,00$	101
Tabela 5.4 – Variação da relação A_n/A_0 com comprimento aderente l_b 0%.	103
Tabela 5.5 – Variação da relação A_n/A_0 com comprimento aderente l_b 50%.	104
Tabela 5.6 – Variação da relação relação A_n/A_0 com comprimento aderente l_b 100%.....	105
Tabela 5.7 – Variação do comprimento de aderência para relação $A_n/A_0=1,00$	107
Tabela 5.8 – Variação do comprimento de aderência para relação $A_n/A_0=0,80$	109
Tabela 5.9 – Variação do comprimento de aderência para relação $A_n/A_0=0,70$	110
Tabela 5.10 – Variação do diâmetro da haste do pino para relação $A_n/A_0=1,00$	113
Tabela 5.11 – Variação do diâmetro da haste do pino para relação $A_n/A_0=0,80$	115
Tabela 5.12 – Variação do diâmetro da haste do pino para relação $A_n/A_0=0,70$	116
Tabela 5.13 – Características dos pinos com relação $A_n/A_0=1,00$ - Métodos de Cálculo. 118	
Tabela 5.14 – Características dos pinos com relação $A_n/A_0=0,80$ - Métodos de Cálculo. 120	
Tabela 5.15 – Características dos pinos com relação $A_n/A_0=0,70$ - Métodos de Cálculo. 122	
Tabela 5.16 – Fatores Utilizados	132
Tabela 5.17 – Relação entre a carga experimental e estimada	133
Tabela 5.18 – Relação entre a carga experimental e estimada	134
Tabela A.1 – Pinos do Pré-teste	143
Tabela B.1 – Características dos pinos com relação $A_n/A_0=1,00$ – Pré-teste	145
Tabela B.2 – Características dos pinos com relação $A_n/A_0=0,80$ – Pré-teste	146

Tabela B.3 – Características dos pinos com relação $A_n/A_0=0,70$ – Pré-teste	147
Tabela C.1 – Tabela com as características dos pinos com relação $A_n/A_0=1,00$	148
Tabela C.2 – Tabela com as características dos pinos com relação $A_n/A_0=0,80$	149
Tabela C.3 – Tabela com as características dos pinos com relação $A_n/A_0=0,70$	150

LISTA DE SIMBOLOS

Letras Romanas

A	Área.
A_n	Área projetada do cone de tensão teórico interrompido pela proximidade de uma borda.
A_{S0}	Área da superfície do cone de tensão teórico afastado de uma borda.
$A_{S0, \text{cone menor}}$	Área da superfície do cone de tensão teórico reduzido afastado de uma borda.
A_0	Área projetada do cone de tensão teórico afastado de uma borda.
cc	Ruptura pelo arrancamento do cone de concreto.
cc/f	Ruptura pelo arrancamento do cone de concreto com surgimento de fissuras diagonais.
$c_{\text{mín}}$	Distância mínima do eixo do pino a uma borda para que este não sofra a influência da borda.
c_x, c_1, c_2, c_3	Distância do eixo do pino a uma borda.
C	Coefficiente multiplicador relacionado ao tipo de concreto.
d	Diâmetro da haste do pino.
d_h	Dimensão da cabeça de ancoragem do pino.
E_s	Módulo de deformação longitudinal do aço.
f_c	resistência à compressão do concreto.
f_{ck}	resistência característica do concreto à compressão, aos 28 dias.
f_t	Resistência à tração do concreto.
f_y	Tensão de início de escoamento da barra.
F	Força de tração.
F_{dh}	Força de reação gerada pela cabeça de ancoragem.

$F_{dh,bl}$	Força de reação gerada pela cabeça de ancoragem reduzida pela influência de borda.
$F_{lb,pino}$	Força de reação gerada pelo comprimento aderente do pino.
F_t	Força de tração radial.
F_u	Carga de ruptura.
$F_{u,exp}$	Carga de ruptura experimental.
$F_{u,mét. cál.}$	Carga de ruptura estimada por um método de cálculo.
$F_{u,n}$	Carga de ruptura de um pino n.
$F_{u,50}$	Carga de ruptura de um pino com altura efetiva de 50 mm.
$F_{u,75}$	Carga de ruptura de um pino com altura efetiva de 75 mm.
$F_{u,100}$	Carga de ruptura de um pino com altura efetiva de 100 mm.
$F_{u,0,70}$	Carga de ruptura de um pino com relação $A_n/A_0=0,70$.
$F_{u,0,80}$	Carga de ruptura de um pino com relação $A_n/A_0=0,80$.
$F_{u,1,00}$	Carga de ruptura de um pino com relação $A_n/A_0=1,00$.
$F_{u,0\%}$	Carga de ruptura de um pino com 0% de aderência.
$F_{u,50\%}$	Carga de ruptura de um pino com 50% de aderência.
$F_{u,100\%}$	Carga de ruptura de um pino com 100% de aderência.
$F_{u,10}$	Carga de ruptura de um pino com diâmetro de 10 mm.
$F_{u,12,5}$	Carga de ruptura de um pino com diâmetro de 12,5 mm.
$F_{u,16}$	Carga de ruptura de um pino com diâmetro de 16 mm.
$F_{u,20}$	Carga de ruptura de um pino com diâmetro de 20 mm.
h_{ef}	Altura efetiva do pino.
h'_{ef}	Altura efetiva reduzida do pino devido a presença de três ou quatro bordas.
k	Constante multiplicadora.
l	Distância.
l_b	Comprimento aderente.

$l_{b,pino}$	Comprimento aderente do pino.
L	Comprimento da haste do pino.
m_x	Momento fletor no eixo x.
m_y	Momento fletor no eixo y.
N_u	Carga de ruptura de um pino, que sofre a influência da borda, submetido a um esforço de tração.
$N_{u,grp}$	Carga de ruptura de um grupo de pinos.
$N_{u,0}$	Carga de ruptura de um pino, que não sofre a influência da borda, submetido a um esforço de tração.
P	Nome do pino.
U_n	Perímetro da área projetada do cone de tensão teórico interrompido pela proximidade de uma borda.
U_0	Perímetro da área projetada do cone de tensão teórico afastado de uma borda.

Letras Gregas

α	Ângulo da superfície de ruptura do cone de concreto.
Δl	Deslocamento vertical no eixo do pino.
$\Delta l_{aço}^c$	Deslocamento relativo ao aço calculado.
ϵ_y	Deformação de início de escoamento da armadura.
ϕ	Diâmetro.
φ	Ângulo interno entre o eixo do pino e a borda do anel de reação.
θ	Ângulo interno da parcela da área projetada do cone de tensão teórico que é interrompido pela proximidade de uma borda.
σ_N	Tensão nominal de ruptura.

$\Psi_{bl}, \Psi_c, \Psi_l$	Coeficiente multiplicador para quantificar a influência da borda.
Ψ_{ec}	Coeficiente multiplicador para quantificar a influência da excentricidade de carga.
$\Psi_{pos,Int.}$	Coeficiente multiplicador para quantificar a influência da posição intermediária.
$\Psi_{pos,Sup.}$	Coeficiente multiplicador para quantificar a influência da posição superior.
Ψ_s	Coeficiente multiplicador para quantificar a influência de um grupo de ancoragens.

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
ACI	American Concrete Institute.
CEB	Comite Euro-International du Beton.
CV	Coefficiente de Variação.
Iso.	Isolado.
M.R.	Modo de Ruptura.
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora.
PCI	Pretressed Concrete Institute.
Sup.	Superior.
TVA	Tennessee Valley Authority.
UFG	Universidade Federal de Goiás.

RESUMO

Os sistemas de ancoragem atualmente são empregados em usinas nucleares e hidroelétricas para fixação de equipamentos e tubulações na estrutura de concreto, na ligação entre elementos pré-moldados e na fixação de elementos de reforço. Neste trabalho será abordado e estudado especificamente um sistema de ancoragem pré-instalada, composto por pino de ancoragem único com cabeça quadrada e submetido a carga axial de tração. Foram realizados ensaios em 162 pinos (sendo 65 destes ensaios considerados pré-teste), tendo como principais variáveis a proximidade de um pino à borda, a variação da altura efetiva, o comprimento aderente e a variação do diâmetro da haste do pino. Os dados experimentais são comparados com os resultados teóricos de três métodos de cálculo da literatura. Os resultados experimentais mostram que ocorre uma diminuição significativa da carga à medida que a distância entre o pino e a borda diminui e também quando a altura efetiva dos mesmos diminui. A variação do comprimento aderente e do diâmetro da haste do pino, apresentaram pouco acréscimo de carga última de ruptura. Com base nos resultados experimentais e comparações com métodos de cálculo é proposto uma adaptação no método de cálculo de Meira (2005).

Palavras – chave: Ancoragem, Pinos de ancoragem, Engenharia de estruturas, Adesão, Ancoragem mecânica.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 GENERALIDADES

Os sistemas de ancoragens atualmente utilizados podem ser divididos em duas categoriais: pré-instalados, o qual é posicionado na fôrma ou no local a ser instalado antes da concretagem, e sistemas pós-instalados, que é fixado no concreto já endurecido por meio de perfuração e aplicação de compostos ligantes.

Os principais fatores que influenciam a capacidade de carga de um pino de ancoragem são: a resistência à tração do concreto, a proximidade da borda, a altura efetiva do pino, a presença de fissuras. Os dois tipos de rupturas mais comuns são: a ruptura da haste do pino, quando a força de tração aplicada na haste supera a carga de ruptura do aço, e o arrancamento do cone de concreto, que ocorre quando as tensões de tração ultrapassam a resistência à tração do concreto.

Neste trabalho, dando continuidade à linha de pesquisa iniciada por Meira (2005), é abordado e estudado especificamente um sistema de ancoragem pré-instalada, composto por pino de ancoragem único com cabeça quadrada e submetido a carga axial de tração. Neste trabalho, foram realizados ensaios em 162 pinos (sendo 65 destes ensaios considerados pré-teste e) curtos com cabeça quadrada em maciços de concreto, sujeitos a forças de tração. O pino é constituído de haste feita com aço CA-50 e com diâmetros de 10 mm, 12,5 mm, 16 mm e 20 mm, e de uma cabeça de ancoragem quadrada, com 50 mm de lado, feita com aço SAC 1045. Os maciços de concreto utilizados possuem dimensões 2200 mm x 600 mm x 400 mm e o concreto utilizado foi dosado para atingir a resistência à compressão aos 28 dias de 30 MPa.

As principais variáveis estudadas são: distância do pino até uma borda, altura efetiva, existência de aderência entre o concreto e o aço da haste do pino e variação do diâmetro da haste do pino. Os dados experimentais são comparados com os resultados

teóricos obtidos com métodos de cálculo disponíveis na literatura, sendo utilizados o de Meira (2005), De Vries (1999) e ACI 349 - 76.

1.2 OBJETIVO E JUSTIFICATIVA

O objetivo do presente trabalho é estudar o comportamento de um pino de ancoragem curto, imerso em maciços de concreto sujeito a carga de tração, por meio do ensaio de amostras. Deseja-se quantificar algumas variáveis que podem influir na resistência da ancoragem, tais como: distância do pino à borda, variação da altura efetiva, aderência entre o concreto e o aço e o diâmetro da haste do pino.

A justificativa desta pesquisa é a necessidade de um amplo conhecimento do comportamento da peça, a fim de se obter dados suficientes para um dimensionamento com um maior grau de segurança e economia, na fixação de equipamentos pesados diretamente na estrutura, bases de torres de telecomunicações e em tubulações de usina hidroelétricas.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho se encontra dividido em seis capítulos. No Capítulo 2, referente à revisão bibliográfica, são apresentadas informações sobre os tipos de ancoragens, modos de ruptura, fatores que afetam a capacidade resistente de uma ancoragem e algumas normas e métodos de cálculo para estimar a carga de ruptura de um pino sujeito à força de tração.

O Capítulo 3 descreve o procedimento experimental, detalhando os materiais utilizados, as características das peças ensaiadas, as informações a serem obtidas no ensaio, montagem dos ensaios e procedimentos para a sua realização.

No Capítulo 4 são apresentados os resultados experimentais obtidos na pesquisa, referentes a todas as etapas, modo e carga de ruptura e os deslocamentos obtidos na realização dos ensaios.

No Capítulo 5 são apresentadas as análises do comportamento do pino quanto aos fatores que influenciam a sua carga de ruptura, além de comparar a carga experimental com as cargas estimadas pelos métodos de cálculo.

O Capítulo 6 relata as conclusões obtidas, restritas às características dos pinos e dos maciços de concreto utilizados neste trabalho. No final estão relacionados os Anexos, referentes ao programa experimental do pré-teste, resultados dos ensaios dos pinos do pré-teste, tabela com as reais características dos pinos ensaiados, deslocamentos verticais dos pinos e por último as superfícies de ruptura.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Neste capítulo é feita uma descrição geral dos sistemas de ancoragens, mostrando os mecanismos de transferência de carga, tipos de ancoragens existentes, possíveis modos de ruptura, fatores que influenciam a carga última de ancoragem e métodos de cálculo utilizados para mensurar a carga última de ancoragem.

Esta revisão bibliográfica baseia-se em publicações do CEB, ACI e artigos técnicos internacionais e nacionais e dissertações. Evidencia-se o de Meira (2005), realizado na EEC-UFG, principalmente nos tópicos relacionados aos tipos de sistemas de ancoragem, modos de ruptura, mecanismos de transferência de carga e métodos de cálculo, e as pesquisas nacionais de Jermann (1993) e Oliveira (2003) e Martins Junior (2006).

2.2 SISTEMAS DE ANCORAGEM

Sistemas de ancoragem, com chumbadores embutidos no concreto, são responsáveis pela transferência de esforços da estrutura para o material base. Os elementos ilustrados na Figura 2.1 são descritos a seguir.

- Estrutura: elemento do qual são originadas as solicitações que se deseja transferir ao material base por intermédio do pino de ancoragem. Pode ser constituído de aço estrutural, madeira, concreto estrutural ou outro material.
- Ancoragem: chumbador que recebe as solicitações da estrutura e as transfere ao material base.

- Material Base: é o que envolve o chumbador. Geralmente emprega-se o concreto.

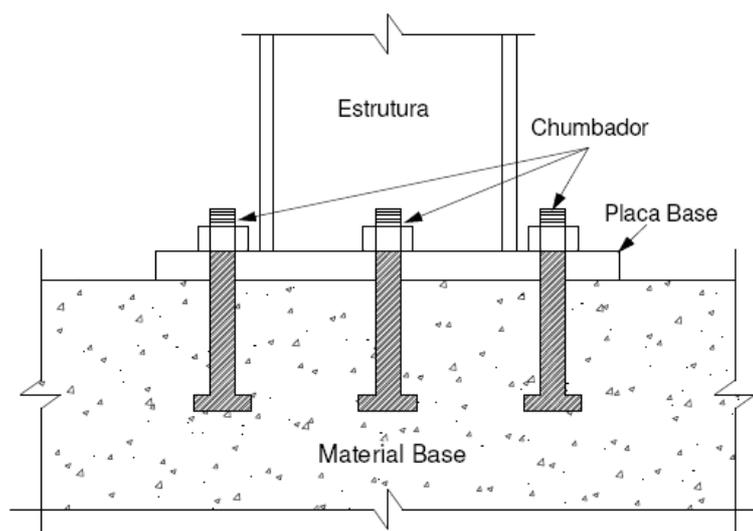


Figura 2.1 – Transferência de carga da estrutura para o material base, adaptado de *Fastenings to Concrete and Masonry Structures* – (CEB, 1994).

Os esforços solicitantes na ancoragem, que são transmitidas ao concreto, podem ser: força normal, força cortante e momento fletor, agindo isoladamente ou combinadas. Estas forças são ilustradas na Figura 2.2.

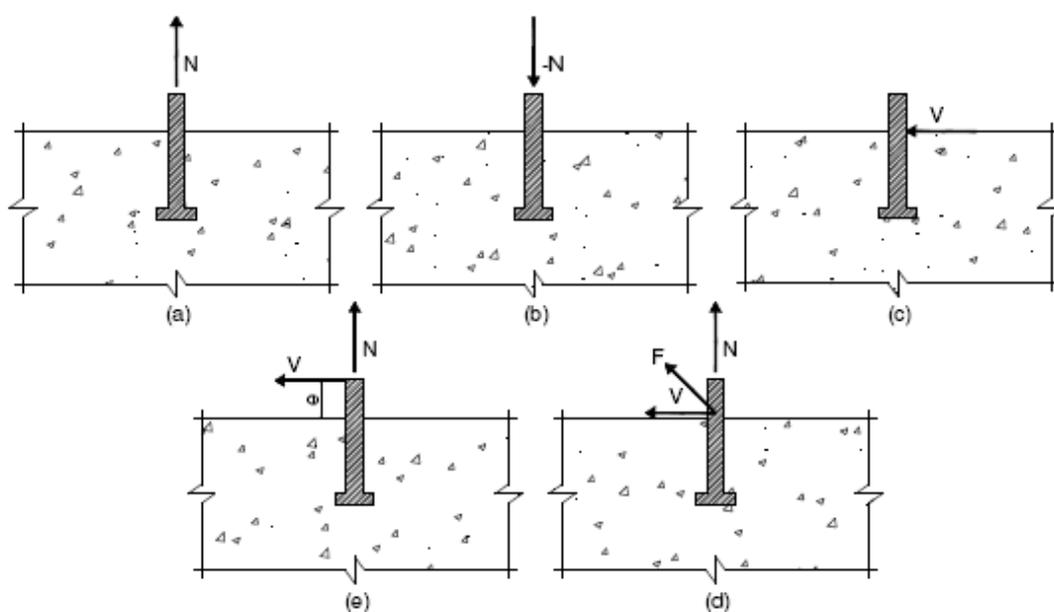


Figura 2.2 – Tipos de solicitações: (a) e (b) força normal; (c) cisalhamento; (d) tração e cisalhamento combinados; (e) tração, cisalhamentos e momento fletor combinados; adaptado de *Fastenings to concrete and masonry structures* – (CEB, 1994).

2.3 MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE CARGA

A transferência de carga por chumbadores submetidos a esforço de tração pode ocorrer por três diferentes tipos de mecanismos analisados distintamente ou de forma combinada conforme a Figura 2.3.

2.3.1 Ancoragem mecânica

É o mecanismo onde a transmissão de esforços está situada em uma região, geralmente na extremidade imersa do chumbador. Nesta região são desenvolvidas altas tensões de esmagamento devido o de confinamento do concreto. As tensões de atrito e adesão podem ser desprezadas ou não, dependendo da existência de nervuras na barra e principalmente das dimensões do dispositivo de ancoragem. (Ver Figura 2.3 (a)).

2.3.2 Ancoragem por atrito

Esse tipo de ancoragem se dá pela transferência de carga entre a superfície do elemento expensor e a superfície do concreto, gerando assim uma superfície de atrito, como mostrado na Figura 2.3 (b).

2.3.1 Ancoragem por aderência

A ancoragem por aderência é a transferência contínua de carga entre todo comprimento efetivo dos chumbadores e o concreto; um exemplo é o caso de ancoragens pré-instaladas. Estas são constituídas de barras nervuradas ou com rosca, ou na instalação de chumbadores pós-instalados de adesão química, em que ocorre a aderência entre a superfície do concreto e o aglomerante utilizado para preencher o furo, como visto na Figura 2.3 (c).

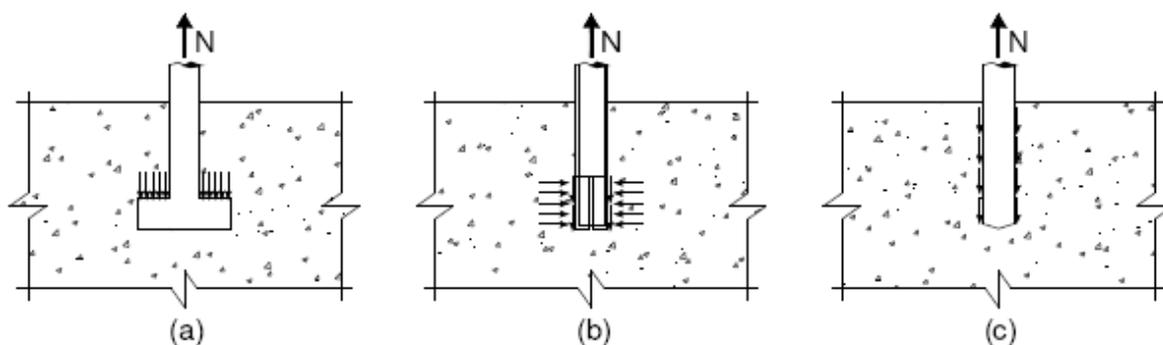


Figura 2.3 - Mecanismos de transferências de carga: (a) ancoragem mecânica; (b) atrito; (c) adesão; adaptado de *Fastenings to Concrete and Masonry Structures* – (CEB, 1994)

2.4 TIPOS DE ANCORAGENS PARA CONCRETO

Os sistemas de ancoragem utilizados atualmente podem ser classificados em dois grupos principais: a) pré-instalados; b) pós-instalados. Esses sistemas são citados em várias fontes da literatura, tais como CEB Bulletin nº 233 (1997), ACI 318-05 (2005), Oliveira (2003), Meira (2005) e Martins Junior (2006).

2.4.1 Pré-instalados

Nesse sistema, a transferência do carregamento pode ocorrer através de ancoragem mecânica e ou por aderência. Os chumbadores são posicionados na fôrma antes da concretagem de forma definitiva; podem ser utilizados em elementos densamente armados sem as dificuldades apresentadas pelos sistemas pós-instalados. Podem ser usados para transmitir esforços provenientes de uma placa de base para o concreto como, por exemplo, em bases de torres, fixação de tubulações industriais e na fixação de equipamentos pesados. Os tipos de chumbadores que podem ser utilizados nesse sistema são apresentados na Figura 2.4 e são descritos a seguir.

- Parafusos com cabeça são feitos de aço estrutural. Sua fixação depende da ancoragem mecânica desenvolvida por uma cabeça, constituída de porca soldada ou parafusada na extremidade imersa no concreto. A Figura 2.4 (a) apresenta um exemplo desse pino.

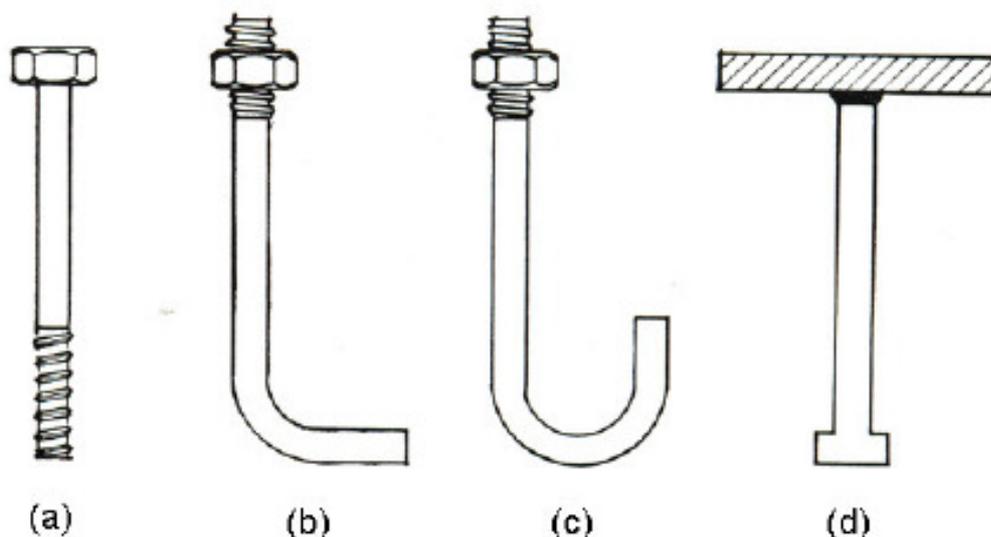


Figura 2.4 – Tipos de ancoragem pré-instaladas - (ACI 318M-05).

- Parafusos em J ou em L podem ser constituídos de barras lisas ou nervuradas dobradas na extremidade imersa no concreto e com a extremidade fora do concreto podendo conter porcas soldadas ou parafusadas. Ver Figura 2.4 (b) e (c).
- Pinos com cabeça são constituídos de aço estrutural liso e possuem a sua cabeça, na forma circular ou quadrada, soldada à haste e com dimensões relacionadas ao diâmetro da haste. A outra extremidade do pino pode ter roscas ou chapas soldadas, como mostrado na Figura 2.4 (d).
- Chumbadores de encaixe com rosca podem ser fabricados com barras, tubos e peças moldadas de aço, que possuem roscas internas ou externas. Além dos elementos de ancoragem podem também ser utilizado em ligações estruturais para o transporte e manuseio de elementos estruturais pré-moldados, como paredes, vigas, pilares e tubulações. São encontrados em vários tamanhos e diâmetros, como mostrado na Figura 2.5.

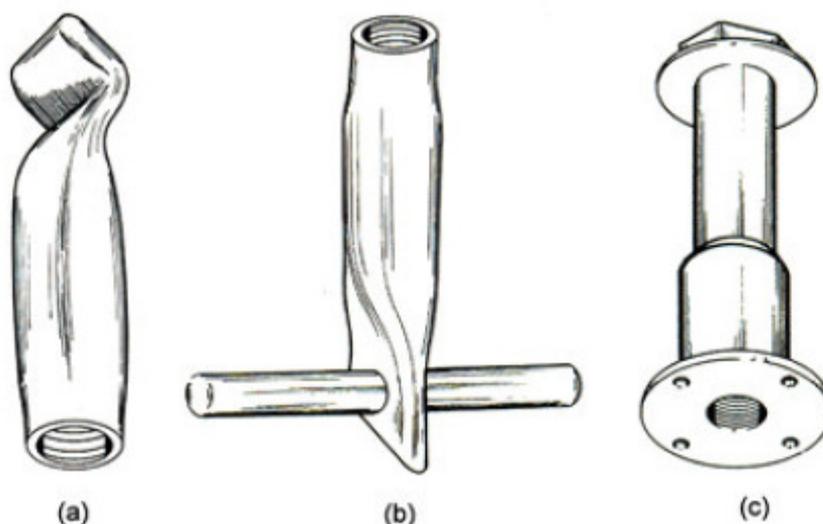


Figura 2.5 – Chumbadores de Encaixe – (Adaptado de *Fastenings to concrete and masonry structures* – CEB, 1994)

2.4.2 Pós-instalados

Os chumbadores pós-instalados podem ser posicionados em furos logo após o endurecimento do concreto ou em cavas feitas durante a concretagem. Devido à utilização após a concretagem os chumbadores que utilizam furos para sua instalação podem ser empregados no reforço e recuperação de estruturas. Os tipos de chumbadores pós-instalados mais utilizados são:

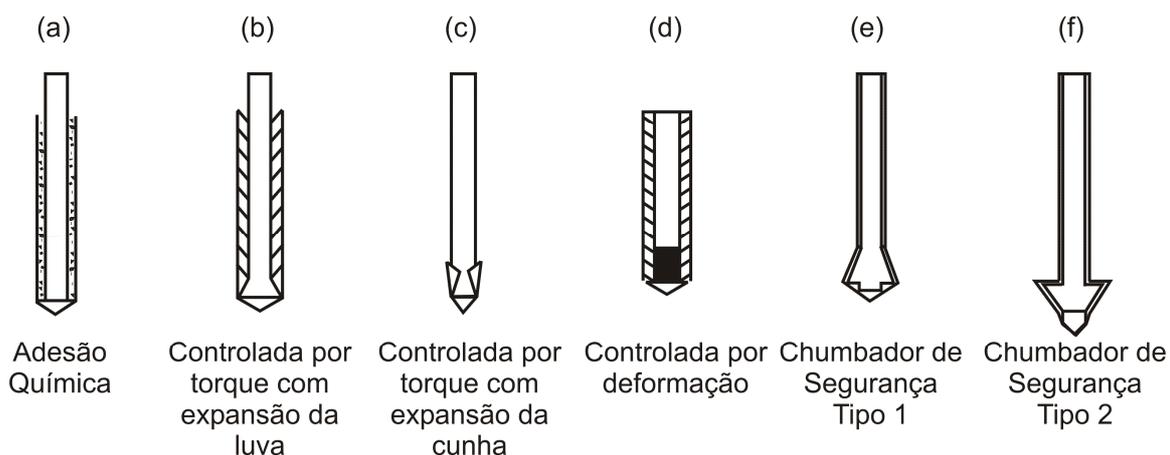


Figura 2.6 – Pinos de ancoragem pós-instalados (CEB Bulletin nº 233, 1997).

- Os chumbadores de adesão química estão divididos em dois tipos, de acordo com o sistema de aderência utilizado: os chumbadores que utilizam aglomerante a base de cimento, denominados de não químicos e os que

utilizam polímeros para embutir o chumbador, denominados chumbadores químicos. O mecanismo de transferência da força se dá pela adesão entre o chumbador e o aglomerante, e entre o aglomerante e o concreto. Os chumbadores químicos utilizam resinas reativas, como epoxídicas ou poliéster, podendo ser instaladas de duas formas. A primeira é pela injeção da resina antes do posicionamento do chumbador de maneira direta e livre sem que esteja contido numa cápsula. A segunda utiliza uma cápsula que consiste de uma ampola contendo uma resina, um catalizador e um agregado mineral, e a mistura do componente químico com o catalizador ocorre com a perfuração da cápsula, quando da inserção do chumbador. Um exemplo é mostrado na Figura 2.6 (a).

- Os chumbadores de expansão controlados por torque, podem ser obtidos por dois métodos: o de expansão da luva ou da cunha. O mecanismo de expansão dos pinos ocorre na instalação do chumbador por torque controlado; o processo de transferência de carga ocorre quando se aplica o torque, o que gera uma força de tração na cunha ou na luva que, por sua vez, transmite esforços que comprimem o elemento expensor contra a superfície do furo no concreto. Os dois exemplos de expansão da luva e da cunha são vistos na Figura 2.6 (b) e (c) respectivamente.
- Os chumbadores de expansão controlados por deformação, também são conhecidos como chumbadores por percussão, pois a expansão da luva pode ocorrer por percussão interna da cunha no elemento expensor, como visto na Figura 2.6 (d).
- Os chumbadores de segurança transferem as solicitações ao concreto por ancoragem mecânica por meio do alargamento de sua extremidade, desenvolvendo-se assim pouca ou quase nenhuma força de expansão durante sua instalação. Classifica-se de acordo com o momento em que ocorre o alargamento do furo: antes da instalação ou durante a instalação. Esse alargamento é feito para receber os elementos de expansão do chumbador que farão a ancoragem mecânica.
- Chumbadores acionados por pólvora por não requererem eletricidade, fornecem mais flexibilidade e economia para várias aplicações. Estes tipos de

chumbadores têm a forma de prego ou pinos com rosca, e são inseridos no concreto ou aço por meio do uso de ferramentas que utilizam carga explosiva. O princípio de operação de um chumbador acionado por pólvora é o de deslocar o concreto enquanto o penetra.

2.4.3 Barra de aço nervurada com ancoragem de cabeça

As barras de aço nervuradas com dispositivos de ancoragem mecânica, foram inicialmente utilizadas para evitar o excesso de ferragem em nós de pórtico de plataformas *offshore*, devido aos grandes comprimentos utilizados nos ganchos. Sua utilização expandiu para o detalhamento de montagens de armações mais densas em pontes, reduzindo o comprimento de transpasse, Thompson *et al.*, (2002). O mecanismo de transferência de carga de uma barra com cabeça de ancoragem de acordo com Thompson *et al.* (2003) consiste em duas fases. Na primeira, a ancoragem é resistida pela tensão de aderência, que ao atingir o seu pico encerra-se e passa para a segunda fase na qual a aderência começa a se deteriorar ao longo da barra e a tensão passa a ser transferida para a cabeça, resultando com o escoamento da barra ou a ruptura do concreto acima da cabeça. A capacidade última de ruptura de uma barra com cabeça de ancoragem é determinada pelo somatório das contribuições referentes à aderência, já reduzida ao longo da barra e entre a parcela da própria resistência oferecida pela cabeça de ancoragem. As distribuições das forças podem ser vistas na Figura 2.7.

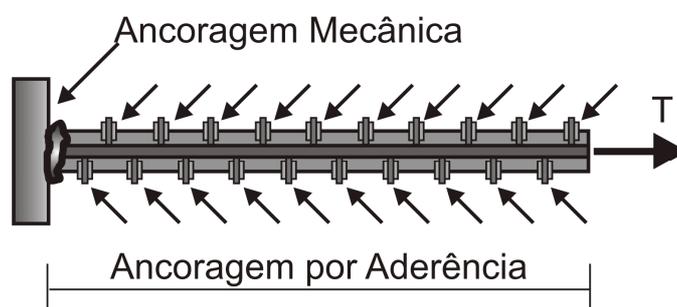


Figura 2.7 – Mecanismos de transferência de carga (Thompson *et al.*, 2003).

2.5 MODOS DE RUPTURA

Os principais modos de ruptura observados por Fuchs *et al.*, (1995), em pinos de ancoragem são detalhados abaixo, descrevendo suas principais características, como pode ser visto na Figura 2.8.

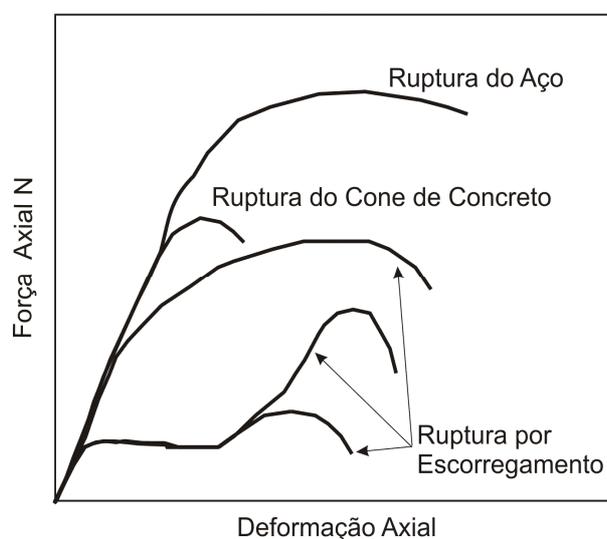


Figura 2.8 – Tipos de ruptura segundo Fuchs *et al.* (1995).

2.5.1 Ruptura do Aço

A ruptura do aço é considerada uma ruptura dúctil, pois próximo da carga de ruptura alcança grandes deformações. Geralmente o comportamento do mesmo está relacionado com sua rigidez e resistência, capacidade de deformação, e ao grau de dissipação e absorção de energia do chumbador.

Nesse caso o fator determinante de sua resistência à tração é sua seção transversal e resistência à tração. Quando ocorre o escoamento do chumbador há uma redução da área transversal conforme ilustrado na Figura 2.9 (a). De modo a se evitar a ruptura o chumbador tem-se,

$$F_u = A_s \sigma_y \quad (2.1)$$

onde F_u é a força de ruptura do chumbador, A_s é a área da seção transversal do chumbador, e σ_y é a tensão de início de escoamento do aço. Desse modo os principais fatores que podem influenciar na ruptura são a resistência do aço e o diâmetro da haste.

2.5.2 Ruptura do Cone de Concreto

Nessa ruptura ocorre o arrancamento de uma superfície irregular aproximadamente cônica, que se inicia na cabeça do chumbador e se estende até o topo do concreto, como pode ser visto na Figura 2.9 (b). O arrancamento desse cone ocorre quando as tensões de tração ultrapassam a resistência à tração do concreto.

Esse tipo de ruptura é de interesse para fins de dimensionamento, ocorrendo em ancoragens com alturas imersas pequenas e em concretos com baixas resistências. Dentre alguns fatores que podem influenciar a capacidade de carga da ancoragem, pode-se citar a resistência do concreto, a altura imersa, a presença de fissuras e a proximidade de borda.

2.5.3 Ruptura por Escorregamento

A ruptura por escorregamento pode ser vista em ancoragens pós-instaladas como, por exemplo, em ancoragens de expansão que possuem altura imersa de moderada a profunda, em concretos de baixa resistência. Em ancoragens químicas ou adesivas, isso ocorre quando há uma ruptura por aderência entre as paredes do furo.

A ruptura por escorregamento pode ocorrer de duas maneiras distintas: a primeira é o escorregamento externo entre o corpo do chumbador e o concreto e a segunda é o escorregamento interno ao chumbador e ocorre quando o atrito entre o chumbador e o concreto supera o atrito entre os elementos internos. Um exemplo é visto na Figura 2.9 (c).

2.5.4 Ruptura por Fendilhamento

A ruptura por fendilhamento, como visto na Figura 2.9 (d), ocorre devido à elevação da tensão de tração proveniente do pino, levando à fissuração e separação do elemento de concreto em partes. Esse tipo de ruptura deve ser evitado, pois há poucos estudos sobre esse tipo de ruptura, o que torna difícil de determinar teoricamente a resistência da ancoragem.

2.5.5 Ruptura Lateral

A ruptura lateral é considerada uma ruptura do concreto e ocorre quando a ancoragem se encontra muito próxima à borda, o que gera grandes tensões transversais na

região da cabeça da ancoragem. Essas tensões excedem a resistência à tração do concreto entre a cabeça do chumbador e a borda levando, assim, a uma ruptura lateral do concreto. O exemplo desse tipo de ruptura é visto na Figura 2.9 (f).

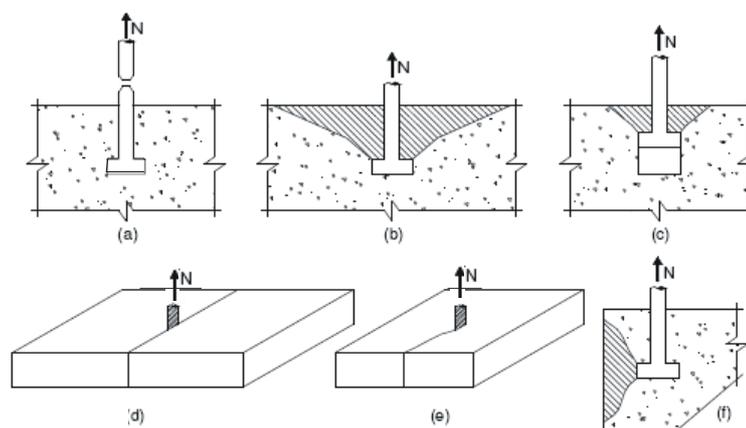


Figura 2.9 – Superfícies de Ruptura – (a) – Ruptura do aço; (b) – Ruptura do cone de concreto; (c) – Ruptura por escorregamento; (d) e (e) – Ruptura por fendilhamento; (f) – Ruptura lateral. (Fastenings to concrete and masonry structures - CEB 1994)

2.6 FATORES QUE PODEM INFLUENCIAR A CAPACIDADE RESISTENTE DE UM PINO DE ANCORAGEM

2.6.1 Proximidade da Borda

Os sistemas de ancoragens têm sua capacidade resistente reduzida devido à proximidade de borda, a uma distância onde o cone de tensão é interrompido por uma superfície lateral, ocorrendo uma perturbação nos mecanismos de transferência de carga, gerando uma redução na capacidade final da ancoragem.

A influência da borda também é considerada para ancoragens profundas situadas muito próximas à superfície lateral do concreto, pois ocorre uma elevação do nível de tensão ao redor da cabeça da ancoragem, fazendo com que o modo de ruptura do concreto mude da extração de um cone de concreto para uma ruptura lateral.

Fuchs *et al.* (1995) afirmam que quando três ou quatro bordas se encontram a uma distância menor que a mínima necessária para desenvolver o cone total de ruptura, o

valor da área projetada do cone de ruptura interrompido pelas bordas será o mesmo para diferentes alturas efetivas, ocasionando erros no cálculo do efeito de borda. Logo, é necessária a adoção de um valor reduzido da altura efetiva utilizada, como mostrado na Figura 2.10.

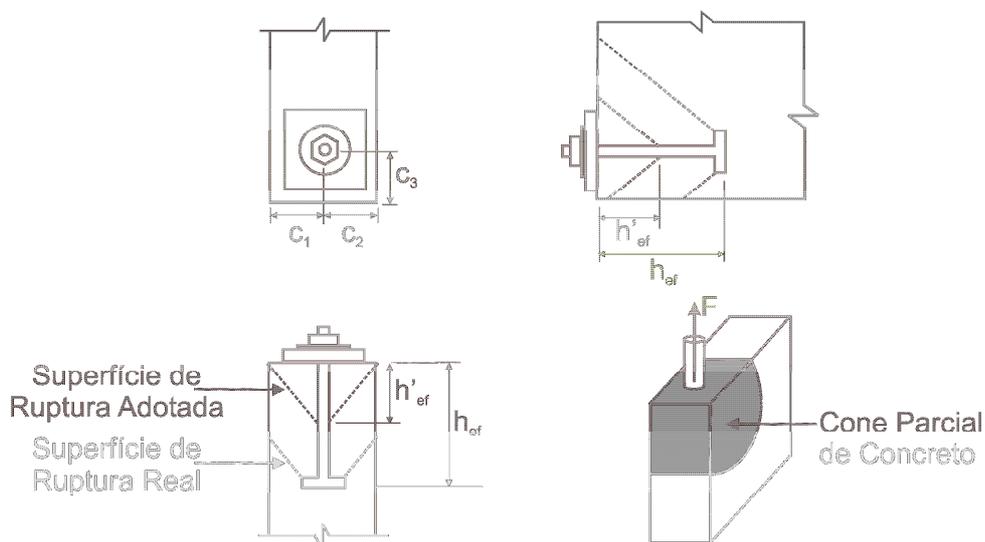


Figura 2.10 – Exemplo da presença de mais de uma borda (ACI 318- 2005).

2.6.2 Efeito de Cunha

Segundo Hasselwander *et al* (1988) pode ocorrer um efeito de cunha, que se manifesta devido à presença de um cone de concreto comprimido na região superior do dispositivo de ancoragem semelhante a uma cunha. Quando a força F aplicada no chumbador é transferida para o concreto através da cunha, surgem fissuras diagonais devido às forças de tração radiais e surgimento de fissuras longitudinais a partir da cabeça de ancoragem devido às forças de tração circunferenciais. Essas forças podem ser vistas na Figura 2.11.

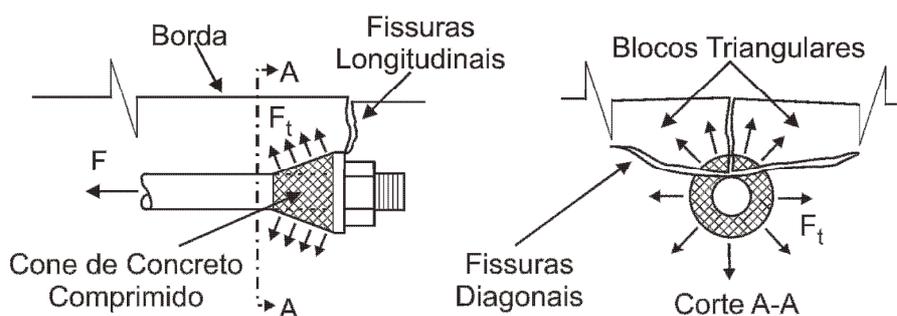


Figura 2.11 – Ação de cunha segundo (Hasselwander *et al.*, 1988).

2.6.3 Efeito de Disco

Jermann (1993) descreve que esse efeito é observado devido à orientação do plano principal de tensões, caso o concreto não possua tensão transversal atuando perpendicular à força de arrancamento. Como a fissura se propaga em direção à superfície, a porção não-fissurada, situada na superfície em compressão, flete como um disco ao redor do perímetro, causando uma mudança no plano de inclinação do cone de ruptura, como pode ser visto na Figura 2.12.

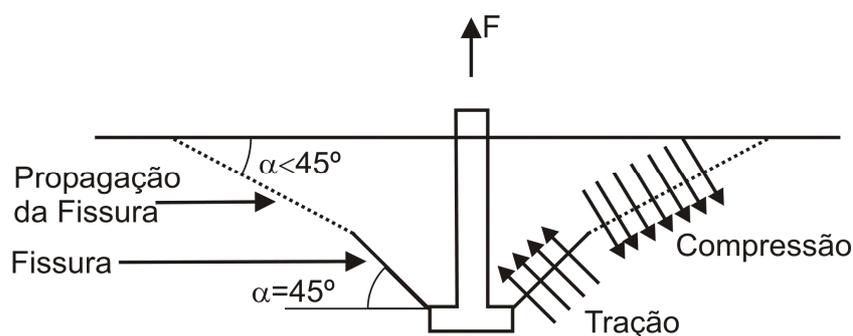


Figura 2.12 – Plano de inclinação do cone de ruptura (Jermann, 1993).

Para ancoragens pequenas e rasas (< 127 mm), a resistência à flexão devido à ação de disco se torna maior do que a resistência de arrancamento do cone, tal que um aumento na carga é necessário para se propagar a fissura, mudando o ângulo inicial na proximidade da cabeça, de 45° para 30° .

2.6.4 “Size Effect”

Segundo Bazant (1984) há dois tipos de teorias para estimar a carga de ruptura de um elemento estrutural. A teoria da resistência, também conhecida como conceito das superfícies de ruptura, em que o critério de ruptura está associado a tensões ou deformações calculadas pelas teorias elásticas, plásticas ou visco-plásticas. Outra teoria é a da mecânica da fratura linear elástica, na qual o consumo de energia por unidade de incremento do comprimento da fissura serve como critério de ruptura.

2.6.5 Relação entre o diâmetro do dispositivo de ancoragem e a altura efetiva

Ozbolt *et al.* (1999) analisaram uma série de resultados experimentais para verificar a influência do diâmetro do dispositivo de ancoragem do chumbador no cone de ruptura do concreto, em seu modo de ruptura e deslocamentos. Observou-se que com uma maior relação entre os diâmetros do dispositivo de ancoragem e altura efetiva, obtém-se um comportamento mais rígido, com menores deslocamentos e maiores capacidades resistentes ao arrancamento.

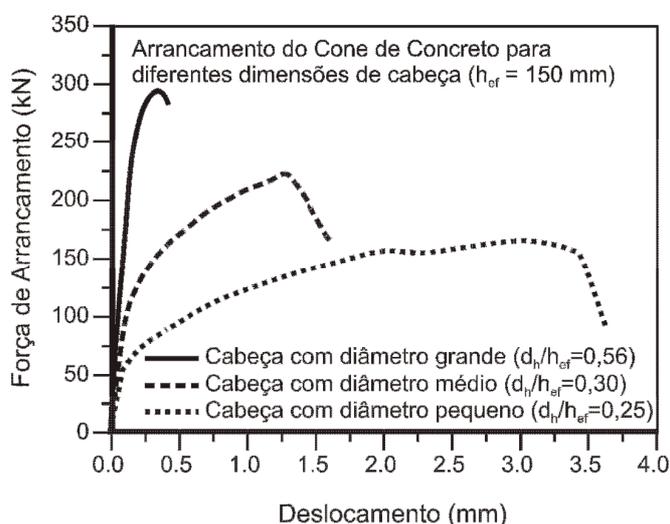


Figura 2.13 – Gráfico Força de arrancamento x Deslocamento (Ozbolt *et al.*, 1999).

As maiores forças de arrancamento obtidas para as maiores relações entre os diâmetros e os dispositivos de ancoragem se deve ao fato de ocorrer um melhor confinamento do concreto na região da cabeça, e por gerar uma maior superfície de ruptura devido a maior cabeça de ancoragem. O mesmo não ocorre para relações entre os diâmetros e os dispositivos de ancoragens reduzidos, devido à presença de altas tensões de cisalhamento, que reduzem a altura efetiva, esmagando o concreto na região acima da cabeça de ancoragem.

2.6.6 Aderência

De Vries *et al.* (1999) em seu estudo sobre o efeito da aderência entre o concreto e o aço da haste do pino, supõe que as forças de reação, desenvolvidas pela

cabeça de ancoragem e pelo comprimento da haste em que há aderência, podem ser sobrepostas, como pode ser visto na Figura 2.14.

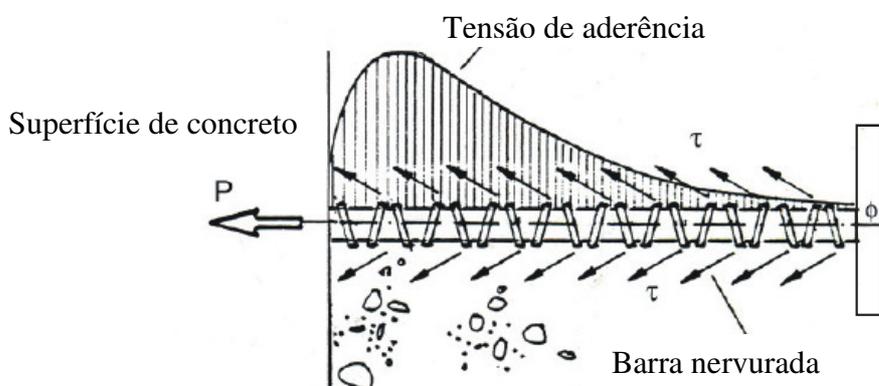


Figura 2.14 – Aderência em barras nervuradas – CEB (1994).

Todos os pinos de ancoragem devem ser posicionados de forma que os esforços a que estejam submetidos sejam integralmente transmitidos ao concreto, seja por meio de aderência ou de dispositivos mecânicos, ou de combinação de ambos.

Devido à aderência ao longo da haste do pino, ocorre um aumento na carga de ruptura, baseado na relação linear entre o comprimento de uma barra reta ancorada somente pelo efeito da aderência, e a força necessária para alcançar a tensão de escoamento da barra, como mostrado na Figura 2.15.

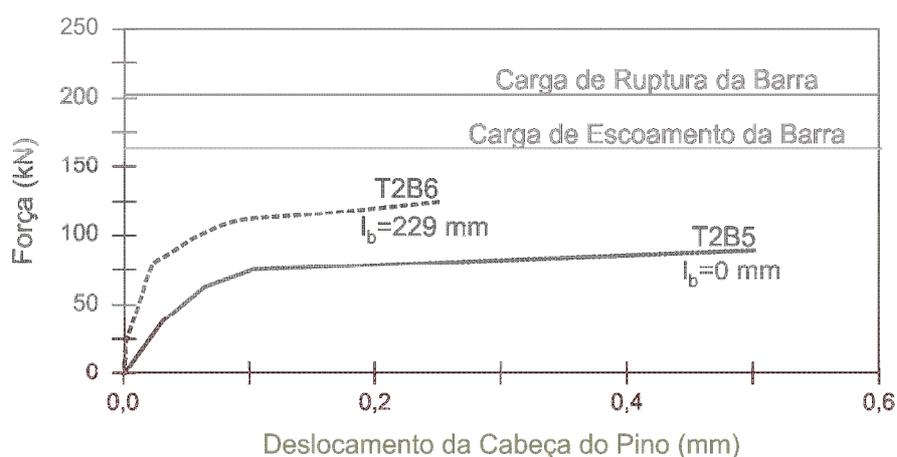


Figura 2.15 – Curva Força x Deslocamento da Cabeça do Pino (De Vries *et al.*, 1999).

2.6.7 Armadura Adicional

Bode e Roik (1987) relatam em seus estudos que a capacidade final de uma ancoragem pode ser influenciada por diversos fatores; um deles é o uso de armadura adicional. A armadura adicional tem como função promover um comportamento mais dúctil à estrutura e prevenir a propagação de fissuras.

O seu uso melhora o comportamento quanto à ductilidade, apesar de não aumentar significativamente a capacidade final da ancoragem e apresentar uma forma do cone de ruptura semelhante à ruptura sem armadura. Um exemplo da utilização da armadura adicional para transmitir o esforço solicitado da zona tracionada para a zona comprimida é visto na Figura 2.16.

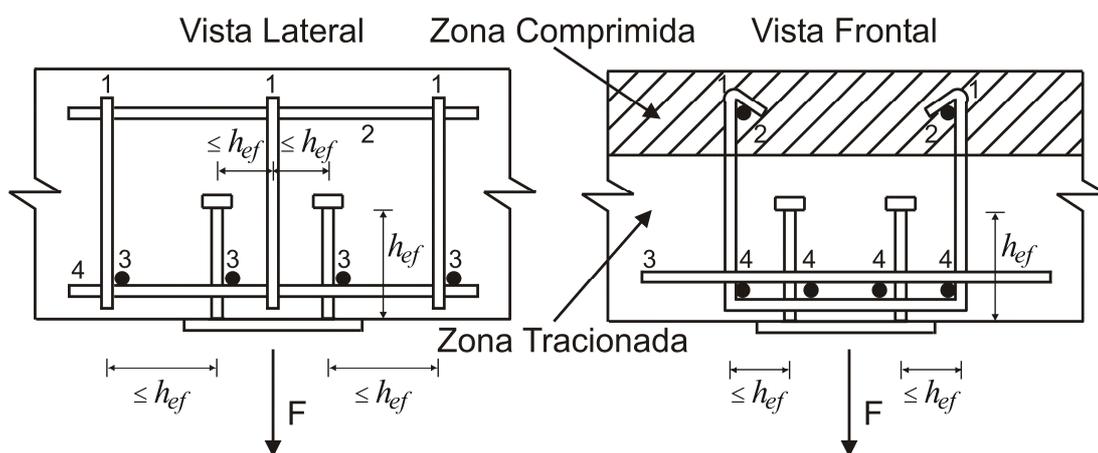


Figura 2.16 – Exemplo de armadura adicional (CEB Bulletin nº 233, 1997).

2.6.8 Excentricidade da Carga

Os primeiros estudos sobre sistemas de ancoragem eram realizados sem considerar o efeito da excentricidade de carregamento, considerando apenas um esforço de tração aplicado no centro de gravidade da peça ou no grupo de ancoragens. Como na prática isso não ocorre, foram desenvolvidas pesquisas para analisar o efeito da excentricidade do carregamento, fator de grande influência na capacidade final do sistema de ancoragem.

2.6.9 Solda

Devido à grande quantidade de calor gerada pela solda, pode ocorrer uma perda de resistência de até 25% em ancoragens retas constituídas de uma barra de aço nervurada soldada a uma chapa de aço sob cargas de tração. Fazendo com que ocorra uma interrupção da aderência entre o concreto e o aço, (Cziesieski e Fredmann, 1987).

2.6.10 Ancoragens em Grupo

Estudos revelam que ocorre uma redução na capacidade final do grupo de ancoragens quando ocorre uma sobreposição dos cones de tensão de cada ancoragem considerada individualmente. A capacidade total é alcançada quando essas ancoragens se encontram a uma distância tal que possa se desenvolver a capacidade total de cada ancoragem considerada individualmente.

Em relação a essa distância mínima, ocorrem divergências entre os métodos de cálculo disponíveis, pois estes assumem diferentes valores do ângulo do cone de ruptura, o que leva a obtenção de diferentes valores para essa distância. Um exemplo da sobreposição dos cones pode ser visto na Figura 2.17.



Figura 2.17 – Exemplo da sobreposição dos cones.

2.6.11 Concreto Fissurado

As fissuras agem criando uma zona de distúrbio no estado de tensões que impede a transferência de carga na forma axi-simétrica, pelo equilíbrio das tensões em

forma de arco no concreto como ocorre em ancoragens em zonas não fissuradas, e diminui a área da superfície disponível para transmitir os esforços de tração. Os esforços de tração na área fraturada se modificam para esforços de cisalhamento fazendo com que não haja tensão de tração perpendicular à fissura, Eligehausen *et al* (1998). Como pode ser visto na Figura 2.18.

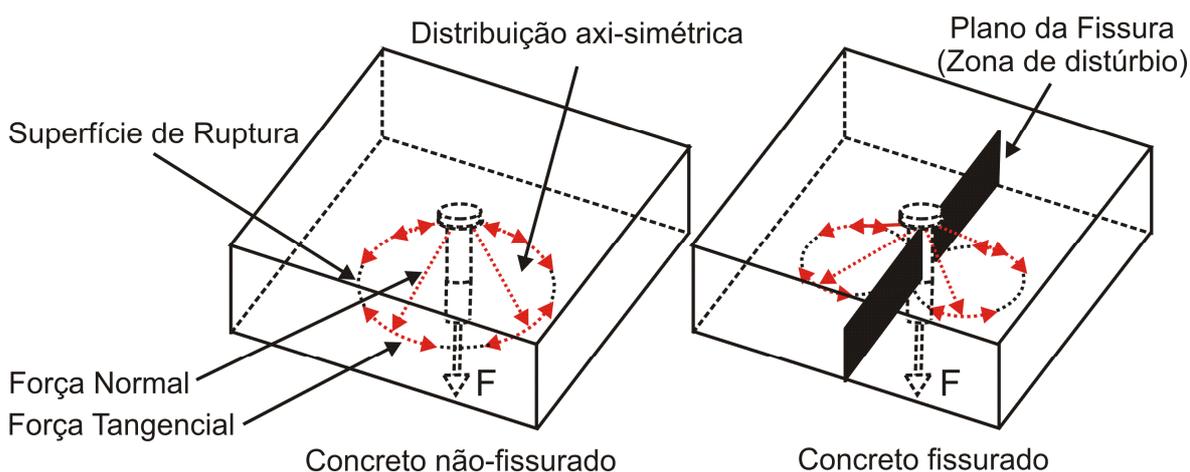


Figura 2.18 – Exemplo da transferência de carga (Eligehausen e Balogh, 1995).

2.7 PESQUISAS NACIONAIS

Apesar de existirem inúmeras publicações sobre o assunto na Europa e Estados Unidos, no Brasil as pesquisas ainda se encontram em estágio inicial de desenvolvimento, logo constam quatro publicações referenciadas neste trabalho.

2.7.1 Jermann – UFF (1993)

Jermann (1993) fez uma compilação sobre os procedimentos e métodos de cálculo para projetos de chumbadores metálicos ancorados ao concreto. São apresentadas formulações para duas linhas gerais de projeto o ACI 349 (método americano) e CEB Bulletin 206 e 207 (método europeu).

Os chumbadores estudados são utilizados somente em concreto, sendo dado um enfoque maior na análise de chumbadores de expansão e chumbadores de cabeça. Os

esforços estudados foram de tração, cisalhamento e sollicitação combinada de tração e cisalhamento.

As principais conclusões são:

- O método americano fornece valores superestimados, ao contrário do método europeu que é mais preciso.
- Há a necessidade de se estabelecer uma rotina de cálculo comparativa entre os dois métodos de estimativa da capacidade de carga.
- Sempre que possível, deve-se realizar testes experimentais para avaliar a capacidade dos chumbadores de acordo com a situação desejada.
- Deve-se procurar um melhor dimensionamento da conexão, de forma que o aço e o concreto atinjam os seus níveis de tensão máxima na ruptura.

Como complemento da pesquisa, foram apresentados os problemas encontrados para chumbadores, na indústria da construção civil, e um roteiro de cálculo para verificar os fatores e parâmetros que influenciam na carga de ruptura.

2.7.2 Oliveira – PUC-Rio (2003)

Oliveira (2003), avaliou a capacidade última de placas de ancoragem para situações como: pino único situado no canto, na borda e isolado, com placas de quatro pinos isoladas e em grupo, além de observar o comportamento das placas quando se utiliza armadura de suspensão. A Tabela 2.1 resume o programa experimental.

Para possibilitar a comparação do comportamento dos ensaios, foi medido o deslocamento do cone de concreto, com o uso de dois LVDT, e a deformação no pino com dois extensômetros elétricos por pino.

A carga de ruptura foi comparada à carga obtida por dois métodos de cálculo; um deles era o método de Bode e Hanenkamp (1985) e Bode e Roik (1987) e o outro método era o de Eligehausen *et al.* (1987/1988), também conhecido como método Ψ , utilizado pelo CEB.

Tabela 2.1 – Programa experimental de Oliveira (2003).

Tipo de Placa	Posição da Placa	Armadura de Suspensão	Número de Ensaios
Pino Único	Isolado	Sem	3
	Borda	Sem	3
		Com	3
	Canto	Sem	3
		Com	3
	4 Pinos	Isolado	Sem
Com			1
Grupo c/ d=325 mm		Sem	3
Grupo c/ d=200 mm		Sem	3

Dentre as conclusões retiradas desse estudo, devem ser destacadas:

- A ineficiência da armadura de suspensão (tal como empregada no estudo) nos ensaios da placa de canto com a redução da carga de ruptura em média 8,1 %. Nos ensaios na borda houve um aumento de 20,0 % e nos ensaios das placas com 4 pinos isoladas um aumento de 58,4 %.
- O método Ψ obteve uma boa aproximação, exceto das placas de pino único situadas no canto.
- O método de Bode e Hanenkamp (1985) e Bode e Roik (1987) não apresentou resultados satisfatórios para as placas de canto e na borda, sendo que o autor explica que o ajuste das fórmulas é melhor para alturas efetivas maiores do que aquelas ensaiadas.

2.7.3 Meira – UFG (2005)

Meira (2005) estudou pinos de ancoragem curtos com cabeça quadrada, sujeitos a forças de tração (ver Figura 2.19). Foram ensaiados 74 pinos, onde treze foram referentes a um pré-teste.

O programa experimental tinha como principais variáveis a distância do pino até uma borda, a altura efetiva, a existência de aderência entre o concreto e o aço, a posição (superior, intermediária e inferior) e a orientação (horizontal e vertical) do pino no bloco, como pode ser visto na Figura 2.20.



Figura 2.19 - Configuração do pino – Meira (2005)

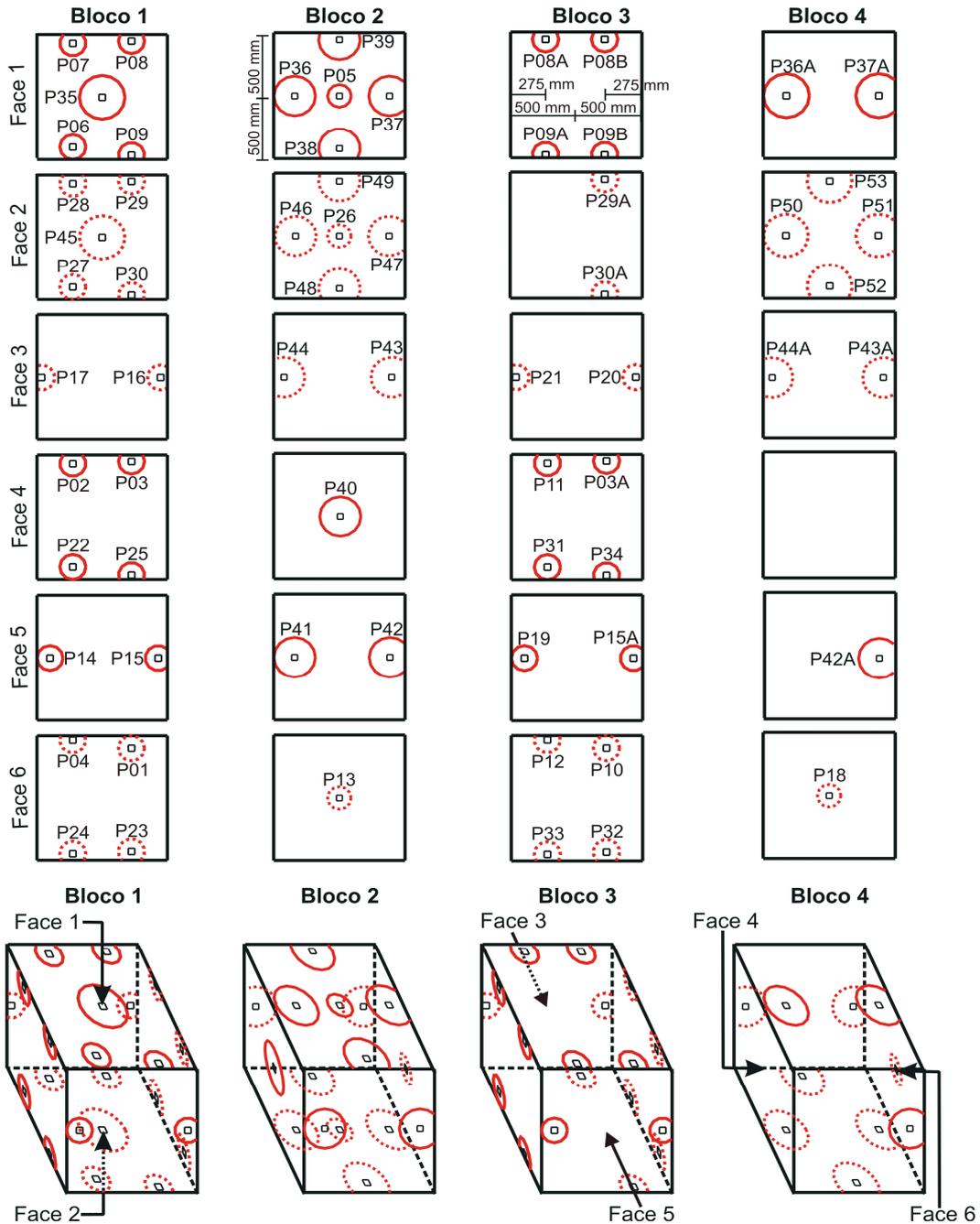


Figura 2.20 – Distribuição dos modelos ensaiados, Meira (2005).

Dentre as principais conclusões destacam-se:

- Quando um pino se aproxima da borda ocorre uma redução na resistência da ancoragem. Essa redução é melhor estimada pelo método desenvolvido por De Vries *et al.* (1999)
- Com aumento do valor da altura efetiva, o aumento no valor da resistência da ancoragem é maior nas posições intermediárias e inferior.
- Quando há aderência, ocorre um aumento na resistência da ancoragem.
- Em todos os três métodos de cálculo analisados os pinos localizados na posição inferior apresentaram os maiores valores, em relação as demais posições.

Com base nos dados obtidos, são propostas modificações no método de cálculo de Fuchs *et al.* (1995), conhecido por “CCD”, utilizado para estimar a carga última de um pino de ancoragem composto por uma barra lisa como haste. Essas modificações permitem principalmente, que seja estimada a carga de ruptura de um pino de ancoragem cuja haste é feita com uma barra nervurada.

A proposta de adaptação do método de cálculo CCD é a sobreposição da força de reação F_{dh} gerada pela cabeça de ancoragem, que é a própria força resistente do pino (estimada pelo método CCD) e a força F_{lb} do pino que é originada pela aderência, entre o aço ao longo da haste do pino (somente para barras nervuradas), que não é considerado no método CCD por este tratar somente de hastes lisas.

2.7.4 Martins Junior – PUC-Rio (2006)

Em seu trabalho, Martins Junior (2006), estudou a resistência de um sistema de ancoragem composto de pinos com cabeça embutidos no concreto, quando submetidos a cargas de impacto. A variável adotada foi a taxa de carregamento cujo valor mínimo e máximo foram 0,015 kN/s (estático) e 54.885 kN/s, respectivamente.

O sistema de ancoragem foi projetado de forma que a ruptura fosse governada pelo arrancamento do cone de concreto. O programa experimental era composto de onze blocos de concreto com um pino embutido no concreto, sujeitos a diferentes taxas de aplicação de carga. Foram também ensaiados quinze corpos-de-prova de concreto à

compressão diametral e nove pinos à tração, também sujeitos a diferentes taxas de aplicação de carga.

O objetivo desses ensaios foi verificar a influência da taxa de carregamento sobre as resistências dos materiais concreto e aço, que participam do sistema de ancoragem. De acordo com os resultados obtidos concluiu-se que a área da superfície e a inclinação do cone de ruptura não sofrem grandes alterações. A carga de ruptura do cone de concreto cresce com a taxa de carregamento, e que esse crescimento pode ser descrito por uma função logarítmica. O mesmo foi observado para a resistência à tração do concreto por compressão diametral e para os pinos.

2.8 NORMAS E MÉTODOS DE CÁLCULO

As normas e métodos de cálculo apresentados a seguir adotam diferentes filosofias de dimensionamento. Essas diferenças são evidentes quando se calcula a capacidade final da ancoragem com a influência da borda, pois a maioria dos métodos tem uma forma particular de quantificar essa redução na capacidade final. Os métodos de cálculo são divididos em grupos com ângulos de 34°, de 45° e variando entre 28° e 45°.

2.8.1 Ângulo de 34°

O método de cálculo desenvolvido por Eligehausen *et al.* (1988) adota uma superfície de ruptura formando um ângulo de aproximadamente 34°, de acordo com os conceitos da mecânica da fratura linear e constatado por meio de estudos experimentais. Nesse método, considera-se o espaçamento entre chumbadores, excentricidade de carga, a ausência de fissuras e presença de armaduras pouco espaçadas.

A diferença entre os métodos do CEB Bulletin d'Information nº 233 'Design of fastenings in concrete' (1997), American Concrete Institute (ACI – 318/05) e Fuchs, Eligehausen e Breen – Concrete Capacity Design (1995), é que esses métodos não possuem um coeficiente de ajuste da relação entre as áreas do cone total e do cone reduzido pelo efeito de borda, encontrado no método proposto por Eligehausen *et al.* (1998).

O método de Eligehausen serviu de base para o desenvolvimento de outros métodos de cálculo, ocorrendo algumas adaptações no método de cálculo original. A carga de ruptura da ancoragem levando em conta a influência de borda é:

$$N_u = N_{u,0} \cdot \psi_c \cdot \psi_s \cdot \psi_{ec} \quad (2.2)$$

onde:

$N_{u,0}$, é o valor da carga de ruptura de um pino, sujeito à esforços de tração, que não sofre a influência da borda.

ψ_c , é o coeficiente que considera a influência da borda.

$\psi_c = 1$ se $c_{\min} \geq 1,5h_{ef}$, onde c_{\min} é a distância mínima do eixo do pino a uma borda para que este não sofra a influência de borda.

$$\psi_c = 0,3 + 0,7 \cdot \frac{c_{\min}}{1,5 \cdot h_{ef}} \text{ se } c_{\min} < 1,5h_{ef}.$$

ψ_s , é o coeficiente que considera a influência de um grupo de ancoragens.

$$\psi_s = \left(1 + \frac{s}{3 \cdot h_{ef}} \right) \leq 2 \text{ para } s \leq 3 \cdot h_{ef}, \text{ onde } s \text{ é o espaçamento entre os pinos.}$$

ψ_{ec} , é o coeficiente que considera a influência da excentricidade de carga.

$$\psi_{ec} = \frac{1}{\left(1 + \frac{2 \cdot e'_N}{3 \cdot h_{ef}} \right)} \leq 1 \text{ para } e'_N \leq s/2, \text{ onde } e'_N \text{ é a excentricidade da carga}$$

dado por:

$$N_{u0} = k \cdot h_{ef}^{1,5} \cdot f_c^{0,5} \quad (2.3)$$

$k = 17$ ou 15 para ancoragens pré-instaladas e pós-instaladas respectivamente.

Os métodos de Fuchs *et al.* ou Concrete Capacity Design – CCD (1995), o CEB Bulletin d'Information N° 233 (1997) e o (ACI – 318/05), adota a área projetada de um prisma para calcular a área projetada do cone e ruptura. Os exemplos dos cones de ruptura são vistos na Figura 2.21.

Os métodos adaptados possuem um coeficiente de ajuste da relação entre as áreas projetadas do cone total A_0 e do cone reduzido pelo efeito de borda A_n e o coeficiente ψ_c é igual a $0,7 + 0,3 \cdot c_{\min} / 1,5 \cdot h_{ef}$, coeficiente não encontrado no método original. Adoção de um fator de ajuste k , que passa a ser de 16,84, 9,00 e 10,00 para os métodos adaptados de Fuchs *et al.* (1995), CEB Bulletin N° 233 (1997) e (ACI – 318/05) respectivamente.

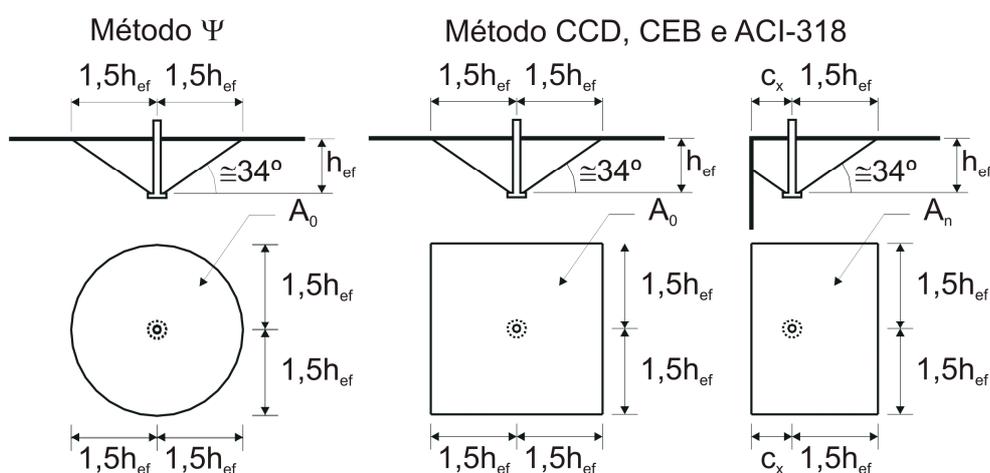


Figura 2.21 – Exemplos dos cones de ruptura (CEB Bulletin 233, 1987; Fuchs *et al.*, 1995; ACI 318- 2005).

O método de cálculo para estimar a capacidade final de barras de aço, proposto por De Vries *et al.* (1999), adaptação do método CCD, adota um coeficiente k (igual a 9,7) modificado para levar em conta a influência da dimensão da cabeça do pino sobre a resistência da ancoragem.

Outra modificação foi a adoção da área do cone de ruptura interrompido pela proximidade de borda, iniciando a partir do perímetro da cabeça de ancoragem. É importante notar que o coeficiente de redução A_n/A_0 é utilizado para valores da distância entre o perímetro da cabeça e a borda menores que $1,5 \cdot h_{ef}$ e que o coeficiente ψ_c é utilizado para valores da distância entre o centro da haste do pino e a borda menores que $1,5 \cdot h_{ef}$. Os valores utilizados para ajustar essas curvas foram obtidos com dados de 18 testes.

A capacidade final da ancoragem levando em conta a influência de borda é:

$$N_u = \frac{A_n}{A_0} \cdot N_{u0} \cdot \psi_c \quad (2.4)$$

onde:

$$N_{u0} = k \cdot h_{ef}^{1,5} \cdot f_c^{0,5} \quad (2.5)$$

$k = 9,70$ para ancoragens de barras com cabeça.

$$A_0 = 9 \cdot h_{ef}^2 \text{ e } A_n = (3 \cdot h_{ef} + d_h) \cdot (c_x + 1,5 \cdot h_{ef} + d_h/2)$$

$$\psi_c = 0,7 + 0,3 \cdot \frac{c_x}{1,5 \cdot h_{ef}} \text{ se } c_x < 1,5 \cdot h_{ef}$$

$$\psi_c = 1 \text{ se } c_x \geq 1,5 \cdot h_{ef}$$

A configuração do cone de ruptura proposto pode ser visto na Figura 2.22.

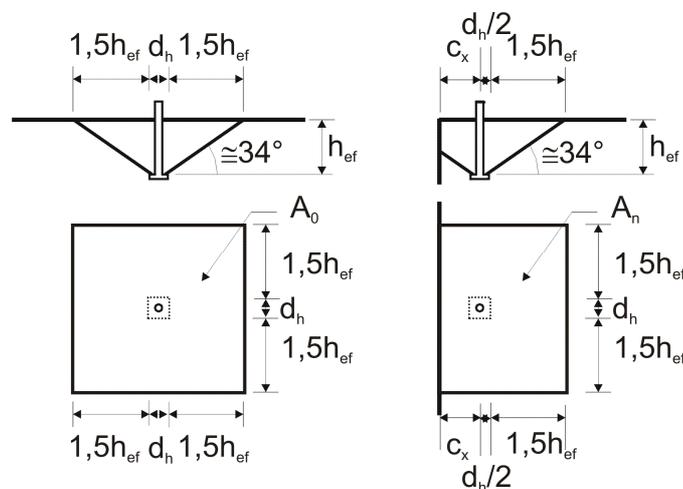


Figura 2.22 - Cone de ruptura (De Vries *et al.*, 1999).

No desenvolvimento do método de Bode e Roik (1987), foram realizados 150 ensaios, sendo 106 utilizados para desenvolver a fórmula de dimensionamento por meio de comparação de cálculos e os demais para uma verificação adicional de alguns aspectos que podem influenciar a resistência da ancoragem. A configuração do cone de ruptura proposto por esse método pode ser vista na Figura 2.23.

Nesse estudo são feitas observações sobre ancoragem de grupo, proximidade de borda, cargas combinadas de tração e cisalhamento, presença de armadura, fadiga estrutural.

A capacidade final da ancoragem levando em conta a influência de borda é:

$$N_u = N_{u0} \cdot \frac{c_x}{c_{\min}} \quad (2.6)$$

onde:

$$N_{u0} = 11,89 \cdot h_{ef}^{1,5} \cdot f_c^{0,5} \cdot [1 + (d_h/h_{ef})] \quad (2.7)$$

$$c_{\min} = 1,5 \cdot h_{ef} \text{ para uma borda.}$$

$$c_{\min} = 2,0 \cdot h_{ef} \text{ para mais da borda.}$$

c_x , é a distância do eixo do pino a uma borda.

d_h , é o diâmetro da cabeça de ancoragem.

Para ancoragens em grupo:

$$N_{u,grp} = N_{u0} \cdot \left[1 + \frac{s \cdot (n-1)}{4 \cdot h_{ef}} \right] \quad (2.8)$$

onde, n é o número de pinos

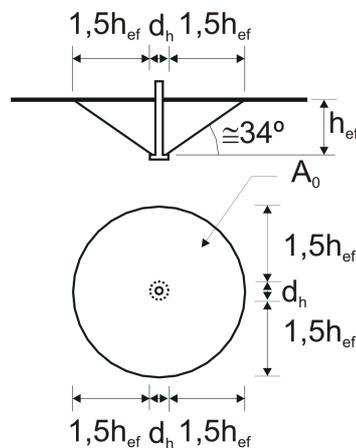


Figura 2.23 – Cone de ruptura segundo (Bode e Roik, 1987).

2.8.2 Ângulo de 45°

Esse método de cálculo foi desenvolvido pelo comitê 349 do ACI relacionado a segurança nuclear de estruturas de concreto, adotando filosofias que implicam em um tipo de ruptura mais dúctil como no caso de regiões sísmicas.

Muitos estudos comparando os métodos de cálculo, entre eles Fuchs *et al.* (1995) revelam que o método do ACI 349 subestima as cargas de ruptura para ancoragens rasas e superestima as cargas para ancoragens profundas. As justificativas dadas pelos membros do comitê do ACI 349 são:

- A presença de fissuras poderia restringir o efeito de disco, que é responsável pela maior inclinação do cone de ruptura.
- Se a estrutura se encontra em um plano de tensões biaxial de compressão ocorrerá uma tendência a um ângulo total zero; a magnitude do plano biaxial de tensão de compressão se torna muito grande e o modo de ruptura se aproxima diretamente do cisalhamento, como ilustrado na Figura 2.24.
- Se a estrutura se encontra em um plano de tensões biaxial de tração ocorrerá uma tendência a um ângulo total de 180°; com a abertura das fissuras podendo ser controlada pelo dimensionamento da armadura principal. Um exemplo é representado na Figura 2.25.

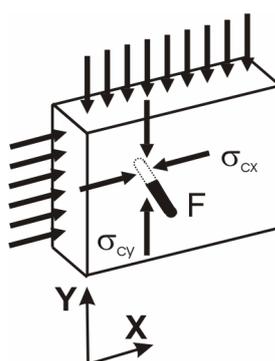


Figura 2.24 - Plano de tensão biaxial de compressão.

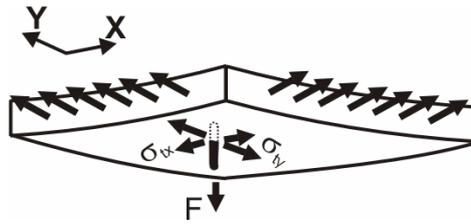


Figura 2.25 - Plano de tensão biaxial de tração.

A capacidade final da ancoragem levando em conta a influência de borda é:

$$N_u = \frac{A_n}{A_0} \cdot N_{u0} \tag{2.9}$$

onde:

$$N_{u0} = 0,33 \cdot f_c^{0,5} \cdot A_{N0} \tag{2.10}$$

$$A_0 = \pi \cdot h_{ef} \cdot (h_{ef} + d_h)$$

$$A_n = \left(2 \cdot \pi - \pi \cdot \frac{\theta}{180} \right) \cdot 0,5 \cdot \left(h_{ef} + \frac{d_h}{2} \right)^2 + c_x \cdot \left(h_{ef} + \frac{d_h}{2} \right) \cdot \text{sen} \frac{\theta}{2} - \frac{\pi \cdot d_h^2}{4}$$

$$\theta = 2 \cdot \arccos \left(\frac{2 \cdot c_x}{2 \cdot h_{ef} + d_h} \right)$$

A configuração do cone de ruptura proposto pelo método do ACI 349-76 (1976) pode ser visto na Figura 2.26.

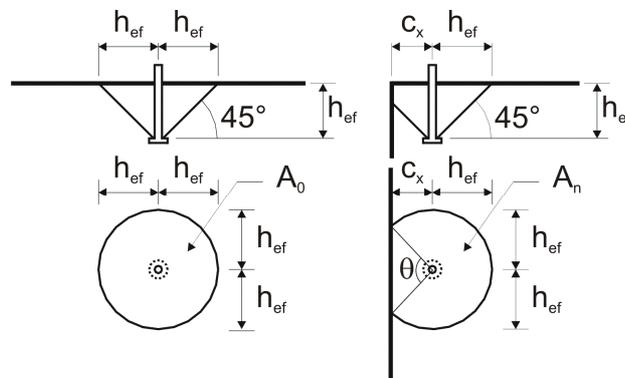


Figura 2.26 – Cone de ruptura segundo (ACI 349-76, 1976).

Os métodos do PCI Manual Structural Design (1977) e PCI Design Handbook (1978) foram utilizados no estudo de Klingner e Mendonça (1982). O modo de se estimar a capacidade final de um chumbador, sem a influência de borda e de outros chumbadores é semelhante ao método do ACI 349, adotando um ângulo do cone de concreto igual a 45°.

Outra modificação importante é a forma como a influência de borda é calculada, através da redução linear pelo fator c_x / h_{ef} para valores de c_x menores que a altura efetiva.

Outro método de cálculo utilizado no estudo de Klingner e Mendonça (1982) foi o do TRW Nelson Division (1974). O seu modo de estimar a carga de ruptura de um chumbador, sem a influência de borda e de outros chumbadores, é idêntico aos métodos do PCI descritos anteriormente com o ângulo de concreto igual a 45° e utilizando a área da superfície de ruptura.

O modo de quantificar a influência de borda desse método é feito através da divisão da área da superfície de ruptura de um cone total suposto dentro do cone parcial $A_{S0, \text{cone menor}}$ pela área da superfície de um cone total A_{S0} . A configuração do cone de ruptura proposto por esse método pode ser visto na Figura 2.27

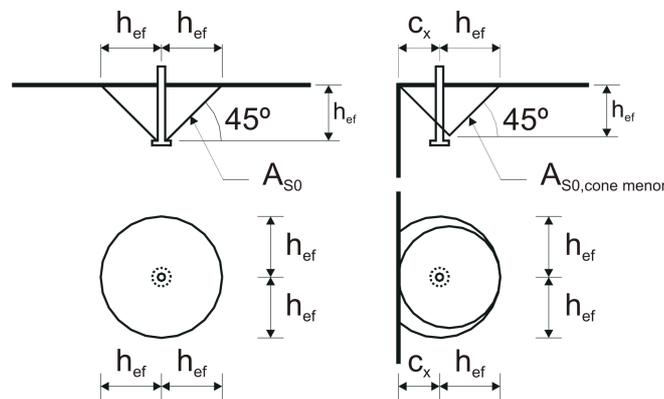


Figura 2.27 – Cone de ruptura segundo Método TRW Nelson Division (1974) (Klingner e Mendonca, 1982).

A capacidade final da ancoragem levando em conta a influência de borda é:

$$N_{u,brd} = N_{u0} \cdot \left(\frac{2 \cdot c_x}{9 \cdot d} \right) \cdot \sqrt{\frac{f_c}{5000}} \quad (2.11)$$

Se:

$$c_x \geq \frac{9 \cdot d \cdot 0,083}{2 \cdot C \cdot \sqrt{\frac{f_c}{5000}}}$$

ou,

$$N_{um,brd} = \frac{A_{S0,conemenor}}{A_{S0}} \cdot N_{u0} \quad (2.12)$$

Se:

$$c_x < \frac{9 \cdot d \cdot 0,083}{2 \cdot C \cdot \sqrt{\frac{f_c}{5000}}}$$

onde:

$$N_{u0} = 0,33 \cdot f_c^{0,5} \cdot A_{N0}$$

$$A_{S0} = \pi \cdot \sqrt{2} \cdot h_{ef} \cdot (h_{ef} + d_h)$$

$$A_{S0,conemenor} = \pi \cdot \left(\frac{d_h/2 + h_{ef} + c_x}{2} \right) \cdot \sqrt{h_{ef}^2 + \left(\frac{d_h/2 + h_{ef} + c_x}{2} \right)^2}$$

C , é um coeficiente multiplicador relativo ao tipo de concreto. Para concretos normais e concretos leves o seu valor é 1,00 e 0,85 respectivamente

2.8.3 Ângulo variando entre 28° e 45°

O método de cálculo do Tennessee Valley Authority (TVA) de 1984 foi utilizado inicialmente no estudo de Farrow e Klingner (1995), esse método é uma modificação do método do TVA de 1975, apresentado no estudo de Klingner e Mendonça (1982).

Como principal modificação do método inicial onde o ângulo adotado era fixado em 45°, o que gerava valores muito próximos ao método do ACI 349, ocorre uma variação do ângulo do cone de concreto em função da altura efetiva para alturas efetivas menores que 127 mm e para alturas efetivas maiores do que esse valor o ângulo é fixado em 45°.

Para se obter a carga de ruptura da ancoragem sem a influência de outras ancoragens ou bordas, a área projetada desse cone de ruptura é multiplicado pelo valor da tensão de tração do concreto de $0,33 \cdot \sqrt{f'_c}$. A configuração do cone de ruptura proposto por esse método pode ser vista na Figura 2.28.

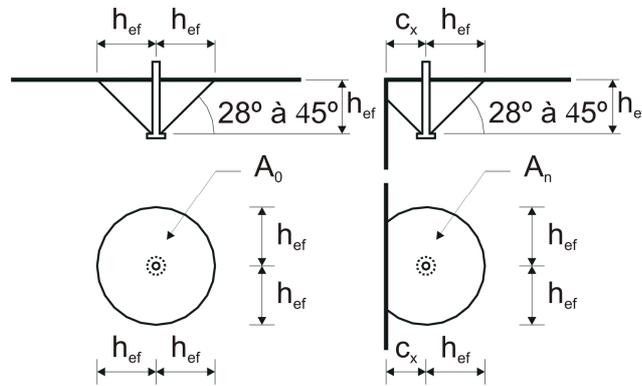


Figura 2.28– Cone de ruptura segundo Método TVA (1984) (Farrow e Klingner, 1995).

A capacidade final da ancoragem levando em conta a influência de borda é:

$$N_u = \frac{A_n}{A_0} \cdot N_{u0} \quad (2.13)$$

onde:

$$N_{u0} = 0,33 \cdot f_c^{0,5} \cdot A_0$$

$$A_0 = \pi \cdot \frac{h_{ef}}{\tan \alpha} \cdot \left(\frac{h_{ef}}{\tan \alpha} + d_h \right)$$

$$A_n = \left(2 \cdot \pi - \pi \cdot \frac{\theta}{180} \right) \cdot 0,5 \cdot \left(\frac{h_{ef}}{\tan \alpha} + \frac{d_h}{2} \right)^2 + c_x \cdot \left(\frac{h_{ef}}{\tan \alpha} + \frac{d_h}{2} \right) \cdot \text{sen} \frac{\theta}{2} - \frac{\pi \cdot d_h^2}{4}$$

$$\theta = 2 \cdot \arccos \left(\frac{2 \cdot c_x}{2 \cdot h_{ef} + d_h} \right)$$

o ângulo da superfície de ruptura α é igual a 45° para $h_{ef} \geq 127\text{mm}$ e para $h_{ef} < 127\text{mm}$, $\alpha = 28^\circ + (0,13386 \cdot h_{ef})$

CAPÍTULO 3

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

No presente trabalho foi estudado o comportamento de pinos de ancoragem sujeitos a esforços de tração situados em diferentes posições e profundidades em blocos de concreto de dimensões 2200 mm x 600 mm x 400 mm. Os pinos possuíam também, diferentes diâmetros e comprimentos de aderência. Foram realizados ensaios em 162 pinos (sendo 65 destes ensaios considerados pré-teste). Todos esses ensaios foram realizados no laboratório de Estruturas da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás. Todos os dados referentes aos ensaios dos pinos da dissertação e do pré-teste são descritos no ANEXO A.

Os ensaios relacionados à caracterização do material utilizado foram realizados na empresa Carlos Campos Consultoria e Construções Limitada, Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás – CEFET-GO e Universidade Católica de Goiás – UCG.

3.2 PARÂMETROS E VARIÁVEIS

As variáveis principais estudadas estão mostradas na Figura 3.1 e são caracterizadas como:

- Comprimento de aderência l_b : é o comprimento em que há aderência entre o concreto e o aço da haste, sendo em alguns casos igual à altura efetiva (100% de l_b) ou zero (0% de l_b). Porém, o objetivo do trabalho é ensaiar também modelos com valores intermediários da altura efetiva (h_{ef}) de 25%, 50% e 75% de (l_b).
- Distância à borda c_x : é a distância medida do eixo do pino até a superfície lateral de concreto mais próxima. Assim obtém-se a divisão da área projetada

parcial formada por um cone de ruptura interrompido por uma borda livre pelo valor da área projetada do cone total (A_n / A_0) com a relação variando de 0,70, 0,80 e 1,00.

- Altura efetiva h_{ef} : é a altura entre a superfície superior da cabeça de ancoragem e a superfície livre do concreto, e foram adotadas alturas efetivas de 50, 75, 100 e 125 mm, para os variados diâmetros apresentados.
- Variação do diâmetro da haste do pino ϕ : os pinos possuíam variação de 6,3 mm, 12,5 mm, 16,0 mm e 20,0 mm, para a etapa de pré-teste. Na segunda etapa optou-se por alterar o diâmetro de 6,3 mm para 10 mm. A escolha seguiu critérios de mercado, pois são os diâmetros comercialmente encontrados.

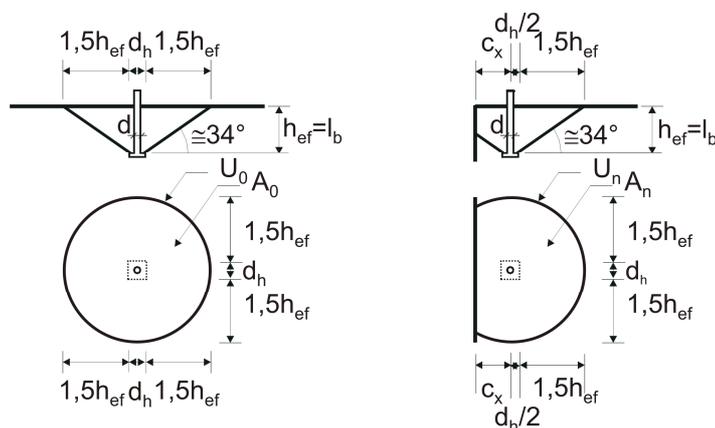


Figura 3.1 – Características geométricas dos pinos

Foram mantidas constantes a resistência à compressão do concreto f_c , a posição e orientação dos pinos nos blocos: vertical superior, e a dimensão da cabeça de ancoragem (d_h) de 50 mm x 50 mm onde o aço utilizado foi o SAC 1045 para a confecção das cabeças e CA-50 para a haste do pino.

3.3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental descrito na Tabela 3.1 apresenta as características dos pinos ensaiados referente ao pré-teste, tendo como objetivo analisar cada característica relacionada a seguir:

- Proximidade de borda: comparando pinos de mesmo comprimento de aderência (l_b), diâmetros da haste (ϕ) e altura efetiva (h_{ef}) também iguais, variando apenas a relação (A_n / A_0).
- Diâmetro da haste do pino: comparando pinos com mesma relação (A_n / A_0), mesmo comprimento de aderência (l_b) e mesma altura efetiva (h_{ef}), variando somente o diâmetro da haste.
- Variação da altura efetiva: comparando pinos com mesmo comprimento de aderência (l_b), diâmetro da haste (ϕ) e mesmas relações (A_n / A_0), variando a altura efetiva.
- Comprimento de aderência: comparando os pinos com mesma relação (A_n / A_0), altura efetiva (h_{ef}) e diâmetros da haste (ϕ) iguais, variando o comprimento de aderência em 0%, 25 %, 50%, 75% e 100%.

A nomenclatura dos pinos foi elaborada a fim de se inserir diretamente no nome suas características principais na seguinte seqüência: P referente a pino; 50, 75, 100 e 125 referente à variação da altura efetiva; I, B e b caracterizando a proximidade de borda com relação 1,00, 0,80 e 0,70 respectivamente; 10, 12, 16 e 20 relativos ao diâmetro da haste do pino e A0, A50 e A100 expressando o comprimento de aderência em 0%, 50% e 100%. Por exemplo o espécime P_{100-b-12-A100}, possui altura efetiva de 100 mm, proximidade de borda igual a 0,70, diâmetro da haste igual a 12,5 mm e comprimento de aderência igual a 100.

Os resultados experimentais dos pinos do pré-teste mostraram que estes romperam na solda entre o pino e sua cabeça ou ocorreu flexão na laje, modo que impedia a realização dos ensaios dos pinos que se encontravam do lado oposto. Assim, estes resultados não puderam ser validados nas tabelas de resultados por apresentarem tipos de ruptura que não eram variáveis de estudo.

Os pinos foram fisicamente distribuídos nos blocos de concreto de forma que se pudesse obter o maior número de ensaios por bloco, sem que ocorresse a sobreposição dos cones de ruptura e ainda oferecesse uma distância adequada para o posicionamento do pórtico de reação sem produzir o confinamento do concreto. A distribuição dos pinos nas faces dos blocos pode ser melhor observada na Figura 3.2; em vermelho está a área projetada do cone de ruptura teórico de cada pino.

A Figura 3.2 apresenta a localização e disposição dos pinos isolados e de borda. Em vermelho está a área projetada do cone de ruptura teórico de cada pino.

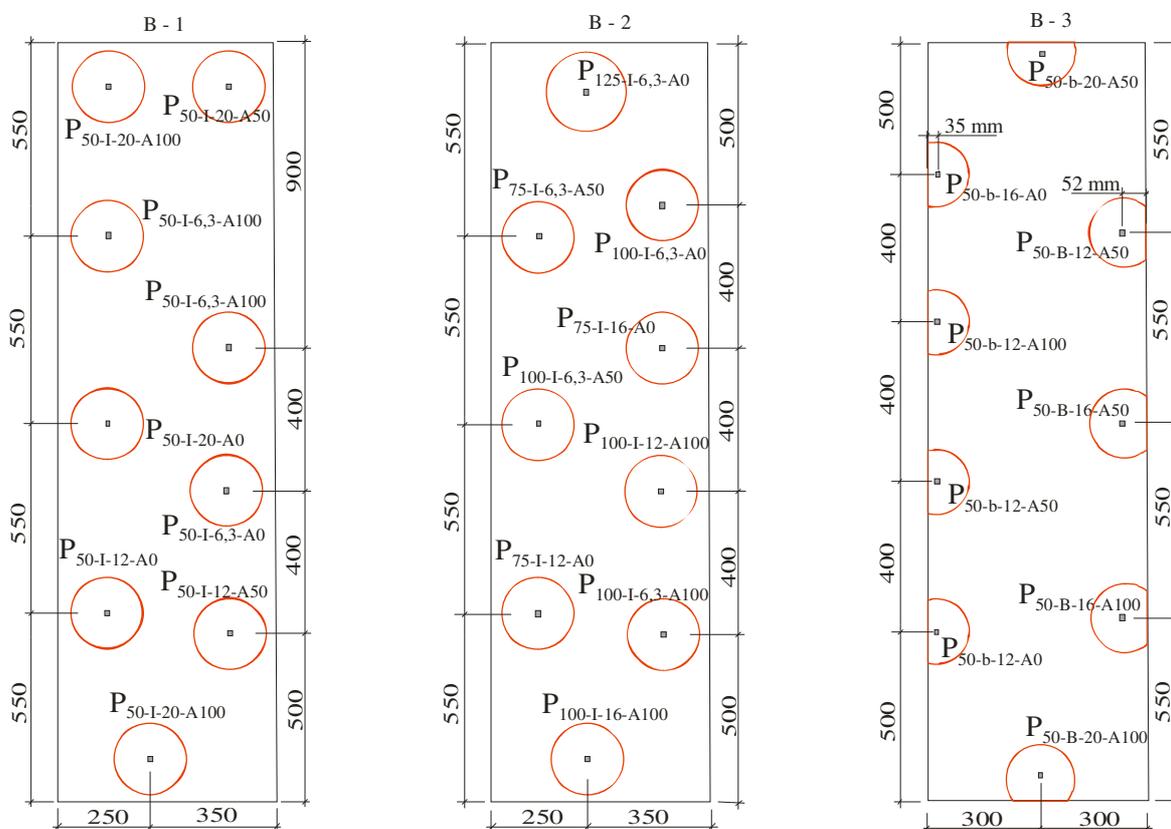


Figura 3.2 – Disposição dos pinos isolados e de borda da primeira série – Unidade (mm)

A Figura 3.3 mostra uma fotografia de um pino ensaiado onde pode-se observar a distância das bases do pórtico de reação em relação ao cone de concreto formado pelo arrancamento do pino.

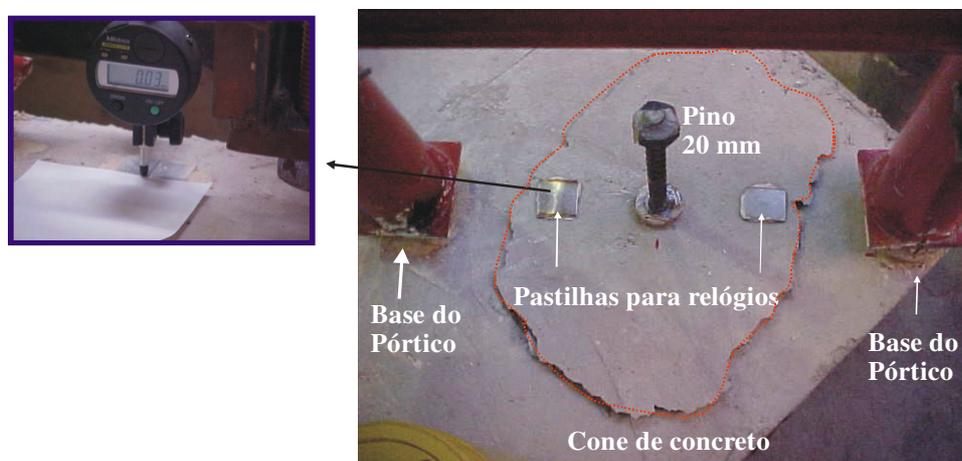


Figura 3.3 – Fotografia da distância da base do pórtico em relação ao cone de ruptura.

Na Tabela 3.2 são apresentados os pinos ensaiados na segunda série, onde houve o acréscimo de algumas amostras, a substituição dos pinos de diâmetro 6,3 mm por diâmetro de 10,0 mm e a repetição alguns pinos ensaiados no pré-teste.

Os 114 pinos da segunda série foram concretados em três etapas. Primeiramente sessenta e três pinos foram concretados em nove blocos, em seguida, foram concretados mais 27 pinos em quatro blocos e, finalmente, mais 24 pinos em 5 blocos. A distribuição dos pinos nas faces dos blocos pode ser melhor observada na Figura 3.4.

Durante a realização dos ensaios da segunda série, os pinos que tiveram ruptura na região da solda para cargas altas e os pinos que ficaram próximos uns aos outros causando uma interferência no cone de ruptura, foram concretados novamente nos blocos 14, 15, 16, 17 e 18, totalizando 114 amostras.

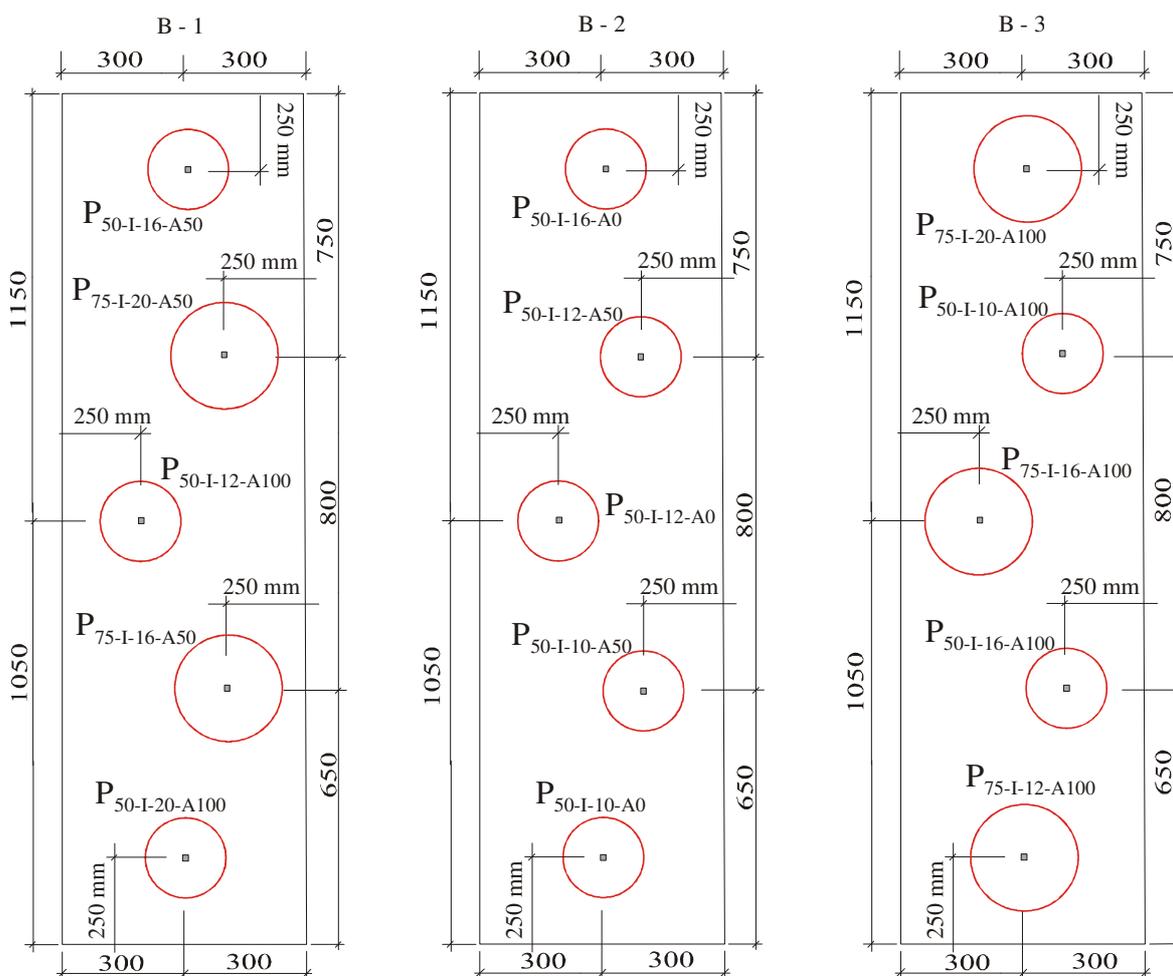


Figura 3.4 (a) – Localização e disposição dos pinos – Unidade (mm)

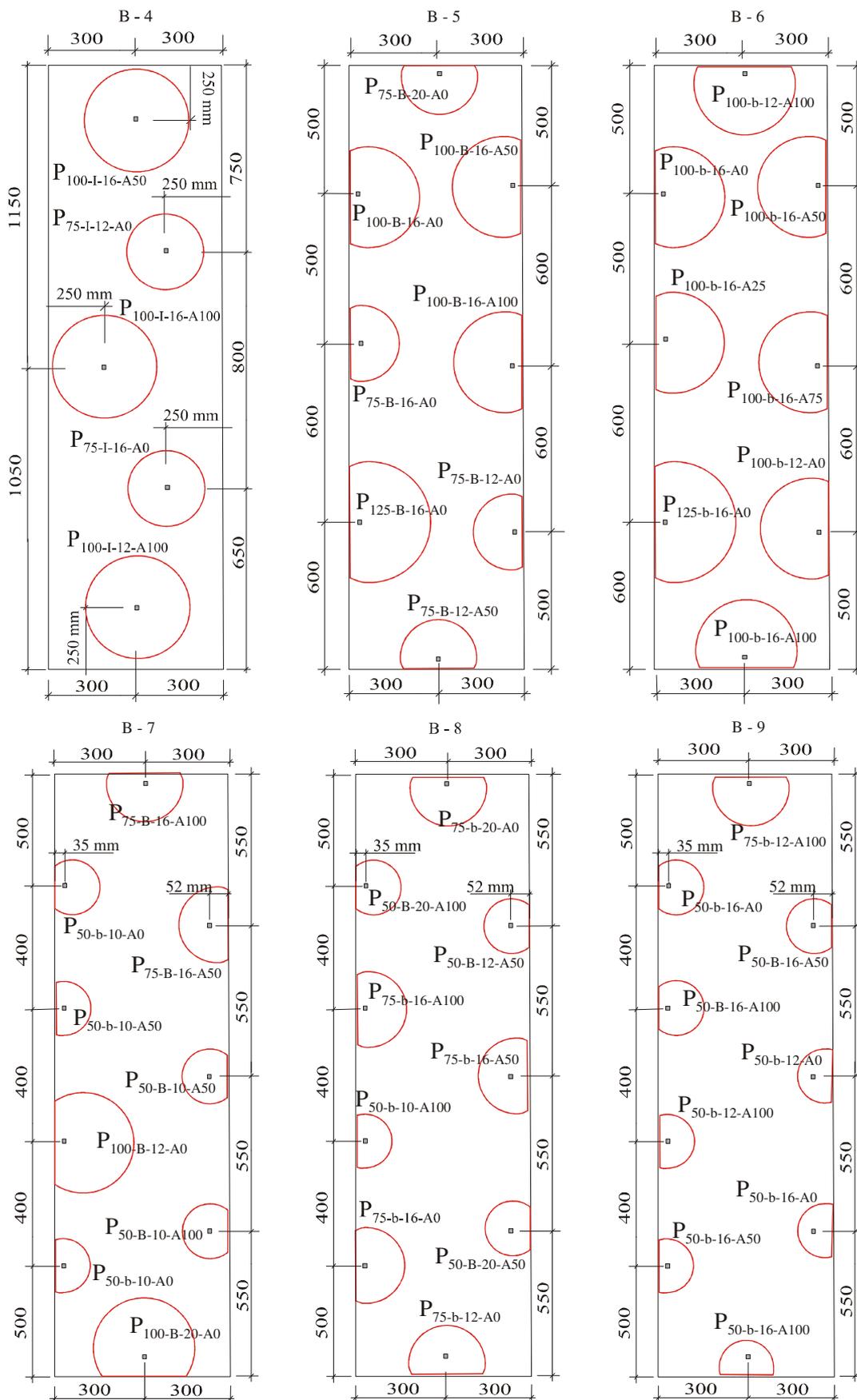


Figura 3.4 (b) – Localização e disposição dos pinos – Unidade (mm)

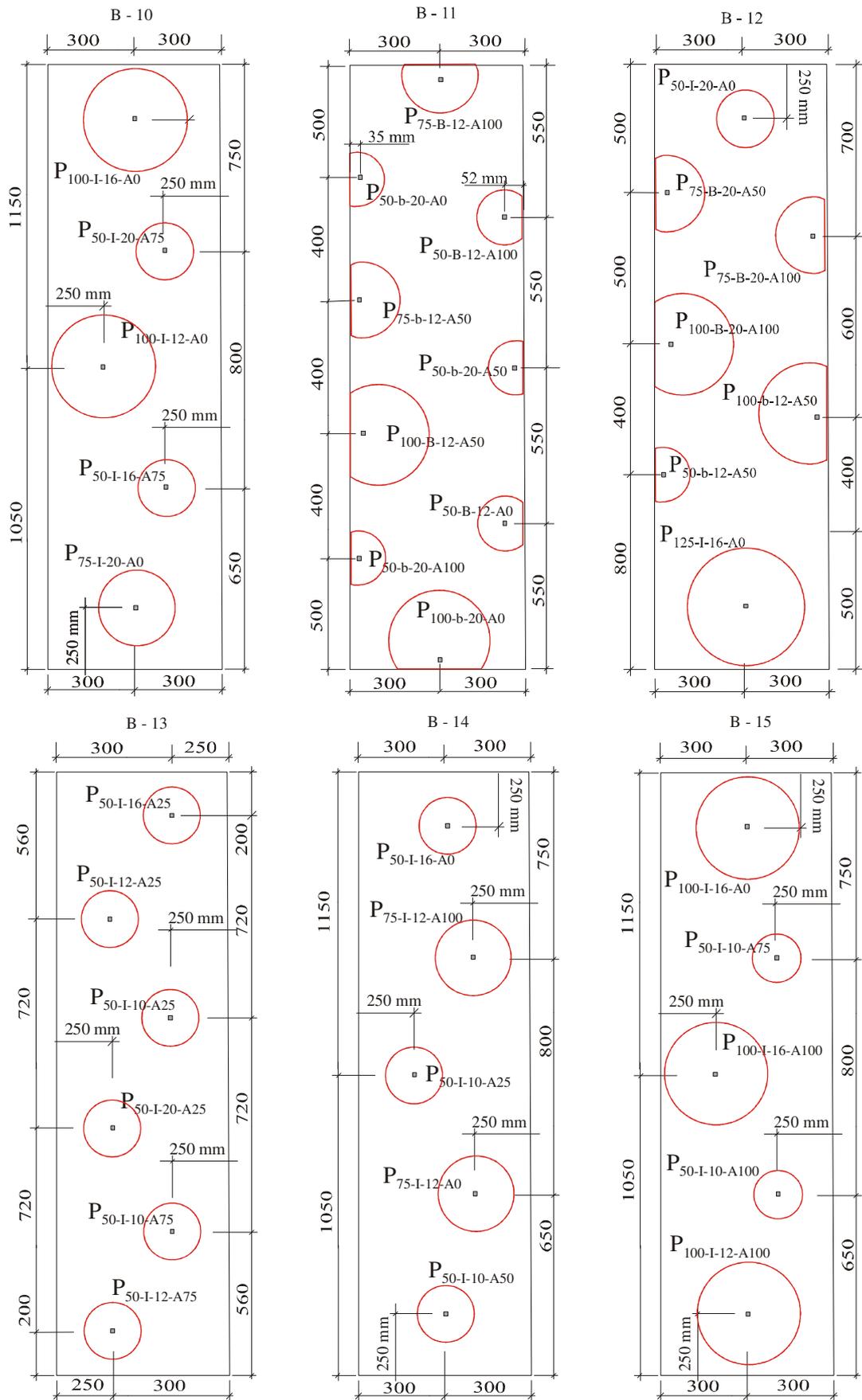


Figura 3.4 (c) – Localização e disposição dos pinos – Unidade (mm)

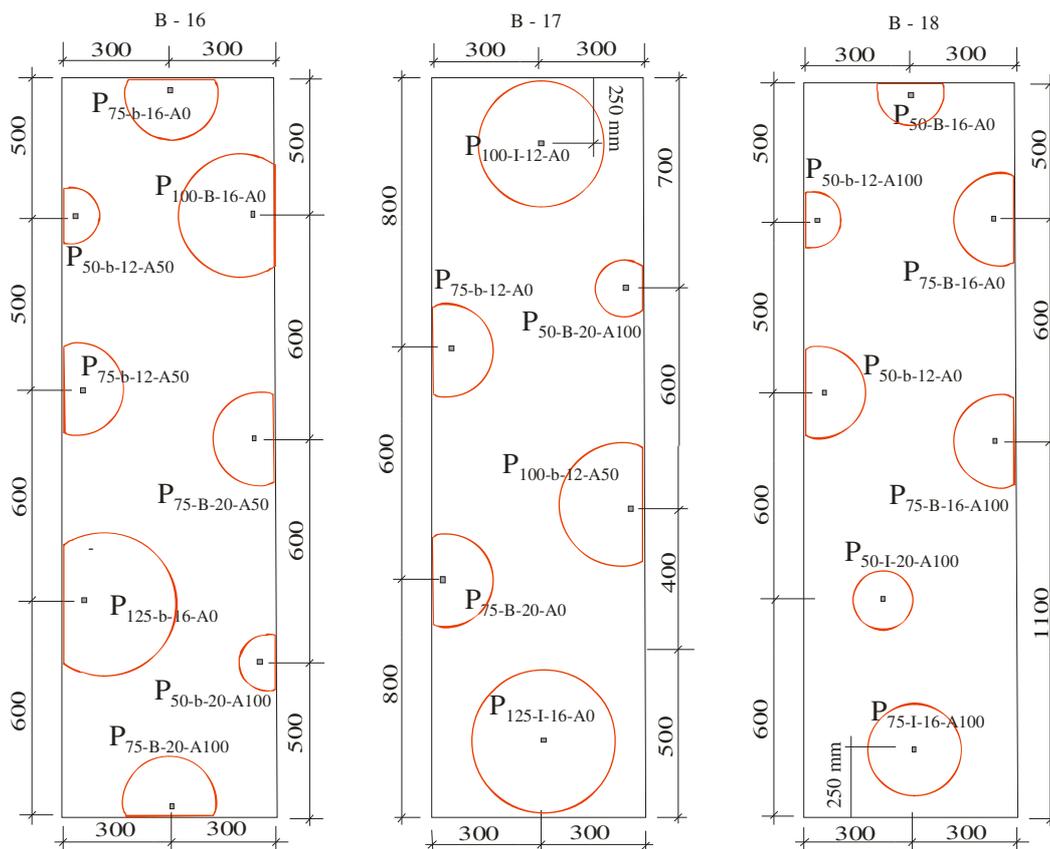


Figura 3.4 (c) – Localização e disposição dos pinos – Unidade (mm)

3.5 ESQUEMA DE ENSAIO

A montagem do ensaio foi desenvolvida para que todos os ensaios fossem realizados da mesma forma. Os seus elementos constituintes são:

- Pórtico de reação: constituído de uma viga metálica formada por um perfil H soldado de 145 mm x 155 mm x 12,5 mm com 1000 mm de comprimento e de dois pilares constituídos de um perfil circular com 90 mm de diâmetro e 3 mm de espessura, com altura de 340 mm soldado a chapas metálicas de 145 mm x 125 mm com espessura de 12,5 mm nas extremidades fixados à base da viga por meio de sargentos.
- Atuador hidráulico: Tem capacidade de carga de utilização de 300 kN e é alimentado por uma bomba manual. Ambos os equipamentos são da marca Yellow Power.

- Célula de carga: é utilizada para medir a força aplicada pelo atuador hidráulico. Possui capacidade de utilização de 500 kN e é da marca Kratos.
- Leitora de carga digital: é responsável pela indicação do valor medido pela célula de carga. Tem capacidade de utilização de 500 kN e é da marca Kratos.
- Tirantes: foram utilizados dois tirantes, com diâmetro de 25 mm e comprimento de 1200 mm e são feitos de aço SAC 1045. Somente 200 mm em cada extremidade é rosqueável. Sendo responsáveis pela transmissão da força gerada pelo atuador hidráulico para o pino a ser ensaiado.
- Perfis em U: são utilizados dois perfis, um superior e outro inferior, para transmitir a força de tração gerada pelo atuador hidráulico para o pino a ser ensaiado. Foram fabricados através da soldagem de três chapas metálicas formando um perfil U, como pode ser visto na Figura 3.5.
- Chapas em L: são utilizadas chapas em forma de L para transmitir a força de tração do perfil U, descrito acima, para a porca soldada ao pino. As dimensões são variáveis de acordo com o diâmetro do pino a ser ensaiado como pode ser visto na Figura 3.6.



Figura 3.5 – Fotografia dos perfis U, inferior e superior

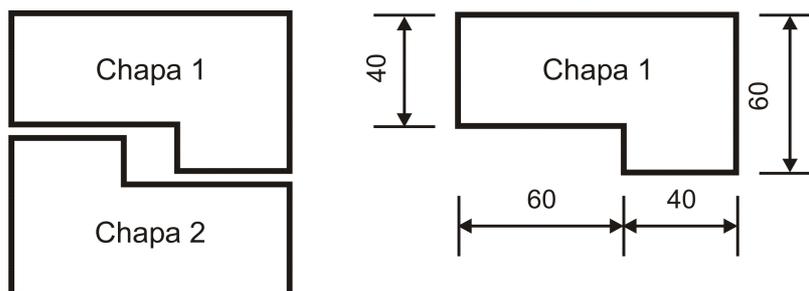


Figura 3.6 – Desenho das chapas em L para pinos com diâmetros de 16 e 20 mm (Medidas em mm)

A Figura 3.7 apresenta um desenho do esquema de ensaio, mostrando a vista frontal, a vista superior e um corte lateral. A figura também traz a indicação da posição de cada elemento do esquema de ensaio, bem como as suas dimensões.

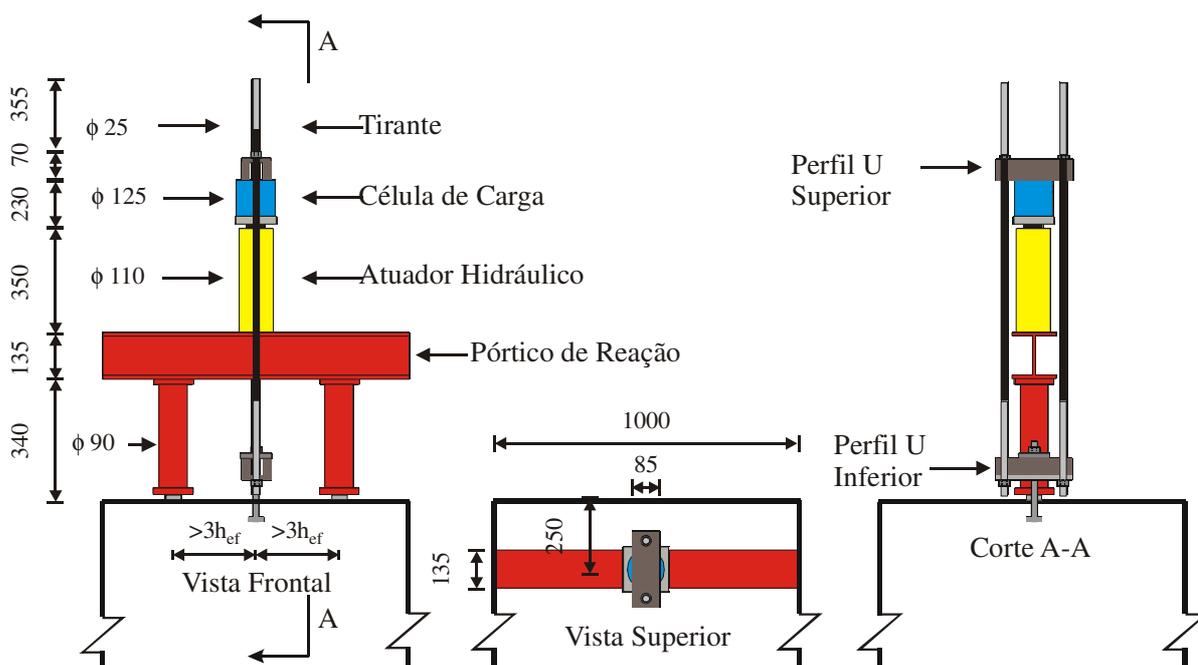


Figura 3.7 – Desenho do esquema de ensaio – unidade em (mm)

- Chapas metálicas: Essas chapas têm dimensões 50 mm x 100 mm x 25 mm e são fixadas na parte inferior do pórtico no concreto com gesso de secagem rápida e o pórtico é simplesmente apoiado.

- Porcas e arruelas: Foram soldadas porcas sextavadas de diferentes tamanhos, variando de acordo com o diâmetro do pino, na parte superior através de solda de topo utilizando eletrodo OK 46.

A Figura 3.8 ilustra a montagem dos ensaios por meio de fotografias. No detalhe está representada a posição dos relógios comparadores.



Figura 3.8 – Fotografia do esquema de ensaio com pórtico de dois apoios.

Durante a realização dos ensaios referentes à primeira série, ocorreram fissuras de flexão nos blocos, devido às altas cargas de ruptura quando comparadas com a resistência à flexão das mesmas. Para combater o modo de ruptura não desejado, optou-se por utilizar um pórtico de quatro apoios, que possibilitasse uma distribuição mais uniforme da carga aplicada. Optou-se também por aumentar a altura da laje para 40 cm, dando assim maior rigidez à peça.

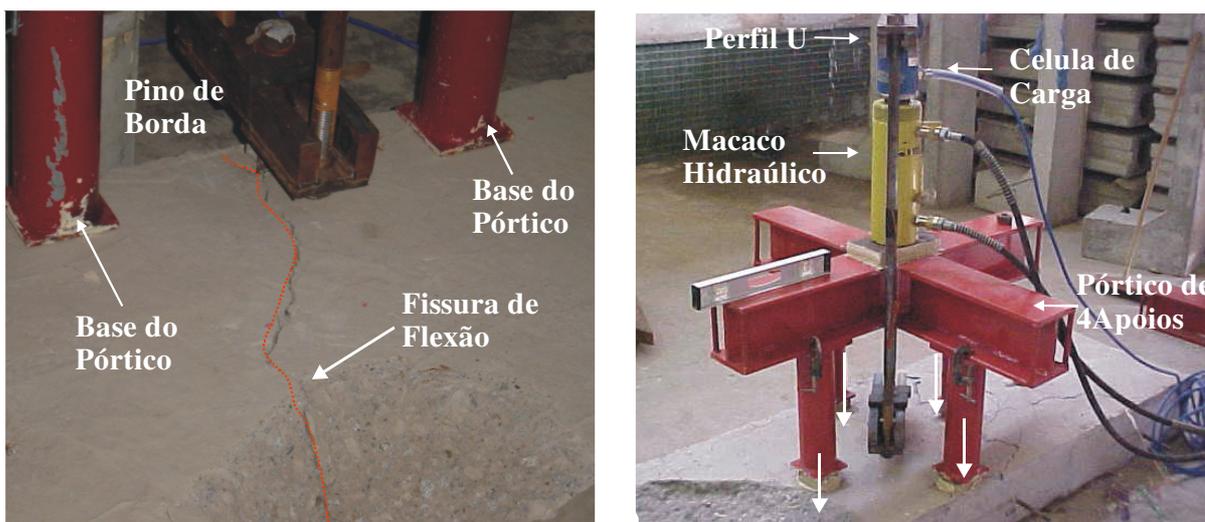


Figura 3.9 – Fissura de flexão nas lajes e fotografia do pórtico de quatro apoios.

3.6 DETALHAMENTO DOS MODELOS ENSAIADOS

Os pinos utilizados nesta pesquisa foram fabricados utilizando barras de aço CA-50 para as hastes e chapas metálicas de aço SAC-1045 para as cabeças de ancoragem. A chapa metálica foi perfurada para que a haste pudesse atravessá-la, sendo soldada utilizando eletrodo OK 46 em cada face. A Figura 3.10 apresenta a configuração de um pino após a solda.



Figura 3.10 – Configuração dos pinos preparados para concretagem

As dimensões da cabeça de ancoragem (d_h) 50 mm x 50 mm foram mantidas constantes, mudando somente o comprimento da haste devido ao aumento da altura efetiva para que todos os pinos possuíssem a mesma altura na parte externa ao concreto. Os comprimentos da haste eram de 250 mm ($h_{ef} = 50$ mm), 275 mm ($h_{ef} = 75$ mm), 300 ($h_{ef} = 100$ mm), 325 mm ($h_{ef} = 125$ mm) e 350 mm ($h_{ef} = 150$ mm) para as variações dos diâmetros da haste estudados que são 10, 12,5, 16 e 20 mm..

3.7 FÔRMAS

Foram utilizadas fôrmas metálicas de dimensões 2200 mm x 600 mm x 200 mm, que também são utilizadas na linha de pesquisa de pavimentos de concreto. Para a confecção das peças da primeira etapa referente ao pré-teste, foram utilizadas em seu estado original. Devido aos modos de ruptura de flexão inesperados, optou-se por aumentar a altura das peças com placas de madeirit e laterais metálicas, como mostrado na Figura 3.11.

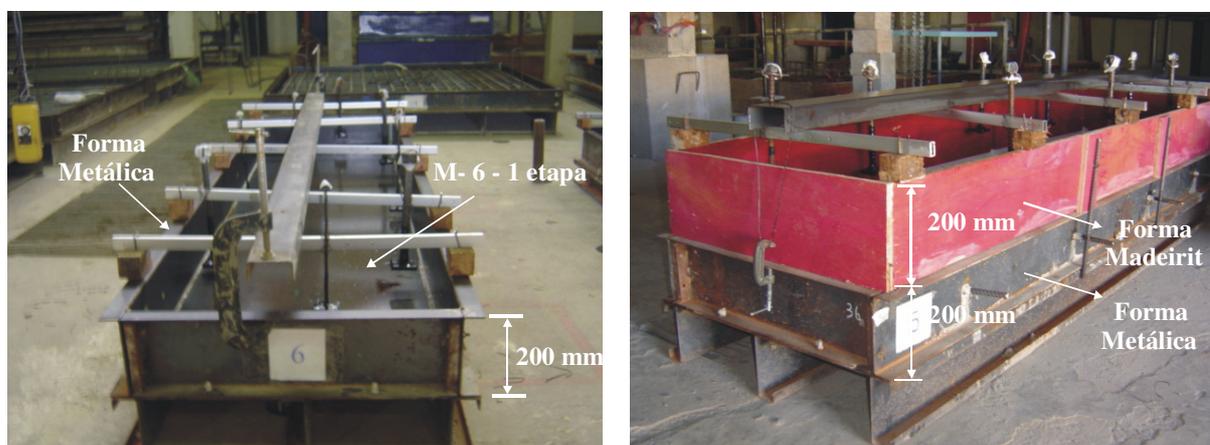


Figura 3.11 – Fotografias das fôrmas preparadas para concretagem com os pinos fixados

Para assegurar que os pinos ficassem devidamente posicionados e não ocorresse nenhum deslocamento durante a concretagem, foram fixados barras de alumínio no sentido transversal das fôrmas, apoiados em pequenos cubos de madeira, para manter livre a superfície de concreto e os pinos fixados a estas por meio de arame recozido. Antes da concretagem foram feitas verificação do prumo e alinhamento. A fixação dos pinos pode ser vista na Figura 3.12.

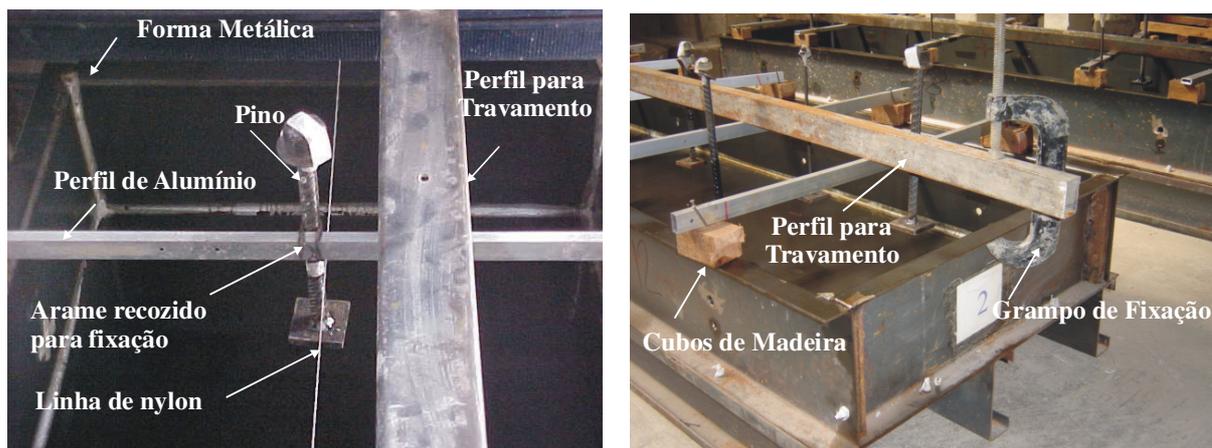


Figura 3.12 – Fixação dos pinos nas fôrmas

3.8 MATERIAIS

3.8.1 – Concreto Convencional

O concreto utilizado na confecção das peças foi fornecido pela empresa REALMIX Concreto e Argamassa que definiu o traço para que o concreto atingisse a resistência a compressão de 30 MPa aos 28 dias.

Foram realizados quatro concretagens. A primeira foi realizada em 21/12/2005 para a confecção de nove blocos com quatro unidades de dimensões de 2200 mm x 600 mm x 200 mm e 5 unidades de 2200 mm x 600 mm x 160 mm, referentes ao pré-teste. A segunda concretagem foi realizada no dia 14/06/2006 para a confecção de nove blocos e a terceira no dia 06/07/2006 para a confecção de mais quatro peças. A quarta e última concretagem de mais cinco blocos ocorreu no dia 19/09/2006. A cura das peças foi feita utilizando água e mantendo a superfície dos blocos molhada por sete dias, com posterior cobertura com lona a fim de se evitar perda de umidade.

Foram moldados corpos de prova cilíndricos 150 mm x 300 mm para a obtenção de dados suficientes para se traçar a curva idade x resistência à compressão, obter valores do módulo de elasticidade e resistência à tração do concreto para a idade de 28 dias.

3.8.2 – Aço

As barras de aço do tipo CA-50 de 10,0 mm, 12,5 mm, 16,0 mm e 20,0 mm para a confecção da haste dos pinos foram provenientes de um lote único da Belgo-Mineira. A chapa de aço das cabeças dos pinos é do tipo SAC 1045, proveniente do estoque do laboratório de estruturas da EEC-UFG. O aço utilizado na confecção da haste foi ensaiado à tração utilizando duas amostras de cada diâmetro conforme mostrado na figura 3.13.

A soldagem da cabeça do pino foi feita utilizando dois cordões de solda (um na parte superior e outro na parte inferior da chapa de aço), o eletrodo utilizado foi o OK 46. Para se avaliar a capacidade que o pino suportaria após a soldagem das cabeças foram realizados ensaios de tração dos pinos e verificados se os valores de rupturas da soldas eram maiores que a carga de ruptura obtidas pelo arrancamento do cone de concreto.



3.13 – Ensaio à tração das barras de aço

3.9 INSTRUMENTAÇÃO

A determinação dos deslocamentos foi feita com relógios comparadores digitais da marca Mitutoyo com 0,01 mm de precisão. Esses relógios eram fixados a um perfil metálico apoiado sobre suportes apoiados no chão. A posição dos relógios é apresentada na Figura 3.14.

Os deslocamentos verticais D1 e D2, do cone de concreto, foram medidos com dois relógios em pontos simétricos na parte superior do cone de concreto. O deslocamento horizontal D3, do cone de concreto, foi medido em um ponto da superfície lateral. Quando

o pino se encontrava isolado, não era posicionado o relógio para medir o deslocamento lateral. O deslocamento vertical D_4 , no eixo do pino foi medido por um relógio na parte superior do pino.

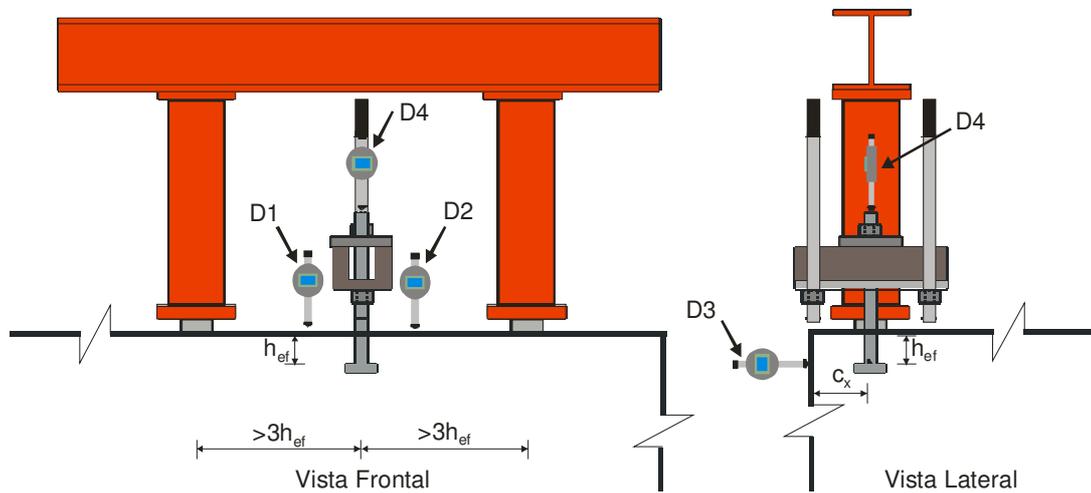


Figura 3.14 – Esquema geral da posição dos relógios comparadores.

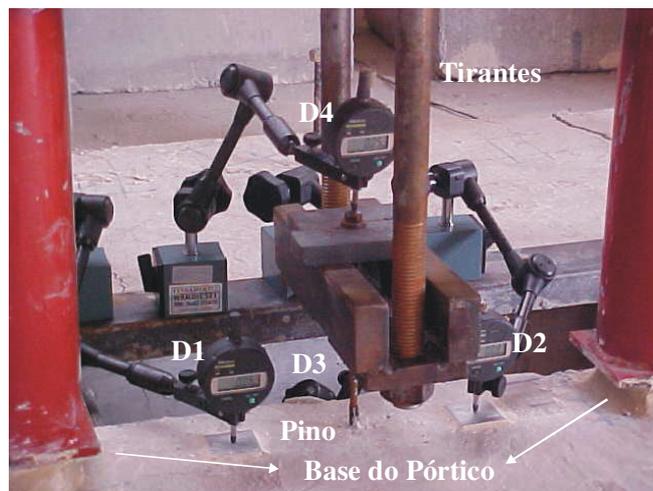


Figura 3.15 – Fotografia da posição dos relógios comparadores.

A leitura da carga aplicada era feita por meio de uma célula de carga ligada a uma leitora digital, conforme a Figura 3.16.

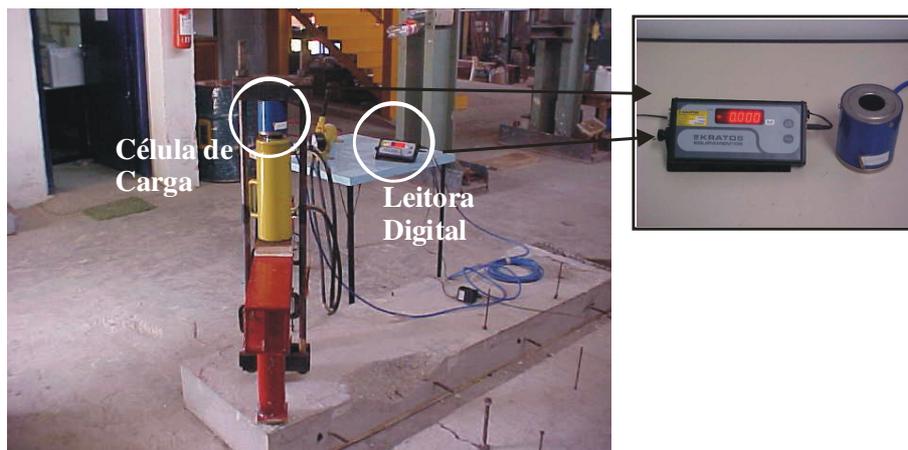


Figura 3.16 – Fotografia da leitora digital e célula de carga.

O incremento de carga foi constante e igual 2,5 kN para todos os pinos. A carga última de ancoragem, considerada como o valor da carga de ruptura, era a última carga lida na leitora.

3.10 PROCEDIMENTO PARA REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS

Na preparação do pórtico, os pilares eram aproximados ou afastados de acordo com a altura efetiva do pino. Após verificar se as bases dos pilares estavam no mesmo eixo e equidistantes do centro do pino, era utilizado gesso para nivelar a base do pórtico. Uma fotografia do pórtico montado é apresentada na Figura 3.17.



Figura 3.17 – Fotografia do pórtico posicionado para situações de borda e pinos centrais

O atuador hidráulico era posicionado, juntamente com a célula de carga, no centro da viga metálica do pórtico de reação, no mesmo eixo do pino, Figura 3.18.

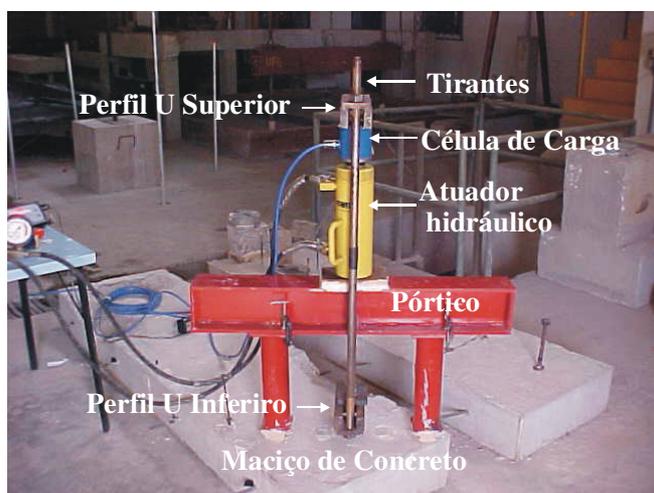


Figura 3.18 – Fotografia do pórtico montado.

Um perfil U (superior) era colocado acima da célula de carga e um outro perfil U (inferior) era posicionado de forma que o pino atravessasse esse perfil, Figura 3.19(a). Para ligar os perfis U, foram utilizados dois tirantes parafusados com porcas e arruelas. Após o perfil U inferior ser nivelado, eram colocadas as chapas em L.



Figura 3.19 – Fotografia do perfil U inferior e perfil U superior.

Após a montagem de todo o esquema de ensaio era efetuado um pré-carregamento de 1 kN para garantir que o conjunto do esquema de ensaio pudesse ficar estável. Em seguida os relógios comparadores eram posicionados, e o carregamento era aplicado de forma constante.

A leitura do carregamento era feita pela leitora digital e a cada incremento de carga eram observados os valores dos relógios comparadores, que eram retirados próximo à ruptura da peça a fim de se evitar que os mesmos se danificassem. Após a ruptura o valor da última carga registrada na leitora durante o ensaio era considerada a carga de ruptura.

CAPÍTULO 4

APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

4.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos nos ensaios dos pinos nos blocos de concreto que são: cargas, modo de ruptura, deslocamentos verticais dos pinos e superfície de ruptura. Os resultados da caracterização dos materiais estão descritos no item 4.2 a seguir.

4.2 MATERIAIS

4.2.1 Concreto

Foram realizadas três concretagens na segunda série de ensaios para a confecção das peças deste trabalho e de outros que estão sendo desenvolvidos no laboratório. Foi utilizado concreto usinado, dosado para atingir uma resistência média à compressão de 30 MPa aos 28 dias. A Tabela 4.1 apresenta a proporção dos materiais por metro cúbico de concreto utilizado nos blocos.

Para a realização dos ensaios de resistência à compressão, resistência a tração e módulo de elasticidade do concreto, romperam-se corpos-de-prova cilíndricos, com diâmetro de 150 mm e altura de 300 mm, de acordo com a NBR 5739/94, NBR 7222/94 e NBR 8522/84 respectivamente. Os ensaios foram realizados com duas amostras por idade, para obtenção da curva de resistência do material ao longo do tempo.

A Tabela 4.2 apresenta os valores obtidos nos ensaios das peças referentes à primeira, segunda e terceira séries dos ensaios da dissertação. A Figura 4.1 apresenta a curva idade x resistência à compressão da primeira, segunda e terceira concretagens, respectivamente nas figuras: 4.1 (a), (b) e (c) e os dados dos ensaios referentes ao pré-teste

encontram-se no ANEXO B, utilizando os valores obtidos no ensaio de resistência à compressão do concreto. Interpolados os valores da curva da Figura 4.1 foram obtidos os valores da resistência à compressão do concreto na data do ensaio de cada bloco, conforme mostra a Tabela 4.3.

Tabela 4.1 – Proporção dos materiais utilizados para o concreto $f_{ck} = 30$ MPa

Materiais	Quantidade por m³
Cimento (kg)	400
Areia Natural (kg)	410
Areia Artificial (kg)	270
Brita 0 (kg)	510
Brita 1 (kg)	510
Água (l)	186
Superplastificante (l)	2,4
“Slump” (mm)	(90 ± 10)

Tabela 4.2 – Resultados dos ensaios de caracterização do concreto.

Ensaio	Idade (dias)	Valores obtidos		
		1 ^a concretagem	2 ^a concretagem	3 ^a concretagem
Resistência à compressão (MPa)	3	-	-	10,0
	7	28,4	31,9	20,0
	14	29,4	33,3	31,0
	21	30,5	34,2	37,0
	28	32,3	35,9	38,0
Resistência à tração (MPa)	28	3,4	3,9	3,6
Módulo de Elasticidade (GPa)	28	23,3	26,4	25,4

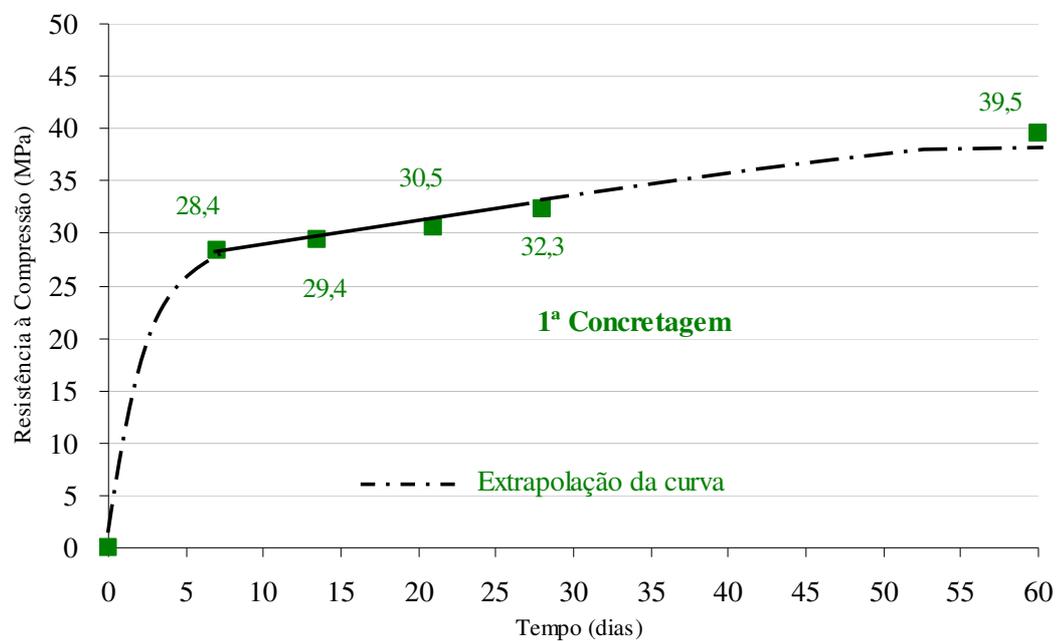


Figura 4.1(a) – Curva ajustada da resistência à compressão do concreto na 1ª concretagem.

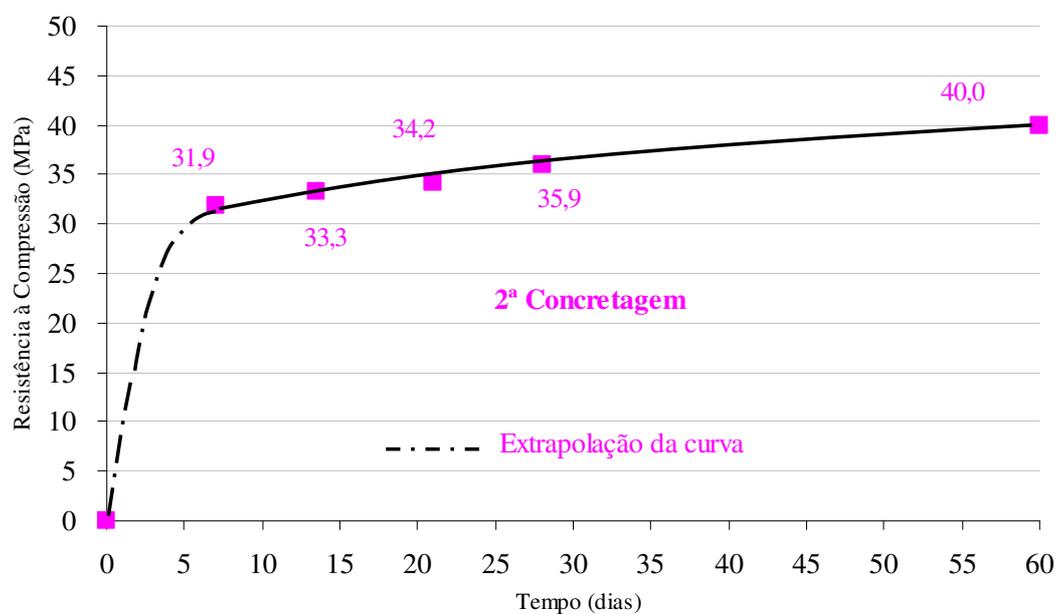


Figura 4.1(b) – Curva ajustada da resistência à compressão do concreto na 2ª concretagem.

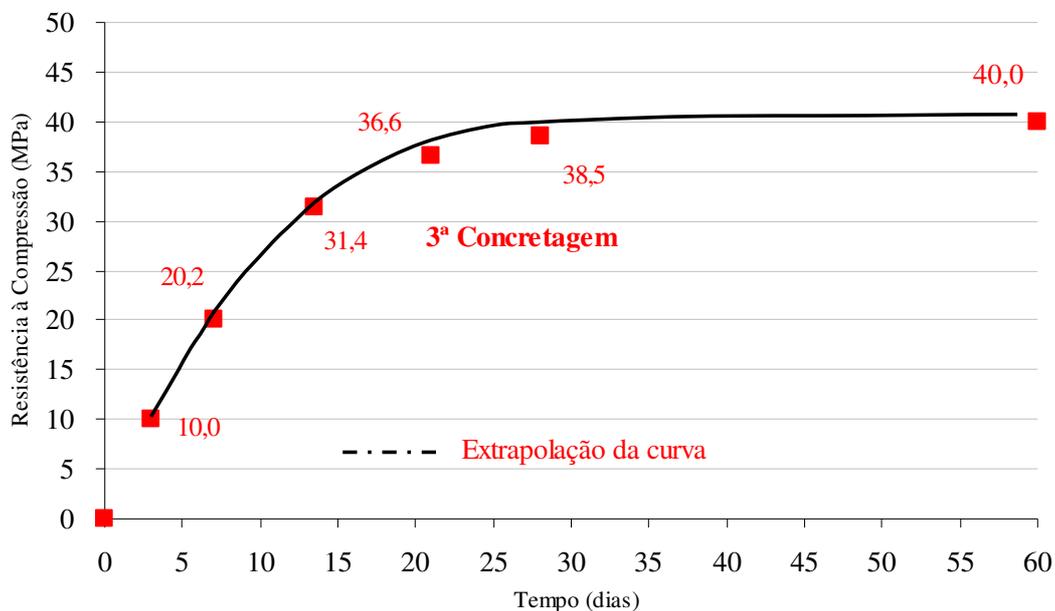


Figura 4.1(c) – Curva ajustada da resistência à compressão do concreto na 3ª concretagem.

Tabela 4.3 – Resistência à compressão do concreto na data do ensaio de cada maciço.

1ª concretagem			2ª concretagem			3ª concretagem		
Bloco	Idade (dias)	f_c (MPa)	Bloco	Idade (dias)	f_c (MPa)	Bloco	Idade (dias)	f_c (MPa)
B - 1	40	35,0	B - 10	40	38,5	B - 14	35	40,0
B - 2	41	35,2	B - 11	41	38,7	B - 15	36	40,0
B - 3	47	35,5	B - 12	42	39,0	B - 16	38	40,0
B - 4	50	35,8	B - 13	43	39,3	B - 17	40	40,0
B - 5	51	36,1	-	-	-	B - 18	41	40,0
B - 5	52	37,5	-	-	-	-	-	-
B - 6	53	37,7	-	-	-	-	-	-
B - 6	54	37,7	-	-	-	-	-	-
B - 7	55	38,2	-	-	-	-	-	-
B - 8	56	38,7	-	-	-	-	-	-
B - 9	57	38,7	-	-	-	-	-	-

4.2.2 Aço

As barras de aço utilizadas como haste do pino, variando o diâmetro em 10,0, 12,5, 16,0 e 20,0 mm, foram ensaiadas à tração utilizando três amostras, de acordo com a NBR 6152/92. Nas duas primeiras amostras a leitura da deformação da barra foi feita por meio dos valores fornecidos pela própria prensa e na terceira amostra utilizou-se um extensômetro mecânico que era retirado próximo à ruptura da barra. Com esses dados foram traçados os diagramas tensão x deformação, apresentados nas Figuras 4.2 (a), (b), (c) e (d), das barras de aço de 20,0, 16,0, 12,5 e 10,0 mm, respectivamente.

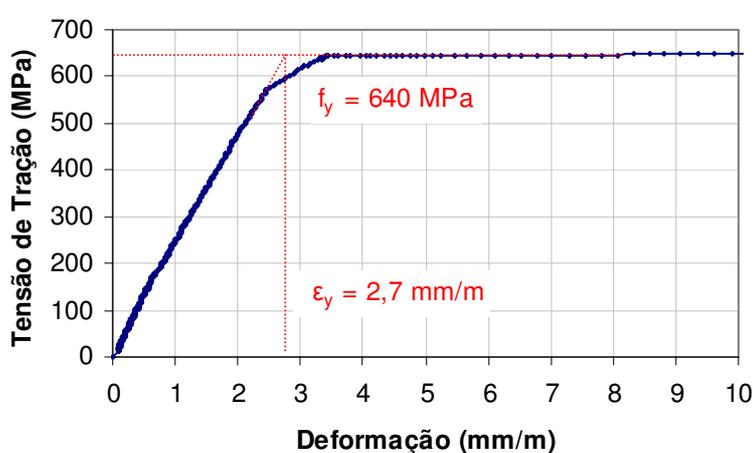


Figura 4.2 (a) – Curva Tensão x Deformação do aço 20,0 mm de diâmetro

Foram determinadas as seguintes propriedades mecânicas: tensão de escoamento, tensão de ruptura, módulo de elasticidade e deformação de escoamento.

- Tensão de escoamento: 640 MPa.
- Tensão de Ruptura: 744 MPa.
- Módulo de Elasticidade: 211 GPa.
- Alongamento na Ruptura: 10%.
- Deformação correspondente ao início do escoamento: 2,7 mm/m.

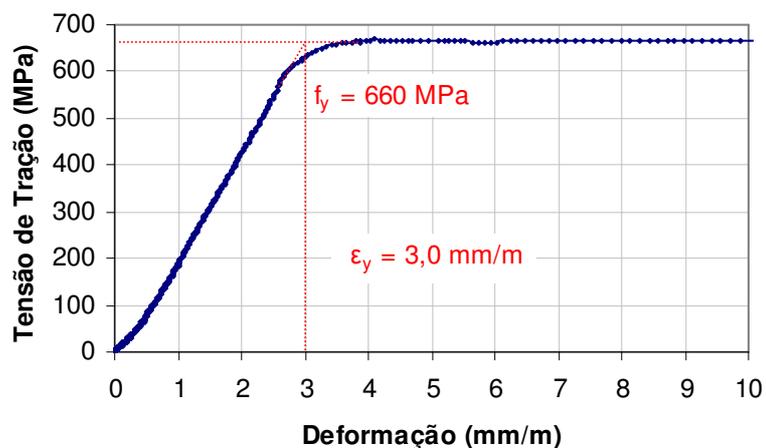


Figura 4.2 (b) – Curva Tensão x Deformação do aço 16,0 mm de diâmetro

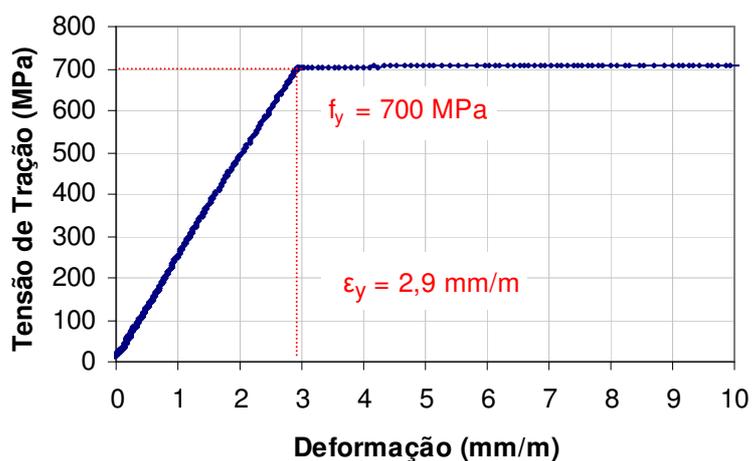


Figura 4.2 (c) – Curva Tensão x Deformação do aço 12,5 mm de diâmetro

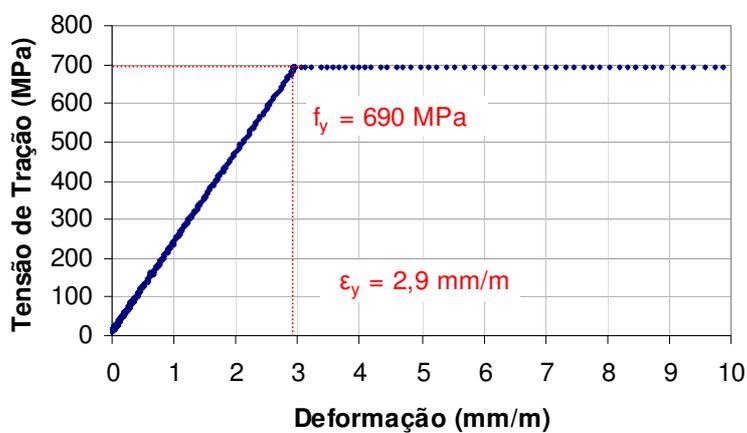


Figura 4.2 (d) – Curva Tensão x Deformação do aço 10,0 mm de diâmetro

4.3 MODO DE RUPTURA

Para todos os pinos ensaiados, o modo de ruptura ocorreu com o arrancamento de um cone de concreto, que tem a sua base menor se iniciando no perímetro da cabeça de ancoragem e a base maior na superfície de concreto.

A Figura 4.3 (a) mostra a formação de um cone de ruptura de pinos que se encontram na posição isolados e a Figura 4.3 (b) cones de concreto gerados pelo arrancamento de pinos na situação de borda.

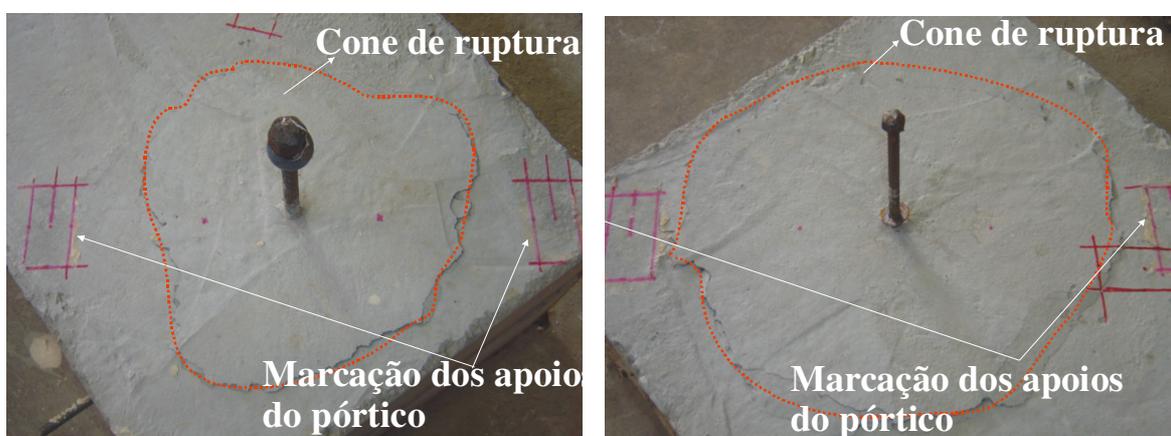


Figura 4.3 (a) – Fotografia da formação do cone de concreto de pinos isolados

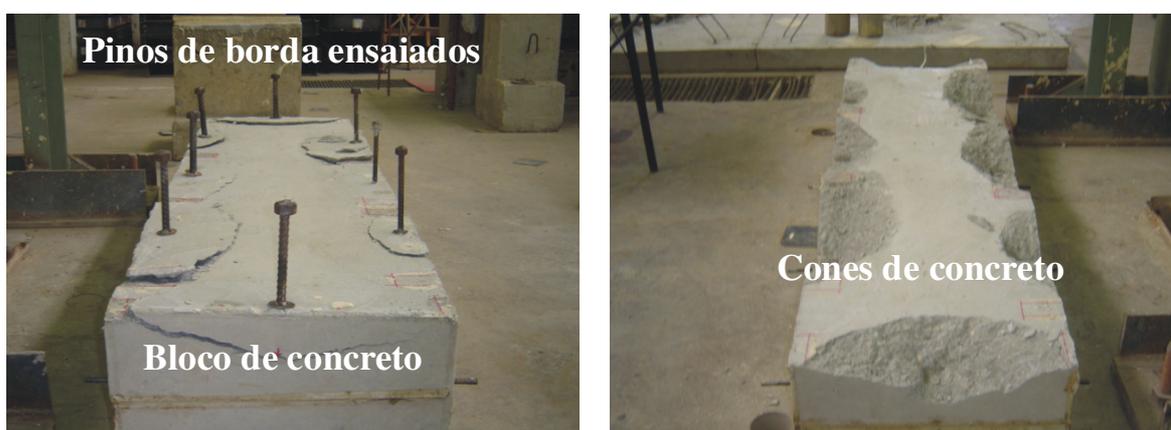


Figura 4.3 (b) – Vista geral da formação do cone de concreto de pinos de borda

Na Figura 4.4 pode-se observar as vistas inferior dos pinos P_{50-B-12-A50} e P_{75-b-12-A100}, que têm relação entre as áreas projetadas do suposto cone de tensão total e parcial A_n / A_0 iguais a 0,80 e 0,70 respectivamente e vista lateral do pino P_{75-b-12-A100}.

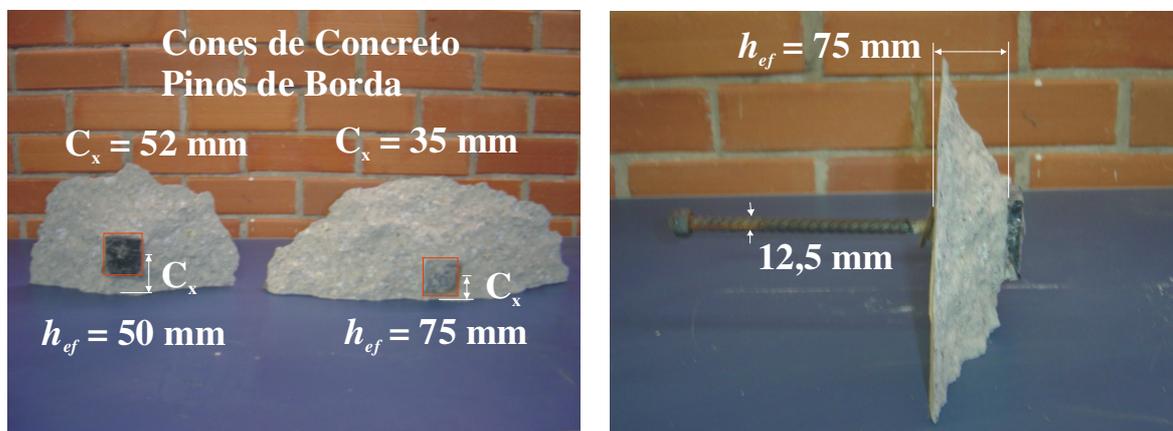


Figura 4.4 – Vista inferior dos pinos P_{50-B-12-A50} e P_{75-b-12-A100} e vista lateral do pino P_{75-b-12-A100}.

Nos Pinos P_{100-b-16-A0}, P_{75-b-16-A50}, P_{100-b-12-A0}, o tipo de ruptura foi pelo arrancamento de cone de concreto. Na Figura 4.5 são apresentadas as forças predominantes nesse tipo de ruptura.

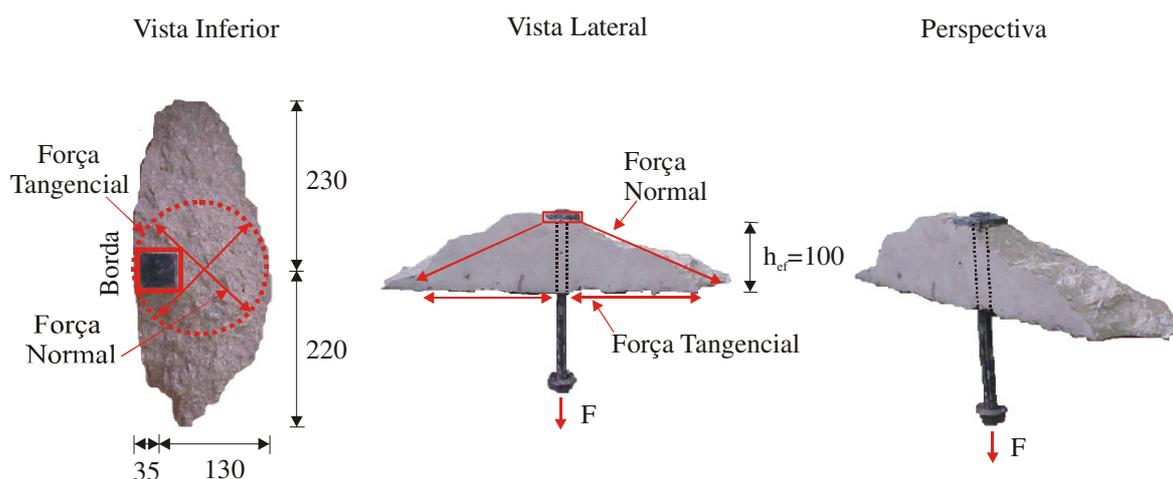


Figura 4.5 – Vista Inferior, lateral e perspectiva do pino P_{100-b-16-A0} (Medida em mm).

4.4 CARGA DE RUPTURA

A carga de ruptura e o respectivo modo de ruptura dos pinos de ancoragem obtidos durante a realização dos ensaios, com relação A_n/A_0 igual a 1,00, 0,80 e 0,70 são apresentadas respectivamente nas tabelas 4.4, 4.5 e 4.6. Nas tabelas estão inseridas outras características principais, tais como altura efetiva (h_{ef}), diâmetro da haste do pino (ϕ) e comprimento de aderência (l_b), necessárias para as análises dos pinos. São relatados também os valores da carga de ruptura (F_u). As características e detalhes dos ensaios de todos os pinos são apresentados no ANEXO C.

Esses pinos foram caracterizados de forma que com os resultados obtidos nos ensaios pudessem ser analisadas as principais situações:

- Comparação dos resultados experimentais com valores teóricos obtidos por métodos de cálculo encontrados na literatura;
- Pinos com mesmas características: comprimento de aderência, diâmetro da haste do pino e altura efetiva, variando apenas a proximidade de borda.
- Comparar pinos com mesmo diâmetro, iguais alturas efetivas e variando apenas o comprimento de aderência, verificando em qual situação a proximidade de borda atuou mais significativamente, se foi para os casos com aderência ou sem aderência.
- Verificar em qual profundidade a proximidade de borda exerce mais influência, comparando pinos de igual comprimento aderente, mesmo diâmetro e alturas efetivas diferentes.

4.4.1 Pinos com $A_n/A_0=1,00$

A Tabela 4.4 apresenta as características de cada pino selecionado, tais como altura efetiva (h_{ef}), variação do diâmetro da barra (ϕ) e comprimento de aderência (l_b). Para quantificar a perda da resistência de ancoragem, devido a proximidade de borda, a carga (F_u) do pino de relação (A_n/A_0) igual a 0,8 foi dividida pela (F_u) do pino de relação (A_n/A_0) igual a 1,00, resultando na relação $F_{u,0,8}/F_{u,1,00}$.

Ao comparar as cargas de ruptura dos pinos da Tabela 4.3, situados na posição isolados com relação $A_n/A_0 = 1,00$, observa-se que a carga última de ancoragem diminui, a medida que se reduz a relação A_n/A_0 para 0,80 e 0,70, respectivamente nas tabelas 4.4 e 4.5. Todos os pinos relacionados apresentaram o mesmo modo de ruptura; o modo predominante foi o arrancamento pelo cone de concreto.

Tabela 4.4 – Características dos pinos da série com relação $A_n/A_0 = 1,00$

h_{ef} (mm)	ϕ (mm)	0% l_b	F_u (kN)	25% l_b	F_u (kN)	50% l_b	F_u (kN)	75% l_b	F_u (kN)	100% l_b	F_u (kN)
50	10	P _{50-I-10-A0}	44,0	P _{50-I-10-A25}	41,7	P _{50-I-10-A50}	37,5	P _{50-I-10-A75}	40,2	P _{50-I-10-A100}	42,0
	12,5	P _{50-I-12-A0}	48,7	P _{50-I-12-A25}	41,8	P _{50-I-12-A50}	37,6	P _{50-I-12-A75}	43,0	P _{50-I-12-A100}	45,2
	16	P _{50-I-16-A0}	37,2	P _{50-I-16-A25}	37,5	P _{50-I-16-A50}	32,3	P _{50-I-16-A75}	37,9	P _{50-I-16-A100}	51,0
	20	P _{50-I-20-A0}	43,0	P _{50-I-20-A25}	43,0	-	-	P _{50-I-20-A75}	44,5	P _{50-I-20-A100}	35,1
75	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	12,5	P _{75-I-12-A0}	70,0	-	-	-	-	-	-	P _{75-I-12-A100}	73,0
	16	P _{75-I-16-A0}	61,8	-	-	P _{75-I-16-A50}	65,4	-	-	P _{75-I-16-A100}	80,1
	20	P _{75-I-20-A0}	68,2	-	-	P _{75-I-20-A50}	62,3	-	-	P _{75-I-20-A100}	73,8
100	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	12,5	P _{100-I-12-A0}	96,0	-	-	-	-	-	-	P _{100-I-12-A100}	82,0
	16	P _{100-I-16-A0}	102,0	-	-	P _{100-I-16-A50}	95,7	-	-	P _{100-I-16-A100}	106,0
	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
125	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	12,5	P _{125-I-16-A0}	110,0	-	-	-	-	-	-	-	-
	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

P - Nome do Pino

h_{ef} - Altura efetiva - (50 - 75 - 100)

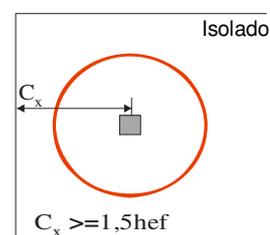
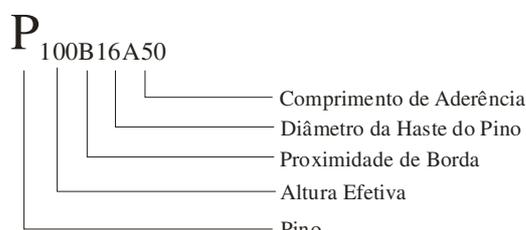
l_b - Comprimento de aderência - (0% - 50% - 100%)

ϕ - Diâmetro da haste do pino - (10 - 12,5 - 16 - 20 mm)

A_n/A_0 - Relação entre as áreas projetadas do suposto cone de tensão total (A_0) e parcial (A_n) - (1,00 - 0,80 - 0,70)

F_u - Carga de ruptura - (kN)

C_x - Distância do eixo do pino a uma borda



4.4.2 Pinos com $A_n/A_0=0,80$

Na Tabela 4.5, observa-se que o ganho de resistência, devido ao aumento da altura efetiva ou do diâmetro da haste do pino assume valores decrescentes a medida que o pino vai se aproximando da borda. Tal fato pode ser explicado inicialmente, pelo fato da região de concreto próximo à borda ser uma região mais fraca conforme Meira (2005).

Na Tabela 4.5 observam-se os ensaios realizados para o grupo de pinos com relação $A_n/A_0=0,80$.

Tabela 4.5 – Características dos pinos da série com relação $A_n/A_0=0,80$

h_{ef} (mm)	ϕ (mm)	0% l_b	F_u (kN)	50% l_b	F_u (kN)	100% l_b	F_u (kN)
50	10	P _{50-B-10-A0}	30,0	P _{50-B-10-A50}	29,1	P _{50-B-10-A100}	29,8
	12,5	P _{50-B-12-A0}	33,1	P _{50-B-12-A50}	27,5	P _{50-B-12-A100}	37,6
	16	P _{50-B-16-A0}	35,2	P _{50-B-16-A50}	28,5	P _{50-B-16-A100}	37,4
	20	-	-	P _{50-B-20-A50}	27,9	P _{50-B-20-A100}	33,1
75	10	-	-	-	-	-	-
	12,5	P _{75-B-12-A0}	45,8	P _{75-B-12-A50}	38,2	P _{75-B-12-A100}	43,1
	16	P _{75-B-16-A0}	48,3	P _{75-B-16-A50}	40,5	P _{75-B-16-A100}	32,1
	20	P _{75-B-20-A0}	44,0	P _{75-B-20-A50}	35,0	P _{75-B-20-A100}	44,3
100	10	-	-	-	-	-	-
	12,5	P _{100-B-12-A0}	55,1	P _{100-B-12-A50}	55,1	-	-
	16	P _{100-B-16-A0}	52,6	P _{100-B-16-A50}	54,5	P _{100-B-16-A100}	57,1
	20	P _{100-B-20-A0}	51,0	-	-	P _{100-B-20-A100}	62,1
125	10	-	-	-	-	-	-
	12,5	-	-	-	-	-	-
	16	P _{125-B-16-A0}	83,1	-	-	-	-
	20	-	-	-	-	-	-

P - Nome do Pino

h_{ef} - Altura efetiva - (50 - 75 - 100)

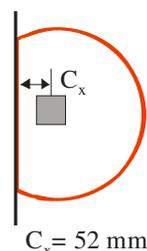
l_b - Comprimento de aderência - (0% - 50% - 100%)

ϕ - Diâmetro da haste do pino - (10 - 12,5 - 16 - 20 mm)

A_n/A_0 - Relação entre as áreas projetadas do suposto cone de tensão total (A_0) e parcial (A_n) - (1,00 - 0,80 - 0,70)

F_u - Carga de ruptura - (kN)

C_x - Distância do eixo do pino a uma borda



Ao comparar um pino da situação isolado de relação (A_n / A_0) igual a 1,00 com um próximo à borda com relação (A_n / A_0) de 0,8 ocorre uma diminuição de apenas 0,78 vezes na carga de ancoragem, mesma redução apresentada pela diminuição de relação

(A_n/A_0) igual a 0,80 para (A_n/A_0) igual a 0,70. Fato que pode ser constatado na comparação dos pinos P_{75-I-16-A0}, P_{75-B-16-A0} e P_{75-b-16-A0}.

Para os pinos P_{50-B-10-A50} e P_{50-b-10-A50} variando a relação (A_n/A_0) de 0,8 para 0,7 ocorreu uma diminuição na carga última da ordem de 0,68 vezes, valor próximo é obtido quando se comparam os pinos P_{75-B-16-A0} e P_{75-b-16-A0}, cuja diminuição de carga foi de 0,73 vezes o valor da carga última de ancoragem.

4.4.3 Pinos com $A_n/A_0=0,70$

Na Tabela 4.6 observam-se os resultados dos ensaios realizados para a grupo de pinos com relação $A_n/A_0=0,70$.

Tabela 4.6 – Características dos pinos da série com relação $A_n/A_0=0,70$

h_{ef} (mm)	ϕ (mm)	0% l_b	F_u (kN)	25% l_b	F_u (kN)	50% l_b	F_u (kN)	75% l_b	F_u (kN)	100% l_b	F_u (kN)
50	10	P _{50-b-10-A0}	21,8	-	-	P _{50-b-10-A50}	19,8	-	-	P _{50-b-10-A100}	31,1
	12,5	P _{50-b-12-A0}	25,0	-	-	P _{50-b-12-A50}	15,0	-	-	P _{50-b-12-A100}	26,6
	16	P _{50-b-16-A0}	27,5	-	-	P _{50-b-16-A50}	25,0	-	-	P _{50-b-16-A100}	27,2
	20	P _{50-b-20-A0}	26,1	-	-	P _{50-b-20-A50}	25,0	-	-	P _{50-b-20-A100}	25,0
75	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	12,5	P _{75-b-12-A0}	30,2	-	-	P _{75-b-12-A50}	30,0	-	-	P _{75-b-12-A100}	35,0
	16	P _{75-b-16-A0}	35,4	-	-	P _{75-b-16-A50}	32,8	-	-	P _{75-b-16-A100}	41,4
	20	P _{75-b-20-A0}	39,0	-	-	-	-	-	-	P _{75-b-20-A100}	30,0
100	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	12,5	P _{100-b-12-A0}	43,8	-	-	P _{100-b-12-A50}	45,0	P _{100-b-12-A75}	47,5	P _{100-b-12-A100}	49,6
	16	P _{100-b-16-A0}	49,8	P _{100-b-16-A25}	42,5	P _{100-b-16-A50}	53,8	P _{100-b-16-A75}	45,0	P _{100-b-16-A100}	45,0
	20	P _{100-b-20-A0}	44,0	-	-	-	-	-	-	-	-
125	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	12,5	P _{125-b-12-A0}	60,1	P _{125-b-12-A25}	56,6	P _{125-b-12-A50}	58,1	P _{125-b-12-A75}	57,7	P _{125-b-12-A100}	59,3
	16	P _{125-b-16-A0}	58,1	-	-	-	-	-	-	-	-
	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

P - Nome do Pino

h_{ef} - Altura efetiva - (50 - 75 - 100)

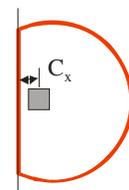
l_b - Comprimento de aderência - (0% - 50% - 100%)

ϕ - Diâmetro da haste do pino - (10 - 12,5 - 16 - 20 mm)

A_n/A_0 - Relação entre as áreas projetadas do suposto cone de tensão total (A_0) e parcial (A_n) - (1,00 - 0,80 - 0,70)

F_u - Carga de ruptura - (kN)

C_x - Distância do eixo do pino a uma borda



$C_x = 35$ mm

4.5 DESLOCAMENTOS VERTICAL E HORIZONTAL

Os deslocamentos verticais (D1, D2, D4) e horizontais (D3) foram obtidos utilizando relógios comparadores na superfície do cone de concreto, na lateral do cone de concreto e na cabeça da haste dos pinos. As medidas do deslocamento vertical foram feitas em dois pontos da superfície de concreto em que estava sendo realizado o ensaio e um ponto na parte superior da haste do pino. O deslocamento horizontal foi medido em um ponto na superfície lateral da laje em relação à superfície ensaiada.

Os dados dos deslocamentos verticais estão representados nas curvas Carga x Deslocamentos para os pinos que apresentaram os maiores valores dos deslocamentos verticais obtidos nos ensaios. Os deslocamentos horizontais apresentaram valores próximos de zero para cargas até 85% da carga de ruptura. Todos os valores dos deslocamentos verticais dos pinos se encontram no ANEXO D.

Os deslocamentos verticais dos pinos foram obtidos por meio de um relógio comparador, situado na posição D4, como pode ser visto no detalhe da Figura 4.6. No gráfico da Figura 4.6, estão relacionados pinos que possuem as mesmas características em relação à proximidade de borda A_n / A_0 e altura efetiva h_{ef} , variando o diâmetro ϕ e o comprimento de aderência l_b dos pinos.

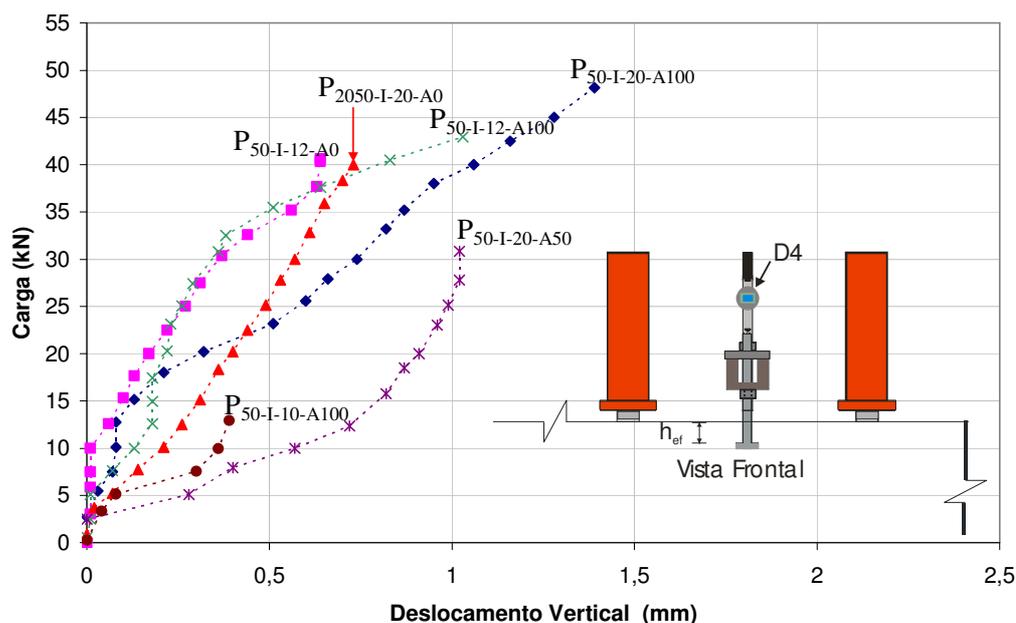


Figura 4.6 – Gráfico dos pinos com relação $A_n / A_0 = 1,00$

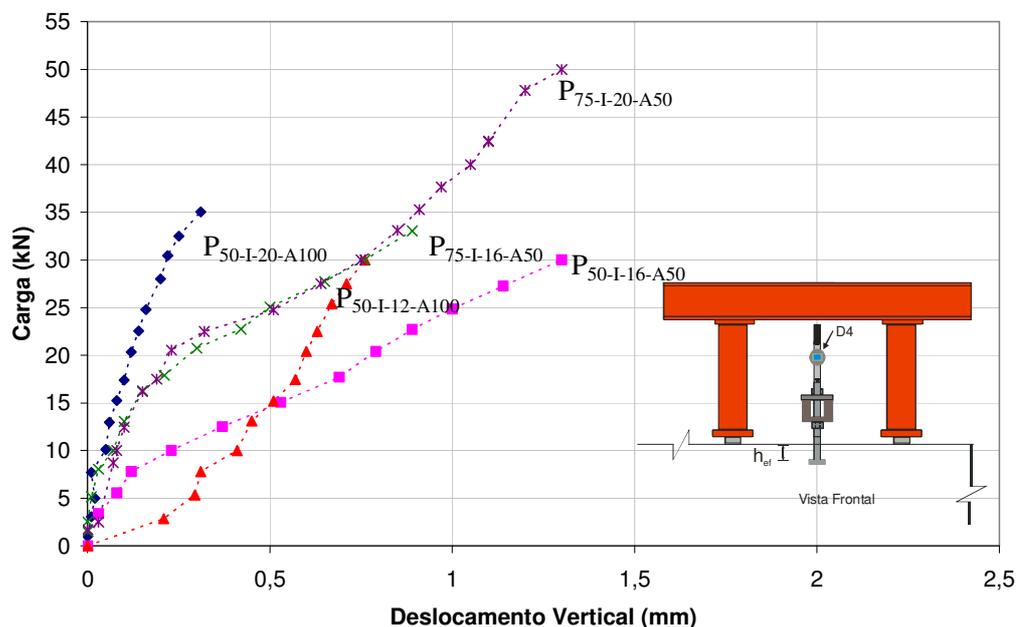


Figura 4.7 – Gráfico dos pinos com relação $A_n/A_0 = 1,00$

A Figura 4.7 apresenta a curva Carga x Deslocamento para os pinos com altura efetiva 50 e 75 mm e relação $A_n/A_0 = 1,00$. Observa-se que os maiores deslocamentos ocorreram para os pinos com alturas efetivas maiores.

A Figura 4.8 apresenta o deslocamento de pinos situados na região próxima a borda, com relação $A_n/A_0 = 0,80$ e $0,70$, com altura efetiva variando de 50, 75 e 100 mm e comprimento aderente de 0% e 100% de l_b .

A Figura 4.8 apresenta o deslocamento Δl em função da carga aplicada para relação $A_n/A_0 = 0,80$ e $A_n/A_0 = 0,70$. Observa-se que o pino sem aderência apresentou maior deslocamento em relação aos outros pinos independente da altura efetiva.

O deslocamento vertical no eixo do pino Δl , em relação ao bloco de concreto, foi medido na parte superior do pino, junto à porca soldada na haste por meio de um relógio comparador. Sendo assim, se faz necessário somar o incremento de alongamento proveniente da haste do pino abaixo do ponto de aplicação de carga e da parte imersa no concreto. Este incremento, $\Delta l^c_{aço}$, pode ser calculado, enquanto o pino permanecer na fase elástica, pela expressão $Fl / E_s A$ ($E_s = 211$ GPa), cuja análise será apresentada no Capítulo 5, deste trabalho.

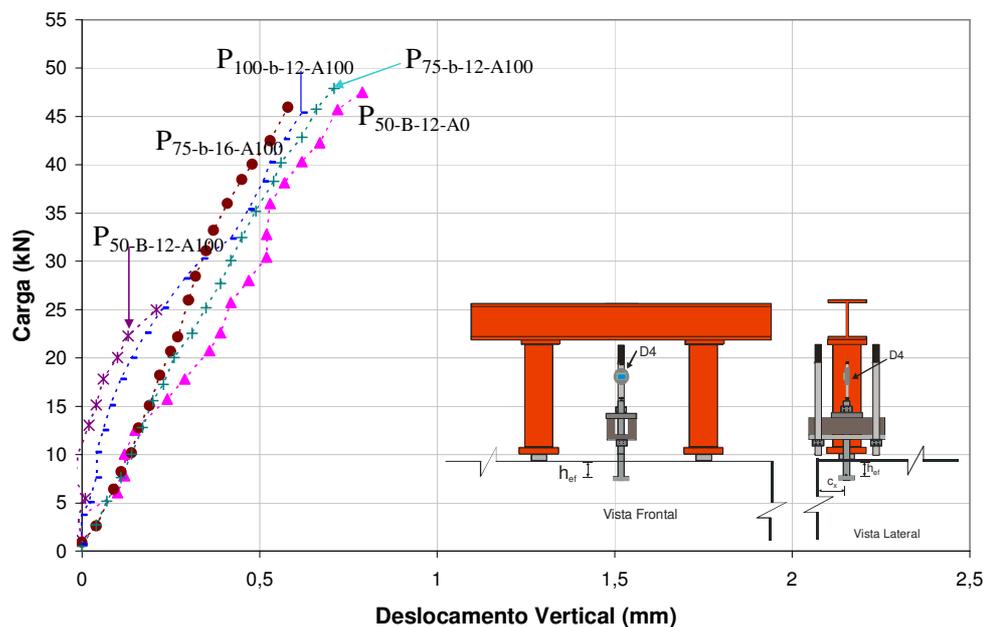


Figura 4.8 – Gráfico dos pinos com relação $A_n/A_0=0,80$ e $A_n/A_0=0,70$

4.6 SUPERFÍCIE DE RUPTURA

Para se determinar as características dos cones de ruptura, é necessário conhecer a profundidade do cone em relação à superfície. Para isso são coletadas medidas em doze direções distintas realizadas diretamente nos cones de concreto a uma distância igual à metade da altura efetiva até um comprimento total de três vezes a altura efetiva. Todos os dados das superfícies de ruptura se encontram no ANEXO D.

Os dados são traduzidos de tal forma que cada pino possua um gráfico do perfil de seu cone de ruptura nas direções entre o eixo do pino e a borda (A,H,M,I,L e J) e do pino para o centro da laje (B, G, C, F, D e E), caracterizado pela profundidade (mm) nessas direções, conforme a Figura 4.9. A profundidade da altura efetiva (mm), é obtida por meio da distância da superfície de concreto até uma placa de referência que é apoiada sobre a cabeça de ancoragem do pino.

A figura 4.10 apresenta as superfícies dos cones de concreto dos pinos com altura efetiva de 100 mm e relação A_n/A_0 igual a 1,00.

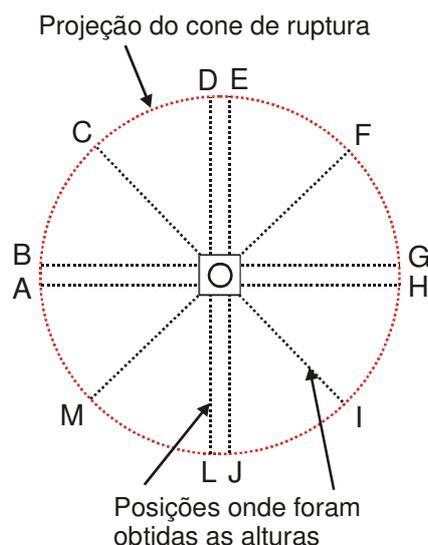


Figura 4.9 – Posição e direções dos pontos medidos.

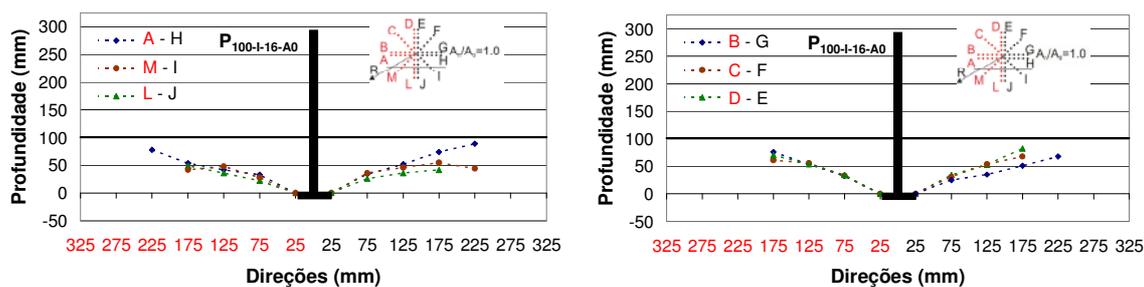


Figura 4.10 – Superfície de ruptura do pino P_{100-I-16-A0}

Os pinos com mesma altura efetiva e proximidade de borda A_n/A_0 igual a 0,80 não apresentaram grandes variações nas medidas para todas as variadas direções. Na Figura 4.11 são apresentadas as superfícies dos cones de ruptura nas direções principais, para pinos com relação $A_n/A_0=0,80$ com altura efetiva de 100 mm.

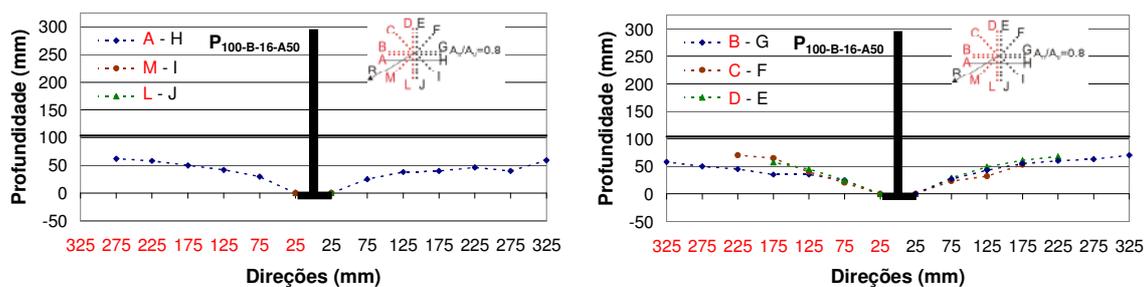


Figura 4.11 – Superfície de ruptura do pino P_{100-B-16-A50}

O pino $P_{100-b-16-A100}$ com relação $A_n / A_0 = 0,70$ e altura efetiva de 100 mm, apresenta as mesmas características dos pinos com altura efetiva de 50 mm e 100 mm. Entretanto observa-se uma maior inclinação nas direções entre o eixo do pino e o centro do bloco do que o eixo do pino e a borda, caracterizando um maior ângulo de ruptura, à medida que os pinos se aproximam da borda.

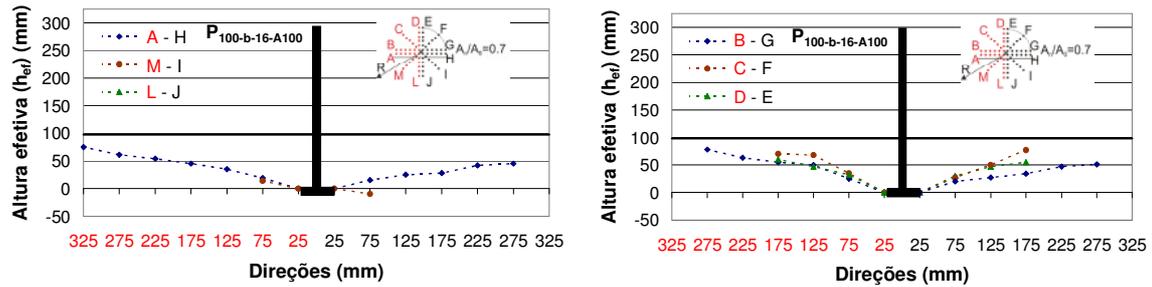


Figura 4.12 – Superfície de ruptura do pino $P_{100-b-16-A100}$.

CAPÍTULO 5

ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Neste capítulo são analisados e discutidos os resultados obtidos nas três séries de ensaios; são analisados os resultados das cargas de ruptura e o comportamento da peça quanto à variação da altura efetiva e proximidade de borda, que foram as variáveis mais significativas e comprimento de aderência e variação do diâmetro da haste do pino que pouco contribuíram para o ganho de carga. Também é feita uma análise do deslocamento vertical do pino e a superfície de ruptura apresentada pelo cone de concreto. São realizadas comparações das cargas experimentais com outros valores obtidos por meio de métodos de cálculo encontrados na literatura, como o ACI 349 - 76, De Vries (1999) e Meira (2005).

5.2 CARGA E MODO DE RUPTURA

As cargas de ruptura de todos os pinos são apresentadas em tabelas, divididas em função das características principais analisadas. Por exemplo, as Tabelas 5.1, 5.2 e 5.3 apresentam as cargas de ruptura divididas de acordo com a variação da altura efetiva (50 mm, 75 mm e 100 mm) e em função da relação A_n / A_0 de 1,00, 0,80 e 0,70 respectivamente. Outras variáveis correlacionadas, como o comprimento de aderência l_b (0%, 50% e 100%) e o diâmetro da haste do pino (10, 12,5, 16 e 20) mm também são mostradas nas tabelas.

Observa-se, de maneira geral, que com a redução da relação A_n / A_0 , ocorre uma diminuição na capacidade final de ancoragem e que com o aumento da altura efetiva imersa dentro do bloco de concreto ocorre um acréscimo na carga última de ancoragem. Entretanto, é observado um aumento pouco significativo, quando comparamos outras

variáveis como diâmetro da haste do pino e o comprimento em que há aderência entre o concreto e o aço. Esses dados são apresentados em mais detalhes nos itens seguintes.

5.2.1 Influência da altura efetiva

A Tabela 5.1 apresenta as cargas de ruptura dos pinos, divididas de acordo com as características, tais como: altura efetiva h_{ef} , proximidade de borda A_n/A_0 , variação do diâmetro da barra ϕ e comprimento de aderência l_b . Para quantificar o ganho de resistência de ancoragem devido ao aumento da altura efetiva, a carga F_u do pino com h_{ef} de 100 mm foi dividida pela carga última F_u do pino com h_{ef} 75 mm, resultando na relação $F_{u,100}/F_{u,75}$. A mesma relação foi aplicada para as demais alturas efetivas.

As cargas de ruptura dos pinos com alturas efetivas diferentes, mesmas relações A_n/A_0 , comprimento de aderência e diâmetro da haste também igual, foram relacionados na Tabela 5.1 para quantificar o efeito da variação da altura efetiva dos pinos.

Tabela 5.1 – Carga de ruptura dos pinos com h_{ef} de (50, 75 e 100) mm e $A_n/A_0 = 1,00$

A_n/A_0	l_b	ϕ (mm)	$h_{ef} = 50$ mm		$h_{ef} = 75$ mm		$h_{ef} = 100$ mm		$F_{u,75}/F_{u,50}$	$F_{u,100}/F_{u,50}$
			Pinos	$F_{u,50}$ (kN)	Pinos	$F_{u,75}$ (kN)	Pinos	$F_{u,100}$ (kN)		
1,00	0%	10	P _{50-I-10-A0}	44,0	-	-	-	-	-	-
		12,5	P _{50-I-12-A0}	48,7	P _{75-I-12-A0}	70,0	P _{100-I-12-A0}	96,0	1,44	1,97
		16	P _{50-I-16-A0}	37,2	P _{75-I-16-A0}	61,8	P _{100-I-16-A0}	102,0	1,66	2,74
		20	P _{50-I-20-A0}	43,0	P _{75-I-20-A0}	68,2	-	-	1,59	-
	50%	10	P _{50-I-10-A50}	37,5	-	-	-	-	-	-
		12,5	P _{50-I-12-A50}	37,6	-	-	-	-	-	-
		16	P _{50-I-16-A50}	32,3	P _{75-I-16-A50}	65,4	P _{100-I-16-A50}	95,7	2,03	2,97
		20	-	-	P _{75-I-20-A50}	62,3	-	-	-	-
	100%	10	P _{50-I-10-A100}	42,0	-	-	-	-	-	-
		12,5	P _{50-I-12-A100}	45,2	P _{75-I-12-A100}	73,0	P _{100-I-12-A100}	82,0	1,62	1,81
		16	P _{50-I-16-A100}	51,0	P _{75-I-16-A100}	80,0	P _{100-I-16-A100}	106,0	1,57	2,08
		20	P _{50-I-20-A100}	35,1	P _{75-I-20-A100}	73,8	-	-	2,11	-
Valor			$F_{u,75}/F_{u,50}$				$F_{u,100}/F_{u,50}$			
			0%	50%	100%	0%	50%	100%		
Máximo			1,66	2,03	2,11	2,74	2,97	2,08		
Mínimo			1,44	2,03	1,57	1,97	2,97	1,81		
Médio			1,56	2,03	1,76	2,36	2,97	1,95		
Desvio Padrão (%)			11,22	0,00	27,16	38,53	0,00	13,21		

Observa-se que a carga última do pino $P_{50-I-16-A50}$ de altura efetiva de 50 mm é 2,03 vezes a carga última do pino $P_{75-I-16-A50}$ de altura efetiva de 75 mm, ambos com relação A_n / A_0 igual a 1,00, mesmo diâmetro de 16 mm e 50% de aderência. E é 2,97 vezes quando compara-se as cargas de ruptura dos pinos $P_{50-I-16-A50}$ de 50 mm de altura efetiva com $P_{100-I-16-A50}$ de altura efetiva de 100 mm.

Na Figura 5.1 pode-se observar que a reta formada pela carga última dos pinos $P_{50-I-12-A0}$, $P_{75-I-12-A0}$ e $P_{100-I-12-A0}$, aumenta a inclinação quando a altura efetiva é aumentada de 75 mm para 100 mm, provocado por um ganho de carga maior, do que quando comparado com a variação de altura de 50 mm para 75 mm, devido ao fato do concreto na superfície apresentar uma região mais fraca.

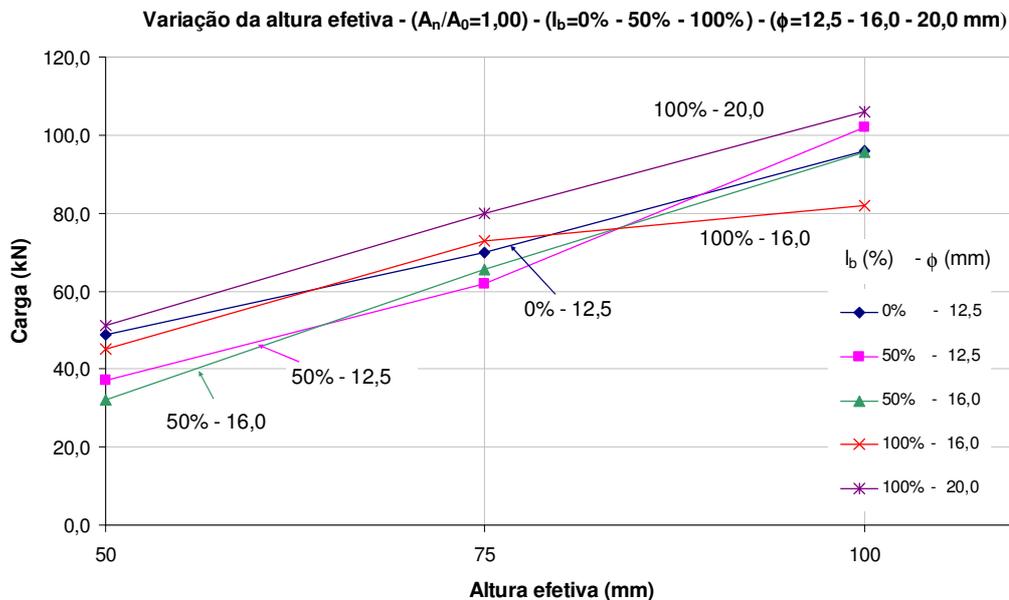


Figura 5.1 – Gráfico da Carga (kN) x Altura efetiva (mm) com proximidade de borda fixada em 1,00 e variação do comprimento aderente e diâmetro da haste do pino.

Para os pinos com 100 % de aderência e relação A_n / A_0 igual a 1,00 ocorreu um aumento de 1,62 vezes na carga última da ancoragem, fato que pode ser observado ao comparar as cargas de ruptura dos pinos $P_{50-I-12-A100}$ de altura efetiva de 50 mm com $P_{75-I-12-A100}$ de altura efetiva 75 mm. Ocorre um acréscimo da ordem de 1,81 vezes quando relaciona-se as cargas dos pinos $P_{50-I-12-A100}$ com $P_{100-I-12-A100}$ variando a altura efetiva de 50 mm para 100 mm.

Na Tabela 5.2 apresentam-se as cargas de ruptura dos pinos com relação A_n / A_0 igual a 0,80. Se todas as cargas de ruptura dos pinos pudessem ser computadas em conjunto o ganho de resistência médio seria de 1,34 vezes e de maneira individual obtém-se 1,38 ao comparar as cargas de ruptura dos pinos $P_{50-B-12-A0}$ e $P_{75-B-12-A0}$ e um ganho de carga de 1,66 entre os pinos $P_{50-B-12-A0}$ e $P_{100-B-12-A0}$ para um aumento de altura efetiva de 50 mm para 100 mm.

Comparando as cargas de ruptura dos pinos com 100% de aderência obtém-se um acréscimo de 1,53 vezes na carga última de ancoragem entre os pinos $P_{50-B-16-A100}$ e $P_{100-B-16-A100}$. O pino com altura efetiva 75 mm e 100% de aderência apresenta carga de ruptura inferior à prevista, fato que deve ser investigado, pois pode apresentar alguma distorção das características iniciais como: variação da altura efetiva, estar mais próximo da borda que o requerido, causando um deslocamento da reta, que pode ser observado no gráfico da Figura 5.2.

Tabela 5.2 – Carga de ruptura dos pinos com h_{ef} de (50, 75 e 100) mm e $A_n / A_0 = 0,80$

A_n/A_0	l_b	ϕ (mm)	$h_{ef} = 50$ mm		$h_{ef} = 75$ mm		$h_{ef} = 100$ mm		$F_{u,75}/F_{u,50}$	$F_{u,100}/F_{u,50}$
			Pinos	$F_{u,50}$ (kN)	Pinos	$F_{u,75}$ (kN)	Pinos	$F_{u,100}$ (kN)		
0,80	0%	10	$P_{50-B-10-A0}$	30,0	-	-	-	-	-	-
		12,5	$P_{50-B-12-A0}$	33,1	$P_{75-B-12-A0}$	45,8	$P_{100-B-12-A0}$	55,1	1,38	1,66
		16	$P_{50-B-16-A0}$	35,2	$P_{75-B-16-A0}$	48,3	$P_{100-B-16-A0}$	52,6	-	1,49
		20	-	-	$P_{75-B-20-A0}$	44,0	$P_{100-B-20-A0}$	51,0	-	-
	50%	10	$P_{50-B-10-A50}$	29,1	-	-	-	-	-	-
		12,5	$P_{50-B-12-A50}$	27,5	$P_{75-B-12-A50}$	38,2	$P_{100-B-12-A50}$	55,1	1,39	2,00
		16	$P_{50-B-16-A50}$	28,5	$P_{75-B-16-A50}$	40,5	$P_{100-B-16-A50}$	54,5	1,42	1,91
		20	$P_{50-B-20-A50}$	27,9	$P_{75-B-20-A50}$	35,0	-	-	1,26	-
	100%	10	$P_{50-B-10-A100}$	29,8	-	-	-	-	-	-
		12,5	$P_{50-B-12-A100}$	37,6	$P_{75-B-12-A100}$	43,1	-	-	1,15	-
		16	$P_{50-B-16-A100}$	37,4	$P_{75-B-16-A100}$	32,0	$P_{100-B-16-A100}$	57,1	0,86	1,53
		20	$P_{50-B-20-A100}$	33,1	$P_{75-B-20-A100}$	44,3	$P_{100-B-20-A100}$	62,1	1,34	1,88
Valor			$F_{u,75}/F_{u,50}$			$F_{u,100}/F_{u,50}$				
			0%	50%	100%	0%	50%	100%		
Máximo			1,38	1,42	1,34	1,66	2,00	1,88		
Mínimo			1,38	1,26	0,86	1,49	1,91	1,53		
Médio			1,38	1,36	1,11	1,58	1,96	1,70		
Desvio Padrão (%)			0,00	8,19	24,16	8,52	4,56	17,47		

Na Tabela 5.2 observa-se que a carga de ruptura do pino $P_{75-B-16-A100}$ deve ser investigado quanto as suas características pós-concretagem, pois apesar de não apresentar uma variação muito grande da carga experimental em relação a teórica, ocorre uma diminuição quando o comprimento de aderência é aumentado de 0% para 50%.

Na Figura 5.2 observa-se que ocorre também um aumento da inclinação da reta formada pelas cargas de ruptura dos pinos, quando a altura efetiva é aumentada de 75 mm para 100 mm para a relação A_n/A_0 igual a 0,80. Entretanto à medida que ocorre um aumento no comprimento de aderência o ganho é de 1,42 vezes ao comparar as cargas de ruptura dos pinos P_{50-B-16-A50} e P_{75-B-16-A50} e de até 1,91 vezes entre P_{50-B-16-A50} e P_{100-B-16-A50} para os casos com 50% de aderência.

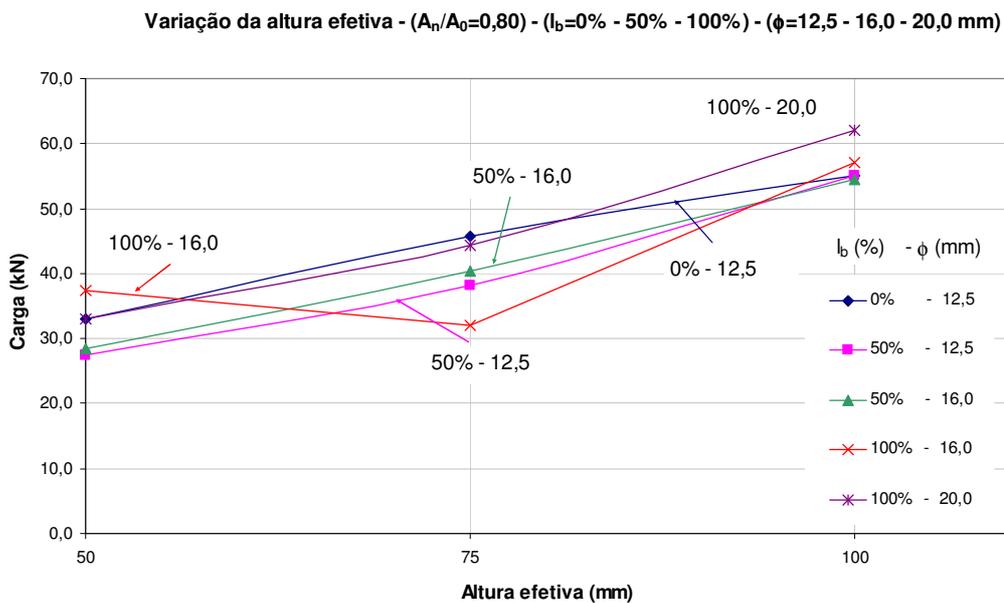


Figura 5.2 – Gráfico da Carga(kN) x Altura efetiva (mm) com proximidade de borda fixada em 0,80 e variação do comprimento aderente e diâmetro da haste do pino.

Devido a maior proximidade de borda com uma relação A_n/A_0 igual a 0,70, obtém-se menor ganho de resistência, que foi de até 1,21 vezes na carga de ruptura comparando os pinos P_{50-b-12-A0} com P_{75-b-12-A0} e de até 1,75 vezes na carga última de ancoragem ao comparando os pinos P_{50-b-12-A0} com P_{100-b-12-A0} ambos com 0% de aderência entre o concreto e a haste do pino e ao comparar as cargas de ruptura dos pinos P_{50-b-16-A0} e P_{75-b-16-A0} verifica-se que o acréscimo de carga foi de apenas 1,29 como é mostrado na Tabela 5.3.

Para os casos com aderência 50% de l_b o ganho de resistência foi de 1,31 vezes na carga última de ruptura, para as cargas dos pinos P_{50-b-16-A50} e P_{75-b-16-A50} que é o mesmo ganho observado para os pinos com 0% de aderência. Entretanto para os pinos com 100% de aderência o ganho representou um acréscimo de até 1,52 vezes na carga última, ao comparar as cargas dos pinos P_{50-b-16-A100} e P_{75-b-16-A100}.

Na Figura 5.3, observa-se que a variação da altura efetiva, proporcionou um ganho de resistência maior quando a altura efetiva é aumentada de 50 mm para 75 mm, pois o pino passa a se situar em uma região de concreto mais favorável. Entretanto ganhos menores de resistência são obtidos quando a altura efetiva é aumentada de 75 mm para 100 mm pois os pinos passam a se situar em regiões de concreto com características iguais, o mesmo ocorrendo quando aproxima-se os pinos da borda.

Tabela 5.3 – Carga de ruptura dos pinos com h_{ef} de (50, 75 e 100) mm e $A_n / A_0 = 0,70$.

A_n/A_0	l_b	ϕ (mm)	$h_{ef} = 50$ mm		$h_{ef} = 75$ mm		$h_{ef} = 100$ mm		$F_{u,75}/F_{u,50}$	$F_{u,100}/F_{u,50}$
			Pinos	$F_{u,50}$ (kN)	Pinos	$F_{u,75}$ (kN)	Pinos	$F_{u,100}$ (kN)		
0,70	0%	10	P _{50-b-10-A0}	21,8	-	-	-	-	-	-
		12,5	P _{50-b-12-A0}	25,0	P _{75-b-12-A0}	30,2	P _{100-b-12-A0}	43,8	1,21	1,75
		16	P _{50-b-16-A0}	27,5	P _{75-b-16-A0}	35,4	P _{100-b-16-A0}	49,8	1,29	-
		20	P _{50-b-20-A0}	26,1	P _{75-b-20-A0}	39,0	P _{100-b-20-A0}	44,0	1,49	1,69
	50%	10	P _{50-b-10-A50}	19,8	-	-	-	-	-	-
		12,5	P _{50-b-12-A50}	15,0	P _{75-b-12-A50}	30,0	P _{100-b-12-A50}	45,0	2,00	3,00
		16	P _{50-b-16-A50}	25,0	P _{75-b-16-A50}	32,8	P _{100-b-16-A50}	53,8	1,31	2,15
		20	P _{50-b-20-A50}	25,0	-	-	-	-	-	-
	100%	10	P _{50-b-10-A100}	31,1	-	-	-	-	-	-
		12,5	P _{50-b-12-A100}	26,6	P _{75-b-12-A100}	35,0	P _{100-b-12-A100}	49,6	1,32	1,87
		16	P _{50-b-16-A100}	27,2	P _{75-b-16-A100}	41,4	P _{100-b-16-A100}	45,0	1,52	1,65
		20	P _{50-b-20-A100}	25,0	P _{75-b-20-A100}	30,0	-	-	1,20	-
Valor			$F_{u,75}/F_{u,50}$			$F_{u,100}/F_{u,50}$				
			0%	50%	100%	0%	50%	100%		
Máximo			1,49	2,00	1,52	1,75	3,00	1,87		
Mínimo			1,21	1,31	1,20	1,69	2,15	1,65		
Médio			1,33	1,66	1,35	1,72	2,58	1,76		
Desvio Padrão (%)			14,37	34,50	16,12	3,21	42,40	10,69		

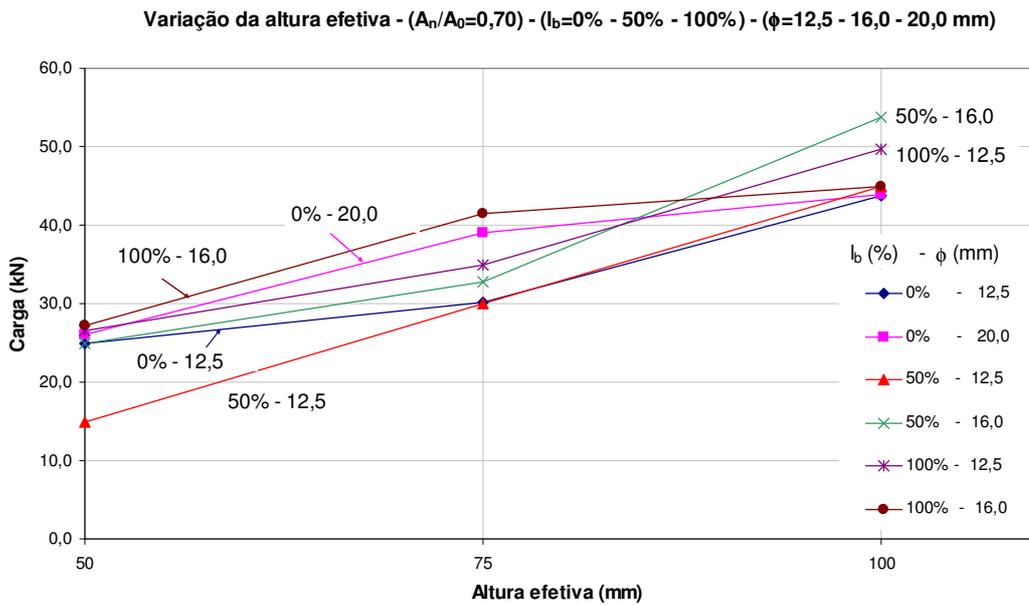


Figura 5.3 – Gráfico da Carga (kN) x Altura efetiva (mm) com proximidade de borda fixada em 0,70 e variação do comprimento aderente e diâmetro da haste do pino

5.2.2 Influência da proximidade de borda

A Tabela 5.4 apresenta as cargas de ruptura, dividida de acordo com as características de cada pino ensaiado, como altura efetiva h_{ef} , proximidade de borda A_n / A_0 , variação do diâmetro da barra ϕ e comprimento de aderência l_b . Para quantificar a perda da resistência de ancoragem, devido a proximidade de borda, a carga de ruptura F_u do pino de relação A_n / A_0 igual a 1,00 foi dividida pela carga F_u do pino de relação A_n / A_0 igual a 0,80, resultando na relação $F_{u,100} / F_{u,0,70}$.

Ao comparar carga de ruptura de um pino isolado de relação A_n / A_0 igual a 1,00 com um próximo à borda cuja relação é de 0,70 ocorre um acréscimo da ordem de 1,75 vezes na carga última de ancoragem. Entretanto ao comparar cargas de ruptura de pinos de relação A_n / A_0 igual a 0,80 e A_n / A_0 igual a 0,70 ocorre um aumento mais significativo, devido ao fato que quanto mais próximo à borda, encontra-se uma região de concreto possivelmente menos resistente. Fato que pode ser constatado na comparação das cargas dos pinos $P_{75-b-16-A0}$, $P_{75-B-16-A0}$ e $P_{75-I-16-A0}$.

Tabela 5.4 – Carga de ruptura dos pinos com relação A_n / A_0 (0,70, 0,80 e 1,00) e l_b 0%.

l_b	h_{ef} (mm)	ϕ (mm)	$A_n/A_0 = 0,70$		$A_n/A_0 = 0,80$		$A_n/A_0 = 1,00$		$F_{u,0,80}/F_{u,0,70}$	$F_{u,1,00}/F_{u,0,70}$
			Pinos	$F_{u,0\%}$ (kN)	Pinos	$F_{u,50\%}$ (kN)	Pinos	$F_{u,100\%}$ (kN)		
0%	50	10	P _{50-b-10-A0}	21,8	P _{50-B-10-A0}	30,0	P _{50-I-10-A0}	44,0	1,38	2,02
		12,5	P _{50-b-12-A0}	25,0	P _{50-B-12-A0}	33,1	P _{50-I-12-A0}	48,7	1,32	1,95
		16	P _{50-b-16-A0}	27,5	P _{50-B-16-A0}	35,2	P _{50-I-16-A0}	37,2	1,28	1,35
		20	P _{50-b-20-A0}	26,1	-	-	P _{50-I-20-A0}	43,0	-	1,65
	75	10	-	-	-	-	-	-	-	-
		12,5	P _{75-b-12-A0}	30,2	P _{75-B-12-A0}	45,8	P _{75-I-12-A0}	70,0	1,52	2,32
		16	P _{75-b-16-A0}	35,4	P _{75-B-16-A0}	48,3	P _{75-I-16-A0}	61,8	1,36	1,75
		20	P _{75-b-20-A0}	39,0	P _{75-B-20-A0}	44,0	P _{75-I-20-A0}	68,2	1,13	1,75
	100	10	-	-	-	-	-	-	-	-
		12,5	P _{100-b-12-A0}	43,8	P _{100-B-12-A0}	55,1	P _{100-I-12-A0}	96,0	1,26	2,19
		16	P _{100-b-16-A0}	49,8	P _{100-B-16-A0}	52,6	P _{100-I-16-A0}	102,0	1,06	2,05
		20	P _{100-b-20-A0}	44,0	P _{100-B-20-A0}	51,0	-	-	1,16	-
Valor			$F_{u,0,80}/F_{u,0,70}$			$F_{u,1,00}/F_{u,0,70}$				
			$h_{ef} = 50$	$h_{ef} = 75$	$h_{ef} = 100$	$h_{ef} = 50$	$h_{ef} = 75$	$h_{ef} = 100$		
Máximo			1,38	1,52	1,26	2,02	2,32	2,19		
Mínimo			1,28	1,13	1,06	1,35	1,75	2,05		
Médio			1,33	1,34	1,16	1,74	1,94	2,12		
Desvio Padrão (%)			4,97	19,43	10,16	33,66	29,12	7,30		

Para os pinos P_{50-b-10-A50} e P_{50-B-10-A50} variando a relação A_n / A_0 de 0,70 para 0,80 ocorreu um ganho na carga última da ordem de 1,47 vezes; valor próximo é obtido quando compara-se as cargas de ruptura dos pinos P_{75-b-16-A0} e P_{75-B-16-A0}, cuja diminuição de carga foi de 1,36 vezes o valor da carga última de ancoragem.

Com o aumento da altura efetiva dos pinos, observa-se que o ganho de carga passa a ser maior. Ao comparar os pinos P_{100-b-16-A50}, P_{100-B-16-A50} e P_{100-I-16-A50} é constatado um ganho de carga de até 1,78 vezes para relação $F_{u,100} / F_{u,0,70}$ e de apenas 1,01 para os pinos com relação $F_{u,0,80} / F_{u,0,70}$.

O menor ganho de carga pode ocorrer porque à medida que se aproxima da borda, o pino encontra situações mais desfavoráveis como uma região mais fraca do concreto, o que reduz de maneira significativa a carga última de ancoragem.

Para situações de altura efetiva maior, o ganho de carga foi de 2,00 vezes para relação $F_{u,100} / F_{u,0,70}$ e de apenas 1,24 para a relação $F_{u,0,80} / F_{u,0,70}$ valores que podem ser observados ao comparar os pinos P_{75-b-16-A50}, P_{75-B-16-A50} e P_{75-I-16-A50}.

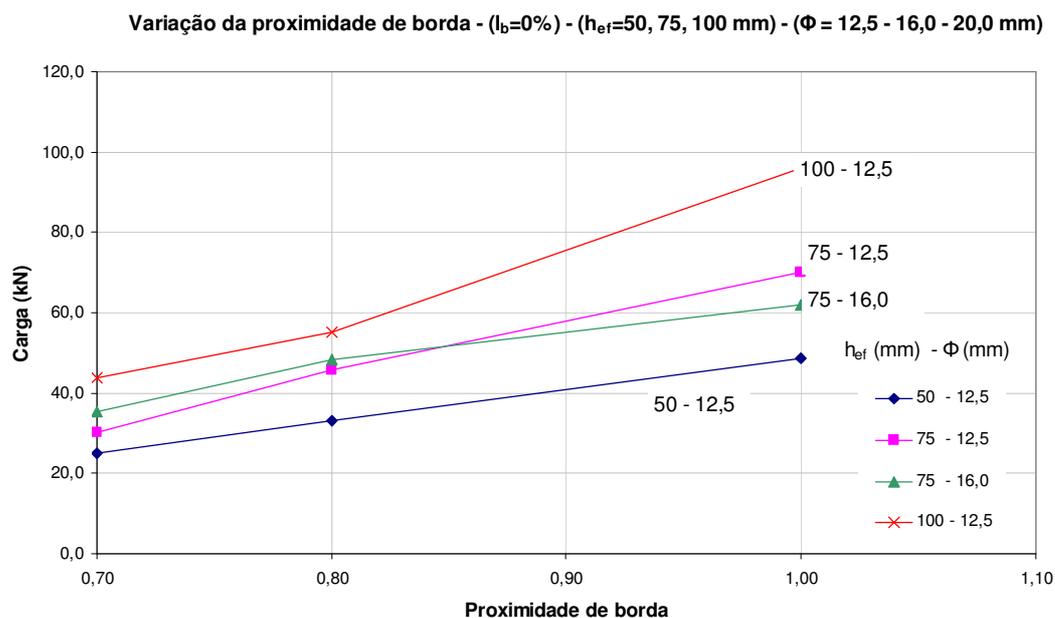


Figura 5.4 – Gráfico da Carga (kN) x Proximidade de borda com comprimento aderente fixado em 0% de l_b e variação da altura efetiva e diâmetro da haste do pino

Tabela 5.5 – Carga de ruptura dos pinos com relação A_n / A_0 (0,70, 0,80 e 1,00) e l_b 50%

l_b	h_{ef} (mm)	ϕ (mm)	$A_n/A_0 = 0,70$		$A_n/A_0 = 0,80$		$A_n/A_0 = 1,00$		$F_{u,0,80}/F_{u,0,70}$	$F_{u,1,00}/F_{u,0,70}$
			Pinos	$F_{u,0\%}$ (kN)	Pinos	$F_{u,50\%}$ (kN)	Pinos	$F_{u,100\%}$ (kN)		
50%	50	10	P _{50-b-10-A50}	19,8	P _{50-B-10-A50}	29,1	P _{50-I-10-A50}	37,5	1,47	1,89
		12,5	P _{50-b-12-A50}	15,0	P _{50-B-12-A50}	27,5	P _{50-I-12-A50}	37,6	1,83	2,51
		16	P _{50-b-16-A50}	25,0	P _{50-B-16-A50}	28,5	P _{50-I-16-A50}	32,3	1,14	1,29
		20	P _{50-b-20-A50}	25,0	P _{50-B-20-A50}	27,9	-	-	1,12	-
	75	10	-	-	-	-	-	-	-	-
		12,5	P _{75-b-12-A50}	30,0	P _{75-B-12-A50}	38,2	-	-	1,27	-
		16	P _{75-b-16-A50}	32,8	P _{75-B-16-A50}	40,5	P _{75-I-16-A50}	65,4	1,24	2,00
		20	-	-	P _{75-B-20-A50}	35,0	P _{75-I-20-A50}	62,3	-	-
	100	10	-	-	-	-	-	-	-	-
		12,5	P _{100-b-12-A50}	45,0	P _{100-B-12-A50}	55,1	-	-	1,22	-
		16	P _{100-b-16-A50}	53,8	P _{100-B-16-A50}	54,5	P _{100-I-16-A50}	95,7	1,01	1,78
		20	-	-	-	-	-	-	-	-

Valor	$F_{u,0,80}/F_{u,0,70}$			$F_{u,1,00}/F_{u,0,70}$		
	$h_{ef} = 50$	$h_{ef} = 75$	$h_{ef} = 100$	$h_{ef} = 50$	$h_{ef} = 75$	$h_{ef} = 100$
Máximo	1,83	1,27	1,22	2,51	2,00	1,78
Mínimo	1,12	1,24	1,01	1,29	2,00	1,78
Médio	1,39	1,25	1,12	1,90	2,00	1,78
Desvio Padrão (%)	36,20	1,91	10,56	60,83	0,00	0,00

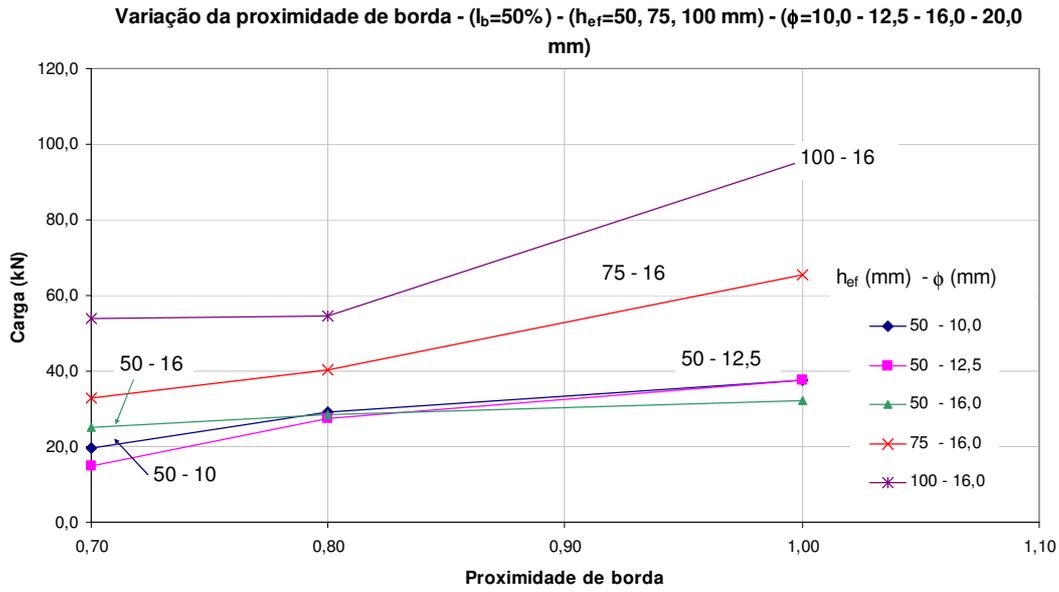


Figura 5.5 – Gráfico da Carga (kN) x Proximidade de borda com comprimento aderente fixado em 50% de l_b e variação da altura efetiva e diâmetro da haste do pino

Tabela 5.6 – Carga de ruptura dos pinos com relação A_n / A_0 (0,70, 0,80 e 1,00) e l_b 100%

l_b	h_{ef} (mm)	ϕ (mm)	$A_n/A_0 = 0,70$		$A_n/A_0 = 0,80$		$A_n/A_0 = 1,00$		$F_{u,0,80}/F_{u,0,70}$	$F_{u,1,00}/F_{u,0,70}$
			Pinos	$F_{u,0\%}$ (kN)	Pinos	$F_{u,50\%}$ (kN)	Pinos	$F_{u,100\%}$ (kN)		
100%	50	10	P _{50-b-10-A100}	31,1	P _{50-B-10-A100}	29,8	P _{50-I-10-A100}	42,0	0,96	1,35
		12,5	P _{50-b-12-A100}	26,6	P _{50-B-12-A100}	37,6	P _{50-I-12-A100}	45,2	1,42	1,70
		16	P _{50-b-16-A100}	27,2	P _{50-B-16-A100}	37,4	P _{50-I-16-A100}	51,0	1,38	1,88
		20	P _{50-b-20-A100}	25,0	P _{50-B-20-A100}	33,1	P _{50-I-20-A100}	35,1	1,32	1,40
	75	10	-	-	-	-	-	-	-	-
		12,5	P _{75-b-12-A100}	35,0	P _{75-B-12-A100}	43,1	P _{75-I-12-A100}	73,0	1,23	2,09
		16	P _{75-b-16-A100}	41,4	P _{75-B-16-A100}	32,1	P _{75-I-16-A100}	80,1	0,78	1,93
		20	P _{75-b-20-A100}	30,0	P _{75-B-20-A100}	44,3	P _{75-I-20-A100}	73,8	1,48	2,46
	100	10	-	-	-	-	-	-	-	-
		12,5	P _{100-b-12-A100}	49,6	-	-	P _{100-I-12-A100}	82,0	-	1,65
		16	P _{100-b-16-A100}	45,0	P _{100-B-16-A100}	57,1	P _{100-I-16-A100}	106,0	1,27	2,36
		20	-	-	P _{100-B-20-A100}	62,1	-	-	-	-
Valor			$F_{u,0,80}/F_{u,0,70}$			$F_{u,1,00}/F_{u,0,70}$				
			$h_{ef} = 50$	$h_{ef} = 75$	$h_{ef} = 100$	$h_{ef} = 50$	$h_{ef} = 75$	$h_{ef} = 100$		
Máximo			1,42	1,48	1,27	1,88	2,46	2,36		
Mínimo			0,96	0,78	1,27	1,35	1,93	1,65		
Médio			1,27	1,16	1,27	1,58	2,16	2,00		
Desvio Padrão (%)			23,46	35,12	0,00	26,28	26,35	35,12		

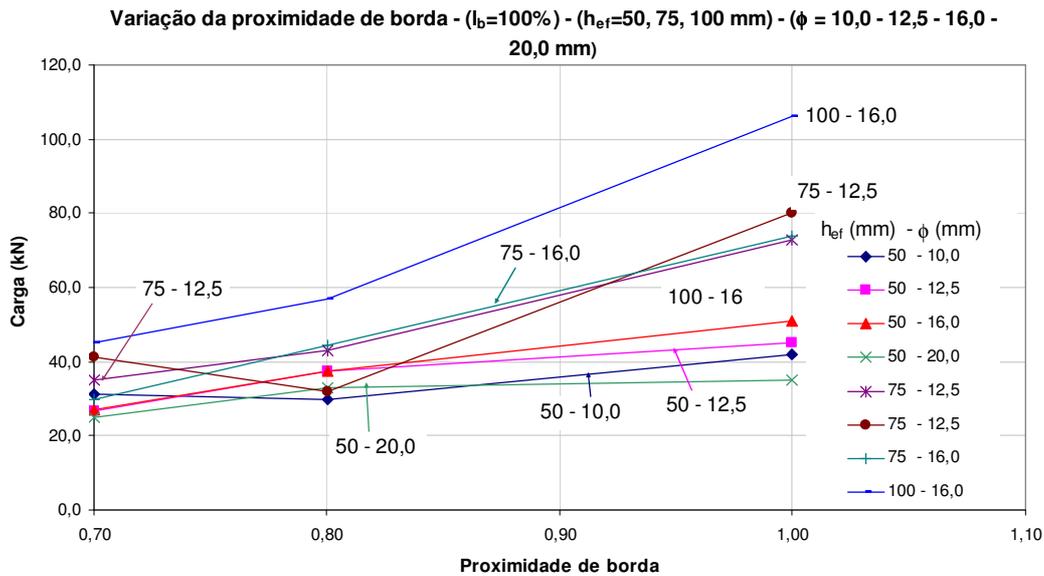


Figura 5.6 – Gráfico da Carga (kN) x Proximidade de borda com comprimento aderente fixado em 100% de l_b e variação da altura efetiva e diâmetro da haste do pino

5.2.3 Influência da variação do comprimento de aderência

A Tabela 5.7 relaciona as cargas de ruptura dos pinos ensaiados e suas características de altura efetiva h_{ef} , proximidade de borda A_n / A_0 , variação do diâmetro da barra ϕ e comprimento de aderência l_b (0%, 50% e 100%) e para relação A_n / A_0 igual a 0,70 foram acrescentadas outras variações para expressar de forma mais significativa a influência do comprimento de aderência, (0%, 25%, 50%, 75% e 100%). Devido à pequena quantidade de amostras, os pinos com comprimento de aderência de 25% e 75% de l_b , foram relacionados no programa experimental e ensaiados, porém seus resultados não foram utilizados diretamente na análise dos pinos.

Para quantificar o ganho de resistência de ancoragem, devido ao aumento do comprimento aderente do pino, a carga F_u do pino de comprimento aderente 50% foi dividida pela carga F_u do pino de comprimento aderente 0%, para mesmo diâmetro e mesma relação A_n / A_0 , resultando nas relações $F_{u,50} / F_{u,0}$ e $F_{u,100} / F_{u,0}$. Na Tabela 5.7, observa-se que ocorre uma diminuição de forma geral, em todas as cargas de ruptura dos pinos com o aumento do comprimento aderente de 0% para 50% de l_b , como mostrado também na Figura 5.7.

Tabela 5.7 – Carga de ruptura dos pinos com relação l_b (0%, 50% e 100%) e relação $A_n / A_0 = 1,00$

A_n/A_0	h_{ef} (mm)	ϕ (mm)	l_b 0%		l_b 50%		l_b 100%		$F_{u,50\%}/F_{u,0\%}$	$F_{u,100\%}/F_{u,0\%}$
			Pinos	$F_{u,0\%}$ (kN)	Pinos	$F_{u,50\%}$ (kN)	Pinos	$F_{u,100\%}$ (kN)		
1,00	50	10	P _{50-I-10-A0}	44,0	P _{50-I-10-A50}	37,5	P _{50-I-10-A100}	42,0	0,85	0,95
		12,5	P _{50-I-12-A0}	48,7	P _{50-I-12-A50}	37,6	P _{50-I-12-A100}	45,2	0,77	0,93
		16	P _{50-I-16-A0}	37,2	P _{50-I-16-A50}	32,3	P _{50-I-16-A100}	51,0	0,87	1,37
		20	P _{50-I-20-A0}	43,0	-	-	P _{50-I-20-A100}	35,1	-	0,82
	75	10	-	-	-	-	-	-	-	-
		12,5	P _{75-I-12-A0}	70,0	-	-	P _{75-I-12-A100}	73,0	-	1,04
		16	P _{75-I-16-A0}	61,8	P _{75-I-16-A50}	65,4	P _{75-I-16-A100}	80,1	1,06	1,30
		20	P _{75-I-20-A0}	68,2	P _{75-I-20-A50}	62,3	P _{75-I-20-A100}	73,8	0,91	1,08
	100	10	-	-	-	-	-	-	-	-
		12,5	P _{100-I-12-A0}	96,0	-	-	P _{100-I-12-A100}	82,0	-	0,85
		16	P _{100-I-16-A0}	102,0	P _{100-I-16-A50}	95,7	P _{100-I-16-A100}	106,0	0,94	1,04
		20	-	-	-	-	-	-	-	-
Valor			$F_{u,50\%}/F_{u,0\%}$			$F_{u,100\%}/F_{u,0\%}$				
			$h_{ef} = 50$	$h_{ef} = 75$	$h_{ef} = 100$	$h_{ef} = 50$	$h_{ef} = 75$	$h_{ef} = 100$		
Máximo			0,87	1,06	0,94	1,37	1,30	1,04		
Mínimo			0,77	0,91	0,94	0,82	1,04	0,85		
Médio			0,83	0,99	0,94	1,02	1,14	0,95		
Desvio Padrão (%)			4,78	7,24	0,00	28,08	12,77	9,25		

Para a relação A_n / A_0 igual a 1,00, as cargas dos pinos P_{50-I-12-A0} e P_{50-I-12-A100} resultou em um ganho de resistência de 0,95 vezes na carga de ruptura para a relação $F_{u,100\%}/F_{u,0\%}$. O mesmo não ocorre entre as cargas de ruptura dos pinos P_{50-I-16-A0} e P_{50-I-16-A100} cujo ganho de resistência foi de até 1,37 vezes, para pinos com altura efetiva de 50 mm.

Alguns pinos apresentaram ganhos de resistência tão pequenos que podem ser desprezados, devido ao fato da leitura na célula de carga ser feita com três casas significativas de valores, sendo arredondado para uma casa. Logo os que apresentaram uma diminuição da carga, considerar-se-á que não houve acréscimo de carga. Esse fato pode ser observado entre as cargas de ruptura dos P_{75-I-20-A0} e P_{75-I-20-A50} onde ocorre um decréscimo de apenas 0,91 vezes.

Observa-se que o acréscimo de carga para o aumento do comprimento aderente de 0% para 50% para todos os pinos apresentados, foi negativo. Se computados em conjunto, os valores médios das cargas de ruptura seria da ordem de 0,90 vezes para a relação $F_{u,50\%}/F_{u,0\%}$.

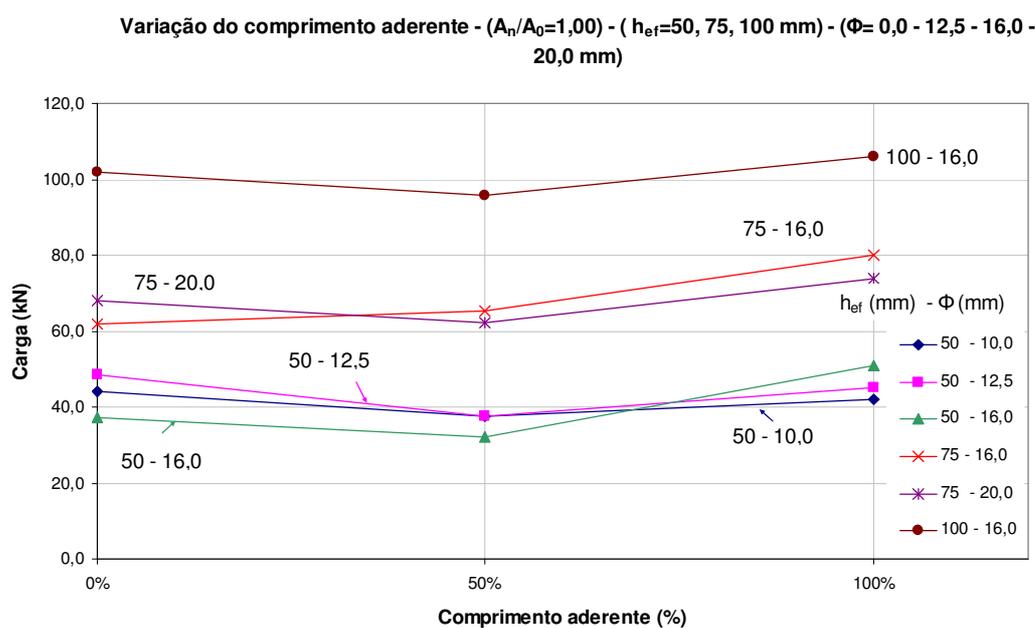


Figura 5.7 – Gráfico da Carga (kN) x Comprimento aderente e relação A_n / A_0 fixada em 1,00 e variação da altura efetiva e diâmetro da haste do pino

Para relações A_n / A_0 iguais a 0,80 obtemos valores menores onde o acréscimo de carga foi de apenas 1,04 vezes entre as cargas de ruptura dos pinos $P_{100-B-16-A_0}$ e $P_{100-B-16-A_{50}}$ com proximidade de borda 0,80, altura efetiva de 100 mm e diâmetro da haste do pino de 16 mm e de 1,00 vezes quando compara-se as cargas de ruptura dos pinos $P_{100-B-12-A_0}$ e $P_{100-B-12-A_{50}}$. Observa-se um menor acréscimo de carga quando os diâmetros das hastes dos pinos são aumentados, apesar de haver um acréscimo da área lateral de aço passível de haver aderência, a carga tende a diminuir porque aumentá-se o diâmetro e mantêm-se a cabeça de ancoragem constante.

Tabela 5.8 – Carga de ruptura dos pinos com relação l_b (0%, 50% e 100%) e relação $A_n / A_0 = 0,80$

A_n/A_0	h_{ef} (mm)	ϕ (mm)	l_b 0%		l_b 50%		l_b 100%		$F_{u,50\%}/F_{u,0\%}$	$F_{u,100\%}/F_{u,50\%}$
			Pinos	$F_{u,0\%}$ (kN)	Pinos	$F_{u,50\%}$ (kN)	Pinos	$F_{u,100\%}$ (kN)		
0,80	50	10	P _{50-B-10-A0}	30,0	P _{50-B-10-A50}	29,1	P _{50-B-10-A100}	29,8	0,97	0,99
		12,5	P _{50-B-12-A0}	33,1	P _{50-B-12-A50}	27,5	P _{50-B-12-A100}	37,6	0,83	1,14
		16	P _{50-B-16-A0}	35,2	P _{50-B-16-A50}	28,5	P _{50-B-16-A100}	37,4	0,81	1,06
	75	20	-	-	P _{50-B-20-A50}	27,9	P _{50-B-20-A100}	33,1	-	-
		10	-	-	-	-	-	-	-	-
		12,5	P _{75-B-12-A0}	45,8	P _{75-B-12-A50}	38,2	P _{75-B-12-A100}	43,1	0,83	0,94
	100	16	P _{75-B-16-A0}	48,3	P _{75-B-16-A50}	40,5	P _{75-B-16-A100}	32,1	0,84	0,66
		20	P _{75-B-20-A0}	44,0	P _{75-B-20-A50}	35,0	P _{75-B-20-A100}	44,3	0,80	1,01
		10	-	-	-	-	-	-	-	-
	100	12,5	P _{100-B-12-A0}	55,1	P _{100-B-12-A50}	55,1	-	-	1,00	-
		16	P _{100-B-16-A0}	52,6	P _{100-B-16-A50}	54,5	P _{100-B-16-A100}	57,1	1,04	1,09
		20	P _{100-B-20-A0}	51,0	-	-	P _{100-B-20-A100}	62,1	-	1,22

Valor	$F_{u,50\%}/F_{u,0\%}$			$F_{u,100\%}/F_{u,50\%}$		
	$h_{ef} = 50$	$h_{ef} = 75$	$h_{ef} = 100$	$h_{ef} = 50$	$h_{ef} = 75$	$h_{ef} = 100$
Máximo	0,97	0,84	1,04	1,14	1,01	1,22
Mínimo	0,81	0,80	1,00	0,99	0,66	1,09
Médio	0,87	0,82	1,02	1,06	0,87	1,15
Desvio Padrão (%)	8,10	2,13	1,80	7,21	17,23	6,60

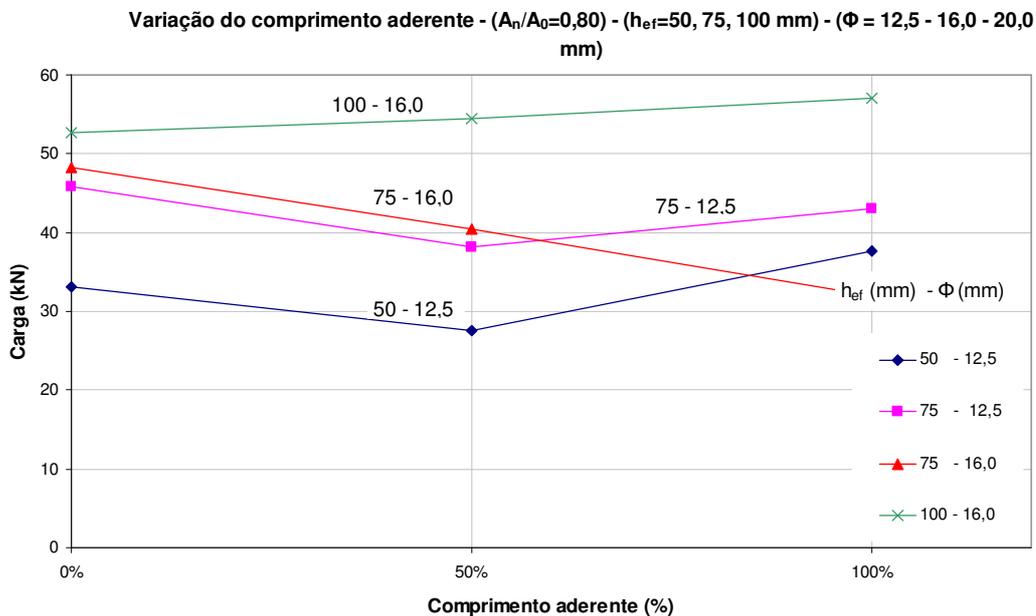


Figura 5.8 – Gráfico da Carga (kN) x Comprimento aderente e relação A_n / A_0 fixada em 0,80 e variação da altura efetiva e diâmetro da haste do pino

O maior ganho de resistência de ancoragem ocorreu entre os pinos P_{50-b-12-A0} e P_{50-b-12-A100} com relação A_n / A_0 igual a 0,70 e altura efetiva de 50 mm, que foi de

aproximadamente 1,06 vezes na carga última de ancoragem. Porém esse fato deve ser investigado pois o pino com l_b de 50% apresenta-se com carga experimental muito abaixo da carga teórica.

A relação entre as cargas dos pinos $P_{75-b-16-A0}$ com $P_{75-b-16-A50}$ e $P_{100-b-12-A0}$ e $P_{100-b-12-A50}$ apresentaram uma variação, com o aumento do comprimento de aderência de 0% para 50% de 0,93 e 1,03 respectivamente.

Ao analisar a variação do comprimento de aderência associada ao aumento da altura efetiva dos pinos e da proximidade de borda, observa-se que para altura efetiva de 50 mm, comparando as cargas dos pinos $P_{50-b-16-A0}$ e $P_{50-b-16-A100}$ ocorre um ganho de carga da ordem de 0,99 vezes e quando a altura efetiva é aumentada para 75 mm, comparando os pinos $P_{75-b-16-A0}$ e $P_{75-b-16-A100}$, obtém-se um acréscimo de 1,17 vezes na carga última de ancoragem, pois a medida que aumenta-se a altura efetiva associado a uma diminuição da relação A_n / A_0 ocorre uma perda na carga de ruptura última.

Tabela 5.9 – Carga de ruptura dos pinos com relação l_b (0%, 50% e 100%) e relação $A_n / A_0 = 0,70$

A_n/A_0	h_{ef} (mm)	ϕ (mm)	l_b 0%		l_b 50%		l_b 100%		$F_{u,50\%}/F_{u,0\%}$	$F_{u,100\%}/F_{u,0\%}$
			Pinos	$F_{u,0\%}$ (kN)	Pinos	$F_{u,50\%}$ (kN)	Pinos	$F_{u,100\%}$ (kN)		
0,70	50	10	$P_{50-b-10-A0}$	21,8	$P_{50-b-10-A50}$	19,8	$P_{50-b-10-A100}$	31,1	0,91	1,43
		12,5	$P_{50-b-12-A0}$	25,0	$P_{50-b-12-A50}$	15,0	$P_{50-b-12-A100}$	26,6	0,60	1,06
		16	$P_{50-b-16-A0}$	27,5	$P_{50-b-16-A50}$	25,0	$P_{50-b-16-A100}$	27,2	0,91	0,99
		20	$P_{50-b-20-A0}$	26,1	$P_{50-b-20-A50}$	25,0	$P_{50-b-20-A100}$	25,0	0,96	0,96
	75	10	-	-	-	-	-	-	-	-
		12,5	$P_{75-b-12-A0}$	30,2	$P_{75-b-12-A50}$	30,0	$P_{75-b-12-A100}$	35,0	0,99	1,16
		16	$P_{75-b-16-A0}$	35,4	$P_{75-b-16-A50}$	32,8	$P_{75-b-16-A100}$	41,4	0,93	1,17
		20	$P_{75-b-20-A0}$	39,0	-	-	$P_{75-b-20-A100}$	30,0	-	0,77
	100	10	-	-	-	-	-	-	-	-
		12,5	$P_{100-b-12-A0}$	43,8	$P_{100-b-12-A50}$	45,0	$P_{100-b-12-A100}$	49,6	1,03	1,13
		16	$P_{100-b-16-A0}$	49,8	$P_{100-b-16-A50}$	53,8	$P_{100-b-16-A100}$	45,0	1,08	0,90
		20	$P_{100-b-20-A0}$	44,0	-	-	-	-	-	-
Valor			$F_{u,50\%}/F_{u,0\%}$			$F_{u,100\%}/F_{u,0\%}$				
			$h_{ef}=50$	$h_{ef}=75$	$h_{ef}=100$	$h_{ef}=50$	$h_{ef}=75$	$h_{ef}=100$		
Máximo			0,96	0,99	1,08	1,43	1,17	1,13		
Mínimo			0,60	0,93	1,03	0,96	0,77	0,90		
Médio			0,84	0,96	1,05	1,11	1,03	1,02		
Desvio Padrão (%)			18,29	3,41	2,59	24,10	20,34	11,50		

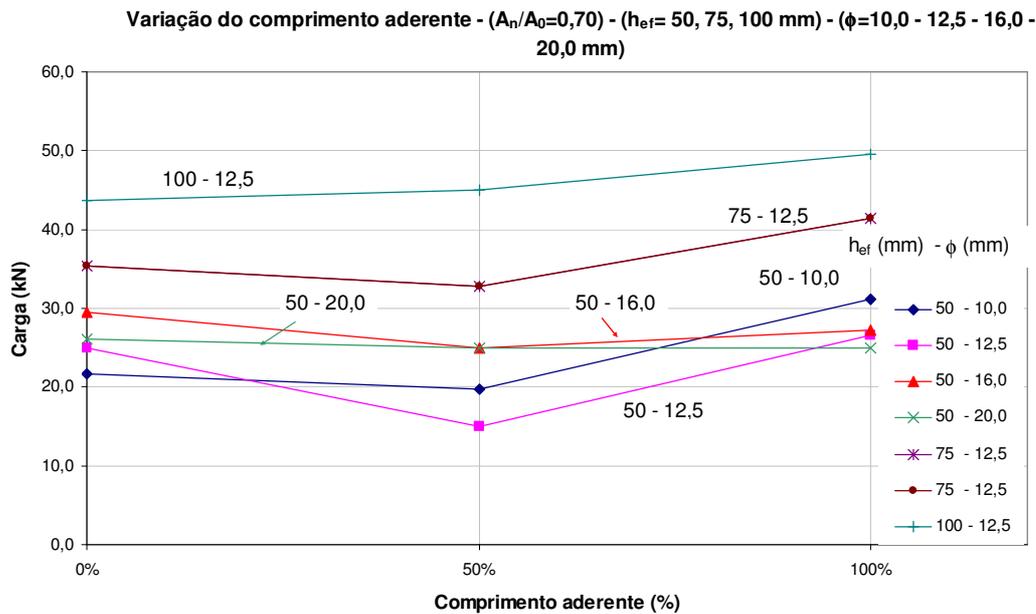


Figura 5.9 – Gráfico da Carga (kN) x Comprimento aderente e relação A_n / A_0 fixada em 0,70 e variação da altura efetiva e diâmetro da haste do pino

5.2.4 Influência da variação do diâmetro da haste

A Tabela 5.10 apresenta as cargas de ruptura dos pinos de acordo com as características de cada pino selecionado, tais como altura efetiva h_{ef} , proximidade de borda A_n / A_0 , variação do diâmetro da barra ϕ e comprimento de aderência l_b . Para quantificar o ganho de resistência de ancoragem, devido ao aumento do diâmetro da haste do pino, a carga F_u do pino de diâmetro de 20 mm foi dividida pela F_u do pino de diâmetro de 16 mm, resultando na relação $F_{u,20} / F_{u,16}$, e esta relação foi aplicada para os demais diâmetros.

Para as diversas situações de proximidade de borda A_n / A_0 , pinos com aderência 100% l_b , 50% de l_b e sem aderência 0% l_b e altura efetiva constante, a variação do diâmetro da haste do pino não resultou em ganho significativo de carga de ancoragem, ocorrendo em alguns casos uma redução na carga.

Ao comparar as cargas de ruptura dos pinos $P_{50-I-10-A0}$ e $P_{50-I-12-A0}$ ocorreu um aumento de 1,11 vezes na carga última para pinos com altura efetiva de 50 mm e 0% de aderência. O mesmo ocorre quando observa-se os pinos $P_{50-I-12-A100}$ e $P_{50-I-16-A100}$ cujo ganho de resistência de ancoragem foi de apenas 1,13 vezes possuindo 100% de aderência e relação A_n / A_0 igual a 1,00 e entre as cargas de ruptura dos pinos $P_{50-I-16-A100}$ e $P_{50-I-20-$

A₁₀₀ ocorre uma redução de 0,69. Quando a altura efetiva dos pinos é aumentada para 75 mm e mantendo mesma relação A_n / A_0 1,00 e comprimento da aderência igual a 100%, ocorre um ganho de carga ainda menor da ordem de 1,10 ao comparar as cargas dos pinos P_{75-I-12-A100} e P_{75-I-16-A100}.

Para os pinos P_{75-B-16-A0} e P_{75-B-12-A0} com altura efetiva 75 mm e relação A_n / A_0 igual a 0,80 ocorre um ganho de carga ainda menor, da ordem de 1,06. Fato interessante ocorre com os pinos P_{50-B-12-A50}, P_{50-B-16-A50} e P_{50-B-20-A50} onde as cargas de rupturas foram praticamente iguais, reafirmando que o aumento do diâmetro da haste não é índice determinante para o aumento da carga última de ancoragem, como pode ser visto na Tabela 5.11.

Entretanto para os pinos P_{50-B-16-A100} e P_{50-B-20-A100} ocorreu uma diminuição da carga de ruptura da ordem de 0,89 vezes para o caso de 100% aderência e relação A_n / A_0 igual a 0,80. Tal fato pode ser explicado pela redução na relação (d_h / ϕ) onde ϕ é o diâmetro da haste e d_h é o tamanho da cabeça de ancoragem, parâmetro mantido constante (cabeça quadrada de 50 mm) para todas as peças, como pode ser visto na Figura 5.10.

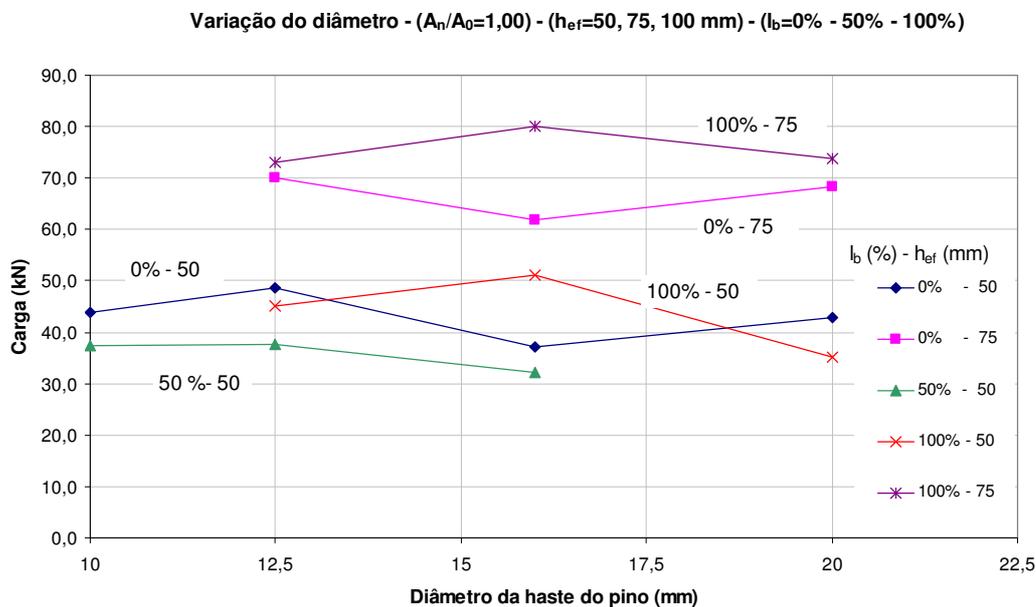


Figura 5.10 – Gráfico da Carga (kN) x Diâmetro da haste com relação A_n / A_0 fixada em 1,00 e variação da altura efetiva e comprimento aderente

Tabela 5.10 – Carga de ruptura dos pinos com diâmetro (10, 12,5, 16 e 20) mm e relação $A_n / A_0 = 1,00$

A_n/A_0	l_b	h_{ef} (mm)	$\phi = 10$ mm		$\phi = 12,5$ mm		$\phi = 16$ mm		$\phi = 20$ mm		$F_{u,12,5}/F_{u,10}$	$F_{u,16}/F_{u,12,5}$	$F_{u,20}/F_{u,16}$
			Pinos	$F_{u,10}$ (kN)	Pinos	$F_{u,12,5}$ (kN)	Pinos	$F_{u,16}$ (kN)	Pinos	$F_{u,20}$ (kN)			
1,00	0%	50	P _{50-I-10-A0}	44,0	P _{50-I-12-A0}	48,7	P _{50-I-16-A0}	37,2	P _{50-I-20-A0}	43,0	1,11	0,76	1,16
		75	-	-	P _{75-I-12-A0}	70,0	P _{75-I-16-A0}	61,8	P _{75-I-20-A0}	68,2	-	0,88	1,10
		100	-	-	P _{100-I-12-A0}	96,0	P _{100-I-16-A0}	102,0	-	-	-	1,06	-
	50%	50	P _{50-I-10-A50}	37,5	P _{50-I-12-A50}	37,6	P _{50-I-16-A50}	32,2	-	-	1,00	0,86	-
		75	-	-	-	-	P _{75-I-16-A50}	65,4	P _{75-I-20-A50}	62,3	-	-	0,95
		100	-	-	-	-	P _{100-I-16-A50}	95,7	-	-	-	-	-
	100%	50	P _{50-I-10-A100}	42,0	P _{50-I-12-A100}	45,2	P _{50-I-16-A100}	51,0	P _{50-I-20-A100}	35,1	-	1,13	0,69
		75	-	-	P _{75-I-12-A100}	73,0	P _{75-I-16-A100}	80,0	P _{75-I-20-A100}	73,8	-	1,10	0,92
		100	-	-	P _{100-I-12-A100}	82,0	P _{100-I-16-A100}	106,0	-	-	-	1,29	-
	Valor			$F_{u,12,5}/F_{u,10}$			$F_{u,16}/F_{u,12,5}$			$F_{u,20}/F_{u,16}$			
				0%	50%	100%	0%	50%	100%	0%	50%	100%	
	Máximo			1,11	1,00	0,00	1,06	0,86	1,29	1,16	0,95	0,92	
Mínimo			1,11	1,00	0,00	0,76	0,86	1,10	1,10	0,95	0,69		
Médio			1,11	1,00	-	0,90	0,86	1,17	1,13	0,95	0,80		
Desvio Padrão (%)			0,00	0,00	0,00	14,94	0,00	9,90	2,62	0,00	11,74		

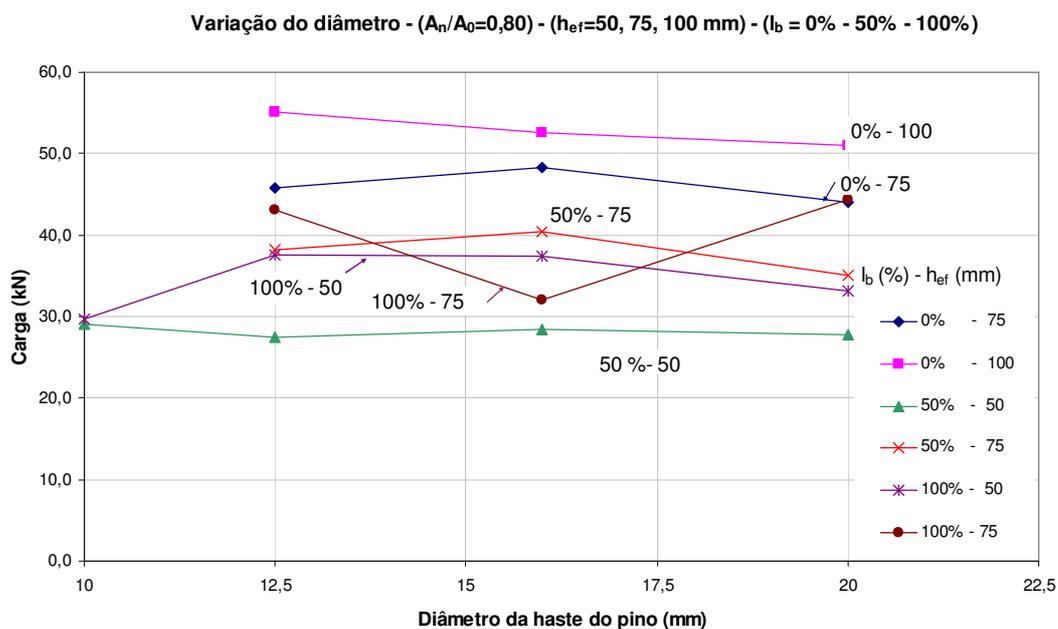


Figura 5.11 – Gráfico da Carga (kN) x Diâmetro da haste com relação A_n / A_0 fixada em 0,80 e variação da altura efetiva e comprimento aderente

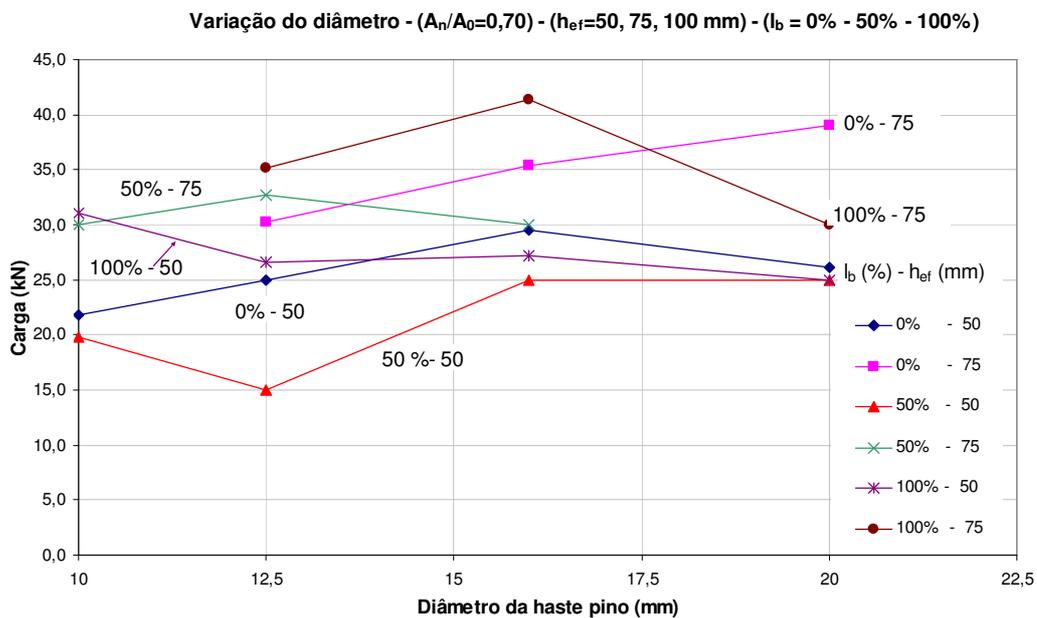


Figura 5.12 – Gráfico da Carga (kN) x Diâmetro da haste com relação A_n / A_0 fixada em 0,70 e variação da altura efetiva e comprimento aderente

Tabela 5.11 – Carga de ruptura dos pinos com diâmetro (10, 12,5, 16 e 20) mm e relação $A_n / A_0 = 0,80$

A_n/A_0	l_b %	h_{ef}	$\phi = 10$ mm		$\phi = 12,5$ mm		$\phi = 16$ mm		$\phi = 20$ mm		$F_{u,12,5}/F_{u,10}$	$F_{u,16}/F_{u,12,5}$	$F_{u,20}/F_{u,16}$	
			Pinos	$F_{u,10}$ (kN)	Pinos	$F_{u,12,5}$ (kN)	Pinos	$F_{u,16}$ (kN)	Pinos	$F_{u,20}$ (kN)				
0,80	0%	50	P _{50-B-10-A0}	-	P _{50-B-12-A0}	33,1	P _{50-B-16-A0}	35,2	-	-	-	-	-	
		75	-	-	P _{75-B-12-A0}	45,8	P _{75-B-16-A0}	48,3	P _{75-B-20-A0}	44,0	-	1,06	0,91	
		100	-	-	P _{100-B-12-A0}	55,1	P _{100-B-16-A0}	52,6	P _{100-B-20-A0}	51,0	-	0,95	0,97	
	50%	50	P _{50-B-10-A50}	29,1	P _{50-B-12-A50}	27,5	P _{50-B-16-A50}	28,5	P _{50-B-20-A50}	27,9	0,95	1,04	0,98	
		75	-	-	P _{75-B-12-A50}	38,2	P _{75-B-16-A50}	40,5	P _{75-B-20-A50}	35,0	-	1,06	0,87	
		100	-	-	P _{100-B-12-A50}	55,1	P _{100-B-16-A50}	54,5	-	-	-	0,99	-	
	100%	50	P _{50-B-10-A100}	29,8	P _{50-B-12-A100}	37,6	P _{50-B-16-A100}	37,4	P _{50-B-20-A100}	33,1	1,26	0,99	0,89	
		75	-	-	P _{75-B-12-A100}	43,1	P _{75-B-16-A100}	32,0	P _{75-B-20-A100}	44,3	-	0,74	1,38	
		100	-	-	-	-	P _{100-B-16-A100}	57,1	P _{100-B-20-A100}	62,1	-	-	1,09	
	Valor			$F_{u,12,5}/F_{u,10}$			$F_{u,16}/F_{u,12,5}$			$F_{u,20}/F_{u,16}$				
				0%	50%	100%	0%	50%	100%	0%	50%	100%		
	Máximo			0,00	0,95	1,26	1,06	1,06	0,99	0,97	0,98	1,38		
Mínimo			0,00	0,95	1,26	0,95	0,99	0,74	0,91	0,87	0,89			
Médio			-	0,95	-	1,01	1,03	0,87	0,94	0,92	1,12			
Desvio Padrão (%)			-	0,00	0,00	5,06	3,50	12,61	2,93	5,60	24,98			

Tabela 5.12 – Carga de ruptura dos pinos com diâmetro (10, 12,5, 16 e 20) mm e relação $A_n / A_0 = 0,70$

A_n/A_0	l_b %	h_{ef} (mm)	$\phi = 10$ mm		$\phi = 12,5$ mm		$\phi = 16$ mm		$\phi = 20$ mm		$F_{u,12,5}/F_{u,10}$	$F_{u,16}/F_{u,12,5}$	$F_{u,20}/F_{u,16}$	
			Pinos	$F_{u,10}$ (kN)	Pinos	$F_{u,12,5}$ (kN)	Pinos	$F_{u,16}$ (kN)	Pinos	$F_{u,20}$ (kN)				
0,70	0%	50	P _{50-b-10-A0}	21,8	P _{50-b-12-A0}	25,0	P _{50-b-16-A0}	29,5	P _{50-b-20-A0}	26,1	1,15	1,18	0,88	
		75	-	-	P _{75-b-12-A0}	30,2	P _{75-b-16-A0}	35,4	P _{75-b-20-A0}	39,0	-	1,17	1,10	
		100	-	-	P _{100-b-12-A0}	43,8	P _{100-b-16-A0}	49,8	P _{100-b-20-A0}	44,0	-	-	-	
	50%	50	P _{50-b-10-A50}	19,8	P _{50-b-12-A50}	15,0	P _{50-b-16-A50}	25,0	P _{50-b-20-A50}	25,0	0,76	1,67	1,00	
		75	-	-	P _{75-b-12-A50}	30,0	P _{75-b-16-A50}	32,8	P _{75-b-20-A-50}	30,0	-	1,09	0,92	
		100	-	-	P _{100-b-12-A50}	45,0	P _{100-b-16-A50}	53,8	-	-	-	1,20	-	
	100%	50	P _{50-b-10-A100}	31,1	P _{50-b-12-A100}	26,6	P _{50-b-16-A100}	27,2	P _{50-b-20-A100}	25,0	0,85	1,02	0,92	
		75	-	-	P _{75-b-12-A100}	35,1	P _{75-b-16-A100}	41,4	P _{75-b-20-A100}	30,0	-	1,18	0,72	
		100	-	-	P _{100-b-12-A100}	49,6	P _{100-b-16-A100}	45,0	-	-	-	0,91	-	
	Valor			$F_{u,12,5}/F_{u,10}$			$F_{u,16}/F_{u,12,5}$			$F_{u,20}/F_{u,16}$				
				0%	50%	100%	0%	50%	100%	0%	50%	100%		
	Máximo			1,15	0,76	0,85	1,18	1,67	1,18	1,10	1,00	0,92		
Mínimo			1,15	0,76	0,85	1,17	1,09	0,91	0,88	0,92	0,72			
Médio			1,15	0,76	-	1,18	1,32	1,04	0,99	0,96	0,82			
Desvio Padrão (%)			0,00	0,00	0,00	0,39	28,97	13,62	10,85	4,20	9,72			

Ao comparar as cargas de ruptura dos pinos $P_{50-b-20-A100}$, $P_{50-b-16-A100}$, $P_{50-b-12-A100}$ e $P_{50-b-10-A100}$ caso com 100 % aderência e relação A_n / A_0 igual a 0,70 ocorre um acréscimo de carga quando o diâmetro é aumentado de 10,0 para 12,5 e 16,0 mm da ordem de 1,02. Porém quando o diâmetro é aumentado para 20,0 mm a carga de ancoragem diminui para uma relação da ordem de 0,92, como pode ser visto na Tabela 5.12.

O maior ganho de carga ocorreu entre os pinos $P_{50-b-12-A50}$ e $P_{50-b-16-A50}$, da ordem de 0,76 vezes, pois o pino com diâmetro de 12,5 mm apresentou carga experimental abaixo da dimensionada, por apresentar erros de execução de concretagem e características não requeridas.

5.3 COMPARAÇÃO DAS CARGAS EXPERIMENTAIS E MÉTODOS DE CÁLCULO

Os métodos de cálculo utilizados para comparar a carga estimada com a carga experimental, devido à redução causada pela proximidade de uma borda livre, foram escolhidos com a finalidade de se abranger um maior número de filosofias de cálculo. São eles:

- ACI 349/76, devido a sua utilização no dimensionamento de conexões dúcteis e por adotar um ângulo de 45° do cone de ruptura.
- De Vries (1999), por ser dentre os métodos de cálculo citados na revisão bibliográfica o único que foi desenvolvido para o tipo de ancoragem estudada.
- Meira (2005), por permitir que seja estimada a carga de ruptura de um pino de ancoragem cuja haste é feita com uma barra nervurada.

A Tabela 5.13 apresenta a relação entre a carga de ruptura $F_{u,exp}$, obtida dos ensaios, e a carga de ruptura $F_{u,mét.cálc.}$, estimada pelos métodos de cálculo ACI 349/76, De Vries e Meira (2005). É dividida de acordo com a proximidade de borda e altura efetiva que foram as características que apresentaram valores mais significativos de ganho de carga de ruptura e subdividida quanto às variações de comprimento de aderência e diâmetro da haste do pino.

Tabela 5.13 – Cargas Teóricas dos pinos com relação $A_n/A_0 = 1,00$ – Métodos de Cálculo

A_n/A_0	h_{ef} (mm)	l_b (%)	ϕ (mm)	Pinos	$F_{u,exp}$ (kN) (1)	Métodos de Cálculo			$F_{u,exp}/F_{u,mét.cálc}$			
						ACI-349 (2)	De Vries (3)	Meira (4)	ACI-349 (1)/(2)	De Vries (1)/(3)	Meira (1)/(4)	
1,00	50	0%	10	P _{50-I-10-A0}	44,0	33,8	38,4	38,9	1,30	1,15	1,13	
			12,5	P _{50-I-12-A0}	48,7	33,8	38,4	38,9	1,44	1,27	1,25	
			16	P _{50-I-16-A0}	37,2	31,9	36,9	36,7	1,17	1,01	1,01	
			20	P _{50-I-20-A0}	43,0	36,6	41,2	42,1	1,17	1,04	1,02	
		50%	10	P _{50-I-10-A50}	37,5	28,2	34,8	34,4	1,33	1,08	1,09	
			12,5	P _{50-I-12-A50}	37,6	30,0	35,5	37,1	1,25	1,06	1,01	
			16	P _{50-I-16-A50}	32,3	28,1	33,9	36,6	1,15	0,95	0,88	
			20	-	-	-	-	-	-	-	-	
		100%	10	P _{50-I-10-A100}	42,0	31,1	36,3	37,7	1,35	1,16	1,11	
			12,5	P _{50-I-12-A100}	45,2	31,8	36,8	41,3	1,42	1,23	1,09	
			16	P _{50-I-16-A100}	51,0	31,1	36,3	43,9	1,64	1,40	1,16	
			20	P _{50-I-20-A100}	35,1	29,0	34,6	44,8	1,21	1,01	0,78	
	75	0%	10	-	-	-	-	-	-	-	-	
			12,5	P _{75-I-12-A0}	70,0	62,3	58,9	70,1	1,12	1,19	1,00	
			16	P _{75-I-16-A0}	61,8	56,0	54,6	63,4	1,10	1,13	0,97	
			20	P _{75-I-20-A0}	68,2	60,7	58,4	68,5	1,12	1,17	1,00	
		50%	10	-	-	-	-	-	-	-	-	
			12,5	-	-	-	-	-	-	-	-	
			16	P _{75-I-16-A50}	65,4	59,1	56,5	70,4	1,11	1,16	0,93	
			20	P _{75-I-20-A50}	62,3	57,8	55,7	71,7	1,08	1,12	0,87	
		100%	10	-	-	-	-	-	-	-	-	
			12,5	P _{75-I-12-A100}	73,0	55,8	54,4	65,6	1,31	1,34	1,11	
			16	P _{75-I-16-A100}	80,1	58,3	56,1	73,6	1,38	1,43	1,09	
			20	P _{75-I-20-A100}	73,8	57,0	55,2	77,5	1,29	1,34	0,95	
	100	0%	10	-	-	-	-	-	-	-	-	
			12,5	P _{100-I-12-A0}	96,0	89,1	77,0	97,7	1,08	1,25	0,98	
			16	P _{100-I-16-A0}	102,0	95,5	80,9	103,9	1,07	1,26	0,98	
			20	-	-	-	-	-	-	-	-	
50%		10	-	-	-	-	-	-	-	-		
		12,5	-	-	-	-	-	-	-	-		
		16	P _{100-I-16-A50}	95,7	90,5	77,1	100,7	1,06	1,24	0,95		
		20	-	-	-	-	-	-	-	-		
100%		10	-	-	-	-	-	-	-	-		
		12,5	P _{100-I-12-A100}	82,0	86,0	74,3	100,5	0,95	1,10	0,82		
		16	P _{100-I-16-A100}	106,0	93,6	79,0	105,2	1,13	1,34	1,01		
		20	-	-	-	-	-	-	-	-		
h_{ef}	Valor	ACI-349			De Vries			Meira				
		0%	50%	100%	0%	50%	100%	0%	50%	100%		
		Máximo	1,44	1,33	1,64	1,27	1,08	1,40	1,25	1,09	1,16	
		Mínimo	1,17	1,15	1,21	1,01	0,95	1,01	1,01	0,88	0,78	
50	Média	1,27	1,24	1,41	1,12	1,03	1,20	1,10	1,00	1,04		
		Coef. Var. (%)	10,16	7,41	12,78	10,46	6,67	13,49	10,14	10,58	16,59	
		75	Máximo	1,12	1,11	1,38	1,19	1,16	1,43	1,00	0,93	1,11
				Mínimo	1,10	1,08	1,29	1,13	1,12	1,34	0,97	0,87
Média	1,12			1,09	1,33	1,16	1,14	1,37	0,99	0,90	1,05	
Coef. Var. (%)	1,05			1,91	3,25	2,46	2,40	3,77	1,31	4,73	8,21	
100	Máximo	1,08	1,06	1,13	1,26	1,24	1,34	0,98	0,95	1,01		
		Mínimo	1,07	1,06	0,95	1,25	1,24	1,10	0,98	0,95	0,82	
		Média	1,07	1,06	1,04	1,25	1,24	1,22	0,98	0,95	0,91	
		Coef. Var. (%)	0,56	0,00	12,13	0,77	0,00	13,77	0,09	0,00	14,90	

Observa-se na Tabela 5.13 que 42% dos pinos situados na posição isolados e altura efetiva variando entre 50, 75 e 100 mm, apresentaram valores da relação $F_{u,exp}/F_{u,mét.cálc}$ para o método de Meira inferior a 1,00, pois dentre os métodos de cálculo apresentados, é o único que considera acréscimo de carga devido à aderência em barras nervuradas.

Nos outros dois métodos, todos os valores médios da relação $F_{u,exp}/F_{u,mét.cálc}$ apresentaram valores superiores a 1,00, exceto nos casos observados na Tabela 5.13 para os pinos P_{50-I-10-A50}, P_{100-I-12-A100}.

Ao comparar os pinos com relação $A_n/A_0 = 1,00$, altura efetiva igual a 50 mm, observa-se que os pinos com comprimento aderente 100% de l_b , obtiveram os maiores valores médios para a relação $F_{u,exp}/F_{u,mét.cálc}$, sendo: 1,41 para o ACI-349, 1,20 para o De Vries e no método de Meira (2005), o acréscimo de carga foi de 1,04 vezes.

O valor médio da relação $F_{u,exp}/F_{u,mét.cálc}$ para as alturas efetivas de 50 mm variou de 0,78, para o pino P_{50-I-20-A100} com relação $A_n/A_0=1,00$ e 100% de l_b , 1,16, para o pino P_{16A100} com relação $A_n/A_0=1,00$ e 100% de l_b . Quando a altura efetiva é aumentada para 75 mm, o valor médio das relações $F_{u,exp}/F_{u,mét.cálc}$ varia entre 0,93 e 0,87 respectivamente para os pinos P_{75-I-16-A50} e P_{75-I-20-A50} e até 1,11 para os pinos com 100% de l_b (P_{75-I-12-A100}).

Ao analisar os pinos com altura efetiva de 100 mm, observa-se que os valores médios da relação $F_{u,exp}/F_{u,mét.cálc}$ diminuem, variando de 0,82 para o pino P_{100-I-12-A100} até 1,01 para o pino P_{100-16-I-A100}. Observa-se que o método de Meira (2005) é o que melhor estima a capacidade de carga considerando o ganho de resistência devido a aderência entre a haste do pino e o concreto.

Considerando o ganho na resistência devido à variação do comprimento aderente ($l_b = 0\%$, 50% e 100%), 58% dos pinos apresentaram valores da relação $F_{u,exp}/F_{u,mét.cálc}$ superiores a 1,00. Esse valor fica caracterizado pelo fato de haver um ganho de carga de ruptura quando a altura efetiva é aumentada de 50 mm para 75 mm, sendo que o concreto na superfície apresenta uma região mais fraca, visto no item 5.2.1.

Na Tabela 5.14 são apresentados os pinos com relação $A_n/A_0 = 0,80$, altura efetiva variando de 50 a 75 mm e as respectivas subdivisões do comprimento aderente e diâmetro da haste do pino.

Tabela 5.14 – Características dos pinos com relação $A_n/A_0 = 0,80$ – Métodos de Cálculo

A_n/A_0	h_{ef} (mm)	l_b (%)	ϕ (mm)	Pinos	$F_{u,exp}$ (kN) (1)	Métodos de Cálculo			$F_{u,exp}/F_{u,mét.cálc}$			
						ACI-349 (2)	De Vries (3)	Meira (4)	ACI-349 (1)/(2)	De Vries (1)/(3)	Meira (1)/(4)	
0,80	50	0%	10	P _{50-B-10-A0}	30,0	-	-	-	-	-	-	
			12,5	P _{50-B-12-A0}	33,1	32,9	26,1	24,9	1,01	1,27	1,33	
			16	P _{50-B-16-A0}	35,2	33,0	26,2	25,9	1,07	1,34	1,36	
			20	-	-	-	-	-	-	-	-	
		50%	10	P _{50-B-10-A50}	29,1	32,8	26,0	26,6	0,89	1,12	1,09	
			12,5	P _{50-B-12-A50}	27,5	33,0	26,2	29,8	0,83	1,05	0,92	
			16	P _{50-B-16-A50}	28,5	33,0	26,2	29,8	0,86	1,09	0,96	
			20	P _{50-B-20-A50}	27,9	33,0	26,2	31,4	0,85	1,06	0,89	
		100%	10	P _{50-B-10-A100}	29,8	33,8	27,2	29,6	0,88	1,09	1,01	
			12,5	P _{50-B-12-A100}	37,6	37,6	29,9	35,5	1,00	1,26	1,06	
			16	P _{50-B-16-A100}	37,4	34,4	26,7	35,4	1,09	1,40	1,06	
			20	P _{50-B-20-A100}	33,1	31,7	25,6	36,2	1,04	1,29	0,91	
	75	0%	10	-	-	-	-	-	-	-	-	
			12,5	P _{75-B-12-A0}	45,8	50,5	32,7	35,9	0,91	1,40	1,28	
			16	P _{75-B-16-A0}	48,3	54,5	34,8	38,8	0,89	1,39	1,24	
			20	P _{75-B-20-A0}	44,0	54,4	35,8	39,9	0,81	1,23	1,10	
		50%	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			12,5	P _{75-B-12-A50}	38,2	50,5	32,7	39,6	0,76	1,17	0,97	
			16	P _{75-B-16-A50}	40,5	52,0	33,6	43,2	0,78	1,20	0,94	
			20	P _{75-B-20-A50}	35,0	52,5	34,0	46,2	0,67	1,03	0,76	
		100%	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			12,5	P _{75-B-12-A100}	43,1	50,6	33,2	43,8	0,85	1,30	0,98	
			16	P _{75-B-16-A100}	32,1	52,0	33,6	49,5	0,62	0,96	0,65	
			20	P _{75-B-20-A100}	44,3	48,9	32,7	51,5	0,91	1,35	0,86	
	100	0%	10	-	-	-	-	-	-	-	-	
			12,5	P _{100-B-12-A0}	55,1	74,9	43,6	51,6	0,74	1,26	1,07	
			16	P _{100-B-16-A0}	52,6	76,5	43,5	51,3	0,69	1,21	1,03	
			20	P _{100-B-20-A0}	51,0	75,3	42,6	50,3	0,68	1,20	1,01	
		50%	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			12,5	P _{100-B-12-A50}	55,1	69,9	40,4	50,8	0,79	1,36	1,08	
			16	P _{100-B-16-A50}	54,5	73,2	41,4	55,8	0,74	1,32	0,98	
			20	-	-	-	-	-	-	-	-	
		100%	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			12,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			16	P _{100-B-16-A100}	57,1	70,2	40,7	54,8	0,81	1,40	1,04	
			20	P _{100-B-20-A100}	62,1	72,1	41,3	69,9	0,86	1,50	0,89	
hef	Valor	ACI-349			De Vries			Meira				
		0%	50%	100%	0%	50%	100%	0%	50%	100%		
	50	Máximo	1,07	0,89	1,09	1,34	1,12	1,40	1,36	1,09	1,06	
		Mínimo	1,01	0,83	0,88	1,27	1,05	1,09	1,33	0,89	0,91	
		Média	1,04	0,86	1,00	1,30	1,08	1,26	1,35	0,97	1,01	
		Coef. Var. (%)	0,00	3,13	8,90	0,00	2,80	10,08	0,00	9,33	6,71	
	75	Máximo	0,91	0,78	0,91	1,40	1,20	1,35	1,28	0,97	0,98	
		Mínimo	0,81	0,67	0,62	1,23	1,03	0,96	1,10	0,76	0,65	
		Média	0,87	0,73	0,79	1,34	1,13	1,20	1,21	0,89	0,83	
		Coef. Var. (%)	5,93	8,03	19,38	7,16	8,14	17,97	7,66	12,70	20,42	
	100	Máximo	0,74	0,74	0,86	1,26	1,36	1,50	1,07	1,08	1,04	
		Mínimo	0,68	0,74	0,81	1,20	1,32	1,40	1,01	0,98	0,89	
Média		0,70	0,74	0,84	1,22	1,34	1,45	1,04	1,03	0,97		
Coef. Var. (%)		4,45	0,00	4,05	2,90	0,00	4,90	2,74	0,00	11,25		

Para o grupo com relação $A_n/A_0 = 0,80$, os pinos com 100% de l_b apresentaram os maiores valores médios para a relação $F_{u,exp}/F_{u,mét.cálc}$. Observa-se que apenas 46% dos pinos estimados pelo método de Meira apresentaram valores da relação $F_{u,exp}/F_{u,mét.cálc}$ menores que 1,00 pois à medida que aproxima-se da borda passa a se situar em uma região de concreto possivelmente mais fraca, resultando assim em um ganho de aderência também menor.

Somente o método de De Vries apresentou valores médios da relação $F_{u,exp}/F_{u,mét.cálc}$ superior a 1,00 para todas as alturas efetivas e variações do comprimento aderente para pinos com relação $A_n/A_0 = 0,80$ com exceção do pino P_{75-B-16-A100}.

As cargas de ruptura teóricas calculadas pelo método do ACI-349, apresentou valores da relação $F_{u,exp}/F_{u,mét.cálc}$ menores que 1,00, tornando-se assim valores contra a segurança, pois o método ACI-349 estima a proximidade de borda através da formação de um cone de ruptura que se inicia formando um ângulo de 45° medido a partir do eixo do pino.

Para um comprimento aderente de 100% de l_b os valores médios das relações $F_{u,exp}/F_{u,mét.cálc}$ diminuem quando aumentamos a altura efetiva, pelo fato dos métodos de cálculo com exceção o de Meira não considerar ganho de resistência devido a aderência e pelo fato que a medida que a altura efetiva é aumentada em ancoragens próximas a borda a carga de ruptura diminui.

Na Tabela 5.15 estão representados os pinos com relação $A_n/A_0 = 0,70$. Observa-se que 50% dos pinos calculados pelo método de Meira, apresentaram valores da relação $F_{u,exp}/F_{u,mét.cálc}$ superior a 1,00 pois devido a proximidade de borda ocorre um menor ganho de resistência e pode provocar uma mudança de ruptura, passando de um arrancamento de um cone de concreto para uma ruptura lateral para ancoragens profundas e próximas a borda, diminuindo assim a carga de ruptura (vide item 2.5.5 do Capítulo 2).

Dentre os três métodos de cálculo apresentados, o de De Vries e o ACI-349 apresentaram valores superiores a 1,00, pois entre os métodos o único que considera a influência da aderência entre a haste do pino e o concreto é o de Meira (2005). Para os pinos situados muito próximos à borda, situados em uma região de concreto possivelmente menos resistente, apresentam cargas de ruptura mais baixa.

Tabela 5.15 – Características dos pinos com relação $A_n/A_0 = 0,70$ – Métodos de Cálculo

A_n/A_0	h_{ef} (mm)	l_b (%)	ϕ (mm)	Pinos	$F_{u,exp}$ (kN) (1)	Métodos de Cálculo			$F_{u,exp}/F_{u,mét.cálc}$		
						ACI-349 (2)	De Vries (3)	Meira (4)	ACI-349 (1)/(2)	De Vries (1)/(3)	Meira (1)/(4)
0,70	50	0%	10	P _{50-b-10-A0}	21,8	28,0	21,4	19,7	0,78	1,02	1,10
			12,5	P _{50-b-12-A0}	25,0	28,1	21,5	19,9	0,89	1,17	1,26
			16	P _{50-b-16-A0}	27,5	34,0	25,9	25,1	0,81	1,06	1,10
			20	P _{50-b-20-A0}	26,1	31,2	23,7	22,5	0,84	1,10	1,16
		50%	10	P _{50-b-10-A50}	19,8	27,4	21,1	21,7	0,72	0,94	0,91
			12,5	P _{50-b-12-A50}	15,0	28,1	21,5	23,3	0,53	0,70	0,64
			16	P _{50-b-16-A50}	25,0	28,1	21,5	25,0	0,89	1,17	1,00
			20	P _{50-b-20-A50}	25,0	29,7	22,8	23,4	0,84	1,10	1,07
		100%	10	P _{50-b-10-A100}	31,1	28,1	21,5	24,4	1,11	1,45	1,27
			12,5	P _{50-b-12-A100}	26,6	28,1	21,5	27,0	0,95	1,24	0,98
			16	P _{50-b-16-A100}	27,2	28,5	21,8	30,3	0,95	1,25	0,90
			20	P _{50-b-20-A100}	25,0	29,1	22,0	28,7	0,86	1,14	0,87
	75	0%	10	-	-	-	-	-	-	-	-
			12,5	P _{75-b-12-A0}	30,2	45,6	29,1	31,2	0,66	1,04	0,97
			16	P _{75-b-16-A0}	35,4	46,3	29,6	31,7	0,76	1,20	1,12
			20	P _{75-b-20-A0}	39,0	45,6	29,1	31,2	0,86	1,34	1,25
		50%	10	-	-	-	-	-	-	-	-
			12,5	P _{75-b-12-A50}	30,0	44,7	29,0	35,2	0,67	1,03	0,85
			16	P _{75-b-16-A50}	32,8	45,6	29,1	38,0	0,72	1,13	0,86
			20	-	-	-	-	-	-	-	-
		100%	10	-	-	-	-	-	-	-	-
			12,5	P _{75-b-12-A100}	35,0	42,0	27,4	37,8	0,83	1,28	0,93
			16	P _{75-b-16-A100}	41,4	45,6	29,1	44,8	0,91	1,42	0,92
			20	P _{75-b-20-A100}	30,0	-	-	-	-	-	-
100	0%	10	-	-	-	-	-	-	-	-	
		12,5	P _{100-b-12-A0}	43,8	64,8	36,6	42,3	0,68	1,20	1,03	
		16	P _{100-b-16-A0}	49,8	72,2	39,9	46,9	0,69	1,25	1,06	
		20	P _{100-b-20-A0}	44,0	67,2	37,9	44,0	0,65	1,16	1,00	
	50%	10	-	-	-	-	-	-	-	-	
		12,5	P _{100-b-12-A50}	45,0	65,6	37,3	47,3	0,69	1,21	0,95	
		16	P _{100-b-16-A50}	53,8	70,3	30,1	53,2	0,77	1,79	1,01	
		20	-	-	-	-	-	-	-	-	
	100%	10	-	-	-	-	-	-	-	-	
		12,5	P _{100-b-12-A100}	49,6	64,9	36,8	50,9	0,76	1,35	0,97	
		16	P _{100-b-16-A100}	45,0	58,5	34,1	54,9	0,77	1,32	0,82	
		20	-	-	-	-	-	-	-	-	
h_{ef}	Valor	ACI-349			De Vries			Meira			
		0%	50%	100%	0%	50%	100%	0%	50%	100%	
	50	Máximo	0,89	0,89	1,11	1,17	1,17	1,45	1,26	1,07	1,27
		Mínimo	0,78	0,53	0,86	1,02	0,70	1,14	1,10	0,64	0,87
		Média	0,83	0,72	0,97	1,09	0,98	1,27	1,15	0,91	1,01
		Coef. Var. (%)	5,827	24,90	10,65	5,82	21,21	10,24	6,41	20,61	18,37
	75	Máximo	0,86	0,72	0,91	1,34	1,13	1,42	1,25	0,86	0,93
		Mínimo	0,66	0,67	0,83	1,04	1,03	1,28	0,97	0,85	0,92
		Média	0,76	0,69	0,87	1,19	1,08	1,35	1,11	0,86	0,93
		Coef. Var. (%)	12,69	4,79	6,06	12,70	5,95	7,61	12,69	0,79	0,14
	100	Máximo	0,69	0,77	0,77	1,25	1,79	1,35	1,06	1,01	0,97
		Mínimo	0,65	0,77	0,76	1,16	1,21	1,32	1,00	0,95	0,82
Média		0,67	0,77	0,77	1,20	1,50	1,33	1,03	0,98	0,90	
Coef. Var. (%)		0,00	0,00	0,46	0,00	0,00	1,49	0,00	0,00	12,20	

5.4 SUPERFÍCIE DE RUPTURA

As superfícies de ruptura dos pinos $P_{50-I-16-A0}$ com altura efetiva de 50 mm, comprimento aderente 0% de l_b e relação $A_n/A_0 = 1,00$ e $P_{50-b-12-A50}$ de altura efetiva 50mm, comprimento aderente 50% de l_b e proximidade de borda igual a 0,70 são vistas na Figura 5.13 e 5.14, respectivamente. O gráfico do perfil da superfície está orientado nas direções entre o eixo do pino e a borda (A, H, M, I, L e J) e do pino para o centro do bloco (B, G, C, F, D e E).

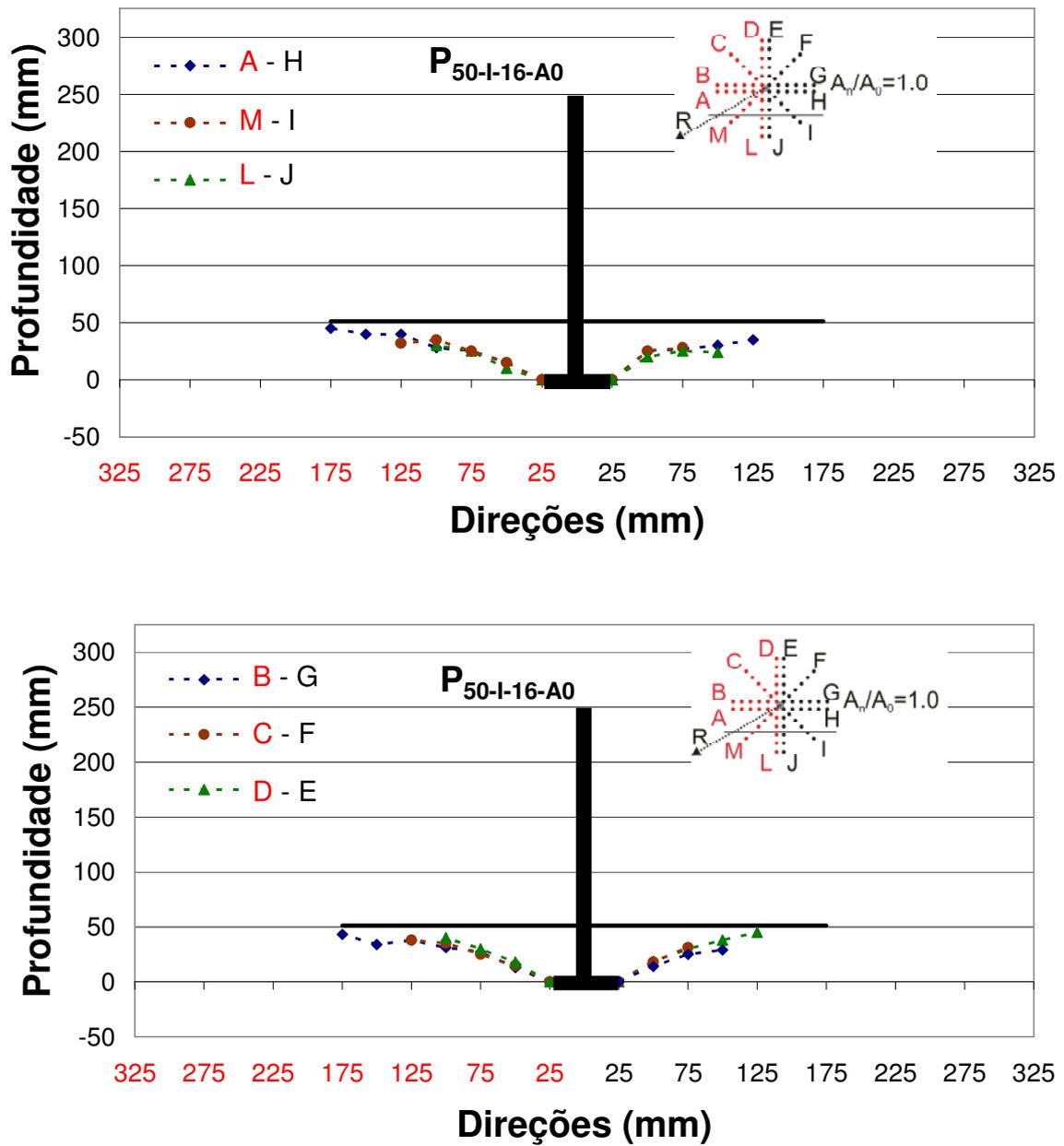


Figura 5.13 – Superfície de ruptura do pino $P_{50-I-16-A0}$.

Ao comparar os pinos P_{50-l-16-A50} e P_{50-b-12-A50} observa-se que ocorre uma mudança de inclinação na superfície de ruptura a medida que o pino se aproxima da borda, essa mudança ocorre para equilibrar o aumento de tensões nessa região, decorrente da perturbação no equilíbrio de tensões em forma de arco, causada pela proximidade de borda.

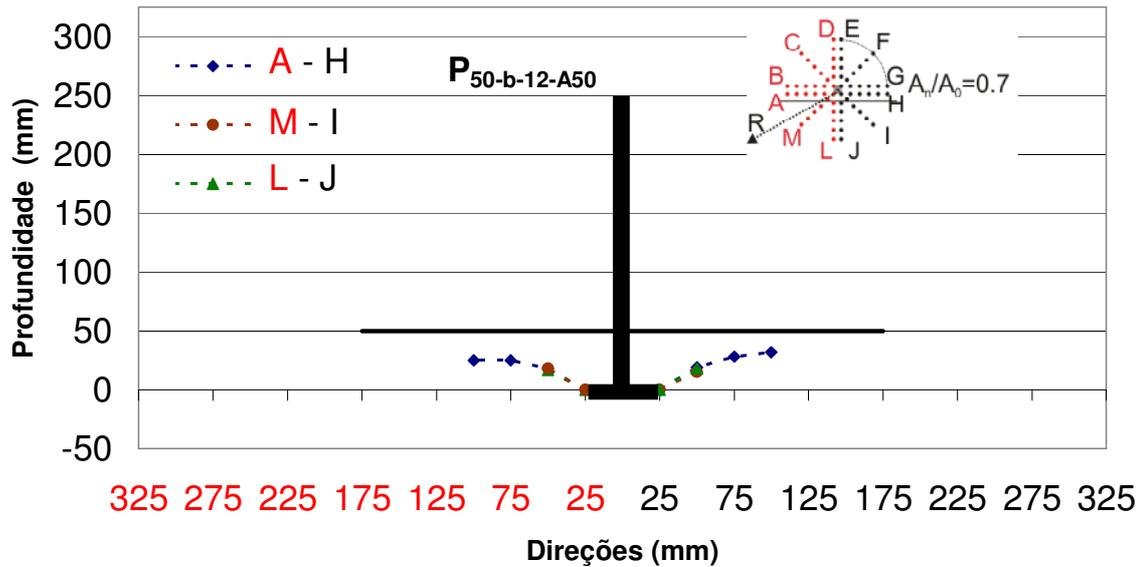
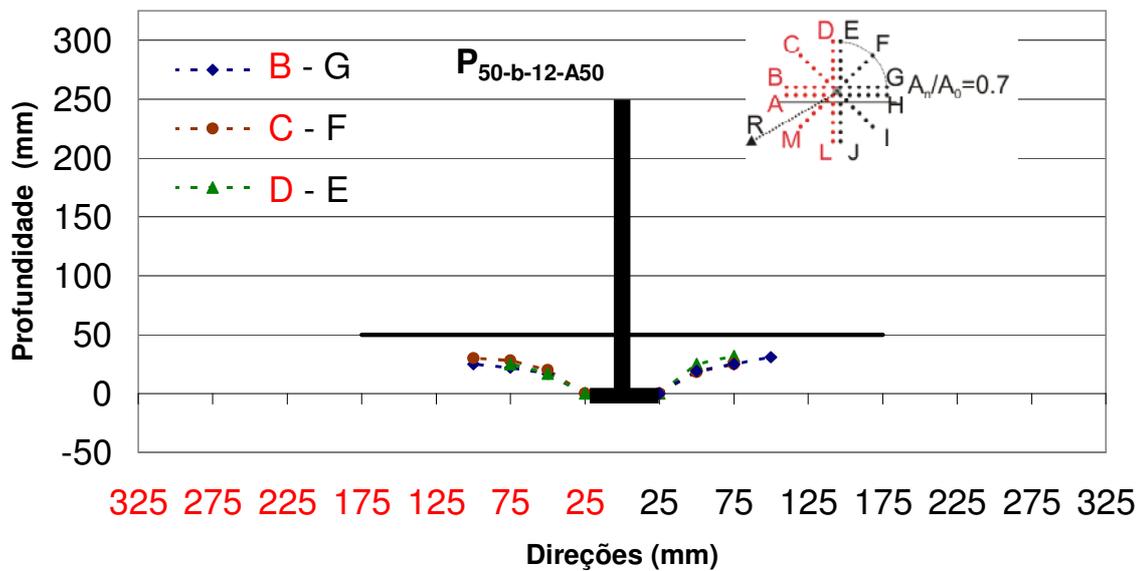


Figura 5.14 – Superfície de ruptura do pino P_{50-b-12-A50}



Na Figura 5.15 observa-se que quando a altura efetiva é aumentada de 50 mm para 75 mm, a superfície de ruptura muda sua inclinação devido à ação de disco; pois quando a fissura se propaga em direção a superfície, a parte não fissurada, situada na superfície em compressão, tende a fletir como um disco causando uma mudança na inclinação.

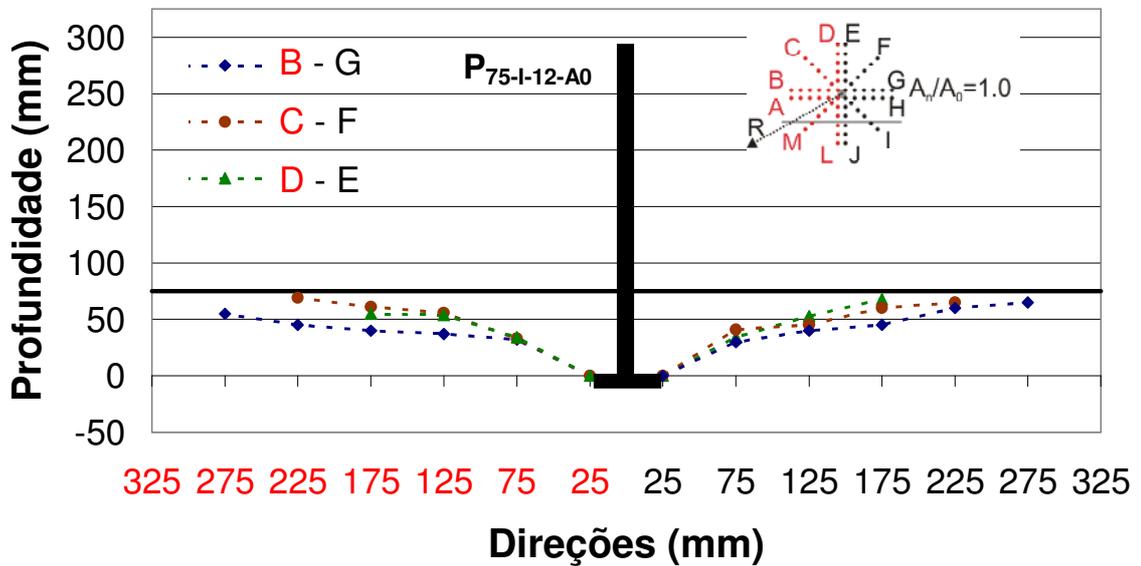
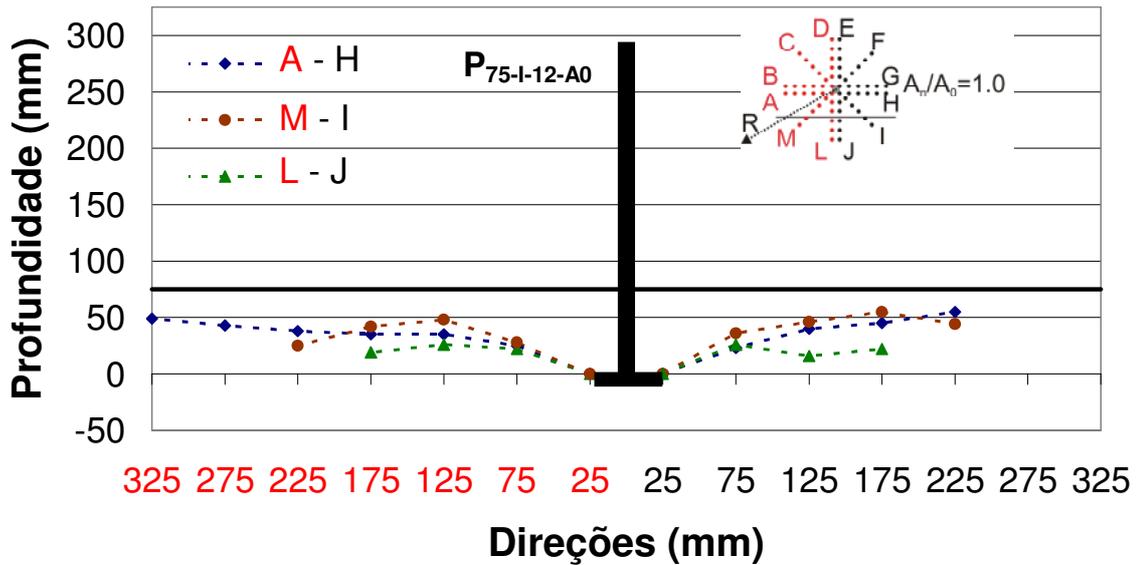


Figura 5.15 – Superfície de ruptura do pino $P_{75-I-12-A0}$

Quando a altura efetiva é 100 mm e aproximamos o pino da borda, a mudança de inclinação ocorre nas direções situadas entre o eixo do pino e a borda (A, H, M, I, L, J), devido a perturbação no equilíbrio de tensões, definido na forma de arco, devido a proximidade de borda.

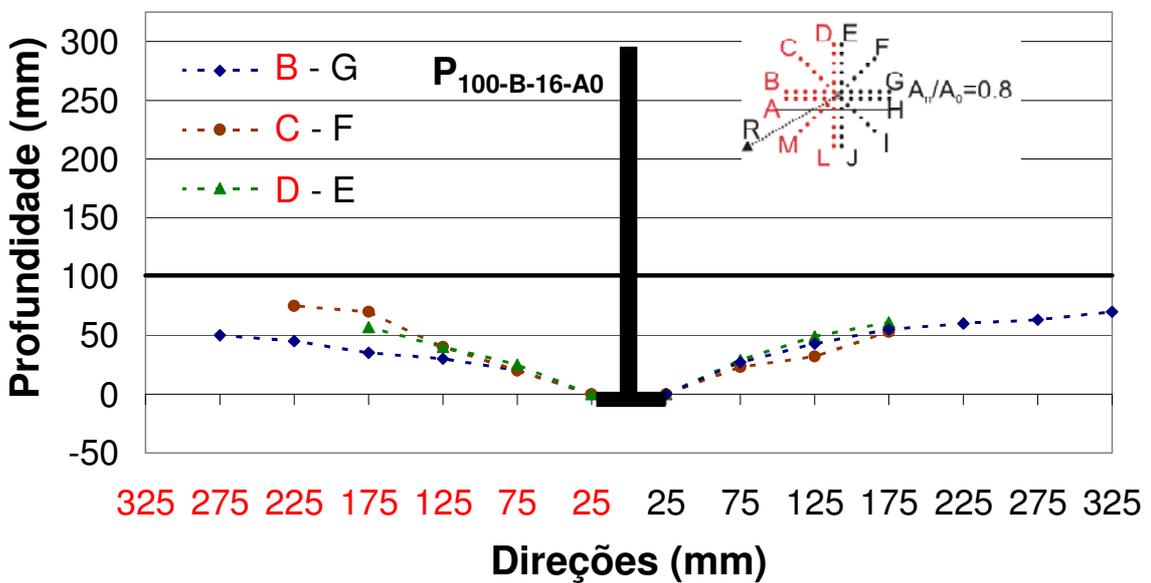
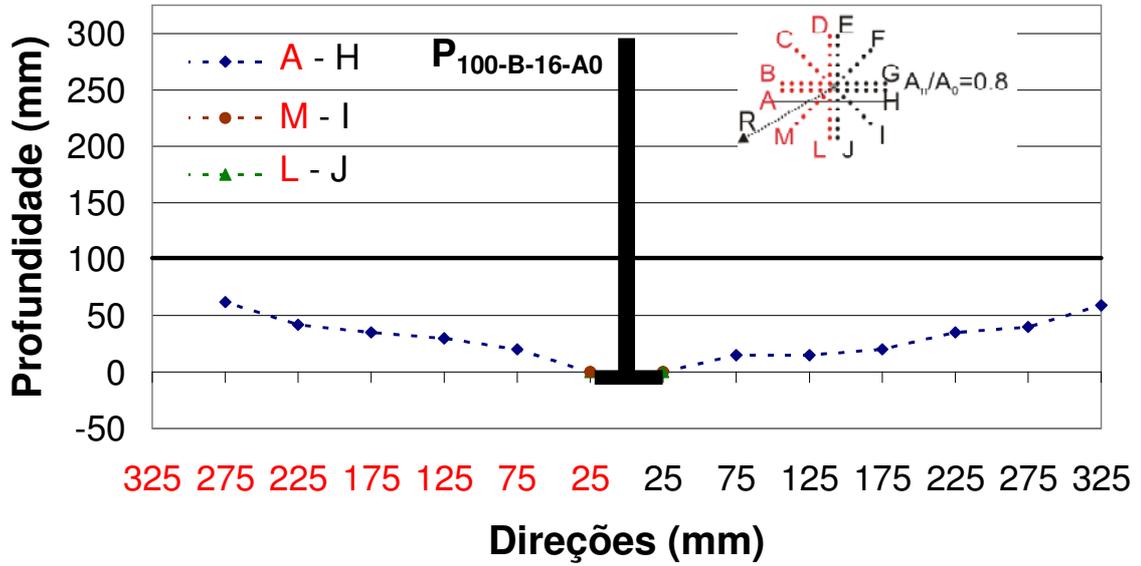


Figura 5.16 – Superfície de ruptura do pino P_{100-B-16-A0}

5.5 DESLOCAMENTO VERTICAL DO PINO

O deslocamento vertical Δl do pino é obtido pelo somatório das parcelas decorrentes do alongamento sofrido pela parte externa da haste do pino $\Delta l_{aço}^c$ em relação ao bloco e o alongamento da haste do pino imersa no concreto: haste e cabeça de ancoragem $\Delta l - \Delta l_{aço}^c$ como visto na Figura 5.17. Esta parcela $\Delta l_{aço}^c$ pode ser calculada somente na fase elástica do material e é expressa pela fórmula $Fl / E_s A$, sendo o $E_s = 210$ GPa.

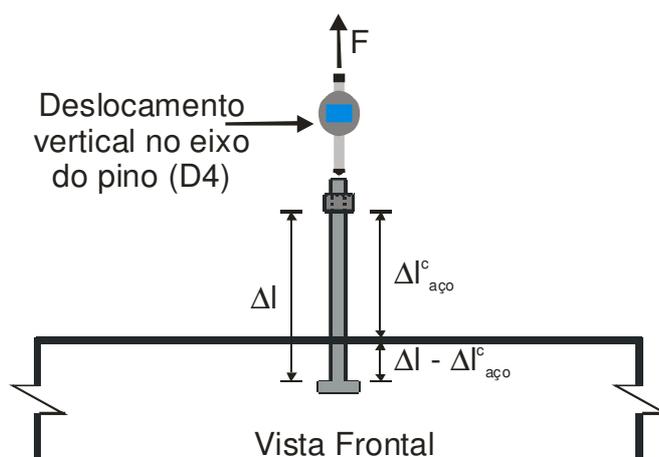


Figura 5.17 – Deslocamento vertical no eixo do pino em relação ao bloco de concreto.

No gráfico da Figura 5.18 estão representados os deslocamento $\Delta l - \Delta l_{aço}^c$, em função da carga de ruptura para os pinos com altura efetiva de 50, 75 e 100 mm, com comprimento aderente de 0%, 50% e 100% de l_b variando o diâmetro da haste do pino nos casos estudados 12,5, 16 e 20 mm, para a mesma relação A_n/A_0 igual a 1,00.

Ao comparar os pinos $P_{50-I-16-A0}$ e $P_{50-I-16-A100}$ observa-se que os pinos com aderência apresentaram os menores deslocamentos $\Delta l - \Delta l_{aço}^c$ se comparados aos pinos sem aderência para a mesma carga de ruptura. Essa diferença pode ser explicada pela resistência oferecida pelo atrito existente entre o concreto e as moedas superficiais da haste do pino.

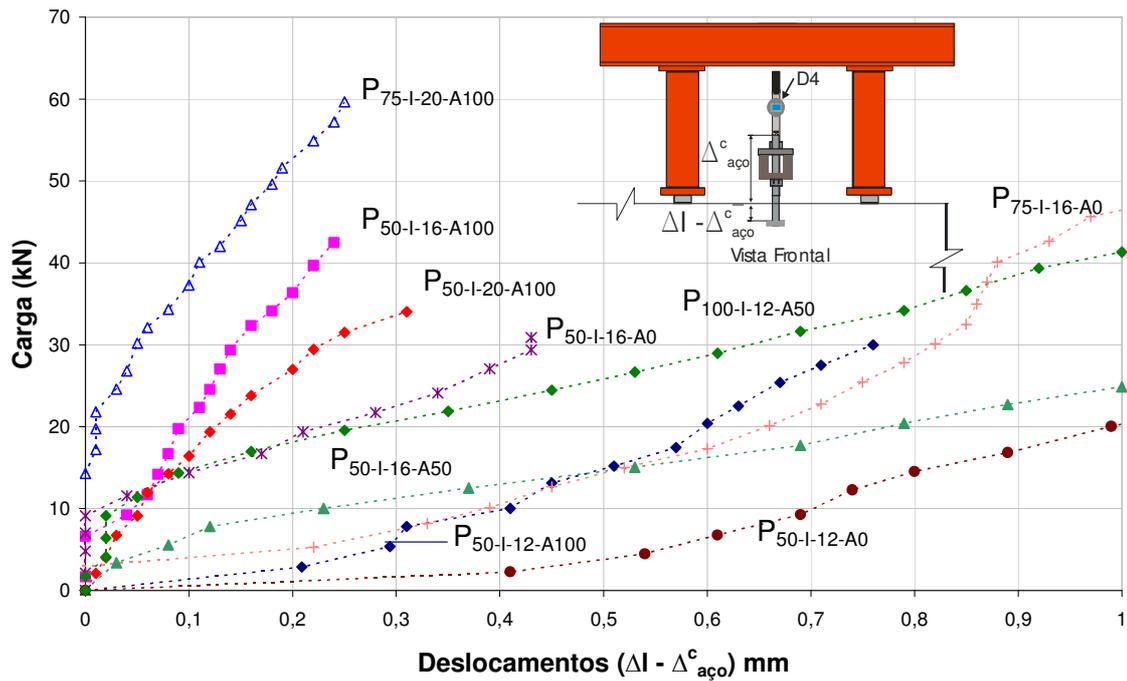


Figura 5.18 – Deslocamentos dos pinos com relação A_n/A_0 igual a 1,00.

Os pinos $P_{50-I-12-A0}$ e $P_{50-I-12-A100}$, com altura efetiva 50 mm, apresentaram deslocamentos maiores do que os obtidos na comparação entre os pinos $P_{50-I-16-A0}$ e $P_{50-I-16-A100}$, devido ao fato da diminuição da relação d_h/ϕ , onde as dimensões da cabeça de ancoragem foram mantidas constantes para todos os diâmetros, fazendo com que ocorra um esmagamento do concreto na região acima da cabeça de ancoragem.

Com o aumento da altura efetiva, os pinos $P_{50-I-20-A100}$ e $P_{75-I-20-A100}$ apresentaram deslocamentos menores para cargas próximas a ruptura. Pois os pinos localizados mais próximo da superfície com alturas efetivas menores, se encontram em uma região de concreto possivelmente de baixa qualidade, não conseguindo alcançar grandes deslocamentos antes da ruptura.

O gráfico da Figura 5.19 apresenta a curva carga x deslocamento $\Delta l - \Delta l_{aço}^c$ para os pinos com e sem aderência na haste, comprimento aderente variando de 0%, 50% e 100%, variação do diâmetro da haste e relação A_n/A_0 de 0,80 e 0,70.

Os pinos com maior proximidade de borda $P_{50-b-10-A50}$ e $P_{50-B-16-A100}$ apresentaram deslocamentos $\Delta l - \Delta l_{aço}^c$ maiores do que nas demais posições, em relação a

cada altura efetiva, para uma mesma carga de ruptura. Isso ocorre possivelmente, devido à baixa qualidade do concreto nessa região do bloco.

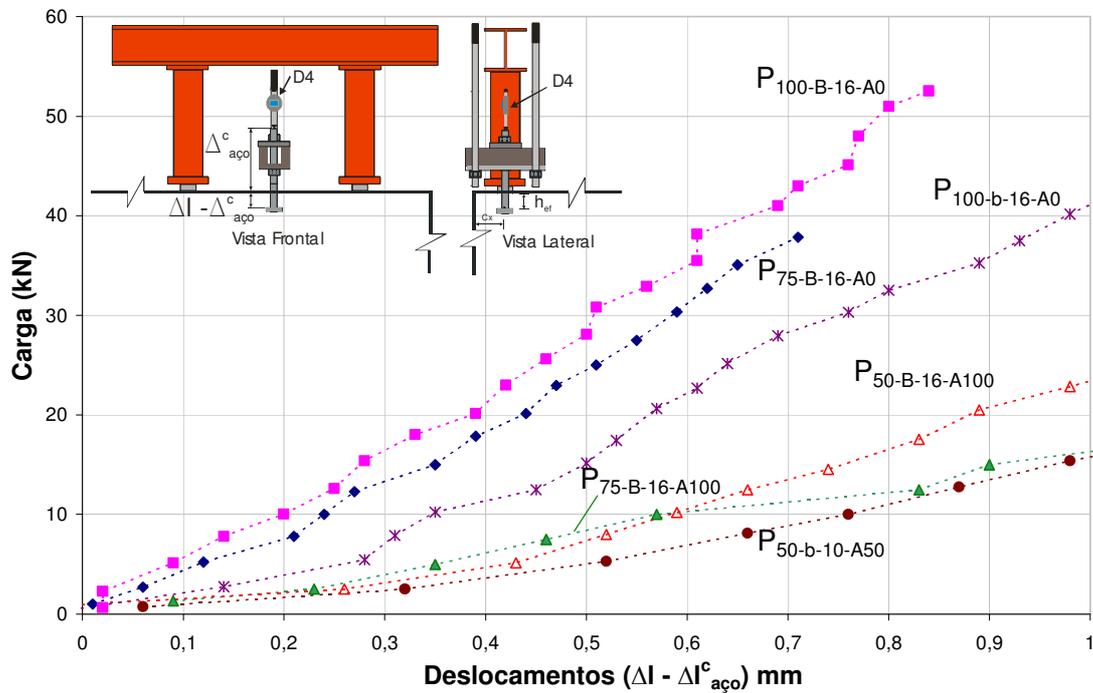


Figura 5.19 – Deslocamentos dos pinos com relação A_n/A_0 igual a 0,80 e 0,70.

Com o aumento da altura efetiva ocorre um menor deslocamento $\Delta l - \Delta l_{aco}^c$ para a mesma carga de ruptura, com exceção dos pinos $P_{75B16A100}$ e $P_{B16A100}$ onde o pino com altura efetiva de 50 mm, apresenta deslocamento maior do que o pino com altura efetiva de 75 mm, a partir de aproximadamente 55% da carga de ruptura, ocorre uma mudança do deslocamento.

Os pinos sem aderência $P_{75-B-16-A0}$ e $P_{100-B-16-A0}$ apresentaram os menores deslocamentos $\Delta l - \Delta l_{aco}^c$ se comparados aos pinos com aderência para a mesma carga de ruptura. Quando há aderência entre o concreto e a haste do pino, o deslocamento $\Delta l - \Delta l_{aco}^c$ é referente à parcela da haste com aderência e da cabeça de ancoragem. Quando não há aderência na haste, esse deslocamento é somente da parcela referente à cabeça de ancoragem.

5.6 PROPOSTA DE ADAPTAÇÃO NO MÉTODO DE CÁLCULO DE MEIRA (2005)

Com base nos resultados obtidos, são propostas algumas adaptações no método desenvolvido por Meira (2005), utilizado para estimar a carga última de um pino de ancoragem cuja haste é feita com barra de aço nervurada.

A proposta de adaptação do método de cálculo de Meira (2005), consiste na adoção de um fator de correção k , aplicado diretamente sobre o valor de $F_{lb,pino}$ que é a força de reação gerada pelo comprimento de aderência dado pela fórmula

$$F_{lb,pino} = (0,9 - F_{dh}/F_y) \cdot (l_{b,pino} \cdot F_y/l_b) \quad (5.1)$$

Onde;

$l_{b,pino}$ é o comprimento em que há aderência entre o concreto e o aço;

F_y é a força obtida experimentalmente para a ruptura da barra, dada pela fórmula:

$$F_y = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot f_y \quad (5.2)$$

l_b é o comprimento de ancoragem, calculado pela seguinte expressão:

$f_b = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot f_{ctk,inf} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot 0,7 \cdot f_{ctm} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot 0,7 \cdot 0,3 \cdot \sqrt[3]{f_c^2}$, os valores de η_1 , η_2 e η_3 correspondem aos tipos de barras utilizadas, situações de boa aderência e diâmetros das barras, respectivamente. Esses valores são encontrados na NBR 6118:2003, item 9.3.2 página 26.

$$l_b = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{f_y}{f_b} \quad (5.3)$$

O fator k é utilizado quando os pinos estiverem localizados em uma situação de relação A_n/A_0 menor que 1,00, pois no método original não considera a perda de aderência entre a haste e o concreto quando os pinos se aproximam da borda, que é uma região de concreto considerada mais fraca e que pode comprometer a aderência.

A fórmula para o cálculo da carga última de ancoragem é semelhante ao método de Meira (2005)

$$F_{dh} = 17 \cdot h_{ef}^{1,5} \cdot f_c^{0,5} \cdot (A_n/A_0) \cdot \psi_{bl} \cdot \psi_{pos} \cdot \psi_{ori} \quad (5.4)$$

Que considera um fator de correção quando o pino estiver localizado próximo a borda, denominado (A_n/A_0) , um fator ψ_{bl} quando essa distância à borda for inferior a 1,5 vezes a altura efetiva e os fatores ψ_{pos} , ψ_{ori} referentes a posição e orientação dos pinos no bloco, valores fornecidos pela NBR 6118:2003 (2003), item 9.3.1, que considera situações de boa e má aderência, quando uma ancoragem sofre os efeitos da sedimentação.

O objetivo é encontrar uma relação para corrigir o fator F_{dh} (Força última de ancoragem do pino) pois considera que ocorre uma perda de aderência a medida que se aumenta a carga de tração no pino. Essa teoria pode ser aplicada para pinos isolados, pois possuem altas cargas de ruptura F_{dh} e conseqüente menor ganho de resistência devido a aderência. Entretanto ao diminuir a relação A_n/A_0 , ocorre uma redução na carga de ruptura F_{dh} devido a proximidade de borda, fazendo com que por meio da fórmula da equação (5.1), $F_{lb,pino} = (0,9 - F_{dh}/F_y) \cdot (I_{b,pino} \cdot F_y/I_b)$ proposta por Meira, (2005), o pino apresente um ganho de resistência alto, o que é contestado pelo fato de estar situado em uma região de concreto possivelmente mais fraca, o que ocasionaria um menor ganho de resistência devido à aderência entre o concreto e o aço.

O valor k é obtido por meio de valores médios, utilizando a expressão. $(F_{u,rupt} - F_{dh})/F_{lb,pino}$, considerando apenas os pinos com relação $A_n/A_0 = 0,80$ e $0,70$ e comprimento de aderência de 50% e 100%.

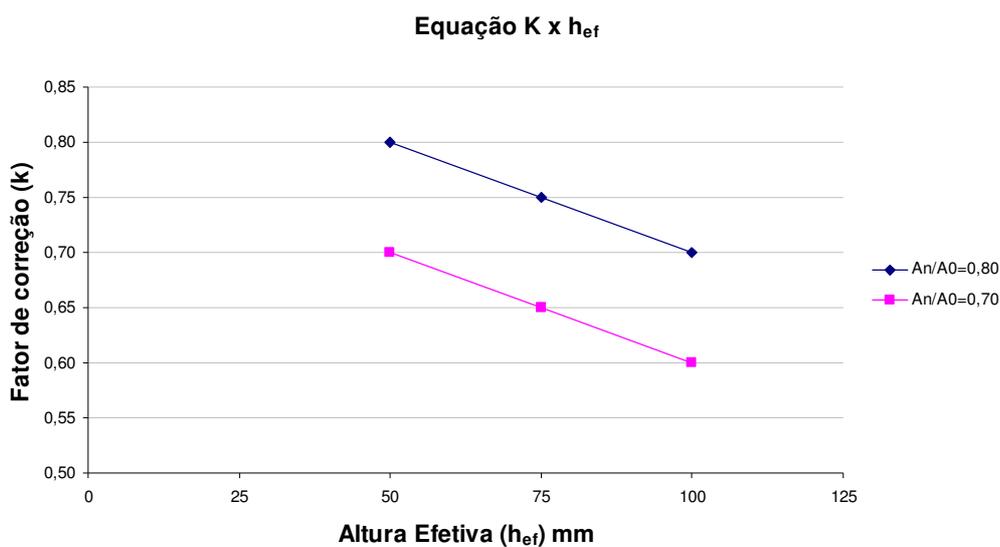


Figura 5.20 – Gráfico do fator de correção k x altura efetiva (h_{ef}) mm

A tabela 5.16 apresenta um resumo dos valores utilizados para o cálculo da resistência da ancoragem para os métodos de Meira (2005) e o método proposto. Os valores de k são obtidos a partir da equação da reta para as relações de $A_n/A_0=0,70$ e $A_n/A_0=0,80$, como pode ser observado no gráfico

Tabela 5.16 – Fatores utilizados

Fatores	Meira (2005)	Proposto
F	$F_{dh} \cdot (A_n/A_0) \cdot \Psi_{bl} \cdot \Psi_{pos} \cdot \Psi_{ori} + F_{lb,pino}$	$F_{dh} \cdot (A_n/A_0) \cdot \Psi_{bl} \cdot \Psi_{pos} \cdot \Psi_{ori} + F_{lb,pino} \cdot k$
F_{dh}	$17 \cdot h_{ef}^{1,5} \cdot f_c^{0,5}$	
$F_{lb,pino}$	$l_{b,pino} \cdot (0,9 - F_{dh} \cdot (A_n/A_0)/F_y) \cdot (F_y/l_b)$	
k		$A_n/A_0=0,80 \quad k = - 0,002 \cdot h_{ef} + 0,9$ $A_n/A_0=0,70 \quad k = - 0,002 \cdot h_{ef} + 0,8$
A_n/A_0	$A_n = (3 \cdot h_{ef} + d_h) \cdot (c_1 + 1,5 \cdot h_{ef} + d_h/2)$ se $c_1 < 1,5 \cdot h_{ef} + d_h/2$ $A_0 = (3 \cdot h_{ef} + d_h)^2$	
Ψ_{bl}	$0,6 + 0,4 \cdot c_1 / (1,5 \cdot h_{ef})$ para $c_1 < 1,5 \cdot h_{ef}$ $1,0$ se $c_1 \geq 1,5 \cdot h_{ef}$	
$\Psi_{pos,sup}$	0,75	

Com base nos fatores apresentados na Tabela 5.16, as cargas de ruptura de todos os pinos foram recalculados, utilizando os fatores de correção k ; os resultados são apresentados nas Tabelas 5.17 e 5.18.

Observa-se que ocorre um aumento nos valores médios da relação $F_{u,exp}/F_{u,mét.cálc}$ para os pinos com relação $A_n/A_0 = 0,80$ e $0,70$ com comprimento de aderência de 50% e 100% de l_b . Para a situação de altura efetiva de 75 mm e 50% de aderência as médias obtidas ficaram abaixo de 1,0, sendo 0,98 e 0,91 respectivamente para as situações de proximidade de borda $A_n/A_0 = 0,80$ e $0,70$ respectivamente, sendo necessário a realização de mais ensaios para quantificar a influência do comprimento aderente em partes do comprimento total da haste.

Tabela 5.17 – Relação entre a carga experimental e estimada

A_w/A_0	h_{ef} mm	l_b	Φ mm	Pinos	$F_{u,exp}$ (kN) (1)	Métodos de Cálculo				$F_{u,exp}/F_{u,mét.cálc}$				
						ACI-349 (2)	De Vries (3)	Meira (4)	Soares (5)	ACI-349 (1)/(2)	De Vries (1)/(3)	Meira (1)/(4)	Proposto (1)/(5)	
0,80	50	0%	10	P _{50-B-10-A0}	30,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			12,5	P _{50-B-12-A0}	33,1	32,9	26,1	24,9	-	1,01	1,27	1,33	-	
			16	P _{50-B-16-A0}	35,2	33,0	26,2	25,9	-	1,07	1,34	1,36	-	
			20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		50%	10	P _{50-B-10-A50}	29,1	32,8	26,0	26,6	26,3	0,89	1,12	1,09	1,11	
			12,5	P _{50-B-12-A50}	27,5	33,0	26,2	29,8	28,8	0,83	1,05	0,92	0,95	
			16	P _{50-B-16-A50}	28,5	33,0	26,2	29,8	28,8	0,86	1,09	0,96	0,99	
			20	P _{50-B-20-A50}	27,9	33,0	26,2	31,4	30,1	0,85	1,06	0,89	0,93	
		100%	10	P _{50-B-10-A100}	29,8	33,8	27,2	29,6	28,9	0,88	1,09	1,01	1,03	
			12,5	P _{50-B-12-A100}	37,6	37,6	29,9	35,5	28,8	1,00	1,26	1,06	1,31	
			16	P _{50-B-16-A100}	37,4	34,4	26,7	35,4	33,5	1,09	1,40	1,06	1,12	
			20	P _{50-B-20-A100}	33,1	31,7	25,6	36,2	33,9	1,04	1,29	0,91	0,98	
	75	0%	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			12,5	P _{75-B-12-A0}	45,8	50,5	32,7	35,9	-	0,91	1,40	1,28	-	
			16	P _{75-B-16-A0}	48,3	54,5	34,8	38,8	-	0,89	1,39	1,24	-	
			20	P _{75-B-20-A0}	44,0	54,4	35,8	39,9	-	0,81	1,23	1,10	-	
		50%	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			12,5	P _{75-B-12-A50}	38,2	50,5	32,7	39,6	38,7	0,76	1,17	0,97	0,99	
			16	P _{75-B-16-A50}	40,5	52,0	33,6	43,2	41,6	0,78	1,20	0,94	0,97	
			20	P _{75-B-20-A50}	35,0	52,5	34,0	46,2	43,9	0,67	1,03	0,76	0,80	
		100%	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			12,5	P _{75-B-12-A100}	43,1	50,6	33,2	43,8	41,8	0,85	1,30	0,98	1,03	
			16	P _{75-B-16-A100}	32,1	52,0	33,6	49,5	44,8	0,62	0,96	0,65	0,72	
			20	P _{75-B-20-A100}	44,3	48,9	32,7	51,5	44,1	0,91	1,35	0,86	1,00	
100	0%	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		12,5	P _{100-B-12-A0}	55,1	74,9	43,6	51,6	-	0,74	1,26	1,07	-		
		16	P _{100-B-16-A0}	52,6	76,5	43,5	51,3	-	0,69	1,21	1,03	-		
		20	P _{100-B-20-A0}	51,0	75,3	42,6	50,3	-	0,68	1,20	1,01	-		
	50%	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		12,5	P _{100-B-12-A50}	55,1	69,9	40,4	50,8	49,7	0,79	1,36	1,08	1,11		
		16	P _{100-B-16-A50}	54,5	73,2	41,4	55,8	53,7	0,74	1,32	0,98	1,01		
		20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	100%	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		12,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		16	P _{100-B-16-A100}	57,1	70,2	40,7	54,8	52,7	0,81	1,40	1,04	1,08		
		20	P _{100-B-20-A100}	62,1	72,1	41,3	69,9	60,9	0,86	1,50	0,89	1,02		
hef	Valor	ACI-349			De Vries			Meira		Proposto				
		0%	50%	100%	0%	50%	100%	0%	50%	100%	0%	50%	100%	
50	Coef. Var. (%)	Máximo	1,07	0,89	1,09	1,34	1,12	1,40	1,36	1,09	1,06	1,11	1,31	
		Mínimo	1,01	0,83	0,88	1,27	1,05	1,09	1,33	0,89	0,91	0,93	0,98	
		Média	1,04	0,86	1,00	1,31	1,08	1,26	1,34	0,97	1,01	0,99	1,11	
			0,00	3,13	8,90	0,00	2,80	10,08	0,00	9,33	6,71	7,94	13,05	
75	Coef. Var. (%)	Máximo	0,91	0,78	0,91	1,40	1,20	1,35	1,28	0,97	0,98	0,99	1,03	
		Mínimo	0,81	0,67	0,62	1,23	1,03	0,96	1,10	0,76	0,65	0,80	0,72	
		Média	0,87	0,73	0,79	1,34	1,13	1,20	1,21	0,89	0,83	0,98	1,02	
			5,93	8,03	19,38	7,16	8,14	17,97	7,66	12,70	20,42	10,78	17,14	
100	Coef. Var. (%)	Máximo	0,74	0,74	0,86	1,26	1,36	1,50	1,07	1,08	1,04	1,11	1,08	
		Mínimo	0,68	0,74	0,81	1,20	1,32	1,40	1,01	0,98	0,89	1,01	1,02	
		Média	0,70	0,74	0,84	1,22	1,34	1,45	1,04	1,03	0,97	1,06	1,05	
			4,45	0,00	4,05	2,90	0,00	4,90	2,74	0,00	11,25	1,00	4,29	

Tabela 5.18 – Relação entre a carga experimental e estimada.

A_w/A_0	h_{ef} mm	l_b	Φ mm	Pinos	$F_{u,exp}$ (kN) (1)	Métodos de Cálculo				$F_{u,exp}/F_{u,mét.cálc}$			
						ACI-349 (2)	De Vries (3)	Meira (4)	Soares (5)	ACI-349 (1)/(2)	De Vries (1)/(3)	Meira (1)/(4)	Proposto (1)/(5)
0,70	50	0%	10	P _{50-b-10-A0}	21,8	28,0	21,4	19,7	-	0,78	1,02	1,10	-
			12,5	P _{50-b-12-A0}	25,0	28,1	21,5	19,9	-	0,89	1,17	1,26	-
			16	P _{50-b-16-A0}	27,5	34,0	25,9	25,1	-	0,81	1,06	1,10	-
			20	P _{50-b-20-A0}	26,1	31,2	23,7	22,5	-	0,84	1,10	1,16	-
		50%	10	P _{50-b-10-A50}	19,8	27,4	21,1	21,7	20,9	0,72	0,94	0,91	0,95
			12,5	P _{50-b-12-A50}	15,0	28,1	21,5	23,3	22,4	0,53	0,70	0,64	0,67
			16	P _{50-b-16-A50}	25,0	28,1	21,5	25,0	23,4	0,89	1,17	1,00	1,07
			20	P _{50-b-20-A50}	25,0	29,7	22,8	23,4	22,8	0,84	1,10	1,07	1,10
		100%	10	P _{50-b-10-A100}	31,1	28,1	21,5	24,4	23,0	1,11	1,45	1,27	1,35
			12,5	P _{50-b-12-A100}	26,6	28,1	21,5	27,0	24,8	0,95	1,24	0,98	1,07
			16	P _{50-b-16-A100}	27,2	28,5	21,8	30,3	27,3	0,95	1,25	0,90	1,00
			20	P _{50-b-20-A100}	25,0	29,1	22,0	28,7	26,2	0,86	1,14	0,87	0,95
	75	0%	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			12,5	P _{75-b-12-A0}	30,2	45,6	29,1	31,2	-	0,66	1,04	0,97	-
			16	P _{75-b-16-A0}	35,4	46,3	29,6	31,7	-	0,76	1,20	1,12	-
			20	P _{75-b-20-A0}	39,0	45,6	29,1	31,2	-	0,86	1,34	1,25	-
		50%	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			12,5	P _{75-b-12-A50}	30,0	44,7	29,0	35,2	33,6	0,67	1,03	0,85	0,89
			16	P _{75-b-16-A50}	32,8	45,6	29,1	38,0	35,6	0,72	1,13	0,86	0,92
			20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		100%	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			12,5	P _{75-b-12-A100}	35,0	42,0	27,4	37,8	34,2	0,83	1,28	0,93	1,02
			16	P _{75-b-16-A100}	41,4	45,6	29,1	44,8	40,0	0,91	1,42	0,92	1,04
			20	P _{75-b-20-A100}	30,0	-	-	-	-	-	-	-	-
100	0%	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		12,5	P _{100-b-12-A0}	43,8	64,8	36,6	42,3	-	0,68	1,20	1,03	-	
		16	P _{100-b-16-A0}	49,8	72,2	39,9	46,9	-	0,69	1,25	1,06	-	
		20	P _{100-b-20-A0}	44,0	67,2	37,9	44,0	-	0,65	1,16	1,00	-	
	50%	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		12,5	P _{100-b-12-A50}	45,0	65,6	37,3	47,3	45,6	0,69	1,21	0,95	0,99	
		16	P _{100-b-16-A50}	53,8	70,3	30,1	53,2	50,2	0,77	1,79	1,01	1,07	
		20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	100%	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		12,5	P _{100-b-12-A100}	49,6	64,9	36,8	50,9	47,5	0,76	1,35	0,97	0,97	
		16	P _{100-b-16-A100}	45,0	58,5	34,1	54,9	48,4	0,77	1,32	0,82	0,82	
		20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
h_{ef}	Valor												
	50	0%	0,89	0,89	1,11	1,17	1,17	1,45	1,26	1,07	1,27	1,10	1,35
		Mínimo	0,78	0,53	0,86	1,02	0,70	1,14	1,10	0,64	0,87	0,67	0,95
		Média	0,83	0,72	0,97	1,09	0,98	1,27	1,15	0,91	1,01	0,95	1,09
Coef. Var. (%)	5,83	24,90	10,65	5,82	21,21	10,24	6,41	20,61	18,37	20,62	16,39		
75	0%	0,86	0,72	0,91	1,34	1,13	1,42	1,25	0,86	0,93	0,92	1,04	
	Mínimo	0,66	0,67	0,83	1,04	1,03	1,28	0,97	0,85	0,92	0,89	1,02	
	Média	0,76	0,69	0,87	1,19	1,08	1,35	1,11	0,86	0,93	0,91	1,03	
Coef. Var. (%)	12,69	4,79	6,06	12,70	5,95	7,61	12,69	0,79	0,14	2,11	0,80		
100	0%	0,69	0,77	0,77	1,25	1,79	1,35	1,06	1,01	0,97	1,07	0,97	
	Mínimo	0,65	0,77	0,76	1,16	1,21	1,32	1,00	0,95	0,82	0,99	0,82	
	Média	0,67	0,77	0,77	1,20	1,50	1,33	1,03	0,98	0,90	1,03	0,90	
Coef. Var. (%)	0,00	0,00	0,46	0,00	0,00	1,49	0,00	0,00	12,20	1,00	12,20		

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

6.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Neste trabalho analisou-se o comportamento de pinos de ancoragem com cabeça embutidos no concreto. A partir da análise completa de todas variáveis envolvidas na pesquisa, as principais conclusões obtidas são as seguintes:

6.1.1 Influência da altura efetiva

Quando um pino tem sua altura efetiva aumentada de 50 mm para 75 mm, ocorre um aumento na carga última de ancoragem da ordem de 2,11 vezes, para os pinos com relação $A_n/A_0 = 1,00$ e 100% de l_b . Para as situações onde a altura efetiva é aumentada de 75 mm para 100 mm, ocorre um acréscimo um pouco menor de até 1,65.

Quando um pino se aproxima da borda, diminuindo a relação para $A_n/A_0 = 0,80$, o acréscimo de carga devido a variação da altura efetiva é de 1,78 vezes, para situações de 100% de aderência. A medida que se reduz a relação para $A_n/A_0 = 0,70$ o ganho de carga é de no máximo 1,66 vezes.

6.1.2 Influência da proximidade de borda

O valor da relação entre a área total projetada do cone de ruptura e a área parcial interrompida por uma borda, é um fator determinante para redução na resistência de um pino de ancoragem curto com cabeça que pode chegar até 51% para pinos com altura efetiva de 75 mm, variando a relação $A_n/A_0 = 0,80$ para $A_n/A_0 = 0,70$ e 0% de aderência. Ao aumentar a relação $A_n/A_0 = 0,80$ para $A_n/A_0 = 1,00$ o ganho de carga não é superior a 1,45 vezes.

A medida que o comprimento aderente passa de 50% e 100% de l_b , observa-se que ocorre ganhos de carga para a variação da proximidade de borda de no máximo 1,86 para situações de altura efetiva de 100 mm.

6.1.3 Influência do comprimento de aderência

Para a proximidade de borda $A_n/A_0 = 1,00$ a relação entre as cargas dos pinos com 50% de aderência com as cargas dos pinos com 0% de aderência, resultaram em relações $F_{u,50\%}/F_{u,0\%}$ com valores médios de 0,92, uma redução na carga. Entretanto as relações $F_{u,100\%}/F_{u,50\%}$ obtiveram valores médios de 1,20 vezes na carga de ruptura.

Observa-se que para as proximidades de borda $A_n/A_0 = 0,80$ e $A_n/A_0 = 0,70$, os valores se mantiveram os mesmos para os relações de $F_{u,50\%}/F_{u,0\%}$ chegando a 0,90 para relação $A_n/A_0 = 0,80$.

6.1.4 Influência do diâmetro da haste do pino

A variação do diâmetro da haste do pino pouco resultou em ganhos efetivos de carga, com valores médios de 1,05, 0,97 e 0,97 vezes para as relações de $F_{u,12,5}/F_{u,10}$, $F_{u,16}/F_{u,12,5}$ e $F_{u,20}/F_{u,16}$ respectivamente para a relação $A_n/A_0 = 1,00$. Para as demais relações de proximidade de borda, os valores médios das relações dos diâmetros se mantiveram constantes.

Observa-se que ocorre uma redução na relação $F_{u,20}/F_{u,16}$ a medida que se aproximam da borda, chegando a 0,92 para $A_n/A_0 = 0,70$.

6.1.5 Avaliação dos métodos de cálculo

Os três métodos de cálculo utilizados para comparar as cargas experimentais foram os ACI 349/76, De Vries (1999) e Meira (2005). Para a situação com relação $A_n/A_0 = 1,00$, o ACI 349/76 apresentou o maior valor médio para a relação $F_{u,exp}/F_{u,mét.cálc.}$ de até 1,64 para todas as variações da altura efetiva apresentadas.

Quando se aproximam da borda, os métodos de De Vries (1999) e Meira (2005), apresenta as melhores relações $F_{u,exp}/F_{u,mét.cálc.}$ pois dentre os métodos apresentados são os melhores que estimam os efeitos da proximidade de borda.

O método de Meira (2005), apresentou as melhores relações $F_{u,exp}/F_{u,mét.cálc.}$ pois dentre os métodos analisados é o único que leva em consideração o ganho de carga devido a aderência em barras nervuradas.

6.1.6 Superfície de ruptura

O gráfico do perfil da superfície está orientado nas direções entre o eixo do pino e a borda (A, H, M, I, L e J) e do pino para o centro do bloco (B, G, C, F, D e E). Os

pinos com altura efetiva de 50 mm e 75 mm, apresentaram inclinações dos cones de ruptura maiores quando comparados com os pinos de altura efetiva de 100 mm para as situações que sofreram influência da borda. Entretanto para os pinos que se encontravam isolados com relação $A_n/A_0 = 1,00$ os cones de ruptura se mantiveram praticamente com a mesma inclinação.

6.1.7 Deslocamento vertical dos pinos

O deslocamento vertical do pino Δl , é obtido pelo somatório das parcelas decorrentes do alongamento sofrido pela parte externa da haste do pino em relação ao bloco $\Delta l_{aço}^c$ e o alongamento da haste do pino imersa no concreto: haste e cabeça de ancoragem $\Delta l - \Delta l_{aço}^c$. Esta parcela $\Delta l_{aço}^c$ é calculada somente na fase elástica do material e é expressa pela fórmula $Fl / E_s A$, sendo o $E_s = 210$ GPa.

Os pinos com comprimento aderente 100% de l_b , apresentaram os menores deslocamentos das parcelas $\Delta l - \Delta l_{aço}^c$, referentes a parcela imersa no bloco. Os pinos com alturas efetivas maiores apresentaram menores deslocamentos para uma mesma porcentagem da carga de ruptura.

6.1.8 Proposta de adaptação no método de cálculo de Meira (2005)

Com base nos resultados obtidos, foram propostas algumas modificações no método de Meira (2005), que consiste na adoção de fatores de correção k , utilizados para quantificar a perda de carga devido a aderência, à medida que um pino se encontra próximo a borda. Após a aplicação desses coeficientes, os novos resultados se demonstraram satisfatórios para os pinos com as características apresentadas neste trabalho.

6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

1) Modificações nos fatores que podem afetar a resistência de ancoragem, tais como: ancoragem em grupo, armadura adicional, presença de armadura de cisalhamento, excentricidade de carga.

a) Armadura de cisalhamento;

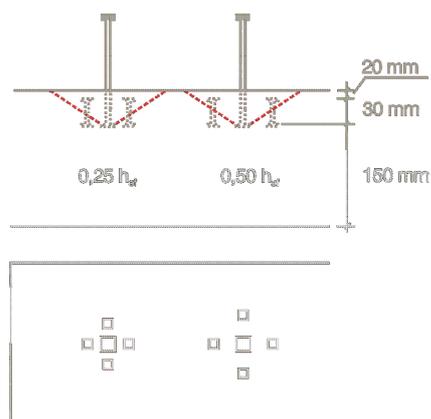


Figura S-1 Armadura de cisalhamento “studs”.

b) Armadura de flexão;

Estudo da influência e posicionamento da armadura de flexão
Malha 5.0 mm tangencial ao cone de ruptura

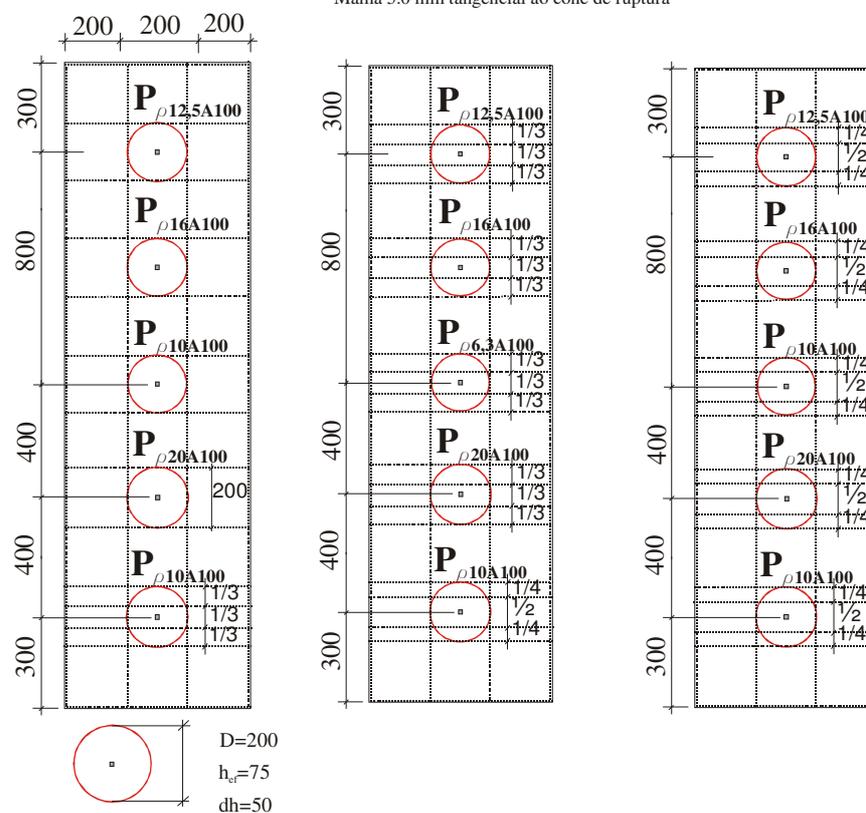


Figura S-2 Armadura de suspensão ou de flexão

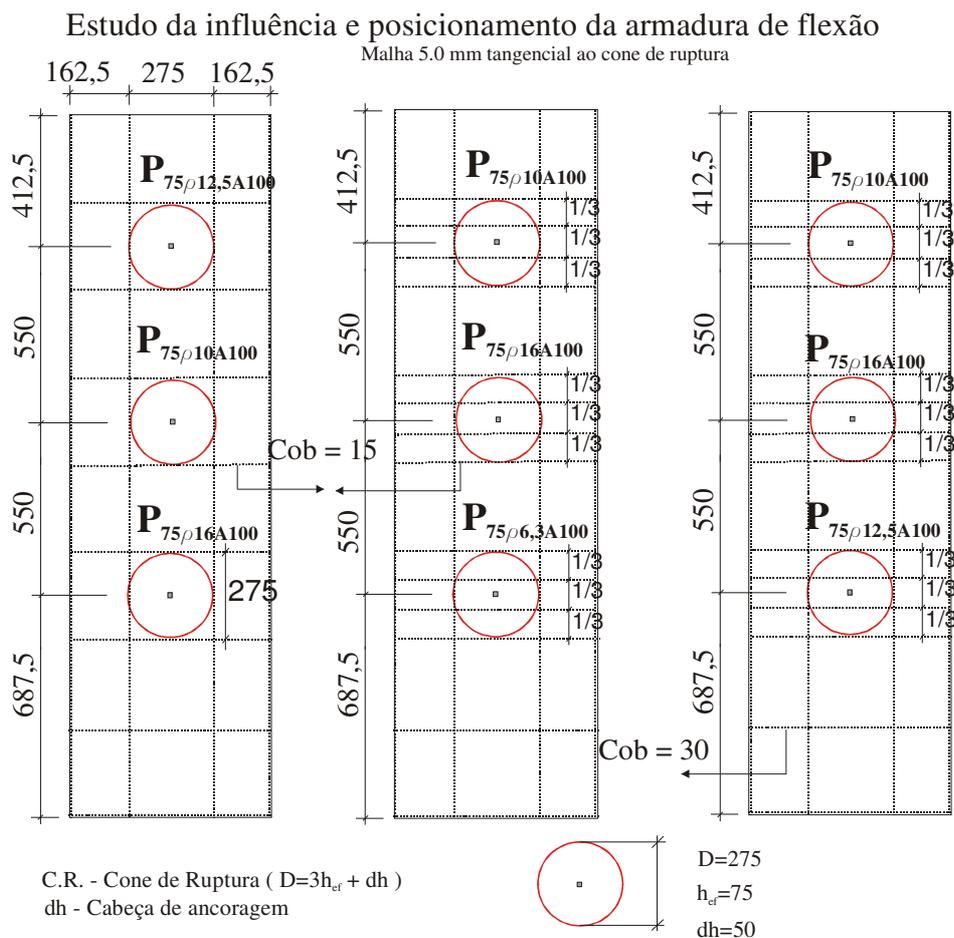


Figura S-3 Armadura de suspensão ou de flexão

2) Modificação das variáveis apresentadas e inserção de um número maior de espécimes com $h_{ef} = 75$ mm e $l_b = 50\%$, para análises mais detalhadas das características.

3) Utilização de concreto de alta resistência ou concreto auto-adensável (CAA) e aperfeiçoamento do esquema de ensaio, para aplicação de cargas maiores em pinos com grande altura efetiva.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACI COMMITTEE 318, *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary – ACI 318-02: Appendix D – Anchoring to Concrete*, Michigan, 2005 433p.
- ACI COMMITTEE 349, *Code Requeriments for Nuclear Safety Related Concrete Structures (ACI 349-76): Appendix B – Steel Embedments*, ACI Journal, v. 75, n. 35, p.329–347, August, 1978.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5739/94 – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos de concreto*. Rio de Janeiro, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6118 – Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado – Procedimento*. Rio de Janeiro, 1978.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6118/2003 – Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento*. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6152/92 – Materiais metálicos – Determinação das propriedades mecânicas à tração*. Rio de Janeiro, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7222/94 – Argamassa e Concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos – Método de ensaio*. Rio de Janeiro, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 8522/84 – Concreto – Determinação do módulo de deformação estática e diagrama tensão-deformação – Método e ensaio*. Rio de Janeiro, 1984.
- BALLARINI, R.; SHAH, S. and KEER, L, *Failure Characteristics of Short Anchor Bolts Embedded in a Brittle Material*, Proceedigs of the Royal Society of London, A 404, p.35-54, 1986.
- BAZANT, Z. P., *Size Effect in Blunt Fracture: Concrete, Rock, Metal*, Journal of Engineering Mechanics, v. 110, April, 1984.
- BODE, H.; HANENKAMP, W., *Zur Tragfähigkeit von Kopfbolzen bei Zugbeanspruchung (Strength of Headed Bolts Subjected to Tensile Loads)*, Bauingenieur, v. 60, p.361–367, Sep., 1985.
- BODE, H.; ROIK K., *Head Studs – Embedded in Concrete and Loaded in Tension*, Anchorage to Concrete, SP-103, American Concrete Institute, Detroit, Michigan, p.61-88, 1987.
- CEB Comitê Euro-Internacional du Béton, *Design of Fastenings in Concrete – State of the Art Report*, Thomas Telford Services Ltda.1994.

- CEB Bulletin D'Information n° 233, *Design of Fastenings in Concrete – Design Guide – Parts 1 to 3*, Thomas Telford Services Ltda., January, 1997.
- CEB 75-32, *Anchorage to Concrete*, Civil Engineering Branch, Tennessee Valley Authority, Knoxville, Dec. 1976. 25p.
- CHEOK, G. S.; PHAN, L. T., *Post-installed Anchors – A Literature Review*, Research Report NISTIR 6096, Building and Fire Research Laboratory, National Institute of Standards and Technology, January, 1998. 109p.
- CZIESIELSKI, E.; FRIEDMANN, M., *Load Capacity of Unhead Bolts in Concrete and Influence of Welding*, Anchorage to Concrete, SP-103, American Concrete Institute, Detroit, Michigan, p. 153-180, 1987.
- DE VRIES, R. A.; JIRSA, J. O.; BASHANDY, T., *Anchorage Capacity in Concrete of Headed Reinforcement with Shallow Embedments*, ACI Structural Journal, v. 96, n. 5, p.728–736, Sep.-Oct., 1999.
- ELIGEHAUSEN, R.; BALOGH, T., *Behavior of Fasteners Loaded in Tension in Cracked Reinforced Concrete*, ACI Structural Journal, v. 92, n. 3, p.365–379, May.-Jun., 1995.
- FARROW, C.B., KLINGNER, R.E., *Tensile Capacity of Anchors with Partial or Overlapping Failure Surfaces: Evaluation of Existing Formulas on an LRFD Basis*, ACI Structural Journal, v. 92, n. 6, p.698–710, Nov.-Dec., 1995.
- FUCHS, W.; ELIGEHAUSEN, R.; BREEN, J.E., *Concrete Capacity Design (CCD) Approach for Fastening to Concrete*, ACI Structural Journal, v. 92, n. 1, p.73–94, Jan.-Feb., 1995.
- HASSELWANDER; G.B.; JIRSA, J. O.; BREEN, J.E., *Strength and Behavior of Single Cast-in-place Anchor Bolts Subject to Tension*, Anchorage to Concrete, ACI SP-103, American Concrete Institute, Detroit, Michigan, p.203-231, 1987.
- HAWKINS, N, *Strength in Shear and Tension of Cast-in-place Anchor Bolts*, Anchorage to Concrete, ACI SP-103, American Concrete Institute, Detroit, Michigan, p.233-255, 1987.
- JERMANN, R.P. *Chumbadores para Concreto*. 1993. 169f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 1993.
- KLINGNER, R. E.; MENDONCA J. A., *Tensile Capacity of Short Anchor Bolts and Welded Studs: A Literature Review*, ACI Structural Journal, v. 79, n. 27, p.270–279, Jul.-Aug., 1982.
- KRENCHHEL, H.; SHAH, S.P., *Fracture Analysis of the Pullout Test*, Materials and Structures, v. 18, n. 108, p.439–446, 1985.

- LUKE, J. J.; HAMAD, B. S.; JIRSA, J.O.; BREEN, J.E., *The Influence of Casting Position on Development and Splice Length of Reinforcing Bars*, Research Report 242-1, Center for Highway Research, The University of Texas at Austin, June, 1981. 174pp.
- MARTINS JUNIOR, Joaquim Nunes. *Resistência à Tração de um sistema de ancoragem, embutido em concreto sujeito a carga de impacto*. 2006. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil.
- MEIRA, Magnus Thiago da Rocha. *Resistência à tração de pinos de ancoragem – Influência de borda, comprimento de aderência, posição e orientação do pino*. 2005. 168 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2005.
- OLIVEIRA, W.E. *Estudo Experimental da Resistência à Tração de Placas de Ancoragem Embutidas em Concretos*. 2003. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil – PUC, Rio de Janeiro, 2003.
- OZBOLT, J.; ELIGEHAUSEN, R. and REINHARDT, H. W., *Size Effect on the Concrete Cone Pull-out Load*, International Journal of Fracture, v. 95, p.391–404, 1999.
- PCI, *Design Handbook – Precast and Prestressed Concrete*, 2nd Edition, Pretressed Concrete Institute, Chicago, 1978, 380p.
- RHEM, G., ELIGEHAUSEN, R., MALLÉE, R., *Befestigungstechnik*, Beton-Kalender, Ernst & Sohn, Berlin, 1998.
- THOMPSON, M. K.; JIRSA, J. O.; BREEN, J.E; KLINGNER, R.E., *Anchorage Behavior of Headed Reinforcement*, Research Report N°1855-1, Center for Highway Research, The University of Texas at Austin, Texas, May, 2002. 116p.
- TRW, Nelson-Division, *Embedment Properties of Headed Studs*, TRW – Inc, USA, 1974.
- TVA Civil Design Standard, General Anchorage to Concrete, n DS – C1.7.1, Tennessee Valley Authority, Knoxville, Tennessee 1984.

CARACTERÍSTICAS DOS PINOS - PRÉ-TESTE

Tabela A.1 – Pinos do pré-teste

h _{ef}	φ	A _w /A ₀ 1,00			A _w /A ₀ 0,80 Cx=52 mm			A _w /A ₀ 0,70 Cx=35 mm				
		0% l _b	50% l _b	100% l _b	0% l _b	50% l _b	100% l _b	0% l _b	25% l _b	50% l _b	75% l _b	100% l _b
50	6,3	P _{50-I-6,3-A0}	-	P _{50-I-6,3-A100}	-	P _{50-B-6,3-A50}	P _{50-B-6,3-A100}	P _{50-b-6,3-A0}	-	-	-	-
	12,5	P _{50-I-12-A0}	P _{50-I-12-A50}	-	P _{50-B-12-A0}	P _{50-B-12-A50}	P _{50-B-12-A100}	P _{50-b-12-A0}	-	P _{50-b-12-A50}	-	P _{50-b-12-A100}
	16	P _{50-I-16-A0}	-	P _{50-I-16-A100}	-	P _{50-B-16-A50}	P _{50-B-16-A100}	P _{50-b-16-A0}	-	-	-	-
	20	P _{50-I-20-A0}	P _{50-I-20-A50}	P _{50-I-20-A100}	-	-	P _{50-B-20-A100}	-	-	P _{50-b-20-A50}	-	-
75	6,3	P _{75-I-6,3-A0}	P _{75-I-6,3-A50}	P _{75-I-6,3-A100}	P _{75-B-6,3-A0}	P _{75-B-6,3-A50}	P _{75-B-6,3-A100}	P _{75-b-6,3-A0}	-	-	-	P _{75-b-6,3-A100}
	12,5	P _{75-I-12-A0}	-	-	P _{75-B-12-A0}	P _{75-B-12-A50}	P _{75-B-12-A100}	P _{75-b-12-A0}	-	-	-	P _{75-b-12-A100}
	16	P _{75-I-16-A0}	-	-	-	P _{75-B-16-A50}	-	P _{75-b-16-A0}	-	P _{75-b-16-A50}	-	P _{75-b-16-A100}
	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100	6,3	P _{100-I-6,3-A0}	P _{100-I-6,3-A50}	P _{100-I-6,3-A100}	P _{100-B-6,3-A0}	P _{100-B-6,3-A50}	P _{100-B-6,3-A100}	P _{100-b-6,3-A0}	-	-	-	P _{100-b-6,3-A100}
	12,5	-	-	P _{100-I-12-A100}	P _{100-B-12-A0}	P _{100-B-12-A50}	-	P _{100-b-12-A0}	-	P _{100-b-12-A50}	-	P _{100-b-12-A100}
	16	-	-	P _{100-I-16-A100}	P _{100-B-16-A0}	P _{100-B-16-A50}	-	-	-	-	-	-
	20	-	-	-	P _{100-B-20-A0}	-	-	-	-	-	-	-
125	6,3	P _{125-I-6,3-A0}	-	-	P _{125-B-6,3-A0}	-	-	P _{125-b-6,3-A0}	P _{125-b-6,3-A25}	P _{125-b-6,3-A50}	P _{125-b-6,3-A75}	-
	12,5	-	-	-	-	-	-	P _{125-b-12-A0}	P _{125-b-12-A25}	P _{125-b-12-A50}	P _{125-b-12-A75}	P _{125-b-12-A100}
	16	-	-	-	-	-	-	P _{125-b-16-A0}	-	-	-	-
	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
150	6,3	-	-	-	-	-	-	P _{150-b-6,3-A0}	-	-	-	-
	12,5	-	-	-	-	-	-	P _{150-b-12-A0}	-	-	-	-
	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

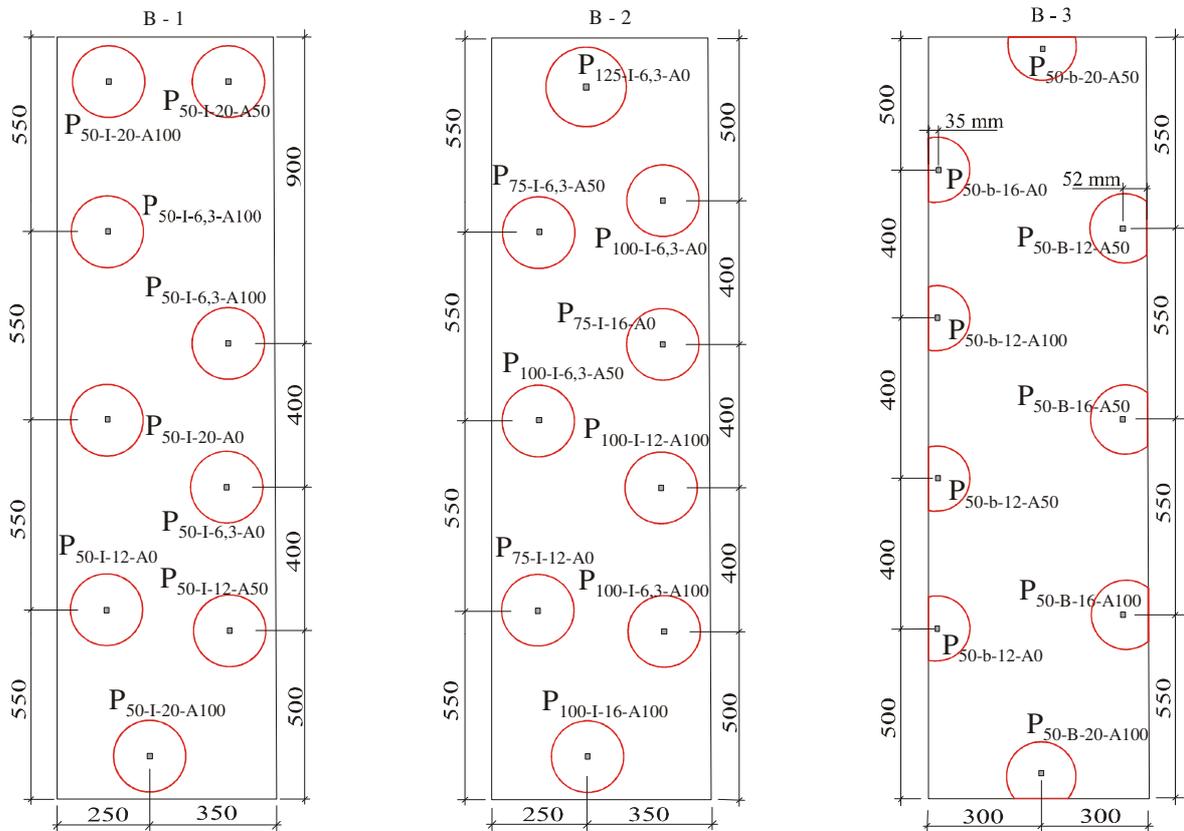


Figura A.1 – Distribuição dos pinos ensaiados no pré-teste

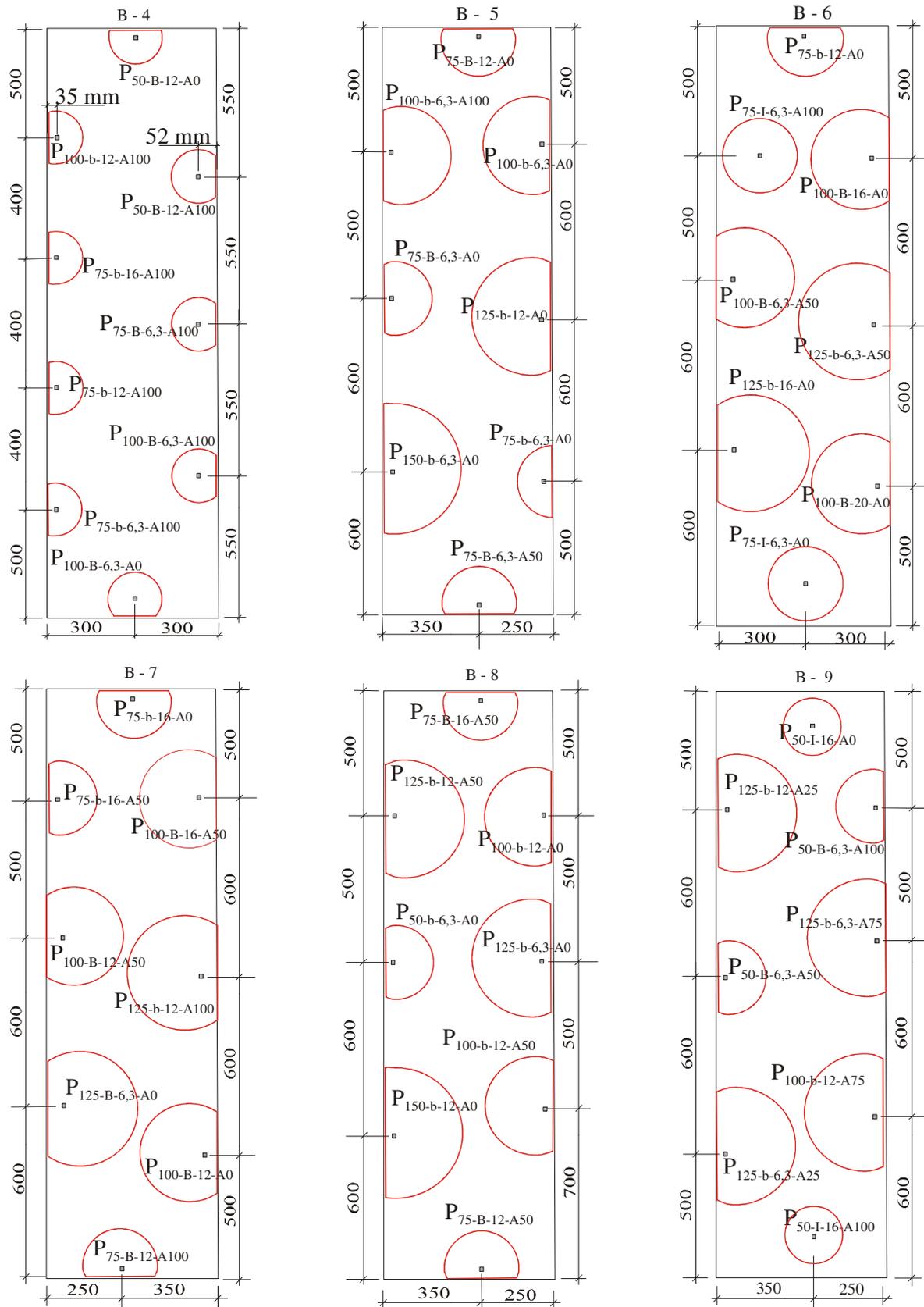


Figura A.2 – Distribuição dos pinos ensaiados no pré-teste.

RESULTADOS DOS ENSAIOS DOS PINOS - PRÉ-TESTE

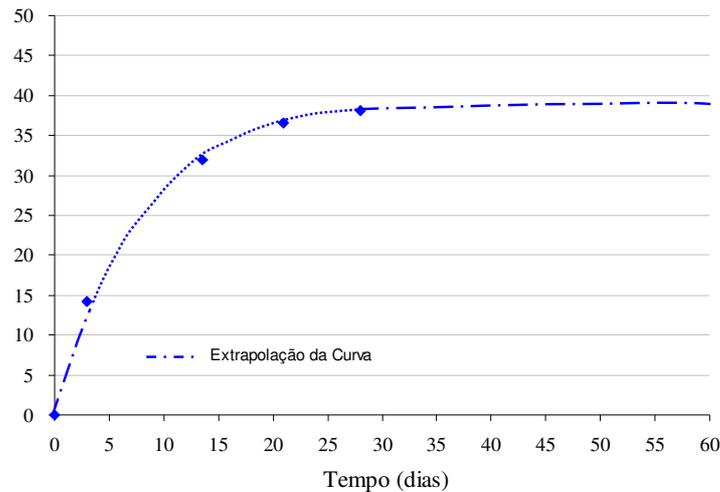


Figura B.1 – Curva da resistência à compressão do concreto na 1ª concretagem.

Tabela B.1 – Características dos pinos com relação $A_n/A_0 = 1,00$ – Pré-teste

h_{ef}	Φ	$A_n/A_0 = 1,00$					
		0% l_b	Fu (kN)/M.R	50% l_b	Fu (kN)/M.R	100% l_b	Fu (kN)/M.R
(mm)	(mm)						
50	6,3	P _{50-I-6,3-A0}	ne	-	-	P _{50-I-6,3-A100}	18,40/rs
	12,5	P _{50-I-12-A0}	40,35/rf	P _{50-I-12-A50}	ne	-	53,30/cc
	16	P _{50-I-16-A0}	44,50/cc	-	-	P _{50-I-16-A100}	53,00/cc
	20	P _{50-I-20-A0}	42,55/cc	P _{50-I-20-A50}	ne	P _{50-I-20-A100}	50,90/rf
75	6,3	P _{75-I-6,3-A0}	17,50/rs	P _{75-I-6,3-A50}	18,75/rs	P _{75-I-6,3-A100}	ne
	12,5	P _{75-I-12-A0}	ne	-	-	-	-
	16	P _{75-I-16-A0}	57,50/rf	-	-	-	-
	20	-	-	-	-	-	-
100	6,3	P _{100-I-6,3-A0}	20,20/rs	P _{100-I-6,3-A50}	19,40/rs	P _{100-I-6,3-A100}	ne
	12,5	-	-	-	-	P _{100-I-12-A100}	ne
	16	-	-	-	-	P _{100-I-16-A100}	ne
	20	-	-	-	-	-	-
125	6,3	P _{125-I-6,3-A0}	19,00/rs	-	-	-	-
	12,5	-	-	-	-	-	-
	16	-	-	-	-	-	-
	20	-	-	-	-	-	-

P - Nome do Pino
 h_{ef} - Altura efetiva - (50 - 75 - 100)
 l_b - Comprimento de aderência - (0% - 50% - 100%)
 Φ - Diâmetro da haste do pino - (10.0 - 12.5 - 16.0 - 20.0)
 A_n/A_0 - Relação entre as áreas projetadas do suposto cone de tensão total (A0) e parcial (An) - (1,00 - 0,80 - 0,70)
 F_u - Carga de ruptura - (kN)
 MR - Modo de ruptura de arrancamento - (cc)
 cc - Ruptura pelo cone de concreto
 ne - Não ensaiado
 rs - Ruptura na solda da porca
 rf - Ruptura por flexão na laje

Tabela B.2 – Características dos pinos com relação $A_n/A_0 = 0,80$ – Pré-teste

h_{ef} (mm)	Φ (mm)	$A_n/A_0 = 0,80$ $Cx=52$ mm					
		0% l_b	F_u (kN)/M.R	50% l_b	F_u (kN)/M.R	100% l_b	F_u (kN)/M.R
50	6,3	-	-	P _{50-B-6,3-A50}	19,25/rs	P _{50-B-6,3-A100}	22,85/ra
	12,5	P _{50-B-12-A0}	28,40/cc	P _{50-B-12-A50}	30,00/cc	P _{50-B-12-A100}	48,00/cc
	16	-	-	P _{50-B-16-A50}	28,20/cc	P _{50-B-16-A100}	ne
	20	-	-	-	-	P _{50-B-20-A100}	35,15/cc
75	6,3	P _{75-B-6,3-A0}	20,50/rs	P _{75-B-6,3-A50}	19,50/rs	P _{75-B-6,3-A100}	21,05/rs
	12,5	P _{75-B-12-A0}	41,15/cc	P _{75-B-12-A50}	ne	P _{75-B-12-A100}	45,00/cc
	16	-	-	P _{75-B-16-A50}	47,10/cc	-	-
	20	-	-	-	-	-	-
100	6,3	P _{100-B-6,3-A0}	19,80/rs	P _{100-B-6,3-A50}	19,70/rs	P _{100-B-6,3-A100}	19,50/rs
	12,5	P _{100-B-12-A0}	52,95/rs	P _{100-B-12-A50}	48,00/rf	-	-
	16	P _{100-B-16-A0}	54,00/rf	P _{100-B-16-A50}	ne	-	-
	20	P _{100-B-20-A0}	61,50/cc	-	-	-	-
125	6,3	P _{125-B-6,3-A0}	17,40/rs	-	-	-	-
	12,5	-	-	-	-	-	-
	16	-	-	-	-	-	-
	20	-	-	-	-	-	-

P - Nome do Pino
 h_{ef} - Altura efetiva - (50 - 75 - 100)
 l_b - Comprimento de aderência - (0% - 50% - 100%)
 Φ - Diâmetro da haste do pino - (10.0 - 12.5 - 16.0 - 20.0)
 A_n/A_0 - Relação entre as áreas projetadas do suposto cone de tensão total (A0) e parcial (An) - (1,00 - 0,80 - 0,70)
 F_u - Carga de ruptura - (kN)
ra -ruptura do aço
cc - Ruptura pelo cone de concreto
ne - Não ensaiado
rs - Ruptura na solda da porca
rf -Ruptura por flexão na laje

Tabela B.3 – Características dos pinos com relação $A_n/A_0 = 0,70$ – Pré-teste

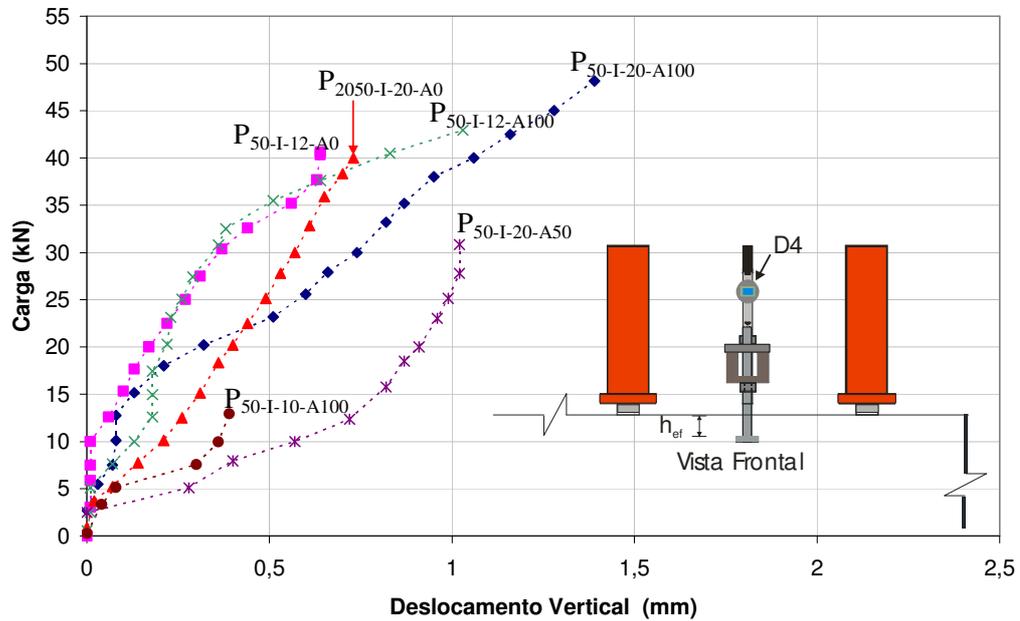
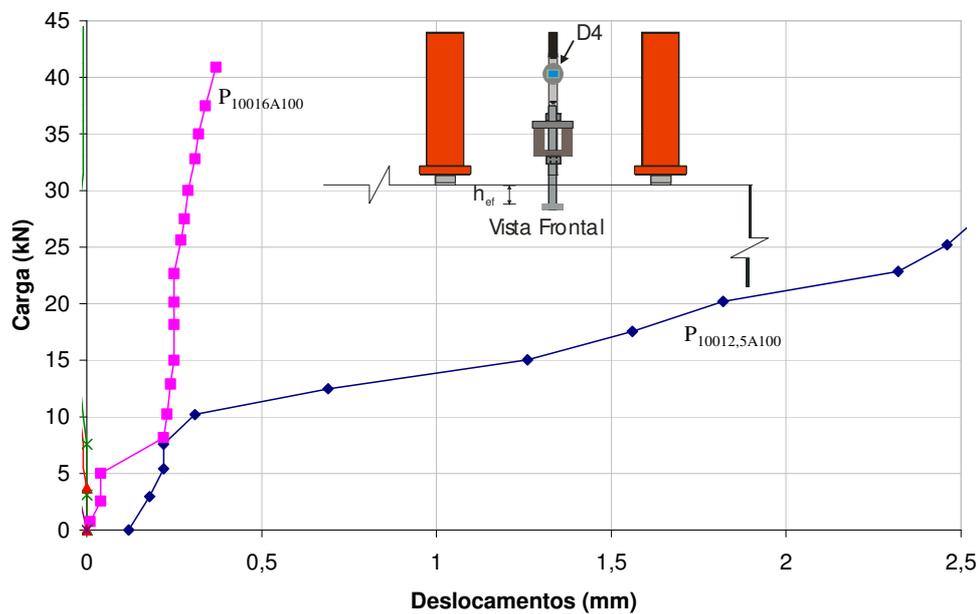
h _{ef} (mm)	Φ (mm)	A _n /A ₀ 0,70 Cx=35 mm									
		0% l _b	Fu (kN)/M.R	25% l _b	Fu (kN)/M.R	50% l _b	Fu (kN)/M.R	75% l _b	Fu (kN)/M.R	100% l _b	Fu (kN)/M.R
50	6,3	P _{50-b-6,3-A0}	20,00/cc	-	-	-	-	-	-	-	-
	12,5	P _{50-b-12-A0}	22,60/cc	-	-	P _{50-b-12-A50}	23,50/cc	-	-	P _{50-b-12-A0}	23,80/cc
	16	P _{50-b-16-A0}	25,00/cc	-	-	-	-	-	-	-	-
	20	-	-	-	-	P _{50-b-20-A50}	23,50/cc	-	-	-	-
75	6,3	P _{75-b-6,3-A0}	22,30/ra	-	-	-	-	-	-	P _{75-b-6,3-A100}	22,45/ra
	12,5	P _{75-b-12-A0}	46,10/cc	-	-	-	-	-	-	P _{75-b-12-A100}	50,25/cc
	16	P _{75-b-16-A0}	35,00/cc	-	-	P _{75-b-16-A50}	37,00/ra	-	-	P _{75-b-16-A100}	47,55/cc
	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100	6,3	P _{100-b-6,3-A0}	21,10/ra	-	-	-	-	-	-	P _{100-b-6,3-A100}	21,40/ra
	12,5	P _{100-b-12-A0}	52,50/cc	-	-	P _{100-b-12-A50}	42,90/cc	P _{100b12,5A75}	ne	P _{100-b-12-A100}	47,50/ra
	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
125	6,3	P _{125-b-6,3-A0}	23,00/ra	P _{125-b-6,3-A25}	17,60/rs	P _{125-b-6,3-A50}	22,00/ra	P _{125-b-6,3-A75}	22,00/ra	-	-
	12,5	P _{125-b-12-A0}	60,00/rs	P _{125-b-12-A25}	46,50/cc	P _{125-b-12-A50}	ne	P _{125-b-12-A75}	-	P _{125-b-12-A100}	ne
	16	P _{125-b-16-A0}	59,00/cc	-	-	-	-	-	-	-	-
	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

P - Nome do Pino
h_{ef} - Altura efetiva - (50 - 75 - 100)
l_b - Comprimento de aderência - (0% - 50% - 100%)
Φ - Diâmetro da haste do pino - (10.0 - 12.5 - 16.0 - 20.0)
A_n/A₀ - Relação entre as áreas projetadas do suposto cone de tensão total (A0) e parcial (An) - (1,00 - 0,80 - 0,70)
F_u - Carga de ruptura - (kN)
ra - ruptura do aço
cc - Ruptura pelo cone de concreto
ne - Não ensaiado
rs - Ruptura na solda da porca
rf - Ruptura por flexão na laje

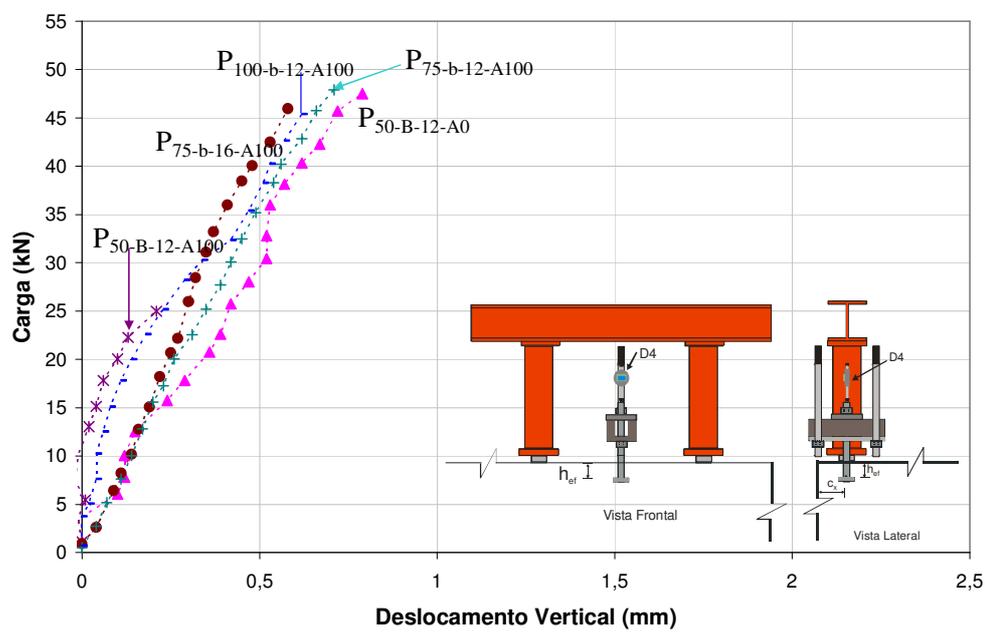
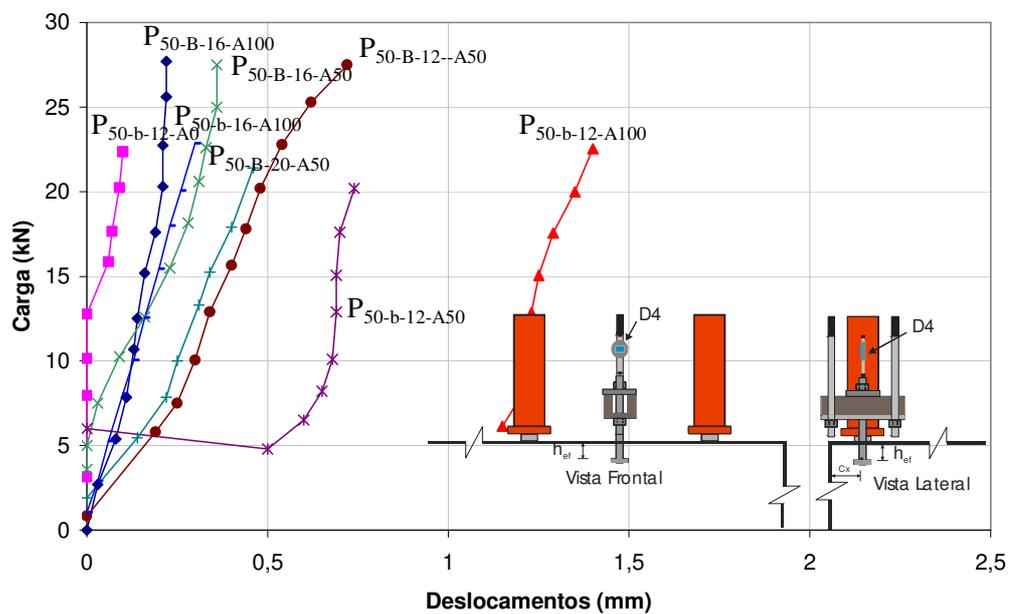
Tabela C.2 – Tabela com as características dos pinos com relação $A_n/A_0=0,80$

A_n/A_0	h_{ef} (mm)	l_b	ϕ (mm)	Pinos	h_{ef}^{med} mm	c_x mm	c_x^{med} mm	c_x/h_{ef}	c_x/h_{ef}^{med}	A_n/A_0^{med}	U_r/U_0	U_r/U_0^{med}	L mm	f_c MPa	Fu kN	M.R.	Nº Ensaio	Bloco	Observações			
0,80	0%	10	10	P _{50-B-10-A0}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
				12,5	P _{50-B-12-A0}	50,0	52,0	52,0	1,0	1,04	0,80	0,67	0,67	500	38,7	33,1	cc	-	11			
					16	P _{50-B-16-A0}	52,0	52,0	51,0	1,0	0,98	0,79	0,67	0,66	500	38,7	35,2	cc	-	11		
						20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50%	10	50	P _{50-B-10-A50}	50,0	52,0	52,0	1,0	1,04	0,80	0,67	0,67	500	38,2	29,1	cc	-	7				
				12,5	P _{50-B-12-A50}	50,0	52,0	52,0	1,0	1,04	0,80	0,67	0,67	500	38,7	27,5	cc	-	8			
					16	P _{50-B-16-A50}	50,0	52,0	52,0	1,0	1,04	0,80	0,67	0,67	500	38,7	27,5	cc	-	9		
						20	P _{50-B-20-A50}	50,0	52,0	52,0	1,0	1,04	0,80	0,67	0,67	500	38,7	27,9	cc	-	8	
	100%	10	100	P _{50-B-10-A100}	50,0	52,0	63,0	1,04	1,26	0,86	0,67	0,72	500	38,2	29,8	cc	-	7				
				12,5	P _{50-B-12-A100}	53,0	52,0	62,0	1,04	1,17	0,85	0,67	0,70	500	38,7	37,6	cc	-	11			
					16	P _{50-B-16-A100}	52,0	52,0	52,0	1,04	1,00	0,79	0,67	0,67	500	38,7	37,4	cc	-	9		
						20	P _{50-B-20-A100}	48,0	52,0	57,0	1,04	1,19	0,84	0,67	0,70	500	40,0	28,9	cc	-	17	
	75	0%	75	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
					12,5	P _{75-B-12-A0}	75,0	52,0	56,3	0,69	0,75	0,74	0,62	0,63	500	36,1	45,8	cc	-	5		
						16	P _{75-B-16-A0}	78,0	52,0	56,0	0,69	0,72	0,74	0,62	0,63	500	36,1	48,3	cc	-	5	
							20	P _{75-B-20-A0}	72,0	52,0	63,0	0,69	0,88	0,78	0,62	0,66	500	40,0	44,0	cc	-	17
	50%	10	75	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
					12,5	P _{75-B-12-A50}	75,0	52,0	60,0	0,7	0,8	0,76	-	0,64	500	36,1	38,2	cc	-	5		
						16	P _{75-B-16-A50}	75,0	52,0	52,0	0,69	0,69	0,73	0,62	0,62	500	38,2	40,5	cc	-	7	
							20	P _{75-B-20-A50}	77,0	52,0	57,0	0,69	0,74	0,74	0,62	0,63	500	40,0	35,0	cc	-	16
	100%	10	75	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
					12,5	P _{75-B-12-A100}	73,0	52,0	51,0	0,69	0,70	0,73	0,62	0,62	500	38,7	43,1	cc	-	11		
						16	P _{75-B-16-A100}	72,0	50,0	50,0	0,67	0,69	0,72	0,62	0,62	500	38,7	32,0	cc	-	11	
							20	P _{75-B-20-A100}	76,0	52,0	52,0	0,69	0,68	0,72	0,62	0,62	500	40,0	44,3	cc	-	16
100	0%	100	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
				12,5	P _{100-B-12-A0}	95,0	52,0	52,0	0,52	0,55	0,69	0,62	0,60	600	38,2	55,0	cc	-	7			
					16	P _{100-B-16-A0}	99,0	52,0	57,0	0,52	0,58	0,70	0,62	0,61	600	40	48,3	cc	-	16		
						20	P _{100-B-20-A0}	100,0	52,0	52,0	0,5	0,5	0,68	0,62	0,60	600	38,2	51,0	cc	-	7	
50%	10	100	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
				12,5	P _{100-B-12-A50}	95,0	52,0	50,0	0,52	0,53	0,68	0,62	0,60	600	38,7	55,1	cc	-	11			
					16	P _{100-B-16-A50}	95,0	52,0	55,0	0,52	0,58	0,70	0,62	0,61	600	36,1	54,5	cc	-	5		
						20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100%	10	100	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
				12,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
					16	P _{100-B-16-A100}	95,0	52,0	56,0	0,52	0,59	0,70	0,62	0,61	600	36,1	57,0	cc	-	5		
						20	P _{100-B-20-A100}	100,0	52,0	54,0	0,52	0,54	0,69	0,62	0,60	600	39,0	62,1	cc	-	12	

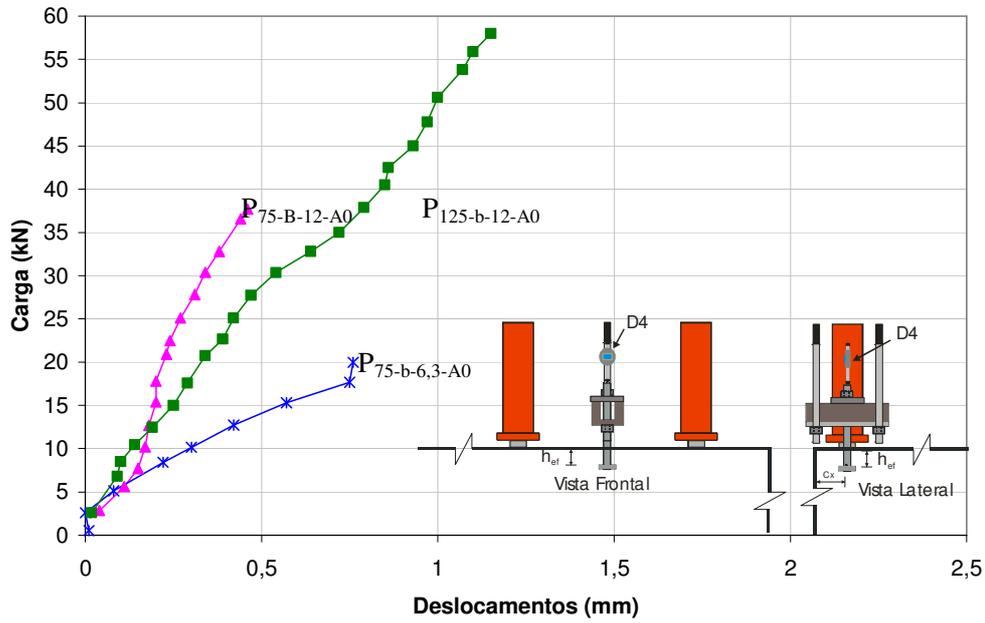
DESLOCAMENTO VERTICAL NO PINO – PRÉ-TESTE

B - 2- $A_n/A_0 = 1,00$ 

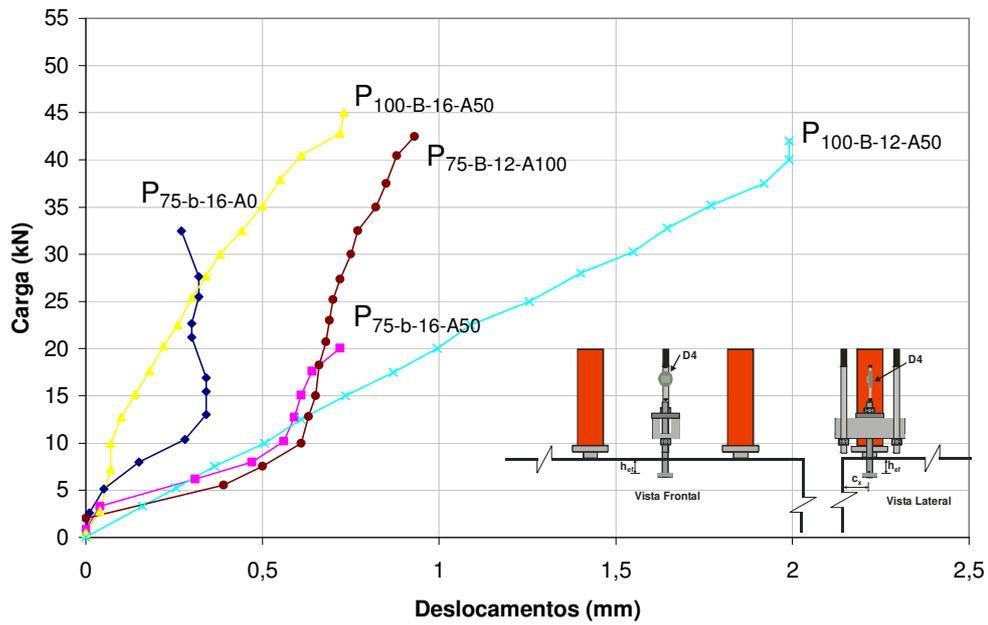
B - 3- $A_n/A_0 = 0,80$ e $A_n/A_0 = 0,70$



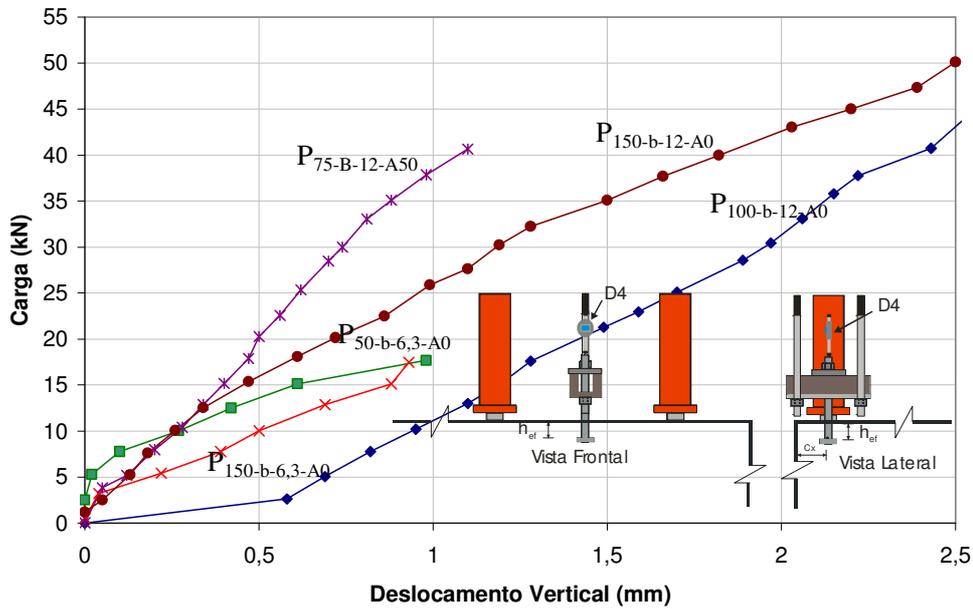
B - 5 - $A_n/A_0=0,8$ - $A_n/A_0=0,7$



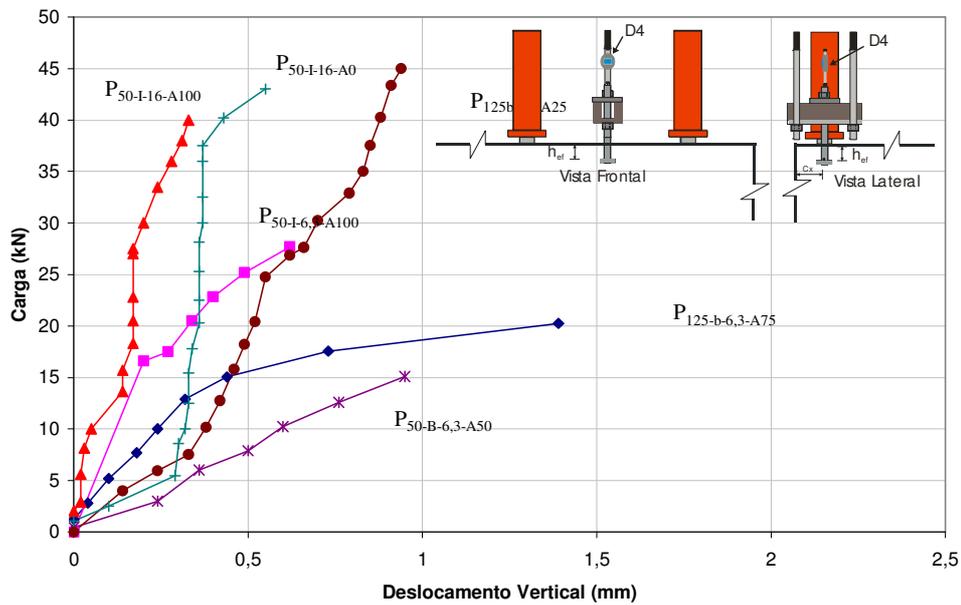
B - 7 - $A_n/A_0=0,8$ - $A_n/A_0=0,7$



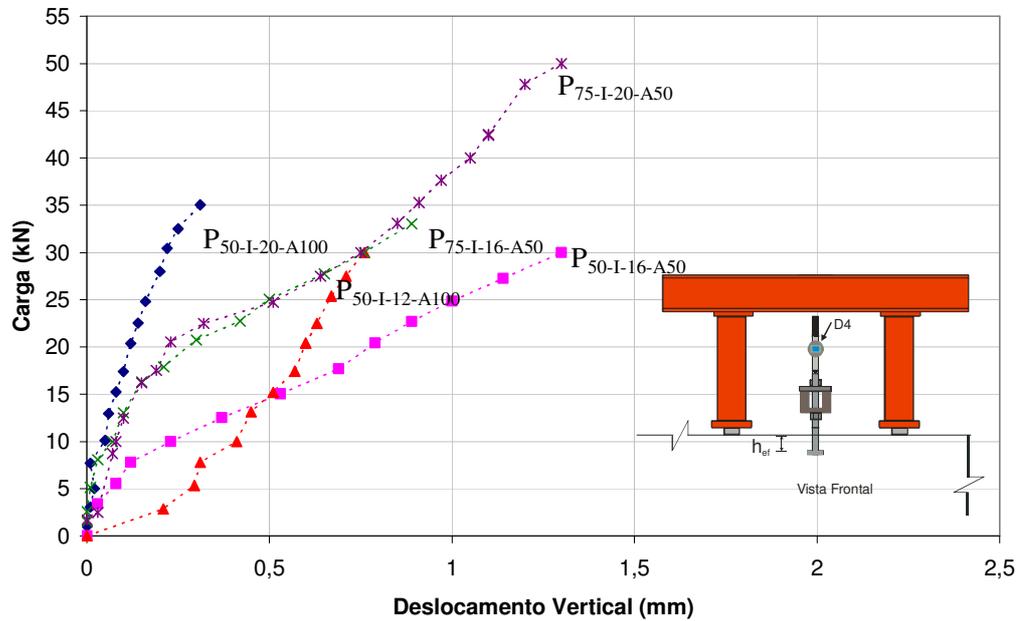
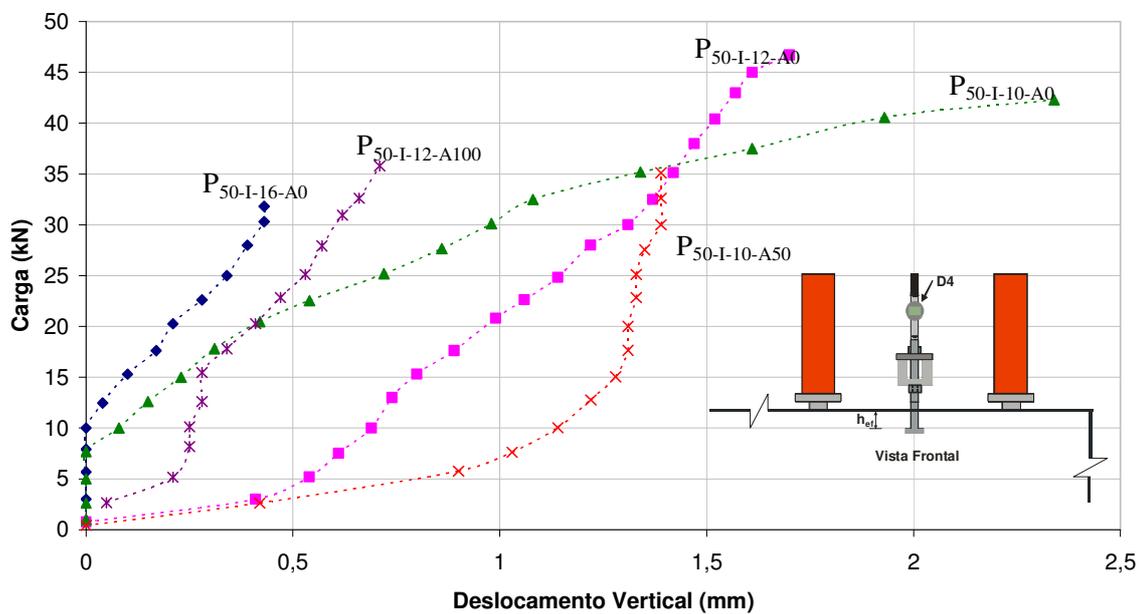
B - 8 - $A_n/A_0=0,8$ - $A_n/A_0=0,7$



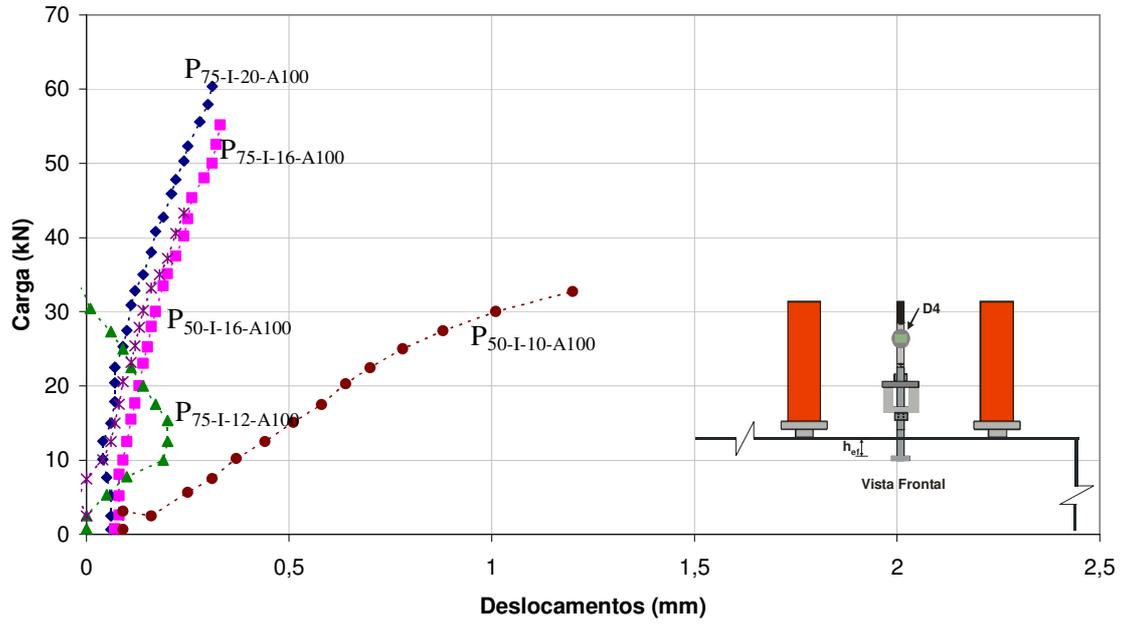
B - 9 - $A_n/A_0 = 0,8$ - $A_n/A_0 = 0,7$



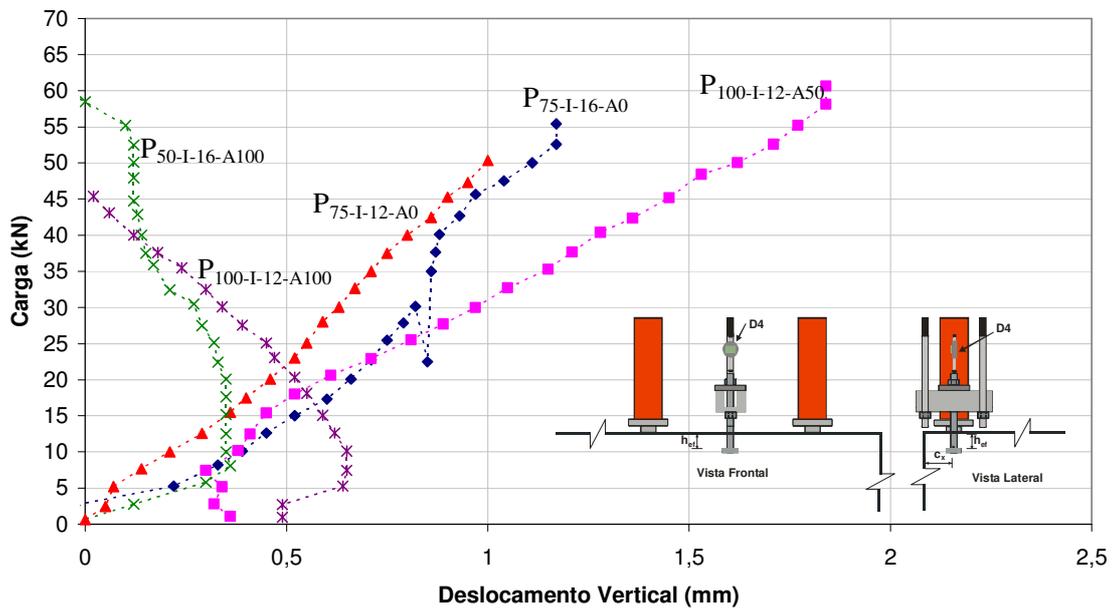
DESLOCAMENTO VERTICAL DOS PINOS

B - 2- $A_n/A_0 = 1,00$ 

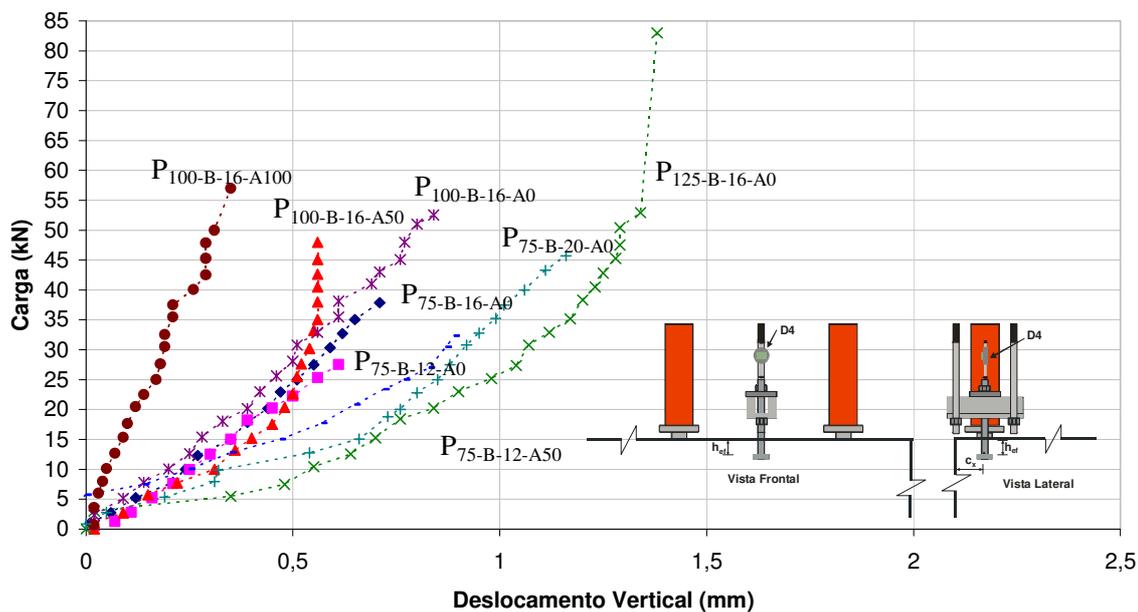
B - 3- $A_n/A_0 = 1,00$



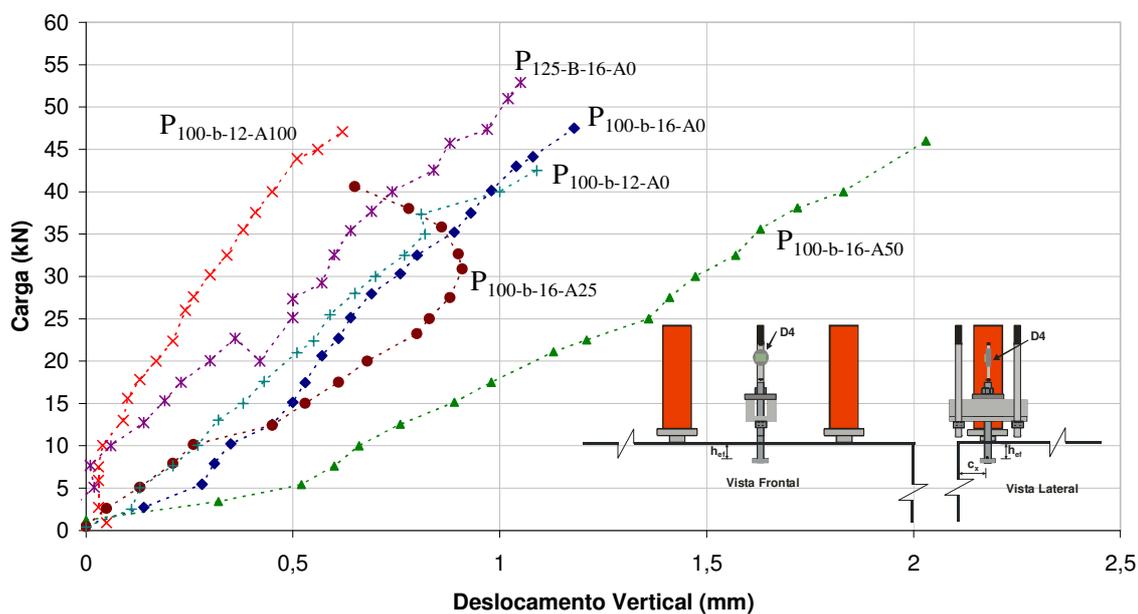
B - 4 - $A_n/A_0=1,00$



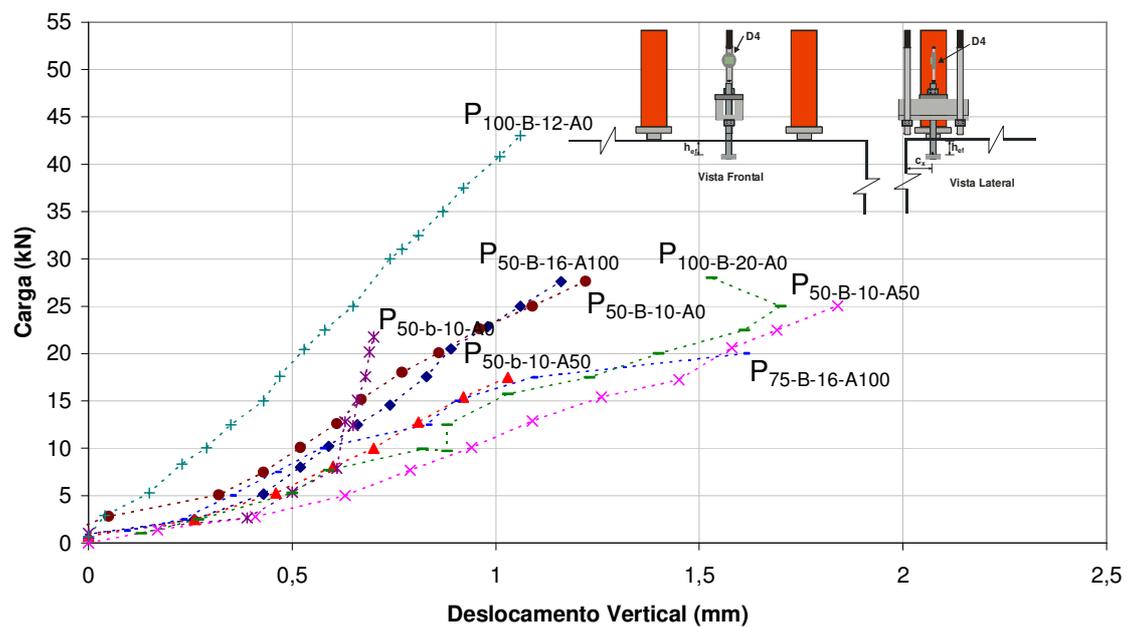
B - 5 - $A_n/A_0=1,00$



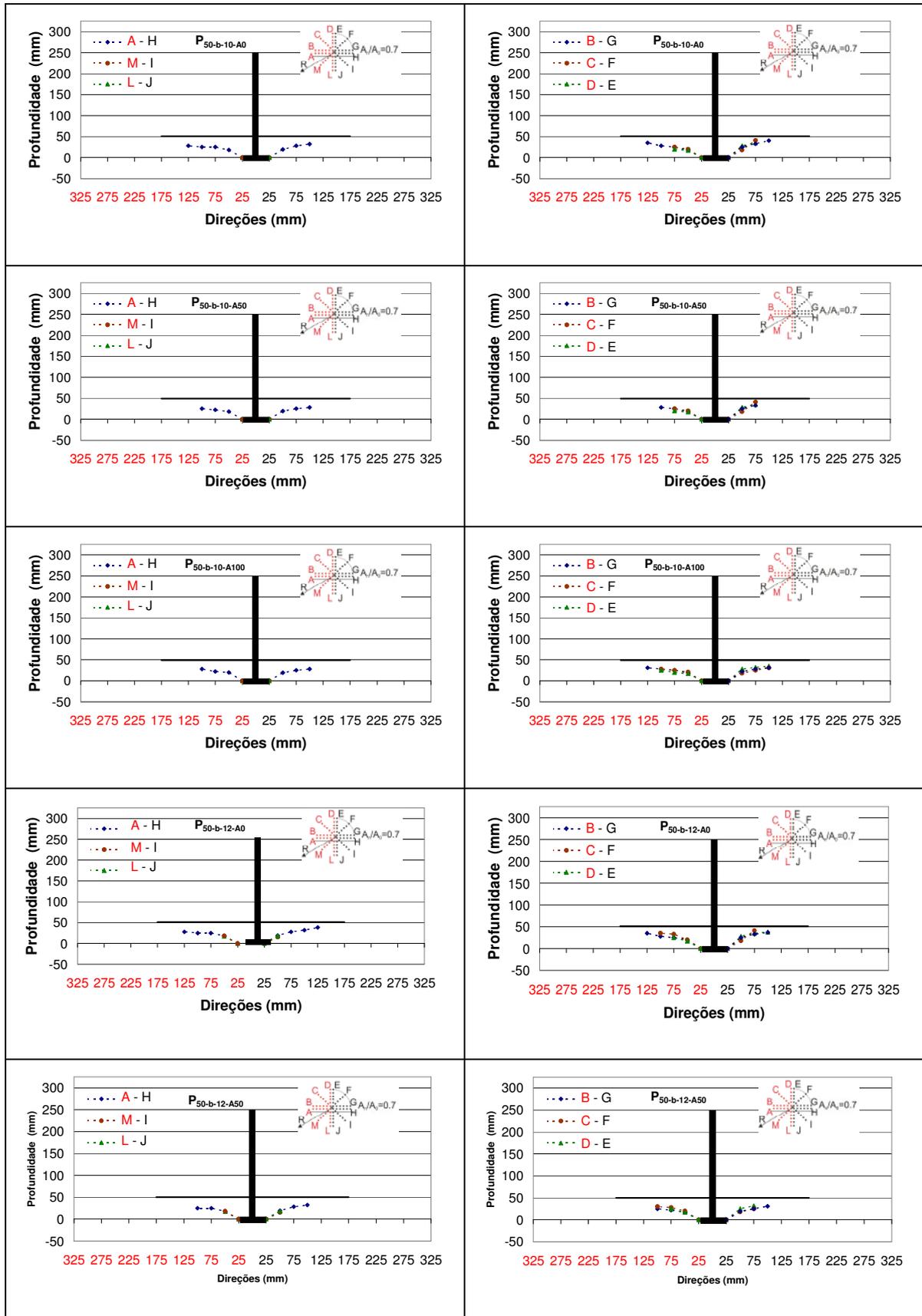
B - 6 - $A_n/A_0 = 0,80$, $A_n/A_0 = 0,70$

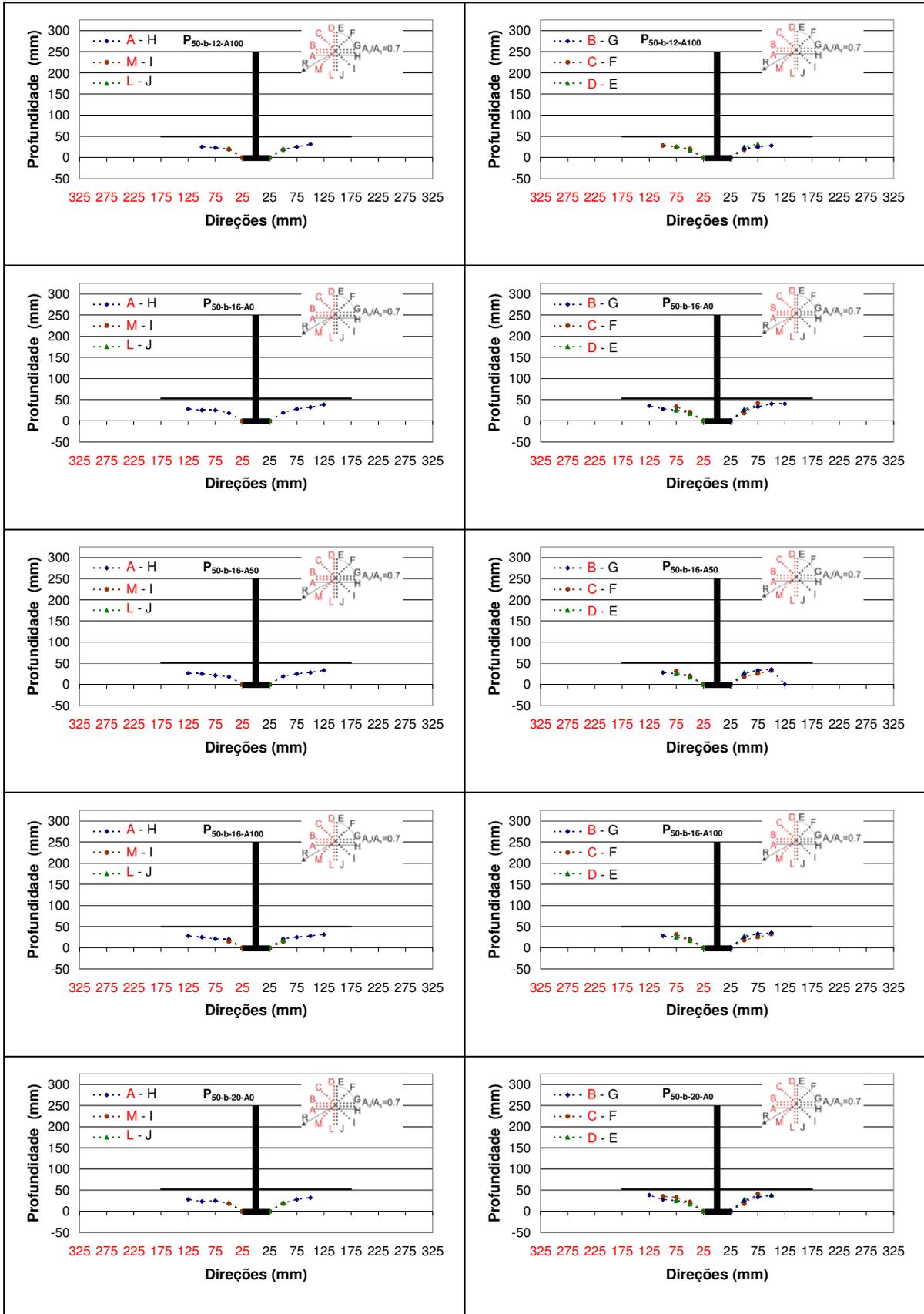


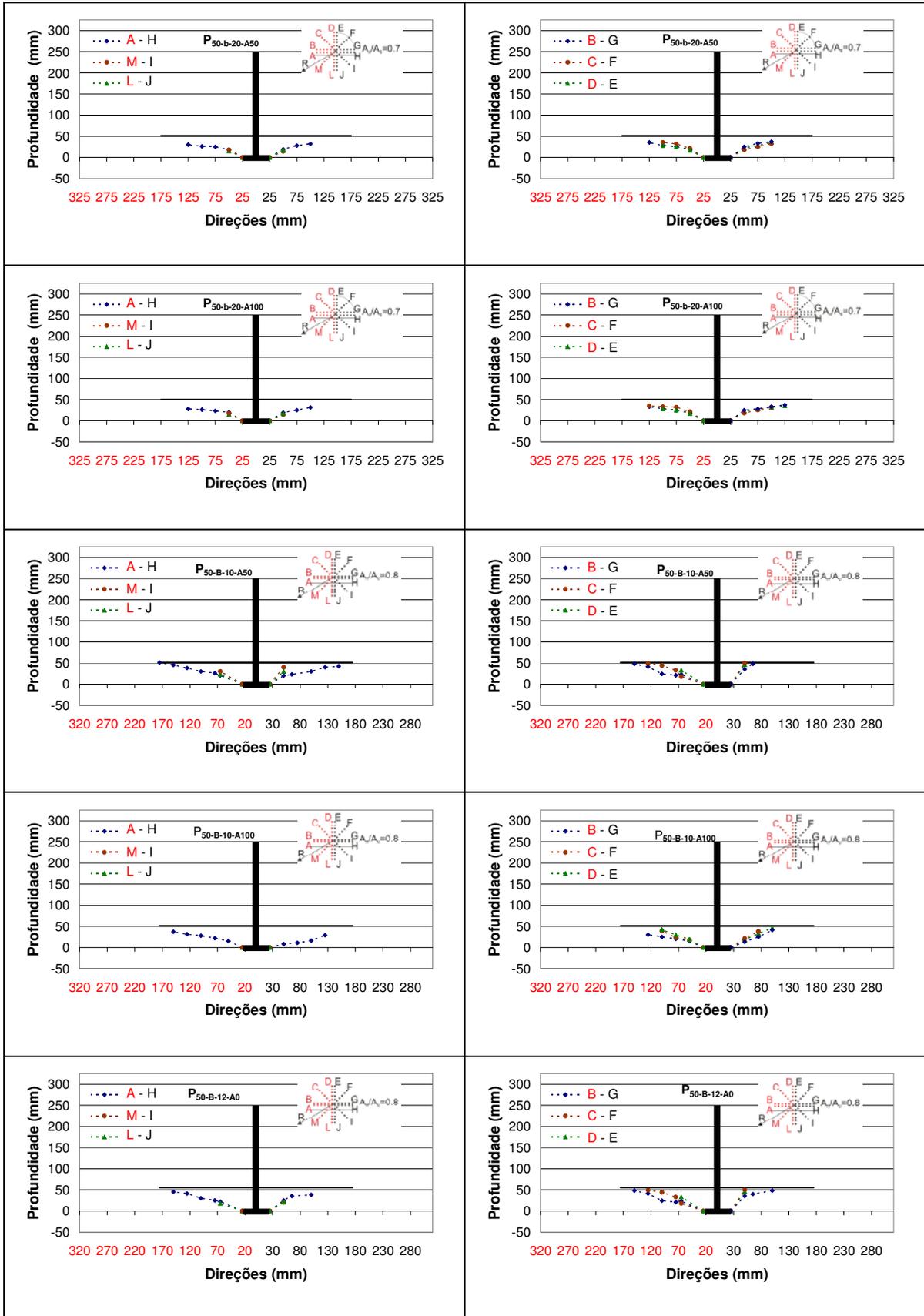
B - 7 - $A_n/A_0 = 0,8$ - $A_n/A_0 = 0,7$

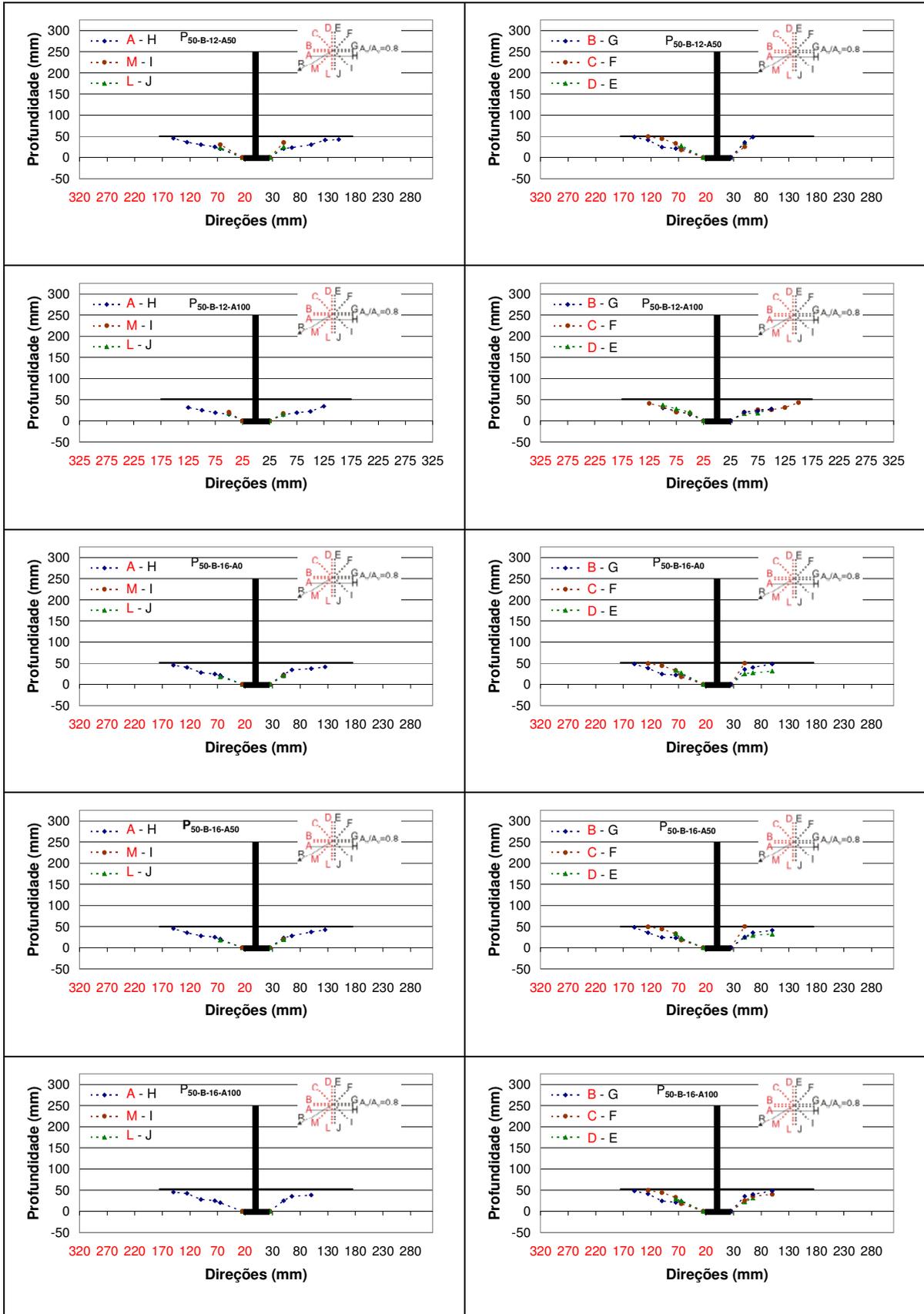


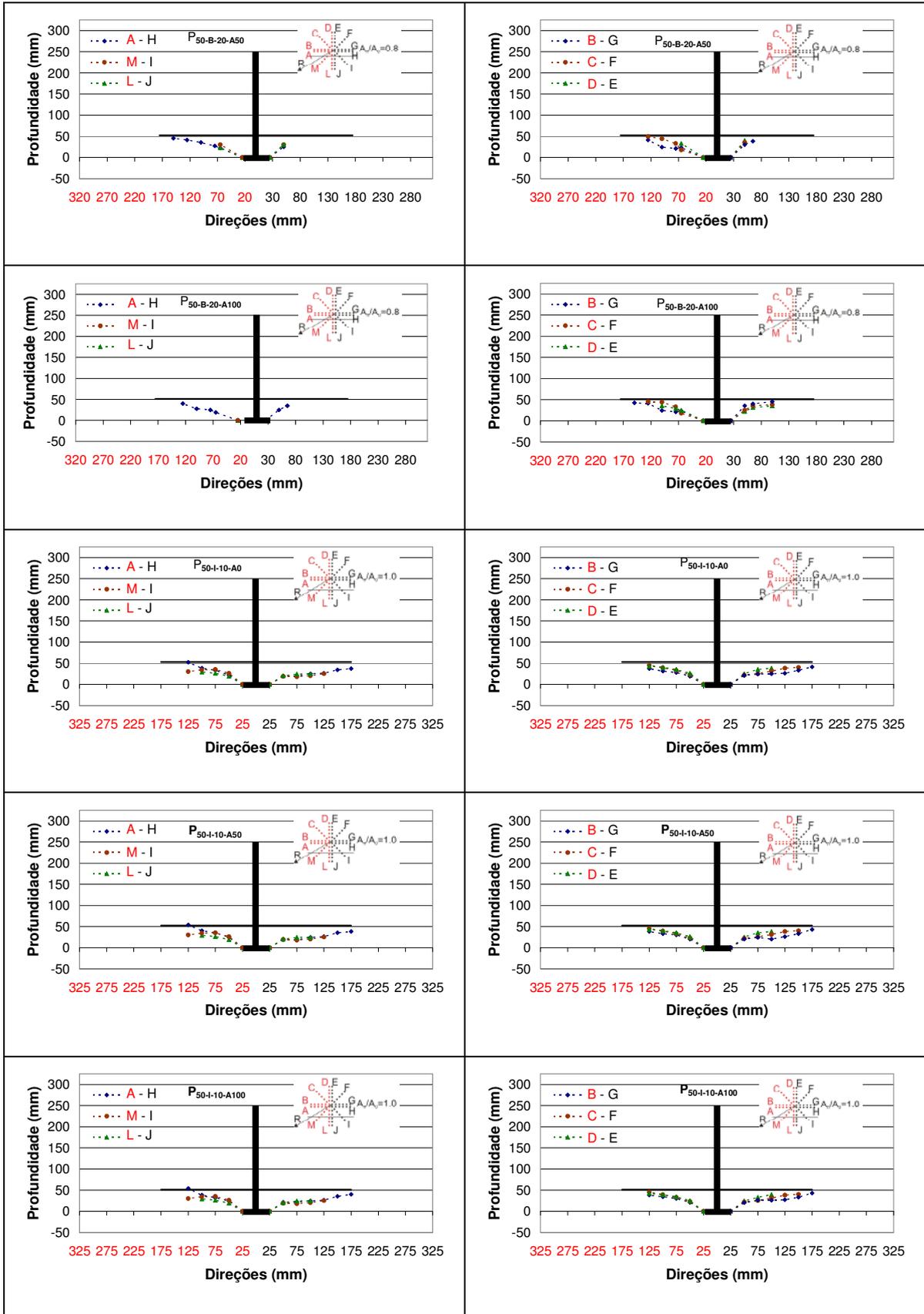
SUPERFÍCIE DE RUPTURA

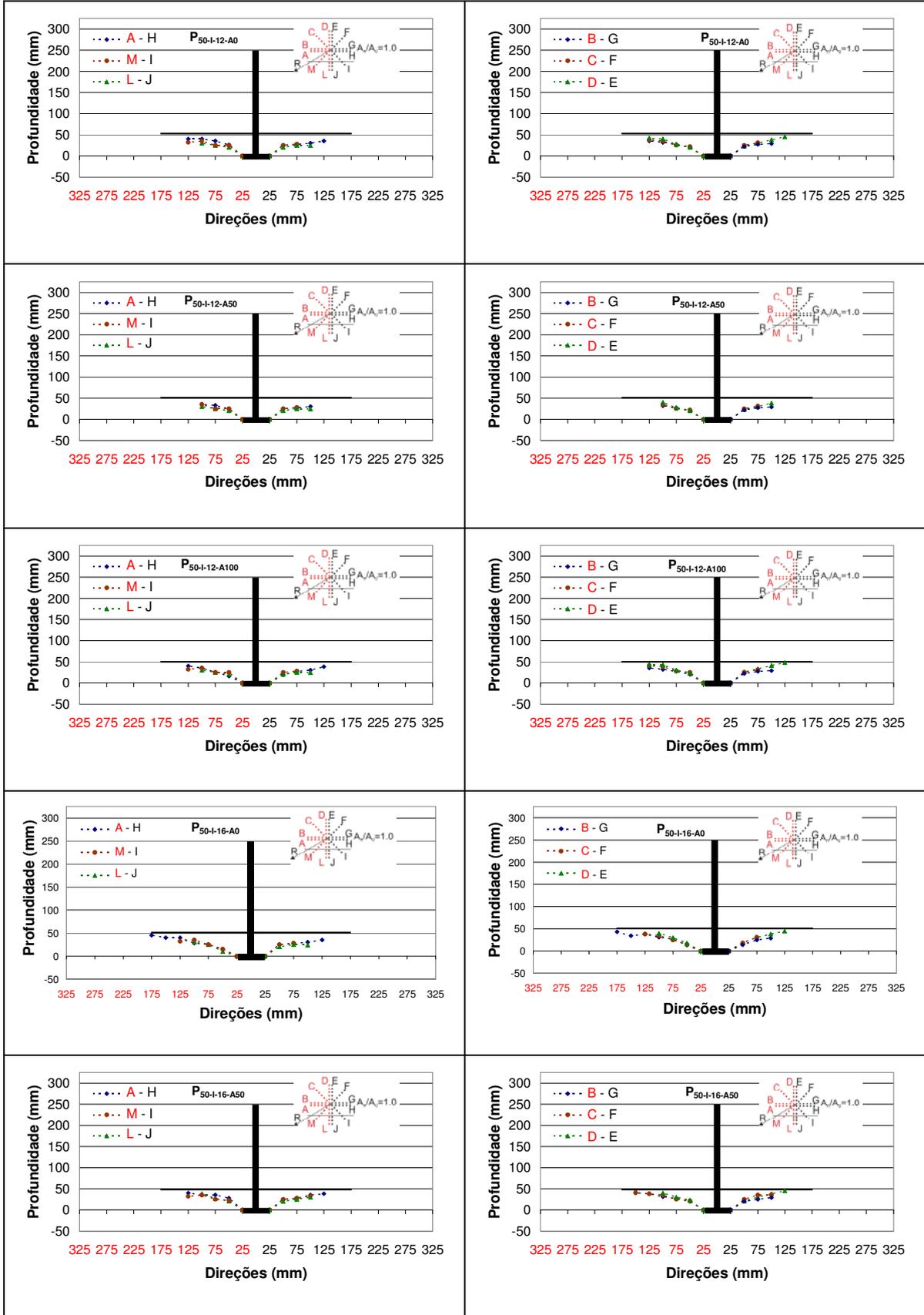


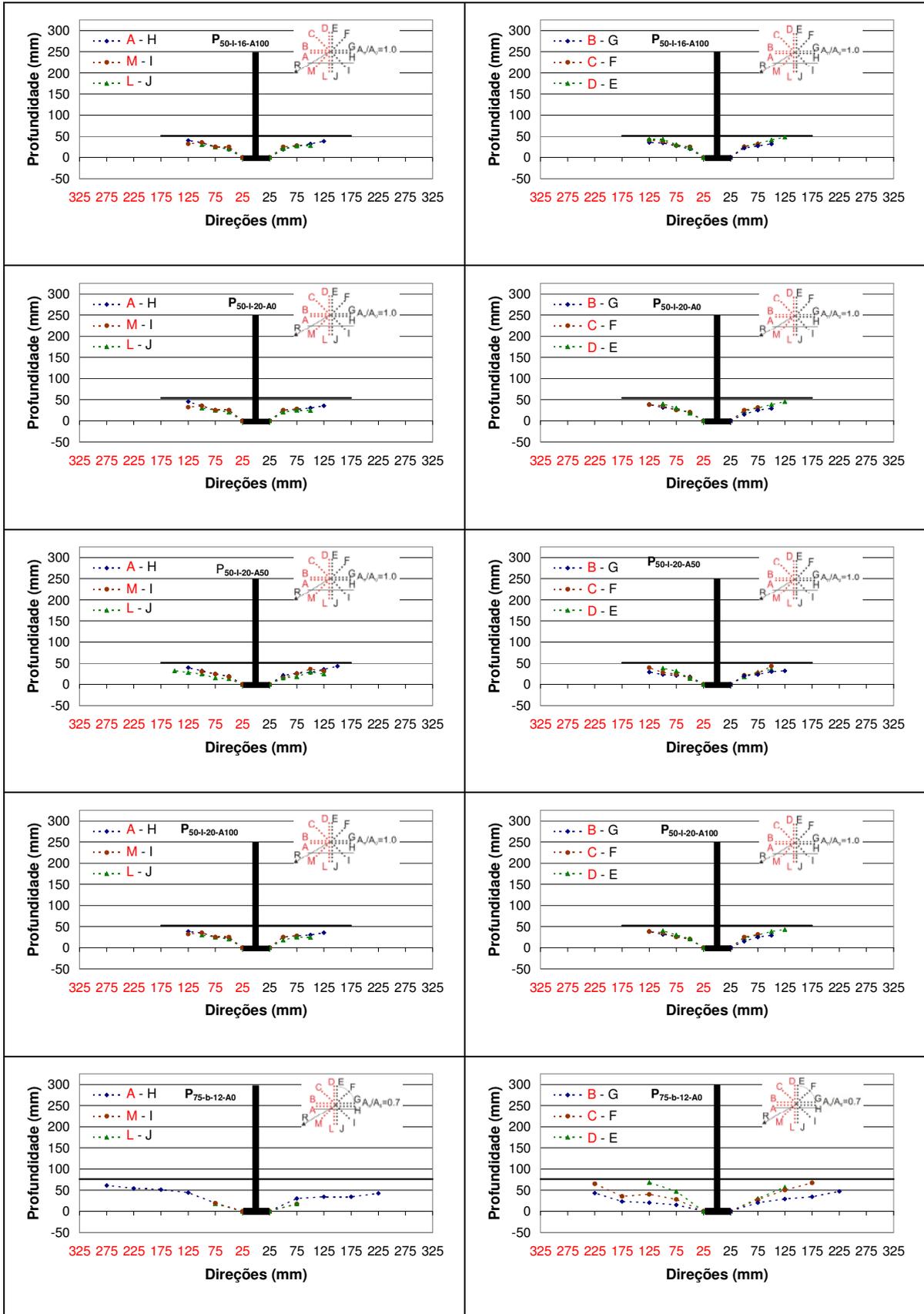


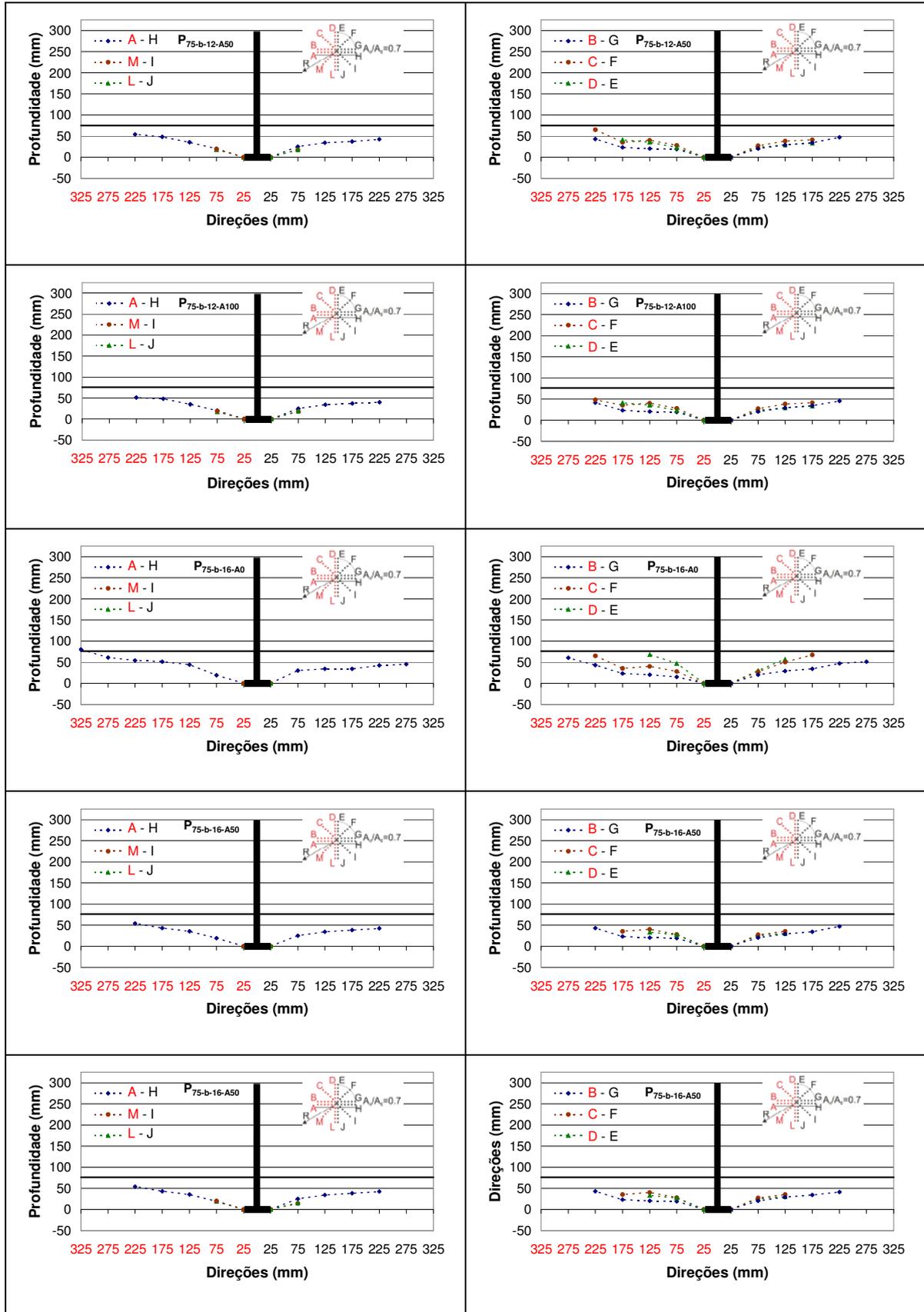


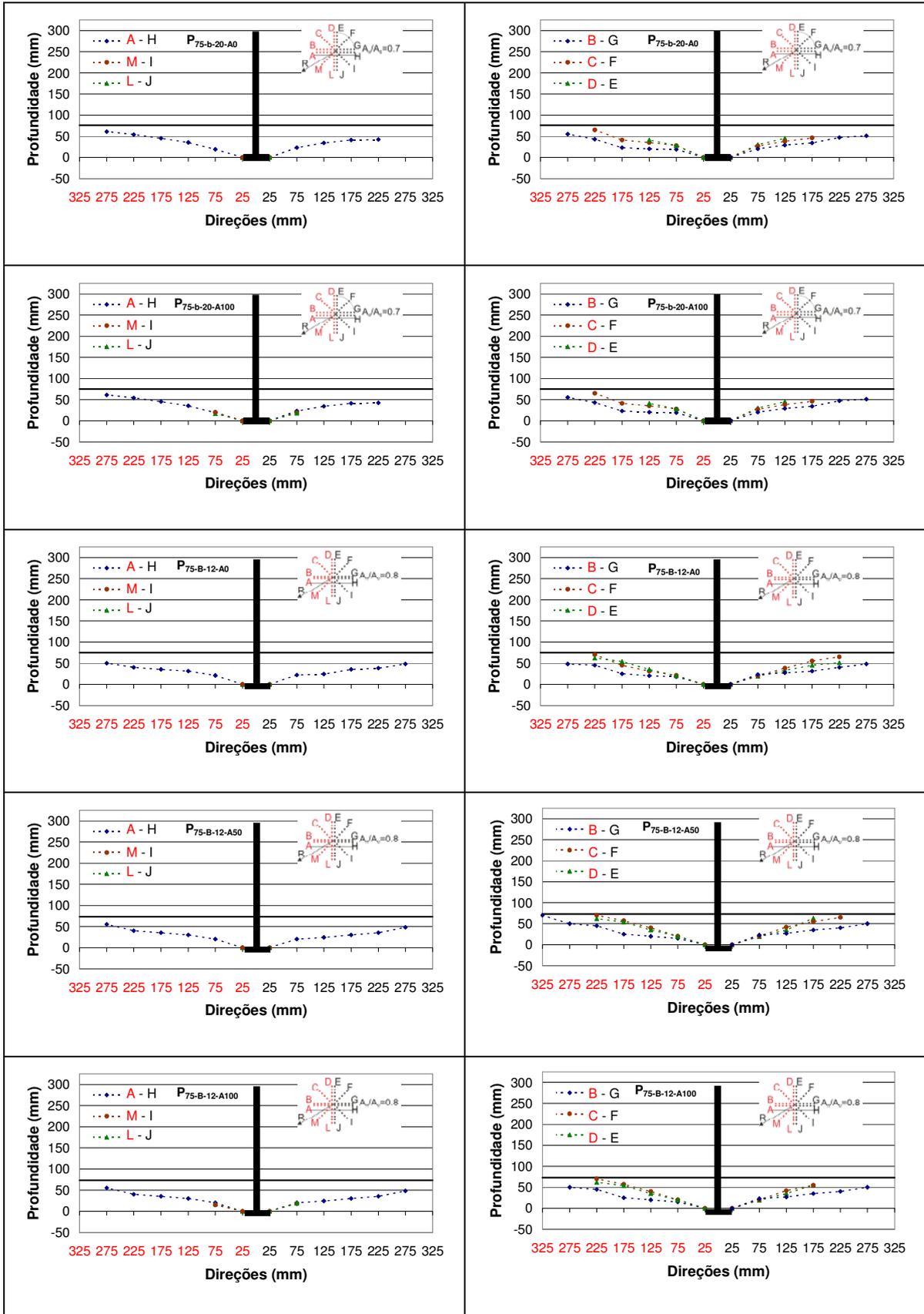


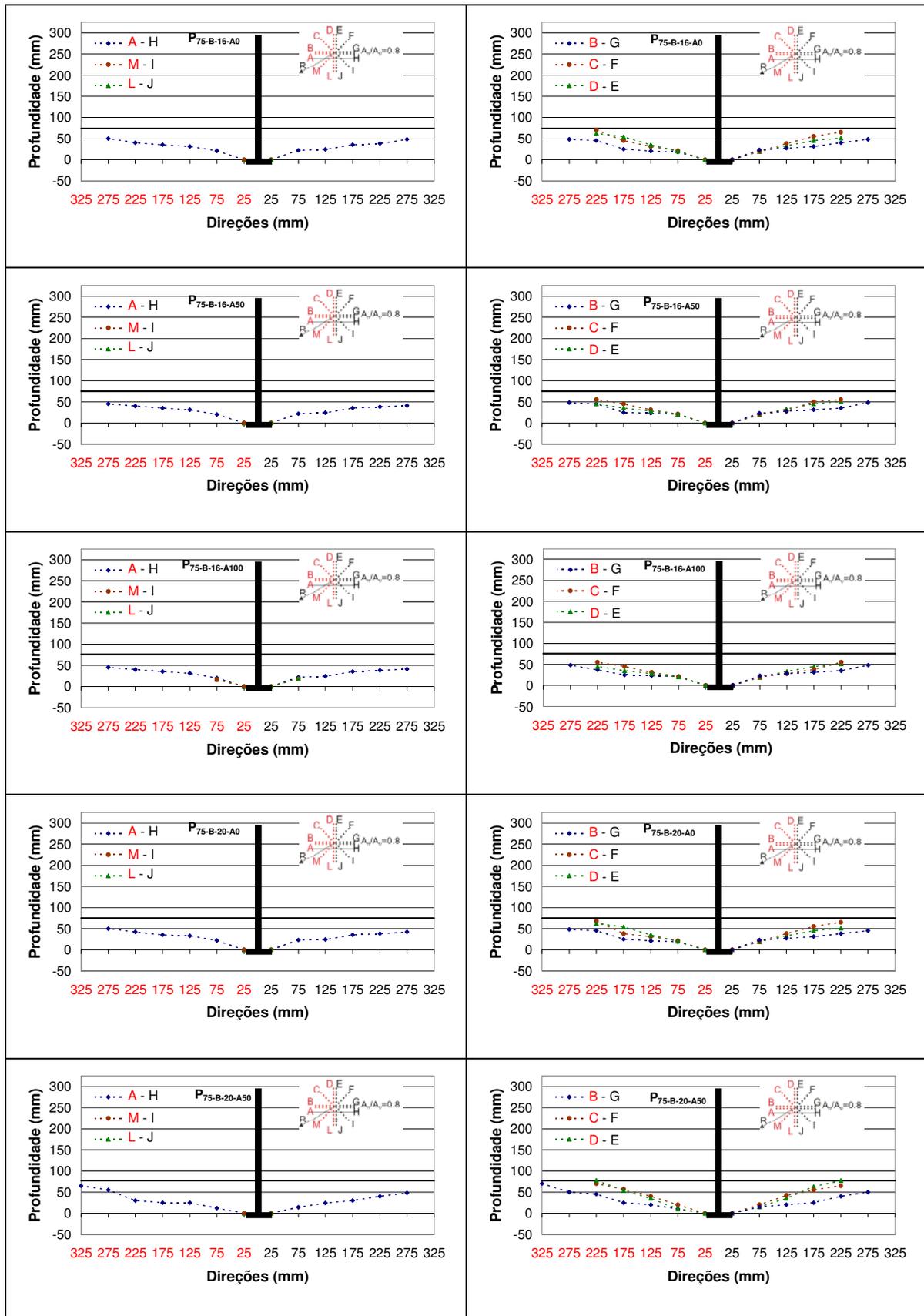


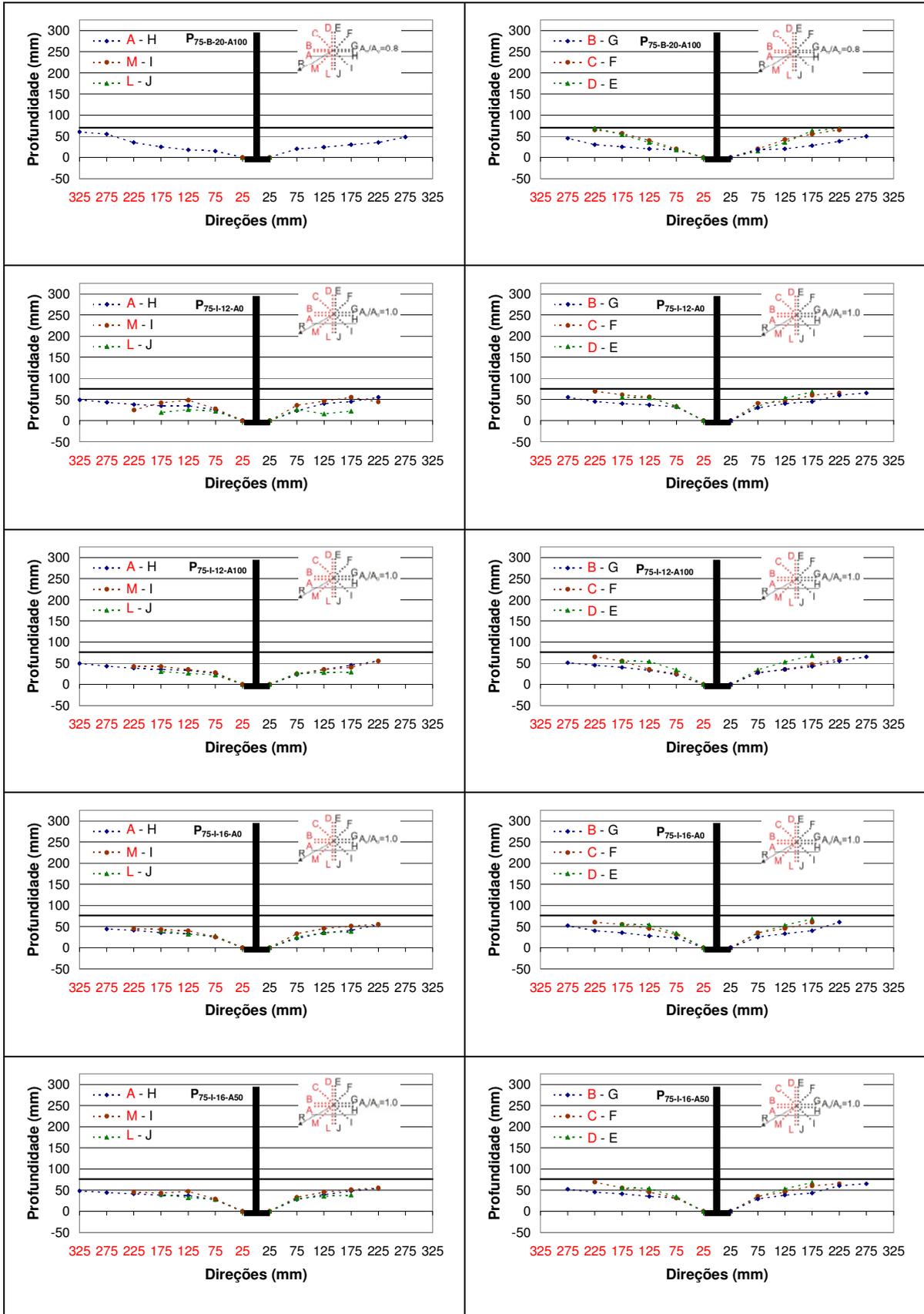


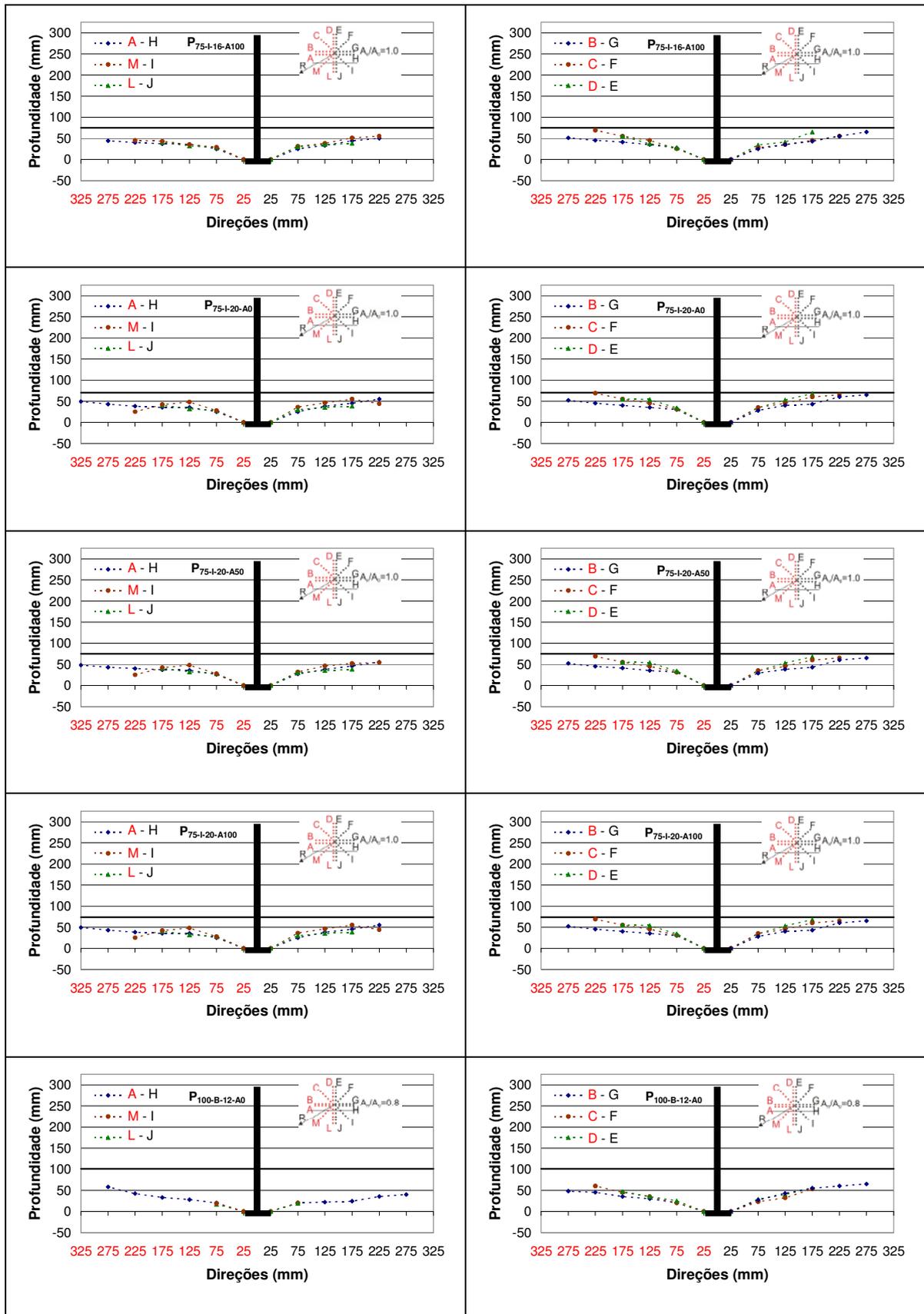


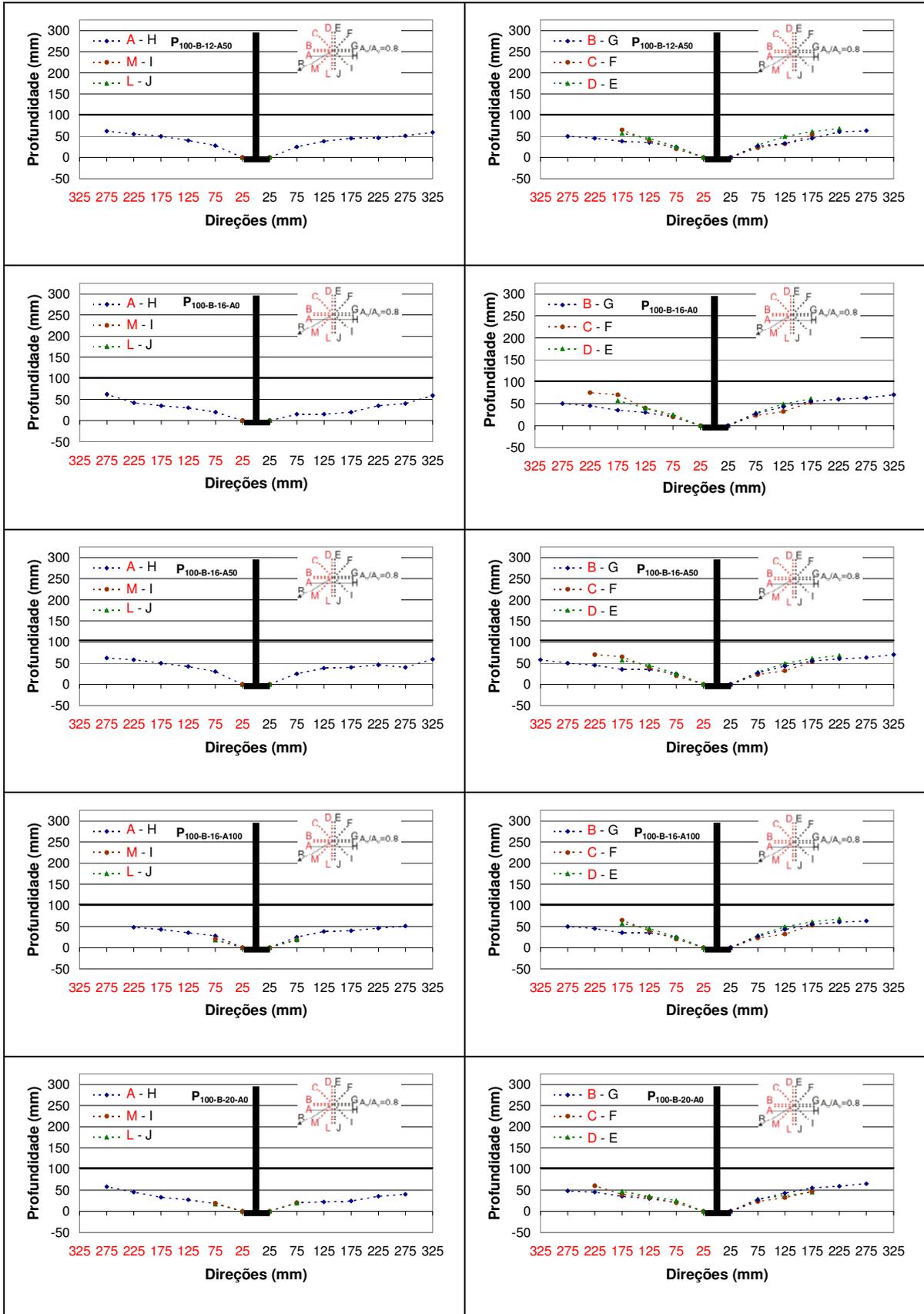


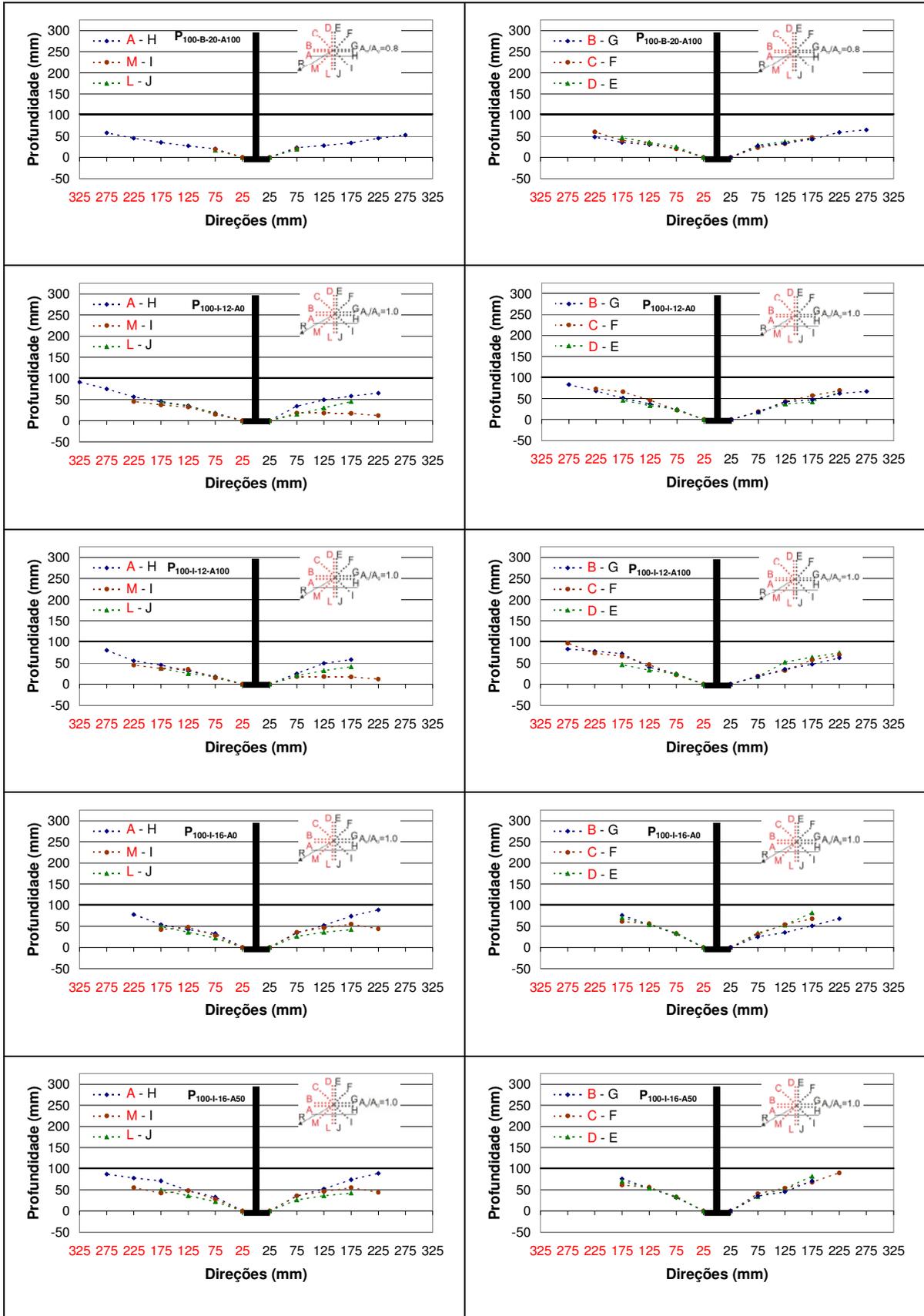


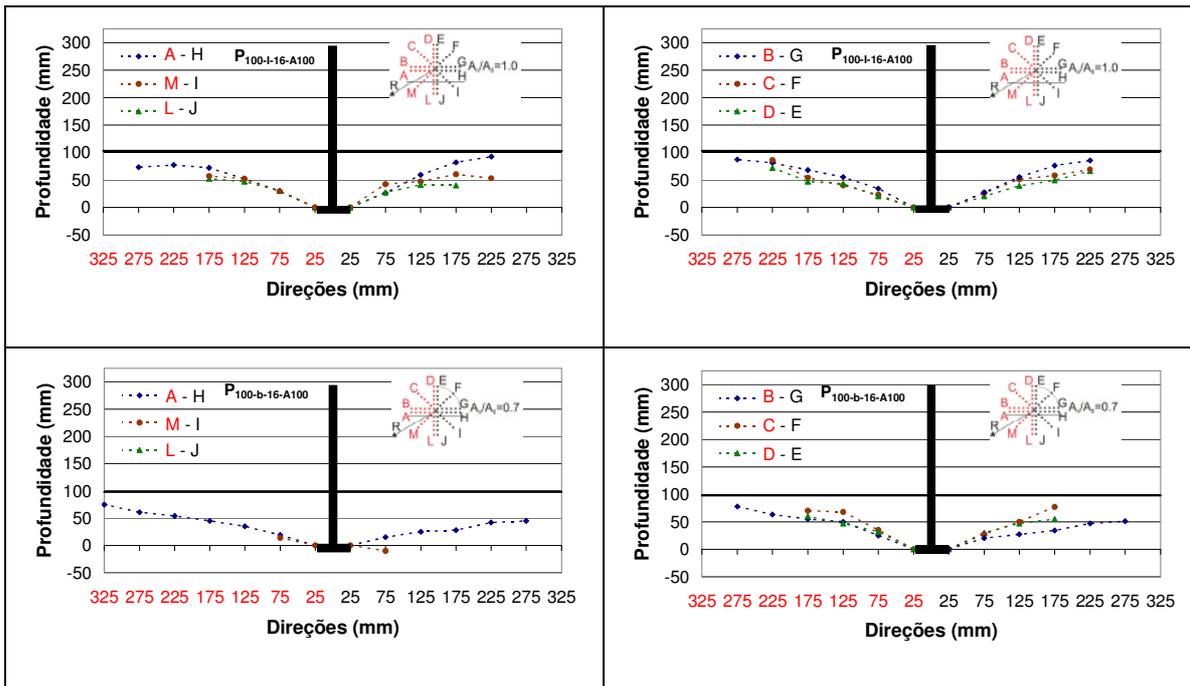












Livros Grátis

(<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](#)