



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
CIVIL

TRANSFERÊNCIA DOS ESFORÇOS CISALHANTES EM
JUNTAS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

Eng^a. Elisandra Miranda de Oliveira
Orientador: Prof^o. Ph.D. Gilson Natal Guimarães

Goiânia
2008

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR AS TESES E DISSERTAÇÕES ELETRÔNICAS NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: ☒ **Dissertação** ☐ **Tese**

2. Identificação da Tese ou Dissertação

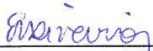
Nome completo do autor: ELISANDRA MIRANDA DE OLIVEIRA

Título do trabalho: TRANSFERÊNCIA DOS ESFORÇOS CISALHANTES EM JUNTAS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento ☒ SIM ☐ NÃO¹

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.


Assinatura do (a) autor (a) ²

Data: 13 / 01 / 2017

¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

² A assinatura deve ser escaneada.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL

TRANSFERÊNCIA DOS ESFORÇOS CISALHANTES EM
JUNTAS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

ELISANDRA MIRANDA DE OLIVEIRA

Orientador:

Prof. Ph.D. Gilson Natal Guimarães

Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em Engenharia Civil da EEC/UFG para obtenção do título de mestre em Engenharia Civil.

Área de concentração:

Estruturas e Materiais de Construção

Goiânia

2008

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)

Oliveira, Elisandra Miranda.

Transferência dos Esforços Cisalhantes em Juntas de Pavimentos Rígidos [manuscrito] / Elisandra Miranda de Oliveira. - 2008.

246 f. : il., figs, tabs.

Orientador: Prof^a. Ph.D. Dr^o. Gilson Natal Guimarães

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, 2008.

Bibliografia.

Inclui lista de figuras, abreviaturas, siglas e tabelas.

Apêndices.



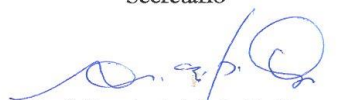
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
Praça Universitária s/nº, Setor Universitário – CEP: 74.605-220 – Goiânia/GO.
Fones: (62) 3521-1863 www.eec.ufg.br/cmec

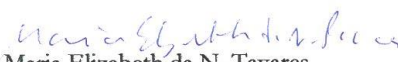
ATA DA REUNIÃO DA BANCA EXAMINADORA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE ELISANDRA MIRANDA DE OLIVEIRA - Aos dezessete

dias do mês de setembro do ano de dois mil e oito (17/09/2008), às 14h00min, reuniram-se os componentes da Banca Examinadora: Prof. Dr. Gilson Natal Guimarães, na qualidade de orientador, Prof. Dr. André Luiz Bortolacci Geyer, na qualidade de Examinador Interno e a Profª. Drª. Maria Elizabeth da Nóbrega Tavares, na qualidade de Examinadora Externa, para, sob a presidência do primeiro, e em sessão pública realizada no Mini Auditório do Mestrado em Engenharia Civil, procederem à avaliação da defesa de dissertação intitulada: **"Transferência dos Esforços Cisalhantes em Juntas de Pavimentos Rígidos"**, em nível de Mestrado, área de concentração em **Estruturas e Materiais de Construção** de autoria de **ELISANDRA MIRANDA DE OLIVEIRA**, discente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás. A sessão foi aberta pela presidente da Banca Examinadora, Prof. Dr. Gilson Natal Guimarães que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra a seguir, foi concedida ao autor da dissertação que, em 50 minutos procedeu à apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da Banca arguiu o examinando, tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se à avaliação da defesa. Tendo-se em vista o que consta na Resolução nº. 679/2004 do Conselho de Ensino, Pesquisa, Extensão e Cultura (CEPEC), que regulamenta o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e procedidas às correções recomendadas, a dissertação foi **APROVADA** por unanimidade, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL**, na área de concentração em **Estruturas e Materiais de Construção** pela Universidade Federal de Goiás. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do programa da versão definitiva da dissertação, com as devidas correções. A Banca Examinadora recomenda a publicação de artigo científico, oriundo dessa dissertação em periódicos de circulação nacional e, ou, internacional, depois de procedidas às modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades de pauta, às 16h30min a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de dissertação e para constar eu, Tancredo Elvis Santos Silva, secretário do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, lavrei a presente Ata que depois de lida e aprovada, será assinada pelos membros da Banca Examinadora em três vias de igual teor.


Tancredo Elvis Santos Silva
Secretário


Prof. Dr. Gilson Natal Guimarães
Presidente – EEC/UFG


Prof. Dr. André Luiz B. Geyer
Membro – EEC/UFG


Profª. Drª. Maria Elizabeth da N. Tavares
Membro – UERJ

Ao meu Deus pela sua graça dispensada a mim.

Ao meu esposo pelo amor e companheirismo.

A minha mãe e meu irmão.

AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus e Pai por tudo que tem feito na minha vida, pela forma que tem conduzido os meus dias, pela sustentação a minha vida acadêmica e profissional, e pela renovação das minhas forças na concretização deste trabalho.

Ao meu esposo amado, Antônio Paulo, por todo amor, paciência, companheirismo, compreensão e dedicação que ele tem me dado nesses anos de convivência e em especial durante essa jornada acadêmica, além de toda ajuda durante a realização dos meus ensaios.

A minha mãe, Ercina, pelo exemplo de vida que me impulsionou a lutar pelos meus objetivos, e pelo seu apoio incondicional durante as minhas incertezas e dificuldades. Ao meu irmão pela amizade, carinho, companheirismo e pela convivência durante esses anos de vida.

Ao professor Gilson por ter sido o meu orientador, pelos seus ensinamentos acadêmicos, pela sua didática ao me ensinar de forma clara e objetiva, pela sua paciência, dedicação diária, amizade e apoio que na conclusão deste trabalho apesar de todas as dificuldades e cansaço.

Ao professor Ronaldo, que é um exemplo de dedicação, pelos seus ensinamentos e cobranças que foram essenciais para o meu crescimento acadêmico, pelo seu sorriso e descontração quando me via trabalhando arduamente no laboratório de estruturas. Aos demais professores pelos ensinamentos e paciência que tiveram comigo neste retorno acadêmico. A todos os funcionários da Escola de Engenharia, em especial ao Tancredo, Agnaldo, Manoel e Mário.

Ao amigo Raphael Miranda pela amizade formada com o convívio diário no laboratório e pela sua ajuda incondicional na realização dos meus ensaios - sem ele eu não teria conseguido.

A Ana Paula Vaz pela amizade que surgiu entre nós durante o mestrado, pelas nossas conversas durante o convívio no mestrado e fora dele, pelo seu apoio nos momentos difíceis e o incentivo nas horas de desânimo.

Ao amigo Eulher e a Keyla pela convivência acadêmica nestes últimos anos. Aos colegas contemporâneos, em especial a Poliana, Davi, Fábio, Ariovaldo, Diórgenes e Murilo, pela ajuda e apoio na realização dos meus ensaios.

A CNPQ e a FUNAPE que contribuíram financeiramente com a minha bolsa e na realização dos ensaios experimentais. As empresas Carlos Campos Consultoria Ltda pelo apoio na realização dos ensaios dos corpos de prova e a Concreteira Realmix pelo fornecimento e prontidão nas concretagens. A FR Incorporadora Ltda por ter permitido que eu me ausentasse do trabalho algumas vezes nos últimos meses para a finalização deste trabalho.

“O princípio da sabedoria é o temor a Deus.”

Rei Salomão

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE TABELAS	18
LISTA DE ABREVIATURAS	21
LISTA DE SÍMBOLOS	24
RESUMO	27
ABSTRACT	28
1. INTRODUÇÃO	29
1.1 JUSTIFICATIVA	31
1.2 OBJETIVO	32
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	33
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	34
2.1 CLASSIFICAÇÃO DOS PAVIMENTOS DE ACORDO COM A ESTRUTURA	35
2.1.1 Pavimentos flexíveis	36
2.1.2 Pavimentos semi-rígidos ou semiflexíveis	36
2.1.3 Pavimentos rígidos	37
2.2 AVALIAÇÃO DOS PAVIMENTOS	37
2.3 PAVIMENTOS RÍGIDOS USUAIS	39
2.3.1 Pavimento rígido em concreto simples	39
2.3.2 Pavimento rígido em concreto armado	40
2.3.3 Pavimento em concreto protendido	43
2.3.4 Pavimento em concreto com adição de fibras	44
2.3.5 Whitetopping	44
2.4 FISSURAÇÃO E PATOLOGIAS EXISTENTES NO PAVIMENTO DE CONCRETO	46
2.4.1 Tipos de fissuração	47
2.4.2 Patologias dos pavimentos de concreto	48
2.5 JUNTAS	51

2.5.1	<i>Classificação das juntas</i>	52
2.5.2	<i>Mecanismos de transferência</i>	53
2.5.3	<i>Selagem das juntas</i>	56
2.6	FUNDAÇÃO	59
2.6.1	<i>Camada de suporte dos pavimentos rígidos</i>	59
2.6.2	<i>Camada de borracha</i>	60
2.7	MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO PARA PAVIMENTOS	69
2.7.1	<i>Westergaard</i>	70
2.7.2	<i>Losberg</i>	71
2.7.3	<i>Metodologias: PCA e AASHTO</i>	74
2.8	PUBLICAÇÕES RECENTES	79
2.8.1	<i>Walker & Holland (1998)</i>	79
2.8.2	<i>Mannava, Bush e Kukreti (1999)</i>	80
2.8.3	<i>Eddie, Shalaby e Rizkalla (2001)</i>	81
2.8.4	<i>Shoukry, William, Ria & Motamarri (2003)</i>	83
2.8.5	<i>Rodrigues (2003)</i>	86
2.8.6	<i>Costa (2004)</i>	87
2.8.7	<i>Silva (2005)</i>	88
2.8.8	<i>Tertuliano (2005)</i>	88
2.8.9	<i>Fleury (2006)</i>	90
2.8.10	<i>Rodrigues (2008)</i>	92
3.	METODOLOGIA	95
3.1	MODELO EXPERIMENTAL	95
3.1.1	<i>Detalhamento das placas</i>	95
3.1.2	<i>Nomenclatura adotada para as placas</i>	96
3.2	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	98
3.2.1	<i>Concreto</i>	98
3.2.2	<i>Barras de transferência</i>	100
3.2.3	<i>Camada de borracha</i>	100
3.3	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	101
3.3.1	<i>Placas de concreto – confecção, execução da junta serrada e transporte</i>	101

3.3.2	<i>Camada de suporte e posicionamento da placa de concreto</i>	103
3.3.3	<i>Esquema de ensaio</i>	104
3.3.4	<i>Instrumentação</i>	106
3.3.5	<i>Realização dos ensaios</i>	109
4.	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	110
4.1	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	110
4.1.1	Concreto	110
4.1.2	Aço	111
4.1.3	Camada de borracha	112
4.2	COMPORTAMENTO DAS PLACAS	113
4.2.1	<i>Fissuração</i>	113
4.2.2	<i>Modos de ruptura</i>	115
4.2.3	<i>Cargas: máxima de ensaio, fissuração da junta serrada e de ruptura</i>	119
4.3	RELAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS	120
4.3.1	<i>Carga x deslocamento nas juntas</i>	120
4.3.2	<i>Carga aplicada x carga na base de borracha</i>	129
4.3.3	<i>Carga x deformação para extensômetros no aço</i>	138
4.3.4	<i>Carga x deformação para extensômetros no concreto</i>	140
4.3.5	<i>Deslocamentos verticais</i>	142
5.	ANÁLISE DOS RESULTADOS	147
5.1	CARGAS DE FISSURAÇÃO, ESCOAMENTO E MÁXIMA DE TRANSFERÊNCIA	147
5.1.1	<i>Carga de fissuração (P_{fiss})</i>	148
5.1.2	<i>Carga de escoamento (P_y)</i>	150
5.1.3	<i>Carga máxima de transferência (P_{trans})</i>	151
5.2	PARÂMETROS DE RELAÇÃO ENTRE AS PLACAS	152
5.2.1	<i>Eficiência das juntas</i>	152
5.2.2	<i>Carga x deformação das barras</i>	156
5.2.3	<i>Deslocamento vertical</i>	161
5.2.4	<i>Carga x deformação do concreto</i>	172

5.3	TRANSFERÊNCIA DOS ESFORÇOS E REAÇÕES DA CAMADA DE SUPORTE	175
5.3.1	<i>Resultantes experimentais</i>	176
5.3.2	<i>Resultantes teóricas</i>	177
5.4	PROFUNDIDADE DA JUNTA SERRADA	188
6.	CONCLUSÕES E SUGESTÕES	192
6.1	CONCLUSÕES	192
6.2	SUGESTÕES	195
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	196
	APÊNDICE A	205
	APÊNDICE B	231
	APÊNDICE C	246
	APÊNDICE D	248

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. 1	Estradas brasileiras construídas com pavimentos rígidos: (a) Estrada Rio-Petrópolis (1920); (b) Rodovia SE-430 - Aracajú/SE, construída após a década de 90	30
Figura 2. 1	Cargas aplicadas em um pavimento	35
Figura 2. 2	Camadas que compõem o pavimento: (a) flexível; (b) rígido	36
Figura 2. 3	Distribuição de carga nos pavimentos rígidos e flexíveis	38
Figura 2. 4	Pavimento concreto simples com junta de retração: (a) sem barra de transferência; (b) contendo barras de transferência	40
Figura 2. 5	Pavimento rígido: (a) com armadura distribuída descontínua sem função estrutural; (b) continuamente armado; (c) estruturalmente armado	41
Figura 2. 6	Perfil whitetopping	45
Figura 2. 7	Rodovias recuperadas com whitetopping (a) Rodovia SP-79/103; (b) Rodovia BR-290 (Free Way).	46
Figura 2. 8	Tendência de empenamento da placa durante o dia e noite	49
Figura 2. 9	Barra de transferência circular	54
Figura 2. 10	Espaçador do tipo caranguejo	54
Figura 2. 11	Principais tipos de falhas no sistema selante-junta	57
Figura 2. 12	Comportamento real do solo	59
Figura 2. 13	Exemplo de um equipamento usado na medição da dureza	61
Figura 2. 14	Medição da dureza: (a) Durômetro; (b) Amostra	62
Figura 2. 15	Gráfico dureza x amostra da borracha utilizada na fundação	63
Figura 2. 16	Aparelho de compressão: (a) Vista longitudinal; (b) Corte transversal	64
Figura 2. 17	Equipamentos para ensaios à compressão da borracha: (a) Máquina universal de ensaios de materiais à compressão; (b) Máquina usada por Rodrigues (2008)	66
Figura 2. 18	Esquema do ensaio de compressão	66
Figura 2. 19	Gráfico tensão x deslocamento vertical da borracha	67
Figura 2. 20	Posições de carregamento	70
Figura 2. 21	Padrão de fissuração, segundo Losberg, depois da ruptura na superfície das placas G1 e G2	
Figura 2.22	Comportamento dos dispositivos de transferência de carga antes e após	78

	a contração segundo Walker e Holland (1998)	
Figura 2. 23	Representação do programa experimental de Mannava, Bush e Kukreti (1999)	79
Figura 2.24	Configuração do ensaio de laboratório (planta baixa e corte longitudinal) do ensaio de Eddie, Shalaby e Rizkalla (2001)	80
Figura 2. 25	Esquema de Ensaio de Shoukry, William, Ria & Motamarri (2003)	83
Figura 2.26	Realização do ensaio de Shoukry, William, Ria & Motamarri (2003)	84
Figura 3. 1	Detalhe das placas (dimensões em mm)	95
Figura 3.2	Exemplo de nomenclatura das placas	96
Figura 3.3	Fornecimento de concreto usinado pela Realmix	97
Figura 3.4	Moldagem dos corpos de prova cilíndricos	97
Figura 3. 5	Seqüência do “slump test”	98
Figura 3. 6	Moldagem de vigas 150 mm x 150 mm x 500 mm	98
Figura 3. 7	Ensaio de tração na flexão	98
Figura 3. 8	Barra de transferência redonda $\varnothing$ 12,5mm (l_{BT} = 500, 400 e 300 mm)	99
Figura 3. 9	Vista superior do ensaio da camada de borracha	100
Figura 3. 10	Formas metálicas preparadas para a concretagem	100
Figura 3. 11	Concretagem, adensamento e nivelamento	101
Figura 3. 12	Superfície regularizada com régua (a) e cura úmida (b)	101
Figura 3. 13	Execução de junta serrada	101
Figura 3. 14	Sistema de transporte das placas	102
Figura 3. 15	Posicionamento das células de carga na camada de borracha	103
Figura 3. 16	Posicionamento da placa de concreto na base de borracha: (a) Posicionamento da Lona, (b) Argamassa de regularização, (c) Assentamento da placa de concreto	103
Figura 3. 17	Esquema de ensaio (vista lateral)	104
Figura 3. 18	Atuador hidráulico Yellow Power (Capacidade 300 kN)	105
Figura 3. 19	Vista lateral do esquema de ensaio utilizado e da leitora digital usada na leitura da carga aplicada de carga	105
Figura 3. 20	Detalhe da viga de reação	106
Figura 3. 21	Posição (planta) dos deflectômetros na placa	107
Figura 3. 22	Extensômetros elétricos para aço (a) e concreto (b)	
Figura 3. 23	Posição dos extensômetros de aço na barra de transferência	
Figura 3. 24	Posicionamento dos extensômetros de concreto na lateral da placa	108

Figura 4. 1	Tensão x deformação da barra de transferência $\square \square 12,5$ mm	110
Figura 4.2	Gráfico da tensão x deslocamento para obtenção do coeficiente de recalque	111
Figura 4.3	Corpo-de-prova da borracha: (a) estado inicial; (b) depois de comprimido	112
Figura 4.4	Momento da fissuração nas placas sem barra de transferência	113
Figura 4.5	Momento da fissuração das placas da série 2 contendo barras de transferência	113
Figura 4.6	Etapas da fissuração da placa C20-12B	113
Figura 4.7	Fissuração da placa A30-12B40 contendo barra de transferência de 400 mm: (a) fissuração na lateral à esquerda da junta; (b) fissuração na lateral à direita da junta	114
Figura 4. 8	Levantamento das bordas externas da placa A30-12B40	115
Figura 4. 9	Fissuração nos dois lados da placa A30-12SB	116
Figura 4.10	Gráfico carga x deslocamento na junta do ensaio C20-16SB	120
Figura 4.11	Gráfico carga x deslocamento na junta do ensaio C20-12SB	121
Figura 4.12	Gráfico carga x deslocamento na junta do ensaio C30-12SB	121
Figura 4.13	Gráfico carga x deslocamento na junta do ensaio A30-12SB	122
Figura 4.14	Gráfico carga x deslocamento na junta do ensaio C20-16B50	123
Figura 4.15	Gráfico carga x deslocamento na junta do ensaio C20-12B50	123
Figura 4.16	Gráfico carga x deslocamento na junta do ensaio C30-12B50	124
Figura 4.17	Gráfico carga x deslocamento na junta do ensaio A30-12B50	124
Figura 4. 18	Gráfico carga x deslocamento na junta do ensaio C20-16B40	125
Figura 4. 19	Gráfico carga x deslocamento na junta do ensaio C20-12B40	125
Figura 4. 20	Gráfico carga x deslocamento na junta do ensaio A30-12B40	126
Figura 4. 21	Gráfico carga x deslocamento na junta do ensaio C20-16B30	126
Figura 4. 22	Gráfico carga x deslocamento na junta do ensaio C20-12B30	127
Figura 4. 23	Gráfico carga x deslocamento na junta do ensaio A30-12B30	127
Figura 4. 24	Gráfico carga aplicada x carga na base de borracha C20-16SB	129
Figura 4. 25	Gráfico carga aplicada x carga na base de borracha C20-12SB	129
Figura 4. 26	Gráfico carga aplicada x carga na base de borracha C30-12SB	130
Figura 4. 27	Gráfico carga aplicada x carga na base de borracha A30-12SB	130

Figura 4. 28	Gráfico carga aplicada x carga na base de borracha C20-16B50	131
Figura 4. 29	Gráfico carga aplicada x carga na base de borracha C20-12B50	132
Figura 4. 30	Gráfico carga aplicada x carga na base de borracha C30-12B50	132
Figura 4. 31	Gráfico carga aplicada x carga na base de borracha A30-12B50	133
Figura 4. 32	Gráfico carga aplicada x carga na base de borracha C20-16B40	134
Figura 4. 33	Gráfico carga aplicada x carga na base de borracha C20-12B40	134
Figura 4. 34	Gráfico carga aplicada x carga na base de borracha A30-12B40	135
Figura 4. 35	Gráfico carga aplicada x carga na base de borracha C20-16B30	135
Figura 4. 36	Gráfico carga aplicada x carga na base de borracha C20-12B30	136
Figura 4. 37	Gráfico carga aplicada x carga na base de borracha A30-12B30	136
Figura 4.38	Posicionamento e identificação dos extensômetros no aço	137
Figura 4.39	Gráfico carga aplicada x deformação no aço da placa C20-12B50	138
Figura 4.40	Gráfico carga aplicada x deformação no aço da placa C20-16B50	138
Figura 4.41	Gráfico carga aplicada x deformação no aço da placa A30-12B40	139
Figura 4.42	Posicionamento dos extensômetros no concreto	140
Figura 4.43	Extensômetro de concreto – Placa C20-12SB	140
Figura 4.44	Gráfico carga aplicada x deformação do concreto da placa A30-12B40	141
Figura 4.45	Levantamento das bordas no ensaio da placa A30-12B40	142
Figura 4.46	Posição dos deflectômetros na placa (mm)	142
Figura 4.47	Deformada da placa C20-16SB	143
Figura 4.48	Deformada da placa C20-16SB antes da fissuração	144
Figura 4.49	Deformada da Placa A30-12B40	145
Figura 4.50	Deformada da Placa A30-12B40 antes da fissuração	145
Figura 5.1	Eficiência x carga aplicada – placas sem barra de transferência	152
Figura 5.2	Eficiência x carga aplicada – placas com barra de transferência de 500 mm	153
Figura 5.3	Eficiência x carga aplicada – placas com barra de transferência de 400 mm	154
Figura 5.4	Eficiência x carga aplicada – placas com barra de transferência de 300 mm	154
Figura 5.5	Carga x deformação do aço das placas com barras de 500 mm	156
Figura 5.6	Carga x deformação do aço das placas com barras de 400 mm	157
Figura 5.7	Carga x deformação do aço das placas com barras de 300 mm	157

Figura 5.8	Carga x deformação do aço nas placas em concreto convencional de 20 MPa e espessura de 160 mm	158
Figura 5.9	Carga x deformação do aço nas placas em concreto convencional de 20 MPa e espessura de 120 mm	158
Figura 5.10	Carga x deformação do aço nas placas em concreto 30 MPa e espessura de 120 mm	159
Figura 5.11	$P/P_{\text{máx}}$ x deslocamento vertical das placas sem barras de transferência	160
Figura 5.12	$P/P_{\text{máx}}$ x deslocamento vertical das placas com barras de 500 mm	161
Figura 5.13	$P/P_{\text{máx}}$ x deslocamento vertical das placas com barras de 400 mm	162
Figura 5.14	$P/P_{\text{máx}}$ x deslocamento vertical das placas com barras de 300 mm	162
Figura 5.15	$P/P_{\text{máx}}$ x deslocamento vertical das placas em concreto convencional de 20 MPa e espessura de 160 mm (C20-16)	163
Figura 5.16	$P/P_{\text{máx}}$ x deslocamento vertical das placas em concreto convencional de 20 MPa e espessura de 120 mm (C20-12)	163
Figura 5.17	$P/P_{\text{máx}}$ x deslocamento vertical das placas em concreto convencional 30 MPa e espessura de 120 mm (C30-12)	164
Figura 5.18	$P/P_{\text{máx}}$ x deslocamento vertical das placas em concreto auto-adensável de 30MPa e espessura de 120 mm (A30-12)	164
Figura 5.19	Carga x deformação do concreto das placas sem barras	172
Figura 5.20	Carga x deformação do concreto das placas com barras de transferência	172
Figura 5.21	Carga x deformação do concreto - placas em concreto convencional 20 MPa	173
Figura 5.22	Carga x deformação do concreto - placas em concreto de 30 MPa	174
Figura 5.23	Comprimentos L_u e L_L das resultantes experimentais	176
Figura 5.24	Forças atuantes consideradas na determinação da resultante triangular	177
Figura 5.25	Forças atuantes consideradas na determinação da resultante parabólica	178
Figura 5.26	Gráfico R_u teórico x R_u experimental – placa C20-16SB	179
Figura 5.27	Gráfico R_u teórico x R_u experimental – placa C20-16B50	179
Figura 5.28	Gráfico R_u teórico x R_u experimental – placa C20-16B40	180
Figura 5.29	Gráfico R_u teórico x R_u experimental – placa C20-16B30	180
Figura 5.30	Gráfico R_u teórico x R_u experimental – placa C20-12SB	181
Figura 5.31	Gráfico R_u teórico x R_u experimental – placa C20-12B50	181
Figura 5.32	Gráfico R_u teórico x R_u experimental – placa C20-12B40	182

Figura 5.33	Gráfico R_u teórico x R_u experimental – placa C20-12B30	182
Figura 5.34	Gráfico R_u teórico x R_u experimental – placa C30-12SB	183
Figura 5.35	Gráfico R_u teórico x R_u experimental – placa C30-12B50	183
Figura 5.36	Gráfico R_u teórico x R_u experimental – placa A30-12SB	184
Figura 5.37	Gráfico R_u teórico x R_u experimental – placa A30-12B50	184
Figura 5.38	Gráfico R_u teórico x R_u experimental – placa A30-12B40	185
Figura 5.39	Gráfico R_u teórico x R_u experimental – placa A30-12B30	185
Figura 5.40	Tensões atuantes na seção da junta transversal: (a) Desenho esquemático da junta serrada; (b) Tensões atuantes com aderência parcial entre a barra e o concreto; (c) Tensões atuantes com aderência entre a barra e o concreto	188
Figura 5.41	Gráfico carga aplicada x deformação no aço das placas C20-12B50, A30-12B30 e A30-12B40	189
Figura B.1	Gráfico carga aplicada x deformação no aço da placa C30-12B50	229
Figura B.2	Gráfico carga aplicada x deformação no aço da placa A30-12B50	229
Figura B.3	Gráfico carga aplicada x deformação no aço da placa C20-16B40	230
Figura B.4	Gráfico carga aplicada x deformação no aço da placa C20-12B40	230
Figura B.5	Gráfico carga aplicada x deformação no aço da placa C20-16B30	230
Figura B.6	Gráfico carga aplicada x deformação no aço da placa C20-12B30	231
Figura B.7	Gráfico carga aplicada x deformação no aço da placa A30-12B30	231
Figura B.8	Gráfico carga aplicada x deformação do concreto da placa C20-16SB	231
Figura B.9	Gráfico carga aplicada x deformação do concreto da placa C20-12SB	232
Figura B.10	Gráfico carga aplicada x deformação do concreto da placa C30-12SB	232
Figura B.11	Gráfico carga aplicada x deformação do concreto da placa A30-12SB	232
Figura B.12	Gráfico carga aplicada x deformação do concreto da placa C20-16B50	233
Figura B.13	Gráfico carga aplicada x deformação do concreto da placa C20-12B50	233
Figura B.14	Gráfico carga aplicada x deformação do concreto da placa C30-12B50	233
Figura B.15	Gráfico carga aplicada x deformação do concreto da placa A30-12B50	234
Figura B.16	Gráfico carga aplicada x deformação do concreto da placa C20-16B40	234
Figura B.17	Gráfico carga aplicada x deformação do concreto da placa C20-12B40	234
Figura B.18	Gráfico carga aplicada x deformação do concreto da placa C20-16B30	235
Figura B.19	Gráfico carga aplicada x deformação do concreto da placa C20-12B30	235
Figura B.20	Gráfico carga aplicada x deformação do concreto da placa A30-12B30	235

Figura B. 21	Gráfico deformada da placa C20-12SB	236
Figura B. 22	Gráfico deformada da placa C20-12SB – antes da fissuração	236
Figura B. 23	Gráfico deformada da placa C30-12SB	236
Figura B. 24	Gráfico deformada da placa C30-12SB – antes da fissuração	237
Figura B. 25	Gráfico deformada da placa A30-12SB	237
Figura B. 26	Gráfico deformada da placa A30-12SB – antes da fissuração	237
Figura B. 27	Gráfico deformada da placa C20-16B50	238
Figura B. 28	Gráfico deformada da placa C20-16B50 – antes da fissuração	238
Figura B. 29	Gráfico deformada da placa C20-12B50	238
Figura B. 30	Gráfico deformada da placa C20-12B50 – antes da fissuração	239
Figura B. 31	Gráfico deformada da placa C30-12B50	239
Figura B. 32	Gráfico deformada da placa C30-12B50 – antes da fissuração	239
Figura B. 33	Gráfico deformada da placa A30-12B50	240
Figura B. 34	Gráfico deformada da placa A30-12B50 – antes da fissuração	240
Figura B. 35	Gráfico deformada da placa C20-16B40	240
Figura B. 36	Gráfico deformada da placa C20-16B40 – antes da fissuração	241
Figura B. 37	Gráfico deformada da placa C20-12B40	241
Figura B. 38	Gráfico deformada da placa C20-12B40 – antes da fissuração	241
Figura B. 39	Gráfico deformada da placa C20-16B30	242
Figura B. 40	Gráfico deformada da placa C20-16B30 – antes da fissuração	242
Figura B. 41	Gráfico deformada da placa C20-12B30	242
Figura B. 42	Gráfico deformada da placa C20-12B30 – antes da fissuração	243
Figura B. 43	Gráfico deformada da placa A30-12B30	243
Figura B. 44	Gráfico deformada da placa A30-12B30 – antes da fissuração	243
Figura C.1	Representação dos comprimentos L_u e L_L	244

LISTA DE TABELAS

Tabela 2. 1	Espessura da placa x parâmetros da barra de transferência (BT)	55
Tabela 2. 2	Características das amostras do ensaio de compressão de Rodrigues (2008)	67
Tabela 3. 1	Nomenclatura e características das placas de concreto	96
Tabela 3. 2	Relação dos ensaios de caracterização do concreto	98
Tabela 4. 1	Resultados dos ensaios de caracterização do concreto	109
Tabela 4. 2	Crítérios de parada dos ensaios e possíveis modos de ruptura	117
Tabela 4.3	Cargas: P_{fiss} , P_y , P_{trans} , $P_{máx}$, P_{final}	119
Tabela 4.4	Valores máximos das deformações do aço	139
Tabela 5. 1	Comparativos entre as cargas da placas	147
Tabela 5. 2	Deslocamentos em ordem crescente da extremidade no lado não carregado das placas ensaiadas nas três cargas de referência	165
Tabela 5. 3	Deslocamentos em ordem crescente da extremidade no lado carregado das placas ensaiadas nas três cargas de referência	166
Tabela 5. 4	Deslocamentos das extremidades das placas sem barra de transferência nas cargas de referência	167
Tabela 5. 5	Deslocamentos das extremidades do lado não carregado nas placas com barra de transferência nas juntas nas cargas de referência	168
Tabela 5. 6	Deslocamentos das extremidades do lado carregado das placas com barra de transferência nas juntas nas cargas de referência	169
Tabela 5. 7	Deslocamentos das extremidades sem barra e com barra de 500 mm nas placas C30 e C20 nas cargas de referência	170
Tabela 5. 8	Resultantes teóricas e experimental do lado não carregado ($Q=40,10kN$)	186
Tabela 5. 9	Resultantes teóricas e experimental do lado não carregado ($Q=117kN$)	186
Tabela A. 1	Dados do ensaio de coeficiente de recalque antes da realização do primeiro ensaio (04/06/2008)	204
Tabela A. 2	Leituras dos deflectômetros - placa C20-16SB (08/06/2007)	204
Tabela A. 3	Leituras dos deflectômetros - placa C20-16B50 (13/06/2007)	205
Tabela A. 4	Leituras dos deflectômetros - placa C20-16B40 (21/06/2007)	205
Tabela A. 5	Leituras dos deflectômetros - placa C20-16B30 (20/07/2007)	206
Tabela A. 6	Leituras dos deflectômetros - placa C20-12SB (17/08/2007)	207
Tabela A. 7	Leituras dos deflectômetros - placa C20-12B50 (10/08/2007)	207
Tabela A. 8	Leituras dos deflectômetros - placa C20-12B40 (02/08/2007)	208
Tabela A. 9	Leituras dos deflectômetros - placa C20-12B30 (26/07/2007)	208
Tabela A.10	Leituras dos deflectômetros - placa C30-12SB (11/09/2007)	209

Tabela A.11	Leituras dos deflectômetros - placa C30-12B50 (14/09/2007)	209
Tabela A.12	Leituras dos deflectômetros - placa A30-12SB (25/09/2007)	209
Tabela A.13	Leituras dos deflectômetros - placa A30-12B50 (28/09/2007)	210
Tabela A.14	Leituras dos deflectômetros - placa A30-12B40 (08/10/2007)	210
Tabela A.15	Leituras dos deflectômetros - placa A30-12B30 (11/10/2007)	211
Tabela A.16	Leituras das células de carga e eficiência da placa C20-16SB	212
Tabela A.17	Leituras das células de carga e eficiência da placa C20-16B50	213
Tabela A.18	Leituras das células de carga e eficiência da placa C20-16B40	213
Tabela A.19	Leituras das células de carga e eficiência da placa C20-16B30	214
Tabela A.20	Leituras das células de carga e eficiência da placa C20-12SB	215
Tabela A.21	Leituras das células de carga e eficiência da placa C20-12B50	215
Tabela A.22	Leituras das células de carga e eficiência da placa C20-12B40	216
Tabela A.23	Leituras das células de carga e eficiência da placa C20-12B30	216
Tabela A.24	Leituras das células de carga e eficiência da placa C30-12SB	217
Tabela A.25	Leituras das células de carga e eficiência da placa C30-12B50	217
Tabela A.26	Leituras das células de carga e eficiência da placa A30-12SB	218
Tabela A.27	Leituras das células de carga e eficiência da placa A30-12B50	218
Tabela A.28	Leituras das células de carga e eficiência da placa A30-12B40	218
Tabela A.29	Leituras das células de carga e eficiência da placa A30-12B30	219
Tabela A.30	Leituras dos extensômetros no ensaio da placa C20-16SB	220
Tabela A.31	Leituras dos extensômetros no ensaio da placa C20-16B50	221
Tabela A.32	Leituras dos extensômetros no ensaio da placa C20-16B40	221
Tabela A.33	Leituras dos extensômetros no ensaio da placa C20-16B30	222
Tabela A.34	Leituras dos extensômetros no ensaio da placa C20-12SB	223
Tabela A.35	Leituras dos extensômetros no ensaio da placa C20-12B50	223
Tabela A.36	Leituras dos extensômetros no ensaio da placa C20-12B40	224
Tabela A.37	Leituras dos extensômetros no ensaio da placa C20-12B30	224
Tabela A.38	Leituras dos extensômetros no ensaio da placa C30-12SB	225
Tabela A.39	Leituras dos extensômetros no ensaio da placa C30-12B50	225
Tabela A.40	Leituras dos extensômetros no ensaio da placa A30-12SB	226
Tabela A.41	Leituras dos extensômetros no ensaio da placa A30-12B50	226
Tabela A.42	Leituras dos extensômetros no ensaio da placa A30-12B40	226
Tabela A.43	Leituras dos extensômetros no ensaio da placa A30-12B30	227

Tabela C.1	Deslocamentos da placa C20-12B30 na carga de 117 kN	244
Tabela C.2	Leituras das células de carga e comprimentos L_u e L_L da placa C20-12B30 na carga de 117 kN	244
Tabela D.1	Traço dos concretos utilizados nos ensaios experimentais	245
Tabela D.2	Teor de argamassa dos concretos utilizados nos ensaios experimentais	246

LISTA DE ABREVIATURAS

A30	Placa em concreto autoadensável com resistência característica à compressão de 30 MPa
A30-12	Placa em concreto autoadensável com resistência característica à compressão de 30 MPa e espessura de 120 mm
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABEDA	Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACPA	American Concrete Paviment Association
ASTM	American Association for Testing and Materials
CBR	Califórnia Bearing Ratio
CPTP	Concrete Pavement Technology Program
BT	Barra de transferência
C1	Célula de carga posicionada na placa de borracha no lado não carregado na posição intermediária
C2	Célula de carga posicionada na placa de borracha no lado não carregado abaixo da junta serrada
C20	Placa em concreto convencional com resistência característica à compressão de 20 MPa
C20-12	Placa em concreto convencional com resistência característica à compressão de 20 MPa e espessura de 120 mm
C20-16	Placa em concreto convencional com resistência característica à compressão de 20 MPa e espessura de 160 mm
C3	Célula de carga posicionada na placa de borracha no lado carregado abaixo da junta serrada
C30	Placa em concreto convencional com resistência característica à compressão de 30 MPa
C30-12	Placa em concreto convencional com resistência característica à compressão de 30 MPa e espessura de 120 mm

C4	Célula de carga posicionada na placa de borracha no lado carregado na posição intermediária
CBR	Índice de Suporte Califórnia
CESET	Centro Superior de Educação Tecnológica
CON	Concretagem
CP	Corpo de Prova
D	Deflectômetro
DER	Departamento de Estradas e Rodagens
DER/PR	Departamento de Estradas e Rodagens do Estado do Paraná
DNER	Departamento Nacional de Estradas e Rodagens
DNIT	Departamento Nacional de Infra Estrutura e Transportes
EA	Extensômetro de aço
EA1-inf	Extensômetro de aço posicionado na seção inferior da barra de transferência de número 1
EA1-sup	Extensômetro de aço posicionado na seção superior da barra de transferência de número 1
EA2-inf	Extensômetro de aço posicionado na seção inferior da barra de transferência de número 2
EA2-sup	Extensômetro de aço posicionado na seção superior da barra de transferência de número 2
EC	Extensômetro de concreto
EC1	Extensômetro de concreto posicionado na face superior no lado carregado
EC2	Extensômetro de concreto posicionado na face inferior no lado carregado
EC3	Extensômetro de concreto posicionado na face inferior no lado não carregado
EC4	Extensômetro de concreto posicionado na face superior no lado não carregado
EEC	Escola de Engenharia Civil
EPS	Poliestireno Expandido
EPUSP	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
ESAL	Cargas equivalentes por eixo simples
ES-P	Especificações de Serviços Rodoviários do Estado do Paraná
ET	Estudo Técnico

EUA	Estados Unidos da América
G	Placas armadas usadas nos ensaios de Losberg (G1 e G2)
GFRP	Glass Fiber-reinforced Polymer
IBRACON	Instituto Brasileiro do Concreto
IP	Instrução de Projeto
IPR	Instituto de Pesquisas Rodoviárias
ISCP	International Society for Concrete Pavements
JS	Junta Serrada
LN	Linha neutra
MG	Estado de Minas Gerais
MT	Estado do Mato Grosso
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
PCA	Portland Cement Association
PCC	Portland Cement Concrete
PE	Estado de Pernambuco
PEA	Pavimento em concreto estruturalmente armado
PETROBRÁS	Petróleo Brasileiro S. A.
PMSP	Prefeitura Municipal de São Paulo
PR	Prática Recomendada
PSI	Present Serviceability Index
RETEC/BA	Rede da Tecnologia da Bahia
RJ	Estado do Rio de Janeiro
RS	Estado do Rio Grande do Sul
SBRT	Serviço Brasileiro de Resposta Técnica
SE	Estado de Sergipe
SP	Estado de São Paulo
UFG	Universidade Federal de Goiás
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
V	Velocidade dos veículos

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolos romanos:

A	Área
A_s	Área de aço
b	Base da seção
C	Deformação permanente a compressão ou taxa de compressão
c	Constante referente à forma de distribuição da reação
C_c	Tensão normal de compressão no concreto
C_d	Coeficiente de drenagem
C_L	Leitura da célula de carga C3 localizada no lado carregado da junta;
C_s	Tensão normal de compressão no aço
C_u	Leitura da célula de carga C2 localizada no lado não carregado da junta
d	Deslocamento vertical
D'	Diâmetro das amostras dos lençóis de borracha
D_f	Dureza final dos lençóis de borracha após o aquecimento
D_i	Dureza inicial dos lençóis de borracha
d_L	Deslocamento da placa do lado carregado.
d_U	Deslocamento da placa do lado descarregado;
E	Eficiência da junta
E_c	Módulo de elasticidade do concreto aos 28 dias
E_s	Módulo de elasticidade da barra
F	Força
f_c	Resistência média à compressão
f_{c28}	Resistência média à compressão aos 28 dias
f_{ck}	Resistência característica à compressão
f_{ct}	Resistência média à tração por compressão diametral
f_{ct28}	Resistência média à tração por compressão diametral aos 28 dias
f_{tf}	Resistência à tração na flexão
f_{tf28}	Resistência à tração na flexão aos 28 dias
h	Espessura

h'	Altura das amostras dos lençóis de borracha
$h/2$	Espessura média
I	Momento de inércia
k	Módulo de Reação ou Coeficiente de Recalque
k'	Coeficiente de recalque ou módulo de Westergaard
l_{BT}	Comprimento da barra de transferência
L_L	Comprimento da placa do lado não carregado que estava apoiado na fundação
L_u	Comprimento da placa do lado não carregado que estava apoiado na fundação
M_R	Módulo Resiliente
N_{dias}	Idade da placa no dia do ensaio.
P_{final}	Carga final
P_{fiss}	Cargas de fissuração
$P_{fiss,SB}$	Carga de fissuração nas placas sem barra
$P_{máx}$	Cargas máximas de ensaio
P_{trans}	Carga máxima de transferência
$P_{trans(SB)}$	Carga máxima de transferência nas placas sem barra
P_y	Cargas de escoamento das barras
Q	Carga
q	Reação da fundação
q_L	Resultante triangular da fundação no lado carregado da placa
q_u	Resultante triangular da fundação no lado não carregado da placa
$R^1_{L,teo}$	Resultante teórica do método triangular no lado carregado
$R^1_{u,teo}$	Resultante teórica do método triangular no lado não carregado
$R^2_{L,teo}$	Resultante teórica do método parabólico no lado carregado
$R^2_{u,teo}$	Resultante teórica do método parabólico no lado não carregado
$R_{L,exp}$	Resultante experimental do lado carregado
$R_{u,exp}$	Resultante experimental do lado não carregado
σ_o	Tensão normal de compressão
T_c	Tensão normal de tração no concreto
t_e	Espessura do espaçador
t_f	Espessura final
t_i	Espessura inicial
T_s	Tensão normal de tração no aço

Símbolos gregos:

ρ	Taxa de armadura (porcentagem da área de aço em relação ao concreto)
$\varnothing$	Diâmetro da barra de transferência
ε	Deformação específica
ε_c	Deformação específica do concreto
$\varepsilon_{s-máx}$	Deformação máxima do aço
ε_y	Deformação específica de escoamento do aço
γ_c	Peso específico do concreto
θ	Rotação devido ao momento
σ_{adm}	Tensão admissível
τ_o	Tensão cisalhante

RESUMO

A junta faz parte do processo construtivo do pavimento de concreto. Na sua execução a seção de concreto localizada abaixo dela fica enfraquecida e acaba se tornando o ponto mais vulnerável do pavimento onde podem surgir as possíveis patologias que venham a afetar a sua resistência e durabilidade. Apesar da importância que a junta possui na vida útil do pavimento de concreto este assunto é pouco explorado, e por isso se tornou o objeto principal deste estudo. Este trabalho é um estudo experimental das juntas serradas em pavimento rígido de concreto com avaliação da transferência de esforços cisalhantes através das juntas serradas. O programa experimental constou de ensaios de quatorze placas em concreto simples com junta serrada, e adoção das seguintes variáveis: presença de barra de transferência lisa de Ø 12,5mm, variação do comprimento das barras de transferência (500 mm, 400 mm e 300 mm), variação da espessura das placas (120 mm e 160 mm), variação da resistência característica à compressão do concreto (20 MPa e 30 MPa) e do tipo de concreto utilizado (convencional e autoadensável). Essas placas foram apoiadas sobre camadas de borracha natural e ensaiadas com aplicação de carregamento estático em um dos lados da junta até a ruptura da placa. Os resultados mostraram que: o uso de barras de transferência nessas juntas aumenta a eficiência na transferência de esforços; o aumento na espessura da placa aumenta a capacidade resistente da junta, a eficiência na transferência de esforços e possuem menores deslocamentos da placa durante a aplicação do carregamento; as barras com tamanho reduzido são eficientes, mas as barras de 400 mm apresentam resultados próximos ao da barra em tamanho comercial, 500 mm; as placas em concreto autoadensável após a fissuração praticamente não apresentam contribuição do concreto na transferência de esforços pelo intertravamento dos agregados; a profundidade da junta serrada tem influência no modo de ruptura da placa e relação de aderência entre a barra de transferência e o concreto.

Palavras chaves: Juntas serradas, mecanismos de transferência, esforços cisalhantes, pavimentos rígidos.

ABSTRACT

The joint is part of the constructive process of the rigid pavement. In its implementation the section of concrete located below it is weakened and eventually becoming the most vulnerable of the pavement can arise where the possible diseases that may affect their strength and durability. Despite the importance that the joint has in the life of the rigid pavement it is not exploited, and therefore became the main subject of this study. This work is an experimental study of the sawed joint in rigid pavement of concrete with evaluation of the transference of shear strength through the saweds joints. The experimental program consisted of test of fourteen simple concrete plates with sawed joint, and adoption of the following variable: presence of smooth dowel of Ø 12,5mm, variation of the length of dowel (500 mm, 400 mm and 300 mm), variation of the thickness of the plates (120 mm and 160 mm), variation of the strength to the compression of the concrete (20 MPa and 30 MPa) and of the type of used concrete (conventional and autoadensável). These plates had been supported on natural and assayed rubber layers with static shipment application in one of the sides of the together one until the rupture of the plate. The results had shown that: the use of dowel in these meetings increases the efficiency in the transference of efforts; the increase in the thickness of the plate increases the resistant capacity of the together one, the efficiency in the transference of efforts and possessss minors displacements of the plate during the application of the shipment; the dowel with reduced size are efficient, but the bars of 400 mm present resulted next to the one to the bar in commercial size, 500 mm; the plates in autoadensável concrete after the fissuration practically do not present contribution of the concrete in the transference of efforts for the intertravamento of aggregates; the sawed joint depth of the together one has influence in the way of rupture of the plate and tack relation enters the bar of transference and concret.

Keywords: Sawed joint, transfer mechanism, shear strength, rigid pavements.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A pavimentação tem a sua história remetida aos primórdios da humanidade e passa pelo povoamento dos continentes, conquistas territoriais, urbanização e desenvolvimento, tendo como objetivo cobrir o terreno para que haja uma melhora no fluxo das pessoas, animais e veículos de transporte.

A partir dessa funcionalidade o pavimento rígido foi criado como um sistema construtivo de alta durabilidade, indicado para rodovias de tráfego pesado e intenso. Ele surge em 1889 nos EUA e passa desde então a ser uma alternativa moderna, competente, racional, eficaz, técnica e economicamente na construção das rodovias e vias urbanas.

O Brasil foi um dos primeiros países a utilizar esse tipo de pavimento em suas estradas, contudo essa cultura foi se perdendo após a década de 40 devido aos efeitos da Segunda Guerra Mundial. Nesse período foi observada uma queda na produção do cimento e devido a sua disponibilidade as obras com pavimentos rígidos sofreram sensível decréscimo com a escassez do seu principal material e ao consequente desgaste do maquinário. Também nesse período os esforços e o uso do cimento passaram a se concentrar em obras prioritárias, e principalmente militares, como campos de aviação. Logo após a guerra e com os subsídios do asfalto como uma nova tecnologia de pavimentação, a indústria de cimento esteve voltada ao crescimento imobiliário, principalmente nas décadas de 70 e 80.

Essa cultura no uso de pavimentos rígidos voltou a ser reativada nos anos 90 com a busca de novos sistemas construtivos, pesquisas e elaboração de normas no dimensionamento desse pavimento, estudos de materiais que possam ser usados na cura, além das técnicas construtivas que permitam a liberação rápida do tráfego, ajudando assim a desenvolver todo o segmento em torno da pavimentação em concreto.

Nas rodovias brasileiras, o interesse e o uso do pavimento rígido também têm aumentado nos últimos anos por causa da experiência existente em relação aos pavimentos flexíveis que vem demonstrando uma grande dificuldade em relação a sua durabilidade, e a altos custos de manutenção e com a eficiência devido ao nosso tráfego pesado e clima tropical. Por isso, o estado precário em que se encontram nossas rodovias, atenta cada vez

mais para a necessidade de um pavimento mais resistente e que não precise de tanta manutenção.

Na primeira fase da pavimentação rígida no Brasil, entre as décadas de 20 a 70, as suas principais obras foram: nos anos 20 - Caminhos do Mar (SP), Estradas Rio-Petrópolis (RJ) e Itaipava-Teresópolis (RJ); nos anos 40 - Aeroportos no Nordeste, Aeroportos Santos Dumont (RJ) e Congonhas (SP), Avenida Edson Passos (RJ), Rodovias Anchieta e Anhanguera (SP); nos anos 50 - Vias urbanas no Rio de Janeiro, estradas em Pernambuco e na Paraíba; nos anos 60 - Estrada Rio-Teresópolis (RJ), vias urbanas em Porto Alegre (RS); nos anos 70 - Interligação Anchieta-Imigrantes (SP), Rodovia dos Imigrantes (SP), Rodovia Sapucaia-Gravataí (RS), aeroporto do Galeão (RJ). A partir da segunda fase várias estradas importantes com pavimento de concreto foram construídas, tais como: Rodovia dos Imigrantes (São Paulo/SP), Rodoanel Mário Covas (São Paulo/SP), Rodovia MT-130 (Primavera do Leste/MT); Rodovia BR-232 (Recife-Caruaru/PE), Rodovia BR-290 Freeway (Porto Alegre-Osório/RS) e III Perimetral (Porto Alegre/RS), entre outras obras.



Figura 1. 1 – Estradas brasileiras construídas com pavimentos rígidos: (a) Estrada Rio-Petrópolis (1920); (b) Rodovia SE-430-Aracajú/SE, construída após a década de 90

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, ABCP. **Uma história de sucesso: ABCP 70 anos.** 1ª Edição. São Paulo, 2006. 48 p.

Dessa forma esse tipo de pavimento tem sido cada vez mais comum e além das estradas e rodovias ele tem sido vastamente aplicado na construção de pisos industriais, estacionamentos e pistas de aeroportos.

1.1 JUSTIFICATIVA

O pavimento rígido possui inúmeras vantagens sobre o pavimento flexível. O seu material básico é o cimento Portland, que além de ser de fabricação nacional utiliza matérias primas existentes no Brasil; possui grande durabilidade devido às propriedades estruturais do seu principal componente, o cimento, tais como: elevada resistência mecânica ao desgaste e impermeabilidade; é resistente à ação de chuva e do sol, além de não formar trilha de roda e buracos, podendo garantir elevada durabilidade à estrutura e maior conforto ao usuário.

Além disso, o uso de pavimento rígido é seguro, porque garante boa aderência, maior visibilidade (devido à reflexão) e maior distância de freagem dos veículos, (até 40% menor em relação ao pavimento asfáltico) principalmente em dias de chuva. Essa velocidade de escoamento da água na superfície do concreto é superior à do asfalto, o que dá ao pavimento de concreto uma melhor resistência a derrapagem por hidroplanagem. Em relação à segurança, o motorista fica menos sujeito a acidentes, já que o pavimento de concreto não apresenta buracos, irregularidades e obras de restauração na pista.

Contudo essa grande durabilidade do pavimento rígido pode ser prejudicada pelo surgimento de fissuras. Para evitá-las devem ser executadas juntas ao longo do pavimento induzindo o surgimento dessas fissuras nessas seções enfraquecidas. Por outro lado as juntas acabam sendo o ponto mais vulnerável do pavimento rígido, aonde ocorrem às maiores patologias de natureza estrutural, é por isso que existe uma tendência de se efetuar projetos com quantidade cada vez menor de juntas.

O estudo das juntas tem sido cada vez mais necessário devido à previsão de grandes tensões nos pavimentos geradas pelos elevados carregamentos, o que acaba gerando maiores tensões nas juntas e deformações dos pisos. Dessa forma é preciso conhecer as alternativas que aumentam a eficiência nas transferências de carga, podendo ser adoção de dispositivos de transferência de carga colocados entre as placas de concreto, espessamento das bordas das placas, aumento da capacidade de suporte da sub-base.

Outro fator que tem sido largamente estudado consiste no uso do pavimento rígido como piso industrial, o qual deve ter as características citadas acima, bem como atender a mais algumas necessidades especiais, como: tipo e características do tráfego, nível de abrasão, manutenção, higienização e planicidade.

Essa última necessidade está ligada à qualidade superficial do piso o que garante o desempenho, garante um tráfego suave dos equipamentos e facilita a instalação de equipamentos para o sistema de armazenagem (NOVAIS, D.; 2007). Uma forma de se obter

essa planicidade com o uso do concreto convencional se dá através de um rigoroso processo de aplicação, distribuição, espalhamento, sarrafeamento e flotação do concreto.

Para atender a planicidade, o concreto autoadensável é uma nova tecnologia que além de garantir grande trabalhabilidade permite que as superfícies executadas com ele sejam lisas, sem imperfeições e planas sem a necessidade do uso de equipamentos como ocorre quando se usa concretos convencionais.

O estudo proposto da transferência de esforços cisalhantes em juntas nas lajes de concreto executadas com a mesma espessura, mesma resistência característica a compressão, variando apenas o tipo de concreto, é para verificar se o comportamento será similar nesses dois tipos de concreto utilizado.

1.2 OBJETIVO

Esse estudo experimental tem como objetivo principal estudar a transferência dos esforços cisalhantes nas juntas serradas de pavimentos rígidos, avaliando o comportamento estrutural das placas de concreto através dos ensaios realizados. Os objetivos específicos são:

1. Estudar a eficiência das juntas serradas na transferência de esforços cisalhantes;
2. Estudar a capacidade das barras em tamanho reduzido (400 mm e 300 mm) na transferência dos esforços e comparar os seus resultados com os das barras em tamanho comercial (500 mm);
3. Estudar a influência da espessura da placa na transferência de esforços;
4. Estudar a influência da variação de resistência do concreto na transferência dos esforços;
5. Estudar a diferença de comportamento entre as placas em concreto convencional e em concreto autoadensável.

Para isso foram ensaiadas 14 placas de pavimento rígido com a execução de junta serrada executada no meio da placa, com a adoção das seguintes variações:

- Resistência à compressão do concreto (20 e 30 MPa);
- Espessura das placas (120 mm e 160 mm);
- Variação no comprimento das barras de transferência (500 mm, 400 mm e 300 mm);
- Tipo de concreto adotado (convencional e autoadensável).

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está dividido em seis capítulos e quatro apêndices. O primeiro capítulo apresenta a introdução do estudo mostrando as vantagens dos pavimentos rígidos e a importância do estudo das juntas no comportamento estrutural das placas de concreto.

No segundo capítulo é apresentada a revisão bibliográfica dos pavimentos mais usuais, ressaltando o pavimento rígido; os estudos existentes sobre junta serrada e as características do concreto autoadensável; bem como os métodos utilizados no dimensionamento dos pavimentos rígidos, incluindo prescrições normativas e análise da capacidade de suporte da fundação.

No terceiro capítulo referente à metodologia, são descritos os procedimentos e métodos utilizados nos ensaios experimentais. No capítulo quatro, está a apresentação dos resultados obtidos através de gráficos, ilustrações e tabelas. No quinto capítulo os resultados obtidos são analisados e comparados entre si. Já as conclusões obtidas e as sugestões de trabalhos futuros são apresentadas no capítulo seis.

Os anexos e apêndices foram introduzidos no trabalho apresentando dados, tabelas e cálculos que permitem uma melhor elucidação dos capítulos apresentados. Na referência bibliográfica estão as consultas citadas e feitas no desenvolvimento dessa pesquisa.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Atualmente o pavimento é uma das estruturas que estão mais presentes no nosso dia-a-dia, seja em nossas casas, ruas, rodovias, aeroportos, indústrias, etc. A sua utilização ocorre de acordo com a função e aplicabilidade desejada para cada tipo de pavimento existente, sendo geralmente esperado que esses pavimentos possuam as seguintes finalidades e aplicabilidades:

- Estrutural e funcional proporcionando um tráfego seguro e cômodo;
- Proteção do solo contra a ação das intempéries;
- Suportar o carregamento aplicado na superfície proveniente do tráfego e transmiti-lo ao solo de modo que a estrutura não seja danificada;
- Melhorar as condições de rolamento proporcionando comodidade e segurança aos usuários;
- Resistir aos esforços horizontais tornando mais durável possível a superfície de rolamento.

O pavimento é uma estrutura construída sobre o solo, após os serviços de terraplanagem, por meio de camadas de vários materiais de diferentes características de resistência e deformabilidade. Dessa forma, essa estrutura deve resistir simultaneamente aos esforços horizontais e aos verticais que são aplicados por uma carga de veículo Q a qual se desloca sobre o revestimento existente a uma velocidade V , fazendo com que o pavimento fique sujeito às tensões normais de compressão (σ_o) e cisalhante (τ_o) (Figura 2.1).

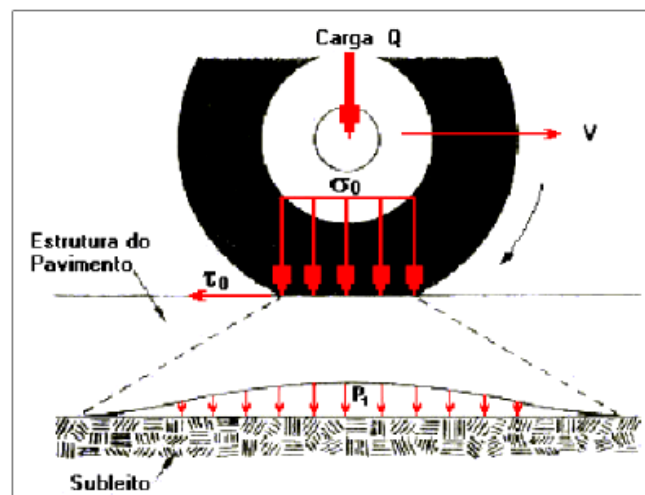


Figura 2.1 - Cargas aplicadas em um pavimento

Fonte: MULLER, Rodrigo Menegaz. **Avaliação de Transmissão de Esforços em Pavimentos Intertravados de Blocos de Concreto**. 2005. 234 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

As camadas que compõem o pavimento devem resistir tanto aos esforços oriundos do tráfego de veículos quanto aos do clima, diluindo a tensão vertical aplicada na superfície de tal forma que o subleito receba uma parcela bem menor dessa tensão vertical. Já a tensão horizontal aplicada na superfície exige do pavimento que haja uma coesão mínima do seu revestimento suportando assim a parcela devida ao esforço de cisalhamento (SOUZA, M. L., 1980 apud MULLER, R. M., 2005).

2.1 CLASSIFICAÇÃO DOS PAVIMENTOS DE ACORDO COM A ESTRUTURA

Os pavimentos se diferem de acordo com o número de camadas existentes na sua confecção, bem como pelo modo de transmissão de cargas do pavimento ao solo e pela forma que as tensões são distribuídas nas camadas subjacentes. Por simplificação, os pavimentos são classificados de acordo com a sua estrutura em pavimentos flexíveis, semirrígidos (ou semiflexíveis) e rígidos.

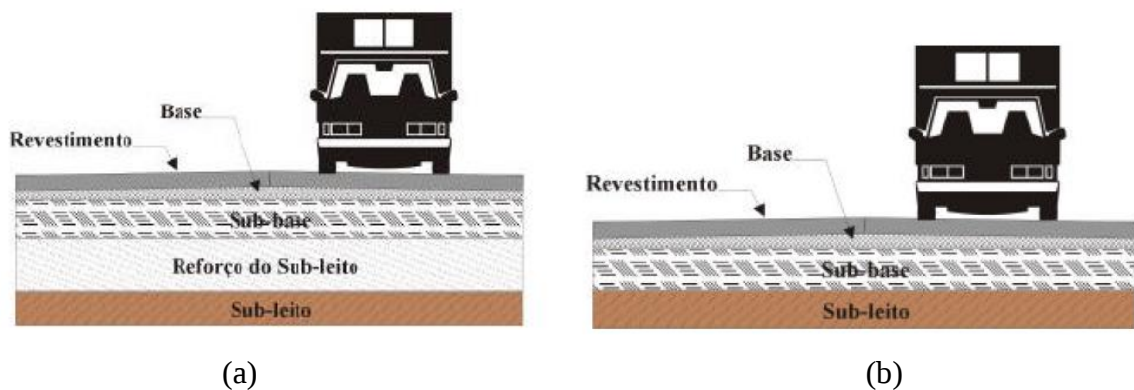


Figura 2. 2 – Camadas que compõem o pavimento: (a) flexível; (b) rígido

Fonte: RODRIGUES, Lezzir Ferreira. **Comportamento Estrutural de Placas de Concreto Apoiadas sobre Base Granular**. 2003. 249 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

2.1.1 Pavimentos Flexíveis

O pavimento flexível é formado por uma camada de rolamento executada em concreto asfáltico, conhecido também por concreto betuminoso, sobre camadas granulares. As camadas desse tipo de pavimento sofrem deformação elástica significativa sob carregamento aplicado com a carga sendo distribuída em parcelas aproximadamente equivalente nas camadas que o compõe.

A disposição das camadas desses pavimentos, de acordo com Suzuki (2008), ocorre de tal maneira que seus respectivos módulos de elasticidade ou rigidez sejam progressivamente decrescentes com a profundidade (Figura 2. 2-a). Sendo que a camada superior, executada em concreto asfáltico, é destinada a resistir às ações do tráfego e transmiti-las de forma atenuada às camadas inferiores; impermeabilizar o pavimento; e, deve melhorar as condições de rolamento fornecendo conforto e segurança ao usuário. Já a fundação composta basicamente por três camadas (base, sub-base e reforço do subleito) deve absorver o carregamento devido ao tráfego.

2.1.2 Pavimentos Semirrígidos ou Semiflexíveis

O pavimento semirrígido ou semiflexível é considerado como uma situação intermediária em relação aos pavimentos rígidos e flexíveis. Esse pavimento é formado por três camadas: revestimento, base e sub-base. O revestimento é constituído por uma camada asfáltica, o qual é assentado sobre uma base que possua uma razoável resistência à tração e

que seja constituída de materiais tratados como cimento de rigidez elevada, ou por composições que fornecem uma base cimentada como solo-cimento, solo-cal e brita graduada tratada com cimento. A sub-base por sua vez é constituída por materiais granulares não tratados.

2.1.3 Pavimentos Rígidos

O pavimento rígido de concreto, que possui simultaneamente as finalidades de revestimento e base, é constituído por uma estrutura que redistribui os esforços e é formada por placas de concreto estrutural de cimento Portland, armadas ou não assentes sobre o solo de fundação ou sub-base intermediária. A camada de rolamento funciona como estrutura redistribuindo os esforços e diminuindo a tensão imposta à sub-base, que, normalmente, é a única camada executada entre as placas de concreto e o subleito.

Esse pavimento é dotado de elevado módulo de rigidez, sendo pouco deformado. A distribuição da carga aplicada tende a cobrir uma extensa área de solo, embora grande parte das solicitações seja suportada pelas placas que compõem o pavimento (Figura 2. 2-b). Por esta razão variações no suporte da fundação do pavimento rígido não influenciam tanto em sua resistência, pois a camada de revestimento possui uma rigidez muito superior à das camadas inferiores, absorvendo praticamente todas as tensões provenientes da passagem do tráfego.

2.2 AVALIAÇÃO DOS PAVIMENTOS

De acordo com Danieleski (2004) a serventia de um bom pavimento está relacionada ao propósito para o qual o pavimento foi construído, que é o de proporcionar um rolamento suave, confortável e seguro suportando satisfatoriamente as cargas do tráfego e garantindo uma interface segura entre pneu-pavimento tanto no rolamento quanto na frenagem e, tem boa aparência.

Para avaliar essas condições de uso de um pavimento é preciso aferir tanto as condições funcionais como as estruturais, identificando as patologias ou defeitos presentes na superfície do pavimento. A avaliação funcional de um pavimento analisa as condições de degradação, dos custos operacionais dos veículos e do desempenho, correlacionando o conforto ao rolamento do pavimento e englobando o conceito dos usuários quanto ao nível de serviço fornecido pelo pavimento.

Já a avaliação estrutural verifica a capacidade de carga do pavimento e avalia a adequação estrutural dos pavimentos. Esse tipo de avaliação consiste no cálculo das respostas da estrutura à passagem das cargas de tráfego na forma de tensões, deformações e deflexões nos pontos críticos da estrutura de modo que se possa avaliar sua capacidade de resistir aos mecanismos de degradação provocada pela ação repetida das cargas de tráfego (RODRIGUES, 1995 apud MULLER, R. M., 2005).

Nos últimos anos, devido às condições de uso e de segurança em que se encontram as rodovias no Brasil, a avaliação estrutural dos pavimentos usuais tem merecido uma atenção especial. Segundo Muller (2005) uma correta determinação da condição estrutural é de grande e fundamental importância para a aplicação de métodos mecanístico-empíricos de projeto de pavimentos novos ou de reforços.

Estruturalmente os pavimentos rígidos e flexíveis possuem características bem diferentes e se distinguem pela forma de atuação de cada um deles e pela vida útil que é determinada no pavimento flexível pela fadiga e no pavimento rígido pela deformação permanente. O comportamento estrutural desses pavimentos é apresentado na Figura 2. 3, sendo que no caso do pavimento flexível o carregamento proveniente do tráfego é transferido para a fundação com pequena distribuição de carga em parcelas equivalentes entre as suas camadas que sofrem deformações elásticas apresentando grande pressão na fundação do pavimento. Já no pavimento rígido a camada de revestimento possui grande rigidez em relação ao seu suporte transferindo a carga aplicada na superfície da placa por uma área extensa do solo, dessa forma, a maior parte da capacidade estrutural é dada pela própria placa de concreto com uma grande distribuição da carga e apresentando pequena pressão na fundação do pavimento.

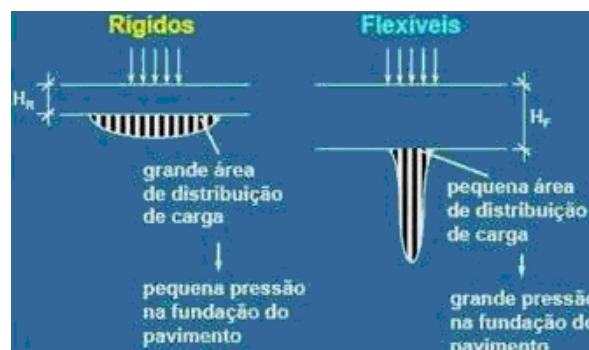


Figura 2. 3 - Distribuição de carga nos pavimentos rígidos e flexíveis

Fonte: ANDRADE, Mário Henrique Furtado. **Noções de Projeto de Dimensionamento de Pavimentos**. Notas de Aula: TT 402-Transportes B. Pavimentação. Universidade Federal do Paraná.

2.3 PAVIMENTOS RÍGIDOS USUAIS

Os pavimentos rígidos constituem alternativas viáveis na construção de rodovias com vantagens devido à sua durabilidade e segurança ao usuário ela requer uma espessura menor da fundação, proporciona maior vida útil e maior facilidade de manutenção, gerando custos compatíveis com o pavimento flexível quando são levados em consideração todos os custos diretos e indiretos de manutenção em relação à vida útil de uma estrada. Esse tipo de pavimento pode ser construído em: concreto simples, concreto armado, concreto protendido, concreto com adição de fibras ou whitetopping.

2.3.1 *Pavimento Rígido em Concreto Simples*

É o pavimento constituído de placas de concreto de cimento Portland, não possuindo aço sob a forma de armadura distribuída, mas podendo conter dispositivos de transferência de esforços nas juntas como, por exemplo, as barras de transferência. Esse pavimento é apoiado diretamente sobre a fundação, nos quais os esforços, tanto de compressão como de tração, são resistidos apenas pelo concreto. As placas de concreto são separadas por juntas de retração ou contração, que são devidamente executadas com o objetivo de aliviar as tensões de tração causadas pela retração do concreto, empenamento da placa e pela dilatação térmica, controlando assim a fissuração que surge devido à inexistência de armadura.

Devido à exposição da placa de concreto à ação do ar, variação de temperatura e possíveis variações de umidade é necessário que o concreto usado na confecção das placas sofra o mínimo de retração possível e que tenha resistência suficiente para a absorção dos esforços oriundos do carregamento.

Nos pavimentos rígidos em concreto simples sem o uso de dispositivos de transferência de esforços como, por exemplo, as barras de transferência, o intertravamento entre os agregados do concreto funciona como mecanismo de transferência de esforços entre os dois lados da junta após a fissuração. Nesse caso para que a transferência de carga seja efetiva há a necessidade de diminuir o espaçamento entre as juntas e variar a espessura das placas entre 100 mm a 200 mm (Figura 2. 4-a).

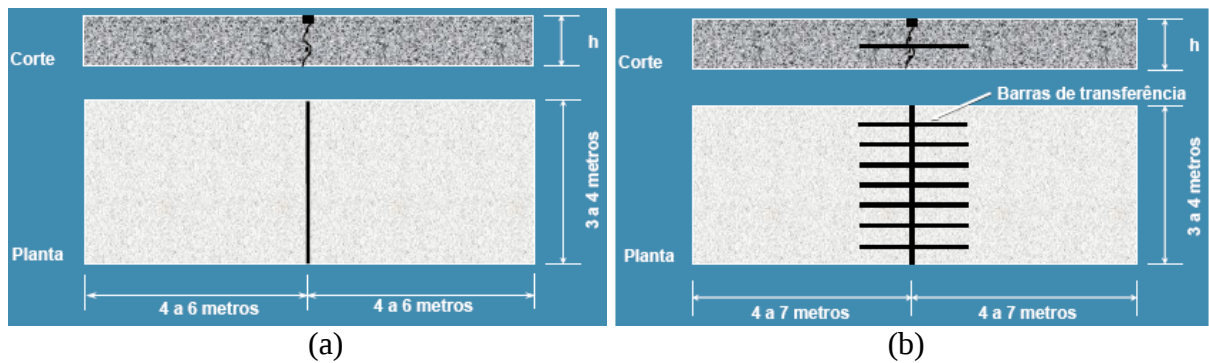


Figura 2. 4 - Pavimento concreto simples com junta de retração: (a) sem barra de transferência; (b) contendo barras de transferência

Fonte: ANDRADE, Mário Henrique Furtado. **Noções de Projeto de Dimensionamento de Pavimentos**. Notas de Aula: TT 402-Transportes B. Pavimentação. Universidade Federal do Paraná.

O pavimento rígido em concreto simples contendo barras de transferência é o tipo de pavimento mais usado nos aeroportos (Figura 2. 4-b). A presença desse tipo de dispositivo de transferência de esforços nas juntas propicia a transferência de cargas entre as placas de concreto, fazendo com que o deslocamento vertical das placas seja reduzido aumentando assim a eficiência do sistema. As barras de transferência são posicionadas na espessura média da placa ($h/2$) e colocadas nas juntas de retração e as espessuras desses pavimentos podem variar de 180 mm a 500 mm.

O espaçamento recomendado entre as juntas transversais nos pavimentos em concreto simples deve ser de quatro a seis metros, não excedendo oito metros, e a largura pode variar de três a quatro metros. O método PCA/1984 ainda recomenda que seja necessário diminuir o espaçamento entre as juntas para que haja a devida transferência de carga.

Segundo Silva (2005), no Brasil tem sido empregado com maior assiduidade pavimentos com barras de transferência em vias com maior volume de tráfego. Esse tipo de pavimento tem em média de 160 mm a 450 mm de espessura e suas dimensões podem chegar a sete metros.

2.3.2 *Pavimento Rígido em Concreto Armado*

O pavimento rígido em concreto armado é constituído por um conjunto de placas de concreto armado apoiadas sobre a fundação. Esse pavimento pode ser subdividido em: pavimento com armadura descontínua; pavimento continuamente armado; pavimento estruturalmente armado (PEA).

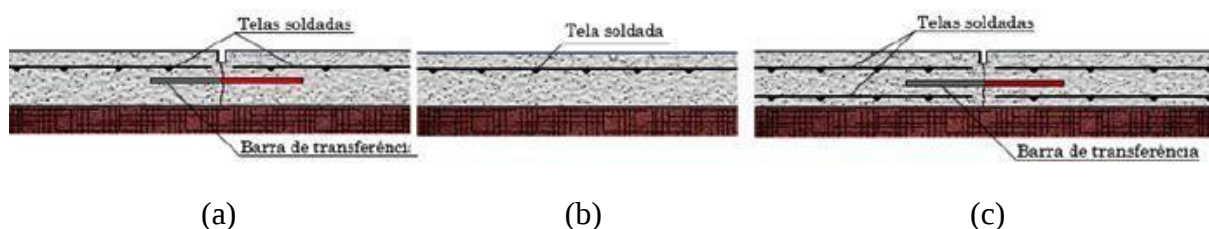


Figura 2. 5 – Pavimento rígido: (a) com armadura distribuída descontínua sem função estrutural; (b) continuamente armado; (c) estruturalmente armado

Fonte: OLIVEIRA, Patrícia Lizi. **Projeto Estrutural de Pavimentos Rodoviários e de Pisos Industriais de Concreto**. 2000. 216 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2000.

PAVIMENTO EM CONCRETO COM ARMADURA DESCONTÍNUA

A armadura descontínua distribuída (Figura 2. 5-a) nesse tipo de pavimento é destinada exclusivamente para combater a fissuração oriunda da retração do concreto, diminuindo assim o número de juntas. Essa armadura não possui função estrutural, visto que absorve pouco ou praticamente nenhum esforço gerado pelo carregamento.

Quando ocorre a formação de fissuras no pavimento em concreto armado com armadura descontínua, as mesmas permanecem fechadas devido à presença da armadura garantindo a transferência dos esforços entre as placas.

A armadura descontínua é posicionada a 50 mm da superfície superior do concreto e é detida em cada junta transversal ou longitudinal do pavimento e as placas podem ser de até de 30.000 mm de comprimento e mais de 6.000 mm de largura, porém a dimensão mais usual é de placas com 15.000 mm de comprimento.

PAVIMENTO EM CONCRETO CONTINUAMENTE ARMADO

Esse pavimento, conhecido também como pavimento com armadura distribuída, é o pavimento de concreto armado mais comum nos EUA e em alguns países da Europa. A armadura contínua tem a única função de controlar a fissuração do concreto (Figura 2. 5-b) sendo distribuída em toda sua extensão, ligando fortemente as faces das fissuras que surgem pela inexistência de juntas transversais intermediárias de expansão ou contração.

O fechamento dessas fissuras é necessário para que não ocorra o esborcinamento, que é a ruptura pelas bordas, e o “punchouts” (destacamento), que é a formação de trincas interligadas, como se fossem em blocos que acabam destacando-se do pavimento (RODRIGUES & GASPARETTO, 1999).

A grande vantagem desse pavimento está no fato dele não precisar de juntas transversais e, dependendo do método de execução, também não ser necessário executar juntas longitudinais as quais são onerosas para construção e manutenção. São necessárias apenas as juntas de construção, executadas ao término de um ciclo de trabalho ou quando as faixas de rolamento são construídas separadamente.

O pavimento continuamente armado, corretamente projetado, desenvolve espaçamentos com regularidade e fissuras transversais estreitas de 1.000 mm a 3.000 mm de intervalos. Esse pavimento acaba desenvolvendo fissuras igualmente espaçadas e com abertura máxima calculada em projeto, pois não possuem juntas de retração. Dessa forma, segundo (ACI 325.5R, 1989 apud RODRIGUES, L. F., 2003) o pavimento resultante é composto por uma série de placas curtas, firmemente unidas pelo reforço longitudinal proporcionado pela armadura.

As taxas de armadura nesse tipo de pavimento variam de 0,5% a 1% para a armadura longitudinal, e cerca de 0,05% a 0,10% para armadura transversal. Para esses pavimentos usados nos aeroportos as taxas de armadura que variam de 0,5% a 1,0% para a armadura longitudinal e cerca de 0,05% a 0,10% para a armadura transversal (ACI 325.5R, 1989 apud RODRIGUES, L. F., 2003).

PAVIMENTO EM CONCRETO ESTRUTURALMENTE ARMADO (PEA)

Nos demais pavimentos em concreto (simples, com armadura descontínua e armadura contínua) a responsabilidade de combater as tensões geradas pelo carregamento é do concreto, porém no pavimento em concreto estruturalmente armado (PEA) essa responsabilidade é do aço posicionado na face inferior da placa onde são desenvolvidas as maiores tensões de tração (Figura 2. 5-c).

A grande vantagem do PEA é a redução da espessura da placa de concreto possibilitando assim um maior espaçamento entre as juntas. Entretanto, com a redução do volume de concreto ocorre a fissuração devido à retração hidráulica ou pela secagem do concreto, a qual passa a ser combatida com a utilização de uma armadura superior. Dessa forma o sistema de armadura dupla acaba permitindo um maior aumento no comprimento e uma maior redução na espessura da placa, além de um maior espaçamento entre as juntas. No PEA, o uso das armaduras traz as seguintes vantagens:

- Permite a obtenção de estruturas extremamente delgadas;

- Fornece extrema versatilidade permitindo que nas regiões mais solicitadas, como as juntas ou bordas livres, possam quando necessário, ser reforçadas com armaduras complementares (RODRIGUES, L. F., 2003);
- Possibilita o uso dos dispositivos de transferência de esforços nas juntas para que a placa seja considerada única, estruturalmente falando.

Segundo Rodrigues (2003), o controle das deformações no PEA passa a ser feito não apenas pela espessura da placa, mas também pela variação da taxa de armadura. Isso ocorre, porque com a espessura reduzida, a seção de concreto armado irá trabalhar fissurada, havendo assim uma redução no momento de inércia e na taxa de armadura ρ (porcentagem da área de aço em relação ao concreto). O momento de inércia e a taxa de armadura são proporcionais, e as suas reduções implicam na diminuição do raio de rigidez e, conseqüentemente do momento fletor atuante aumentando assim as deformações. Esse fato é particularmente importante no dimensionamento dos pavimentos rodoviários utilizando o PEA, pois nesse caso a frequência dos carregamentos é muito elevada.

Como o pavimento de concreto estruturalmente armado trabalha exclusivamente à compressão é possível que seja utilizado na confecção do concreto agregados que não possuam boa qualidade, sendo possível o emprego de agregados como seixo rolado, arenitos, basaltos e outros que apresentam baixo desempenho no concreto simples.

O uso desse pavimento na Suécia nas décadas de 40 e 50 foi bastante empregado na construção dos aeródromos civis e militares, e aos poucos ele vem retomando o seu lugar na pavimentação, com expressivas obras na área industrial e aeroportos privados (RODRIGUES, P. P. F., 2003). No Brasil, a partir de 1998, esse tipo de pavimento tem se tornado cada vez mais frequente com aplicações principalmente nos parques industriais e aeroportos privados, além do uso frequente nas vias urbanas, onde tem sido considerado proveitoso devido à redução da espessura e conseqüente ganho na economia das obras.

2.3.3 Pavimento em Concreto Protendido

O pavimento em concreto protendido é empregado quando existe tráfego pesado e sua aplicação se dá principalmente em aeródromos, aeroportos (pistas e pátios) e pisos industriais pesados. No pavimento rígido de concreto protendido a resistência do concreto à tração é controlada pela protensão que comprime previamente o concreto, criando nele uma

reserva de tensão que permite uma redução sensível na espessura da placa. A placa comprimida é praticamente impermeável e sem trincas.

Os pavimentos de concreto protendido apresentam ainda a vantagem de as juntas poderem ser espaçadas de até cento e cinquenta metros, sendo que nos Estados Unidos já foi possível chegar a um espaçamento de duzentos e trinta metros. Por outro lado a grande dificuldade está na sua execução que é mais sofisticada do que para os demais pavimentos em concreto. No Brasil esse tipo de pavimento foi empregado com experiências bem sucedidas nas seguintes obras: construção de uma das pistas do Aeroporto Internacional do Galeão, no Rio de Janeiro e, pátio de estacionamento de aviões do aeroporto Afonso Pena, na região metropolitana de Curitiba em 1996.

2.3.4 Pavimento em Concreto com Adição de Fibras

Esse tipo de pavimento é composto por um concreto reforçado com o uso de fibras, possuindo na sua composição cimento, água, agregados miúdos, agregados graúdos, água e a fibra que é misturada durante o processo de produção.

O concreto contendo fibras, que podem ser de aço, plástico (nylon ou polipropileno) ou carbono, possui maior resistência à fissuração, ao impacto e ao desgaste. Além disso, as fibras possuem a finalidade de inibir a abertura das fissuras, bem como sua propagação, e que, devido esse controle de fissuração, o material apresenta capacidade de deformar absorvendo esforços, característica de ductilidade (CARNIO, 1998 apud SILVA, R. B., 2005).

Nos pavimentos assim como em outros elementos estruturais, o uso da fibra possibilita a redistribuição dos esforços, sendo possível o seu uso em substituição às armaduras de flexão. Outra característica dos pavimentos com fibra é o aumento de 50% a 100% da distância entre as juntas de dilatação, se comparado com outros pavimentos executados em concreto convencional.

2.3.5 Whitetopping

O Whitetopping, do termo inglês “cobertura branca”, surgiu em 1918 nos Estados Unidos e tornando-se mais usual nas décadas seguintes e, posteriormente, passando a ser difundido em outros países como México e Suécia. Essa técnica simples consiste na aplicação de uma camada de concreto sobre os pavimentos flexíveis que podem ser recuperados com o propósito de reabilitá-los ampliando assim a sua vida útil (Figura 2. 6).

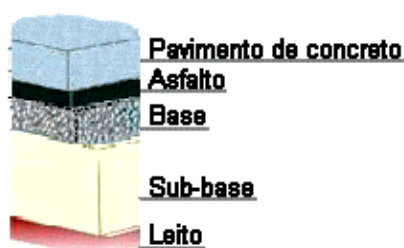


Figura 2. 6 – Perfil whitetopping

Fonte: OLIVEIRA, Patrícia Lizi. **Projeto Estrutural de Pavimentos Rodoviários e de Pisos Industriais de Concreto**. 2000. 216 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2000.

Segundo Balbo & Pitta (1999) a durabilidade, tecnologia do produto, técnicas modernas e simplificadas de construção e desempenho de longo prazo dão ao whitetopping competitividade, não somente no ciclo de vida, mas no próprio custo inicial de construção.

Essa tecnologia pode ser aplicada para resolver todos os problemas apresentados nos pavimentos asfálticos, de simples buracos a defeitos como "trilha de rodas" ou "trincas couro de crocodilo", sendo que em torno de 90% dos casos, o whitetopping pode ser utilizado sem necessidade de qualquer tratamento prévio (BALBO; J. T.; PITTA, M. R., 1999). Contudo, quando o pavimento flexível apresenta danos severos e deterioração contínua, devido ao tráfego pesado ou ao meio ambiente agressivo, é importante sanar primeiramente as irregularidades da superfície existente com uma camada asfáltica nivelante antes do lançamento do pavimento rígido superposto.

A espessura usual desse tipo de pavimento varia entre 120 mm e 150 mm, mas a sua redução de 50 mm a 100 mm já é possível através do uso de uma nova tecnologia chamada de whitetopping ultra delgado ou "ultrathin whitetopping". Essa nova tecnologia foi desenvolvida a partir de 1989, com base no whitetopping convencional e emprega concreto de alta resistência sendo indicado para a recuperação de pavimentos quando não há deterioração da base existente.

No Brasil, onde a maior parte da nossa malha viária é de pavimento flexível essa técnica de recuperação tem sido utilizada, mesmo que modestamente, gerando um aumento na qualidade dos pavimentos e diminuindo assim os ciclos de manutenção.

Alguns exemplos de uso do uso de whitetopping no Brasil (Figura 2. 7) são: recuperação de um dos túneis da rodovia Carvalho Pinto, em São Paulo; recuperação das rodovias SP-79 e BR-290 (conhecida por Free Way) no Rio Grande do Sul.



Figura 2. 7 – Rodovias recuperadas com whitetopping: (a) Rodovia SP-79/103; (b) Rodovia BR-290 (conhecida por Free Way)

Fonte: CARVALHO, Marcos Dutra. **Pavimento de concreto reduzindo o custo social.**
 <http://www.abcp.org.br/sala_de_imprensa/arquivos_pdf/pav_artigo2007.pdf> Acesso em: 24 de agosto de 2007.

2.4 FISSURAÇÃO E PATOLOGIAS EXISTENTES NO PAVIMENTO DE CONCRETO

Os pavimentos de concreto, quando bem projetados e construídos, têm desempenho tal que, em muitos casos, alcançam de 40 a 50 anos de vida útil, antes que seja necessária a execução de uma sobrecamada (GARNETT NETO, G., 2001). A garantia dessa durabilidade não é uma preocupação recente dos construtores e projetistas, os quais estão atentos aos fatores que influenciam nessa longevidade, sendo estes: (a) especificações dos materiais utilizados no concreto; (b) projeto estrutural; (c) condições ambientais as quais o pavimento rígido será submetido; (d) controle de qualidade do processo construtivo.

Um dos grandes problemas que surge no pavimento rígido é o aparecimento de fissuras transversais e longitudinais, que são provocadas pelas variações volumétricas do concreto e pela combinação dos efeitos de empenamento restringido das placas e das solicitações de tráfego.

Essas fissuras possuem a tendência natural, sob a ação dos fatores externos, de aumentar de tamanho (abertura e profundidade) com a paulatina deterioração de suas bordas refletindo-se na qualidade da superfície de rolamento e na capacidade estrutural do concreto. As fissurações existentes nesse tipo de pavimento e, outras patologias provenientes dos

fatores que interferem no pavimento rígido, podem impedir o seu funcionamento adequado além de reduzir a sua vida útil.

2.4.1 *Tipos de Fissuração*

O desenvolvimento de uma fissura natural geralmente ocorre nas primeiras horas após a concretagem devido à retração plástica do concreto ou às retrações e dilatações causadas pelas variações volumétricas. As principais fissuras que podem ocorrer em um pavimento rígido são: fissura de canto, fissura transversal e fissura longitudinal.

FISSURA DE CANTO

Corresponde à fissura que intercepta as juntas à distância menores ou iguais à metade do comprimento das bordas ou juntas longitudinais e transversais do pavimento, medindo-se a partir do seu canto (DER-SP, 2006).

Essas fissuras podem ser causadas pela perda de suporte sob o canto da laje, surgimento das deformações térmicas e pelo empenamento provocado pela umidade e grandes deslocamentos. Essa perda de suporte sob a laje pode ser causada pelo bombeamento, desnivelamento ou por uma pobre transferência de carga através das juntas longitudinais, transversais ou acostamentos.

A redução ou prevenção desse tipo de problema se dá através da adoção de mecanismos eficientes de transferência de carga, uso de acostamentos de concreto amarrados, emprego de pistas largas para caminhões, utilização de material não erosivo sob as lajes, além da adoção de uma boa drenagem nos projetos estruturais dos pavimentos de concreto.

FISSURA TRANSVERSAL

A fissura transversal cruza a laje na direção perpendicular à borda e a direção de tráfego e é localizada próxima à linha central transversal à laje. A causa principal do seu surgimento é a retração volumétrica do concreto, principalmente a retração hidráulica ou por secagem, que ocorre nas primeiras horas após a construção do pavimento, durante a passagem do estado fresco (estado plástico) para o estado endurecido. A retração térmica e a fadiga causam também a fissuração transversal, mas por outro lado as retrações autógenas e por carbonatação não provocam esse tipo de fissura.

A fadiga da placa de concreto surge nos primeiros anos após a construção do pavimento de concreto e é provocada pelas repetidas passagens de pesados eixos de carga e deformação térmica em cargas de tração menores do que a resistência à flexão do concreto.

Além disso, sabe-se que a combinação de fatores, tais como: forças de retração, mudanças na temperatura, deformação térmica, arqueamento causado pela umidade, associado ao tráfego liberado antes do concreto ter atingido a resistência suficiente são suficientes para causar a fissuração transversal.

De acordo com Fleury (2006) para que essas fissuras sejam evitadas ou minimizadas é necessário: reduzir o dano causado pela fadiga, limitar em projeto o tráfego pesado próximo à borda da placa de concreto através do alargamento das pistas de caminhões, além da adoção de acostamentos e juntas longitudinais armadas.

FISSURA LONGITUDINAL

A fissura longitudinal geralmente se desenvolve paralelamente a borda da laje na direção do tráfego e é causada principalmente pela variação de temperatura (causando empenamento térmico) e pela variação de umidade (causando o empenamento higroscópico).

Outros fatores provocam a fissuração longitudinal, sendo estes: (a) conexões mal feitas ou tardias entre as juntas longitudinais; (b) perda de suporte causada pela movimentação de materiais sob a placa de concreto; (c) acúmulo desigual de finos incompreensíveis nas juntas transversais provocando tensões de tração na expansão da laje; (d) surgimento de tensões de tração provenientes da restrição feita ao empenamento natural da placa através do seu peso próprio e pelo atrito desta com a sua sub-base

Para evitar o desenvolvimento dessas fissuras longitudinais, recomenda-se: executar juntas longitudinais em locais pré-definidos em projeto, eliminar os finos incompressíveis das juntas transversais, além do fornecimento de um bom suporte para as placas de concreto.

2.4.2 *Patologias dos Pavimentos de Concreto*

EMPENAMENTO DAS PLACAS

Uma condição necessária para que ocorra o pleno contato entre a placa e sua fundação é que a temperatura na superfície seja maior do que na base da placa. Quando isso não ocorre, as condições de contato e o estado de tensões são alterados provocando o empenamento da placa de concreto. Esse empenamento corresponde ao efeito de curvatura

produzido pelas diferenças de temperatura e de umidade entre as faces superior e inferior da placa (Figura 2. 8).

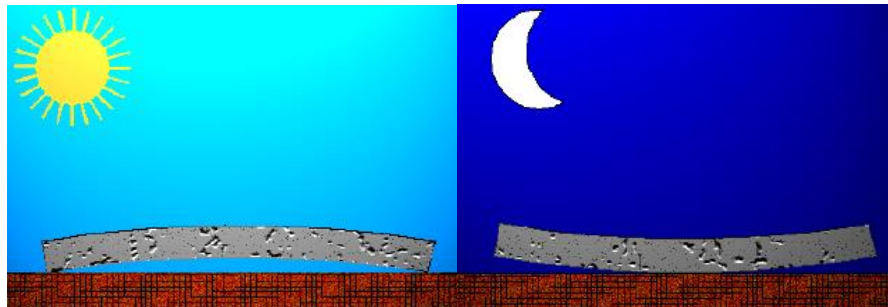


Figura 2. 8 – Tendência de empenamento da placa durante o dia e noite

Fonte: OLIVEIRA, Patrícia Lizi. **Projeto Estrutural de Pavimentos Rodoviários e de Pisos Industriais de Concreto**. 2000. 216 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2000.

As variações de temperatura diárias e sazonais causam tensões térmicas na placa de concreto. Durante o dia o topo do pavimento é mais quente do que a face inferior, dessa forma a superfície da placa tende a expandir com relação à linha neutra enquanto que a base tende a contrair. Em contrapartida, o peso próprio da placa restringe essa tendência de movimento fazendo com que sejam induzidas tensões de compressão na superfície da placa e de tração na base. Durante a noite ocorre o inverso, com uma temperatura maior na base do que na superfície, com isso a base tende a expandir e o topo a contrair. Como acontece durante o dia, o peso próprio da placa restringe essa tendência gerando tensões de compressão na base da placa e de tração na superfície da mesma.

De forma análoga a variação de temperatura, pode ocorrer diferenças sensíveis de teor de umidade entre a face superior e a inferior: onde houver perda de umidade, o concreto se contrai; com o ganho de umidade, ocorre a expansão da área afetada.

De acordo com Garnett (2001) essas condições ambientais, variação da temperatura e da umidade, em longo prazo produzirão tensões de tração e compressão, que induzirão a contração e expansão do concreto. Essas contrações acentuadas induzirão a abertura excessiva das juntas e o aparecimento de trincas, as quais prejudicarão a manutenção da condição de transferência de carga entre as placas adjacentes.

DESTACAMENTO SUPERFICIAL DO CONCRETO (“SPALLING”)

O destacamento superficial do concreto, conhecido como “spalling” ocorre na junta transversal e corresponde a uma fratura da espessura da laje que ocorre a um metro da junta, surgindo a partir das fissuras transversais ou de canto.

As principais causas que levam ao destacamento superficial do concreto são: presença de materiais incompressíveis nas juntas; baixa durabilidade do concreto; desalinhamento ou desgaste das juntas transversais contendo barras de transferência de carga.

Para que essa patologia seja evitada é preciso combater as causas eliminando assim os mecanismos causadores de tensões que levam ao destacamento do concreto.

ESCALONAMENTO

O escalonamento é a diferença de elevação entre duas placas adjacentes, formando uma espécie de degrau, e ocorre nas juntas transversais ou nas trincas e corresponde. Essa patologia no pavimento de concreto provoca um desconforto ao usuário, pois o pavimento fica acidentado acelerando a ruptura do mesmo.

DESNIVELAMENTO DAS JUNTAS

O desnivelamento das juntas, conhecido por “faulting”, é caracterizado pela ocorrência de deslocamentos verticais diferenciados e permanentes entre uma placa e outra adjacente, na região da junta. Essa diferença no nivelamento é resultado do acúmulo de materiais sob a laje posterior e, frequentemente a perda de material sob a laje anterior

O tráfego pesado sobre as juntas transversais é a principal causa do desnivelamento, provocando uma rápida elevação da laje posterior, declive da laje anterior e movimentação de material na parte inferior da placa de concreto. A redução ou prevenção dessa patologia ocorre com a execução de junta contendo boa transferência de cargas entre as placas de concreto, adoção de material não erosivo e não migrante na fundação do pavimento de concreto, além da eliminação da possibilidade de existir água livre nas camadas inferiores.

BOMBEAMENTO

O bombeamento é influenciado pela resistência do solo e corresponde ao “lançamento de água e solo do subleito através das juntas e fissuras ao longo das extremidades dos pavimentos” (HUANG, Y. H., 1993).

Essa perda de materiais finos da camada de suporte ocorre em locais sob grandes deflexões, provocando o descalçamento do pavimento; retração ou expansão dos solos da

fundação; desuniformizando o suporte além do acúmulo de materiais incompressíveis nas juntas entre as lajes, podendo gerar fissuras e separação das juntas. A prevenção do bombeamento ocorre com a utilização das mesmas soluções previstas para o desnivelamento e com a eliminação da água livre nas camadas sob a laje de concreto.

REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO (RAA)

A reação álcali-agregado é uma reação química lenta e complexa que ocorre internamente em uma estrutura de concreto envolvendo os hidróxidos alcalinos (ativos ou disponíveis no cimento) e algumas espécies de minerais que estão presentes em alguns tipos de agregados.

Segundo Biczok (1972) apud Hasparik (1999) o produto formado dessa reação é gel sílicoalcalino que ao absorver água, incha exercendo pressões expansivas e causando fissurações, perdas de resistência e em alguns casos deterioração do concreto. Dessa forma o RAA passou a ser considerado como um fenômeno patológico e que tem sido cada vez mais estudado nas estruturas de concreto a fim de se tomar medidas preventivas.

No caso dos pavimentos rígidos, em especial em relação à durabilidade das juntas, essa pesquisa torna-se necessária visto que uma vez instalada a reação álcali agregado e na presença de umidade, os produtos químicos gerados são capazes de causar tensões internas, que podem exceder a resistência a tração do concreto, levando-o à sua fissuração, deterioração das juntas e afetando a durabilidade do pavimento.

2.5 JUNTAS

A junta é um detalhe construtivo, que no caso do pavimento rígido corresponde ao principal componente que permite as movimentações de retração e dilatação do concreto e a adequada transferência de carga entre placas contíguas mantendo, assim, a planicidade, assegurando a qualidade do piso e o conforto do rolamento ao usuário. A sua execução, em linhas de construção ou intervalos, deve promover a fissuração com geometria pré-definida, controlando assim o surgimento das fissuras garantindo o funcionamento estrutural previsto e mantendo o nível estético do pavimento.

2.5.1 *Classificação das Juntas*

As juntas no pavimento rígido podem ser classificadas de acordo com sua função, podendo ou não conter barras de transferência, dependendo da necessidade. Elas são classificadas em: longitudinais, transversais e de expansão.

JUNTAS LONGITUDINAIS

As juntas longitudinais são executadas na direção do comprimento do pavimento. Elas têm a função de controlar a fissuração devida ao empenamento da placa de concreto e podem ou não possuir barras de transferência ao longo da junta para melhor transmitir o carregamento.

Pitta (1998a) classifica as juntas longitudinais em dois tipos: juntas de construção e juntas de seção enfraquecida. A junta longitudinal de construção é feita quando a concretagem do pavimento é realizada faixa por faixa, ou seja, quando a máquina de concretagem só consegue concretar uma faixa de tráfego, sendo a outra concretada posteriormente. A junta longitudinal de construção é executada ao final de um dia de pavimentação ou durante um longo intervalo na execução entre um trecho e outro do pavimento. A junta longitudinal de seção enfraquecida só pode ser executada quando o equipamento de concretagem permite a construção de pelo menos duas faixas por vez, sendo que esse tipo de junta poderá ser moldada no concreto fresco ou serrada com o concreto semi-endurecido.

JUNTAS TRANSVERSAIS

As juntas transversais, também denominadas de juntas de retração, são importantes no pavimento rígido devido a sua localização aonde ocorre o maior numero de movimentações da placa (FLEURY, R. H., 2006). Elas são construídas perpendiculares ao eixo longitudinal, no sentido da largura das peças, e podem conter ou não dispositivos de transferência de carga.

Esse tipo de junta pode funcionar como junta de construção, contudo a sua função básica é absorver os esforços provenientes da retração volumétrica do concreto. Elas são executadas de duas formas, sendo moldada enquanto o concreto se apresentar plástico com a inserção de um perfil metálico ou ripa de madeira, ou serrada quando o concreto obtiver o seu endurecimento inicial com o emprego de uma serra circular dotada de disco diamantado.

Nos casos das juntas serradas que não são utilizados mecanismos de transferência de esforços, podem ser adotadas juntas inclinadas. Essa geometria permite que as rodas dos veículos não tangenciem a junta transversal simultaneamente, proporcionando um rolamento mais confortável e reduzindo as tensões na região.

Segundo Oliveira (2000), a transferência de força entre as juntas transversais pode ocorrer por entrosagem entre os agregados ou através de barras de transferência. Sendo assim o uso das barras tem aumentado por ser mais eficiente além de proporcionar redução na espessura das placas e reduzir patologias nas juntas como problemas de erosão e de escalonamento.

JUNTAS DE EXPANSÃO

As juntas de expansão ou juntas de dilatação são construídas quando o pavimento tangencia outras estruturas como pontes, pilares e bases de máquinas possuindo a função de impedir a troca de esforços entre o pavimento e essas estruturas. As juntas de encontro têm cerca de 20 mm de abertura, são preenchidas com material compressível e acabadas com material selante, com a finalidade de impedir a entrada de água e de materiais incompressíveis.

Quando a junta de expansão é utilizada entre placas é comum o emprego de barras de transferência, sendo necessário prever um capuz, que pode ser de plástico, no final da barra de transferência com folga de 20 mm, que permite que a barra se movimente livremente no sentido do deslocamento. (FLEURY, R. H., 2006)

2.5.2 *Mecanismos de Transferência*

Na construção de um pavimento rígido as juntas constituem a parte mais delicada e mais cara, por isso tem-se buscado soluções a fim de reduzir os custos através da diminuição do número de juntas e de mecanismos que garantam a eficiência das mesmas.

Segundo Teller (1958), o sistema de transferência de cargas é proveitoso para as juntas dos pavimentos de concreto, pois controla as tensões nas bordas, reduz as deflexões das placas sob carregamento e mantém o alinhamento da superfície nas extremidades das duas placas. Além disso, esse mecanismo permite, segundo DNER (1989) apud Rufino (1997), uma economia de até 50 mm na espessura da placa devido à diminuição dos esforços nas juntas, que contém barras de transferência de esforços para valores próximos aos esforços no interior da placa. Nesse sistema os dispositivos de transferência de esforços mais comuns usados nas juntas dos pavimentos rígidos são:

- **Barras lisas de seção circular** - apresentam superfície lisa para garantir que não tenham aderência com o concreto e possam permitir a movimentação das placas.
- **Barras de ligação** - são utilizadas nas juntas longitudinais, onde há a necessidade de se manter as vias de tráfego livres de possíveis movimentações laterais. O tipo de barra mais utilizado são as nervuradas CA-50.
- **Barras lisas de seção retangular** - são mais empregadas na construção de pisos industriais para combater fissuras de retração e para juntas de construção, onde são empregadas juntamente com um sistema de fôrmas para moldar à junta.
- **Placas de aço tipo diamante** - geralmente são usadas em conjunto com barras de seção retangular.
- **Encaixe tipo macho-fêmea** - utilizada em placas que apresentam pouca solicitação aonde somente a resistência à tração do concreto é capaz de resistir e transmitir os esforços cisalhantes.
- **Tela de aço contínua** - a tela de aço é utilizada para restringir movimentos e transmitir os esforços é mais restrito para uso em pisos industriais.

BARRA DE TRANSFERÊNCIA

As barras de transferência mais utilizadas na pavimentação são confeccionadas em aços CA-50, CA-60 e CA-25, com resistências iguais a 50 kN/cm², 60 kN/cm² e 25 kN/cm², respectivamente. Além da resistência outras características dessas barras são fundamentais: elas devem ser de material liso para permitir a movimentação horizontal, absolutamente retilínea, não podem ter rebarbas nas pontas e o corte deve ser perfeito. Esse tipo de barra é confeccionado comercialmente com diâmetros de 10 a 32 mm e são encontradas geralmente no comprimento de 500 mm, tamanho que geralmente são usadas nas construções de pavimentos (Figura 2. 9).



Figura 2. 9 – Barra de transferência circular

O uso das barras de transferência nas juntas dos pavimentos de concreto promove: uma conexão mecânica entre as placas do pavimento sem restringir o movimento horizontal

comum a elas; mantém as placas em alinhamento horizontal e vertical; garante a união da placas adjacentes, e entre uma placa e o acostamento; além de diminuir a deformação e a tensão nas placas de concreto o que reduz potenciais patologias no pavimento. (RODRIGUES, L. F., 2003)

Do ponto de vista construtivo as barras devem ser instaladas corretamente em um plano horizontal e alinhado, além de serem protegidas contra a corrosão permitindo a sua durabilidade ao longo da vida útil dos pavimentos. A possibilidade de movimentação vertical é limitada com a utilização de distanciadores como treliça ou espaçadores do tipo caranguejo (Figura 2. 10) que posicionam as barras na altura média da placa ($h/2$). A possibilidade da movimentação horizontal da barra é maior que a vertical, sendo preciso um maior cuidado para manter a ortogonalidade com a face da placa de concreto.



(a)



(b)

Figura 2. 10 – Espaçadores: (a) tipo treliça; (b) tipo caranguejo

O mau alinhamento durante a instalação das barras impede a capacidade das barras de deslizar livremente no concreto e podem resultar nas fissuras transversais das placas; cantos quebrados e lascas nas juntas em torno das barras de transferência na face do concreto; e fissuras paralelas às juntas.

A introdução dessas barras pode ser feita de duas maneiras: previamente ou posteriormente à concretagem. No primeiro caso, para a fixação da barra antes da concretagem, usam-se armações de apoio, os distanciadores para a fixação da barra que devem ser fixadas com grampos metálicos à fundação, de maneira que o dispositivo (distanciadores e barras) permaneça firme e virtualmente indelocáveis quando das operações de lançamento, espalhamento e adensamento do concreto. Na segunda maneira, o procedimento exige um equipamento mecânico especial que empurra por vibração as barras no concreto já pré-adensado. No Brasil emprega-se exclusivamente o procedimento da prévia colocação das barras (PITTA, M. R., 1998c).

Ainda do ponto de vista construtivo, as barras de transferência, antes do seu uso, devem ter uma das suas metades pintada e engraxada ou revestida com material que impeça a aderência entre o aço e o concreto, permitindo a movimentação da juntas quando das futuras variações térmicas.

DIÂMETRO E ESPAÇAMENTO DAS BARRAS DE TRANSFERÊNCIA

O desempenho dessas barras de transferência é ditado por dois parâmetros principais: espaçamento e diâmetro das barras, e secundariamente é função da abertura da junta (YODER & WITCZAK, 1975 apud RODRIGUES & GASPARETTO, 1999). Existem diferentes tabelas que relacionam o diâmetro e espaçamento das barras de transferência em função da espessura da placa. A Tabela 2. 1 relaciona esses parâmetros e limita-se aos pavimentos em concreto simples, nos quais os esforços atuantes são resistidos apenas pela resistência à tração na flexão do concreto.

Tabela 2. 1 - Espessura da placa x parâmetros da barra de transferência (BT)

<i>Espessura da Placa</i>	<i>Diâmetro da BT</i>	<i>Comprimento da BT</i>	<i>Espaçamento</i>
125	16	400	30
150	20	400	30
200	25	460	30
> 250	32	460	30

Fonte: RODRIGUES, Púbio Penna Firme; GASPARETTO, Wagner Edson. **Juntas em Pisos Industriais**. São Paulo/SP, 1999. 22p.

O fato de o concreto ser um material frágil quando comparado com a ductilidade existente no aço, faz com que o dimensionamento das barras de transferência seja regido pela tensão de suporte entre a barra e o concreto. (HUANG, Y. H., 1993)

2.5.3 Selagem das Juntas

As juntas são executadas no pavimento rígido para controlar o surgimento de fissuras causadas pelas tensões internas, por outro lado, quando não são bem executadas, elas acabam se tornando o ponto mais vulnerável de um pavimento rígido.

A selagem das juntas faz parte desse processo impedindo a fissuração desde que seja devidamente executada, assim irá impedir a penetração de água e sólidos através da junta, aumentando a durabilidade das mesmas.

Segundo Pitta (1998c), quando a seção da junta está fissurada e esta não está selada, e existe a presença de materiais sólidos, eles impedem que a junta se movimente livremente, fato que, em tempo quente, quando a abertura da junta se estreita, desenvolverá tensões de compressão imprevistas; estas, dependendo da magnitude da temperatura, da abertura da junta, da distância entre as juntas, do volume de tráfego e do tipo de sub-base, podem atingir valores seriamente prejudiciais à integridade estrutural da junta, e consequentemente, da placa de concreto.

Além da presença de materiais sólidos nas juntas, a infiltração de água traz consequências danosas à durabilidade do pavimento como um todo, pois, ao mover-se entre a sub-base e a placa de concreto pode produzir a erosão da primeira e prejudicar a continuidade de suporte requerida para o bom desempenho do pavimento. Quando a infiltração atinge o acostamento ela poderá passar ao subleito e provocar o afundamento deste, seja por bombeamento, seja por amolecimento da camada (PITTA, M. R., 1998c).

O uso do selante nas juntas pretende impedir esses dois fenômenos e para cada situação específica determina-se o tipo de material que será mais viável técnica e economicamente. O requisito principal de um selante é garantir o seu comportamento ao longo do tempo, sabendo que o mesmo em uso dependerá do estado de tensões a que estiver submetido. Segundo Pitta (1998c), o selante pode estar sujeito a três tipos de estado de tensões: (1º) alternância das tensões de tração e compressão, caracterizando um ciclo de solicitações opostas; (2º) sempre sob compressão; (3º) sempre sob tração.

Sabe-se que o estado de tensão em que o selante esteja sempre sob tração é apenas teórico, pois é flagrante a impraticabilidade de tracionar o selante previamente à sua oposição dentre da junta e mantê-lo nessa condição. Sendo que o estado de tensões mais comum é o de alternância entre tração e compressão, em que o selante, vazado na junta sob a forma líquida ou pastosa, adquire consistência sólida, e, por sua aderência às paredes da junta, acompanha as movimentações desta, permanecendo ora tracionado – quando a junta abre, pela retração da placa – ora comprimido – quando a junta fecha, pela dilatação da placa – de acordo com a temperatura predominante no momento. (PITTA, M. R., 1998c)

As características esperadas de um material selante são: fluidez, período de cura, adesividade, viscosidade, dureza, resistência à oxidação, compressibilidade, elasticidade, resistência à fissuração e coesão. E, os principais defeitos são causados por fenômenos ocorridos no próprio selante, ou nas paredes da junta, ou na superfície de ligação entre os dois componentes. As principais falhas do sistema selante-junta devidas ao comportamento (Figura 2. 11) ocorrem por: (a) falta de coesão, permitindo dilaceramento do material quando

tracionado; (b) intrusão, quando o selante não impede que o tráfego empurre para o seu interior corpos sólidos que eventualmente estejam sobre a junta; (c) extrusão, quando o estado de compressão leva o selante a derramar-se na superfície da placa contígua à junta; (d) esborcinamento, devido principalmente a falta de mau acabamento; (e) falta de adesão, devido a perda de adesão entre os componentes da junta (parede e selante). (PITTA, M. R., 1998c)

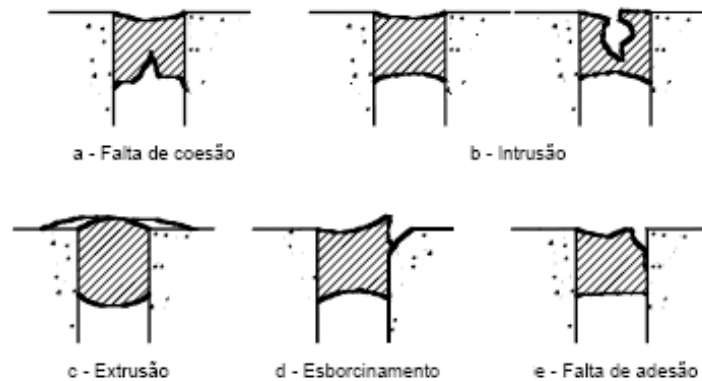


Figura 2. 11 – Principais tipos de falhas no sistema selante-junta

Fonte: PITTA, Márcio Rocha. **ET-22: Selagem de Juntas em Pavimentos de concreto**. 4ª Edição. São Paulo/SP: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998-c. 24 p.

Existem dois grupos de selantes usados nos pavimentos de concreto, os selantes vazados no local e os selantes pré-moldados. Os selantes vazados no local podem ser vazados a quente ou vazados a frio. Em geral os selantes vazados no local a quente, têm baixo custo inicial, contudo possuem baixa resistência ao calor, óleos e combustíveis fazendo com que o selante amoleça e extravase das juntas; exige manutenção entre dois e quatro anos, o que ao longo do tempo onerará o custo final do pavimento; além de exigir uma maior segurança na aplicação desse produto a quente. Ao contrário os selantes vazados no local a frio possuem alto custo inicial, mas requerem ao longo da sua vida útil baixa manutenção e praticamente não exigem conservação.

O selante pré-moldado é o tipo mais requintado, possui o custo mais elevado e uma vida útil maior que dos demais materiais. São excelentes para evitar a penetração de sólidos e por serem altamente compressíveis e elásticos tem uma atuação excepcional em juntas de expansão. Além disso, se caracterizam pela estanqueidade, que depende fortemente da rugosidade das paredes da junta e da aderência entre o selante e as paredes verticais, exigindo que essas sejam mais lisas e uniformes quanto for possível. Os tipos de falhas peculiares a esse selante se dão de dois modos: (1º) por compressão – o selante pós-comprimido não consegue voltar à forma original e deixa um vazio entre um de seus lados e a

junta; (2º) por extrusão mecânica – caracterizada pela extrusão do material por efeito da passagem dos veículos. (PITTA, M. R., 1998c)

2.6 FUNDAÇÃO

Os pavimentos de concreto são constituídos por placas de concreto de cimento Portland e possuem a característica de absorver os momentos impostos pelo carregamento, devido a sua alta rigidez e ao seu alto módulo de elasticidade. Desse modo, eles transmitem à fundação esforços de baixa intensidade, não exigindo, portanto, grande capacidade de suporte do subleito.

2.6.1 *Camada de Suporte dos Pavimentos Rígidos*

Os pavimentos rígidos não exigem solo de grande resistência mecânica, contudo podem apresentar problemas quando construídos sobre solos expansivos, ou sobre camadas espessas de argila mole. A ocorrência de variações bruscas nas características do subleito também pode prejudicar o comportamento do pavimento.

A adoção de sub-bases estáveis e não bombeáveis pode corrigir as deficiências do subleito, e proporcionar um melhor comportamento do pavimento. As funções da sub-base são: aumentar a capacidade de suporte da fundação; impedir o bombeamento de solos finos plásticos saturados, na passagem de cargas pesadas; uniformizar a fundação; evitar os efeitos dos solos expansivos sobre o pavimento.

Normalmente as sub-bases são executadas com material granular, solo-cimento, solo melhorado com cimento ou concreto rolado. Quando submetido à pressão aplicada através de uma placa, a deformação, em cada ponto do solo, depende da tensão no próprio ponto e nos pontos vizinhos, devido aos esforços de cisalhamento. Esse comportamento está ilustrado na Figura 2. 12.

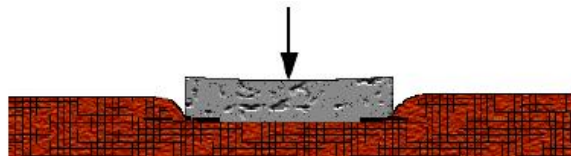


Figura 2. 12 – Comportamento real do solo

Fonte: OLIVEIRA, Patrícia Lizi. **Projeto Estrutural de Pavimentos Rodoviários e de Pisos Industriais de Concreto**. 2000. 216 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2000.

As sub-bases têm comportamento semelhante ao do solo, com exceção do concreto rolado, que é mais bem representado como material elástico, quando submetido a tensões de baixa intensidade.

Existem diversas maneiras de modelar o solo como camada de suporte de estruturas planas, as mais comuns são: líquido denso e sólido elástico. O modelo de líquido denso considera a fundação como totalmente descontínua, enquanto o modelo de sólido elástico toma a fundação como perfeitamente contínua. O comportamento do solo está entre esses dois extremos, por isso foram desenvolvidos modelos baseados nesses dois parâmetros, tentando representar melhor as reações do solo, através da determinação e a utilização de parâmetros que interagem as propriedades mais comuns do solo.

Dessa forma para simular um pavimento de concreto utilizando um modelo de placa é necessário fazer uma caracterização da camada que compõe a estrutura. Essas considerações são essenciais para garantir a compatibilidade entre a simulação e a realidade.

As propriedades dos materiais mais comuns usadas na simulação de um modelo de pavimento, tanto para a placa como para a camada de suporte, são o módulo de elasticidade, o coeficiente de Poisson, e o coeficiente de expansão/contração térmica. A camada de suporte também é caracterizada pelo seu peso unitário. O subleito deve ser caracterizado pela sua capacidade de suportar a estrutura pelo módulo de reação ou valor k .

As propriedades naturais podem ser obtidas em testes de laboratório, e algumas também podem ser determinadas pela correlação com outras propriedades do material ou mesmo previstas com o uso de fórmulas empíricas.

O módulo de elasticidade, o coeficiente de Poisson, o coeficiente de expansão/contração térmica, peso unitário da laje são considerados propriedades naturais, porque são constantes e podem ser determinados por testes padronizados. Já o valor k (coeficiente de recalque) é visto como uma propriedade fictícia do subleito, e depende altamente das condições internas e externas da estrutura do pavimento em cada momento específico.

2.6.2 Camada de Borracha

Nesse estudo experimental foram utilizadas placas de borracha como camada suporte para os ensaios das placas de concreto. As camadas de borracha são apoiadas sobre a laje de reação do laboratório de estruturas da Escola de Engenharia Civil da Universidade

Federal de Goiás. Para avaliar o comportamento das placas de borracha a fim de compará-los ao solo é preciso realizar ensaios dessas placas de borracha.

Rodrigues (2008) no desenvolvimento da sua tese realizou ensaios nos lençóis de borracha no Laboratório de Polímeros do Departamento de Materiais da Escola de Engenharia de São Carlos. Esses ensaios constaram da determinação do coeficiente de recalque, k , de acordo com a metodologia proposta pelo DNER (1989), e das propriedades mecânicas desses lençóis (dureza, deformação permanente à compressão sob deformação constante, e compressão).

COEFICIENTE DE RECALQUE

O coeficiente de recalque da base de um pavimento é uma variável que deve ser considerada na análise da fundação para determinar os esforços atuantes na camada suporte, que no caso dos pavimentos rodoviários corresponde ao subleito. “De acordo com as orientações da norma DNER-35 (1989) deve-se colocar uma placa circular de aço com diâmetro mínimo de 760 mm sobre a base nivelada, posicionar no mínimo três deflectômetros sobre a placa em pontos equidistantes e utilizar um aplicador de carga” (FLEURY, R. H., 2006).

Nos ensaios desenvolvidos por Fleury (2006) e Rodrigues (2008) o coeficiente de recalque, k , foi determinado a partir de uma adaptação da Norma do DNER-35, com o uso de uma placa metálica de 800 mm de diâmetro e quatro deflectômetros posicionados em pontos equidistantes para medir os deslocamentos verticais.

Esse método usado em camadas de borrachas não é representativo visto que envolve outro tipo de material diferente do existente nos subleitos dos pavimentos e porque o solo é considerado semi-infinito no ensaio do DNER-35, dessa forma a área de aplicação da placa metálica é muito pequena em relação à área do solo. Nos ensaios com lençóis de borracha com dimensões 100 mm x 3000 mm a área da placa metálica deixa de ser irrisória como acontece no campo.

DUREZA

Dureza, na mecânica, é a habilidade de um material em resistir à penetração de um indentador sob condições específicas (incluindo combinações de indentadores e pressão). Shore é uma unidade de padrão internacional usada para medir o grau de dureza dos materiais sólidos, tais como borracha e plástico. A medição da dureza da borracha é feita em escalas

arbitrárias descrita pela ASTM (“American Association for Testing and Materials”) através do método ASTM D2240 (2005).

A determinação da dureza é baseada na medida da penetração de um indentador quando este é forçado sobre a amostra. Os indentadores usados nos ensaios podem ser esféricos, feitos de aço com elevada dureza, ou cônicos, feitos com diamante com 120° de conicidade. Os indentadores esféricos usados nos ensaios de borracha devem ter dureza maior que o material a ser testado, ser inversamente proporcional à penetração e depender do módulo elástico e do comportamento viscoelástico do material.

No procedimento de ensaio a amostra deve ter espessura mínima de 6 mm e após a devida climatização é colocada em uma superfície plana e dura. Neste ensaio o durômetro, equipamento portátil e analógico, é pressionado contra a amostra, sendo que o equipamento deve ficar num ângulo reto em relação à superfície da amostra (Figura 2. 13). A dureza é lida entre 1 e 30 segundos, conforme especificado. Os valores obtidos são derivados de uma escala, e as mais comuns são “Shore A” e “Shore D”, respectivamente para os materiais mais macios e para os mais duros (IPQ, 2007).



Figura 2. 13 – Exemplo de um equipamento usado na medição da dureza

Fonte: IPQ, 2007. **Ipiranga Petroquímica: Propriedades.** Disponível em < www.ipq.com.br/index.php?secao=propriedades&arquivo=Shore.pdf > Acesso: 12 de fevereiro de 2008.

No ensaio de dureza feito por Rodrigues (2008) foi usado um durômetro da marca Shore “A” fabricado pela *The Shore Instruments & MFG*, com escalas graduadas de 0 a 100 (Figura 2. 14-a). As amostras usadas nos ensaios foram retiradas dos lençóis de acordo com a Norma ASTM D2240 (2005) e possuíam altura (h') de 9,5 mm e diâmetro (D') de 25,4 mm superior ao mínimo recomendado de 12 mm. Esse diâmetro foi escolhido por Rodrigues (2008) para permitir um raio de pelo menos 6 mm para a penetração do pino sobre a superfície do elastômero, em até 5 pontos da superfície paralela e plana da borracha, conforme pontos em vermelho representados na Figura 2. 14-b.

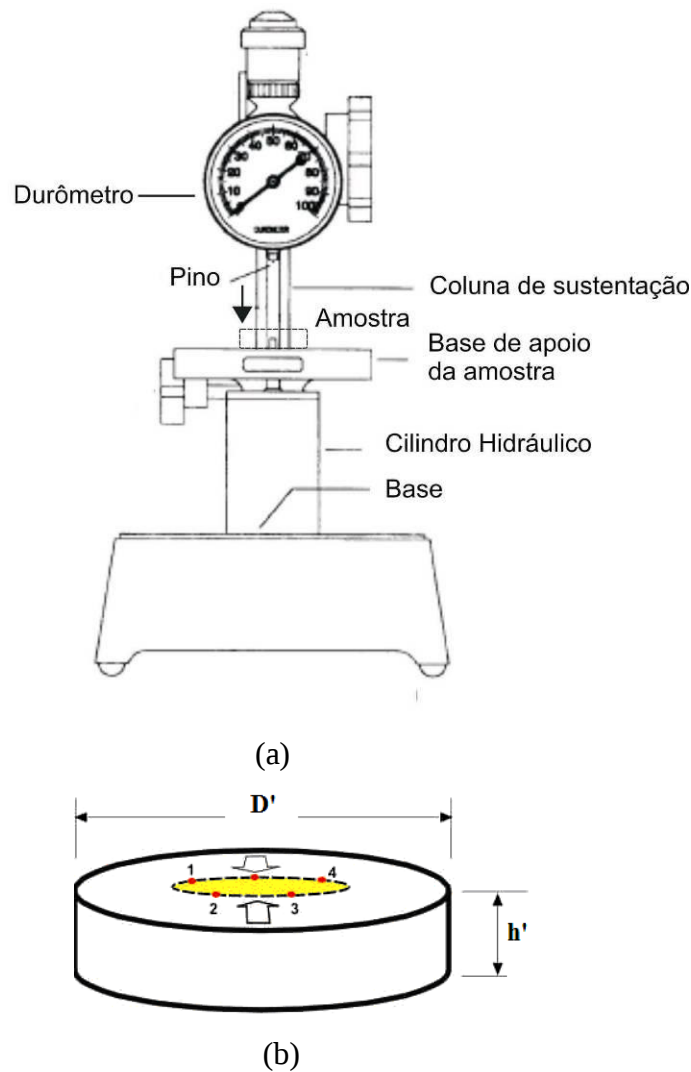


Figura 2. 14 – Medição da dureza: (a) Durômetro; (b) Amostra

Fonte: RODRIGUES, Lezzir Ferreira. **Juntas em Pavimentos de Concreto: Dispositivos de Transferência de Carga**. 2008. 256 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas). Universidade de São Paulo, 2008.

Nesse ensaio as amostras dos lençóis de borracha foram levadas à estufa em temperatura de 70°C durante 22 horas. Foram feitas cinco leituras nos pontos indicados anteriormente, na face superior das amostras, antes e após o aquecimento, e o cálculo da média para cada uma das quatro amostras ensaiadas. Na análise dos resultados Rodrigues (2008) observou que ocorreu uma redução da dureza inicial (D_i) dos lençóis de borracha em torno de 13% após o aquecimento (D_f), o que corresponde a um intervalo de tolerância permitido pela norma em torno de ± 5 Shore A. A redução da dureza dos lençóis de borracha usados neste estudo referem-se as amostras 1.1 a 1.4 que estão representadas abaixo (Figura 2.15).

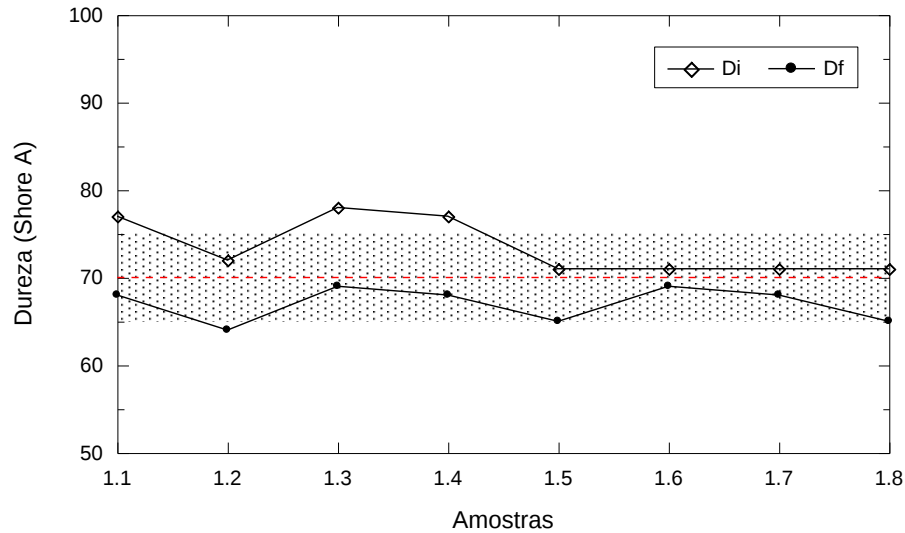


Figura 2.15 – Gráfico dureza x amostra da borracha utilizada na fundação

Fonte: RODRIGUES, Lezzir Ferreira. **Juntas em Pavimentos de Concreto: Dispositivos de Transferência de Carga**. 2008. 256 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas). Universidade de São Paulo, 2008.

DEFORMAÇÃO PERMANENTE À COMPRESSÃO SOB DEFORMAÇÃO CONSTANTE

A deformação permanente a compressão, C , é a propriedade mecânica da borracha na qual o corpo de prova deixa de retornar à sua espessura original após ser submetida a uma carga padrão ou deformação por um período determinado. A ASTM D-395 define os procedimentos dos testes de deformação permanente em corpos de prova, cortados dos lençóis de borracha, que são prensados ao invés de empilhados, além das condições de tempo e temperatura que variam com os tipos de materiais, indo de 22 horas a 70°C até 70 horas a 100°C (VULCANIZAR & CROSSLINKING, 2008).

Esse ensaio pode ser realizado utilizando dois métodos, A ou B. No método A, o corpo de prova, sob carga constante, sofre ação de uma mola calibrada ao invés da deformação sendo pouco usado na prática, pois não fornece muita relação com a atuação dos artefatos em aplicações práticas. No método B, usado mais frequentemente, os corpos de prova são prensados, mediante barras de aço, e submetidos a uma deformação especificada de 25% em relação à altura inicial do corpo de prova durante um período de 22 as 72 horas, conforme o tipo de elastômero, e após um tempo de repouso faz-se novas medidas para determinar em percentagem a deformação sofrida durante o ensaio. Dessa forma a taxa de compressão, ou deformação permanente de compressão, C é expressa pela porcentagem de perda na espessura, de acordo com a Equação 2.1.

$$C = \left[\frac{t_i - t_f}{t_i - t_e} \right] \times 100 \quad (2.1)$$

Onde:

- t_i é a espessura inicial, em mm;
 t_f é a espessura final, em mm;
 t_e é a espessura do espaçador utilizado, em mm.

Rodrigues (2008) realizou esse ensaio conforme a Norma ASTM D395 (2003), método B, com as mesmas amostras usadas no ensaio de dureza, o qual foi considerado não-destrutivo, e um aparelho de compressão (Figura 2. 16). Esse aparelho foi confeccionado com três placas metálicas rígidas e planas, e equipado de um sistema de espaçadores, que permite manter as placas paralelas às distâncias previamente estabelecidas.

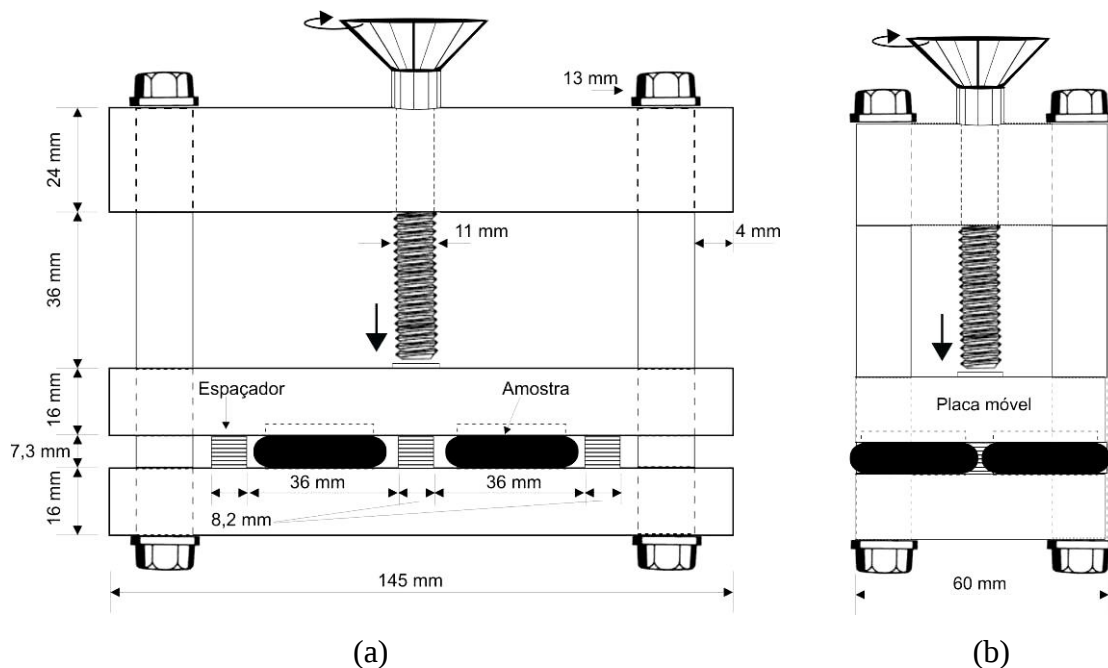


Figura 2. 16 - Aparelho de compressão: (a) Vista longitudinal; (b) Corte transversal

Fonte: RODRIGUES, Lezzir Ferreira. **Juntas em Pavimentos de Concreto: Dispositivos de Transferência de Carga**. 2008. 256 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas). Universidade de São Paulo, 2008.

A deformação permanente foi medida através da determinação do “decréscimo residual da espessura de uma amostra padrão, 30 minutos após ter sido removida de um dispositivo adequado, no qual tenha sido submetida a uma deformação previamente

determinada, por um dado período de tempo, sob condições padronizadas” (VILAR, W., 2008).

Inicialmente, foi medida a espessura original das amostras e logo em seguida colocadas entre os espaçadores. Cada amostra foi comprimida a 25% de sua altura original, até atingir a espessura dos espaçadores e colocada em seguida numa estufa a uma temperatura de 70°C por 22 horas. Depois de retirada da estufa e resfriada à temperatura ambiente, as amostras foram novamente medidas obtendo-se assim a espessura final.

As taxas de compressão C , que relacionam esse decréscimo residual da espessura, foram calculadas para as amostras 1.1 a 1.4, e obtidos respectivamente os seguintes valores: 29%, 32%, 34% e 32%. O valor máximo obtido foi de 34% (amostra 1.3), sendo que esse valor é inferior ao limite máximo especificado pelo fabricante o qual corresponde a 50%, dessa forma, de acordo com Rodrigues (2008) essas borrachas conservaram de uma maneira geral as suas propriedades elásticas depois de ações prolongadas de tensões de compressão.

COMPRESSÃO

De acordo com Vilar (2008) “a tensão de compressão é medida pela força compressiva requerida por unidade de área da seção reta inicial, para produzir uma determinada percentagem de deformação, normalmente de 5%, 10% e 20%”. A ASTM D-575 estabelece para o ensaio de compressão que uma força F sobre uma área A aplique uma velocidade no ensaio de 12mm/min até atingir a percentagem de deformação requerida de 40% (0,40mm/mm).

O equipamento usado para esse tipo de ensaio no Laboratório de Polímeros do Departamento de Materiais da UFSCAR por Rodrigues (2008) foi a Máquina Universal de Ensaio de Materiais, Marca Instron, Modelo 5569 (Figura 2. 17). De acordo com as especificações do fabricante, esse equipamento possui capacidade de 50 kN (11.250 lbf) e escala de velocidade de 0,001 - 500 mm/min podendo ser usado em ensaios mecânicos de tração, compressão, flexão e fluência, na faixa de temperatura entre (-70°C e +250°C), para o ensaio de diversos materiais, tais como, metal, papel, plástico, borracha, etc.

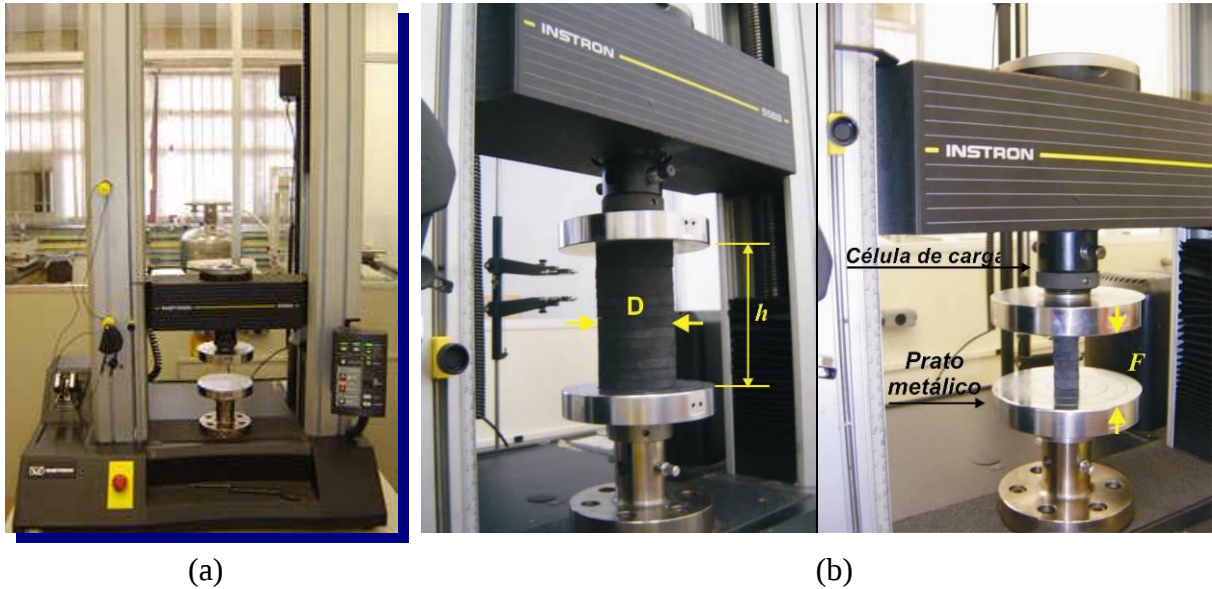


Figura 2. 17 – Equipamentos para ensaios à compressão da borracha: (a) Máquina universal de ensaios de materiais à compressão; (b) Máquina usada por Rodrigues (2008)

Fonte: RODRIGUES, Lezzir Ferreira. **Juntas em Pavimentos de Concreto: Dispositivos de Transferência de Carga**. 2008. 256 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas). Universidade de São Paulo, 2008

O ensaio de compressão foi normalizado pela ASTM D575, onde os corpos de prova a serem ensaiados são padronizados em forma de disco ou pequenos cilindros, e segundo Hoss (2006) o ensaio deve ser realizado com velocidade de translação constante de 12 ± 3 mm/min, sendo a força compressiva aplicada nas faces circulares (Figura 2.18).

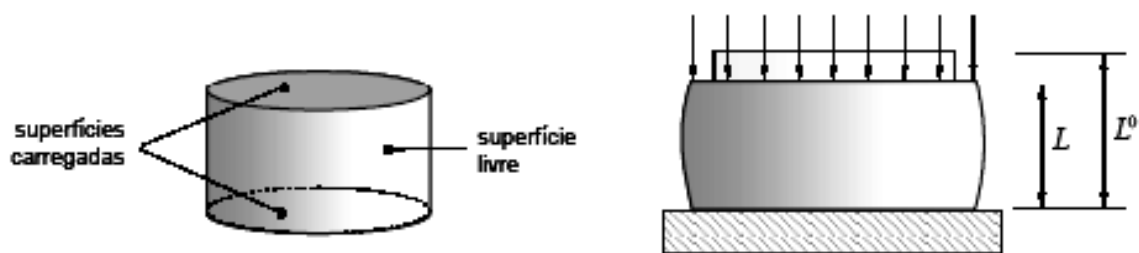


Figura 2.18 – Esquema do ensaio de compressão

Fonte: HOSS, Leonardo. **Caracterização do Comportamento e Determinação de Parâmetros Relacionados com Fratura e Fadiga de Materiais Elastoméricos**. 2006. 25 f. Monografia (Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006

Os ensaios desenvolvidos por Rodrigues (2008) utilizaram amostras dos lençóis de borracha e foram realizados em duas séries com o objetivo de estudar o comportamento à

compressão da borracha com o aumento da quantidade de placas ensaiadas. Contudo com o aumento na quantidade de camadas houve a necessidade de aumentar o diâmetro da amostra para melhorar a estabilidade do ensaio, dessa forma a primeira série realizou ensaio com quatro camadas de borrachas de diâmetro de 25,5 mm e a segunda série com quatorze camadas e diâmetro de 75,9 mm (Tabela 2. 2).

Tabela 2. 2 - Características das amostras do ensaio de compressão de Rodrigues (2008)

Série	Diâmetro D' (mm)	Espessura do lençol de borracha (mm)	Altura h' (mm)	Quantidade de camadas dos lençóis de borracha
01	25,5	9,5	38	4 camadas sobrepostas
02	75,9	9,5	133	14 camadas sobrepostas

Os resultados obtidos por RODRIGUES (2008) nos ensaios com 14 camadas deram origem ao gráfico (Figura 2.19), o qual relaciona a tensão (MPa) e o deslocamento vertical (mm) em dois lotes ensaiados, contudo apenas o lote 1 (linha em vermelho do gráfico) refere-se aos mesmos lençóis de borracha usados neste estudo experimental.

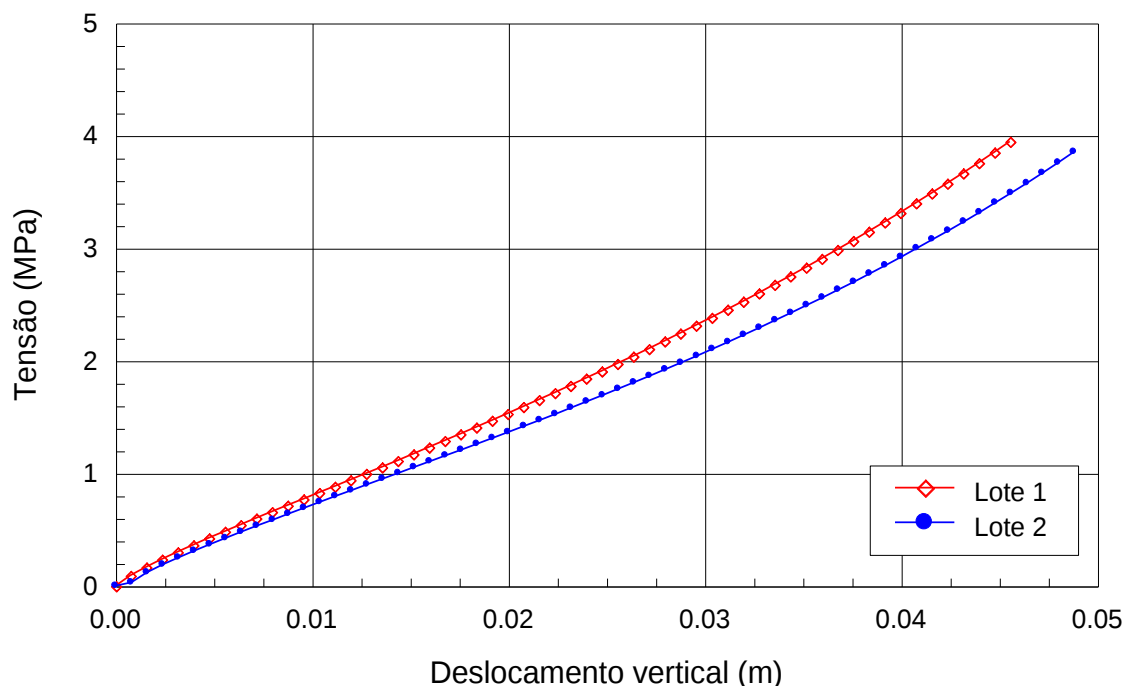


Figura 2.19 - Gráfico tensão x deslocamento vertical da borracha

Fonte: RODRIGUES, Lezzir Ferreira. **Juntas em Pavimentos de Concreto: Dispositivos de Transferência de Carga**. 2008. 256 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas). Universidade de São Paulo, 2008

2.7 MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO PARA PAVIMENTOS

Os pavimentos de concreto são submetidos a ações diretas e indiretas. As ações diretas constituem-se de forças ou pressões aplicadas à estrutura, e as ações indiretas são causadas por deformações impostas às placas de concreto, como retração; dilatação térmica e empenamento.

Essas ações, que solicitam os pavimentos, em grande parte são dinâmicas e de difícil previsão, tornando o projeto de pavimento complexo, pois na sua concepção é importante considerar não apenas o esforço que atua sobre a estrutura, mas a fadiga que a repetição dessas ações pode provocar no material. A fim de determinar os esforços que as ações diretas ou indiretas provocam nas placas de concreto apoiadas sobre o solo, foram desenvolvidas diversos métodos com a utilização de modelos físicos e matemáticos que representam o comportamento dos materiais e da própria estrutura.

Esses métodos clássicos, segundo Garnett (2001), usados no dimensionamento dos pavimentos rígidos baseiam-se em:

- Consideração das propriedades mecânicas do concreto que são representadas pela resistência à tração na flexão do concreto;
- Suporte da fundação do pavimento o qual é medido pelo coeficiente de recalque;
- Características dos carregamentos às quais o pavimento será submetido pela magnitude das cargas e por sua posição em relação aos eixos das placas de concreto;
- Utilização ou não de barras de transferência entre as placas do pavimento;
- Existência ou não de acostamento de concreto nas laterais do pavimento.

De modo geral para o dimensionamento dos pavimentos de concreto foram desenvolvidos métodos baseados na metodologia de dimensionamento proposta por Westergaard, o qual se baseou na Teoria da Elasticidade. Os métodos mais comumente utilizados para o dimensionamento de pavimentos de concreto são os especificados pela AASHTO (1993) e PCA (1995) que são baseados na metodologia de dimensionamento proposta por Westergaard (1927) que segue a teoria da elasticidade.

Outros métodos de dimensionamento variam segundo adaptações empíricas dos métodos de calibração e extensão mecânica-empírica da AASHTO como: Design of Zero-Maintenance Plain Jointed Concrete Pavement (Dimensionamento para Manutenção Zero de Pavimento de Concreto com Juntas), proposto por Darter em 1977; e Calibrated Mechanistic Structural Analysis Procedures for Pavements (Procedimento de Calibração para Análise Mecânica e Estrutural para Pavimentos), proposto por Barenberg e Thompson em 1992.

2.7.1 *Westergaard*

Harold Malcom Westergaard (1888-1950) investigou os deslocamentos em placas delgadas, elásticas, apoiadas em líquido muito denso, propondo uma metodologia de dimensionamento baseada na Teoria da Elasticidade e nas seguintes hipóteses: (a) placa de concreto delgada, aonde a menor dimensão lateral é pelo menos dez vezes maior que a espessura; (b) espessura constante da placa; (c) placa constituída de material homogêneo, isotrópico e elástico; (d) as reações do subleito são verticais e proporcionais aos deslocamentos verticais da placa.

Westergaard foi o primeiro a desenvolver as expressões matemáticas para a determinação dessas tensões e deflexões devidas às cargas de rodas e aos efeitos da temperatura nos pavimentos de concreto. Em 1926, ele apresentou soluções para cargas uniformemente distribuídas aplicadas em três posições em relação à área de contato da carga versus pavimento (circular, semicircular e elíptica), e publicou a análise de uma laje de concreto apoiada em subleito, feita por ele, constituindo assim a base de praticamente todos os métodos de cálculo de pavimentos rígidos.

Modificações foram feitas nas equações originais nos anos de 1933 e 1939. Segundo Oliveira (2000), em 1933 Westergaard apresentou uma teoria suplementar baseada na redistribuição de reações do subleito, em função de testes realizados para o carregamento no interior da placa. Em 1939, ele apresentou um trabalho sobre cálculo de tensões nos pavimentos de concreto para aeroportos.

Posteriormente em 1948 Westergaard desenvolveu novas formulações para a determinação das tensões e deslocamentos das placas sobre apoio elástico e considerou três posições de carregamento (Figura 2. 20): interior da placa (caso II), próximo à borda ou junta livre (caso III), e próximo a uma junta com algum grau de transferência de carga (caso I), e uma distribuição elíptica do carregamento devido ao contato com a placa de concreto. Além disso, ele estendeu o uso dessas equações para o dimensionamento dos pavimentos de aeroportos.

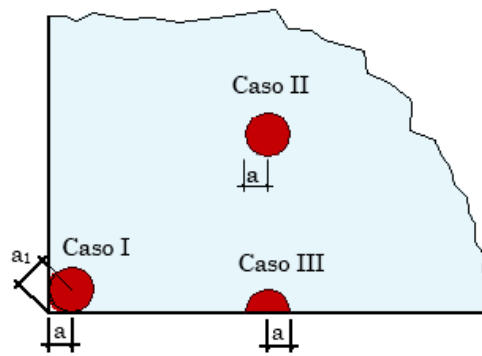


Figura 2. 20 – Posições de carregamento

Fonte: OLIVEIRA, Patrícia Lizi. **Projeto Estrutural de Pavimentos Rodoviários e de Pisos Industriais de Concreto**. 2000. 216 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2000.

Os estudos de Westergaard constituem a base dos métodos utilizados atualmente para dimensionamento dos pavimentos de concreto, mas segundo Oliveira (2000) o uso das suas equações é limitado, pois consideram apenas duas camadas: pavimento e fundação semi-infinita, desprezando a possibilidade da existência de camadas intermediárias, rígidas ou semi-rígidas. Ainda segundo Rufino (1997) as soluções de Westergaard fornecem resultados próximos às observações de campo para força no interior da placa, mas não fornecem bons resultados para carregamentos na borda ou no canto da placa de concreto.

2.7.2 Losberg

Anders Losberg foi um engenheiro especialista em estruturas, professor e chefe do Departamento de Estruturas da Chalmers University of Technology em Gotenburgo, Suécia. Em 1960 ele publicou o livro intitulado “*Structurally Reinforced Concrete Pavements*” no qual apresentou as suas extensas pesquisas sobre o comportamento de pavimentos de concreto em aeroportos e estradas. Ele dedicou muitos anos de pesquisa ao dimensionamento de placas de concreto armado apoiadas em meio elástico, voltado notadamente ao emprego de pavimento aeroportuário, tendo sido responsável pelo dimensionamento de diversas unidades civis e militares. A referência do seu trabalho no meio aeroportuário se dá pelos estudos através da Teoria das Charneiras Plásticas da problemática na implantação de um aeroporto no norte de Estocolmo pelo Stockholm Airport Building Committee. Nesse aeroporto o solo apresentava péssimas condições necessitando que as placas de concreto fossem reforçadas

estruturalmente com o uso de armadura convenientemente posicionada, sendo que ele empregou apenas armadura inferior em placas de até 50 metros de comprimento.

Essa questão foi inicialmente detectada pelo então professor Hjalmar Granholm, no início de 1945, e pesquisada pelo seu assistente Anders Losberg no Departamento de Engenharia Estrutural da Universidade de Tecnologia de Chalmers, na Suécia, através de ensaios em placas de concreto com o intuito de fornecerem resultados mais verdadeiros quanto possíveis, analisando seus desempenhos segundo as reais condições do solo e reais processos executivos efetuados (RODRIGUES, L. F., 2003).

Esses estudos foram realizados entre 1945 e 1949 com uma grande quantidade de ensaios investigativos de pavimentos armados com três séries de ensaios em 28 modelos de placas. Na primeira série Losberg usou placas circulares e octogonais apoiadas sob uma sub-base artificial de fibra de madeira com alta porosidade, que por sua vez apoiava-se na laje de reação do laboratório, e adotou as seguintes variáveis adotadas: espessura, resistência à tração na flexão e taxas de armadura. Ele supôs que a sub-base era composta por um líquido denso (resiliente) e que teoricamente que ela e a placa estavam em contato pleno. Foi utilizada nessa análise a teoria da elasticidade para a determinação de momentos, tensões, deslocamentos verticais e cargas de ruptura.

Na segunda série de ensaios conhecida como *Gothenburg tests* (série G), Losberg utilizou duas placas armadas, G1 e G2, apoiadas sobre o terreno natural. Essas placas foram ensaiadas no centro apresentando um determinado padrão de ruptura representado na Figura 2. 21, sendo que a placa G1 dotada de armadura simples apresentou na ruptura uma fissura circular afastada do ponto de carga. Já a placa G2, constituída de armadura dupla com estribos, a conformação final da fissuração apresentou duas linhas de fissuras, sendo que a do entorno do carregamento provocou destacamento do concreto. Depois de testada com carregamento central, a placa G2 foi adaptada para ser ensaiada nos bordos, construídos no entorno da circunferência, tornando-se uma placa de 8.000 mm x 8.000 mm, aonde os seus quatro bordos foram reforçados de maneira diferenciada, segundo sua inércia e armadura.

Mais duas séries de ensaios foram realizadas por Losberg, e ambas foram ensaiadas no local aonde se pretendia construir o aeroporto. A terceira série de testes foi realizada entre nos anos de 1944 e 1945, constituídas de placas executadas em concreto simples e armado e ensaiadas em um campo aonde inicialmente seria construído o aeroporto. Na quarta série de ensaios, realizada entre 1948 e 1949, levou em conta a relocação do aeroporto para um local aonde as condições do terreno eram mais favoráveis, o solo era mais resiliente (areia bem compactada) apresentando assim um alto valor de k . Losberg concluiu

que sob o ponto de vista da capacidade de carga não era preciso adotar pavimentos em concreto armado, mas sob o aspecto econômico seria proveitoso analisar as vantagens fornecidas pela armadura.

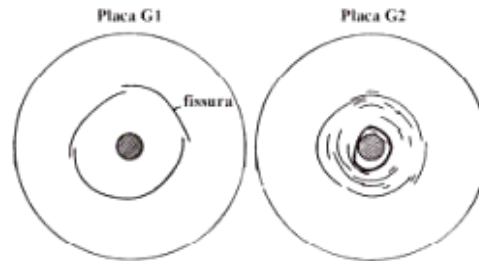


Figura 2. 21 – Padrão de fissuração, segundo Losberg, depois da ruptura (G1 e G2)

Fonte: LOSBERG, Anders: **Designs Methods for Structurally Reinforcement Concrete Pavements**. In Transactions of Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, 1960. 444 p.

Losberg considerava que tensões de tração deveriam ser combatidas com o emprego de armaduras adequadamente posicionadas, cuja taxa, quando apropriada, deveria permitir a fissuração do concreto com aberturas que não comprometeriam a sua durabilidade. Essas armaduras iriam manter eventuais fissuras, principalmente aquelas não provenientes do carregamento, como as de retração hidráulicas ou térmicas, suficientemente fechadas permitindo a transferência de cargas e aumentando a durabilidade do pavimento, fato que não ocorre no pavimento simples.

Ele executou paralelamente ensaios em vigas simplesmente apoiadas, chamado de *detail tests*, com a aplicação de duas cargas concentradas nessas vigas e obtendo o gráfico momento versus curvatura o qual era comparando aos resultados obtidos com as placas testadas. Com isso, Losberg concluiu que a teoria elástica funcionava bem para concreto ainda não fissurado que se encontrava na fase elástica.

Losberg também estudou o comportamento do pavimento em concreto segundo a Teoria das Charneiras Plásticas, ou linhas de ruptura, aonde ele assumiu que a pressão de reação do solo poderia ser estudada segundo a teoria da elasticidade e as cargas de ruptura nas placas poderiam ser determinadas pelas linhas de ruptura. Em seus estudos Losberg sugere algumas considerações quanto ao dimensionamento de pavimentos rodoviários:

1. Considera errônea a consideração de que o afastamento das fissuras no pavimento de concreto seja o principal critério para o dimensionamento e boa qualidade da estrutura;

2. O pavimento de concreto armado na face inferior funciona como uma placa elástica até o escoamento da armadura, após a pressão do solo é estimada segundo a Teoria da Elasticidade;
3. Quando o pavimento de concreto apresenta as suas primeiras fissuras na face superior, ele sai do seu estado de serviço, e a carga última deve ser aquela antes do surgimento da primeira fissura;
4. A temperatura e a retração relativa provocam tensões de flexão na placa, conhecido como empenamento, quando as mesmas atuam de forma desigual ao longo da espessura da placa. Esses fatores climáticos não influenciam no momento fletor último positivo e consiste em um fator redutor na resistência à flexão do concreto para o momento fletor último negativo.

O desempenho dos pavimentos é afetado com o aumento dos esforços de tração devido à presença de cargas concentradas. Essas cargas fazem com que surja um pico de tensões abaixo do centro desse carregamento, e o dimensionamento dos pavimentos simples levando em consideração a existência desse pico conduz a espessuras elevadas. Entretanto a introdução de uma armadura positiva nos pavimentos de concreto nas duas direções próximas à base da placa de concreto permite a fissuração do concreto e uma natural redistribuição dos esforços não ficando restrita apenas ao ponto de maior carregamento.

Após esses estudos Losberg passou a dedicar-se intensamente às estruturas de concreto armado, e não deixou seguidores na área de pavimentos e o seu método acabou ficando no esquecimento.

2.7.3 Metodologias: PCA e AASHTO

O dimensionamento dos pavimentos de concreto pode ser feito segundo as metodologias PCA e AASHTO, sendo que esta última é recomendada pelo Manual do Pavimento Rígido do DNER 1989. O que difere uma metodologia da outra são os parâmetros considerados para a determinação da espessura das placas de concreto.

Método PCA (PITTA, M.R., 1998-f)

O método de dimensionamento publicado pela PCA (Portland Cement Association) em 1966 tem como base o critério de fadiga e leva em consideração os seguintes critérios: propriedades do concreto, suporte da fundação, fatores de segurança de carga e as tensões produzidas pelas cargas. Além disso, o método PCA/66 recomenda o uso de fatores

de segurança para as cargas com a finalidade de compensar possíveis erros na avaliação das cargas e da projeção do tráfego. (RUFINO, D. M. S., 1997)

A análise da fadiga é feita com a utilização da Lei de Miner do Dano Acumulado por fadiga, onde a resistência à fadiga não consumida pela repetição de uma dada carga fica disponível para a repetição de outras. Segundo Rufino (1997) a fadiga ocorre por uma combinação da tensão gerada com o número de vezes que essa tensão ocorre, e observa-se que há um aumento da resistência à fadiga quando existem períodos de folga entre as aplicações de carregamento. É importante atentar para a fadiga, visto que, devido a ela, o concreto poderá romper mesmo quando a tensão de tração produzida pela carga for menor que a resistência à tração na flexão.

Enquanto no método da PCA/66 adota-se a teoria de Westergaard para a determinação das tensões, no método da PCA de 1984 são realizadas análises estruturais com o uso do método dos elementos finitos, levando em conta: (a) grau de transferência de carga nas juntas transversais; (b) efeitos da existência ou não de acostamentos de concreto; (c) contribuição estrutural das sub-bases de solo melhorado ou de concreto magro sob a placa de concreto; (d) ação de eixos tandem triplos; (e) introdução de um modelo de ruína por erosão da fundação.

O método PCA de 1984 é uma revisão da versão anterior (1966) baseado no conhecimento adquirido sobre pavimentos através da teoria da análise de desempenho e pesquisas. Ele considera novas práticas de construção e a avaliação de desempenho, não apresentando mudanças em relação ao método anterior em relação aos critérios de determinação do coeficiente de segurança das ações e no valor de suporte da fundação referente ao coeficiente de recalque k .

Esse método considera dois modelos de ruptura do pavimento: fadiga e erosão. O critério de fadiga admite que pavimentos possam fissurar devido a excessivas cargas de repetição. O critério do PCA/84 é semelhante ao adotado no método PCA/66, sendo que no seu desenvolvimento houve uma retro-análise do modelo de fadiga utilizado anteriormente havendo, segundo Pitta (1998-f), duas importantes alterações: (1) as tensões de tração por flexão passam a ser produzidas pela passagem de carga tangenciando a borda longitudinal e não mais a junta transversal; (2) a curva de fadiga adotada pelo PCA/66 foi prolongada de modo a alcançar valores abaixo da relação de tensão limite que era de 0,50, e foi reduzida para 0,45.

Segundo Pitta (1998-f) a erosão é a perda de material do topo da camada imediatamente sob a placa de concreto, por ação combinada da água e da passagem das cargas

pesadas. O dano dessa natureza não pode ser previsto e nem medido pelo modelo de fadiga, o seu critério depende da correlação entre os valores calculados das deformações verticais do canto da placa e das pressões verticais exercidas na interface entre a placa e a sua fundação. Sabe-se ainda que o critério de dano por erosão esteja intimamente ligado às condições climáticas regionais e à eficiência da drenagem, por isso esse critério é uma diretriz em função de dados locais como pluviosidade. Também se admite que as placas mais delgadas estejam sujeitas a um fator de erosão mais intenso, ou seja, sofrem ruptura por punção mais rapidamente que as placas mais espessas.

Método de AASHTO (RODRIGUES, L. F., 2003)

A modelagem experimental de um pavimento auxilia no entendimento da mecânica de funcionamento das estruturas, as suas observações empíricas de desempenho e as medidas de grandezas físicas realizadas diretamente sobre os pavimentos em verdadeira escala possibilita a consolidação das técnicas de pavimentação assim como os processos de dimensionamento dessas estruturas.

Na pista experimental de AASHTO (American Association of State Highway Officials), construída próxima a Illinois nos Estados Unidos, foram realizados testes acelerados de tráfego entre os anos de 1958 e 1960. Baseados nos resultados obtidos o AASHTO Design Committee desenvolveu o AASHTO Interim Guide for the Design of Rigid and Flexible Pavements em 1961, aplicado somente para o dimensionamento de trechos segundo as condições de tráfego, clima, fundação e materiais dos testes (RODRIGUES, L. F., 2003). Esse guia foi desenvolvido ao mesmo tempo tanto para pavimentos rígidos como para pavimentos flexíveis, ambos publicados no mesmo manual.

O guia provisório na sua primeira versão foi publicado em 1961, tendo uma publicação posterior em 1972. Na década de 80 esse guia foi revisado a partir de 1981 com uma publicação definitiva em 1986, modificando a forma tradicional de dimensionamento de pavimentos inserindo os conceitos de módulo resiliente, fadiga e serventia dos materiais utilizados, além de ter inserido no dimensionamento as análises estatísticas por meio da adoção de níveis de confiança e desvio padrão. No ano de 1993, uma nova versão desse método foi publicada sem alterações significativas nos procedimentos para dimensionamento dos pavimentos rígidos, mas contendo adições sobre o dimensionamento das juntas.

O método AASHTO/1993 de dimensionamento dos pavimentos de concreto envolve algumas considerações concernentes a:

1. Desempenho do pavimento - o conceito *serviceability-performance* (capacidade de serviço e desempenho) foi introduzido no dimensionamento de pavimentos pela AASHTO para quantificar o conforto do tráfego através da avaliação das quantidades funcionais e estruturais do pavimento. O dimensionamento através desse método se baseia no conceito de serventia associado ao conceito de desempenho, representado no guia pela sigla PSI (*Present Serviceability Index*), procurando com isso projetar um pavimento baseando-se não apenas no tráfego total, mas também em um nível de serventia mínimo desejado no final do período de desempenho.
2. Tráfego - diferentemente dos demais métodos, o guia da AASHTO leva em consideração o tráfego total ao final do período de projeto, calculado pelo número de repetições de um eixo simples equivalente de 8,16 toneladas denominado ESAL (cargas equivalentes por eixo simples), podendo assim comparar o número admissível de um pavimento com o número de carregamentos previstos. Dessa forma o efeito de qualquer carregamento sobre o pavimento que provoca uma perda da capacidade de serviço pode corresponder a uma porcentagem de carga padrão.
3. Custos dos ciclos de vida - refere-se aos custos envolvidos durante o ciclo de vida de um pavimento. Inicialmente eles incluem todos os custos de construção, o que é maior para o pavimento rígido quando comparado ao pavimento flexível. Contudo, os custos dos ciclos de vida envolvem também os demais custos de um pavimento relacionados com a manutenção, conservação e reforma, além dos custos sociais descritos por Carvalho (2007) como sendo os relacionados à economia de combustível, iluminação pública, redução do custo operacional dos veículos e do índice de acidentes nas rodovias e vias urbanas.
4. Ambiente - o meio ambiente, através dos fatores ligados a variação de umidade e de temperatura, influenciam o desempenho dos pavimentos podendo afetar a sua resistência, durabilidade, capacidade de carga dos materiais empregados, bem como dos solos sobre os quais o pavimento está apoiado (sub-base e subleito).
5. Materiais de Construção - os materiais usados na construção de um pavimento possuem importância vital na sua qualidade, comportamento e na expectativa de vida. No caso do pavimento rígido o concreto precisa ter algumas condições tecnológicas particulares que contribuem diretamente para a sua qualidade, sendo: (a) alta resistência à tração na flexão; (b) baixa capacidade de retração, principalmente aquelas conhecidas como plástica e

hidráulica; (c) razoável resistência ao desgaste por meios mecânicos ou químicos; (d) grande compacidade e impermeabilidade.

6. Fundação - no pavimento rígido as placas de concreto são assentes sobre uma fundação que pode ser de solo natural (subleito) ou uma camada artificial (sub-base) (RUFINO, D. M. S., 1997). A caracterização da fundação se dá na determinação do Módulo Resiliente (M_R), que corresponde à medida da propriedade elástica do solo admitindo certas características não lineares. Esse módulo é usado no dimensionamento dos pavimentos flexíveis, mas no caso dos pavimentos rígidos esse módulo deve ser convergido para o coeficiente de recalque (k). Segundo Silva (2005), Heukelom & Klomp (1962) desenvolveu uma correlação aonde o Índice de Suporte Califórnia (CBR) corresponde a uma vez e meia ao Módulo Resiliente (M_R).

7. Drenagem - sabe-se que existem diversas maneiras de a água atingir a fundação do pavimento, podendo infiltrar através das trincas e juntas, e ainda percolar das regiões adjacentes. Quando a água fica acumulada na estrutura do pavimento ela causa sérios danos à estrutura à medida que os veículos passem, gerando principalmente redução da resistência do solo da fundação e bombeamento de finos que provocam o escalonamento, trincas e deterioração do acostamento. O sistema de drenagem objetiva resolver os problemas relacionados à água livre e só passaram a ser considerados a partir do guia AASHTO/1986, com a introdução de um coeficiente de drenagem (C_d) que é definido em função do tempo necessário para a água ser removida e da porcentagem do tempo que a estrutura fica exposta a níveis de umidade próximos à saturação (RUFINO, D. M. S., 1997).

Segundo Rufino (1997), é difícil estabelecer uma comparação entre os métodos da AASHTO e da PCA tendo em vista que, enquanto o da AASHTO se baseia no conceito de confiabilidade usando valores médios para todas as variáveis, o segundo utiliza fatores de segurança para as cargas e propriedades mais conservativas dos materiais.

2.8 PUBLICAÇÕES RECENTES

2.8.1 Walker & Holland (1998)

Walker e Holland (1998) publicaram um artigo contendo uma comparação analítica entre barras de transferência circular e placas de transferência tipo diamante utilizando um modelo de elementos finitos e cálculos comparativos.

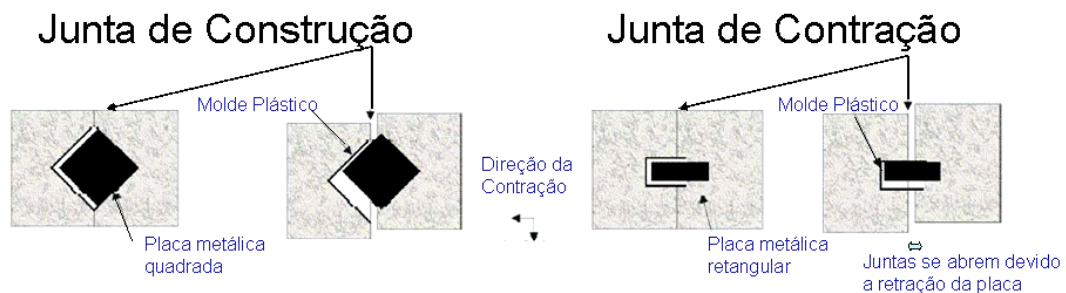


Figura 2. 22 – Comportamento dos dispositivos de transferência de carga antes e após a contração segundo Walker e Holland (1998)

Fonte: WALKER, W. W.; HOLLAND, J. A. Plate Dowels for Slabs on Ground. **Concrete International**, p. 32-38. Julho 1998.

Segundo eles essas placas de transferência de esforços do tipo diamante estão sendo usadas nos EUA em substituição as barras de seção circular, para espaçamentos de 300 mm, permitindo que haja uma redução no tamanho e número de fissuras de retração nas lajes, devido a sua mobilidade horizontal, que fica ressaltada em pisos com juntas em duas direções ou com longos espaçamentos entre juntas e significativos movimentos horizontais. Há muitas vantagens ao utilizar barras de transferência nas juntas das lajes de piso para transferir esforços cortantes. Algumas das vantagens segundo o artigo são como se segue:

1. As placas são executadas com materiais compressíveis ou fôrmas-bolso podendo ser facilmente aderidos aos lados das placas para acomodar a movimentação horizontal da laje paralela à junta, permitindo que a laje se mova livremente na horizontal ajuda a minimizar o tamanho e o número de fissuras de retração.
2. A placa de transferência é mais eficiente e utiliza materiais mais baratos que as tradicionais barras de transferência circulares, proporcionando uma melhor relação custo-benefício aos pavimentos de concreto.
3. A placa diamante permite que a laje mova-se horizontalmente sem restrição quando as juntas abrem devido à retração das lajes.

2.8.2 Mannava, Bush e Kukreti (1999)

Mannava, Bush e Kukreti (1999) analisaram em um estudo experimental o comportamento da carga aplicada versus deslocamento das barras de transferência através da investigação dos efeitos devidos a variação da resistência do concreto, do diâmetro das barras de transferência e da largura das juntas. Essas variáveis adotadas nos ensaios foram: três resistências nominais do concreto à compressão (15, 17 e 28 MPa), três diâmetros diferentes das barras de transferência (19 mm, 25 mm e 38 mm) e duas larguras das juntas (9 mm e 20 mm).

A montagem do programa experimental (Figura 2. 23) foi planejada para testar uma barra de transferência transversal à junta colocada entre dois blocos de concreto com a carga sendo aplicada de forma centralizada acima da junta através de um macaco hidráulico carregado em contato com um braço em forma de “L” conectado ao bloco carregado. O bloco de reação contém dimensões de 380 mm x 380 mm x 250 mm e uma barra rígida de aço engastada. O bloco carregado tem dimensões de 380 mm x 330 mm x 250 mm e continha uma abertura de 25 mm para permitir a deflexão na direção do carregamento.

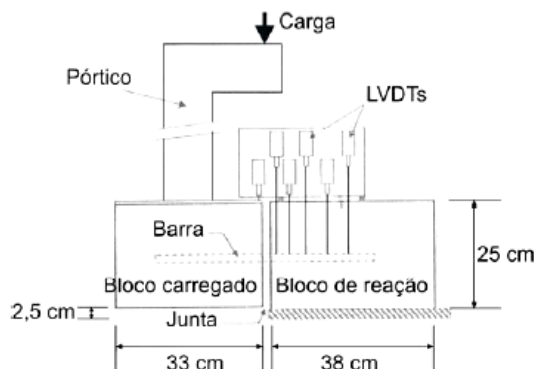


Figura 2. 23 – Representação do programa experimental de Mannava, Bush e Kukreti (1999)

Fonte: MANNAVA, Syam S.; BUSH, Thomas D. Jr; KUKRETI, Anant R.; Load-Deflection Behavior of Smooth Dowels. **ACI Structural Journal**, Título n.º 96-S97, p 891-898, Nov-Dez 1999.

Pode-se concluir a partir desse estudo experimental que as variáveis adotadas (resistência nominal à compressão do concreto, diâmetro das barras de transferência e largura da abertura das juntas) possuem substancial impacto na resistência última e na interação elástica entre a barra de transferência e o concreto, sendo observado:

1. A redução de 25% no diâmetro das barras de transferência resulta em uma redução similar, em torno de 20%, na rigidez para os exemplares que possuíam menor resistência, menor diâmetro da barra de transferência e menor abertura.

2. A redução de 35% na resistência à compressão do concreto determinou uma redução em torno de 45% no comportamento elástico das juntas para os exemplares contendo barras de transferência com diâmetro intermediário e menor abertura das juntas.

2.8.3 *Eddie, Shalaby e Rizkalla (2001)*

A corrosão das barras de transferência metálicas nos pavimentos rígidos é um dos fatores que reduz a vida útil, por isso o uso de barras de transferência com polímero reforçado em fibra de vidro, GFRP, se tornou uma possível alternativa principalmente para ambientes não corrosivos. Essa pesquisa procurou descrever o desempenho das GFRP em relação às cargas estáticas e cíclicas, através de ensaios utilizando três tipos de GFRP (polímeros reforçados em fibra de vidro), os quais forneceram informações sobre transferência de carga nos pavimentos e a exequibilidade da utilização de GFRP nesse tipo de aplicação.

Os ensaios em laboratório consistiram na aplicação de carga, em uma área de 600 mm x 250 mm, nas juntas em doze lajes de pavimento, as quais foram moldadas com dimensões de 2440 mm x 610 mm x 254 mm e contendo em cada placa duas barras de transferência. Duas superfícies do suporte de base foram implementadas: uma base fraca equipada por meio de uma matriz em mola de aço, e uma base rígida equipada por meio de um agregado com pedra calcária (Figura 2. 24).

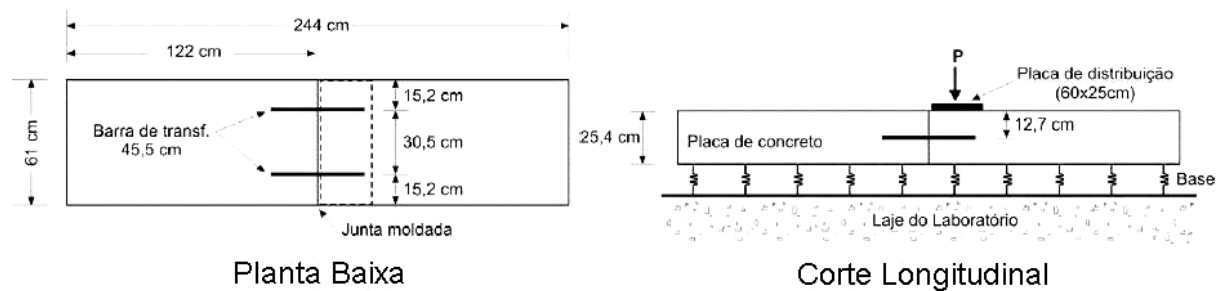


Figura 2. 24 – Configuração do ensaio de laboratório (planta baixa e corte longitudinal) do ensaio de Eddie, Shalaby e Rizkalla (2001)

Fonte: EDDIE, Darren; SHALABY, Ahmed; RIZKALLA, Sami; Glass Fiber-Reinforced Polymer Dowels for Concrete Pavements. **ACI Structural Journal**, Título n.º 98-S20, p 201-206, Março-Abril 2001.

Para simular uma sub-base fraca, o sistema junta/laje foi apoiado em molas de aço com inflexibilidade (módulo de base) de 3,6MN/m³, e para formar a sub-base rígida, uma camada dessa base foi preparada com a utilização de agregados em pedra calcária sendo compactada em três camadas de 100 mm. O módulo de rigidez da base foi determinado

através de diferentes ensaios com a aplicação de carga na sub-base, e calculada uma média de $133,3 \text{ MN/m}^3$ a qual foi utilizada em todos os ensaios que empregaram base com esse tipo de agregado.

As barras utilizadas nos ensaios foram divididas em três grupos, o primeiro eram barras revestidas em epóxi, o segundo eram barras usando GFRP do tipo 1, e o terceiro grupo usou barras com GFRP tipo 2. Adicionalmente, os tipos 1 e 2 de GFRP usado nas barras de transferência foram testadas para verificar a consistência dos ensaios em relação às barras de transferência metálicas revestidas com epóxi. As barras de transferência com GFRP foram produzidas por três fabricantes diferentes dos Estados Unidos os quais utilizaram o processo de pultrusão, o qual impele fios contínuos de fibra, impregnados de resina, através da matriz de aço longa e aquecida (“pull extrusion”). Os três tipos de barras de transferência com GFRP continham fibra de vidro tipo “E” longitudinalmente (unidirecional) e uma resina de poliéster com um teor de fibra entre 65 e 70%.

Os ensaios da primeira fase utilizaram a base frágil e aplicação de testes estáticos, e essa condição representou o enfraquecimento do suporte da base e a localização da junta devido à erosão da base e do efeito de mola, e o módulo de suporte da base foi estabelecido em 3.6 MN/m^3 . Nessa fase os resultados obtidos foram:

1. O desempenho dos três tipos de barras de transferência foram controladas pela falha da laje de concreto devido às deformações excessivas antes da ruptura das barras de transferência;
2. A carga transferida efetivamente foi superior a carga limite;
3. Os ensaios foram determinados com uma carga aproximada de 100 kN necessária para a ruptura da placa e a efetividade da junta de todos os tipos de barra de transferência foram testadas com um alcance de 86 a 100%;
4. Observou-se que o modo de ruptura é devido ao esmagamento do concreto e da junta, seguido pelo fechamento dessa junta que estava aberta e o desenvolvimento da fissura no concreto abaixo da aplicação da carga na placa.

Na segunda fase o ensaio foi com aplicação de carga estática em base rígida e compreendeu duas réplicas da placa/junta do ensaio contendo cada um dos três tipos de materiais utilizados nas barras de transferência. Os resultados dessa fase foram:

1. A efetividade das juntas variou de 90 a 97% com carga superior a 300kN;
2. Em todos os ensaios as placas de concreto fissuraram logo depois do fechamento das aberturas existentes nas juntas e com cargas superiores a 200 kN, e com o fechamento

das juntas as duas faces das juntas suportaram umas as outras e assim as barras de transferência tiveram curvaturas excessivas;

3. A compressão biaxial sob carga aplicada na placa proveniente da área de atuação desse carregamento e as tensões suportadas causaram a quebra na face das juntas.

Na terceira fase foram ensaiadas três placas com carregamento cíclico. A carga constante gera uma onda senoidal que varia entre 20 e 130 kN com uma frequência de 6 Hz. Devido à degradação da base seguida da carga cíclica, uma nova compactação da base granular foi utilizada no início de cada teste. Os resultados obtidos nessa fase são:

1. Somente uma fissura muito fina foi observada e todas as lajes permaneceram intactas após a aplicação de um milhão de cargas cíclicas;
2. Foi observado aparentemente um pequeno incremento na efetividade das juntas com a aplicação das cargas cíclicas com aproximadamente um milhão de ciclos;
3. Eficiência nas barras: (a) Barras metálicas - a eficiência da junta inicial com nenhum ciclo excedeu a 98%, e nos ensaios subsequentes houve uma redução e a efetividade ficou entre 94 a 97%; (b) Barras com GFRP tipo 1 – houve uma redução significativa da eficiência no alcance de 10% nos ensaios realizados no início das cargas cíclicas, e o seu alcance ficou entre 80 e 90% e representou um resultado bastante reduzido em relação às barras de transferência metálicas; (c) Barras com GFRP tipo 2 – teve uma efetividade superior ao nível de 95%.

De modo geral, os ensaios estáticos e cíclicos realizados em laboratório demonstraram que as barras de transferência com GFRP de 38,1 mm de diâmetro são admissíveis para serem usadas como dispositivo de transferência de carga em substituição a barra metálica revestida em epóxi com diâmetro de 31,75 mm. Admite-se que as barras de transferência com GFRP que possuem grandes diâmetros e baixo módulo de elasticidade terão tensão de suporte reduzida entre a barra de transferência e o suporte de concreto, por esta razão as barras de transferência reduziram o espaçamento e as imperfeições. Em particular, o desempenho das barras com GFRP tipo 2 foi satisfatória tanto nos testes estáticos como nos cíclicos.

2.8.4 Shoukry, William, Ria & Motamarri (2003)

Shoukry, William, Riad e Motamarri (2003) pesquisaram o atrito existente entre as barras de transferência o concreto utilizando ou não lubrificantes. O trabalho desenvolvido teve três etapas, sendo: (1ª) Realização de ensaios experimentais em blocos de concreto com

barras de transferência engastadas nesses blocos para medir a força de tração necessária para puxar as barras; (2ª) Determinação do coeficiente de atrito existente na interface da barra de transferência e o concreto para diferentes coberturas da barra de transferência através de modelos analíticos existentes; (3ª) Desenvolvimento de um modelo tridimensional para prognosticar o campo de ação da tensão-deformação ao redor da barra de transferência devido à retração do concreto e durante o estágios de tração.

Nos ensaios experimentais foram feitas dezoito amostras divididas em dois grupos iguais. Todas as amostras foram confeccionadas em concreto simples, em blocos com largura de 300 mm, espessura de 250 mm e comprimento de 280 mm. Em cada uma das amostras, foi embutida a metade do comprimento de uma barra de transferência, sendo que todas as barras usadas tinham 460 mm de comprimento. No primeiro grupo foram usadas barras com diâmetro de 38 mm e no segundo com diâmetro de 32 mm. As barras de transferência usadas no ensaio foram meticulosamente fixadas nas formas de madeira mantendo a perpendicularidade ao eixo longitudinal das barras em relação à face vertical das amostras para minimizar o efeito do desalinhamento (Figura 2. 25). O diferencial dos ensaios foi à lubrificação ou não das barras de transferência. Em cada grupo de amostras, três barras não eram lubrificadas, três eram lubrificadas com silicone e as outras três eram lubrificadas com Tectyl. As propriedades citadas do silicone e do Tectyl é de que ambos não são voláteis, mantêm a lubrificação e não desgrudam da barra devido à variação da temperatura.

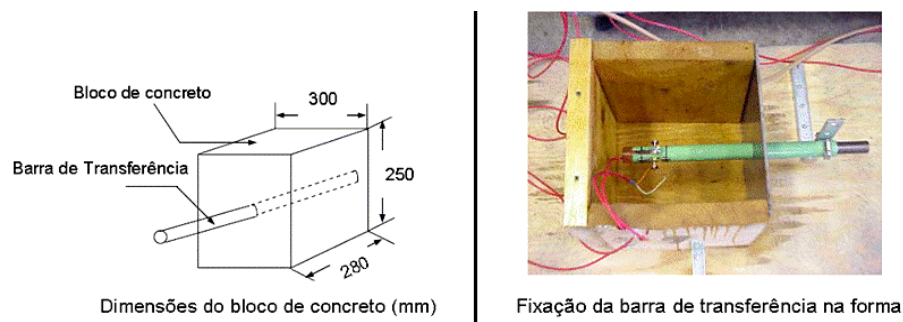


Figura 2. 25 - Esquema de Ensaio de Shoukry et al. (2003)

Fonte: SHOUKRY, Samir N.; WILLIAM, Georgis W.; RIAD, Mourad Y.; MOTAMARRI, Sri Vani Sirisha: **Effect of Bonding Force on Stresses in Concrete Slabs**. West Virginia Department of Transportation, Division of Highway, 2003. 128 p.

O esquema de ensaio foi montado para que o carregamento fosse aplicado manualmente de forma a controlar a proporção desejada entre a carga aplicada e a descarga. A peça em concreto foi apoiada sobre uma placa rígida metálica apoiada em blocos rígidos. Um cilindro hidráulico duplo foi colocado sobre a peça em concreto. Para que a pressão aplicada

pelo cilindro hidráulico fosse uniforme, uma chapa metálica com espessura de $\frac{1}{2}$ polegada foi colocada entre o cilindro e o bloco. O pistão do cilindro hidráulico foi rosqueado em outro cilindro conectado a outro adaptador e na célula de carga. O adaptador assegura que a rosca e a célula de carga se acionem em concordância.

Sensores foram selecionados para medir a grandeza da carga aplicada, o deslocamento da barra de transferência e a tensão no concreto ao redor e ao longo da barra. A carga foi aplicada para puxar e empurrar a barra de transferência, por meio de um atuador cilíndrico construído pela Enerpac com capacidade de 60 toneladas e um golpe de 89 mm. A célula de carga possuía capacidade de 22.680 kg (50.000 libras) (Figura 2. 26).



Figura 2. 26 – Realização do ensaio de Shoukry, William, Ria & Motamarri (2003)

Fonte: SHOUKRY, Samir N.; WILLIAM, Georgis W.; RIAD, Mourad Y.; MOTAMARRI, Sri Vani Sirisha: **Effect of Bonding Force on Stresses in Concrete Slabs**. West Virginia Department of Transportation, Division of Highway, 2003. 128 p.

Os ensaios foram conduzidos com a aplicação de cargas puxando e empurrando a barra fixada no bloco em intervalos de tempo para investigar o efeito do incremento na resistência do concreto na durabilidade do vínculo entre a interface barra de transferência e concreto. Foram realizados ensaios complementares de tração para estimar o coeficiente de fricção na interface do concreto e barra de transferência. Os principais resultados obtidos nessa pesquisa foram:

1. As tensões desenvolvidas no concreto ao redor da barra de transferência não são uniformes.

2. As forças exercidas para empurrar e puxar a barra eram superiores para as barras com diâmetro de 38 mm do que para as barras de 32 mm;
3. O lubrificante reduziu as forças para puxar e empurrar as barras requeridas para o deslocamento das barras de transferência.
4. As forças necessárias para puxar e empurrar as barras reduziu com o aumento na quantidade de ciclos no caso da barra sem lubrificante.
5. As forças que empurravam e puxavam a barra, provocando o seu deslocamento, aumentavam com o aumento da retração do concreto.
6. As barras não lubrificadas não puderam ser puxadas completamente para a posição inicial como no caso das barras lubrificadas.
7. As tensões radiais e axiais eram grandes nos exemplares contendo barras de transferência sem lubrificação.
8. O modelo matemático desenvolvido para estimar o coeficiente de atrito na interface concreto-barra de transferência, baseado na ajustagem de um modelo reduzido provou ser válido.
9. O coeficiente de atrito da interface concreto-barra de transferência foi reduzido para aproximadamente um quarto com a aplicação do lubrificante.
10. A lubrificação com silicone foi mais durável que com tectyl.

2.8.5 *Rodrigues (2003)*

Rodrigues (2003) foi a pioneira a estudar o comportamento dos pavimentos rígidos na Universidade Federal de Goiás, e a sua pesquisa consistiu em estudar experimentalmente placas em concreto armado e não armadas apoiadas sobre base deformável granular (areia) de 200 mm de espessura.

Foram ensaiadas dez placas de concreto, sendo quatro com dimensões de 3000 mm x 3000 mm x 100 mm e as demais com 1000 mm x 1000 mm x 34 mm. Todas as placas foram moldadas em concreto de resistência de 35 MPa, e as variáveis consideradas nesse estudo foram em relação à variação da taxa de armadura e posicionamento do carregamento.

O carregamento aplicado nos ensaios foi estático variando o posicionamento, no centro e na borda livre, e a região de distribuição da carga foi dimensionada de forma retangular para corresponder à área de contato do pneu de um veículo automotor. Para determinar os deslocamentos verticais das placas foram utilizados deflectômetros nos eixos de simetria e na diagonal das placas estudadas.

Os resultados obtidos nos ensaios foram comparados com dois métodos usuais de dimensionamento de pavimentos rígidos referentes às teorias da elasticidade e das charneiras plásticas. O resultado dos estudos de Rodrigues (2003) através dessas comparações foi que o primeiro método apresenta resultados satisfatórios na análise das flechas, e o segundo é mais adequado para a determinação da carga de ruptura teórica. As principais conclusões obtidas por Rodrigues (2003) são:

1. A armadura adicionada à placa de concreto simples aumentou consideravelmente a capacidade de carregamento da peça e a margem de segurança para a ruptura, sendo que a armadura na face inferior absorve o momento positivo, enquanto a resistência à tração do concreto na face superior suporta momentos negativos menores.
2. Não foi verificado um aumento significativo, inferior a 5%, na capacidade de resistência das placas dotadas de armadura dupla em relação às placas com armadura simples.
3. Constatou que a introdução da armadura de flexão nas placas aumentou a carga de ruptura das placas cerca de três vezes, se comparada às placas de referência.
4. A metodologia empregada por Anders Losberg pareceu ser a mais apropriada se comparada aos ensaios efetuados.
5. Os modos de ruptura observados foram flexão simples para o caso das peças de concreto simples e certamente flexão seguida de punção nas peças dotadas de armadura simples e dupla.
6. A análise dos resultados revelou um comportamento dúctil dos modelos armados.

2.8.6 Costa (2004)

Costa (2004) realizou um estudo numérico do comportamento estrutural do pavimento rígido armado apoiado sobre base elástica através de uma análise não linear do sistema fundação-placa e do desenvolvimento de modelagem através do programa ANSYS 6.1 for Windows utilizando o método dos elementos finitos.

A validação dos modelos foi efetuada através da retro-análise e utilização de dados experimentais obtidos nos ensaios de Rodrigues (2003), do qual obteve o módulo de elasticidade do solo e outros parâmetros usados na modelagem.

O modelo numérico foi desenvolvido para analisar a influencia de algumas variáveis no dimensionamento do pavimento, tais como resistência do concreto, espessura da placa e taxa de armadura. Após o seu desenvolvimento Costa (2004) comparou os valores

obtidos através da modelagem com os obtidos nos ensaios experimentais a fim de calibrar o modelo numérico com o experimental. O grau de correlação obtido para os deslocamentos verticais foi de 93% no centro da placa e variou de 71 a 85% nos cantos. Os resultados encontrados foram considerados por Costa (2004) satisfatórios com os dados experimentais permitindo que o estudo seja estendido a condições usuais de aplicação.

Na análise das principais variáveis (resistência à compressão do concreto, taxa de armadura e espessura do pavimento) concluiu-se que: (1) com o aumento da resistência à compressão do concreto há um pequeno acréscimo na rigidez da estrutura e um aumento significativo na carga última; (2) para pavimentos com pequenas espessuras a utilização da armadura, não tem contribuição na melhora da capacidade de suporte do pavimento, mesmo que se utilize um concreto de alta resistência; (3) a utilização de taxas de armadura superior à mínima não se recomenda, pois essa armadura somente funcionaria se o aço escoasse o que não ocorre na prática. Sendo assim antieconômica a utilização de armadura superior à mínima.

2.8.7 *Silva (2005)*

O enfoque desse trabalho foi analisar o comportamento de placas de concreto simples e com a adição de fibras de aço. Nesse estudo as variáveis foram a variação da resistência do concreto e das taxas de fibras incorporadas ao concreto. Os ensaios experimentais foram feitos com oito placas quadradas (1800 x 1800 mm) e espessura fixa (100 mm) com a aplicação de carregamento estático no centro geométrico das peças.

Na análise foram obtidos os seguintes resultados: todas as peças de concreto foram rompidas por flexão; as peças de concreto simples não tiveram ganho quantitativo de carga com a variação das resistências à compressão do concreto; e, as peças com adição de fibras de aço obtiveram um aumento da carga de ruptura de 145% a 300%.

2.8.8 *Tertuliano (2005)*

Tertuliano (2005) realizou um estudo experimental de oito placas em concreto simples com resistência característica à compressão de 20 MPa, contendo juntas transversais situadas no centro, com dimensões de 600 mm x 2200 mm apoiadas sobre base deformável granular (areia) de 200 mm de espessura. As placas foram executadas em concreto simples com resistência nominal à compressão de 20 MPa, e as variáveis adotadas são: espessura da placa (80 mm e 120mm); tipo de junta transversal (moldada e serrada); largura da abertura da

junta (6 mm e 30mm); presença ou não de barras de transferência com diâmetro nominal de 16 mm nas juntas.

Nos ensaios foram aplicados carregamentos estáticos através de um atuador hidráulico em apenas um dos lados da junta das placas de concreto, com o objetivo principal de estudar a transferência de esforços cisalhantes entre as placas de concreto através das juntas e a eficiência das mesmas. Pode-se concluir que:

1. Nas placas contendo barras de transferência pode-se observar que:
 - a. As cargas máximas aplicadas foram superiores as placas análogas que não continham esse dispositivo, em torno de 68%.
 - b. Nas placas contendo barras de transferência a eficiência da juntas foram superiores ao valor sugerido pela ACPA, e nas placas sem barras esses valores foram menores após a carga de fissuração, pois o único mecanismo de transmissão de esforços nesse caso é o intertravamento proporcionado pelo concreto.
2. Através dos gráficos carga x deformação do aço pode-se observar que: (a) as placas com barras de transferência não apresentaram deformações até a carga de fissuração, mostrando que antes desse valor essas barras não haviam sido solicitadas; (b) após a carga de fissuração as placas da série com junta serrada apresentaram deformações que se assemelhavam com as das barras presentes nas placas de juntas moldadas.
3. A opção mais recomendada é de junta serrada contendo barras de transferência, pois essas placas oferecem: (a) resultados percentualmente maiores de transferência de esforços dentre todas as placas analisadas, apesar de não fornecer a maior carga máxima dentre as placas; (b) maiores cargas de escoamento; (c) menores deslocamentos verticais da face da junta e dos bordos.
4. Sugere que a placa de junta serrada após a fissura se comporte como uma de junta moldada.
5. Em relação à espessura as placas de menor espessura tiveram deformações do aço e do concreto menores, se comparadas em mesma carga. Já as placas de maior espessura tiveram menores deslocamentos verticais na junta e nas bordas. Pode-se dizer que a maior espessura é benéfica para a transmissão de cargas, apesar de acarretar um gasto maior em obras de pavimentação, pois utiliza mais concreto.
6. Os métodos de cálculos sugeridos para a obtenção dos esforços cortantes (isostático e charneiras plásticas) apresentaram valores com diferença máxima entre eles de 30%.

7. As recomendações de Huang (1993) majoram os esforços de cisalhamento que são transferidos de uma placa a outra, em relação aos métodos de cálculo sugeridos, estando sempre a favor da segurança.

2.8.9 *Fleury (2006)*

Fleury (2006) deu continuidade ao estudo experimental de Tertuliano (2005) ao analisar mecanismos de transferência de esforços cisalhantes através de juntas executadas em placas de concreto, e o principal diferencial adotado foi à adoção de uma base flexível formada por camadas de borracha.

O programa experimental adotado constou de ensaios com aplicação de carregamento estático através de um atuador hidráulico em apenas um dos lados das doze placas de concreto simples ($F_{ck} = 20\text{MPa}$) com dimensões de 2200 mm x 600 mm, separadas por uma junta transversal no meio do comprimento. As variáveis adotadas foram: presença ou não de barras de transferência com diâmetros de 12,5 mm ou 16 mm, espessura da placa (80 mm, 120 mm e 160 mm), tipo de junta (moldada ou serrada).

As placas foram ensaiadas sobre uma base de borracha natural com espessura de 130 mm, onde duas células de carga posicionavam-se para medir a reação que atuava na face inferior. As deformações do concreto e do aço foram mensuradas com extensômetros e utilizou-se deflectômetros para leitura dos deslocamentos.

Para avaliar as camadas de borracha foram realizados dois tipos de avaliações: (1) ensaios de coeficiente de recalque para avaliar a capacidade da camada suporte; (2) ensaios em nove blocos de concreto - três para cada espessura de placa, entre esses, um sem barra, e os outros dois com diferente diâmetro de barra - simulando um cisalhamento duplo (“double shear”) para verificar qual a real influência da camada de borracha utilizada. As principais conclusões obtidas por Fleury (2006) são:

1. Nas placas com junta serrada contendo barras de transferência pode-se observar que:
(a) o uso das barras conferiu um acréscimo de pelo menos 24% em relação às cargas máximas aplicadas quando comparadas as cargas obtidas nos ensaios das placas análogas que não continham esse dispositivo; (b) as placas contendo barras de transferência com maior diâmetro resistiram a maiores cargas. Apenas nas placas de menor espessura que as barras mais grossas não influenciaram no resultado final.
2. Em relação à eficiência das juntas, observou-se que até a carga de fissuração as placas com junta serrada apresentavam comportamento semelhante. Com a fissuração essas

placas perdiam a eficiência de forma brusca, uma vez que o único mecanismo de transmissão dos esforços é o intertravamento dos agregados do concreto, enquanto que nas placas contendo barras essa perda de eficiência era lenta até o escoamento das barras.

3. A relação entre a carga de fissuração e a carga máxima devido à presença ou não de barras de transferência variou entre 35% e 40% para as placas sem barras, e não ultrapassou a 19% para as placas contendo barras, indicando que as placas sem barras atingiam sua carga máxima logo após o surgimento da fissura não mais transferindo esforços, enquanto as placas dotadas de barras continuavam a transferência até o final do ensaio.
4. Nas placas com junta moldada não existe o intertravamento dos agregados como mecanismo de transferência de esforços e observou-se que: (a) as barras são solicitadas desde as primeiras cargas como é verificado nos gráficos carga x deformação do aço; (b) quanto à eficiência, a transferência dos esforços diminui de maneira progressiva desde o início, atingindo valor bem próximo ao limite da ACPA nas últimas cargas, indicando um comportamento muito similar ao das placas com junta serrada e barras após o surgimento da fissura.
5. Na análise dos gráficos carga x deformação do aço: (a) as placas com barras de transferência não apresentaram deformações até a carga de fissuração, evidenciando que antes desse valor as barras não eram solicitadas; (b) as barras de transferência de 16 mm possuíam uma tensão de escoamento 21% maior que as barras de 12,5 mm, apresentando um acréscimo mínimo de 34% nas cargas máximas aplicadas; (c) as placas que utilizavam as barras de 16 mm apresentaram uma melhora de 1% a 4% na eficiência em relação às placas com barras de 12,5 mm; (d) o uso de barras de transferência com diâmetro maior gera resistência para cargas maiores com um acréscimo médio de 50%.
6. Na análise da variação da espessura nas placas de concreto observou-se que de modo geral houve: (a) aumento da espessura representou um acréscimo nas cargas máximas; (b) aumento da carga de fissuração de acordo com a espessura das placas; (c) aumento da carga de escoamento à medida que as placas ficavam mais espessas; (d) em relação à eficiência as placas com junta moldada apresentaram um ganho de aproximadamente 6% com o aumento da espessura, enquanto as serradas apresentaram uma variação média de 3,5%; (e) a maior espessura é benéfica para a transferência de cargas, apesar de originar em maior custo em obras de pavimentação por utilizar mais concreto.

7. As placas com junta serrada sem barras poderiam ser usadas, sem maiores consequências, quando submetidas a carregamentos menores que o valor da carga de fissuração. Para carregamentos maiores, o ideal seria a utilização de placas dotadas de dispositivos de transferência de cargas com junta serrada ou moldada dependendo da necessidade construtiva, já que as duas opções apresentaram resultados semelhantes após o surgimento da fissura nas placas.
8. As placas com junta serrada contendo barras de transferência é a opção mais recomendada, pois elas obtiveram os maiores valores de carga máxima, melhores resultados na transferência de esforços, cargas de escoamento mais expressivas e valores de eficiência de juntas mais significativos em todo carregamento.
9. Os blocos ensaiados romperam em cisalhamento puro não aceitando nenhum incremento de carga após o surgimento da fissura. Esse comportamento indicou que no caso das placas, a base de borracha permitia que, após a fissuração causada pelo cisalhamento, a placa continuasse a receber carga, transferindo os esforços pelas barras metálicas, e deformando por flexão até que a transferência de esforços cessasse.
10. As resultantes teóricas calculadas pelo método triangular e pelo da parabólica apresentaram valores bem próximos entre si, e aos das resultantes experimentais. Enquanto que os valores das resultantes teóricas calculados utilizando a integral da equação das parábolas do coeficiente de recalque destoaram das resultantes calculadas pelos dois outros métodos em aproximadamente 63 % das placas. Isso pode ser consequência da maneira como foi realizado o ensaio do coeficiente de recalque da borracha, utilizando uma metodologia recomendada para ensaios em solos.

2.8.10 *Rodrigues (2008)*

Rodrigues (2008) realizou um estudo experimental sobre o comportamento de juntas transversais em placas de concreto simples com resistência característica à compressão de 20 MPa apoiadas sobre fundação elástica de 140 mm de espessura. As placas de concreto com dimensões de 2200 mm x 600 mm e espessuras de 120 mm e 160 mm, contendo juntas de 6 mm de espessura do tipo moldada ou serrada. Essas juntas adotaram dispositivos metálicos de transferência de carga (barras de seções circulares e quadradas, placas e discos) com espaçamento entre eles de 300 mm e posicionados na metade da altura da placa por meio de espaçadores metálicos do tipo caranguejo.

Foram ensaiadas 23 placas em duas etapas conforme o tipo de carregamento, sendo que na primeira etapa foram aplicados carregamentos quase estáticos em um dos lados da junta, e na segunda foram executados ensaios repetitivos. Foram realizados ensaios complementares de cisalhamento duplo em corpos de prova para se determinar a resistência do sistema placa-junta por meio da associação entre o concreto e o dispositivo de transferência metálico sem levar em conta a resistência da fundação do pavimento.

Nas placas de borracha foram introduzidas células de carga para medir as forças exercidas pela placa de concreto sobre a superfície da camada de borracha. Os deslocamentos da placa foram medidos ao longo do seu eixo longitudinal e na face da junta na placa através de deflectômetros e transdutores de deslocamentos.

As deformações específicas do concreto e do aço foram determinadas por extensômetros próprios ligados a sistemas eletrônicos de aquisição de dados. Foram realizados ensaios para a caracterização da borracha com a determinação das suas propriedades mecânicas: dureza, deformação permanente à compressão sob deformação constante e compressão.

Além dos ensaios experimentais foram feitas simulações numéricas através do programa ANSYS 9.0 que utiliza o método dos elementos finitos. Os parâmetros de entrada de dados foram os obtidos experimentalmente no ensaio efetuado em uma das placas contendo junta serrada, espessura de 120 mm, barra de transferência de seção circular com diâmetro de 12,5 mm. As principais conclusões obtidas por Rodrigues (2008) a partir dos resultados experimentais das placas de concreto são:

1. Quanto à eficiência das juntas foi adotado o parâmetro de eficiência proposto pela ACPA (1991) para verificar o comportamento das juntas em relação ao limite especificado de 75%. Nas placas submetidas a carregamento estático pode se observar que:
 - a. As placas que contém dispositivos de transferência em barra há uma queda progressiva da eficiência à medida que as barras eram solicitadas após a fissuração do concreto. Já nas placas com dispositivos em chapa há uma queda progressiva da eficiência para as cargas superiores a carga de fissuração.
 - b. Para as placas com espessura de 120 mm a barra de seção circular apresentou uma melhor eficiência em torno de 96%.
 - c. O disco metálico apresentou melhor eficiência se comparado as placas metálicas.

- d. As placas com junta moldada tiveram desde o início do carregamento queda progressiva da eficiência, e apresentaram menor eficiência em relação ao outro tipo de junta adotada.
 - e. As placas com junta serrada apresentaram durante o carregamento estático um comportamento bastante similar em termos de eficiência.
2. Na análise da força aplicada em relação ao deslocamento vertical, pode-se concluir que: (a) as placas de concreto contendo dispositivos de transferência em forma de disco apresentaram os maiores deslocamentos em função da porcentagem da força última aplicada; (b) nas juntas contendo dispositivos em placas e discos metálicos, as placas em concreto com 120 mm de espessura tiveram maiores deslocamentos verticais que as de 160 mm de espessura; (c) em geral os discos metálicos proporcionaram forças últimas e deslocamentos verticais superiores aos demais tipos de dispositivos.
 3. As reações máximas verificadas com as células de carga posicionadas no interior da borracha representaram menos que 2% das forças últimas atingidas, indicando que houve o levantamento excessivo do lado não carregado diminuindo o contato entre a placa e a fundação.
 4. O modo de ruína das placas ocorreu predominantemente em relação às forças de tração na flexão e ruptura do concreto à compressão na fibra superior do modelo.
 5. De modo geral houve um aumento da capacidade resistente das placas para os dois tipos de junta, e uma maior solicitação do dispositivo de transferência de carga, sendo necessário que haja um aumento da área de aço de maneira a aumentar a eficiência do conjunto com o aumento da espessura.
 6. Nas placas submetidas a carregamento repetitivo (até 300.000 ciclos) não foram verificados danos por fadiga, e esses ciclos provocaram uma diminuição da carga de fissuração em parte dos modelos, mas não provocou a diminuição da capacidade resistente dessas peças.
 7. Verificou que as reações transmitidas para as barras de transferência em cada lado da junta seriam em média de 0,28 F, com valor inferior ao definido por Westergaard (1928) que seria de 0,50 F.
 8. O modelo numérico desenvolvido apresentou resultados próximos aos obtidos experimentalmente e atingiu força última com valores abaixo do esperado e alterou significativamente o valor do módulo de elasticidade do concreto e do coeficiente de recalque da fundação.

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA

Esse capítulo apresenta o procedimento empregado na preparação, confecção das placas de concreto e realização dos ensaios. Esses ensaios foram realizados com as placas apoiadas sobre base de borracha, contendo juntas serradas executadas na posição central das placas, com a utilização de barras de transferência. Todas as placas foram confeccionadas e ensaiadas no Laboratório de Estruturas da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás (EEC/UFG). A caracterização dos materiais utilizados foi realizada no Laboratório de Materiais da EEC/UFG e no laboratório da empresa Carlos Campos Consultoria Ltda.

3.1 MODELO EXPERIMENTAL

A fim de estudar o comportamento das placas de pavimentos rígidos, foi desenvolvido um modelo experimental com placas de concreto representando uma fração de uma pista de pavimento rígido ou piso industrial com aplicação de carga em um lado da junta serrada.

3.1.1 Detalhamento das Placas

Nesse estudo experimental foram concretadas quatorze placas de concreto isoladas com dimensão de 600 mm x 2.200 mm em duas etapas. O detalhe com as dimensões das placas está ilustrado na Figura 3. 1. As variáveis adotadas neste estudo são:

- i. Resistência característica do concreto à compressão aos 28 dias (f_{ck}): 20MPa ou 30MPa;
- ii. Tipo de concreto adotado: convencional ou autoadensável;
- iii. Presença ou não de barras de transferência (BT) com diâmetro de 12,5 mm;
- iv. Variação do comprimento das barras de transferência: 500 mm, 400 mm ou 300 mm;
- v. Espessura da placa de concreto (h): 120 mm ou 160 mm.

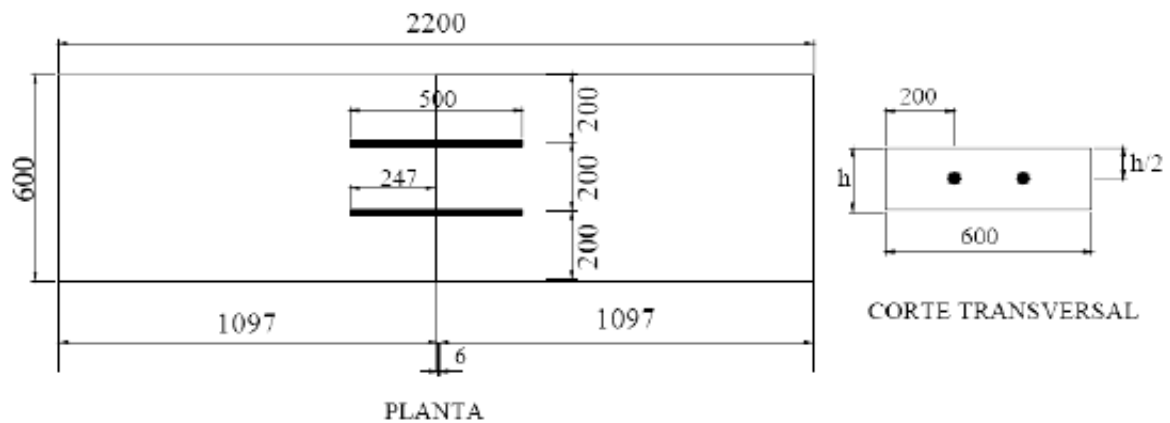


Figura 3. 1 – Detalhe das placas (dimensões em mm)

As placas com barras de transferência colocaram duas barras lisas metálicas de seção circular ($\varnothing 12,5$ mm), posicionadas na metade da espessura da placa ($h/2$) e espaçadas de 200 mm das laterais da placa e entre elas, mantendo assim a simetria com espaçamentos iguais.

Essas quatorze placas foram divididas em quatro séries de acordo com os ensaios experimentais. A primeira série é composta por quatro placas em concreto convencional com resistência à compressão (f_{ck}) de 20 MPa e com espessura das placas de 160 mm. A segunda série diferencia da primeira em relação à espessura, sendo de 120 mm. A terceira série consta com placas em concreto convencional com resistência à compressão (f_{ck}) de 30 MPa. Na quarta série as placas são em concreto autoadensável com resistência à compressão (f_{ck}) de 30 MPa.

Na primeira, segunda e quarta séries foram confeccionadas quatro placas, sendo uma placa sem barra de transferência e as outras três, contendo barras de transferência com comprimentos de 500, 400 e 300 mm cada uma. Apenas na terceira série que foram confeccionadas apenas duas placas, uma sem barra de transferência e outra contendo barra de transferência com 500 mm de comprimento.

3.1.2 *Nomenclatura adotada para as placas*

A nomenclatura das quatorze placas foi padronizada a fim de definir através do código todas as características e variáveis adotadas nesse estudo (Tabela 3. 1), dessa forma as placas foram nomeadas utilizando quatro sequências de identificação (Figura 3.2).

Tabela 3. 1 – Nomenclatura e características das placas de concreto

Série	Nomenclatura das Placas	Características das Placas				
		Concreto		h (mm)	Barra de Transferência	
		Tipo	f_{ck}		Presença	l_{BT}
01	C20-16SB	Convencional	20 MPa	160	Não	-
01	C20-16B50	Convencional	20 MPa	160	Sim	500 mm
01	C20-16B40	Convencional	20 MPa	160	Sim	400 mm
01	C20-16B30	Convencional	20 MPa	160	Sim	300 mm
01	C20-12SB	Convencional	20 MPa	120	Não	-
01	C20-12B50	Convencional	20 MPa	120	Sim	500 mm
01	C20-12B40	Convencional	20 MPa	120	Sim	400 mm
01	C20-12B30	Convencional	20 MPa	120	Sim	300 mm
02	C30-12SB	Convencional	30 MPa	120	Não	-
02	C30-12B50	Convencional	30 MPa	120	Sim	500 mm
02	A30-12SB	Autoadensável	30 MPa	120	Não	-
02	A30-12B50	Autoadensável	30 MPa	120	Sim	500 mm
02	A30-12B40	Autoadensável	30 MPa	120	Sim	400 mm
02	A30-12B30	Autoadensável	30 MPa	120	Sim	300 mm

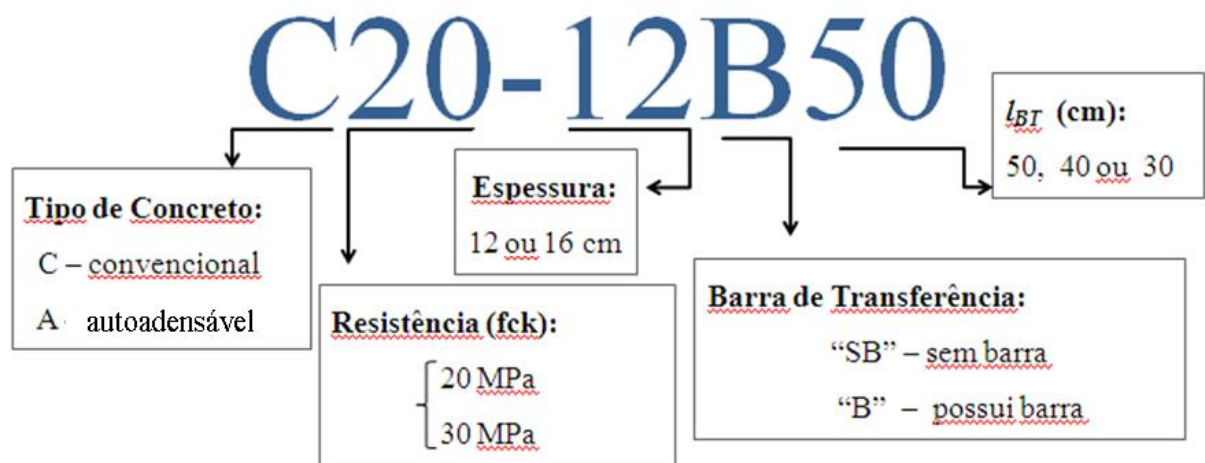


Figura 3.2 – Exemplo de nomenclatura das placas

As sequências mostradas acima na nomenclatura das placas indicam na:

- **1ª Sequência** – o tipo de concreto usado na confecção das placas: “C” para concreto convencional, e “A” para concreto autoadensável;
- **2ª Sequência** – a resistência à compressão do concreto: 20 ou 30 MPa;
- **3ª Sequência** – a espessura da placa: 120 ou 160 mm;
- **4ª Sequência** – a presença ou não de barras de transferência na placa, sendo que o índice “SB” é para a placa que está sem barra e o índice “B” para as que possuem barras;

- **4ª Sequência** – no caso das placas que contém barras de transferência o comprimento (l_{BT}) das mesmas (500, 400 ou 300 mm).

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

3.2.1 Concreto

Na confecção das placas foi utilizado concreto usinado fornecido e aplicado pela Concreteira Realmix (Figura 3.3). As características dos materiais utilizados e os traços dos concretos foram de responsabilidade da empresa fornecedora. A concretagem foi realizada em duas séries, em 10/04/2007 e 27/07/2007, com previsão de resistências características à compressão (f_{ck}) aos 28 dias de 20MPa e 30MPa na primeira e segunda série respectivamente. Na segunda série foram usados dois tipos de concreto, convencional e autoadensável.



Figura 3.3 – Fornecimento de concreto usinado pela Realmix

Para a realização dos ensaios de resistência à compressão, tração por compressão diametral e módulo de elasticidade, os corpos de prova cilíndricos, com dimensões de 150 mm de diâmetro e 300 mm de altura, foram moldados e preparados segundo a NBR 5738:2003 (Figura 3.4) e medido “in loco” o slump do concreto (Figura 3. 5), ou ensaio de abatimento de tronco de cone. Para o ensaio de tração na flexão foram moldadas vigas de dimensões 150 mm x 150 mm x 500 mm (Figura 3. 6).



Figura 3.4 – Moldagem dos corpos de prova cilíndricos



Figura 3. 5 – Sequência do “slump test”



Figura 3. 6 – Moldagem de vigas 150 mm x 150 mm x 500 mm

Os ensaios de resistência característica à compressão (f_{ck}), módulo de elasticidade do concreto (E_c) e tração por compressão diametral (f_{ct}) foram realizados, respectivamente, de acordo com as normas NBR 5739:1994, NBR 8522:2003 e NBR 7222:1994. Todos esses ensaios foram realizados no Laboratório de Concreto da empresa Carlos Campos Consultoria Ltda. Os ensaios de tração na flexão foram realizados de acordo com a NBR 12142:1991 no Laboratório de Materiais da EEC/UFG. (Figura 3. 7). A idade dos corpos-de-prova de cada série utilizados para os ensaios de caracterização estão na Tabela 3. 2.



Figura 3. 7 – Ensaio de tração na flexão

Tabela 3. 2 – Relação dos ensaios de caracterização do concreto

<i>Ensaio</i>	<i>NBR</i>	<i>Idade (dias)</i>	
		<i>Série 01</i>	<i>Série 02</i>
Resistência característica à compressão (f_{ck})	5739:1994	7, 14, 21, 28 e 129	7, 14, 21 28 e 90
Módulo elasticidade do concreto (E_c)	8522:2003	14, 28 e 129	7, 14, 21, 28 e 90
Tração por compressão diametral (f_{ct})	7222:1994	14, 28 e 129	7, 14, 21, 28 e 90
Tração na flexão (f_{tf})	12142:1991	36 e 137	28 e 90

3.2.2 *Barras de Transferência*

Os tipos de barras de transferência mais utilizados são: barras redondas, quadradas e as quadradas com um adicional de EPS nas laterais até a metade de seu comprimento. Nesse estudo foram utilizadas barras de transferências redondas, lisas, com diâmetro nominal de 12,5 mm e comprimentos variados (l_{BT}) de 500, 400 e 300 mm (Figura 3. 8).



Figura 3. 8 – Barra de transferência redonda $\varnothing$ 12,5mm (l_{BT} = 500, 400 e 300 mm)

Como foram utilizadas as mesmas barras de transferência, pertencentes ao mesmo fabricante, do mesmo lote e mesmo diâmetro utilizadas por Fleury (2006). Os dados obtidos nos ensaios de tração do aço realizados por Fleury (2006) de acordo com a norma NBR 6152:1992 serão apresentados a seguir no item 4.1.2.

3.2.3 *Camada de Borracha*

A caracterização dos lençóis de borracha foi determinada através dos ensaios para a determinação do coeficiente de recalque, k , e das propriedades mecânicas referentes a Dureza, Deformação Permanente à Compressão sob Deformação Constante, e Compressão.

Os ensaios de caracterização das propriedades mecânicas desses lençóis de borracha foram realizados por Rodrigues (2008) no Laboratório de Polímeros do Departamento de Materiais da Universidade Federal de São Carlos, conforme item 2.6.2.

O ensaio para a determinação do coeficiente de recalque, k , foi realizado por Fleury (2006) a partir de uma adaptação da Norma DNER-35 (1989), antes e após a realização de cada série dos seus ensaios. Neste estudo foi utilizada a mesma metodologia

sendo que essa caracterização foi feita uma única vez antes da realização dos ensaios experimentais. Para a realização desses ensaios foi utilizada uma placa metálica de 800 mm de diâmetro e quatro deflectômetros posicionados em pontos equidistantes para medir os deslocamentos verticais (Figura 3. 9).

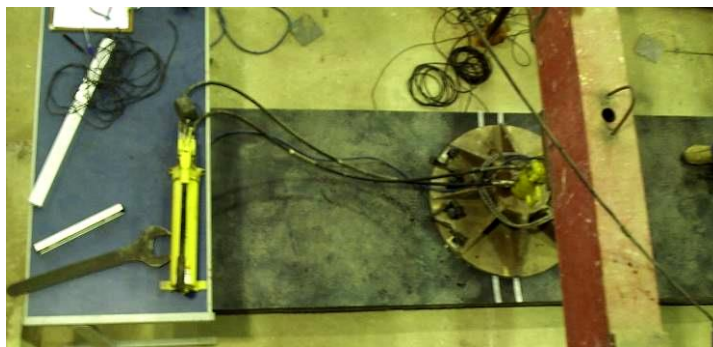


Figura 3. 9 – Vista superior do ensaio da camada de borracha

3.3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

3.3.1 *Placas de Concreto – confecção, execução da junta serrada e transporte*

Na moldagem das placas de concreto foram utilizadas formas metálicas confeccionadas em chapas e perfis metálicos nas dimensões em planta de 2200 mm x 600 mm e espessura variável (Figura 3. 10). As formas foram montadas, niveladas, limpas, lubrificadas e no meio das mesmas foram colocadas duas barras de transferência, apoiadas sobre espaçadores do tipo caranguejo, em espaçamentos iguais de 200 mm entre si e as extremidades da placa. Nas laterais dessas peças foram feitos furos nos quais foram encaixados pedaços, em torno de 200 mm, de barras de aço (tirantes), sem nenhuma função estrutural, os quais foram usados somente para o transporte das placas.



Figura 3. 10 – Formas metálicas preparadas para a concretagem

A concretagem das placas foi realizada no Laboratório de Estruturas da EEC/UFG com a utilização de concreto usinado bombeado. Os concretos convencionais

foram adensados com a utilização de um vibrador elétrico aplicado diretamente no concreto na posição vertical para evitar o deslocamento das barras de transferência, e o concreto autoadensável não necessita de adensamento mecânico devido às suas propriedades (Figura 3. 11).



Figura 3. 11 – Concretagem, adensamento e nivelamento

O nivelamento e acabamento das placas foram feitos através regularização da superfície com régua metálica de metalon e alisamento com colher de pedreiro (Figura 3. 12a). A cura úmida, através da cobertura com lona, foi realizada em todas as placas após a concretagem para garantir uma melhor cura (Figura 3. 12b).

Superfície Regularizada (concreto auto-adensável)

Cura úmida

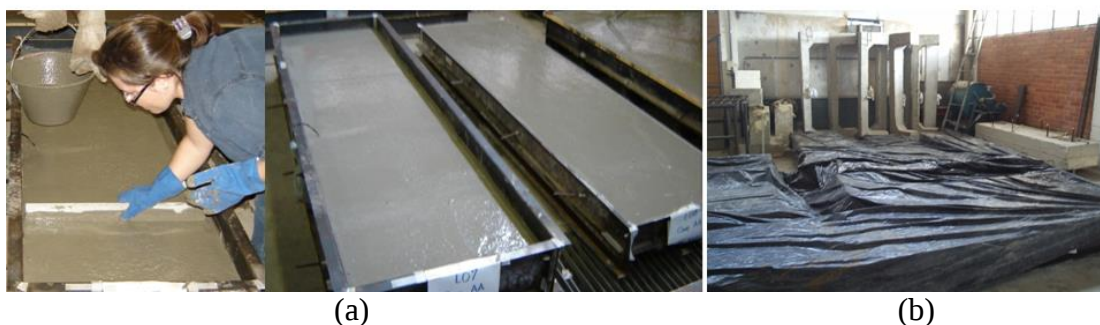


Figura 3. 12 – Superfície regularizada com régua (a) e cura úmida (b)

As juntas foram serradas 24 horas após o início da cura, processo denominado de “juntas verdes” (Figura 3. 13). Esses cortes foram executados utilizando um disco de serra de corte seco diamantado para concreto, acoplado a uma serra-mármore marca Maquita, fornecendo uma largura de 6,0 mm com uma profundidade da ranhura equivalente a $\frac{1}{4}$ da espessura das placas.

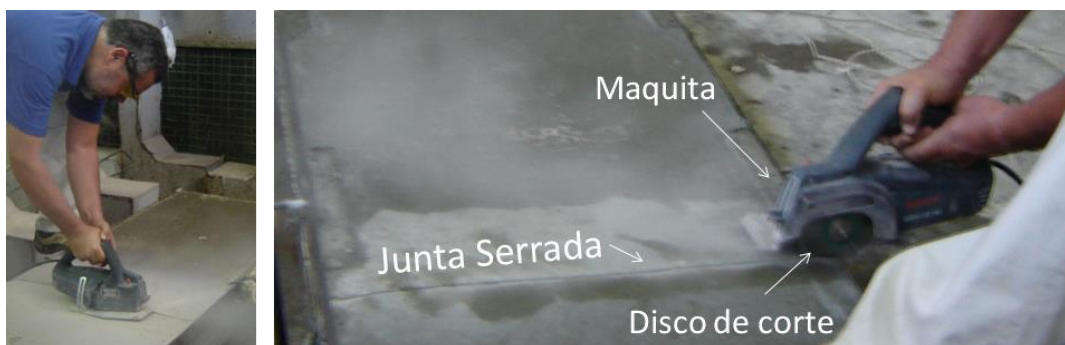


Figura 3. 13 – Execução de junta serrada

As placas foram transportadas através dos tirantes concretados nas duas laterais da placa, sem função estrutural, sob os quais foram passadas cintas para que a placa pudesse ser suspensa e transportada pelo laboratório através da ponte rolante sem prejuízo à junta ou a placa de concreto (Figura 3. 14).

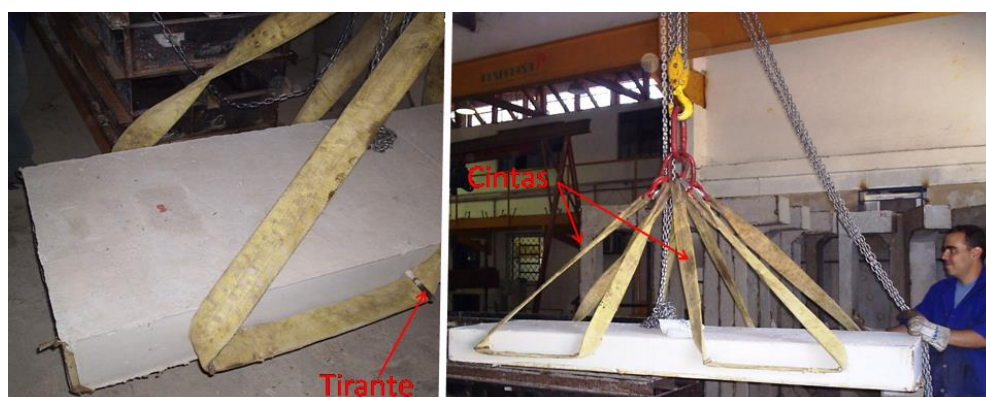


Figura 3. 14 – Sistema de transporte das placas

3.3.2 *Camada de Suporte e Posicionamento da Placa de Concreto*

A camada de suporte usada nos ensaios deu prosseguimento à pesquisa anterior realizada por Fleury (2006), e utilizou a mesma base formada por treze camadas de lençóis em borracha natural em placas com dimensões de 1000 mm x 3000 mm e espessura de 10 mm. Os lençóis utilizados variaram de acordo com a rigidez (unidade shore), sendo que 12 deles apresentavam índice de dureza de 70 shore e apenas um lençol de borracha com dureza de 20 shore. O esquema de montagem desses lençóis foi feito da seguinte sequência:

- 1º. Assentamento sobre a laje de reação da primeira placa do lençol de borracha inteira com rigidez de 70 shore;
- 2º. Assentamento de mais duas placas de borracha, com rigidez de 70 shore, contendo três aberturas, sendo: (i) 01 (uma) abertura central de 100 mm x 200 mm para a colocação das células C1 e C2; (ii) 02 (duas) aberturas intermediárias de 100 mm x 100 mm para a colocação das células C3 e C4;

- 3°. Assentamento de duas placas de borracha, com rigidez de 70 shore, contendo apenas uma abertura central de 100 mm x 200 mm dando continuidade a colocação das células C1 e C2. Após a colocação das células (C1 a C4) e o devido encaixe nas placas de borracha, foram colocados os pedaços de borracha, obtidos através dos recortes das aberturas, sobre as células para dar a devida proteção e nivelamento das placas.
- 4°. Foram colocadas mais duas camadas contendo lençóis de borracha em placas inteiras de 70 shore, e na oitava camada foi colocada a placa com a rigidez de 20 shore.
- 5°. Da nona à décima terceira camada foram colocadas as demais placas com rigidez de 70 shore.

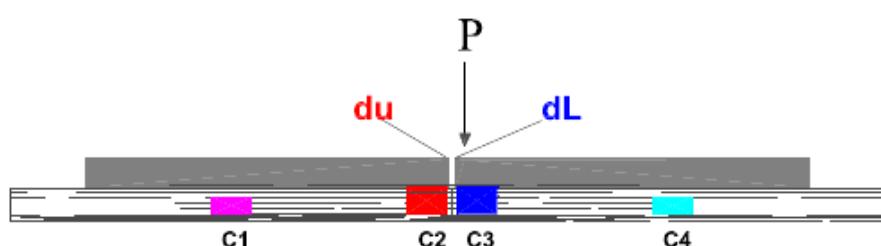


Figura 3. 15 – Posicionamento das células de carga na camada de borracha

Acima das placas dos lençóis de borracha foi colocada uma lona plástica e aplicada uma fina camada de argamassa de regularização sobre a qual era assentada a placa de concreto a ser ensaiada (Figura 3. 16). A placa de concreto era assentada sobre a camada de argamassa de regularização ainda no estado fresco e somente após a secagem da argamassa (mínimo de 24 horas) era montado o sistema de reação e de aplicação de cargas.

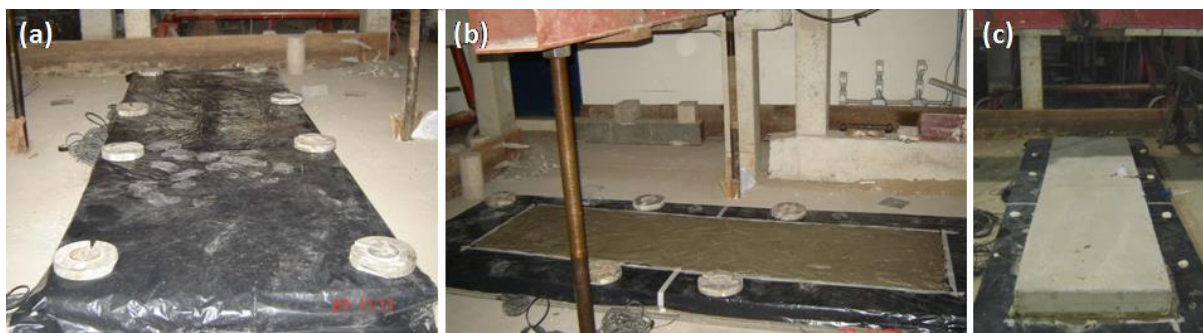


Figura 3. 16 – Posicionamento da placa de concreto na base de borracha: (a) Posicionamento da Lona, (b) Argamassa de regularização, (c) Assentamento da placa de concreto

3.3.3 Esquema de Ensaio

Os ensaios das placas de concreto foram feitos no Laboratório de Estruturas da Escola de Engenharia Civil/UFG e o esquema de ensaio foi montado acima da laje de reação do laboratório de acordo com o esquema apresentado abaixo (Figura 3. 17).

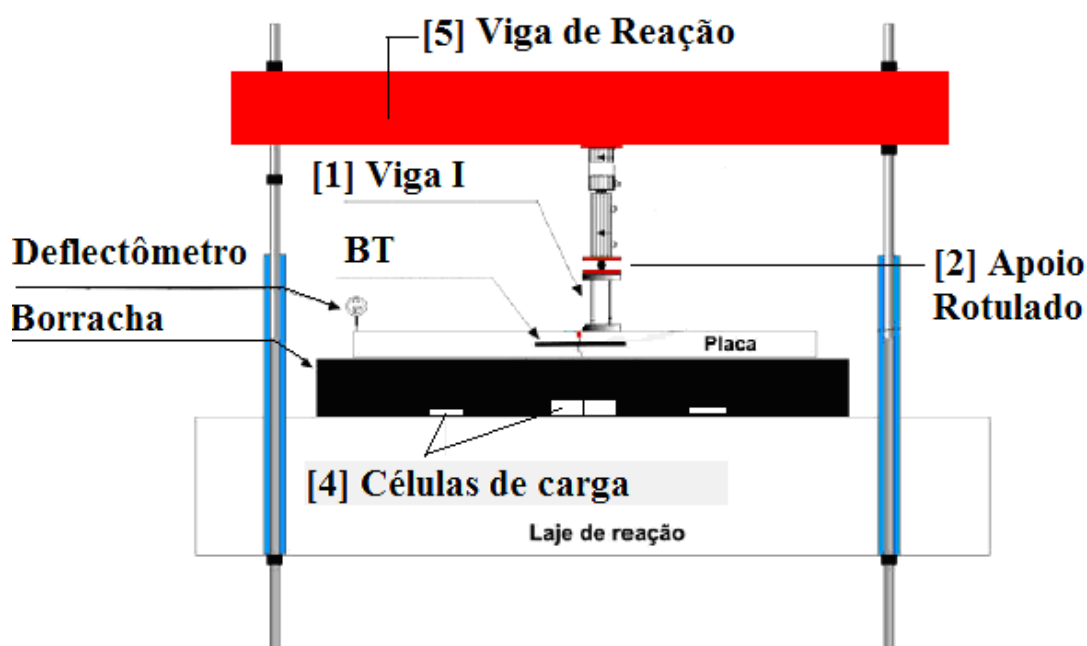


Figura 3. 17 – Esquema de ensaio (vista lateral)

Esse sistema de ensaio é composto pelos seguintes itens numerados acima:

[01] VIGA DE APLICAÇÃO DA CARGA – Viga metálica em perfil tipo I com 1100 mm de comprimento, 170 mm de largura e 230 mm de altura, fixada sobre a placa de concreto a ser ensaiada com gesso pedra (gesso odontológico da marca VIGODENT) em toda a extensão da junta serrada em um dos lados da placa de concreto, denominado de lado carregado, para a distribuição da carga aplicada. O posicionamento da viga de aplicação da carga na placa de concreto sobre um dos lados da junta foi determinada para que a força aplicada uniformemente fosse distribuída em toda a largura da junta, simulando assim a configuração de roda dupla correspondente a área de 170 x 600 mm (Figura 3. 19).

[02] APOIO ROTULADO – Apoio de segundo gênero fixado com gesso pedra na viga de aplicação da carga, sendo composto por duas placas metálicas (250 x 120 mm) apoiando uma barra circular entre elas, perfazendo assim, devido às três peças, uma altura total de 120 mm.

[03] ATUADOR HIDRÁULICO – macaco da marca Yellow Power com capacidade nominal de 300 kN usado para a aplicação de carga forma estática (Figura 3. 19).

[04] CÉLULA DE CARGA - Na camada suporte foram colocadas quatro células, posicionadas conforme está citado no item 3.3.2, sendo que as células C1 e C4 possuem capacidade de 100 kN e C2 e C3 tem capacidade de 500 kN. Outra célula de carga

com capacidade nominal de 500 kN foi posicionada entre o atuador hidráulico e a viga de reação. As leituras das células de carga durante o ensaio foram feitas através de leitoras digitais próprias.



Figura 3. 18 –Atuador hidráulico Yellow Power (Capacidade 300 kN)

[05] VIGA DE REAÇÃO - o sistema de reação principal é constituído por uma viga metálica com dimensões de 2500 x 200 x 350 mm atirantada a laje de reação.

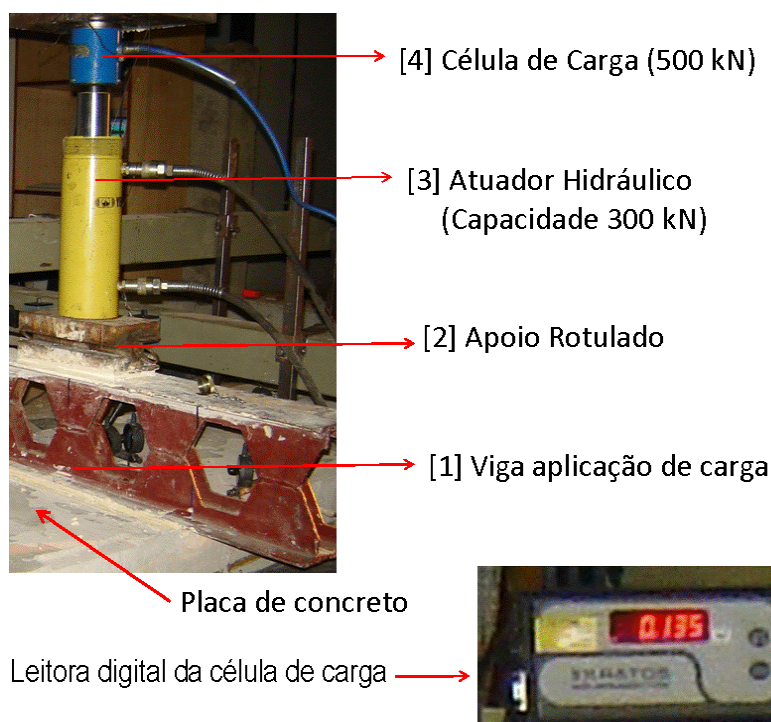


Figura 3. 19 – Vista lateral do esquema de ensaio utilizado e da leitora digital usada na leitura da carga aplicada de carga

3.3.4 Instrumentação

A instrumentação adotada nesse estudo experimental foi usada para fazer as leituras dos dados simultaneamente à aplicação das cargas durante os ensaios. Os dados lidos pelos instrumentos referem-se a: deslocamentos horizontais e verticais, carregamento aplicado

pelo atuador hidráulico, deformações das barras de transferência metálicas embutidas nas placas, e deformações do concreto em uma das laterais da placa próximo à junta.

Foram usados deflectômetros digitais, marca Mitutoyo, com de precisão 0,01 mm, para a leitura dos deslocamentos verticais (denominados D1 a D8) e horizontais (denominados D9 e D10). Os deflectômetros, também chamados de relógios comparadores, foram posicionados ao longo do eixo longitudinal e na junta transversal nos dois lados da placa, sendo que os deflectômetros D1, D2, D3, D4 e D10 mediram os deslocamentos no lado não carregado da placa e os deflectômetros D5 a D9 no lado carregado.

Os deflectômetros foram posicionados na placa de concreto de acordo com a seguinte ordem (Figura 3. 20 e Figura 3. 21): D1 e D8 faceando a borda externa da placa, D2 e D7 localizados nos pontos intermediários, D3 e D6 faceando a junta e as laterais da placa, D4 e D5 faceando a junta no meio da placa, e D9 e D10 nas laterais da placa no sentido longitudinal posicionado na metade da espessura da placa.



Figura 3. 20 – Posicionamento dos deflectômetros digitais na placa de concreto

Os deflectômetros D1 a D8 mediram o deslocamento vertical da placa durante o ensaio experimental. Os deflectômetros D9 e D10 mediram o deslocamento horizontal e verificaram em todos os ensaios experimentais que não houve movimentação das placas.

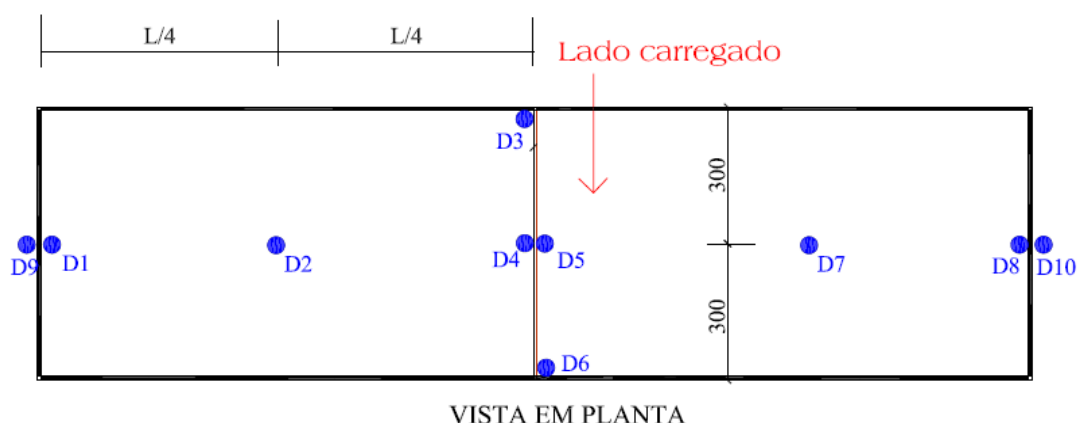


Figura 3. 21 – Posição (planta) dos deflectômetros na placa

Foram usados extensômetros elétricos, marca EXCEL Engenharia de Sensores, para a medição das deformações específicas no aço e no concreto, dos tipos PA-06-250BA-120L e PA-06-201BA-120L respectivamente, através de um sistema de aquisição de dados. Este sistema de dados é conectado a um microcomputador sendo formado por uma caixa de aquisição de dados com 16 canais a qual é interligada a um terminal da National Instruments, modelo SCXI-1001. O programa utilizado para a aquisição de dados é o LabView versão 6.0, desenvolvido pela National Instruments.

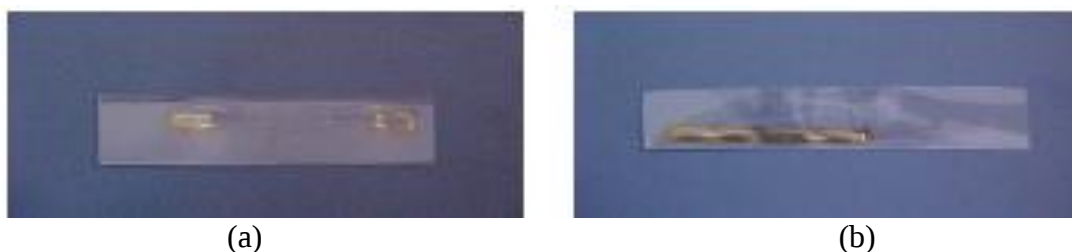


Figura 3. 22 – Extensômetros elétricos para aço (a) e concreto (b)

Os extensômetros de aço foram colados no centro de todas as barras de transferência, sendo um na face superior e outro na face inferior da mesma seção a fim de se obter leituras de tração e compressão (Figura 3. 23). Os extensômetros de concreto (EC) foram colocados em uma das laterais da placa de concreto faceando a junta. Os extensômetros EC1 e EC2 foram posicionados do lado carregado e EC3 e EC4 do lado não carregado, o mais próximo possível da junta (Figura 3. 24).



Figura 3. 23 – Posição dos extensômetros de aço na barra de transferência

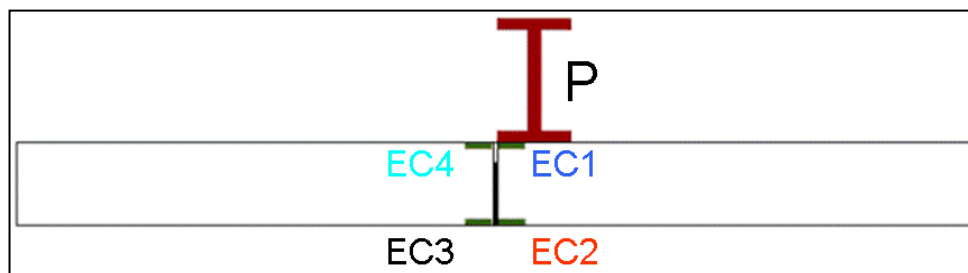


Figura 3. 24 – Posicionamento dos extensômetros de concreto na lateral da placa

3.3.5 Realização dos ensaios

Com o assentamento da placa de concreto na camada suporte e montagem do esquema de ensaio e instrumentação os ensaios eram feitos seguindo a mesma metodologia para todas as placas de concreto. O ensaio iniciava com a aplicação de carga em intervalos de 4 kN, e leituras dos instrumentos (software LabView, deflectômetros e leitoras digitais) a cada incremento de carga, até o aparecimento da primeira fissura.

Após a fissuração o incremento de carga passa a ser 5 kN até que ocorre a ruptura da placa, separação entre os dois lados da placa, ou fosse evidenciado que não existia mais transferência de carga entre os dois lados da placa através da junta serrada.

Ao se determinar o final do ensaio os deflectômetros eram retirados e descarregando o atuador carga. Após, a instrumentação e o esquema de ensaio eram desmontados e a placa então era retirada da base.

CAPÍTULO 4

APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Nesse capítulo serão apresentados os resultados dos ensaios experimentais e da caracterização dos materiais utilizados.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

4.1.1 Concreto

O concreto foi adquirido com previsão de resistências características a compressão (f_{ck}) aos 28 dias de 20 MPa na primeira e segunda séries e de 30 MPa na terceira e quarta séries. Os dados dos ensaios de caracterização do concreto aos 28 dias e na data do ensaio de cada uma das placas estão apresentados na Tabela 4. 1.

Tabela 4. 1 – Resultados dos ensaios de caracterização do concreto

<i>Série</i>	<i>Placa</i>	<i>N_{dias}</i>	<i>E_c</i> (MPa)	<i>f_{c28}</i> (MPa)	<i>f_c</i> (MPa)	<i>f_{ct28}</i> (MPa)	<i>f_{ct}</i> (MPa)	<i>f_{tf28}</i> (MPa)	<i>f_{tf}</i> (MPa)
01	C20-16SB	58	20,40	20,33	20,56	2,91	2,75	1,86	2,65
01	C20-16B50	63	20,40	20,33	20,68	2,91	2,72	1,86	2,79
01	C20-16B40	71	20,40	20,33	20,87	2,91	2,68	1,86	3,00
01	C20-16B30	100	20,40	20,33	21,56	2,91	2,52	1,86	3,76
02	C20-12SB	127	20,40	20,33	22,20	2,91	2,37	1,86	4,48
02	C20-12B50	120	20,40	20,33	22,03	2,91	2,41	1,86	4,29
02	C20-12B40	112	20,40	20,33	21,84	2,91	2,45	1,86	4,08
02	C20-12B30	106	20,40	20,33	21,70	2,91	2,48	1,86	3,92
03	C30-12SB	44	24,70	34,21	35,14	3,29	3,31	5,37	6,29
03	C30-12B50	47	24,70	34,21	35,31	3,29	3,31	5,37	6,24
04	A30-12SB	58	23,80	31,31	31,45	3,41	3,43	4,54	5,64
04	A30-12B50	61	23,80	31,31	31,47	3,41	3,44	4,54	5,56
04	A30-12B40	71	23,80	31,31	31,52	3,41	3,45	4,54	5,29
04	A30-12B30	74	23,80	31,31	31,53	3,41	3,45	4,54	5,21

Onde:

E_c é o módulo de elasticidade aos 28 dias;

N_{dias} é a idade da placa no dia do ensaio;

f_{c28} é a resistência média à compressão aos 28 dias;

f_c é a resistência média à compressão na data do ensaio;

f_{ct28} é a resistência média à tração por compressão diametral aos 28 dias;

f_{ct} é a resistência média à tração por compressão diametral na data do ensaio;

f_{tf28} é a resistência à tração na flexão aos 28 dias;

f_{tf} é a resistência à tração na flexão na data do ensaio.

4.1.2 Aço

Nesse estudo experimental foram utilizadas barras metálicas de transferência redondas e lisas de diâmetro nominal de 12,5mm. Essas barras pertenciam ao mesmo lote das barras que Fleury (2006) utilizou em seus ensaios experimentais, por isso foram adotados os mesmos dados da deformação específica de escoamento do aço (ϵ_y) igual a 2830×10^{-6} mm/mm, e do diagrama tensão-deformação (Figura 4. 1) obtidos nos ensaios de tração simples das barras de transferência realizados por Fleury (2006).

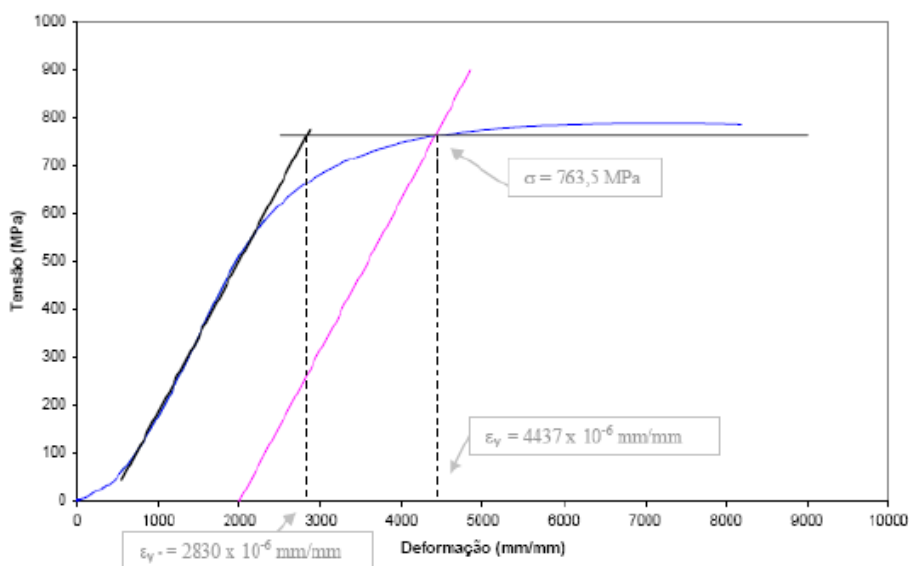


Figura 4. 1 – Tensão x deformação da barra de transferência $\varnothing$ 12,5 mm

Fonte: FLEURY, Rubia Helena. **Estudo Experimental de Mecanismos de Transferência de Esforços em Juntas de Pavimentos Rígidos**. 2006. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia Civil. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2006.

4.1.3 Camada de Borracha

O uso de camada de borracha foi adotado dando prosseguimento à pesquisa anterior (FLEURY, R. H., 2006). Esse tipo de camada apresentou uma capacidade resistente a qual foi obtida através da combinação dos lençóis de borracha e não apresenta variação das características físicas, umidade e compactação durante a realização dos ensaios.

A caracterização da camada de borracha foi feita com a determinação do coeficiente de recalque e das propriedades mecânicas dos lençóis de borracha (dureza, deformação permanente à compressão sob deformação constante, e compressão).

O ensaio para a determinação do coeficiente de recalque foi realizado adotando a mesma metodologia usada por Fleury (2006), a qual fez uma adaptação da Norma DNER-35 (1989), com a determinação desses coeficientes antes e após a realização de cada série dos ensaios das placas de concreto, representados no gráfico abaixo pelas curvas k_1 , k_2 e k_3 (Figura 4.2). Neste estudo essa caracterização foi feita uma única vez antes da realização dos ensaios das placas de concreto, cujo resultado é representado pela curva k .

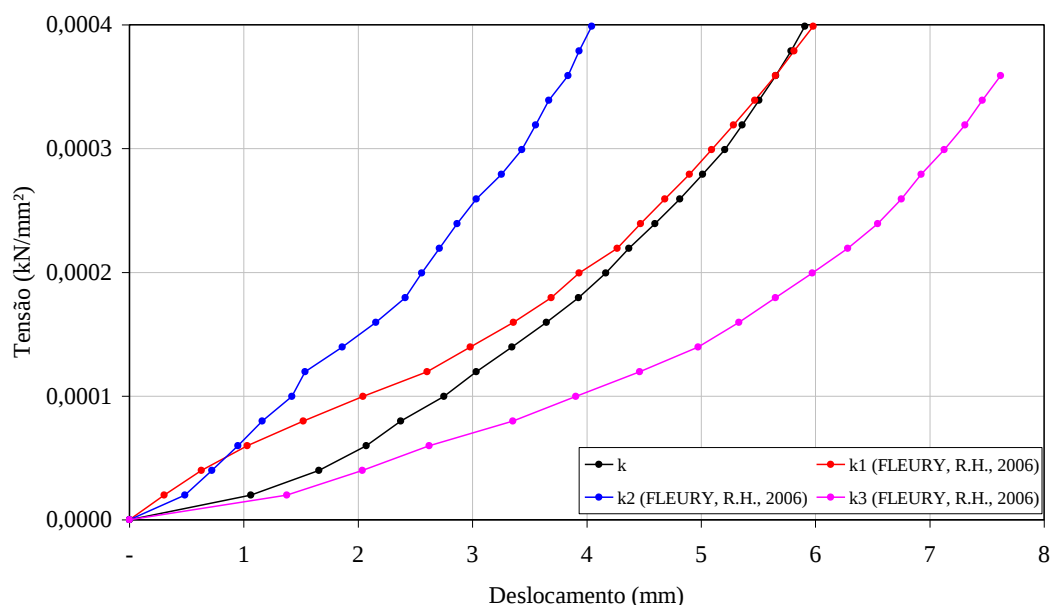


Figura 4.2 - Gráfico da tensão x deslocamento para obtenção do coeficiente de recalque

Em todos os ensaios do coeficiente de recalque as curvas tensão x deslocamento vertical foram similares e apresentam dois trechos, um parabólico e outro retilíneo. De acordo com Rodrigues (2008), o trecho parabólico representa a acomodação sofrida pelas borrachas a baixas pressões eliminando temporariamente os bolsões de ar existentes entre os lençóis (Figura 4.3). A partir dessa consideração a inclinação da reta tangente do trecho retilíneo serve de parâmetro para a determinação do k .

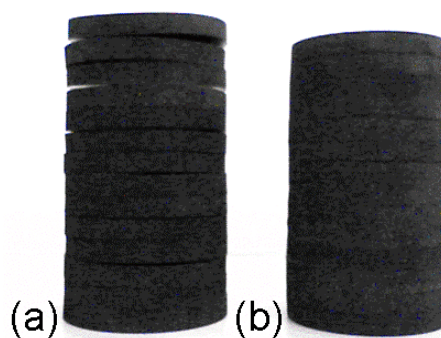


Figura 4.3 - Corpo-de-prova da borracha: (a) estado inicial; (b) depois de comprimido

Fonte: RODRIGUES, Lezzir Ferreira. **Juntas em Pavimentos de Concreto: Dispositivos de Transferência de Carga**. 2008. 256 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas). Universidade de São Paulo, 2008.

As propriedades mecânicas dos lençóis de borracha (dureza, deformação permanente à compressão sob deformação constante, e compressão) foram determinadas por Rodrigues (2008) a qual utilizou os mesmos lençóis de borracha usados neste estudo experimental. Os ensaios realizados por Rodrigues (2008) bem como os seus resultados e conclusão estão descritos no item 2.1.

4.2 COMPORTAMENTO DAS PLACAS

Os comportamentos descritos nesse item foram observados durante os ensaios das placas de concreto, tais como: fissuração; modo de ruptura; e cargas máximas (ensaio, fissuração e escoamento).

4.2.1 Fissuração

Em todos os ensaios, contendo ou não dispositivos de transferência de carga, a fissuração ocorreu na seção enfraquecida devido à execução da junta serrada. Essa fissuração iniciou na parte inferior da junta, devido à presença das maiores tensões de tração nesta seção enfraquecida, e percorre toda a junta até a separação total entre os dois lados da placa. Nas placas sem barras a abertura da fissuração é maior que nas placas com barras em níveis semelhantes de carregamento, e este comportamento é ilustrado respectivamente pela Figura 4.4 e Figura 4.5.

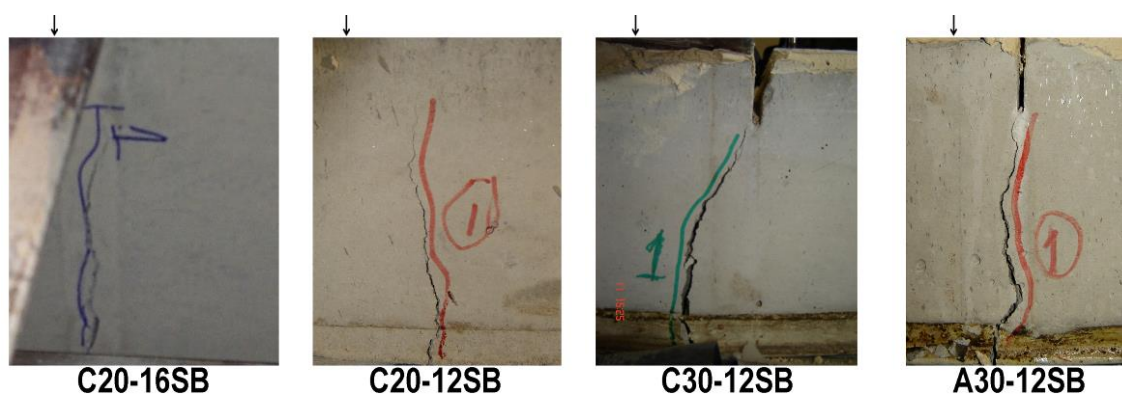


Figura 4.4 – Momento da fissuração nas placas sem barra de transferência

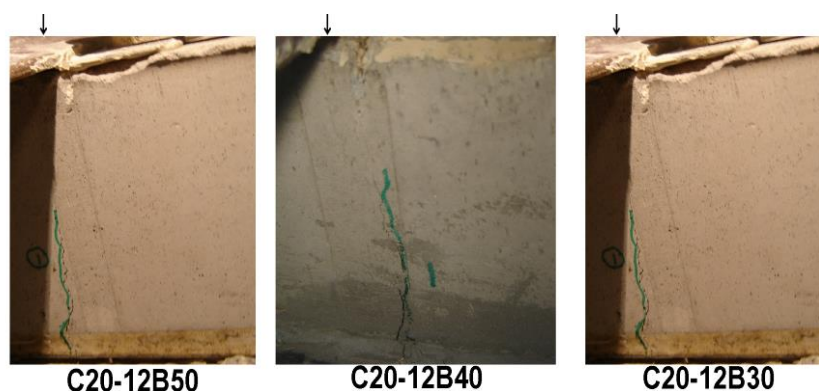


Figura 4.5 – Momento da fissuração das placas da série 2 contendo barras de transferência

Nas placas sem barra, após a fissuração, a progressão na abertura da fissura é crescente com o aumento do carregamento, havendo o levantamento das bordas até que ocorra a separação total entre os dois lados da placa. As fases dessa fissuração podem ser vistas na Figura 4.6.

Lado esquerdo da junta – placa C20-12SB



Lado direito da junta – placa C20-12SB



Figura 4.6 – Etapas da fissuração da placa C20-12B

O comportamento é similar em todas as placas contendo barras de transferência independente do comprimento dessas barras. Nesse caso, além do intertravamento dos agregados existentes nas placas com concreto convencional, há a transferência dos esforços de cisalhamento entre os dois lados da placa atribuído à presença das barras metálicas circulares de transferência. Esse comportamento é ilustrado sequencialmente na Figura 4.7 nas duas laterais da junta da placa A30-12B40, evidenciando o comportamento semelhante. Observa-se que após a fissura percorrer toda a junta essa tende a aumentar na parte inferior da placa e depois da ruptura de todo o concreto existente abaixo da barra (posicionada no meio da placa) a fissura passa a abrir na parte superior indicando que nesse momento está ocorrendo à ruptura do concreto e a perda do intertravamento do concreto remanescente nessa região.

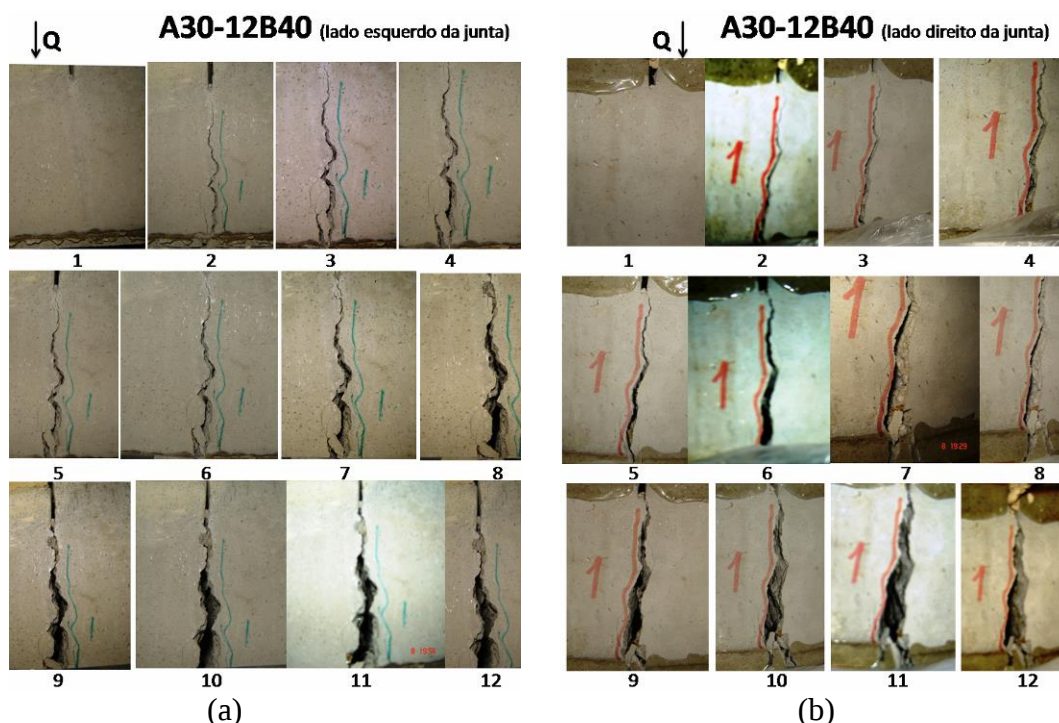


Figura 4.7 – Fissuração da placa A30-12B40 contendo barra de transferência de 400 mm: (a) fissuração na lateral à esquerda da junta; (b) fissuração na lateral à direita da junta

4.2.2 *Modos de Ruptura*

Os cinco possíveis modos de ruptura de ocorrerem em placas de concreto com junta serrada durante a realização dos ensaios podem ser: compressão na parte superior da junta; compressão e cisalhamento na parte superior da placa na região das barras de transferência; tração do concreto; esmagamento do concreto ao redor das barras de transferência; escoamento da barra de transferência.

(1º) Modo de ruptura do concreto – compressão na parte superior da junta

Esse modo de ruptura ocorre a partir do levantamento das extremidades dos dois lados da placa com a consequente rotação em torno do eixo que passa pela junta durante a aplicação do carregamento. Desse modo, espera-se que ocorra o encontro das partes superiores e com esse fechamento total das juntas elas passem a se suportar gerando assim o esmagamento do concreto nessa área e possivelmente a rotação das barras de transferência. Nesse estudo experimental ocorreu o levantamento das bordas nas extremidades dos dois lados das placas em todos os ensaios realizados como pode ser exemplificado através da Figura 4. 8 que ilustra esse comportamento durante o ensaio da placa A30-12B40. Contudo, em todos os ensaios, visualmente não houve o fechamento total da junta e nem o esmagamento do concreto nessa região e não podemos assim afirmar que esse modo de ruptura foi evidenciado.



Figura 4. 8 – Levantamento das bordas externas da placa A30-12B40

(2º) Modo de ruptura do concreto – compressão e cisalhamento na parte superior da placa na região das barras de transferência

Esse modo de ruptura é possível de ocorrer nas placas executadas com junta serrada e que contém dispositivos de transferência de carga. A fissuração inicia na parte inferior da placa, percorre toda a seção enfraquecida e provoca a separação preliminar entre os dois lados da placa na região abaixo da barra com a ruptura do concreto e a perda do intertravamento existente entre os agregados.

Assim há o levantamento das extremidades das placas, a aproximação das juntas e possivelmente o concreto posicionado acima da barra de transferência passa a ser comprimido, além de provocar uma provável rotação da barra de transferência, permitindo

assim que exista uma maior resistência ao carregamento mesmo existindo uma ruptura parcial da placa. A barra de transferência funciona como armadura de tração e o concreto localizado acima da barra e abaixo da junta estaria sujeito à compressão.

Esse modo de ruptura não pode ser percebido visualmente, mas provavelmente aconteceu na maioria dos ensaios, com exceção da placa A30-12SB.

(3º) Modo de ruptura à tração do concreto

O modo de ruptura à tração do concreto é esperado para os ensaios realizados devido à execução das juntas sendo estas uma indução do plano de fissuração pré-definido. Apesar de ter ocorrido à fissuração de todas as placas na seção da junta serrada, não se pode concluir que este foi o modo de ruptura obtido nos ensaios das placas visto que nessas placas, com exceção da placa A30-12SB, não houve ruptura da placa e finalização dos ensaios após o surgimento da fissuração. O que ocorre é a fissuração das placas na seção enfraquecida devido às maiores tensões de tração do concreto existentes nessa região.

Nas placas sem barras que tem o intertravamento dos agregados do concreto como o único dispositivo de transferência de carga entre os dois lados da placa, há o levantamento das bordas após a fissuração até a perda total da eficiência da junta levando à ruptura da placa. Já nas demais placas contendo barras após a fissuração há o levantamento das bordas e a ruptura da seção do concreto, mas a transferência de carga nesse caso se dá tanto pelo intertravamento como pelas barras de transferência entre os dois lados da placa. Na placa A30-12SB, mostrada na Figura 4. 9, houve a fissuração da placa na seção enfraquecida pré-definida e esse provável modo de ruptura é evidenciado no surgimento da fissura visto que no concreto autoadensável, caracterizado pela grande quantidade de finos, não há resistência ao cisalhamento e não há também o intertravamento dos agregados que são responsáveis pela transferência de esforços no concreto convencional.

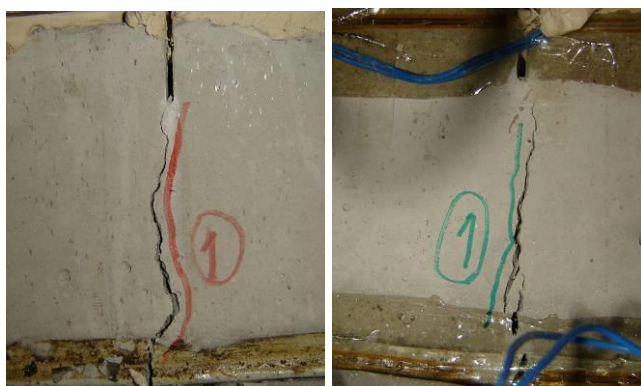


Figura 4. 9 – Fissuração nos dois lados da placa A30-12SB

(4º) Modo de ruptura por esmagamento do concreto ao redor das barras de transferência

A tensão suporte está diretamente relacionada com a ruptura das lajes podendo então haver ruptura das placas dos pavimentos nos casos onde essa tensão for maior que a tensão de suporte admissível. De acordo com Huang (1993) para evitar tal fato, deve-se limitar a tensão entre o concreto e a barra abaixo da tensão suporte limite. Esse tipo de ruptura pode ser passível de ocorrer com o esmagamento do concreto na região próxima ou abaixo das barras de transferência, mas não pode ser verificada nos ensaios visto que as barras não foram serradas a fim de separar as placas após o término no ensaio, quando seria possível verificar esse tipo de ruptura.

(5º) Modo de ruptura por escoamento da barra de transferência

As barras nos pavimentos funcionam como dispositivos de transferência de carga e são colocadas em ação todo o tempo durante os carregamentos axiais nas juntas transversais, assim como o concreto, a barra também sofre deformação elástica. Por isso espera-se que as juntas de pavimento contendo esse dispositivo sejam eficientes, e para que haja uma melhor eficiência sabe-se que é necessário usar barras com maior rigidez e espaçamento. Os critérios de parada de cada ensaio realizado e os possíveis modos de ruptura estão especificados na Tabela 4. 2.

Tabela 4. 2 – Critérios de parada dos ensaios e possíveis modos de ruptura

<i>Série</i>	<i>Placa</i>	<i>Critérios de Parada dos Ensaios</i>	<i>Possíveis Modos de Ruptura</i>
01	C20-16SB	Ruptura brusca com separação entre os dois lados da placa.	Ruptura do concreto: compressão e cisalhamento na parte superior da placa na região das barras de transferência.
01	C20-16B50		
01	C20-16B40		
01	C20-16B30		
02	C20-12SB		
02	C20-12B50		
02	C20-12B40		
02	C20-12B30		
03	C30-12SB		
03	C30-12B50		
04	A30-12SB	Separação entre os dois	Ruptura à tração do concreto.
04	A30-12B50	Perda de eficiência da junta.	Ruptura do concreto: compressão e cisalhamento na parte superior da placa na região das barras de transferência.
04	A30-12B40		
04	A30-12B30		

Ainda segundo Teller & Cashell (1958) a eficiência de uma junta depende da rigidez relativa da barra de transferência e do pavimento, e, por sua vez, esses fatores que afetam a rigidez de um e do outro. Na maioria dos ensaios as placas foram ensaiadas até a ruptura brusca da placa com a separação entre os dois lados da placa; mas em algumas placas o ensaio foi finalizado após a verificação de que a junta já não era mais eficiente.

4.2.3 Cargas: máxima de ensaio, fissuração da junta serrada e de ruptura

Nessa análise serão consideradas quatro cargas que ocorreram em todos os ensaios e que evidencia o comportamento das placas (Tabela 4.3), sendo:

1. Cargas de fissuração (P_{fiss}) – Última leitura da carga anterior ao surgimento da primeira fissura na parte inferior das juntas. Essa fissuração é percebida visualmente nas laterais das placas de concreto e nas leituras da instrumentação utilizada durante o ensaio, pois após o surgimento dessa fissura inicial ocorre um incremento significativo em todos os registros de leitura.
2. Cargas de escoamento das barras (P_y) – Cargas definidas através do escoamento de pelo menos uma das duas barras de transferência quando estas atingiam a sua deformação de escoamento ($\epsilon_y = 2830 \times 10^{-6}$ mm/mm). A leitura das deformações das barras de transferência foi possível através do uso de extensômetros de aço fixados nas barras.
3. Carga máxima de transferência (P_{trans}) – Equivalente a carga máxima aplicada havendo transferência de esforços entre os dois lados da placa (do lado carregado para o lado não carregado) através do dispositivo de transferência de carga. Na maioria dos ensaios essa carga é igual à carga máxima ($P_{máx}$) aplicada, contudo existiram ensaios onde $P_{máx}$ é maior que P_{trans} . Nesses casos, o carregamento não estava mais sendo transferido entre os dois lados da placa através da junta, pois à medida que o carregamento aumentava, a carga que continuava sendo lida na célula posicionada abaixo da junta no lado não carregado diminuía, indicando perda de eficiência da junta.
4. Cargas máximas de ensaio ($P_{máx}$) – Cargas máximas aplicadas nas placas na qual foi feita a máxima leitura de todos os instrumentos de medição (deflectômetros, células de carga, extensômetros).

5. Carga final (P_{final}) – Última carga aplicada referente ao término dos ensaios. Nos casos onde não houve ruptura brusca da placa temos que a carga final é igual à carga máxima.

Tabela 4.3 – Cargas: P_{fiss} , P_y , P_{trans} , $P_{máx}$, P_{final}

<i>Série</i>	<i>Ensaio</i>	P_{fiss} (kN)	P_y (kN)	P_{trans} (kN)	$P_{máx}$ (kN)	P_{final} (kN)
01	C20-16SB	36,30	-	75,75	140,20	141,60
01	C20-16B50	23,95	73,15	118,10	118,10	119,33
01	C20-16B40	40,60	65,40	159,50	174,60	177,25
01	C20-16B30	28,60	87,20	147,00	216,40	222,00
02	C20-12SB	24,00	-	78,80	92,80	98,00
02	C20-12B50	20,60	44,00	183,60	204,50	206,50
02	C20-12B40	25,40	48,70	118,20	118,20	121,40
02	C20-12B30	16,05	46,95	117,00	117,00	118,00
03	C30-12SB	28,35	-	75,75	80,75	84,46
03	C30-12B50	16,25	85,45	125,00	125,00	128,00
04	A30-12SB	32,25	-	40,10	50,00	50,00
04	A30-12B50	32,35	50,20	120,30	120,30	124,10
04	A30-12B40	32,40	36,95	189,70	263,70	263,70
04	A30-12B30	35,78	58,67	179,45	264,80	264,80

As leituras das demais cargas e dos instrumentos de medição utilizados nos ensaios experimentais estão no APÊNDICE A.

4.3 RELAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS DOS ENSAIOS

4.3.1 Carga x Deslocamento nas Juntas

Os gráficos carga x deslocamentos nas juntas relacionam os valores das cargas aplicadas com as médias das leituras dos deslocamentos através dos deflectômetros posicionados nos lados carregado e não carregado. Esses deslocamentos (denominados por d_u e d_L , respectivamente para os lados não carregado e carregado) no início do carregamento até a fissuração são pequenos e similares. No surgimento da primeira fissura, os deflectômetros posicionados na junta da placa evidenciam esse comportamento através do incremento significativo dos deslocamentos. A partir dessa carga, os deslocamentos entre as cargas aplicadas são evidentes e aumentam durante o carregamento aplicado.

Nas placas sem barra de transferência (Figura 4.10 a Figura 4.13) os deslocamentos d_L são crescentes até o final do ensaio. Os deslocamentos são crescentes no lado não carregado enquanto ocorre a transferência de esforços e o concreto localizado da seção ainda não foi rompido. Após a carga ultrapassar a carga de transferência, com a perda da eficiência e com a ruptura do concreto localizado nessa seção, os deslocamentos do lado não carregado diminuem e a placa tende a voltar à sua posição inicial.

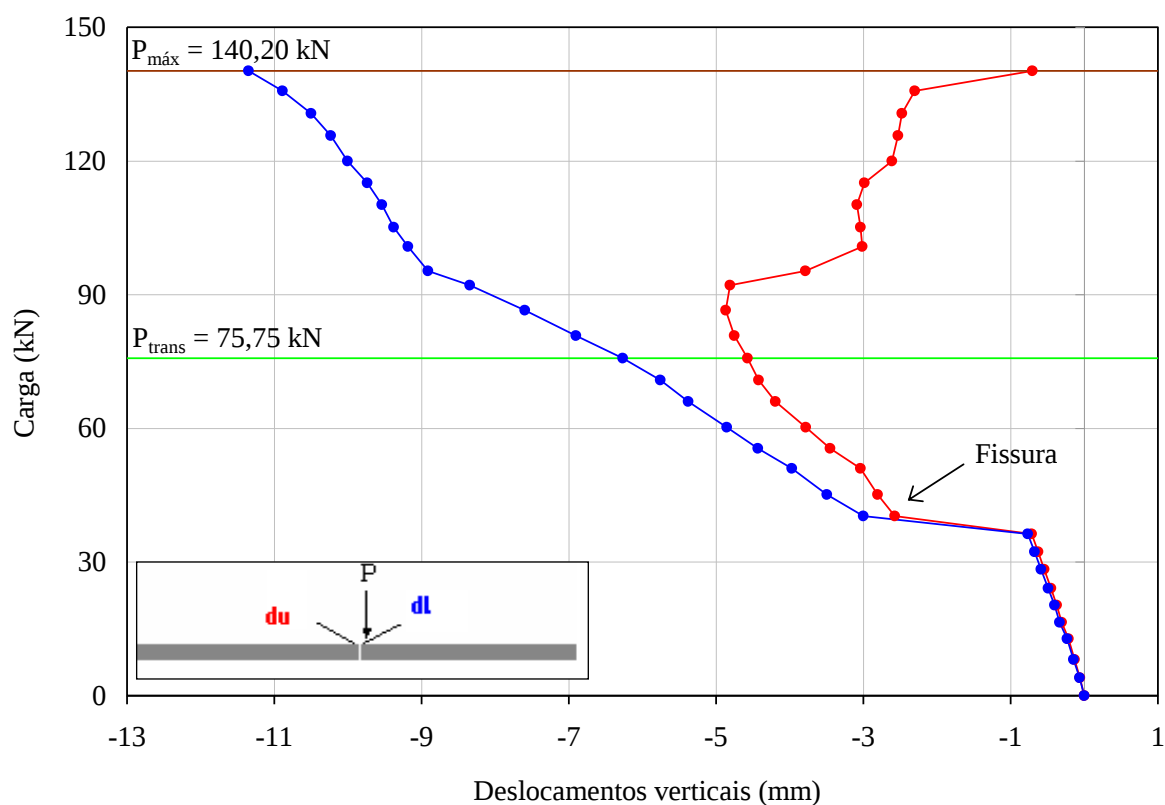


Figura 4.10 – Gráfico carga x deslocamento na junta do ensaio C20-16SB

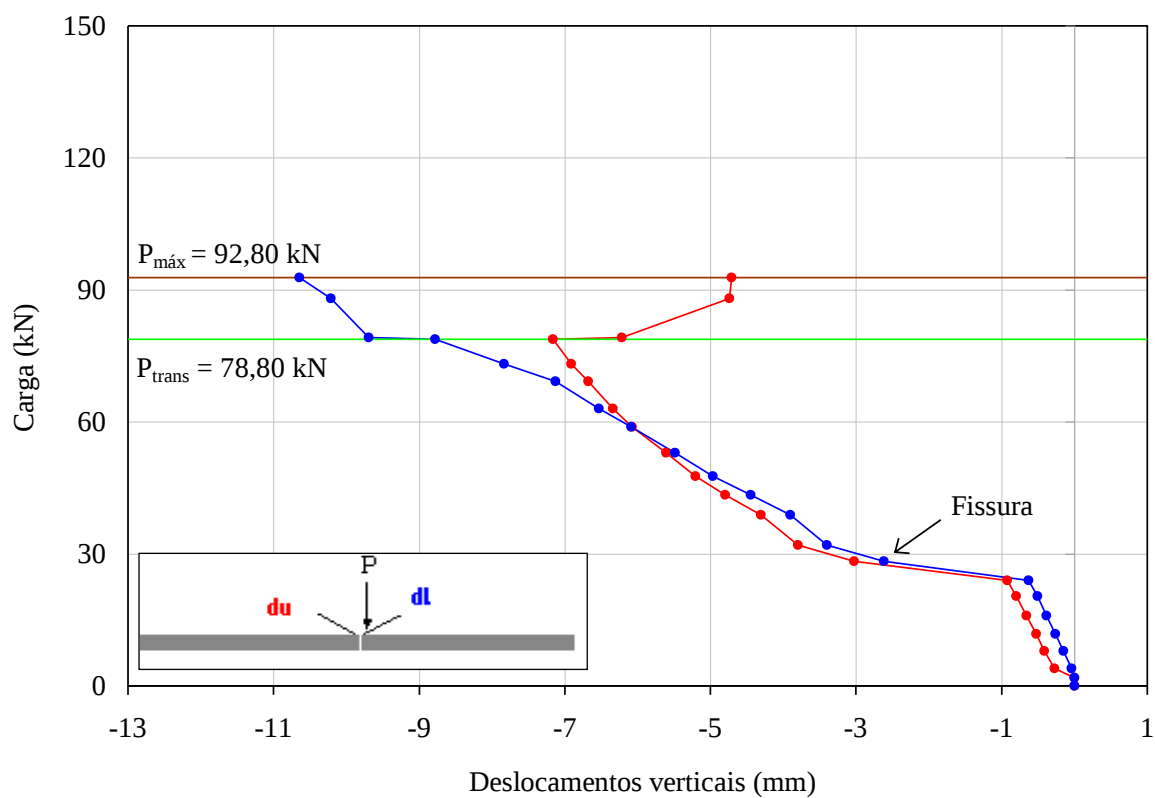


Figura 4.11 – Gráfico carga x deslocamento na junta do ensaio C20-12SB

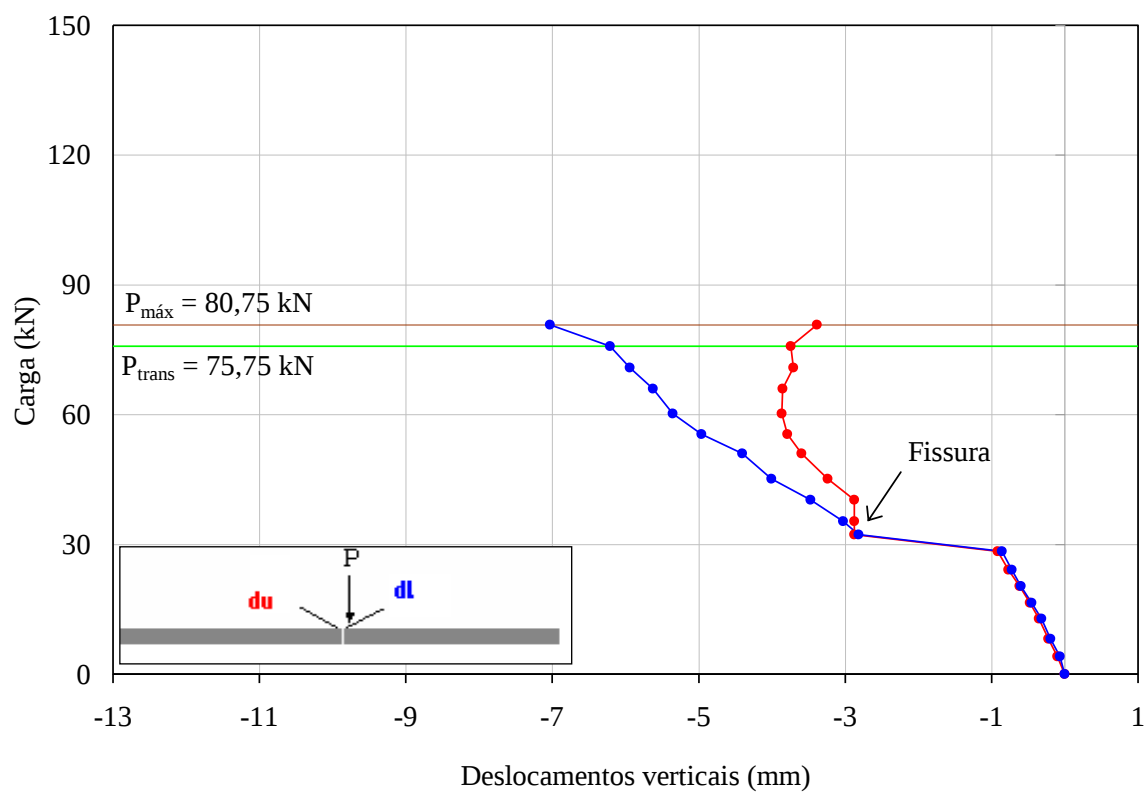


Figura 4.12 – Gráfico carga x deslocamento na junta do ensaio C30-12SB

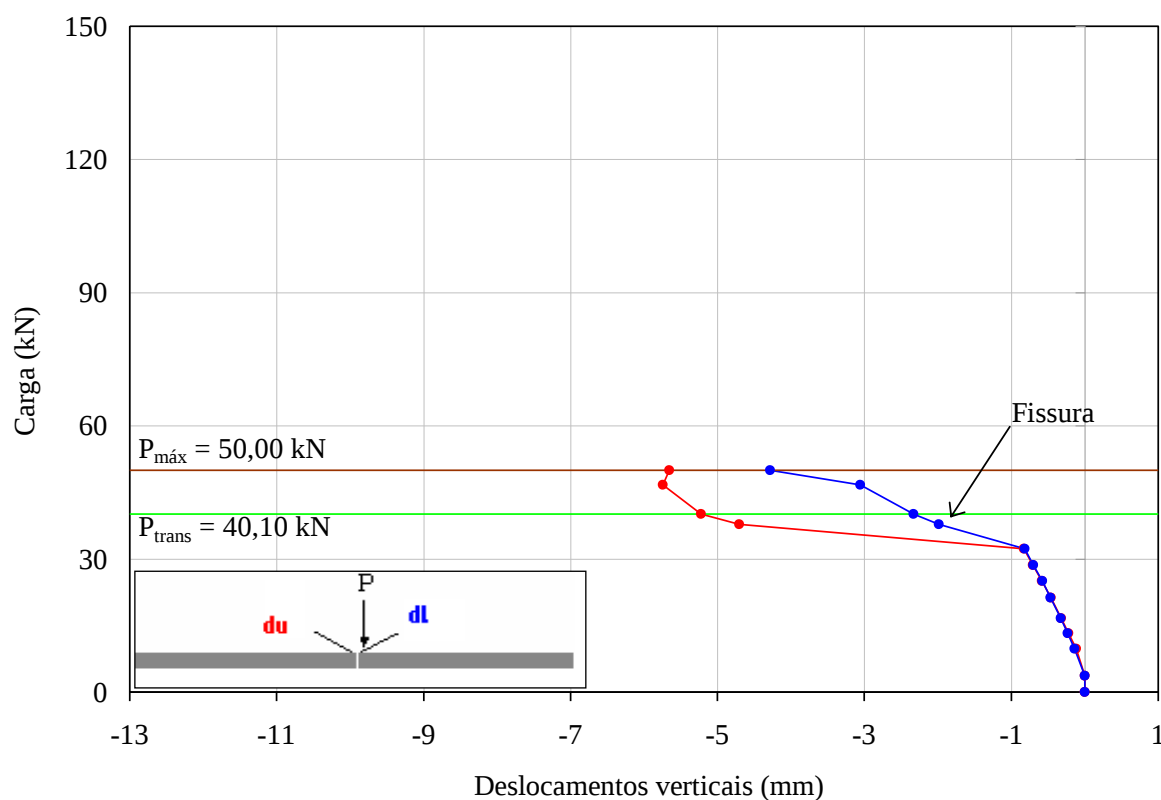


Figura 4.13 – Gráfico carga x deslocamento na junta do ensaio A30-12SB

Nas placas contendo barras, os deslocamentos nos dois lados da placa são similares devido ao dispositivo na transferência dos esforços cisalhantes presente na junta (Figura 4.14 a Figura 4.17). Em todas as placas contendo barras com 500 mm de comprimento os deslocamentos são crescentes nos dois lados durante o ensaio e a carga P_{trans} é igual à $P_{\text{máx}}$, sendo que não há mudança no sentido das curvaturas dos deslocamentos que evidencie a carga de transferência (P_{trans}).

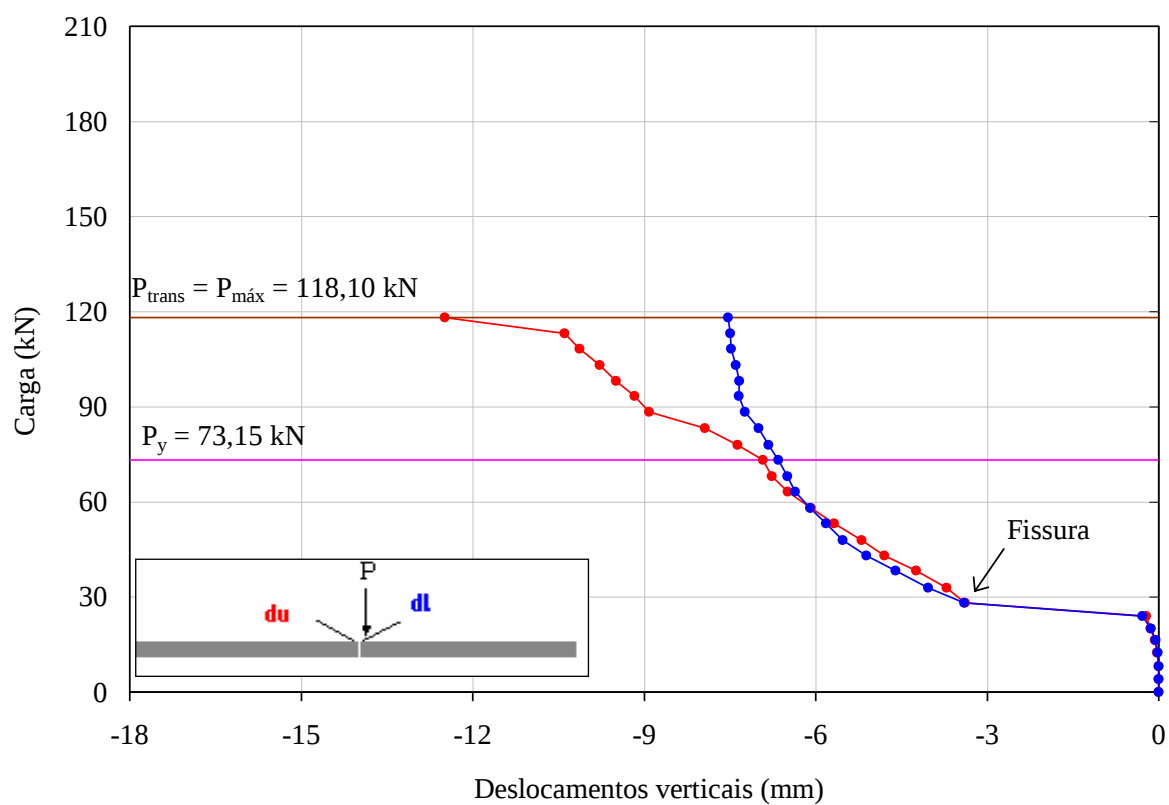


Figura 4.14 – Gráfico carga x deslocamento na junta do ensaio C20-16B50

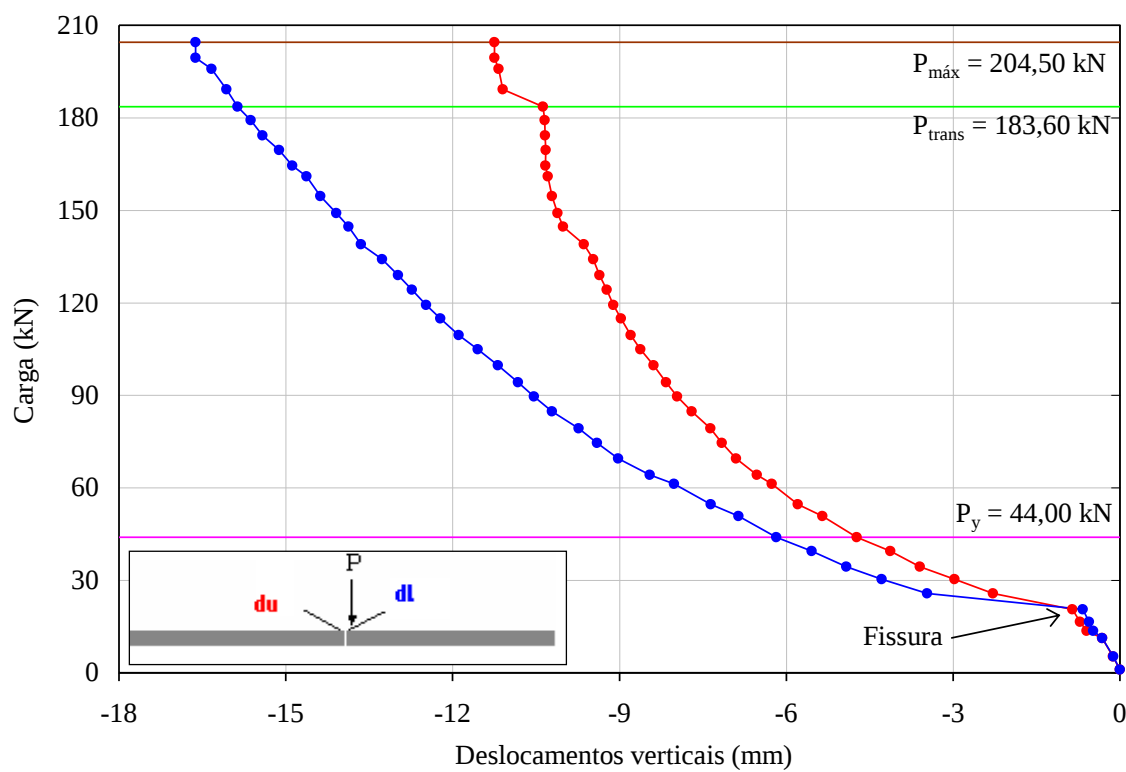


Figura 4.15 – Gráfico carga x deslocamento na junta do ensaio C20-12B50

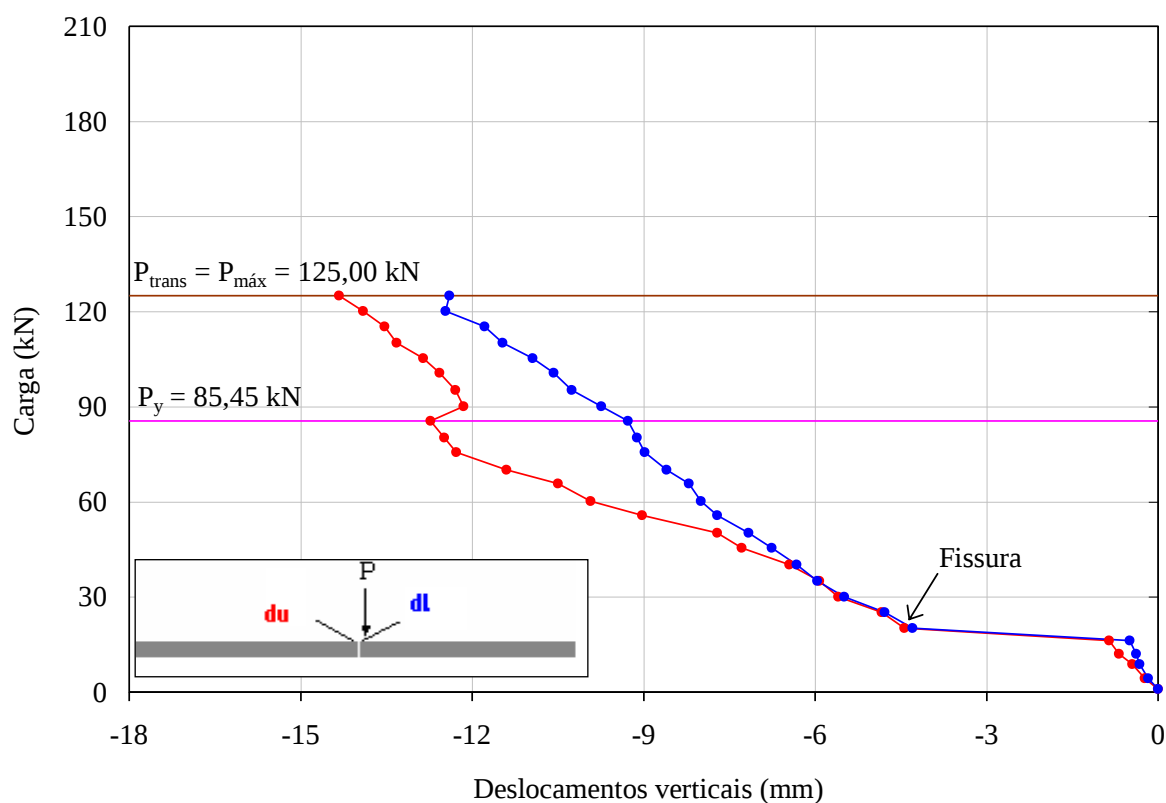


Figura 4.16 – Gráfico carga x deslocamento na junta do ensaio C30-12B50

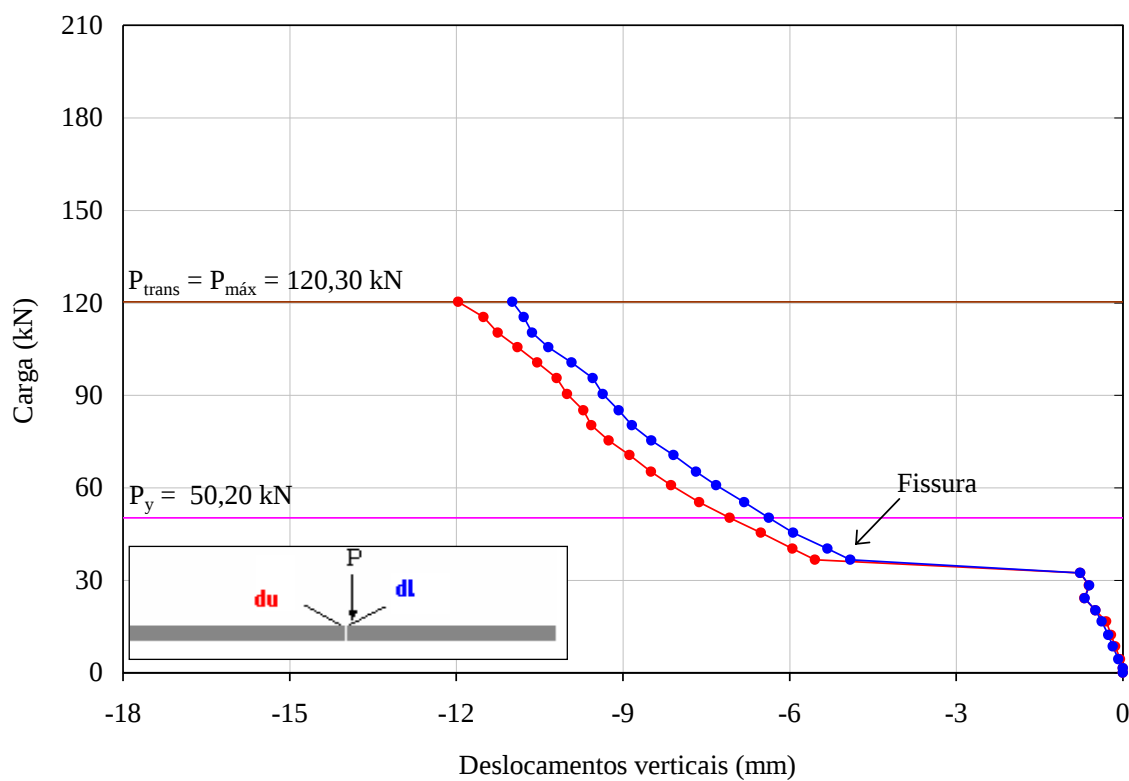


Figura 4.17 – Gráfico carga x deslocamento na junta do ensaio A30-12B50

Os deslocamentos da junta nas placas contendo barras de transferência com comprimentos de 400 mm e 300 mm (Figura 4. 18 a Figura 4. 23) são crescentes nos dois lados da junta.

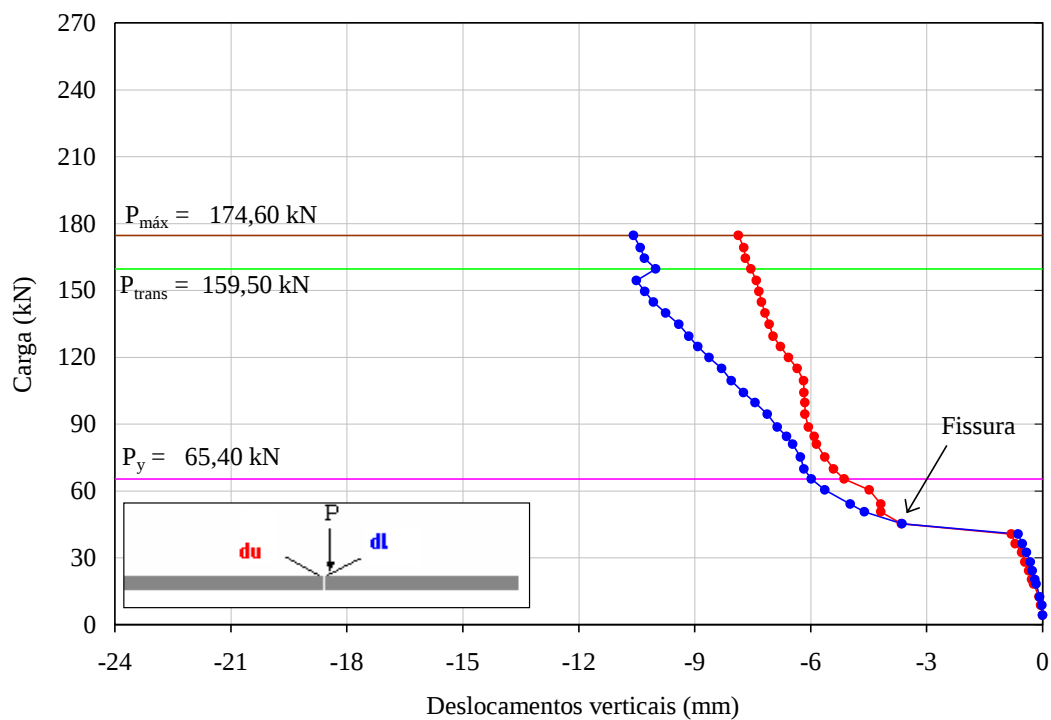


Figura 4. 18 – Gráfico carga x deslocamento na junta do ensaio C20-16B40

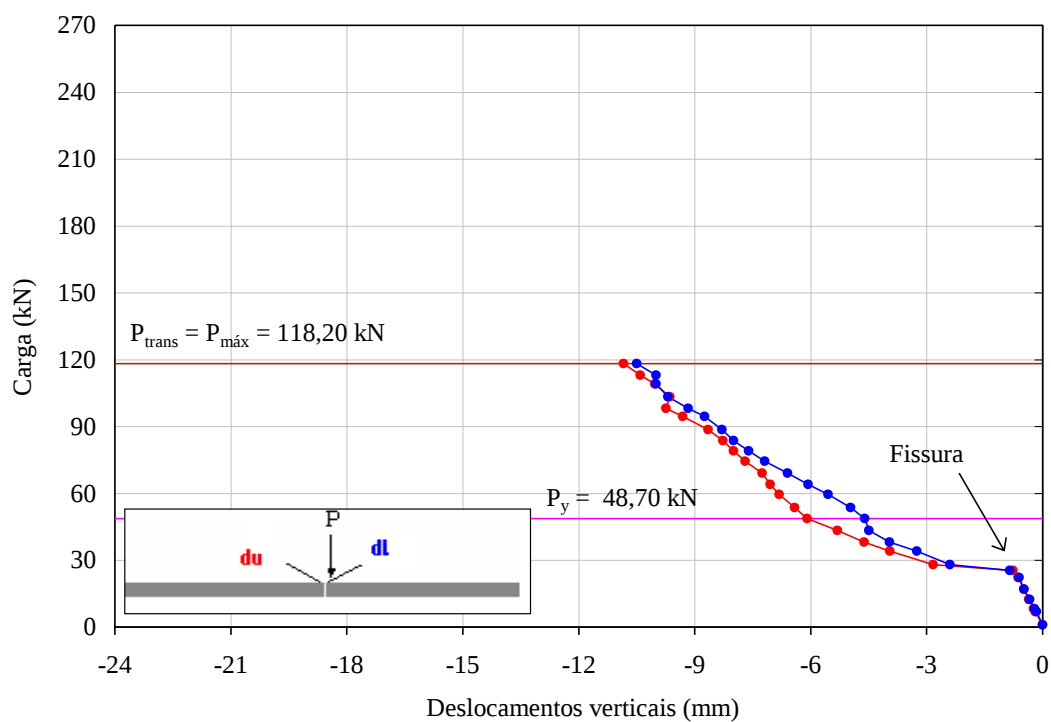


Figura 4. 19 – Gráfico carga x deslocamento na junta do ensaio C20-12B40

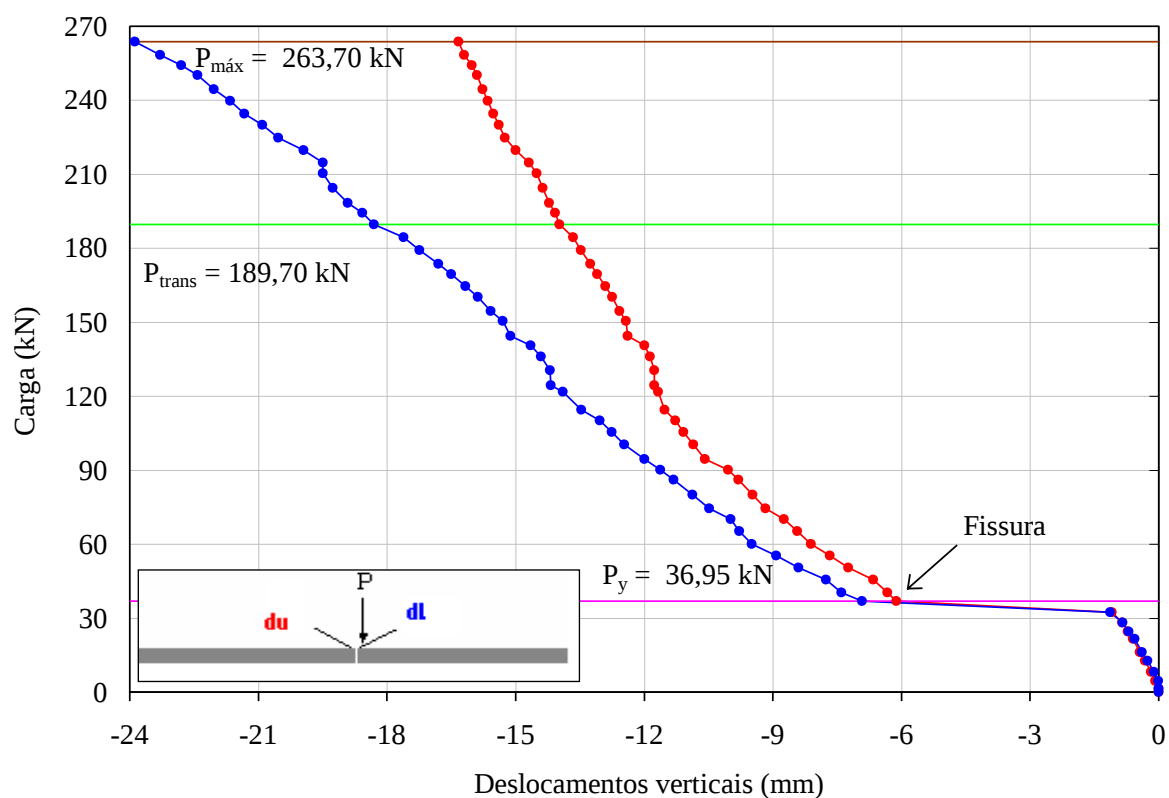


Figura 4. 20 – Gráfico carga x deslocamento na junta do ensaio A30-12B40

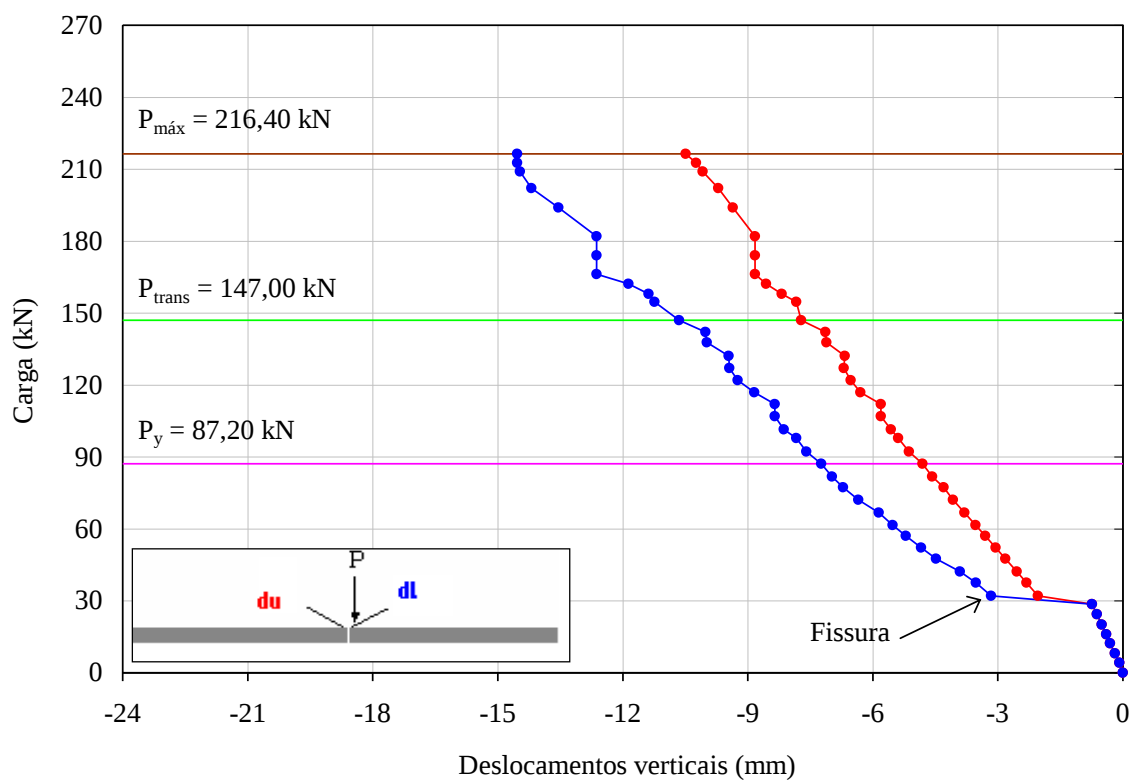


Figura 4. 21 – Gráfico carga x deslocamento na junta do ensaio C20-16B30

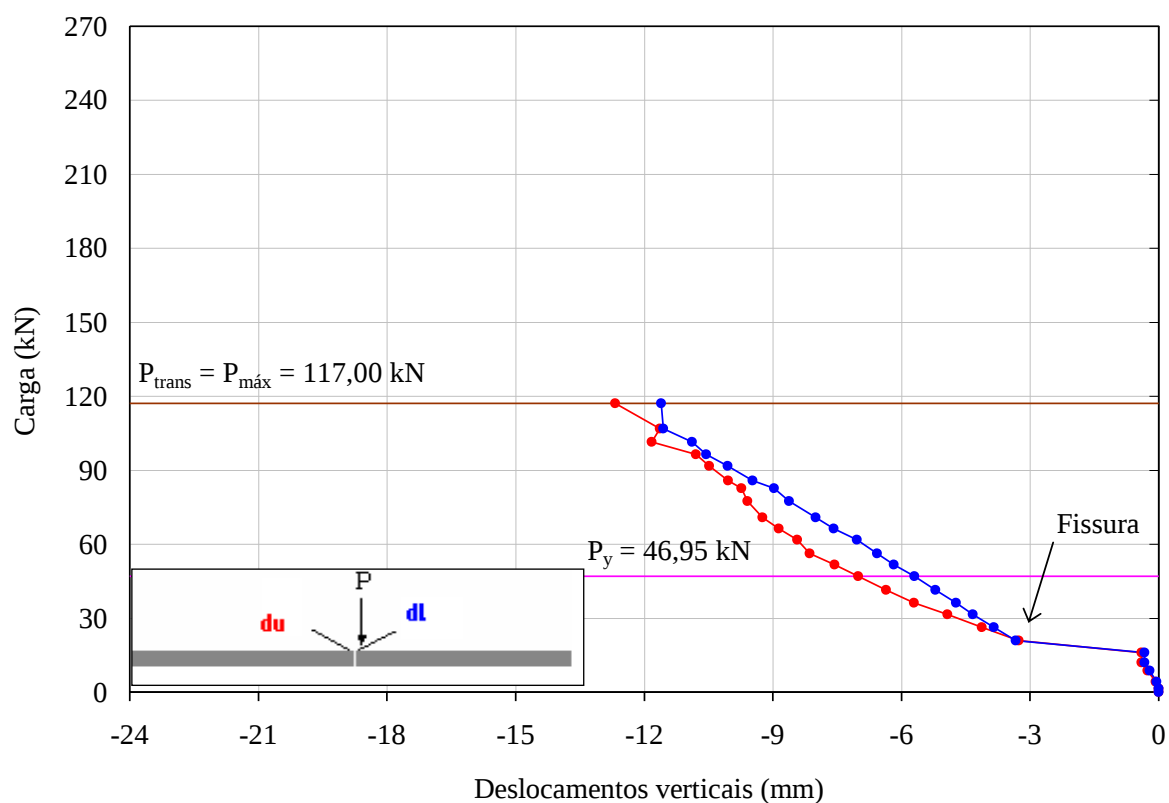


Figura 4. 22 – Gráfico carga x deslocamento na junta do ensaio C20-12B30

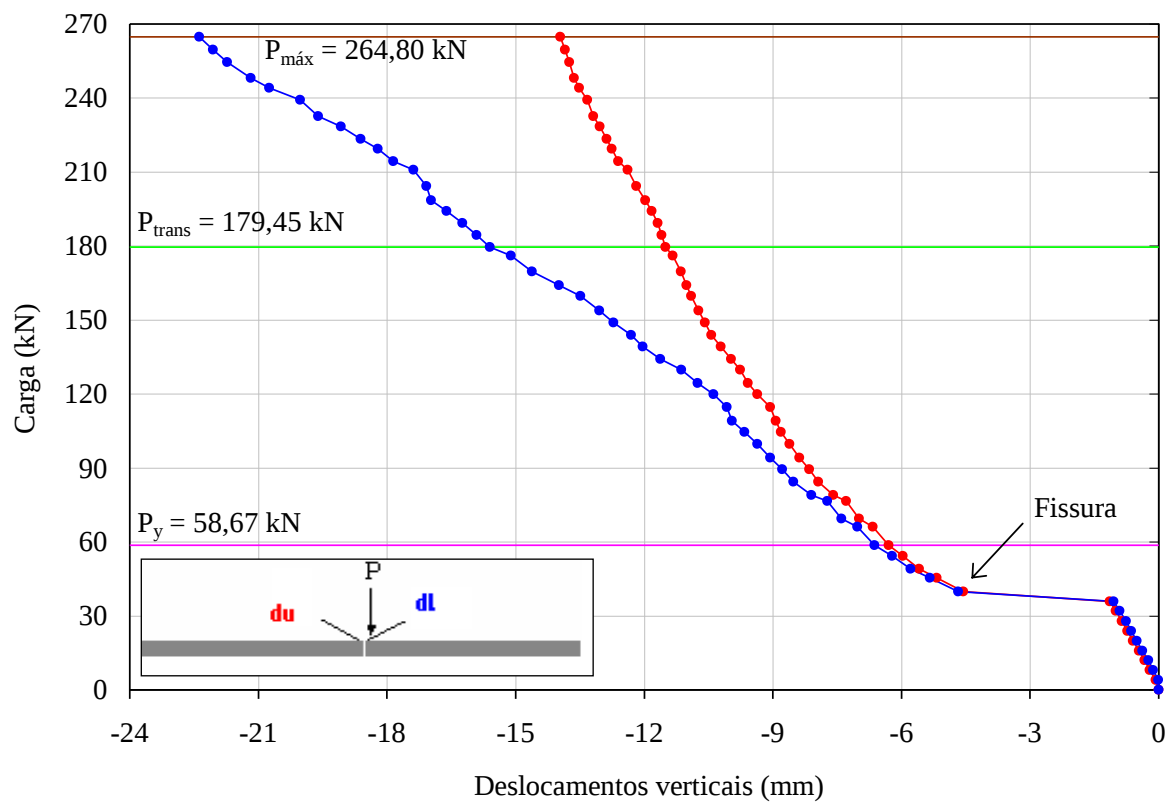


Figura 4. 23 – Gráfico carga x deslocamento na junta do ensaio A30-12B30

4.3.2 Carga Aplicada x Carga na Base de Borracha

Na base de borracha foram colocadas quatro células de carga para medir a quantidade de carga sentida na última camada da base de borracha, a qual está em contato com a laje de reação do laboratório. As leituras das cargas nas células na base de borracha foram muito pequenas quando comparadas com a carga aplicada, pois elas ocupam uma área muito menor que a área onde foi aplicada a carga total.

As células C1 e C4 posicionadas abaixo dos pontos intermediários da placa apresentaram leituras crescentes no início do carregamento e antes da fissuração. Após o surgimento da primeira fissura, essas leituras decrescem e zeram, indicando que a placa já não está mais apoiada totalmente sobre a base de borracha e, portanto, a carga aplicada próxima à junta não é mais sentida nesses pontos intermediários.

As células C2 e C3 localizadas abaixo da junta nos dois lados, não carregado e carregado respectivamente, não apresentam leituras antes do surgimento da primeira fissura. Na carga de fissuração há um salto na leitura das células e essas leituras são crescentes com o carregamento aplicado. Nas placas sem barras de transferência, após a fissuração, a célula C3 apresenta leituras crescentes durante todo o carregamento aplicado, mas a célula C2 tem leituras crescentes até a carga P_{trans} . Nesta carga a curvatura do gráfico da célula C2 muda de sentido e o carregamento deixa de ser transmitido pelo intertravamento dos agregados do concreto entre os dois lados através da junta, e essa carga passa a ser transferida para C2 através dos lençóis de borracha posicionadas abaixo das placas de concreto até o final do ensaio. Esse comportamento identifica a perda da capacidade de transferência de carga e pode ser evidenciado na Figura 4. 24 a Figura 4. 27.

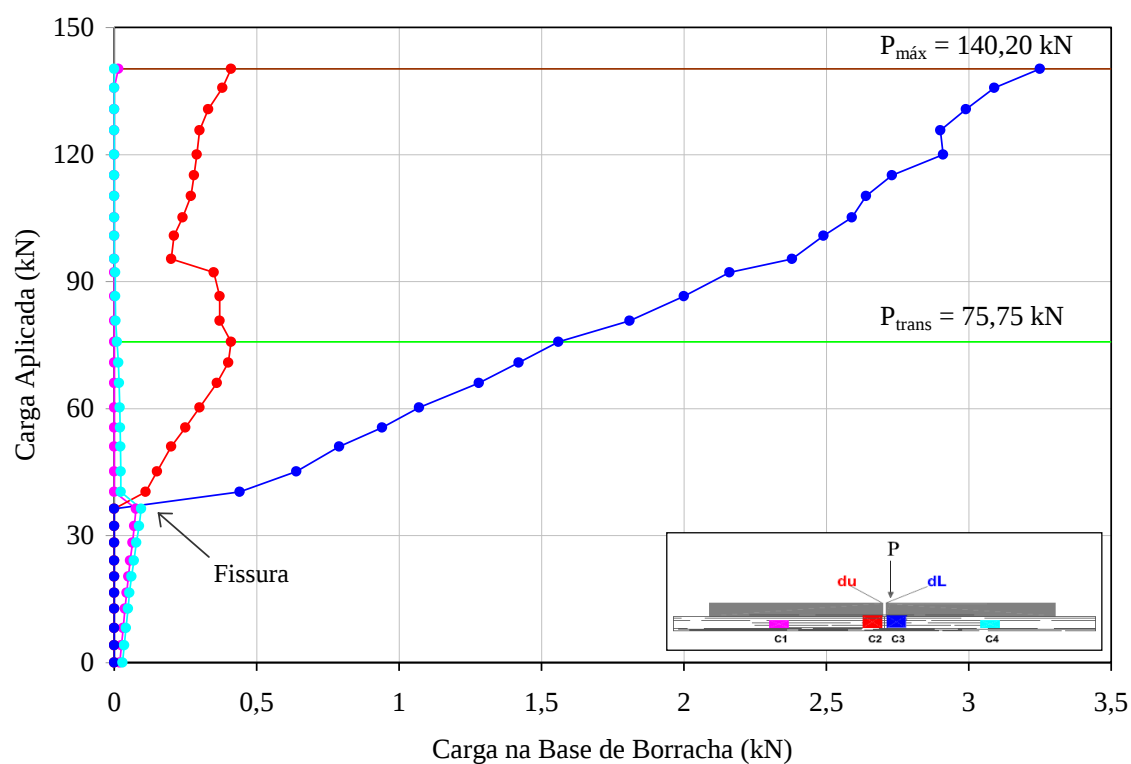


Figura 4. 24 – Gráfico carga aplicada x carga na base de borracha C20-16SB

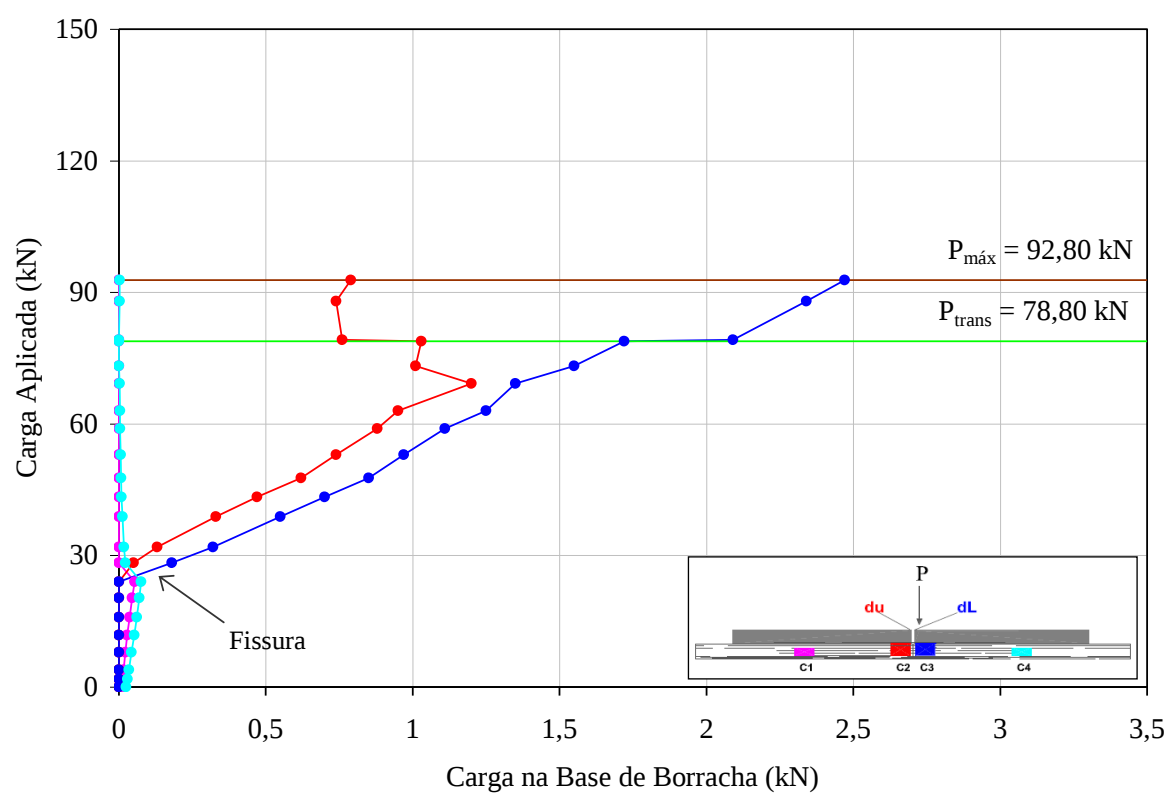


Figura 4. 25 – Gráfico carga aplicada x carga na base de borracha C20-12SB

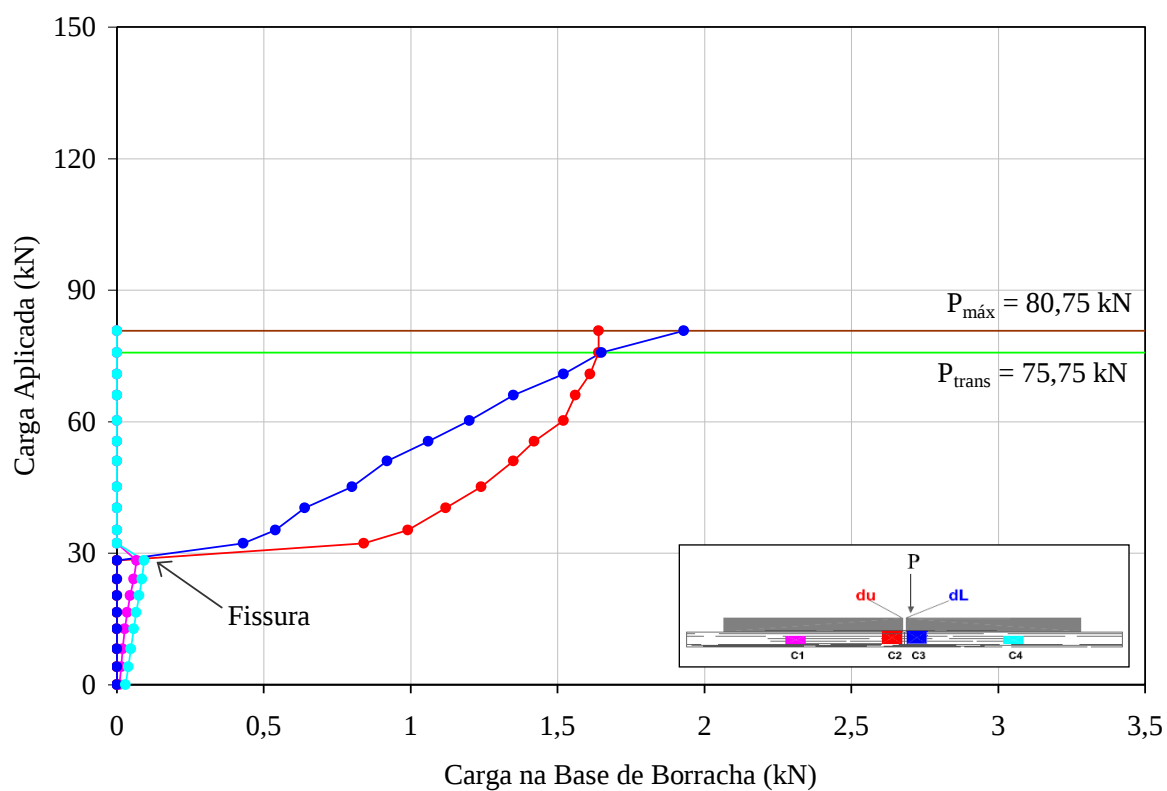


Figura 4. 26 – Gráfico carga aplicada x carga na base de borracha C30-12SB

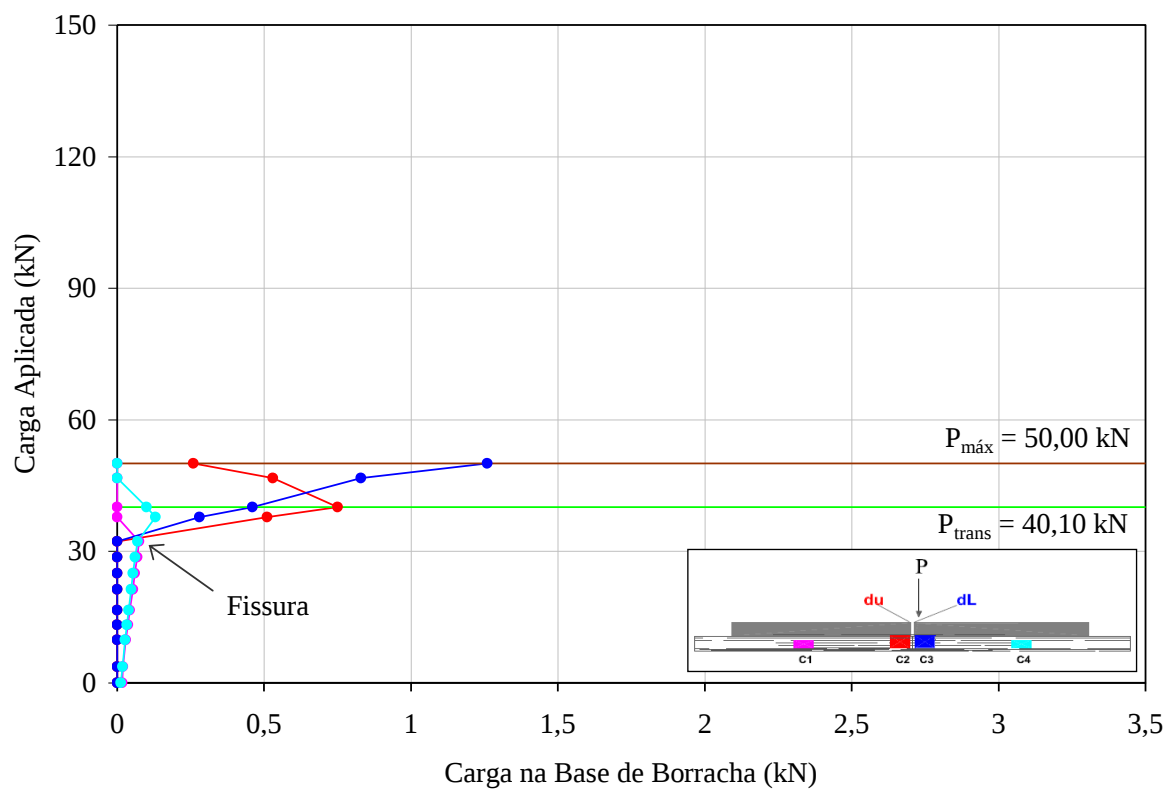


Figura 4. 27 – Gráfico carga aplicada x carga na base de borracha A30-12SB

Nas placas contendo barras de transferência a transferência dos esforços através da junta se dá não somente através do intertravamento dos agregados do concreto, mas também através do uso das barras de transferência. No caso das placas com barras com comprimento de 500 mm as cargas lidas nas células C2 e C3 são crescentes de acordo com o carregamento aplicado até o final do ensaio e para todos os ensaios P_{trans} é similar a $P_{máx}$.

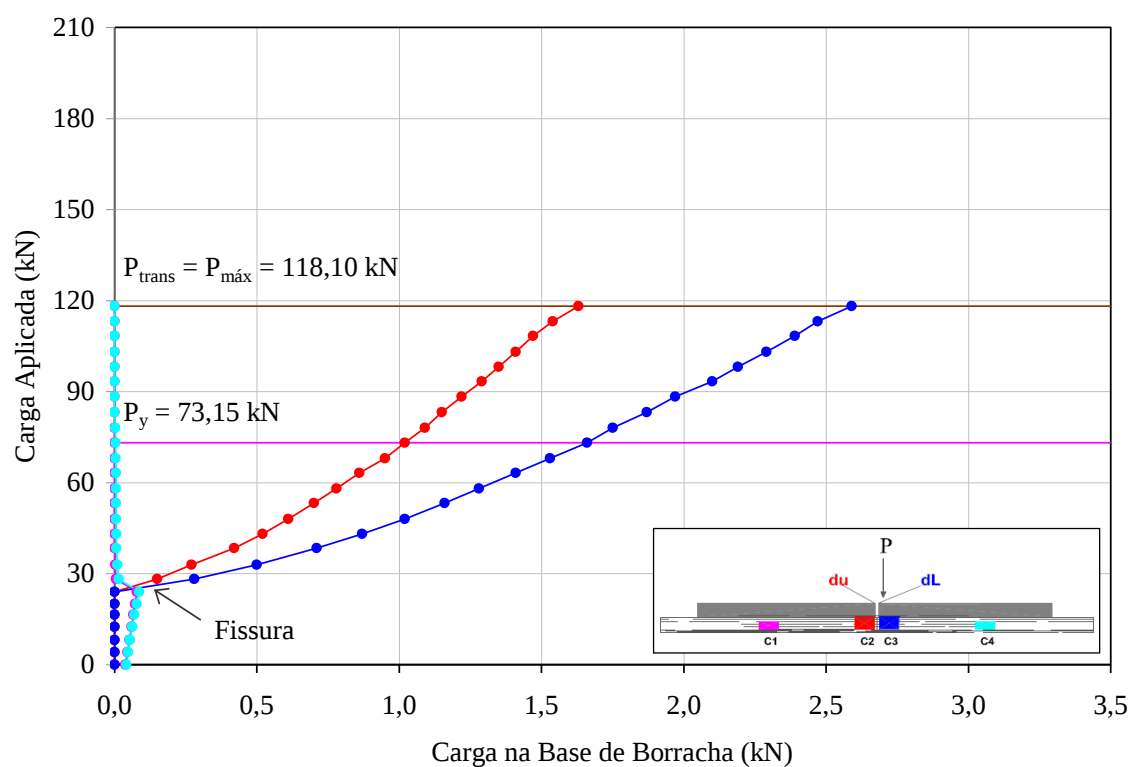


Figura 4. 28 – Gráfico carga aplicada x carga na base de borracha C20-16B50

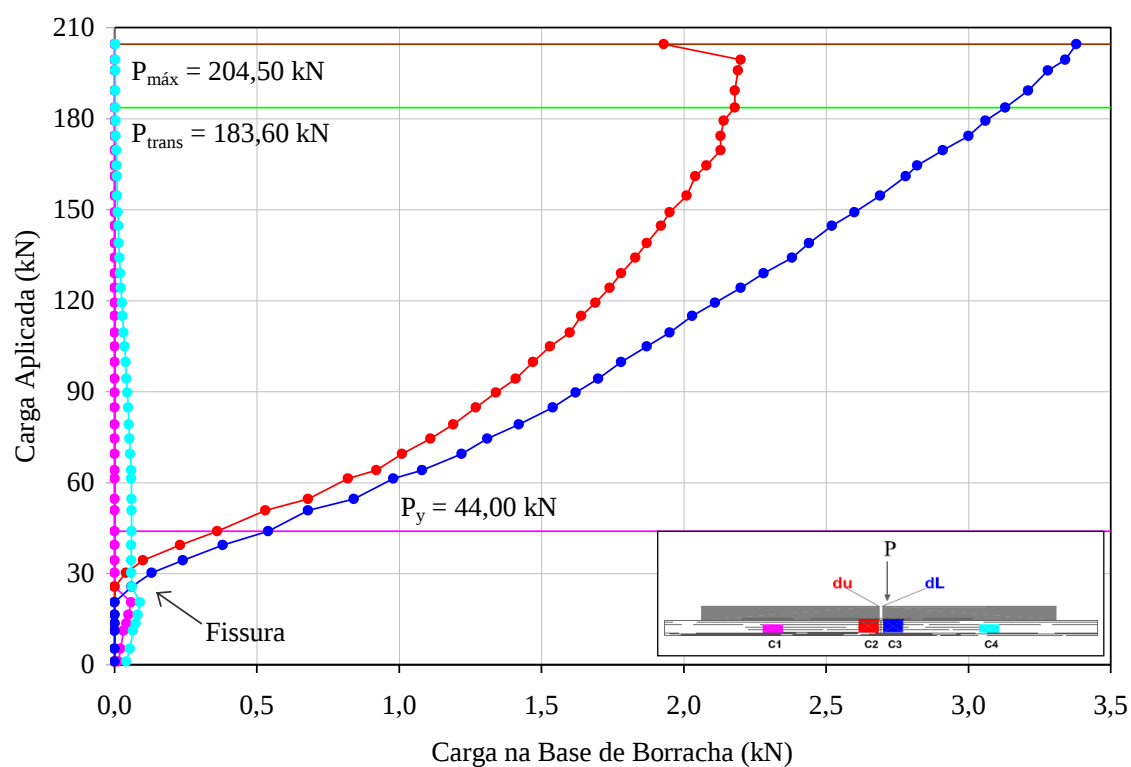


Figura 4. 29 – Gráfico carga aplicada x carga na base de borracha C20-12B50

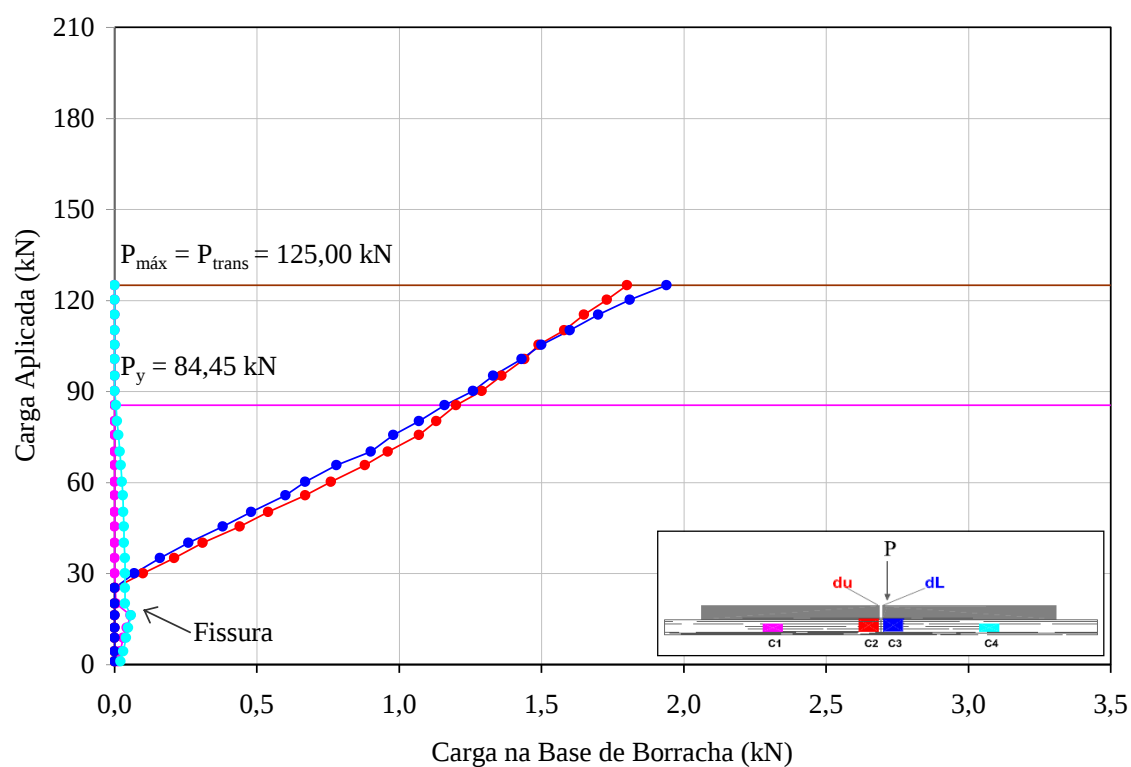


Figura 4. 30 – Gráfico carga aplicada x carga na base de borracha C30-12B50

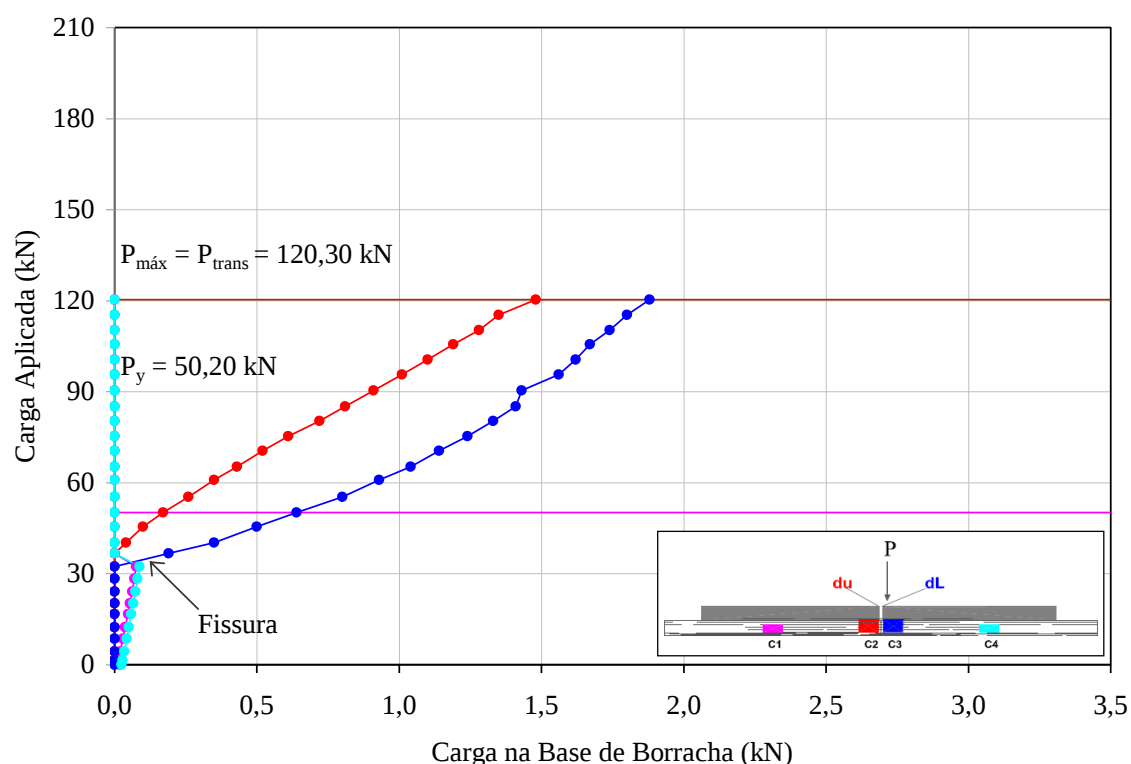


Figura 4. 31 – Gráfico carga aplicada x carga na base de borracha A30-12B50

Nas placas contendo barras de transferência com comprimento de 400 mm, as leituras das células C2 e C3 nos ensaios das placas com concreto de 20 MPa e 120 mm de espessura (C20-12B40 e C20-12B30) se comportaram de forma semelhante às placas contendo barras de 500 mm com carregamento crescente em C2 e C3 até o final do ensaio.

Já nas placas em concreto convencional de 20 MPa e 160 mm de espessura (C20-16B40, C20-16B30), e concreto autoadensável de 30 MPa e 120 mm de espessura (A30-12B40, A30-12B30), a célula C2 apresenta mudança na curvatura de seu gráfico no nível da carga indicado por P_{trans} evidenciando que houve a perda da capacidade de transferência de carga antes do final do ensaio.

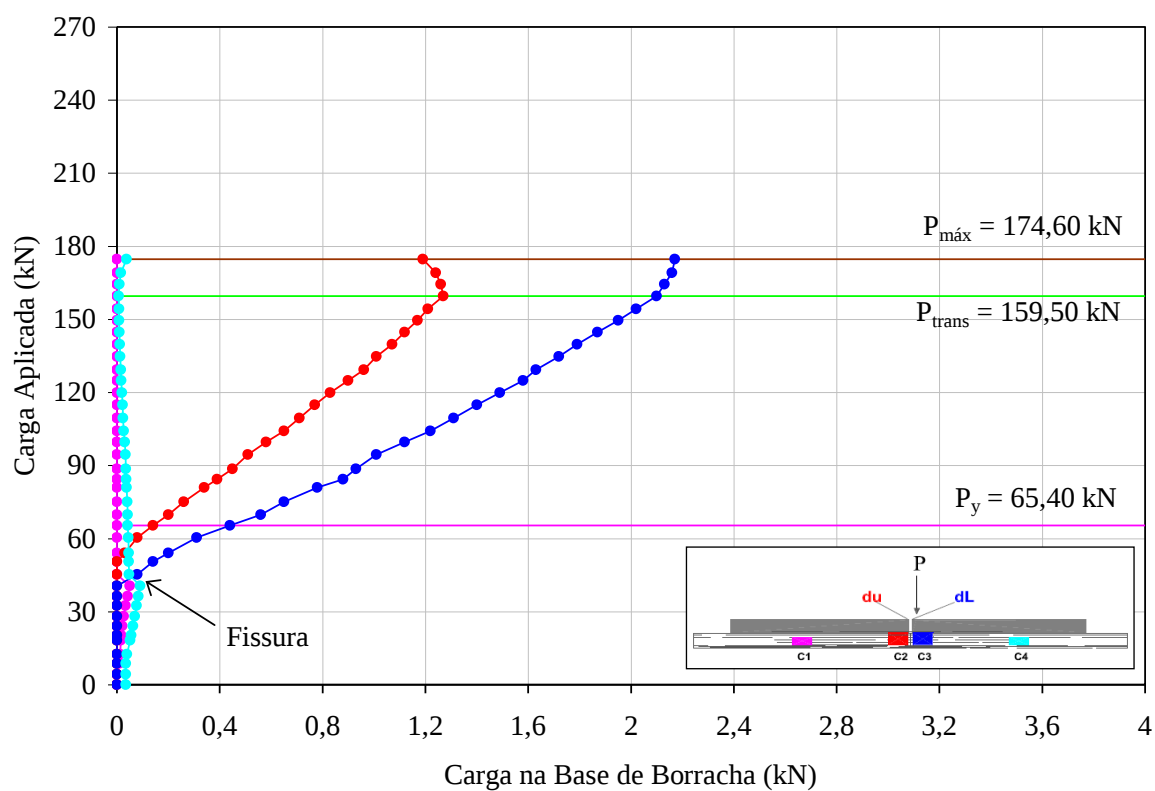


Figura 4. 32 – Gráfico carga aplicada x carga na base de borracha C20-16B40

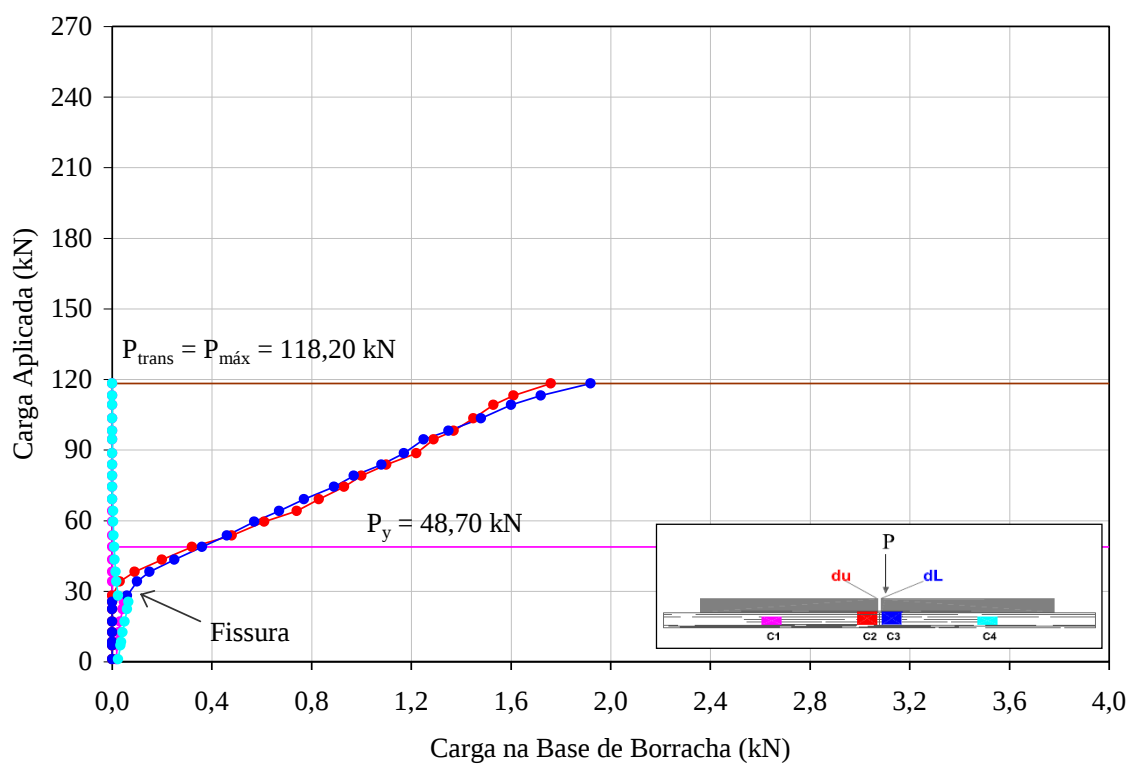


Figura 4. 33 – Gráfico carga aplicada x carga na base de borracha C20-12B40

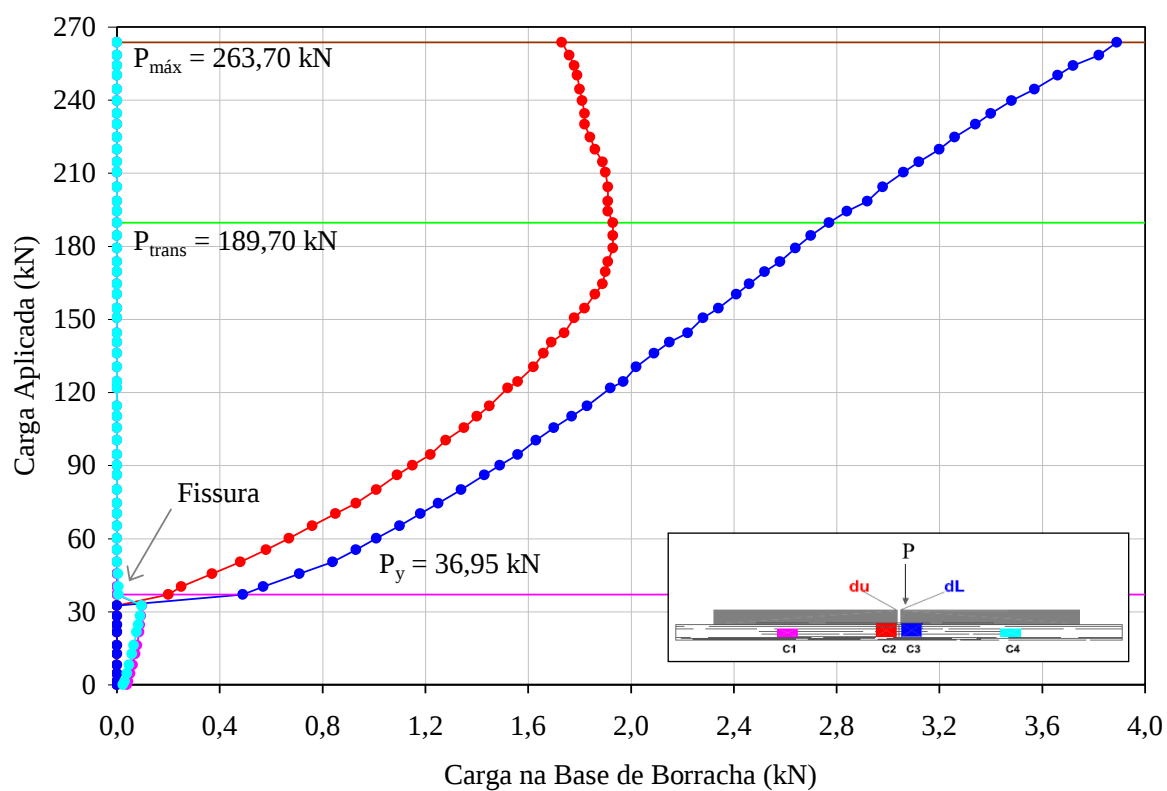


Figura 4. 34 – Gráfico carga aplicada x carga na base de borracha A30-12B40

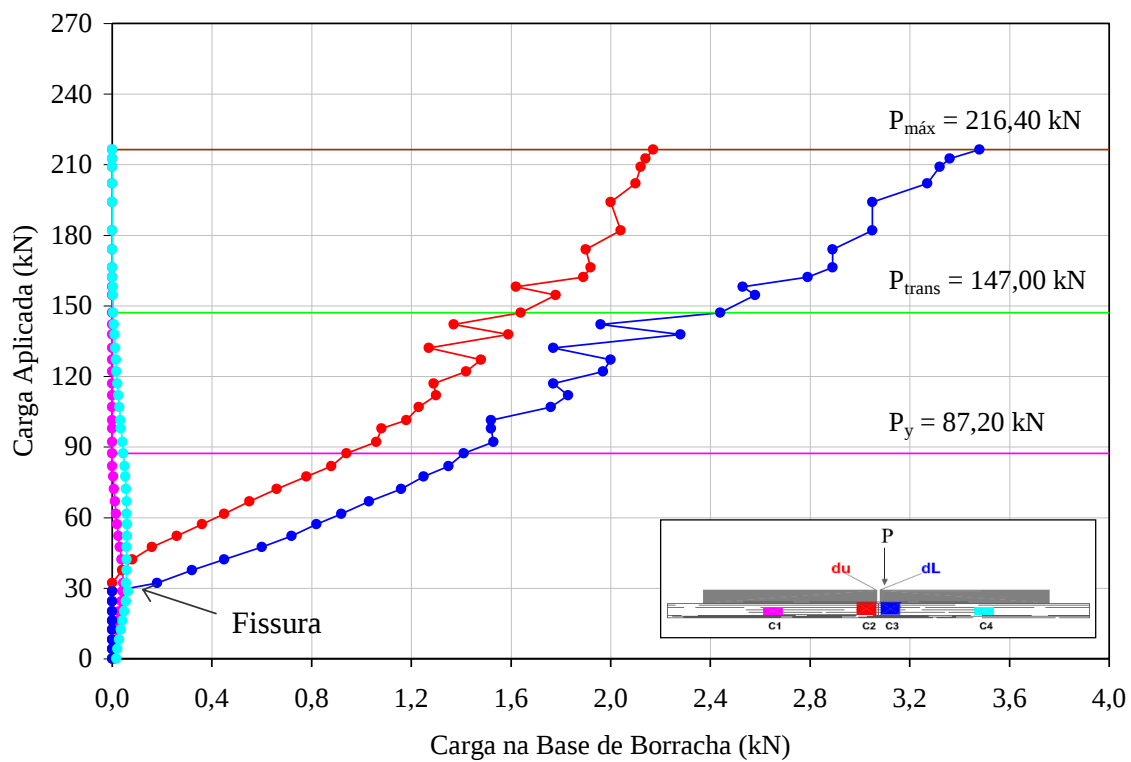


Figura 4. 35 – Gráfico carga aplicada x carga na base de borracha C20-16B30

4.3.3 *Carga x Deformação para Extensômetros no Aço*

As barras de transferência foram instrumentadas com a colocação de dois extensômetros em uma mesma seção em cada barra, um localizado na parte superior e outro na parte inferior, com a intenção de medir as deformações ocorridas no aço durante a aplicação do carregamento (Figura 4.38). Os extensômetros são instrumentos de medição delicados e apesar de toda a proteção e cuidados tomados na manipulação dos mesmos foi verificado, durante a realização dos ensaios, que alguns desses extensômetros ficaram inutilizados durante a concretagem e outros durante no decorrer dos ensaios.

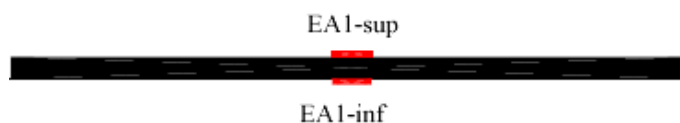


Figura 4.38 – Posicionamento e identificação dos extensômetros no aço

Nas leituras dos extensômetros é possível verificar que antes da fissuração da placa os valores são praticamente nulos e após o surgimento da fissura, evidenciada pelo incremento significativo apresentado na leitura de todos extensômetros, essas barras de transferência passam a ser solicitadas e começam a se deformar com o aumento de carga. Os extensômetros localizados na face superior apresentam leituras semelhantes entre si, assim como os localizados na face inferior.

As leituras dos extensômetros apresentam de um modo geral comportamento similar ao obtido no ensaio da placa C20-12B50 representado na Figura 4.39. Nesses ensaios a perda de extensômetros durante os ensaios se dá primeiramente nos que estão localizados na seção superior. Os gráficos carga x deformação do aço dos demais ensaios estão representados no APÊNDICE B.

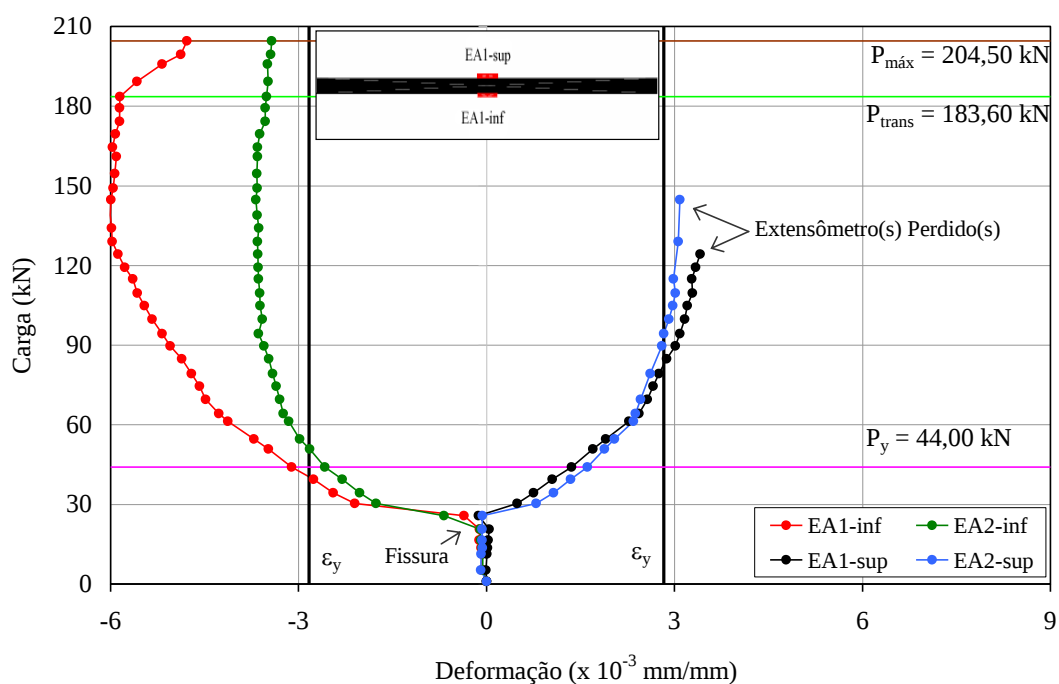


Figura 4.39 - Gráfico carga aplicada x deformação no aço da placa C20-12B50

Nos ensaios das placas C20-16B50 e A30-12B40 o comportamento dos extensômetros foram diferentes dos demais ensaios e estão representados na Figura 4. 40 e Figura 4. 41, respectivamente.

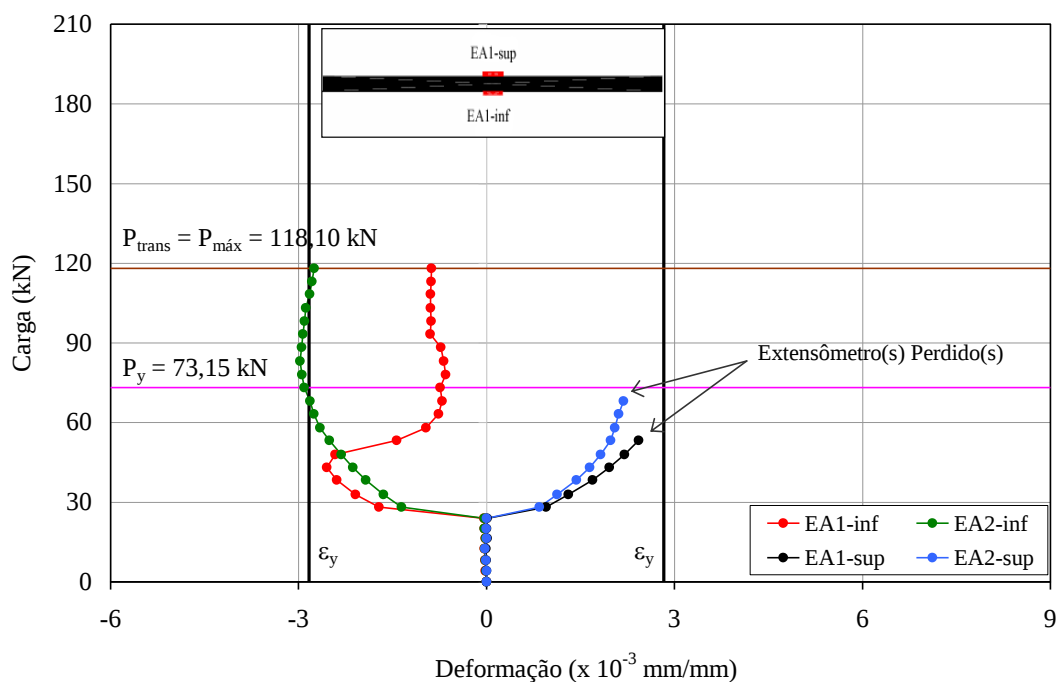


Figura 4. 40 – Gráfico carga aplicada x deformação no aço da placa C20-16B50

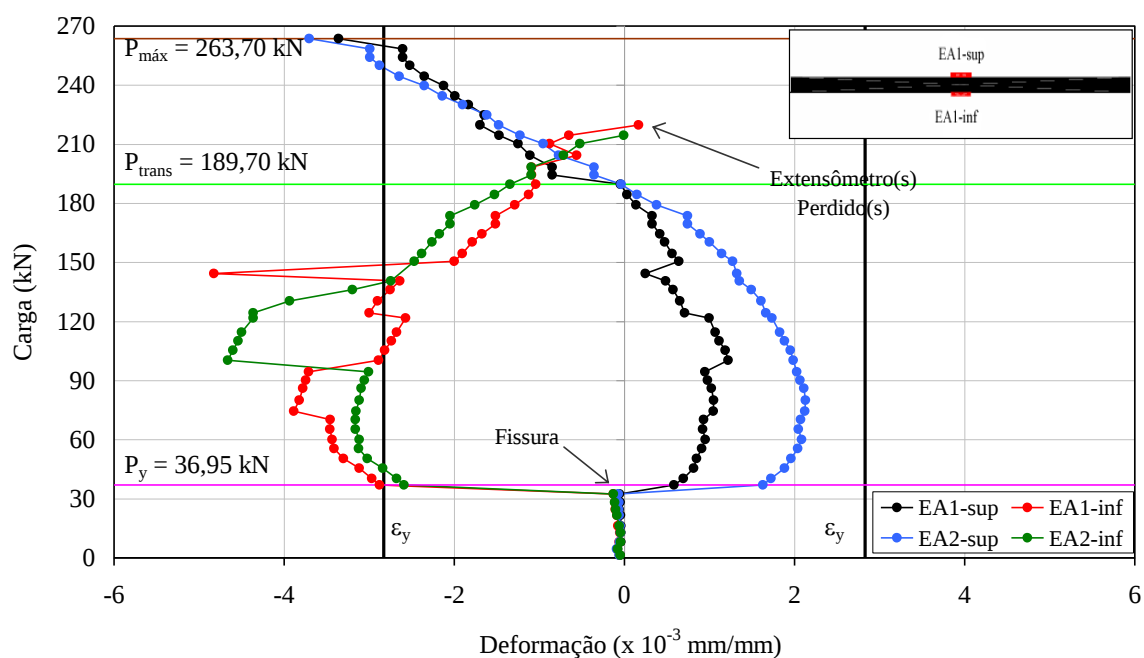


Figura 4. 41 – Gráfico carga aplicada x deformação no aço da placa A30-12B40

Os valores das deformações máximas do aço ($\epsilon_{s-máx}$), na tração (sinal negativo) e compressão (sinal positivo), obtidas nas leituras dos extensômetros nos ensaios das placas contendo barras de transferência estão na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Valores máximos das deformações do aço

Série	Ensaio	$\epsilon_{s-máx} (x 10^{-3} mm/mm)$		Série	Ensaio	$\epsilon_{s-máx} (x 10^{-3} mm/mm)$	
		Tração	Compressão			Tração	Compressão
01	C20-16B50	-2,97	2,43	02	C20-12B30	-5,27	12,13
01	C20-16B40	-5,51	4,25	03	C30-12B50	-3,24	8,81
01	C20-16B30	-3,32	3,44	04	A30-12B50	-5,59	3,92
02	C20-12B50	-6,00	3,41	04	A30-12B40	-4,83	2,13
02	C20-12B40	-4,96	*	04	A30-12B30	-4,69	3,62

* Perda de extensômetros na concretagem.

4.3.4 Carga x Deformação para Extensômetros no Concreto

Os extensômetros de concreto foram colados em uma das laterais da laje na parte superior e inferior nos dois lados da junta, conforme esquema apresentado pela Figura 4. 42, sendo que os extensômetros EC1 e EC2 foram colados na lateral do lado carregado da placa na face superior e inferior, respectivamente; e, os extensômetros EC4 e EC3 foram colados na lateral do lado descarregado da placa na face superior e inferior, respectivamente.

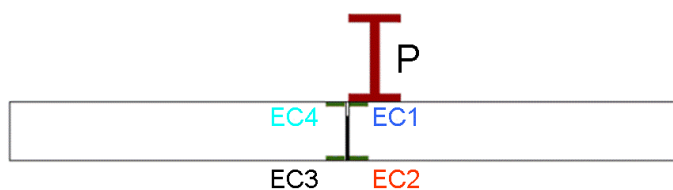


Figura 4. 42 - Posicionamento dos extensômetros no concreto

Os resultados obtidos nos ensaios apresentaram um comportamento similar entre os extensômetros localizados na parte superior (EC1 e EC4), bem como os localizados na parte inferior (EC2 e EC3). A Figura 4.43 ilustra o comportamento dos extensômetros na placa C20-12SB, desde a sua colagem, antes da aplicação do carregamento, após o surgimento da fissura e após a conclusão do ensaio. Nesse caso a fissura não surgiu na seção perpendicular à junta, mas passando por EC2 fazendo então que as leituras nesse extensômetro ficassem prejudicadas.

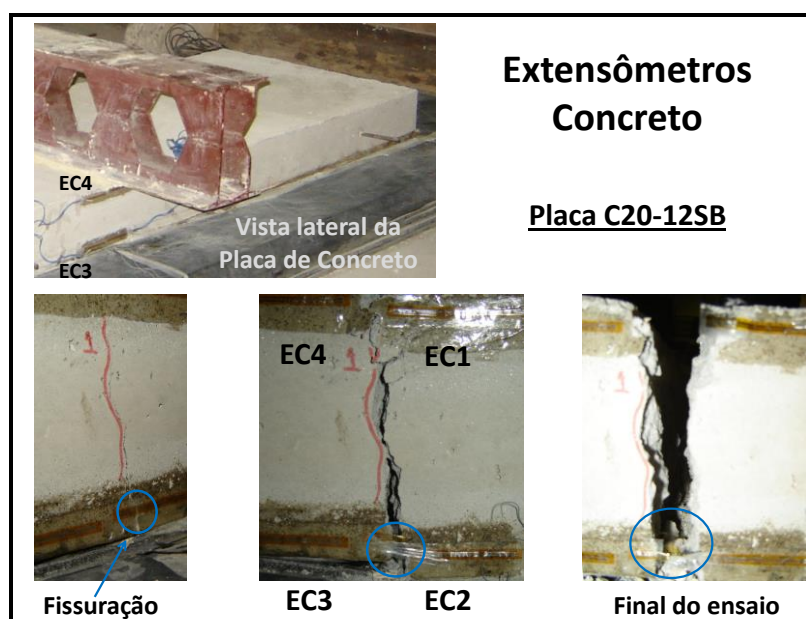


Figura 4.43 – Extensômetro de Concreto – Placa C20-12SB

Os extensômetros são posicionados na lateral da placa próximos de onde se prevê a abertura da junta, e nem sempre isso ocorre podendo haver o rompimento de EC2 ou EC3 com o surgimento da fissura. Os comportamentos das leituras dos extensômetros variaram em todos os ensaios, mas mantiveram comportamento semelhante ao da placa A30-12B40 (Figura 4.44), onde:

- (a) os extensômetros EC2 e EC3 são tracionados e mais solicitados após o surgimento da fissura;
- (b) EC3 é mais solicitado que EC2;

(c) as deformações de todos os extensômetros ficaram, de modo geral, dentro do limite de deformação máxima do concreto segundo a NBR 6118:2003, sendo igual a $-3,5 \times 10^{-3}$ mm/mm e $0,5 \times 10^{-3}$ mm/mm, para a compressão e para a tração respectivamente.

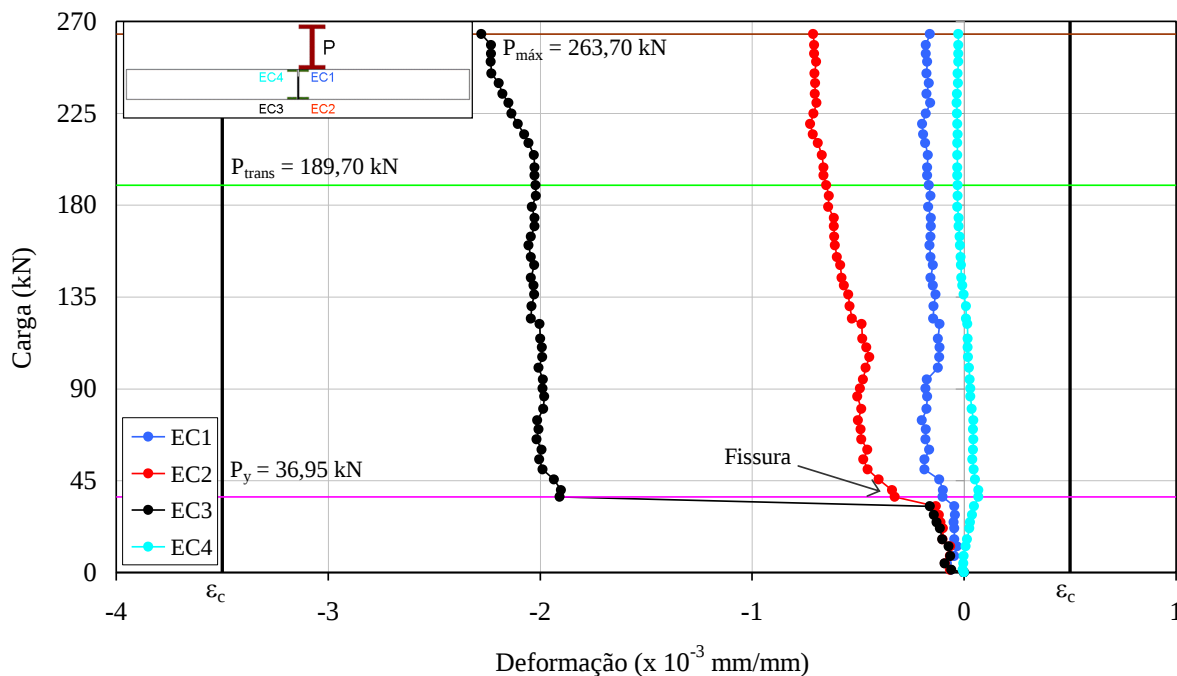


Figura 4.44 – Gráfico carga aplicada x deformação do concreto da placa A30-12B40

Os demais gráficos relacionando a carga aplicada e as deformações dos extensômetros de concreto estão no APÊNDICE B.

4.3.5 Deslocamentos verticais

Com o carregamento aplicado no meio da placa em um dos lados da junta espera-se que ocorra o levantamento das extremidades das placas com o aumento do carregamento aplicado, como aconteceram em todos os ensaios (Figura 4.45). Para medir esse levantamento foram colocados deflectômetros em vários pontos da placa e traçados gráficos com essas leituras definindo a deformada da placa.



Figura 4.45 – Levantamento das bordas no ensaio da placa A30-12B40

A posição dos deflectômetros (D1 a D10) na placa de concreto equivale aos comprimentos e posições descritas a seguir conforme a Figura 4.46, sendo: D1 na posição 0 mm; D2 em 550 mm, D3 e D4 no lado não carregado e D5 e D6 no lado carregado, na posição de 1100 mm, D7 em 1650 mm; e, D8 em 2200 mm.

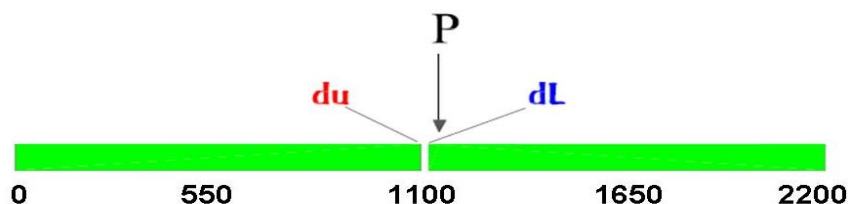


Figura 4.46 - Posição dos deflectômetros na placa (mm)

Nos gráficos representando as deformadas das placas (APÊNDICE B), a linha em magenta indica a carga P_y , a linha em verde equivale a carga P_{trans} quando P_{trans} menor que $P_{máx}$, e a linha em marrom equivale a carga $P_{máx}$. Em todos esses ensaios a placa praticamente não se movimenta antes da fissuração. Após a fissuração as duas extremidades se levantam conforme o carregamento é aplicado e os esforços são transferidos entre os dois lados da placa através da junta.

Nas placas sem barra de transferência, após a fissuração e enquanto há transferência de esforços entre os dois lados da placa através do intertravamento dos agregados do concreto, a extremidade do lado não carregado é na maioria dos casos maior que o lado carregado.

Um comportamento diferente se deu no ensaio da placa A30-12SB que não apresentou ruptura brusca, pois devido ao uso de finos na composição do concreto autoadensável não irá existir, nesse caso, o intertravamento dos agregados graúdos como acontece no concreto convencional. O comportamento da deformação nas placas sem barras de transferência está ilustrado abaixo pela Figura 4. 47 que representa o comportamento geral da placa C20-16SB e a Figura 4. 48 representa o comportamento dessa placa antes da fissuração.

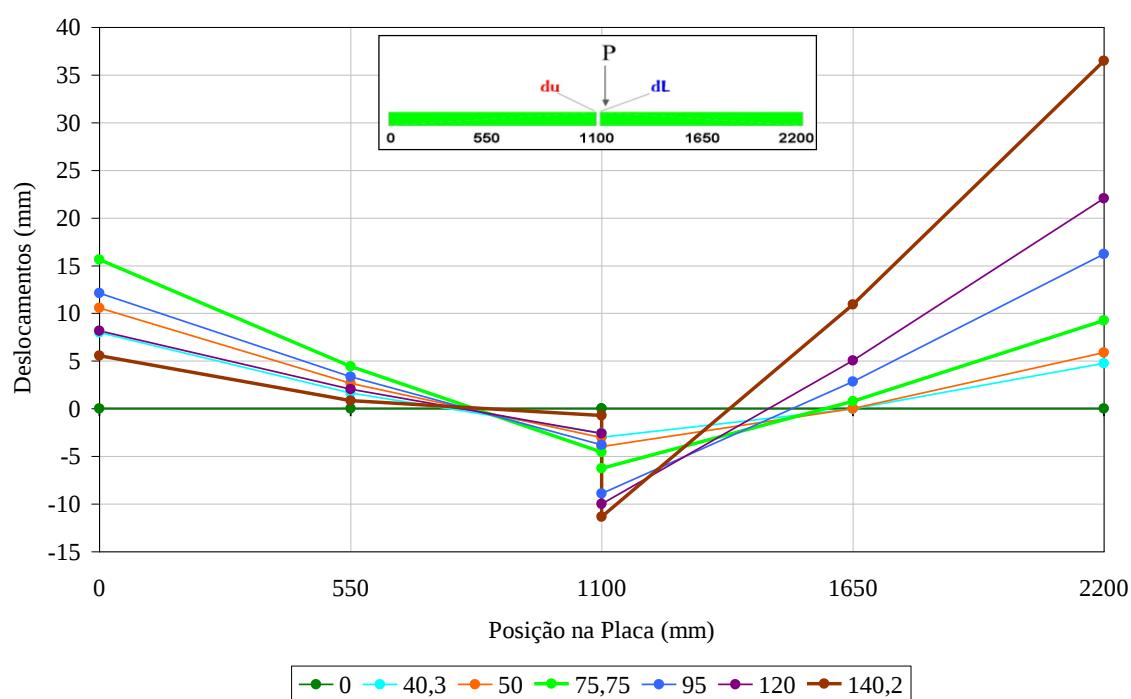


Figura 4. 47 – Deformada da placa C20-16SB

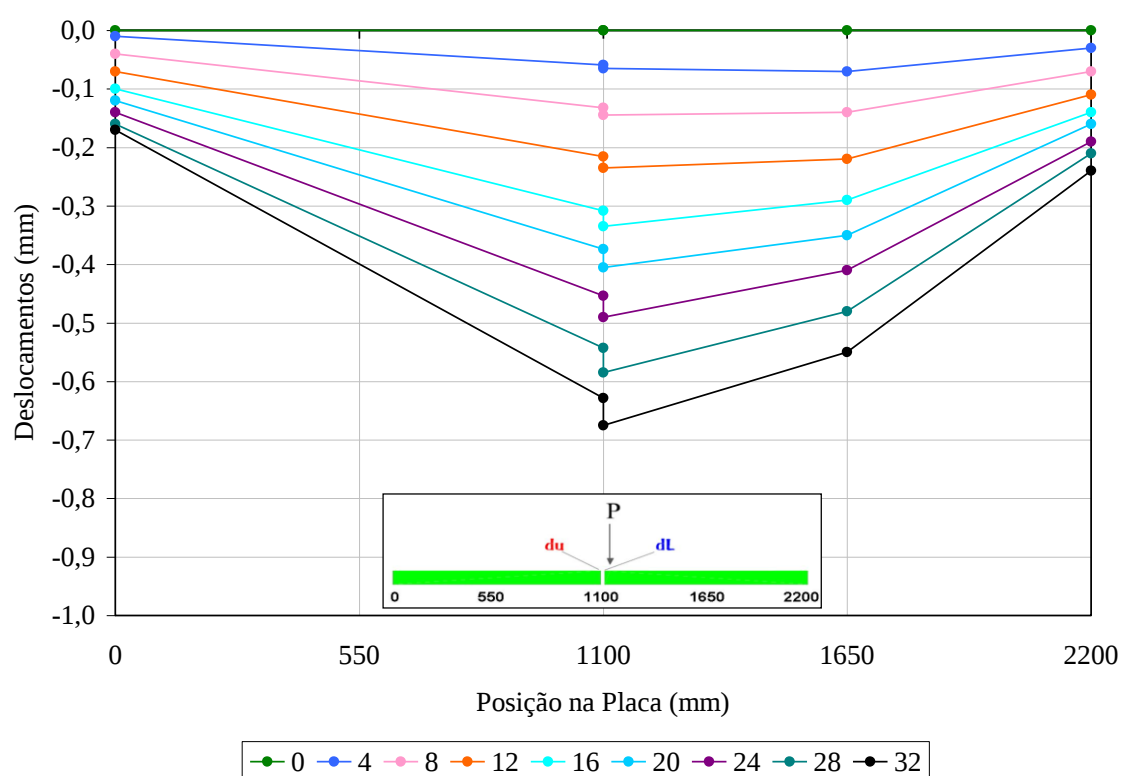


Figura 4. 48 – Deformada da placa C20-16SB antes da fissuração

Nas placas contendo barras de transferência (Figura 4.49 e Figura 4. 50) os esforços são transferidos do lado carregado para o lado não carregado tanto pelo intertravamento entre os agregados como pelo uso das barras como dispositivo de transferência de esforços. Nessas placas quando há a fissuração as barras passam a ser solicitadas e observa-se que o levantamento das duas extremidades é próximo entre si.

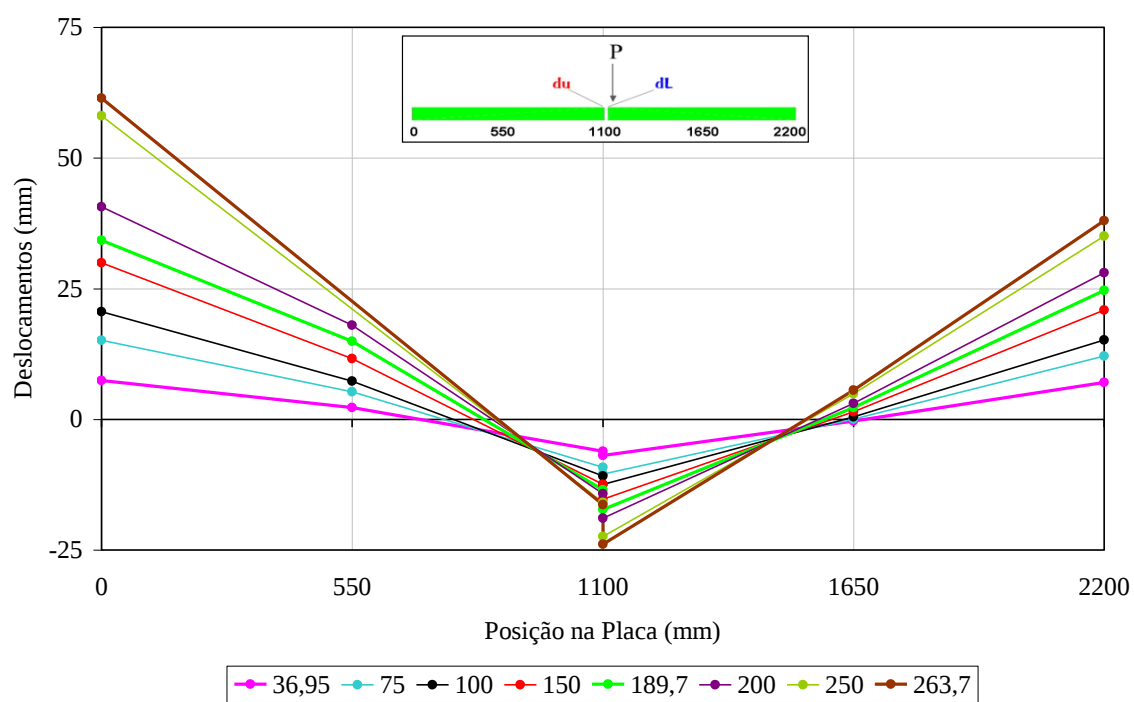


Figura 4.49 – Deformada da placa A30-12B40

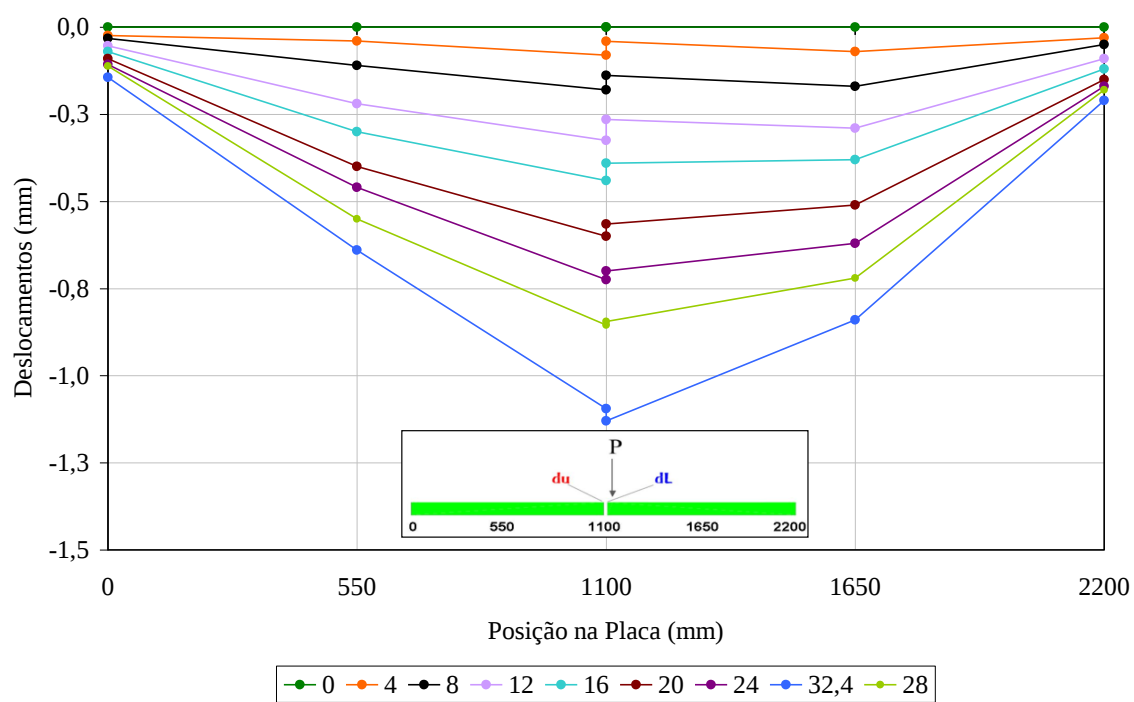


Figura 4. 50 - Deformada da placa A30-12B40 antes da fissuração

CAPÍTULO 5

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesse capítulo será feita uma análise dos resultados apresentados no capítulo anterior através de comparações entre os resultados obtidos nos ensaios das quatorze placas. As análises serão feitas em relação às variáveis adotadas, em relação às barras de transferência, espessura das placas, e quanto ao tipo de concreto e resistência à compressão do concreto.

5.1 CARGAS DE FISSURAÇÃO, ESCOAMENTO E MÁXIMA DE TRANSFERÊNCIA

No capítulo anterior, a Tabela 4.2 apresenta as cargas de fissuração (P_{fiss}), escoamento (P_y) e máxima de transferência (P_{trans}) obtidas em todos os ensaios realizados.

Nessa análise foram adotadas siglas para cada série de ensaio identificando as placas de acordo as variáveis em relação a espessura da placa, tipo e resistência característica à compressão do concreto, onde:

- C20-16 – sigla que representa as placas confeccionadas em concreto convencional e resistência à compressão de 20 MPa e espessura de 16 cm;
- C20-12 – sigla que representa as placas confeccionadas em concreto convencional e resistência à compressão de 20 MPa e espessura de 12 cm;
- C30-12 – sigla que representa as placas confeccionadas em concreto convencional e resistência à compressão de 30 MPa e espessura de 12 cm;
- A30-12 – sigla que representa as placas confeccionadas em concreto convencional e resistência à compressão de 30 MPa e espessura de 12 cm.

Essas siglas e as relações entre as cargas P_{fiss} , P_y e P_{trans} estão na Tabela 5.1.

Tabela 5. 1 – Comparativos entre as cargas da placas

Série / Ensaio		Sigla	P_{fiss}	P_y	P_{trans}	P_{fiss}	P_y	P_{trans}
			(kN)	(kN)	(kN)	÷	÷	÷
			(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
01	C20-16SB	C20-16	36,30	-	75,75	0,48	-	1,00
01	C20-16B50		23,95	73,15	118,10	0,20	0,62	1,28
01	C20-16B40		40,60	65,40	159,50	0,25	0,41	1,73
01	C20-16B30		28,60	87,20	147,00	0,19	0,22	1,60
02	C20-12SB	C20-12	24,00	-	78,80	0,30	-	1,00
02	C20-12B50		20,60	44,00	183,60	0,11	0,24	2,33
02	C20-12B40		25,40	48,70	118,20	0,21	0,45	1,50
02	C20-12B30		16,05	46,95	117,00	0,14	0,40	1,48
03	C30-12SB	C30-12	28,35	-	75,75	0,37	-	1,00
03	C30-12B50		16,25	85,45	125,00	0,13	0,68	1,65
04	A30-12SB	A30-12	32,25	-	40,10	0,80	-	1,00
04	A30-12B50		32,35	50,20	120,30	0,27	0,42	3,00
04	A30-12B40		32,40	36,95	189,70	0,17	0,19	4,73
04	A30-12B30		35,78	58,67	179,45	0,20	0,33	4,48

5.1.1 Carga de fissuração (P_{fiss})

A carga de fissuração (P_{fiss}) corresponde à última leitura de carga antes do surgimento da primeira fissura na parte inferior das juntas. As cargas de fissuração nas placas em concreto convencional de 20 MPa, séries 1 e 2, são maiores para as placas mais espessas devido a maior seção de concreto que está sendo tracionada. Nelas as cargas de fissuração das placas com espessura de 160 mm são maiores que as com espessura de 120 mm em torno de 51% no caso das placas sem barras, e entre 16% e 78% para as placas com barras. Nas placas com barras essa relação aumenta com a redução dos comprimentos das barras, sendo iguais a 16%, 60% e 78% para as barras de 500 mm, 400 mm e 300 mm, respectivamente.

Em uma mesma série a relação entre a carga de fissuração (P_{fiss}) nas placas com barras com a respectiva carga de fissuração da placa sem barra ($P_{fiss,SB}$) pode indicar a influência que a barra de transferência tem na carga de fissuração. Essa relação ($P_{fiss}/P_{fiss,SB}$) mostra que:

- (1) Nas placas em concreto convencional a carga de fissuração nas placas com barras de 500 mm e 300 mm é menor que das placas sem barras em torno de 14% a 43%;
- (2) Nas placas em concreto convencional a carga de fissuração nas placas com barras de 400 mm é maior do que nas placas sem barras. Nas placas C20-12 (concreto convencional

de 20 MPa e 120 mm de espessura) esse índice é de 6% e nas placas C20-16 (concreto convencional de 20 MPa e 160 mm de espessura) é de 12%. Esse percentual pode indicar que nas barras com esse comprimento há a influência da mesma no aumento da carga de fissuração;

(4) A relação entre as cargas de fissuração das placas em concreto convencional sem barra e com barras de 500 mm é crescente com o aumento da espessura da placa e com o aumento da resistência característica à compressão do concreto. Essa relação é de 74,5%, 51,6% e 16,5% respectivamente entre as placas C30-12 (concreto convencional de 30 MPa e 120 mm de espessura), C20-16 (concreto convencional de 20 MPa e 160 mm de espessura) e C20-12 (concreto convencional de 20 MPa e 120 mm de espessura), indicando que a carga de fissuração é influenciada pelo tipo de concreto e espessura da placa;

(5) Em todas as placas em concreto autoadensável a carga de fissuração é próxima entre si, com variação máxima de apenas 11% na placa com barra de 300 mm. Essa relação ($P_{fiss}/P_{fiss,SB}$) indica que há um aumento insignificante, menor que 1%, na carga de fissuração com barras de 500 mm e 400 mm em torno de 0,31% e 0,47% respectivamente, indicando que nesses casos a presença da barra não influenciou na fissuração da placa.

Na placa A30-12SB a carga de fissuração (P_{fiss}) corresponde a 80% da carga transferência (P_{trans}). Esse índice é alto quando comparado aos demais ensaios e especificamente aos ensaios das placas sem barra cuja relação é de 48%, 30% e 37% respectivamente para as placas C20-16SB, C20-12SB e C30-12SB. Esse alto índice para essa placa A30-12SB, ocorre por que: (1) a ruptura ocorre por tração do concreto logo após a fissuração da placa; (2) após a fissuração essa placa perde toda a sua capacidade de transferência de carga, pois como não há barras de transferência e o concreto é composto por agregados finos que não proporcionam o intertravamento, a ruptura ocorre por tração do concreto e a carga máxima de transferência é próxima a carga de fissuração.

Nota-se que o comportamento das juntas em placas com concreto autoadensável passa a ser semelhante ao das placas com junta moldada a partir da fissuração das placas que contém barras de transferência. Isto se dá porque não há o intertravamento entre os agregados de concreto devido à grande presença de finos e após a fissuração o concreto da junta se rompe devido às tensões de tração e a transferência de cargas entre os dois lados da placa se dá apenas pelas barras de transferência.

Nas placas contendo barras de transferência a carga de fissuração (P_{fiss}) equivale de 11% a 27% da carga máxima de transferência (P_{trans}) indicando que o uso da barra contribui para o aumento da carga máxima de transferência após a fissuração, visto que elas passam a ser solicitadas, após a fissuração, na transferência dos esforços.

5.1.2 *Carga de escoamento das barras (P_y)*

Comparando a carga de escoamento das barras de transferência entre as placas com mesmo tipo de concreto (convencional de 20 MPa) e espessuras diferentes, séries 1 e 2, as maiores cargas de escoamento ocorreram nas placas mais espessas (160 mm). Isso indica que após a fissuração ainda existe, nas placas executadas em concreto convencional, a contribuição do conjunto (concreto e barras) na transferência dos esforços.

Com a espessura de 120 mm observa-se que, nas placas C20-12 (concreto convencional de 20 MPa e espessura de 120 mm), as cargas de escoamento são próximas entre si e diferenciam entre a mínima e a máxima em apenas 11%, indicando que neste caso a solicitação das barras foi semelhante apesar dos comprimentos das barras serem diferentes. Já nas placas A30-12 (concreto autoadensável e espessura de 120 mm), as cargas de escoamento variam mais que entre as placas C20-12 e a variação máxima entre elas é de 59%. Essa diferença de comportamento ocorre porque na placa em concreto autoadensável há pouca contribuição da seção de concreto na transferência dos esforços, desta forma as barras são mais solicitadas, o que não ocorre na placa em concreto convencional a qual tem a contribuição deste nessa transferência através do intertravamento dos agregados do concreto.

Nas placas C20-12B50 e C30-12B50, diferentes na resistência à compressão, a carga de escoamento da placa em concreto com menor resistência (20MPa) corresponde a metade (51,5%) da carga de escoamento da placa executada com concreto com maior resistência (30 MPa). Como não foram executados ensaios nas placas em concreto de 30MPa (C30) com barras em tamanho reduzido essa comparação não pode ser feita para as placas C20-12B40 e C20-12B30. Com apenas esse comparativo entre as barras de 500 mm nota-se que neste caso a resistência à compressão do concreto pode interferir na eficiência da barra com o aumento da carga de escoamento.

Nas placas com barras de 500 mm e mesma resistência característica à compressão (30 MPa), a carga de escoamento nas placas em concreto autoadensável (A30-12B50) corresponde a 59% da carga de escoamento das barras nas placas executadas em

concreto convencional (C30-12B50). Esse percentual mostra que a barra na placa em concreto autoadensável é mais solicitada do que nas placas em concreto convencional. Isso acontece porque após a fissuração, a transferência de esforços nas placas em concreto autoadensável se dá apenas através das barras e pode-se dizer que o comportamento dessas placas após a fissuração contendo barras é similar ao das placas com junta moldada.

A relação entre a carga de escoamento e a carga máxima de transferência (P_y/P_{trans}) variou entre 19% e 68% nos ensaios realizados. As barras de 500 mm nas placas C30-12B50 e C20-16B50 foram as barras mais solicitadas e tiveram cargas de escoamento correspondentes a 68% e 62% da carga máxima de transferência, respectivamente. As barras menos solicitadas foram as da placa A30-12B40 com carga de escoamento correspondendo a 19% da carga máxima de transferência. Nas placas C20-16B40, C20-12B40, C20-12B30 e A30-12B50 a carga de escoamento equivaleu em torno de 40% a carga máxima de transferência.

Nas placas contendo barras de 500 mm a relação entre a carga de escoamento com a carga máxima de transferência (P_y/P_{trans}) é próxima nas placas das séries 1 e 4, com índices de 62% e 68% respectivamente para as placas C20-16B50 e C30-12B50 respectivamente. Percebe-se ainda que a menor relação entre a carga de escoamento e a de transferência ocorre na placa menos espessa e com menor resistência à compressão (C20-12B50). Uma indicação é que o aumento da espessura em uma menor resistência pode corresponder a um concreto mais resistente com menor espessura.

5.1.3 *Carga máxima de transferência (P_{trans})*

A carga máxima de transferência (P_{trans}) corresponde à carga máxima aplicada em que existe transferência de esforços entre os dois lados da placa (do lado carregado para o lado não carregado) através do dispositivo de transferência de carga.

Nessa análise, a carga máxima de ensaio não está sendo considerada visto que após a carga máxima de transferência, o carregamento não é mais transferido pela junta do lado carregado para o lado não carregado da placa. As leituras existentes nas células de carga localizadas na base da borracha após a carga máxima de transferência ocorrem devido à transferência de carga que passou a ser feita pelas camadas de borracha em vez da junta. Nas placas aonde isso acontece a carga máxima obtidas nos ensaio chega a ser maior que a carga máxima de transferência em 48%, exceto para a placa C20-16SB em que a carga máxima de ensaio é superior a máxima de transferência em 85%

Ao relacionar a carga máxima de transferência em cada série de ensaio das placas com barras com respectivas placas sem barras ($P_{trans}/P_{trans,SB}$) tem-se que as maiores relações ocorreram nas placas em concreto autoadensável aonde as cargas de transferência das placas com barras equivaleram de 2 a 4 vezes a respectiva carga de transferência da placa sem barra. Nessa mesma análise tem-se que o menor índice obtido na menor relação P_{trans} e $P_{trans,SB}$ é de 48% e ocorre na placa C20-12B30, a qual tem há a menor seção de concreto (120 mm), menor resistência à compressão (20 MPa) e contém barra com menor comprimento (300 mm). Essa relação indica que neste caso há uma influência da seção de concreto e do comprimento da barra no aumento da capacidade máxima de transferência da carga.

5.2 PARÂMETROS DE RELAÇÃO ENTRE AS PLACAS

5.2.1 *Eficiência das Juntas*

A Associação Americana de Pavimentos de Concreto (ACPA) utiliza a eficiência das juntas para medir a sua capacidade recomendando que um pavimento com eficiência maior ou igual a 75% é considerado adequado. A eficiência das juntas (Equação 5.1) é baseada na medição dos deslocamentos nos dois lados da junta devido à aplicação do carregamento. Uma eficiência de 100% ocorre quando os deslocamentos nos dois lados das juntas são próximos, e 0% de eficiência se o lado descarregado não suporta deslocamento ou qualquer carregamento.

$$E = \frac{2d_u}{d_u + d_L} \times 100 \quad (5.1)$$

Onde: E é a eficiência da junta; d_U é o deslocamento da placa do lado descarregado; d_L é o deslocamento da placa do lado carregado.

Em todos os ensaios realizados neste estudo experimental a eficiência antes da fissuração das juntas serradas foi superior ao limite estabelecido pela ACPA de 75%. Após a fissuração esse comportamento foi variado, mas se manteve dentro do limite percentual até atingir a carga máxima de transferência (P_{trans}) em todas as placas.

Nas placas com junta serrada sem barras de transferência (Figura 5. 1) o comportamento é semelhante nas placas C20-12SB e C30-12SB, nas quais a eficiência é de 100% até que fossem atingidos 67% e 26% da carga máxima de transferência, respectivamente. Na placa A30-12SB a eficiência foi de 100% durante quase todo o ensaio. Na placa C20-16SB a eficiência foi em queda desde o início do carregamento, apresentando dois patamares distintos da eficiência, sendo o primeiro patamar com eficiência de 95% que vai desde o início do carregamento até logo após a fissuração da placa, o segundo com eficiência de 88% vai desde a fissuração até a placa atingir uma carga equivalente a 87% da carga máxima de transferência. Após atingir P_{trans} a junta serrada da placa C20-16SB tem a sua eficiência decrescente até o término do ensaio.

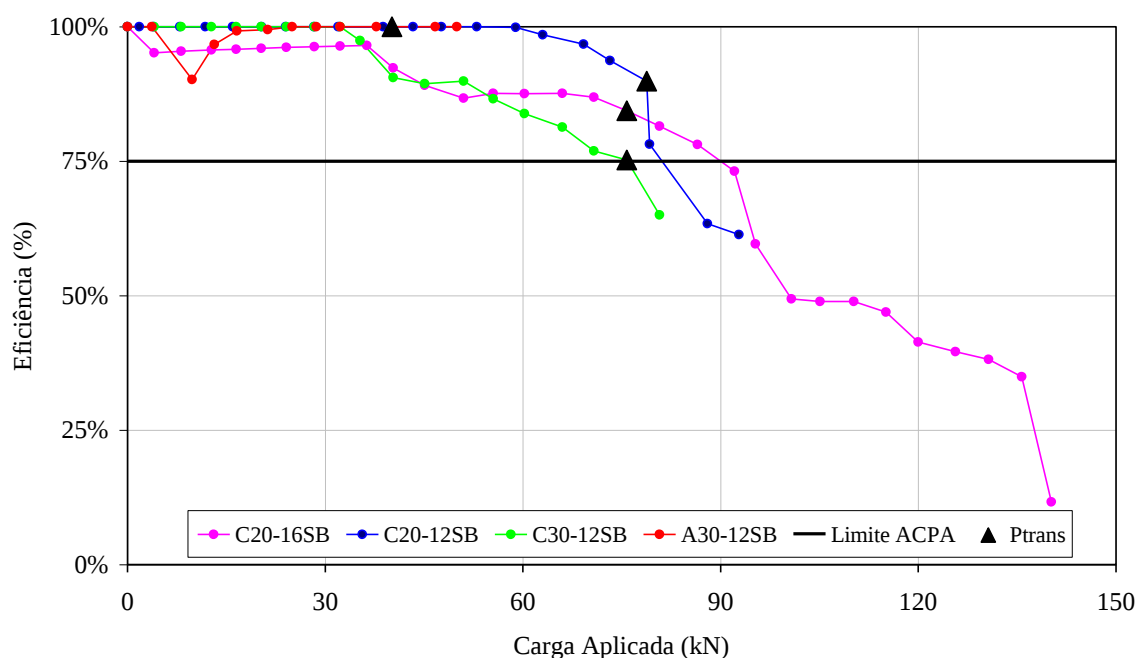


Figura 5. 1 – Eficiência x carga aplicada – placas sem barra de transferência

Verifica-se que nas placas sem barra de transferência a eficiência foi superior ao limite da ACPA de 75% no início do carregamento e até atingir a carga máxima de transferência, após essa carga a junta já não é mais eficiente na transferência do carregamento, sendo que o mesmo está sendo feito pelas placas de borracha e não mais pela junta serrada.

Nas placas contendo barra de transferência na junta, a eficiência foi superior ao limite de 75% em todos os ensaios indicando que o uso das barras é eficaz na transferência de esforços nas juntas. Nas placas contendo barras de transferência de 500 mm de

comprimento, Figura 5. 2, a eficiência foi de 100% até a fissuração, exceto para a placa A30-12B50 que apresentou variações da eficiência apenas no início do carregamento. Após a fissuração a placa C20-12B50 apresentou uma redução da eficiência atingindo a eficiência mínima de 79,37%, porém as demais placas permaneceram com eficiência de 100% até o término dos ensaios indicando que após a fissuração a barra passou a ser solicitada na transferência de esforços na junta.

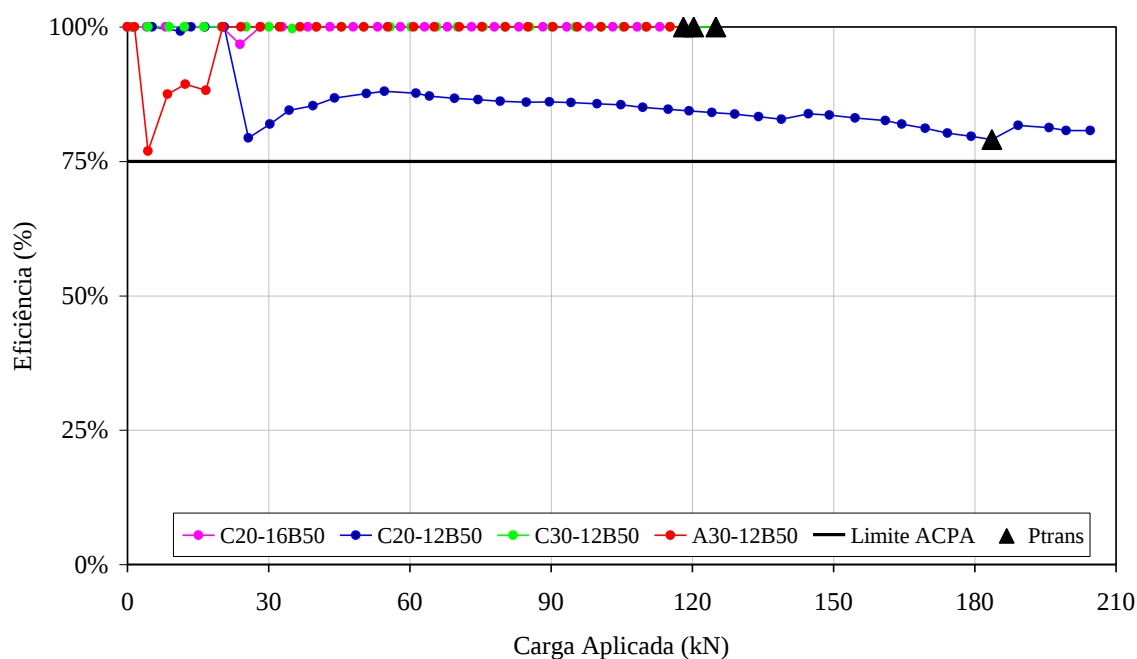


Figura 5. 2 – Eficiência x carga aplicada – placas com barra de transferência de 500 mm

Em todas as placas contendo barras de transferência de 400 mm (Figura 5. 3) e de 300 mm (Figura 5. 4) a eficiência foi de 100% até a fissuração. Após a fissuração as placas da série 01 e 04 apresentaram redução da eficiência, sendo que as placas da série 04 em concreto autoadensável apresentaram uma redução da eficiência gradual ao longo do carregamento aplicado. Já as placas executadas em concreto convencional e espessura de 160 mm apresentaram variações na eficiência após a fissuração. Em todas essas placas a eficiência mínima atingida foi superior ao limite da ACPA.

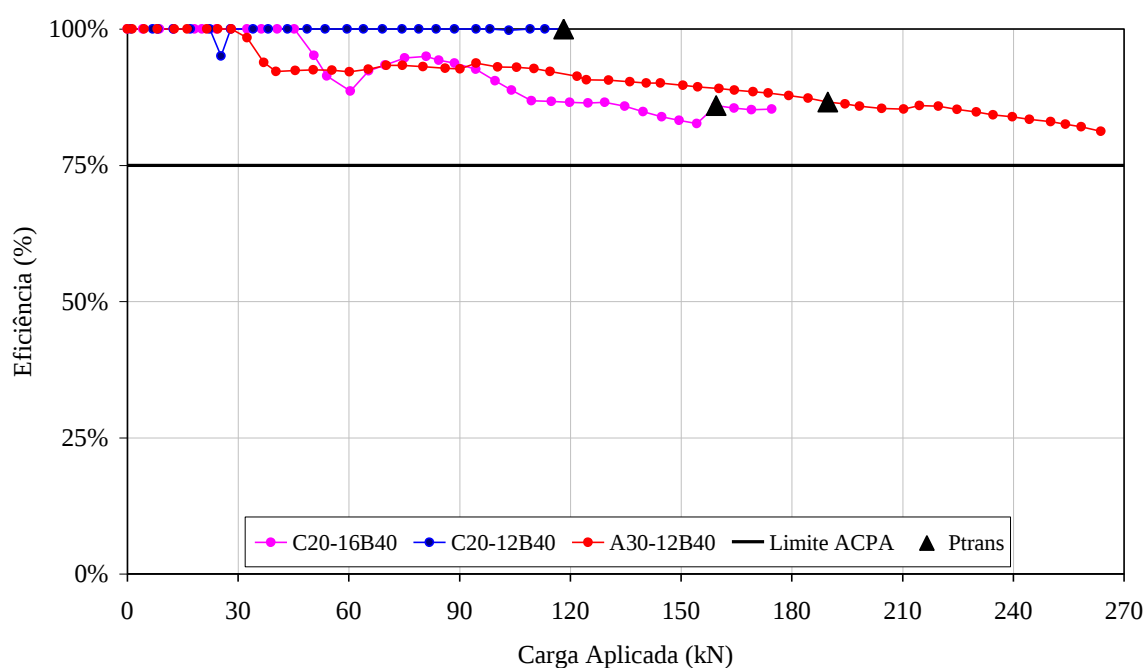


Figura 5. 3 – Eficiência x carga aplicada – placas com barra de transferência de 400 mm

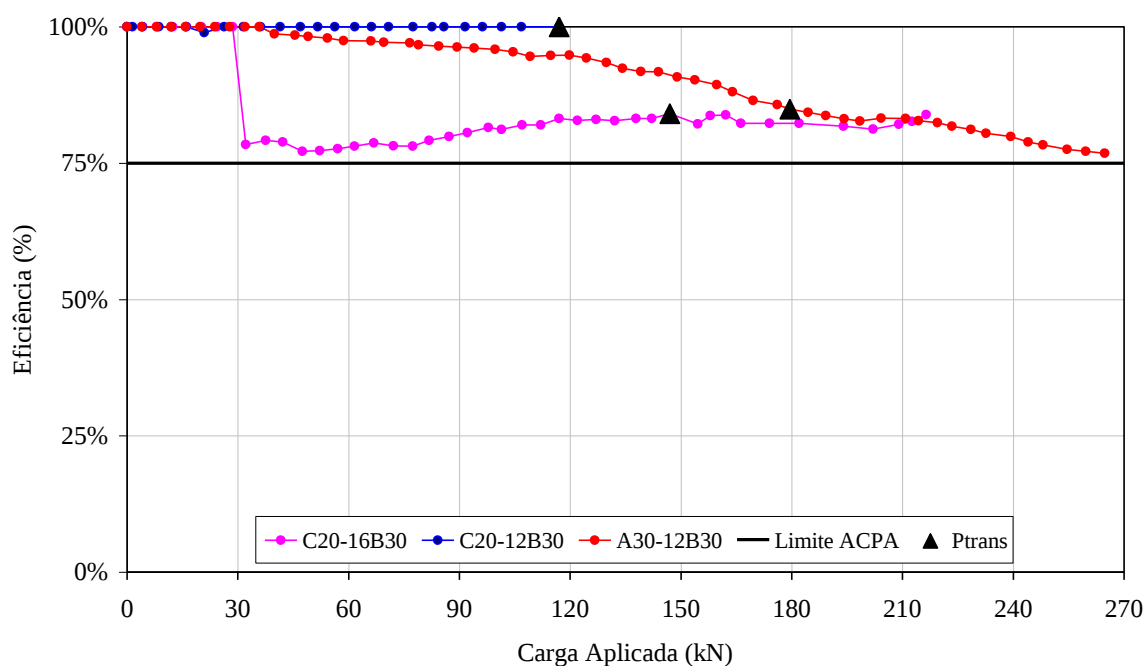


Figura 5. 4 – Eficiência x carga aplicada – placas com barra de transferência de 300 mm

Verificou-se anteriormente que no caso das placas executadas em concreto autoadensável a transferência de cargas nas juntas após a fissuração não ocorre pelo intertravamento dos agregados, como é comum nos concretos convencionais, mas se dá

apenas pelas barras de transferência usadas nas juntas. Nota-se ainda que após a fissuração a eficiência das placas com barras de 500 mm é de 100%, e nas placas com barras de 400 mm e 300 mm é decrescente, visto que as melhores eficiências das juntas ocorreram nas placas que utilizaram as barras maiores.

Nas juntas com barras reduzidas a eficiência é maior que o limite de 75%. Após a fissuração as placas com barras de 300 mm atingem percentuais menores da eficiência do que as barras de 400 mm atingindo valores mínimos 81% e 77% respectivamente. Dessa forma percebe-se que as menores eficiências ocorrem nas barras com menores comprimentos.

5.2.2 *Carga x deformação das barras*

A carga de fissuração das placas ficou entre 16,05 kN e 40,60 kN, e nos ensaios nota-se que as barras de transferência não foram solicitadas antes que a fissuração acontecesse, indicando que até então a transferência de esforços se dá pelo concreto. Após a fissuração as barras são solicitadas e passam a se deformar. Nota-se que na maioria dos ensaios as deformações ocorridas nas barras de transferência foram superiores à deformação de escoamento ε_y , as quais foram representadas nos gráficos pela linha em preto, e que as perdas de leituras ocorreram primeiramente nos extensômetros localizados na face superior dessas barras de transferência, o que se deu provavelmente devido ao esmagamento dos extensômetros pelo concreto localizado na parte superior da junta. Nos ensaios das placas com barras de transferência de 500 mm (Figura 5. 5) nota-se que:

- (1) Nas placas com espessura de 120 mm executadas em concreto convencional de 20 MPa e 30 MPa as maiores deformações ocorreram nas placas em concreto com a menor resistência característica à compressão (20 MPa);
- (2) Nas placas com espessuras de 120 mm e 160 mm executadas com o mesmo tipo de concreto (C20) as maiores deformações à tração ocorreram nas barras que estavam nas placas menos espessas (120 mm);
- (3) Nas placas em concreto de 30 MPa (convencional e autoadensável) as maiores deformações ocorreram nas barras das placas em concreto autoadensável. Este comportamento ocorre no concreto autoadensável já que nele não existe a contribuição do intertravamento dos agregados na transferência dos esforços como ocorre no concreto convencional.

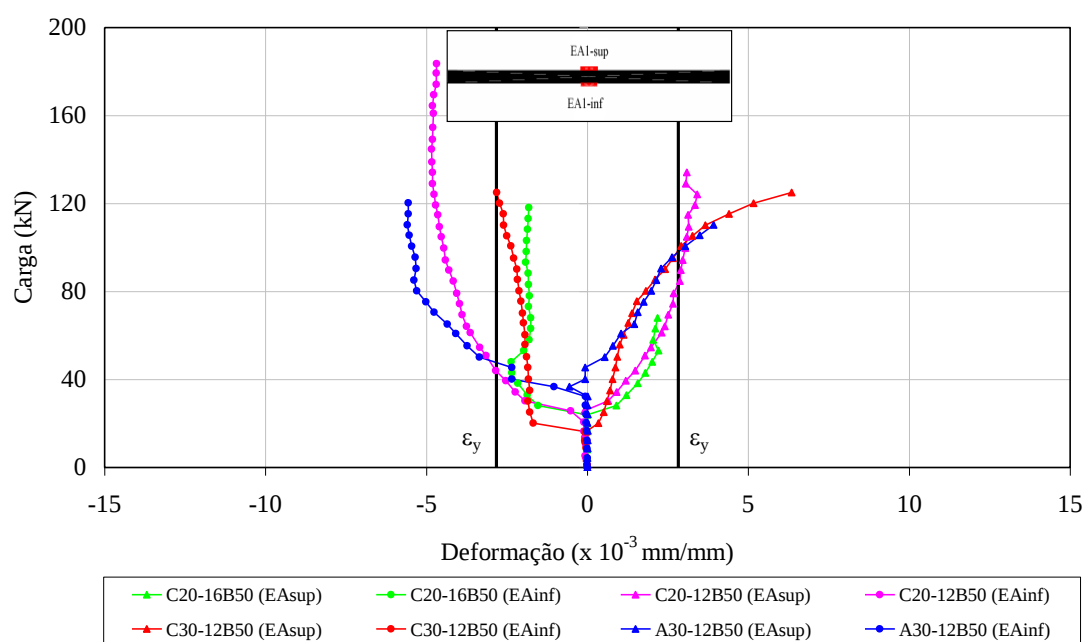


Figura 5. 5 – Carga x deformação do aço das placas com barras de 500 mm

No comportamento descrito acima nos itens (1) e (3) nota-se que quanto menor for a contribuição do concreto (espessura e resistência) mais as barras serão solicitadas. Ao se analisar o comportamento das deformações nas barras de 400 mm (Figura 5. 6) e 300 mm (Figura 5. 7) nos ensaios das placas de concreto nota-se que nas placas que possuem as mesmas características (espessura, tipo e resistência do concreto) as maiores deformações ocorrem nas barras de 300 mm, indicando uma maior solicitação dessas em um mesmo carregamento aplicado. Nas placas em concreto convencional de 20 MPa as maiores deformações das barras de 400 mm ocorrem nas placas menos espessas e as das barras de 300 mm ocorrem nas placas mais espessas.

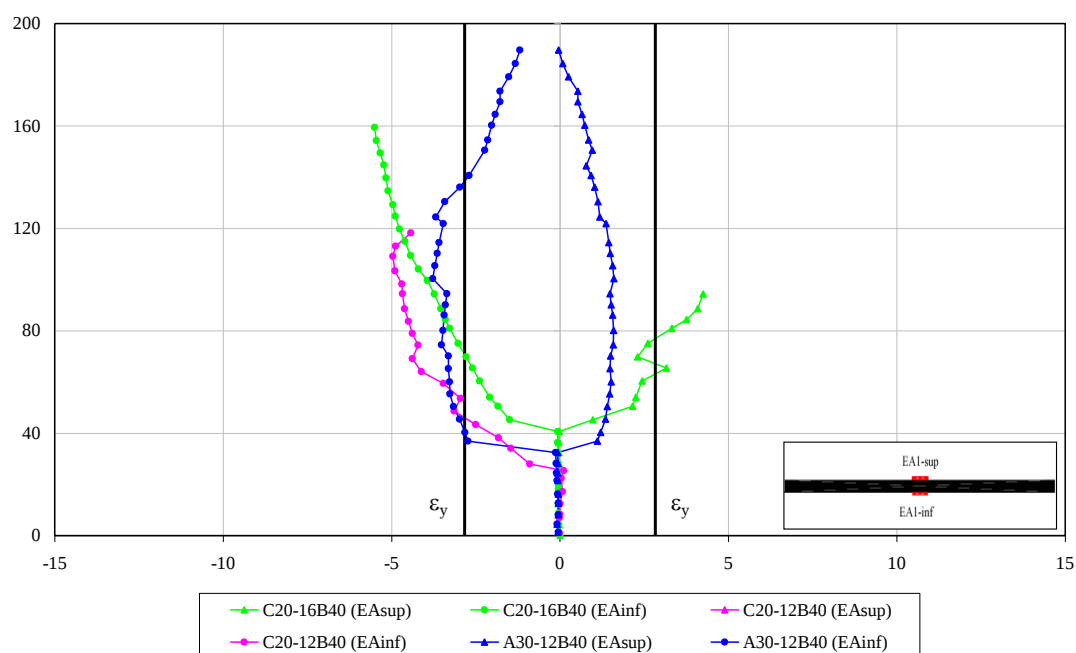


Figura 5. 6 – Carga x deformação do aço das placas com barras de 400 mm

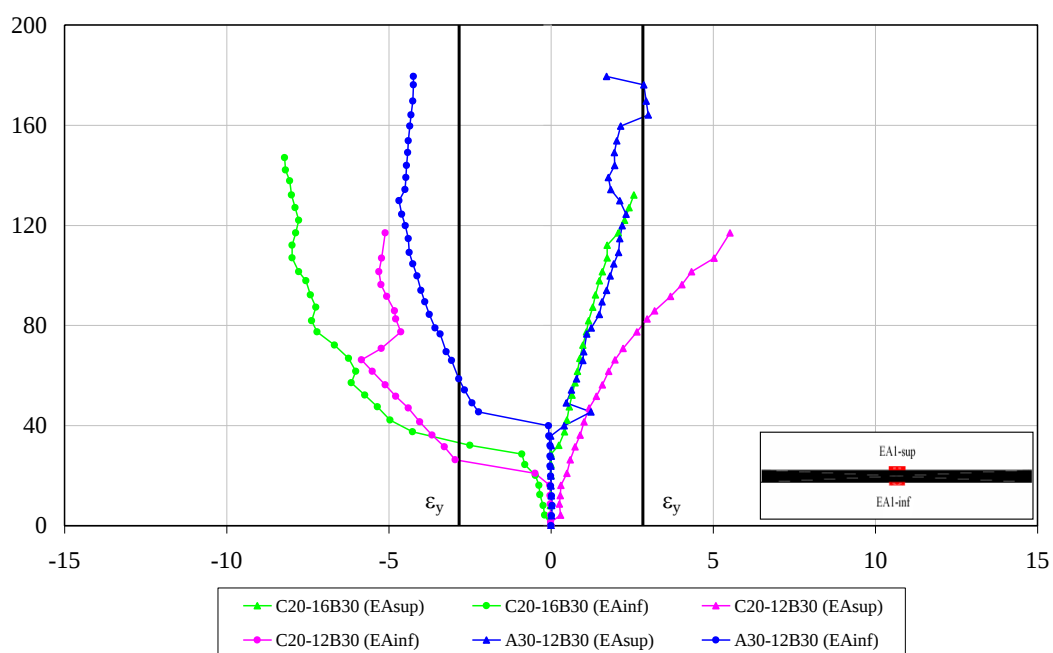


Figura 5. 7 – Carga x deformação do aço das placas com barras de 300 mm

Comparando as placas em concreto convencional de 20 MPa e espessura de 160 mm (Figura 5. 8) nota-se que durante todo o carregamento as maiores deformações à tração ocorrem nas barras com comprimentos menores (300 mm), e já à compressão as barras de 300 mm apresentam as menores deformações. As barras com comprimentos de 500 mm e 400 mm apresentam deformações mais próximas, sendo que até a carga de 47,95 kN as

barras de 500 mm são mais deformadas que as de 400 mm, contudo à partir dessa carga as barras de 400 mm passam a ser mais solicitadas tanto à tração quanto à compressão.

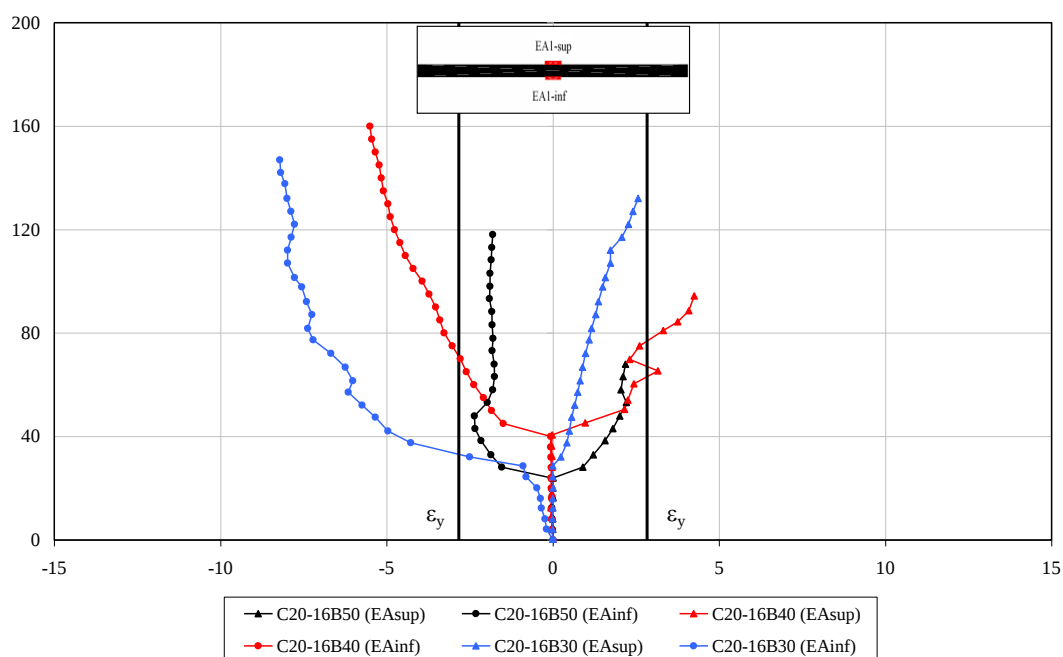


Figura 5. 8 - Carga x deformação do aço nas placas em concreto convencional de 20 MPa e espessura de 160 mm

Nas placas em concreto convencional de 20 MPa e espessura de 120 mm as deformações entre as barras são próximas entre si conforme Figura 5. 9.

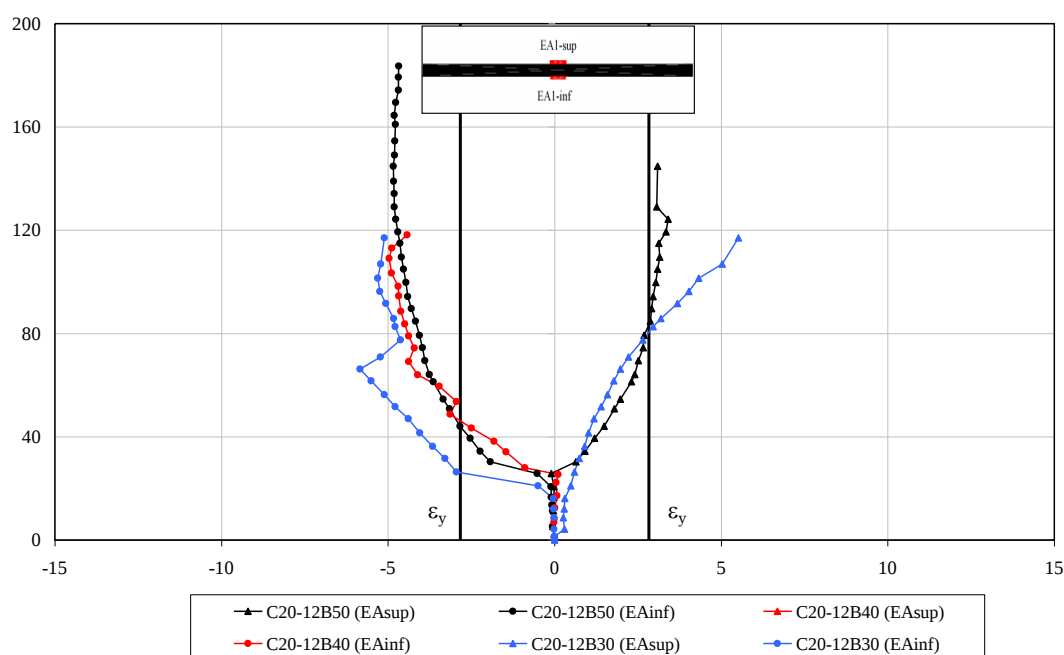


Figura 5. 9 - Carga x deformação do aço nas placas em concreto convencional de 20 MPa e espessura de 120 mm

Mesmo com pequenas diferenças entre as deformações nota-se que as barras menores apresentam as maiores deformações, ou seja, as barras de 300 mm são mais deformadas que as de 400 mm e essas por sua vez mais deformadas que as de 500 mm. Temos ainda que as placas com barras maiores suportem os maiores carregamentos, ao contrário do que aconteceu nas placas com 160 mm.

Nas placas em concreto de 30 MPa (Figura 5. 10) foram realizados ensaios com barras de comprimentos variados somente nas placas em concreto autoadensável. Após a fissuração nas placas com barras de 500 mm em concreto autoadensável (A30-12B50) e em concreto convencional (C30-12B50) verifica-se que as maiores deformações se deram nas placas em concreto autoadensável.

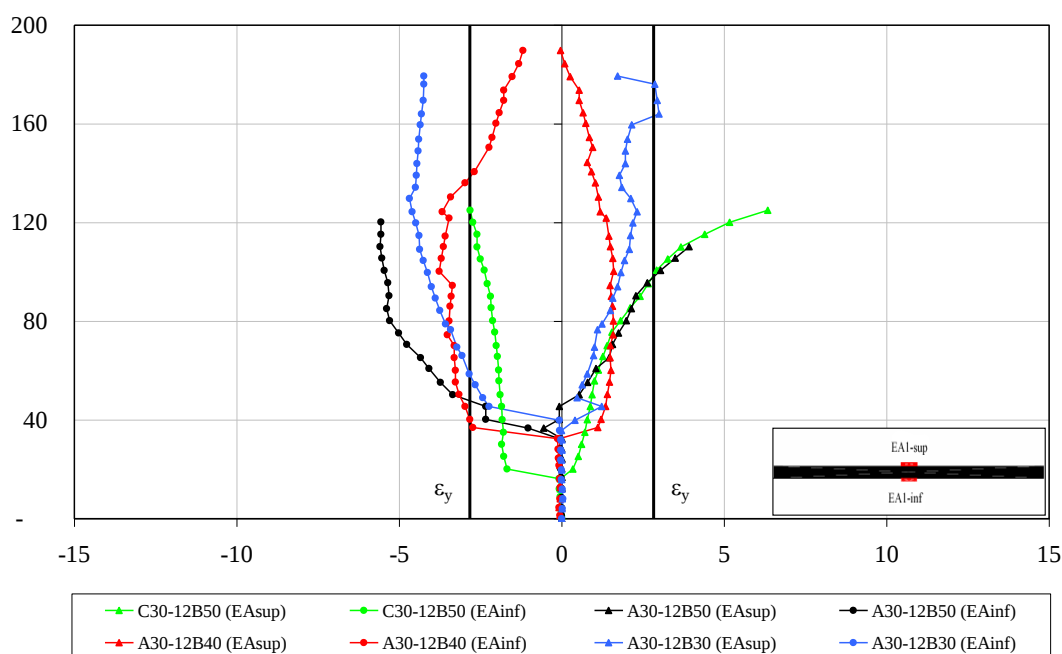


Figura 5. 10 - Carga x deformação do aço nas placas em concreto 30 MPa e espessura de 120 mm

Ao comparar o comportamento de deformação das barras nas placas em concreto autoadensável verifica-se que as maiores deformações ocorrem nas barras de 500 mm. Já as barras de 400 mm são mais deformadas que as de 300 mm até que se atinja um carregamento entre 80 e 90 kN, após essa carga as maiores deformações passam a acontecer nas barras com 300 mm.

5.2.3 Deslocamento Vertical

São feitas duas análises dos deslocamentos verticais das placas. Primeiramente é feita uma comparação entre os deslocamentos verticais da junta em relação ao carregamento aplicado. A segunda análise é feita a partir das posições das placas deformadas em determinados carregamentos.

PRIMEIRA ANÁLISE DOS DESLOCAMENTOS VERTICAIS

Na primeira análise foi determinada uma relação entre a carga aplicada e a carga máxima de transferência obtida em cada ensaio (P/P_{trans}) que variou de zero a um. A carga P_{trans} foi adotada nesta análise, pois ela é a carga máxima na qual a junta é eficiente e que há a transferência de esforços entre os dois lados da placa através da barra ou pelo intertravamento dos agregados do concreto. Como os deslocamentos do lado não carregado (d_u) e do lado carregado (d_L) da junta possuem a mesma ordem de grandeza, a comparação foi feita com os deslocamentos de apenas um dos lados, sendo escolhido o lado carregado (d_L).

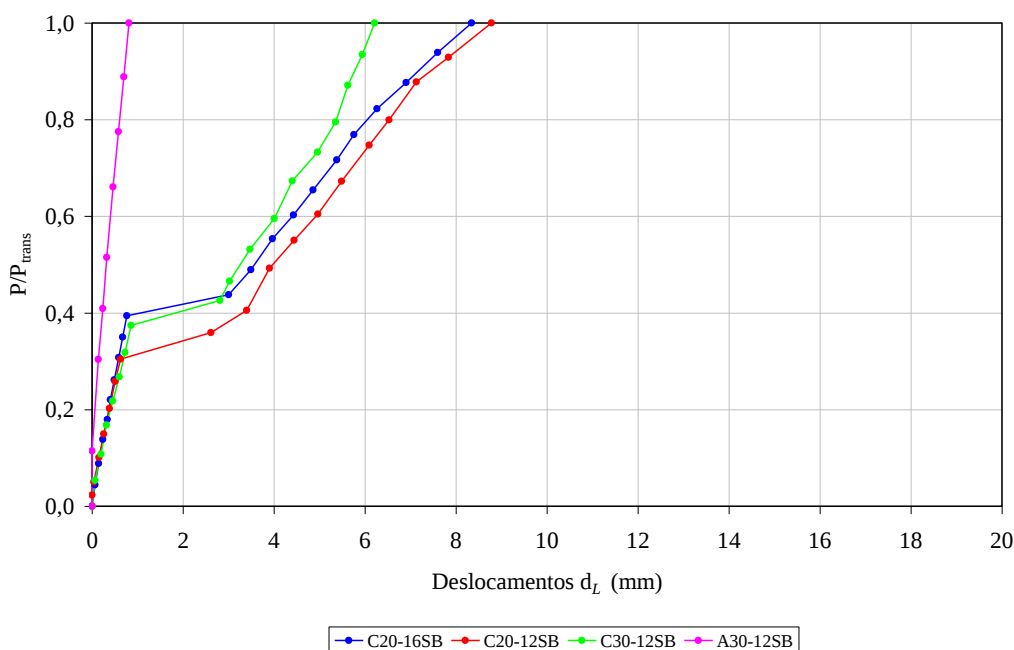


Figura 5. 11 – $P/P_{m\acute{a}x}$ x deslocamento vertical das placas sem barras de transferência

Nota-se de modo geral que antes da fissuração das placas os deslocamentos são pequenos e próximos entre si. Acima na Figura 5. 11 verifica-se que as placas sem a presença de barras de transferência e executadas em concreto convencional possuem deslocamentos próximos entre si, sendo que a placa C20-12SB apresenta os maiores

deslocamentos e as placas C20-16SB e C30-12SB tem os seus deslocamentos mais próximos entre si, contudo após atingir a carga P_{fiss} os seus deslocamentos começam a se afastar gradualmente. A placa A30-12SB executada em concreto autoadensável tem os menores deslocamentos, pois após a fissuração não há mais a contribuição dos agregados do concreto na transferência dos esforços na junta, e sem a presença das barras de transferência a ruptura se dá logo após a fissuração com deslocamentos verticais mínimos da placa.

Nas placas com junta serrada e contendo barras de transferência de 500 mm de comprimento (Figura 5. 12) as placas não se comportam de forma semelhante entre si, sendo que os maiores deslocamentos aconteceram nas placas em concreto convencional com a menor resistência e menor espessura, e os menores deslocamentos ocorreram nas placas mais espessas. As placas em concreto com resistência de 30 MPa obtiveram comportamentos mais próximos entre si após a fissuração, com menor deslocamento nas placas em concreto autoadensável.

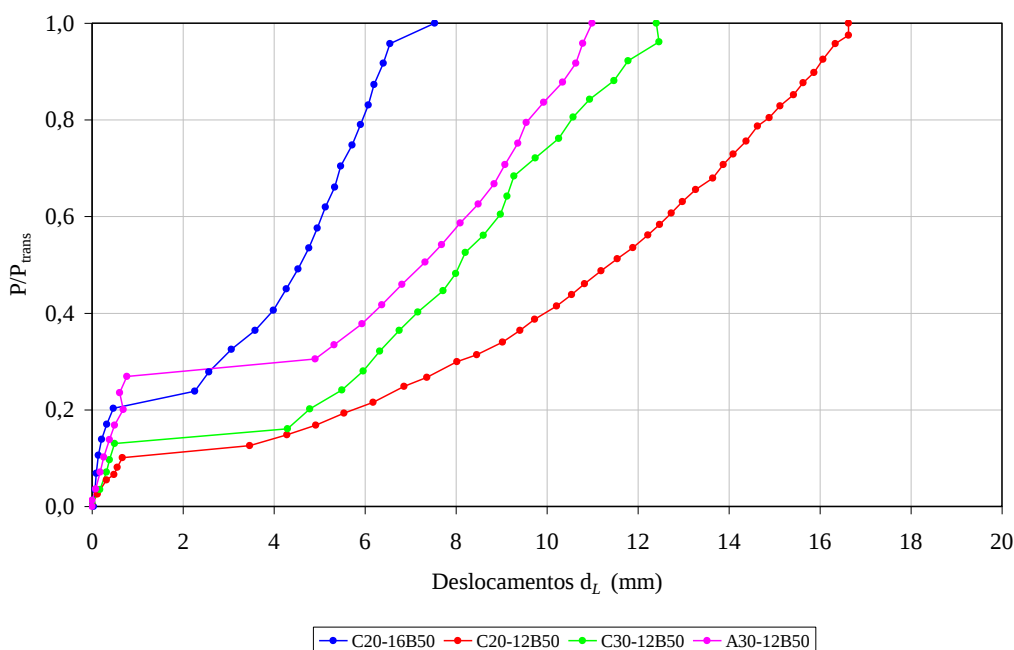


Figura 5. 12 – $P/P_{máx}$ x deslocamento vertical das placas com barras de 500 mm

As placas com barras de transferência com comprimento de 400 mm (Figura 5. 13) e 300 mm (Figura 5. 14) possuem comportamentos semelhantes, sendo que as placas em concreto autoadensável de 30 MPa obtiveram os maiores deslocamentos. Já as placas em concreto convencional de 20 MPa tiveram deslocamentos próximos entre si, sendo que nas placas com barras de 300 mm esse deslocamento foi menor para a placa mais espessa.

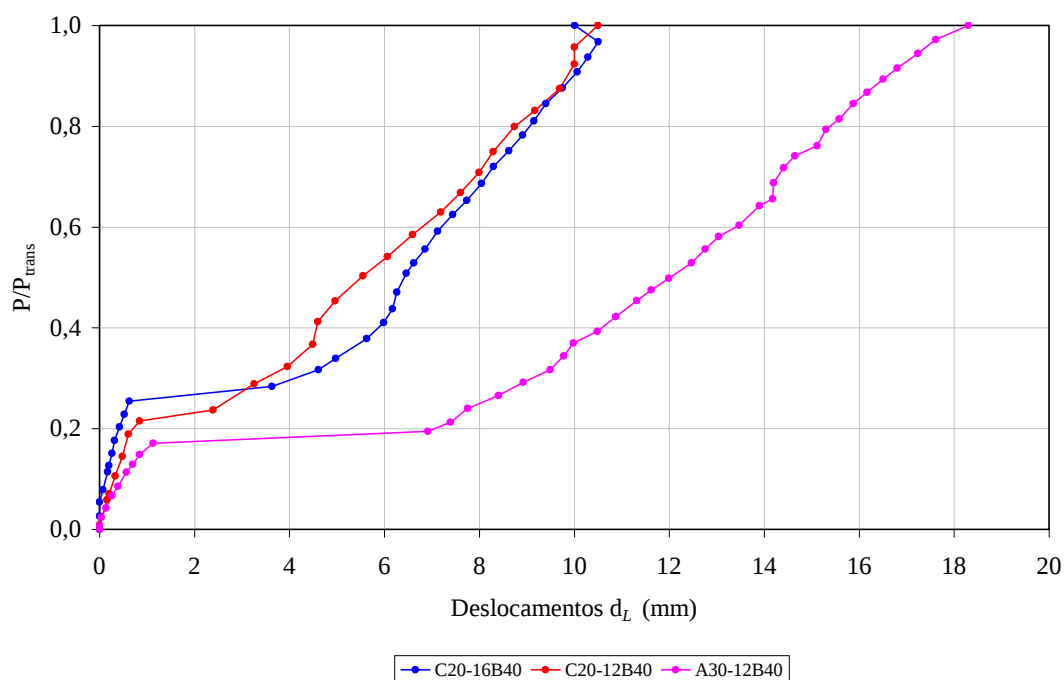


Figura 5. 13 – $P/P_{\text{máx}}$ x deslocamento vertical das placas com barras de 400 mm

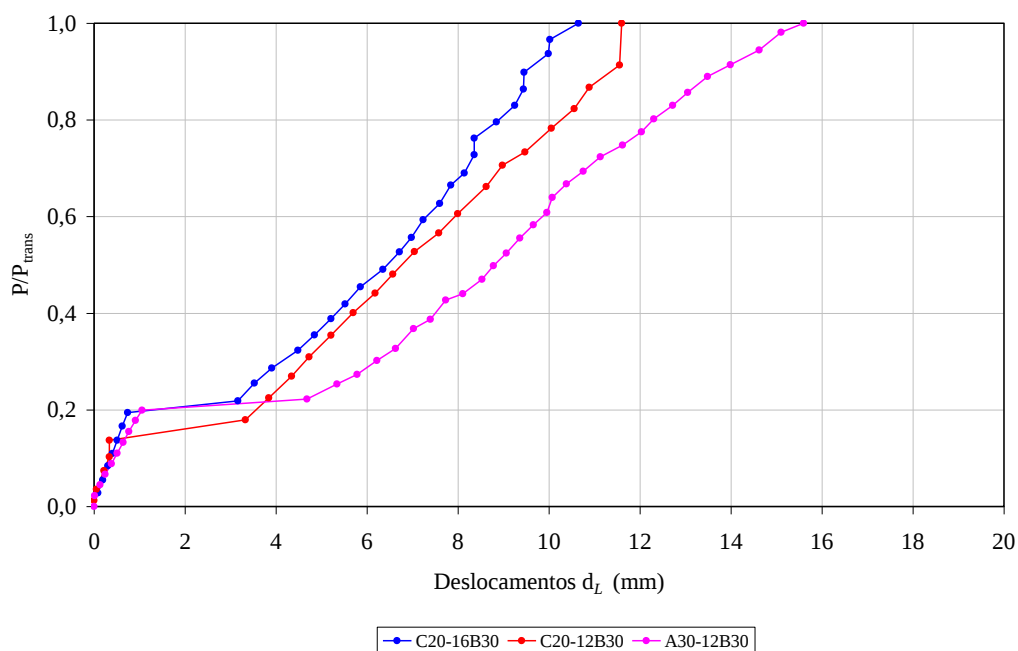


Figura 5. 14 – $P/P_{\text{máx}}$ x deslocamento vertical das placas com barras de 300 mm

Nas placas com as mesmas características (tipo de concreto e espessura da placa) nota-se que os menores deslocamentos aconteceram nas placas sem a presença de barras de transferência; e que as placas que tiveram as maiores cargas de fissuração apresentaram os menores deslocamentos. Nas placas em concreto convencional de 20 MPa e espessuras de 160 mm (Figura 5. 15) e 120 mm (Figura 5. 16) nota-se que as placas mais espessas tiveram os menores deslocamentos, e que nas placas com barras menores (400 mm

e 300 mm) os deslocamentos foram mais próximos entre si do que nas placas com barras de 500 mm.

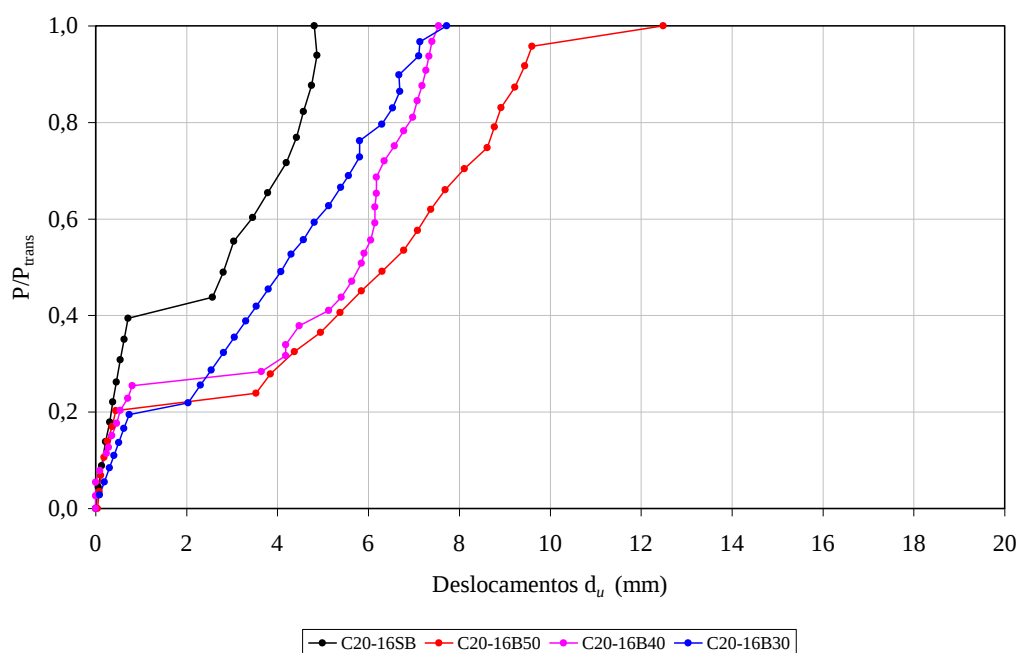


Figura 5. 15 – $P/P_{m\acute{a}x}$ x deslocamento vertical das placas em concreto convencional de 20 MPa e espessura de 160 mm (C20-16)

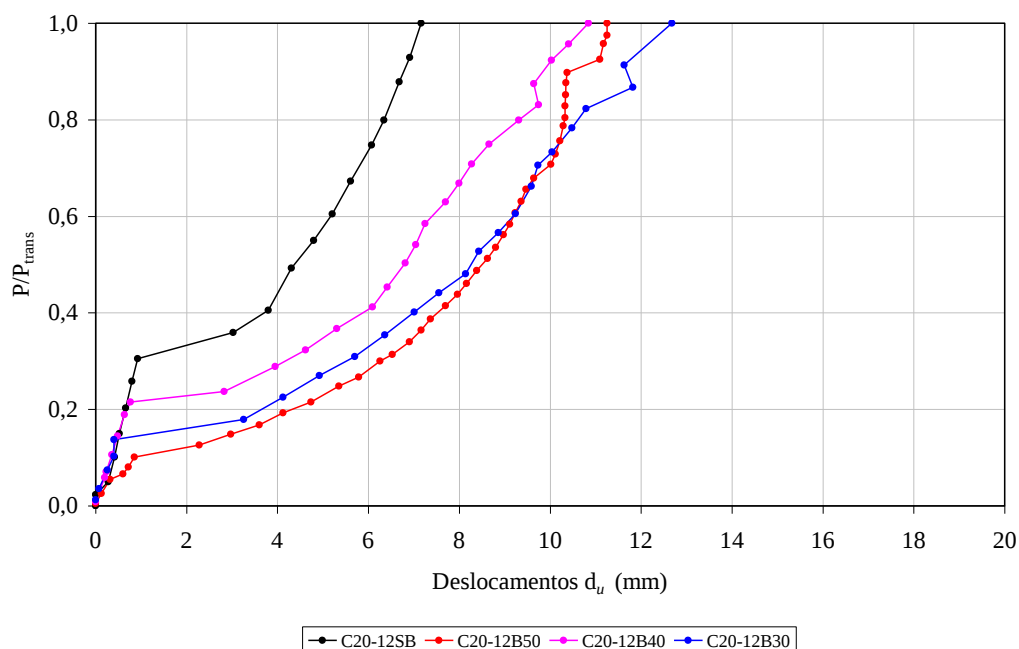


Figura 5. 16 – $P/P_{m\acute{a}x}$ x deslocamento vertical das placas em concreto convencional de 20 MPa e espessura de 120 mm (C20-12)

Nas placas em concreto com resistência de 30 MPa os deslocamentos foram menores para as placas executadas em concreto convencional (Figura 5. 17) do que para as

placas executadas em concreto autoadensável (Figura 5. 18). Nessas placas o deslocamento das placas com barras de 500 mm foi menor que nas placas com barras em tamanho reduzido (400 e 300 mm).

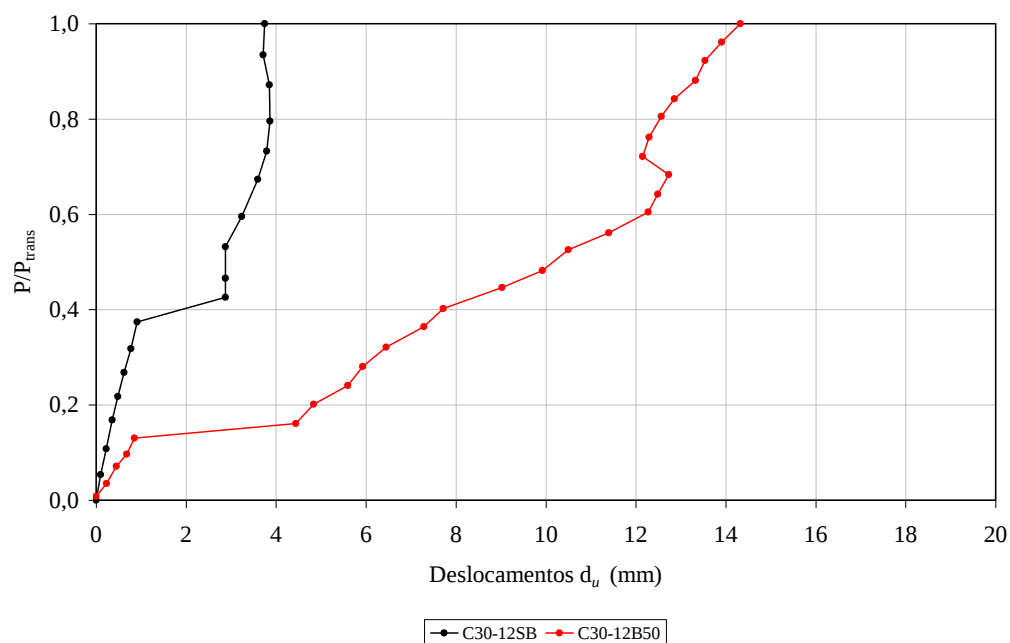


Figura 5. 17 – $P/P_{\text{máx}}$ x deslocamento vertical das placas em concreto convencional 30 MPa e espessura de 120 mm (C30-12)

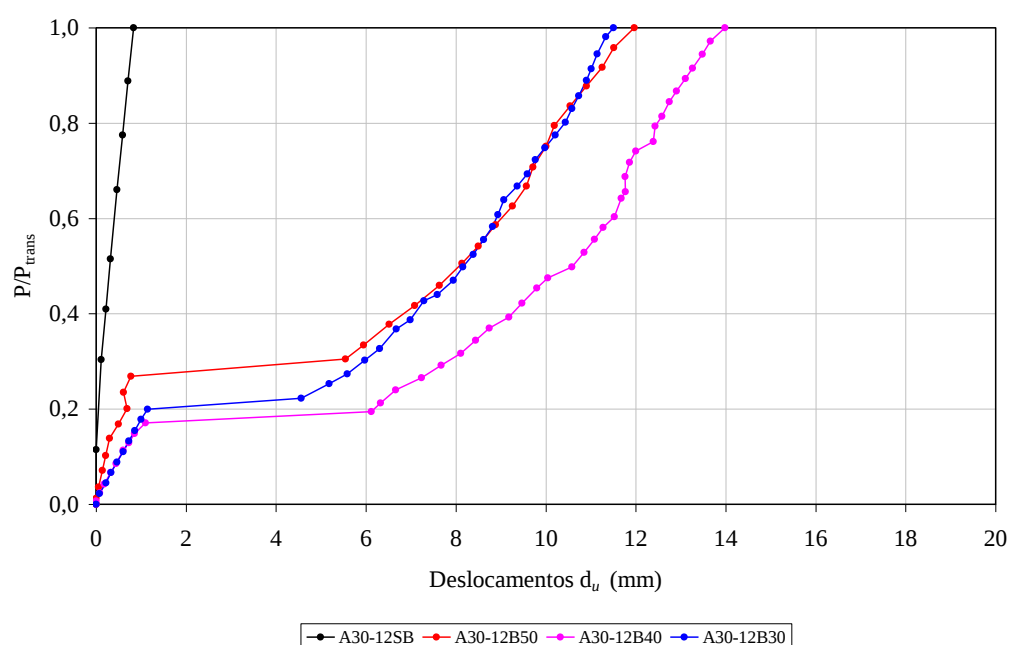


Figura 5. 18 – $P/P_{\text{máx}}$ x deslocamento vertical das placas em concreto autoadensável de 30MPa e espessura de 120 mm (A30-12)

SEGUNDA ANÁLISE DOS DESLOCAMENTOS VERTICAIS

Na segunda análise dos deslocamentos verticais em relação à carga aplicada foram observados os comportamentos das placas deformadas em três cargas de referência. Essas cargas de referência foram definidas a partir das três menores cargas máxima de transferência obtidas nos ensaios, sendo de 40,10 kN para a placa A30-12SB, 75,75 kN para as placas C30-12SB e C20-16SB; e, 117 kN para a placa C20-12B30.

Ressalta-se que na segunda carga de referência (75,75 kN) a placa A30-12SB já havia rompido e na terceira carga de referência (117 kN) as placas sem barra e com 120 mm de espessura (C20-12SB, C30-12SB, A30-12SB) já haviam rompido.

Tabela 5. 2 – Deslocamentos em ordem crescente da extremidade no lado não carregado das placas ensaiadas nas três cargas de referência

LADO NÃO CARREGADO					
Q = 40,10 kN		Q = 75,75 kN		Q = 117,00 kN	
Placa	Deslocamento (mm)	Placa	Deslocamento (mm)	Placa	Deslocamento (mm)
C20-16B40	-0,31	C20-16B40	6,42	C20-16SB	9,53
C20-16SB	-0,19	C20-16B30	6,53	C20-16B40	11,21
C20-16B30	2,46	C30-12B50	8,43	C20-16B30	11,83
C20-12B30	5,69	C20-12B30	8,43	C20-16B50	18,53
A30-12B40	7,46	C20-16B50	12,95	C30-12B50	20,13
A30-12B30	7,97	A30-12B30	14,45	C20-12B30	21,08
C20-12B40	8,54	A30-12B40	15,14	A30-12B40	22,01
C20-16B50	8,80	C20-16SB	15,65	A30-12B30	23,40
C30-12B50	9,41	C20-12SB	18,18	C20-12B50	28,83
C20-12B50	9,67	C20-12B40	18,79	C20-12B40	28,88
C20-12SB	9,75	C20-12B50	19,20	A30-12B50	31,76
A30-12B50	11,47	A30-12B50	20,31	C30-12SB	*
C30-12SB	13,33	C30-12SB	27,48	C20-12SB	*
A30-12SB	14,23	A30-12SB	*	A30-12SB	*

* Sem leitura – as placas já haviam rompido

Tabela 5. 3 – Deslocamentos em ordem crescente da extremidade no lado carregado das placas ensaiadas nas três cargas de referência

LADO CARREGADO					
Q = 40,10 kN		Q = 75,75 kN		Q = 117,00 kN	
Placa	Deslocamento (mm)	Placa	Deslocamento (mm)	Placa	Deslocamento (mm)
C20-16B40	-0,31	C20-16B30	3,33	C20-16B30	6,94
C20-16SB	-0,26	C30-12B50	4,89	C20-16B40	7,98
C20-16B30	0,45	C20-16B40	5,53	C20-12B50	11,59
A30-12SB	0,81	C20-16B50	7,36	C30-12B50	12,25
A30-12B30	4,45	A30-12B30	7,67	A30-12B30	12,95
C20-12SB	4,52	C20-12B50	8,16	A30-12B40	16,68
C20-12B50	4,59	C20-16SB	9,26	C20-16B50	17,22
C20-12B40	5,03	C20-12SB	11,36	C20-12B30	17,91
C20-12B30	5,76	C20-12B40	11,72	C20-16SB	20,37
C30-12B50	6,43	C20-12B30	11,82	C20-12B40	23,87
C20-16B50	7,00	A30-12B40	12,12	A30-12B50	29,10
A30-12B40	7,06	A30-12B50	16,54	C30-12SB	*
A30-12B50	7,96	C30-12SB	26,07	C20-12SB	*
C30-12SB	11,86	A30-12SB	*	A30-12SB	*

* Sem leitura – as placas já haviam rompido

(1.ª) Segunda análise – menores deslocamentos verticais nas extremidades das placas:

Ao observar o comportamento de todas as placas nas três cargas de referência apresentadas nas tabelas acima, nota-se que os menores deslocamentos ocorreram nas placas C20-16 (concreto convencional de 20 MPa e espessura de 160 mm) indicando uma maior resistência em uma maior seção do concreto devido a maior espessura dessas placas, sendo que:

- No lado não carregado os menores deslocamentos ocorreram nas duas primeiras cargas (40,10 kN e 75,75 kN) na placa C20-16B40 e na carga de 117 kN na placa C20-16SB.
- No lado carregado os menores deslocamentos ocorreram nas placas com barras reduzidas (400 mm e 300 mm). Na primeira carga de referência (40,10 kN) o menor deslocamento foi na placa com barra de 400 mm (C20-16B40), e nas outras cargas de referência (75,75 kN e 117 kN) na placa com barra de 300 mm (C20-16B30).

(2.ª) Segunda análise – maiores deslocamentos verticais:

Os maiores deslocamentos nessas cargas de referência ocorreram nas placas executadas em concreto com resistência à compressão de 30 MPa, sendo que:

- (a) Nas duas primeiras cargas de referência (40,10 kN e 75,75 kN) os maiores deslocamentos nos dois lados da placa ocorreram nas placas sem barras, indicando a rápida transferência de carga e uma proximidade com a ruptura. Nessas cargas os maiores deslocamentos do lado carregado ocorreram na placa C30-12SB e no lado não carregado nas placas A30-12SB e C30-12SB nas cargas de 40,10 kN e 75,75 kN respectivamente.
- (b) Na terceira carga (117 kN), em que as placas A30-12SB e C30-12SB já haviam rompido, os maiores deslocamentos nos dois lados da placa foram na placa A30-12B50. Nessa placa, A30-12B50, percebe-se que o seu comportamento após a fissuração, que ocorreu na carga de 32,25 kN, é semelhante a uma placa moldada e que conta apenas com a barra na transferência de esforços na junta.

(3.º) Segunda análise – comparativo entre as placas sem barras de transferência:

Os deslocamentos das extremidades das placas sem barra de transferência são apresentados na Tabela 5. 4.

Tabela 5. 4 – Deslocamentos das extremidades das placas sem barra de transferência nas cargas de referência

PLACA / DESLOCAMENTO (mm)	Q = 40,10 kN		Q = 75,75 kN		Q = 117 kN	
	Lado não carregado	Lado carregado	Lado não carregado	Lado carregado	Lado não carregado	Lado carregado
C20-16SB	-0,19	- 0,26	15,65	9,26	9,53	20,37
C20-12SB	9,75	4,52	18,18	11,36	*	*
C30-12SB	13,33	11,86	27,48	26,07	*	*
A30-12SB	14,23	0,81	*	*	*	*

* Sem leitura – as placas já haviam rompido

Ao observar o comportamento dessas placas sem barra de transferência na junta serrada nota-se que:

- (a) Na carga de 40,10 kN, equivalente a carga máxima de transferência da placa A30-12SB, o maior deslocamento no lado não carregado ocorre na placa C30-12SB e no lado não carregado ocorreu na placa A30-12SB. E, na segunda carga de referência (75,75 kN), equivalente a carga máxima de transferência da placa C30-12SB, os maiores deslocamentos dos dois lados ocorreram na placa C30-12SB.
- (b) Com exceção da placa C20-16SB, as demais placas sem barra de transferência apresentaram, nas três cargas de referência, deslocamentos no lado não carregado maiores do

que no lado carregado indicando a transferência dos esforços através da junta nessas placas e nessas cargas.

(c) A placa C30-12SB apresenta deslocamentos próximos nos dois lados da placa e os deslocamentos do lado não carregado são superiores aos do lado carregado em 12% na carga de 40,10 kN e de 5% na carga de 117 kN. Essa diminuição na diferença entre os deslocamentos dos dois lados indica que houve uma queda na eficiência da junta.

(d) Na primeira carga (40,10 kN) os deslocamentos no lado não carregado entre as placas C30-12SB e A30-12SB são próximos entre si e diferenciam em apenas 6%. Essa carga, 40,10 kN, é maior que as cargas de fissuração nas placas A30-12SB e C30-12SB em 24% e 41% respectivamente. Isso mostra que para uma mesma carga há uma semelhança de comportamento no deslocamento do lado não carregado, e que a placa em concreto autoadensável atingiu esse deslocamento antes do concreto convencional após a ruptura.

(e) Nas duas cargas de referência os menores deslocamentos ocorreram na placa C20-16SB, indicando que nas placas sem barra e com uma maior seção de concreto (mais espessa) há uma maior contribuição do concreto e assim um menor levantamento da placa devido a uma maior resistência à ruptura da seção de concreto na junta.

(4.º) Segunda análise – comparativo entre as placas com barras de transferência:

Os deslocamentos das extremidades das placas contendo barras de transferência na junta estão na Tabela 5. 5 e Tabela 5. 6 para o lado não carregado e carregado, respectivamente.

Tabela 5. 5 – Deslocamentos das extremidades do lado não carregado nas placas com barra de transferência nas juntas nas cargas de referência

LADO NÃO CARREGADO - DESLOCAMENTOS (mm)					
Q = 40,10 kN		Q = 75,75 kN		Q = 117,00 kN	
C20-16B40	-0,31mm	C20-16B40	6,42 mm	C20-16B40	11,21 mm
C20-16B30	2,46 mm	C20-16B30	6,53 mm	C20-16B30	11,83 mm
C20-12B30	5,69 mm	C30-12B50	8,43 mm	C20-16B50	18,53 mm
A30-12B40	7,46 mm	C20-12B30	8,43 mm	C30-12B50	20,13 mm
A30-12B30	7,97 mm	C20-16B50	12,95 mm	C20-12B30	21,08 mm
C20-12B40	8,54 mm	A30-12B30	14,45 mm	A30-12B40	22,01 mm
C20-16B50	8,80 mm	A30-12B40	15,14 mm	A30-12B30	23,40 mm
C30-12B50	9,41 mm	C20-12B40	18,79 mm	C20-12B50	28,83 mm
C20-12B50	9,67 mm	C20-12B50	19,20 mm	C20-12B40	28,88 mm
A30-12B50	11,47 mm	A30-12B50	20,31 mm	A30-12B50	31,76 mm

Tabela 5. 6 – Deslocamentos das extremidades do lado carregado das placas com barra de transferência nas juntas nas cargas de referência

LADO CARREGADO - DESLOCAMENTOS (mm)					
Q = 40,10 kN		Q = 75,75 kN		Q = 117,00 kN	
C20-16B40	-0,31 mm	C20-16B30	3,33 mm	C20-16B30	6,94 mm
C20-16B30	0,45 mm	C30-12B50	4,89 mm	C20-16B40	7,98 mm
A30-12B30	4,45 mm	C20-16B40	5,53 mm	C20-12B50	11,59 mm
C20-12B50	4,59 mm	C20-16B50	7,36 mm	C30-12B50	12,25 mm
C20-12B40	5,03 mm	A30-12B30	7,67 mm	A30-12B30	12,95 mm
C20-12B30	5,76 mm	C20-12B50	8,16 mm	A30-12B40	16,68 mm
C30-12B50	6,43 mm	C20-12B40	11,72 mm	C20-16B50	17,22 mm
C20-16B50	7,00 mm	C20-12B30	11,82 mm	C20-12B30	17,91 mm
A30-12B40	7,06 mm	A30-12B40	12,12 mm	C20-12B40	23,87 mm
A30-12B50	7,96 mm	A30-12B50	16,54 mm	A30-12B50	29,10 mm

Ao observar os deslocamentos apresentados nas tabelas acima e o comportamento dessas placas nota-se que:

- (a) Os maiores deslocamentos ocorrem nas três cargas de referência na placa A30-12B50. Nessa placa em concreto autoadensável no qual não há intertravamento entre os agregados, o que tornam as placas com esse tipo de concreto após a fissuração semelhante ao das placas com junta moldada, o uso da barra de transferência em tamanho comercial (500 mm) indica a eficiência dessa barra na transferência de esforços entre os dois lados da placa de concreto.
- (b) Os menores deslocamentos entre as todas as placas contendo barras ocorrem nas placas C20-16 (concreto convencional de 20 MPa e 160 mm de espessura) as quais apresentam uma maior seção do concreto.
- (c) Ao observar somente o comportamento das placas com barras de 500 mm nota-se que os maiores deslocamentos nos dois lados da placa ocorreram na placa A30-12B50. Já os menores deslocamentos nas placas com barra de 500 mm não são semelhantes entre si.
- (d) Quando se observa, nestas três cargas de referência, o comportamento das placas ensaiadas com barras reduzidas (400 mm e 300 mm) verifica-se que os menores deslocamentos ocorrem nas placas C20-16 (concreto convencional de 20 MPa e 160 mm de espessura). Nessas cargas os maiores deslocamentos do lado não carregado ocorrem na placa C20-12B40. No lado carregado os maiores deslocamentos nas duas primeiras cargas ocorrem na placa A30-12B40 e na terceira carga na placa A30-12B50.

(5.º) Segunda análise – comparativo entre as placas C20-16SB e C30-12SB:

As placas C20-16SB e C30-12SB apresentam semelhanças construtivas apenas em relação ao tipo de concreto em que foram executadas (convencional) e por não possuírem barra de transferência na junta serrada. Ao observar o comportamento das mesmas na aplicação do carregamento nota-se que ambas tiveram a mesma carga máxima de transferência igual a 75,75 kN.

Ao observar o comportamento dessas placas nessa carga nota-se que:

- (a) A placa em concreto com menor resistência a compressão (20 MPa) apresenta os menores deslocamentos nos dois lados da placa.
- (b) Em relação ao comportamento apresentado nos dois lados dessas placas nota-se que nessa carga os maiores deslocamentos ocorreram no lado não carregado, indicando que nesta carga a junta é eficiente na transferência dos esforços nas placas C20-16SB e C30-12SB.

(6.º) Segunda análise – comparativo entre as placas C20-12 e C30-12:

As placas C20-12 e C30-12 foram executadas em concreto convencional com 120 mm de espessura e diferenciam entre si apenas pela resistência característica à compressão do concreto sendo de 20 MPa e 30 MPa respectivamente. Ao analisar o comportamento dessas placas sem barra e contendo barras de 500 mm nota-se que:

Tabela 5. 7 – Deslocamentos das extremidades sem barra e com barra de 500 mm nas placas C30 e C20 nas cargas de referência

DESLOCAMENTOS DAS PLACAS C30 E C20 SEM BARRA E COM BARRA DE 500 mm						
PLACA /CARGA	40,10 kN		75,75 kN		117 kN	
	d_u	d_L	d_u	d_L	d_u	d_L
C30-12SB	13,33 mm	- 3,03 mm	27,48 mm	- 5,94 mm	*	*
C20-12SB	9,75 mm	4,52 mm	18,18 mm	11,36 mm	*	*
C30-12B50	9,41 mm	- 5,96 mm	8,43 mm	- 8,98 mm	20,13 mm	12,25 mm
C20-12B50	9,67 mm	4,59 mm	19,2 mm	8,16 mm	28,83 mm	11,59 mm

* Sem leitura – as placas já haviam rompido

- (a) Nessas placas (C30-12 e C20-12) o levantamento das bordas no lado não carregado é crescente com o aumento do carregamento.

- (b) Nas placas C20-12SB e C30-12SB tanto os maiores deslocamentos como os menores deslocamentos nos dois lados da placa são crescentes com o aumento da carga de referência de 40,10 kN para 75,75 kN. Lembrando que na carga de 117 kN todas as placas sem barra já haviam rompido.
- (c) Nessas placas sem barras os deslocamentos para uma mesma carga no lado não carregado são mais próximos entre si do que no lado carregado, os quais se distanciam com o aumento do carregamento, demonstrando que nas duas resistências do concreto (20 MPa e 30 MPa) não existe a mesma eficiência, e em todas as cargas as que apresentaram os maiores deslocamentos foram as de 20 MPa.
- (d) Ao comparar os deslocamentos entre as placas C30-12 e C20-12 nota-se que os maiores deslocamentos ocorreram nas placas com concreto de maior resistência (30 MPa).

5.2.4 Carga x Deformação do Concreto

Os extensômetros do concreto foram colados na lateral da placa, sendo dois na face superior e dois na face inferior próximos ao plano previsto de fissuração. Na maioria dos resultados os extensômetros na face inferior se perderam após a fissuração, por isso essa análise se baseou nos extensômetros posicionados na face superior da junta, sendo EC1 o extensômetro colado no lado carregado e EC4 colado no lado não carregado.

Na análise das deformações sofridas pelo concreto até a carga máxima de transferência em cada uma das placas ensaiadas tem-se que nas placas sem barras de transferência (Figura 5. 19) as deformações foram mais irregulares que nas placas contendo barras na junta. Esse comportamento nas placas sem barras de transferência demonstra que nelas as deformações do concreto são maiores devido à grande solicitação do concreto, através do intertravamento dos agregados, durante todo o carregamento na transferência dos esforços na junta. E, nas placas contendo barras de transferência (Figura 5. 20) praticamente todas as deformações estiveram dentro do limite de deformação do concreto, exceto nos extensômetros EC1 e EC4 da placa C20-12B40 logo após a fissuração, e no extensômetro EC4 da placa A30-12B30. Nas placas com barras de transferência nota-se que o concreto autoadensável apresentou as maiores deformações principalmente na placa A30-12B30. Esse comportamento indica que nessa placas o concreto tem grandes solicitações como ocorre nas placas sem barra de transferência.

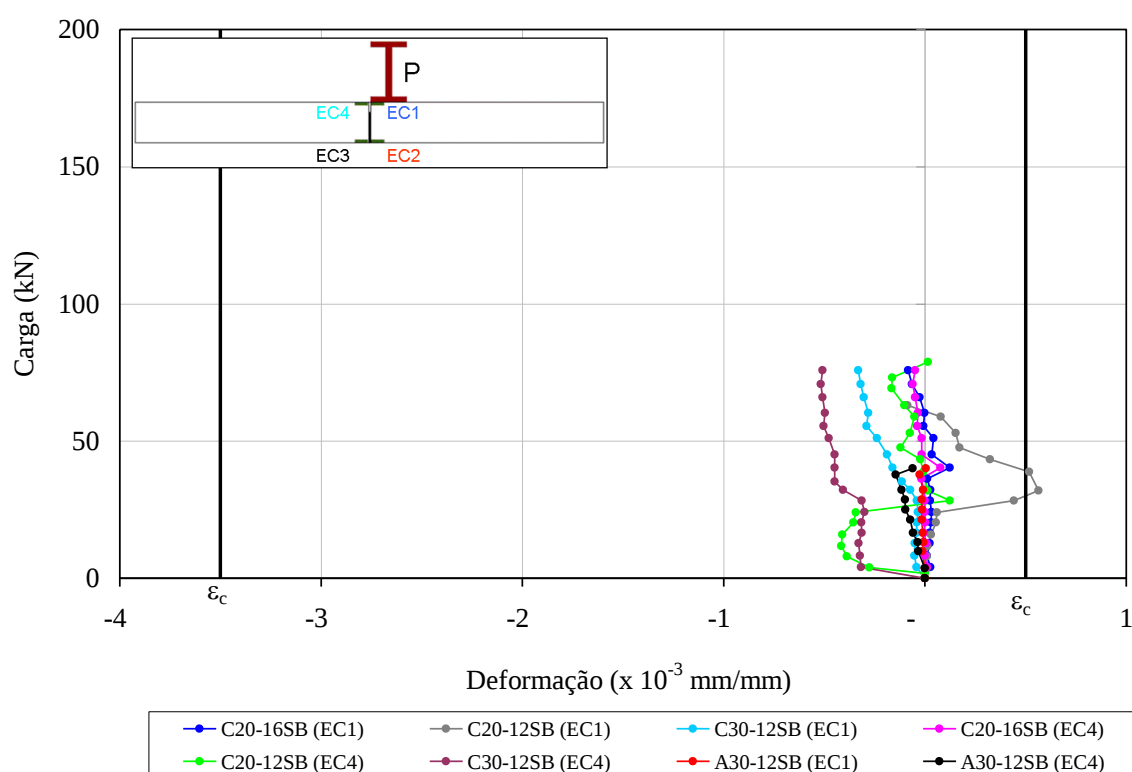


Figura 5. 19 – Carga x deformação do concreto das placas sem barras

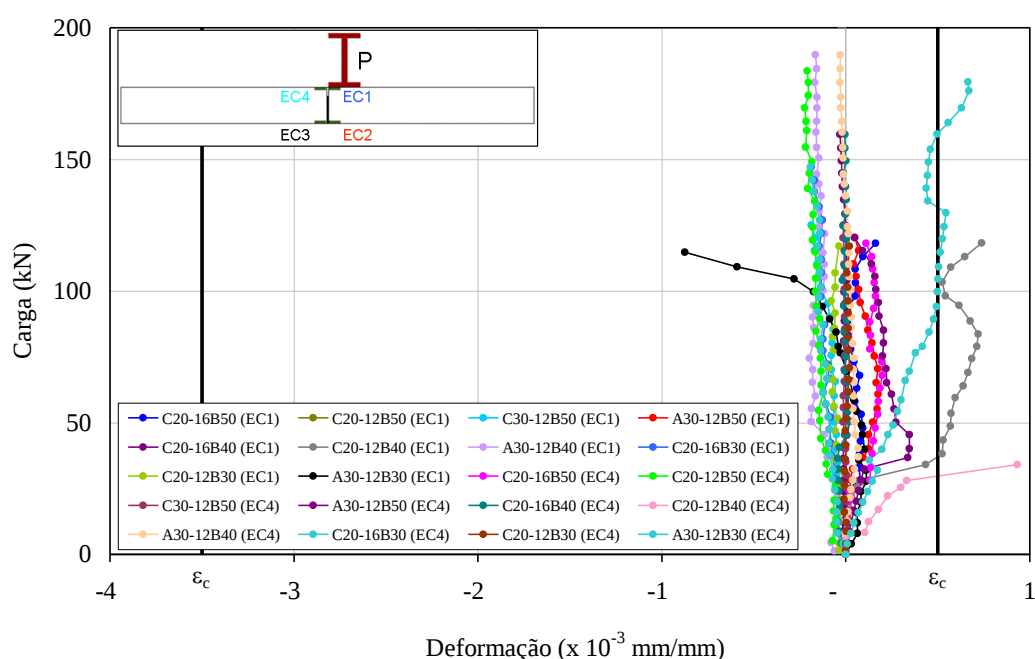


Figura 5. 20 – Carga x deformação do concreto das placas com barras de transferência

Entre as placas com concreto convencional de 20 MPa (Figura 5. 21) as maiores deformações do concreto ocorreram nas placas de menor espessura (C20-12) e apresentaram um comportamento irregular. Essa maior solicitação do concreto pode indicar

que quanto for menor a seção do concreto maior será a sua deformação. Apenas a placa C20-12B40 apresentou deformações do concreto além do limite de fissuração do concreto.

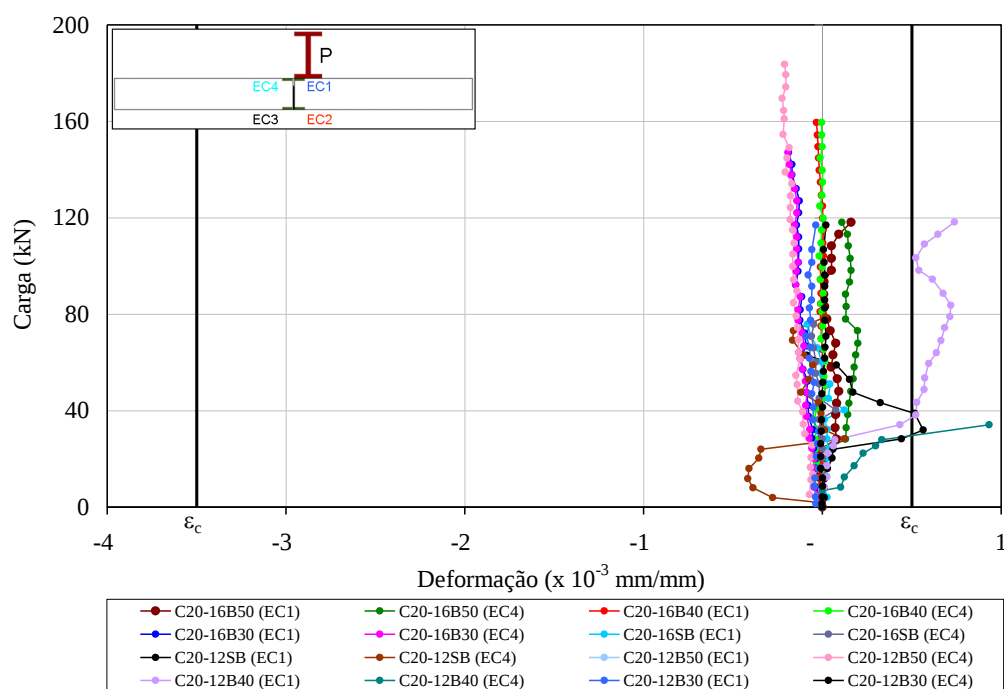


Figura 5. 21 – Carga x deformação do concreto - placas em concreto convencional 20 MPa

Em concreto convencional de 30 MPa e espessura de 120 mm (Figura 5. 22) foram ensaiadas duas placas, uma com barra de 500 mm e outra sem barra de transferência, que tiveram deformações do concreto semelhantes entre si. Nas placas em concreto autoadensável as maiores deformações do concreto aconteceram na placa com barra de 300 mm, sendo que as deformações de EC4 ficaram acima do limite de fissuração nas últimas cargas aplicadas.

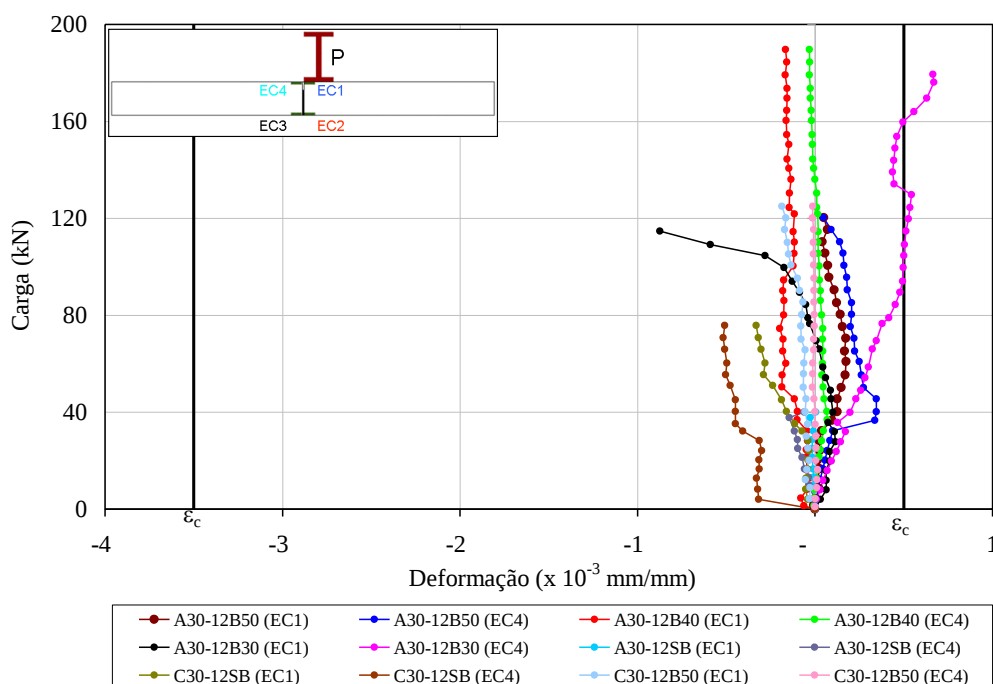


Figura 5. 22 – Carga x deformação do concreto - placas em concreto de 30 MPa

5.3 TRANSFERÊNCIA DOS ESFORÇOS E REAÇÕES DA CAMADA DE SUPORTE

As reações na camada de suporte segundo Huang (1993) são iguais nos dois lados da junta e corresponde a metade da carga aplicada, utilizando para tal uma eficiência de transferência dos esforços de 100%. Por outro lado, Westergaard considera que essas reações são verticais e dependem dos deslocamentos sofridos pela junta sendo proporcionais a eles a partir do coeficiente de recalque k da fundação.

Fleury (2006) em seu estudo experimental, tendo como camada de suporte lençóis de borracha, calculou essas reações da fundação a partir das leituras das células de carga localizadas nos dois lados da junta e considerou a linearidade das tensões. O método adotado por Fleury (2006) e utilizado por Rodrigues (2008) também será adotado nesta análise dos resultados.

Na análise das reações de apoio foram calculadas as resultantes experimentais obtidas a partir dos ensaios experimentais e as resultantes teóricas obtidas através de duas considerações a respeito da reação de apoio. Essas considerações levaram em consideração dois tipos de reações de apoio, triangular e parabólica.

5.3.1 Resultantes Experimentais

O cálculo das resultantes experimentais, $R_{L,exp}$ e $R_{u,exp}$, foi feito a partir da consideração da linearidade das tensões e das leituras obtidas nas células de carga C2 e C3, denominadas neste item de C_u e C_L respectivamente, durante os ensaios experimentais. As equações usadas na determinação dessas resultantes são:

$$R_{u,exp} = c \times C_u \times L_u \quad \text{Equação 5. 1}$$

$$R_{L,exp} = c \times C_L \times L_L \quad \text{Equação 5. 2}$$

Onde:

$R_{u,exp}$	resultante experimental do lado não carregado;
$R_{L,exp}$	resultante experimental do lado carregado;
c	constante referente à forma de distribuição da reação. Para a reação triangular é igual a $\frac{1}{2}$;
C_u	leitura da célula de carga C2 localizada no lado não carregado da junta;
C_L	leitura da célula de carga C3 localizada no lado carregado da junta;
L_u	comprimento da placa do lado não carregado que estava apoiado na fundação;
L_L	comprimento da placa do lado carregado que estava apoiado na fundação

Dividindo a Equação 5.1 pela Equação 5.2 e rearranjando os termos obtêm-se a Equação 5.3. E, através do equilíbrio das forças verticais aonde a força aplicada (F) é igual ao somatório das resultantes experimentais obtidas nos dois lados da placa (R_u e R_L), sendo desprezado o peso próprio da placa, obtêm-se a Equação 5.4. Essas equações são iguais a:

$$\frac{R_{u,exp}}{C_u \times L_u} = \frac{R_{L,exp}}{C_L \times L_L} \quad \text{Equação 5. 3}$$

$$F = R_u + R_L \quad \text{Equação 5. 4}$$

A determinação dos comprimentos L_u e L_L foi feita a partir da leitura dos deslocamentos nos lados não carregado (d_u) e carregado (d_L) da junta através da média dos deflectômetros. Os deslocamentos das juntas foram relacionados com os deslocamentos das bordas nos dois lados da placa através da leitura obtida nos deflectômetros R1 e R8 referente ao lado não carregado e ao carregado, respectivamente (Figura 5. 23).

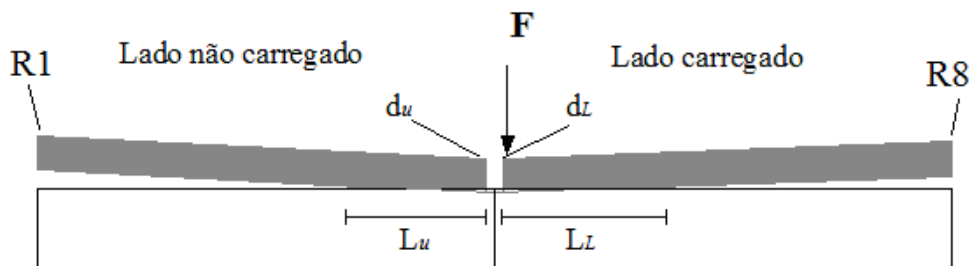


Figura 5. 23 – Comprimentos L_u e L_L das resultantes experimentais

Fonte: FLEURY, Rubia Helena. **Estudo Experimental de Mecanismos de Transferência de Esforços em Juntas de Pavimentos Rígidos**. 2006. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia Civil. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2006.

5.3.2 Resultantes Teóricas

Foram calculadas duas resultantes teóricas. Essas resultantes levaram em consideração dois tipos de reação de apoio da fundação, reação do tipo triangular e reação do tipo parabólica. Fleury (2006) apresentou em seu estudo uma terceira resultante obtida através da integral das equações fornecidas pelas curvas dos coeficientes de recalque (k).

Os cálculos dessa resultante foram feitas neste estudo e desconsiderados na análise visto que os mesmos apresentaram para a maioria dos ensaios resultados distantes tanto da resultante experimental como das outras duas resultantes teóricas. Provavelmente o modo de obtenção do coeficiente de recalque (k) utilizado neste estudo e no anterior (FLEURY, R. H.; 2006) a partir de uma adaptação da Norma DNER-35 (1989) não seja o mais apropriado uma vez que esse ensaio é usado em solos e a fundação adotada nestes ensaios experimentais é a borracha.

(1) Resultante Teórica – Primeiro Método

O primeiro método utilizado na determinação das resultantes teóricas no lado não carregado ($R_{u,teo}^1$) e no lado carregado ($R_{L,teo}^1$) considerou que a reação da fundação (q) é triangular (Figura 5. 24).

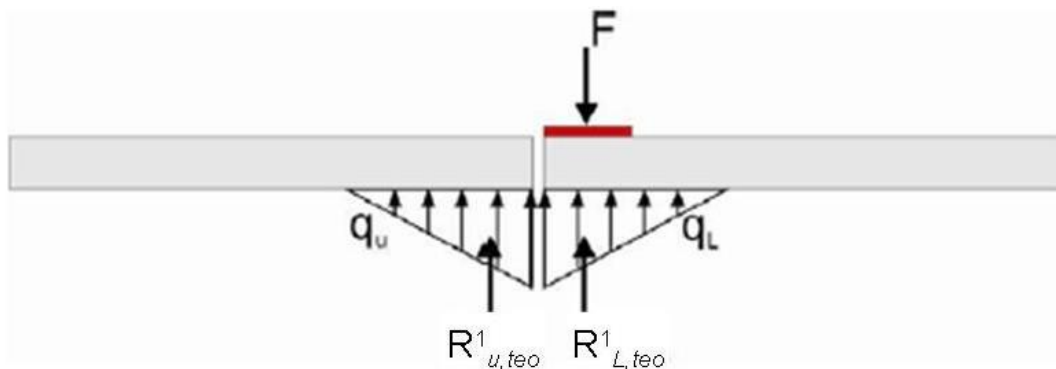


Figura 5. 24 – Forças atuantes consideradas na determinação da resultante triangular

Fonte: RODRIGUES, Lezzir Ferreira. **Juntas em Pavimentos de Concreto: Dispositivos de Transferência de Carga**. 2008. 256 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas). Universidade de São Paulo, 2008.

A relação entre essas resultantes e a reação triangular da fundação (q) é dada pela Equação 5.5. Onde, q_u é a resultante triangular da fundação no lado não carregado e q_L é a resultante triangular da fundação no lado carregado da placa.

$$\frac{R_{u,teo}^1}{q_u \times L_u} = \frac{R_{L,teo}^1}{q_L \times L_L} \quad \text{Equação 5. 5}$$

Segundo Westergaard (1926) a reação da fundação (q) é igual a uma constante k' , denominada de coeficiente de recalque ou módulo de Westergaard, multiplicada pelo deslocamento vertical em qualquer ponto (d) segundo a Equação 5.6.

$$q = k' \times d \quad \text{Equação 5. 6}$$

Substituindo a Equação 5.6 referente a reação da fundação do lado não carregado e carregado (q_u e q_L) na Equação 5.5 e simplificando a constante k' , obtém-se a Equação 5.7. A partir dessa equação e da equação de equilíbrio da isostática (Equação 5.8) as resultantes teóricas $R_{u,teo}^1$ e $R_{L,teo}^1$ são determinadas.

$$\frac{R_{u,teo}^1}{d_u \times L_u} = \frac{R_{L,teo}^1}{d_L \times L_L} \quad \text{Equação 5. 7}$$

$$F = R_{u,teo} + R_{L,teo}$$

Equação 5. 8

(2) Resultante Teórica – Segundo Método

O segundo método usado na determinação das resultantes teóricas do lado não carregado ($R_{u,teo}^2$) e do lado carregado ($R_{L,teo}^2$) considera que a reação da fundação (q) é parabólica (Figura 5. 25).

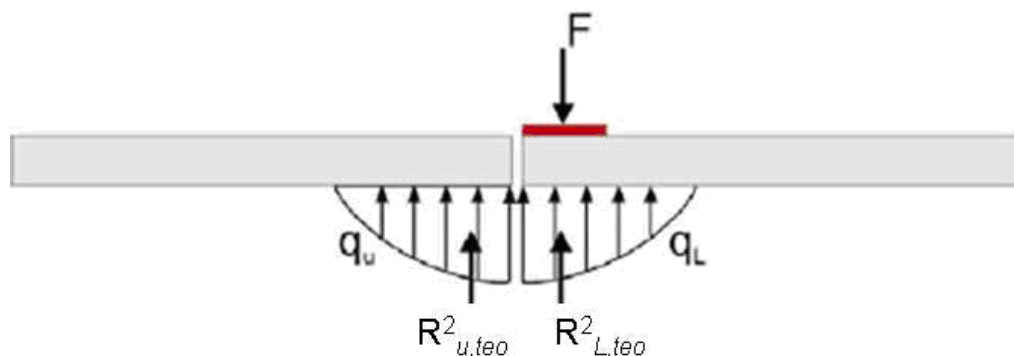


Figura 5. 25 – Forças atuantes consideradas na determinação da resultante parabólica

Fonte: RODRIGUES, Lezzir Ferreira. **Juntas em Pavimentos de Concreto: Dispositivos de Transferência de Carga**. 2008. 256 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas). Universidade de São Paulo, 2008.

Considerando a reação parabólica dada pela Equação 5.9 e pelo equilíbrio das forças verticais (Equação 5.8) as resultantes teóricas $R_{u,teo}^2$ e $R_{L,teo}^2$ são determinadas.

$$\frac{R_{u,teo}^2}{(d_u)^2 \times L_u} = \frac{R_{L,teo}^2}{(d_L)^2 \times L_L}$$

Equação 5. 9

Os gráficos (Figura 5. 26 a Figura 5. 39) foram calculados a partir das resultantes do lado não carregado e relacionam as resultantes experimentais ($R_{u,exp}$) com as teóricas, $R_{u,teo}^1$ e $R_{u,teo}^2$, obtidas nos dois métodos (reação de apoio triangular e parabólica) para cada um dos ensaios. As melhores resultantes teóricas são aquelas que mais se aproximam da curva de 45 graus.

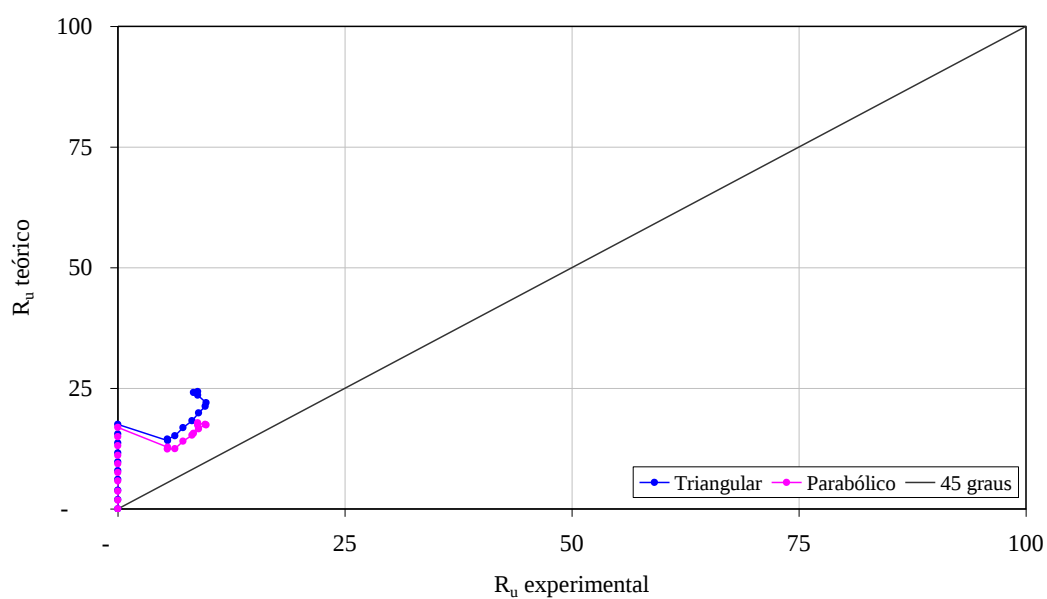


Figura 5. 26 – Gráfico R_u teórico x R_u experimental – placa C20-16SB

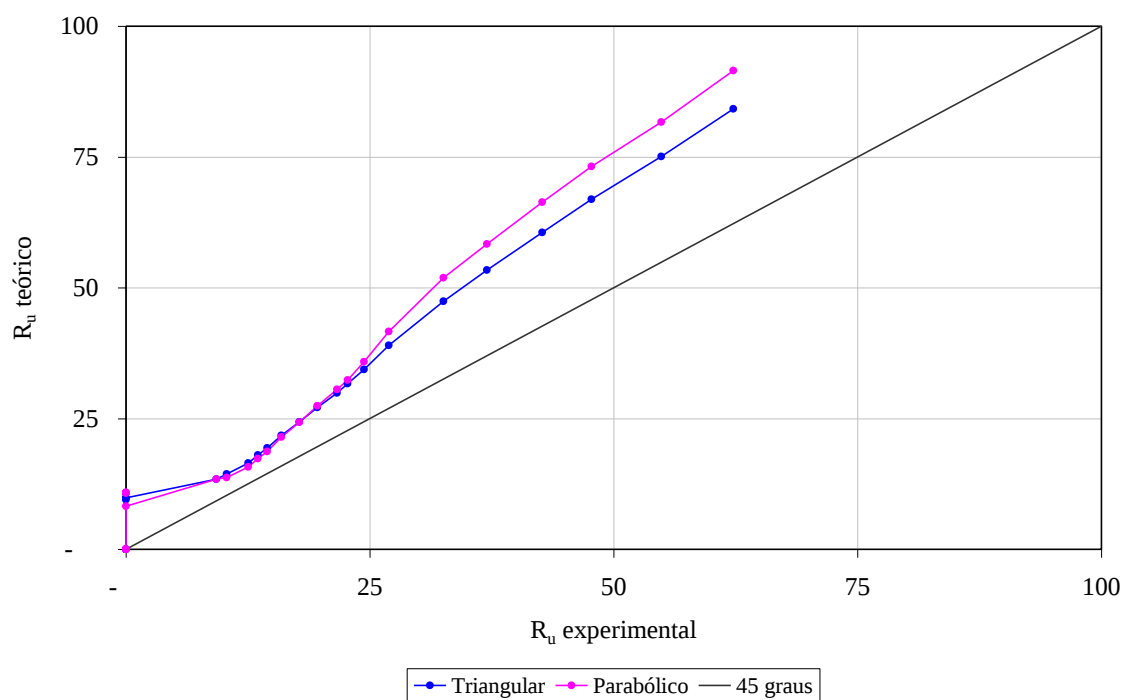


Figura 5. 27 – Gráfico R_u teórico x R_u experimental – placa C20-16B50

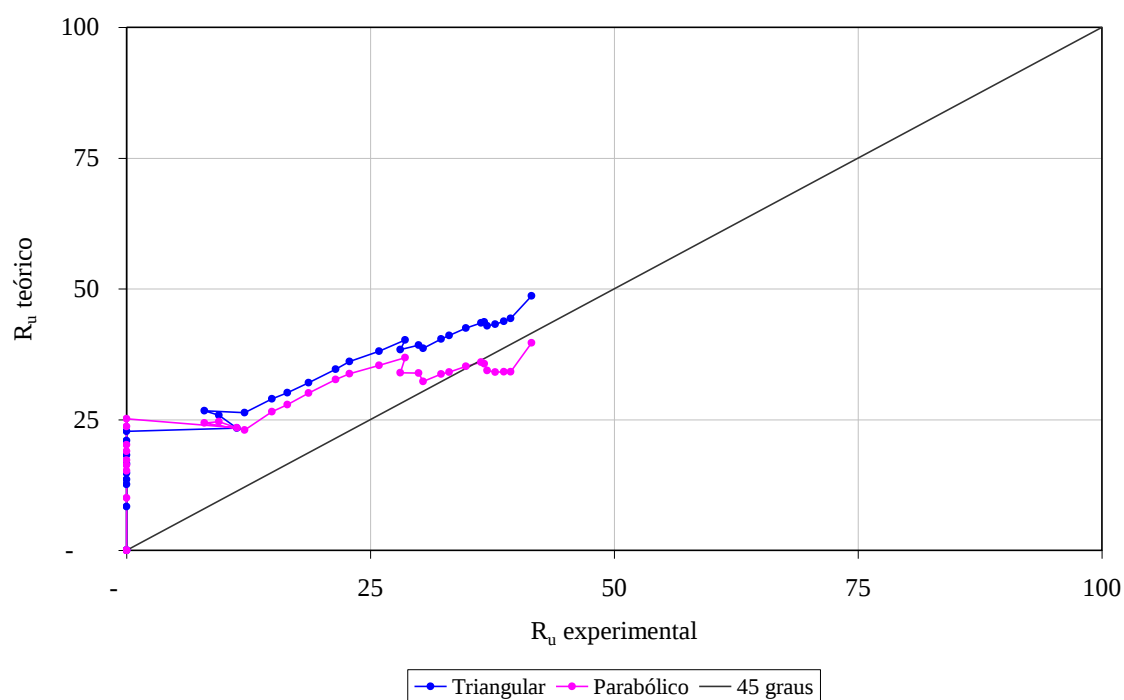


Figura 5. 28 – Gráfico R_u teórico x R_u experimental – placa C20-16B40

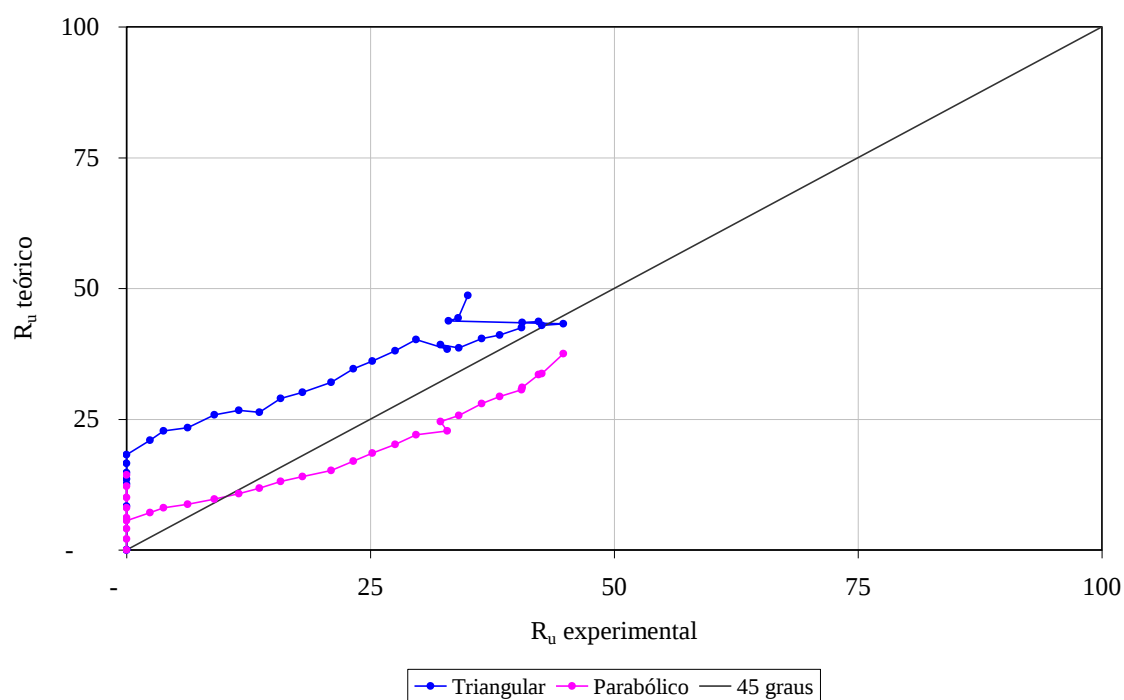


Figura 5. 29 – Gráfico R_u teórico x R_u experimental – placa C20-16B30

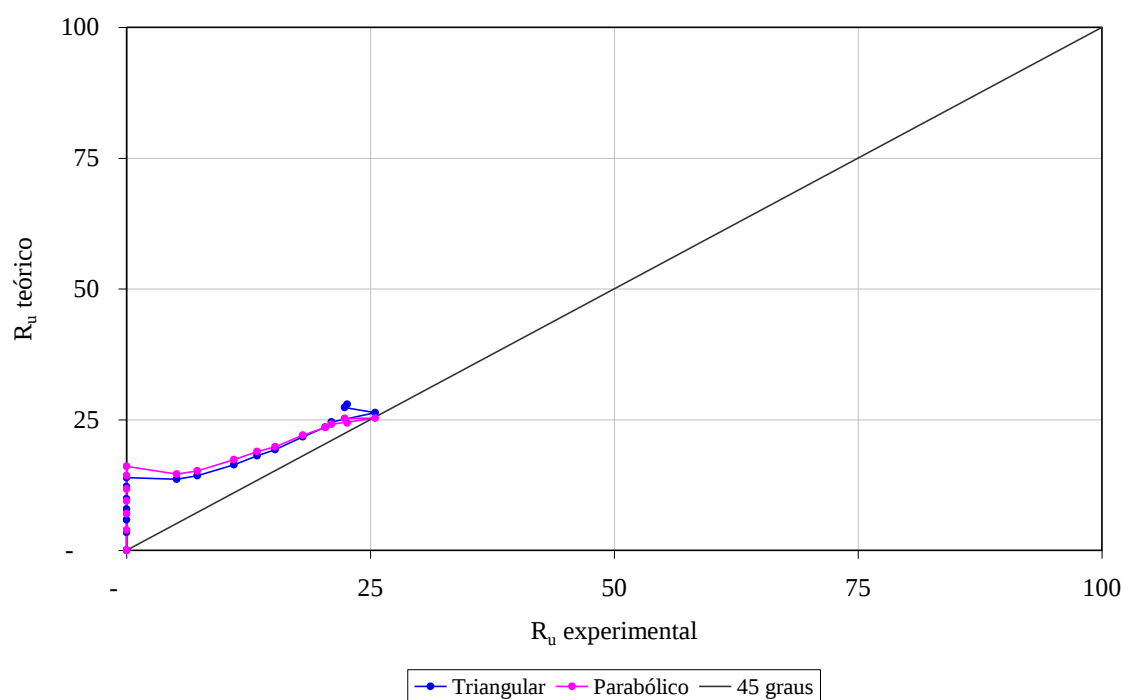


Figura 5. 30 – Gráfico R_u teórico x R_u experimental – placa C20-12SB

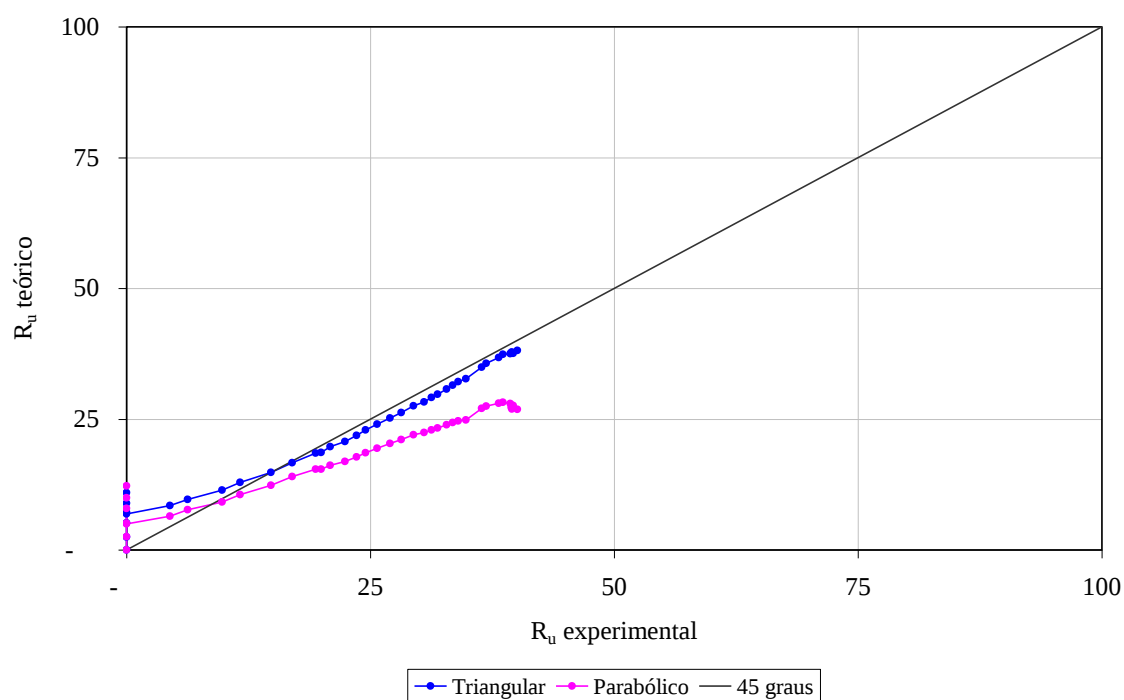


Figura 5. 31 – Gráfico R_u teórico x R_u experimental – placa C20-12B50

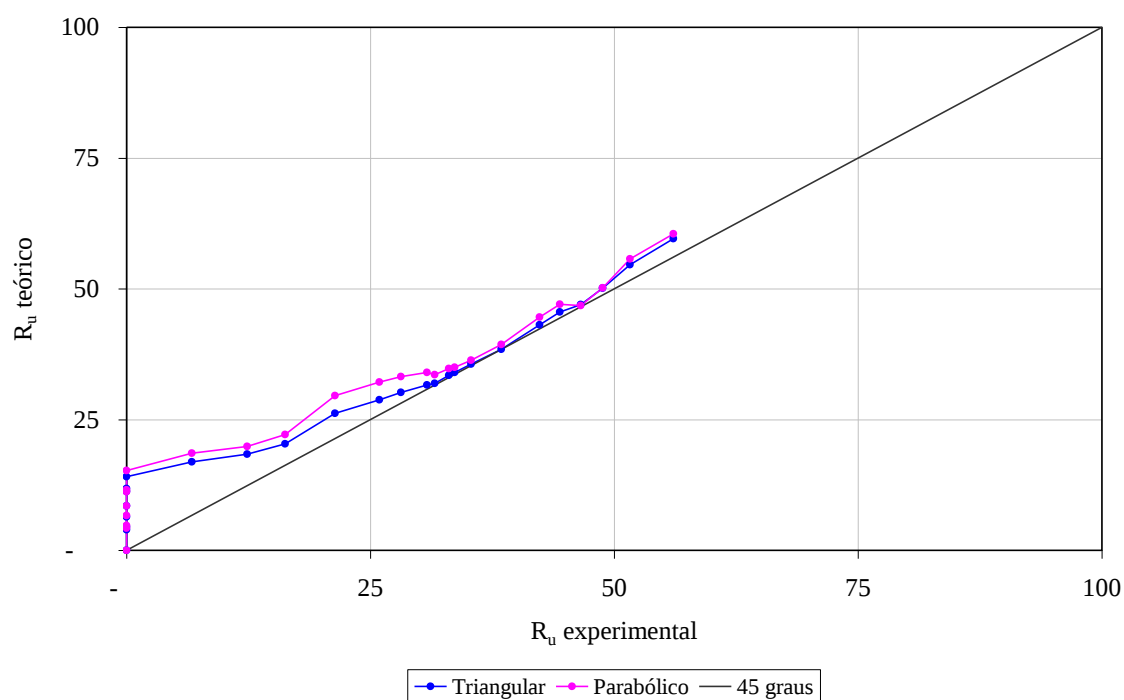


Figura 5. 32 – Gráfico R_u teórico x R_u experimental – placa C20-12B40

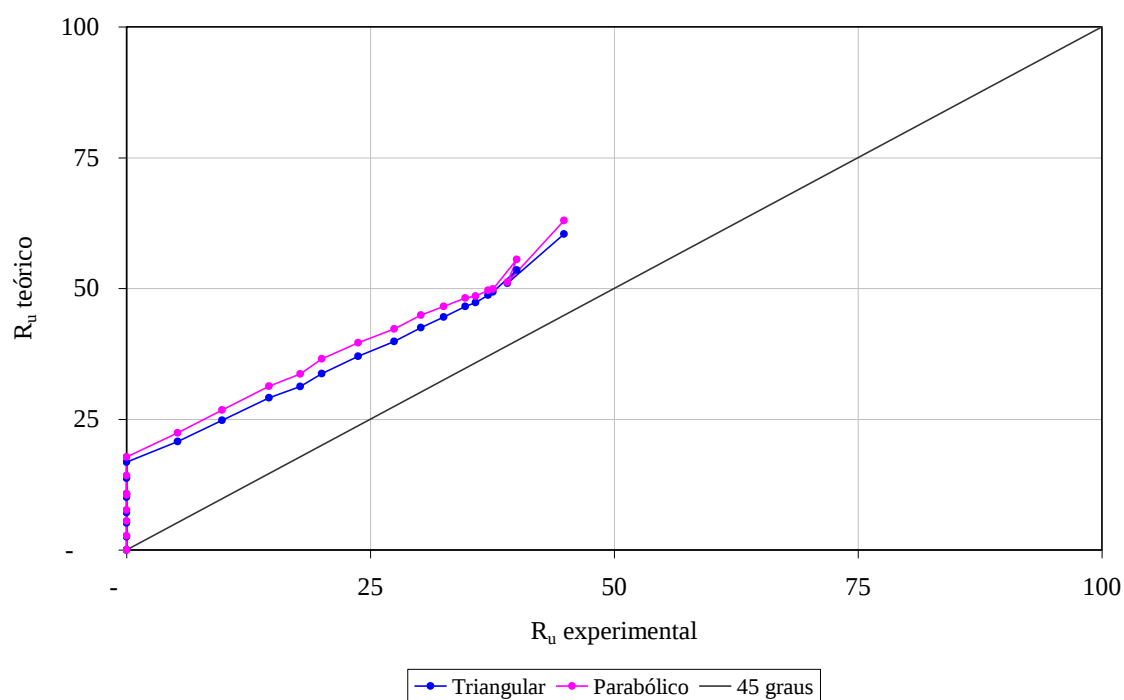


Figura 5. 33 – Gráfico R_u teórico x R_u experimental – placa C20-12B30

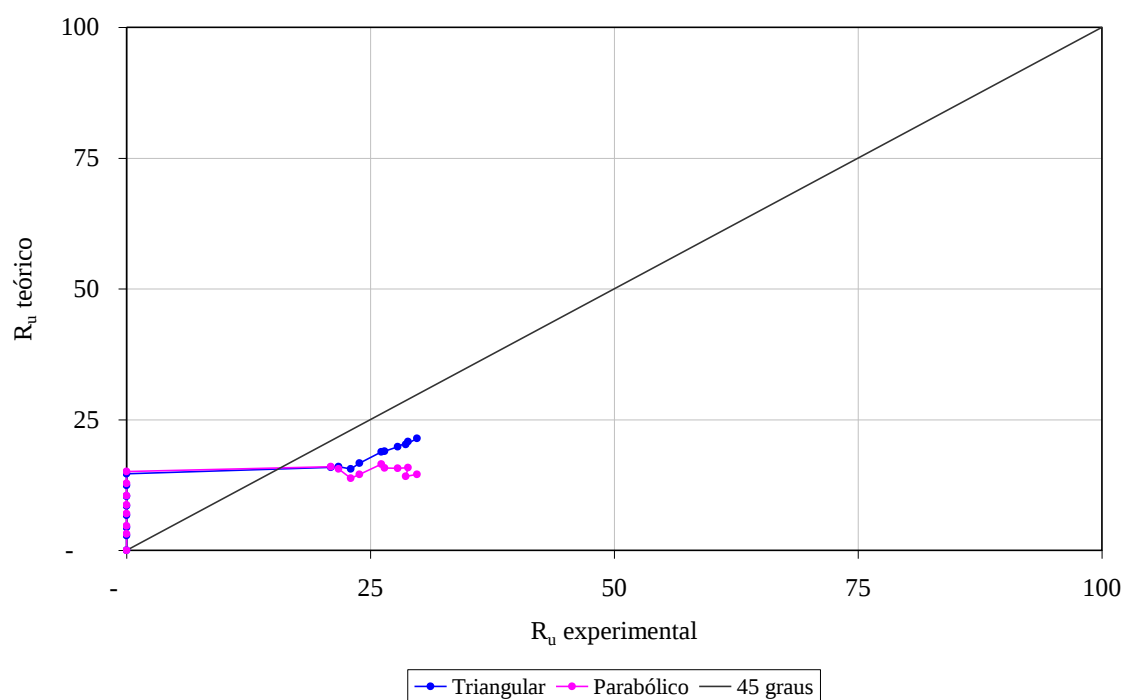


Figura 5. 34 – Gráfico R_u teórico x R_u experimental – placa C30-12SB

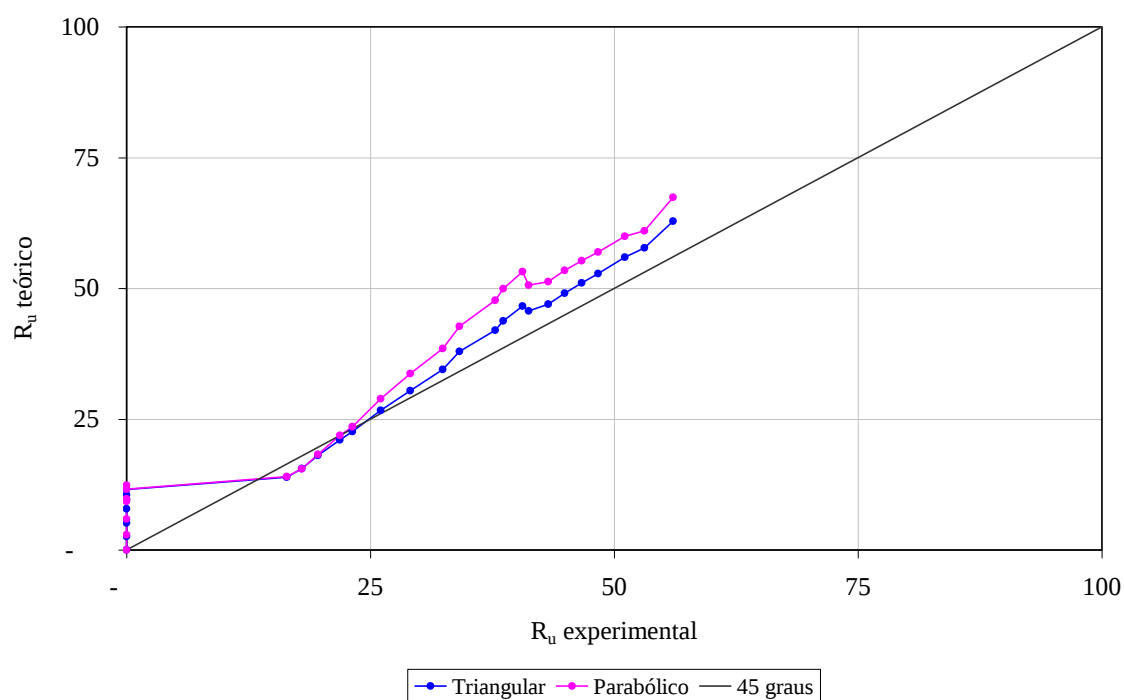


Figura 5. 35 – Gráfico R_u teórico x R_u experimental – placa C30-12B50

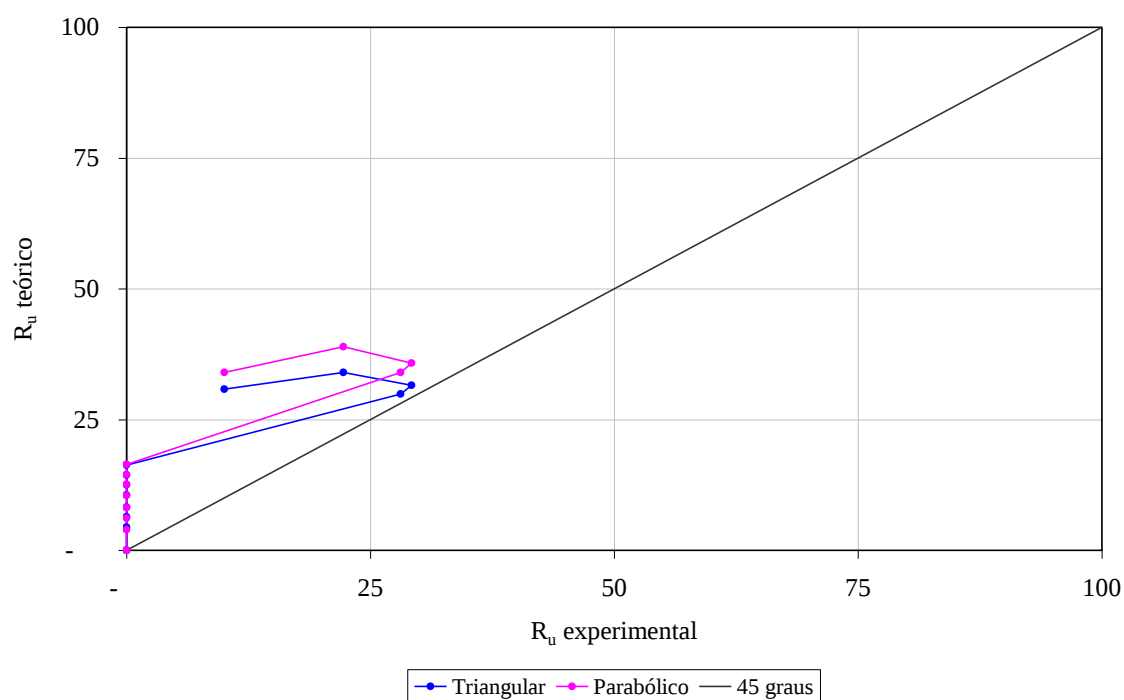


Figura 5. 36 – Gráfico R_u teórico x R_u experimental – placa A30-12SB

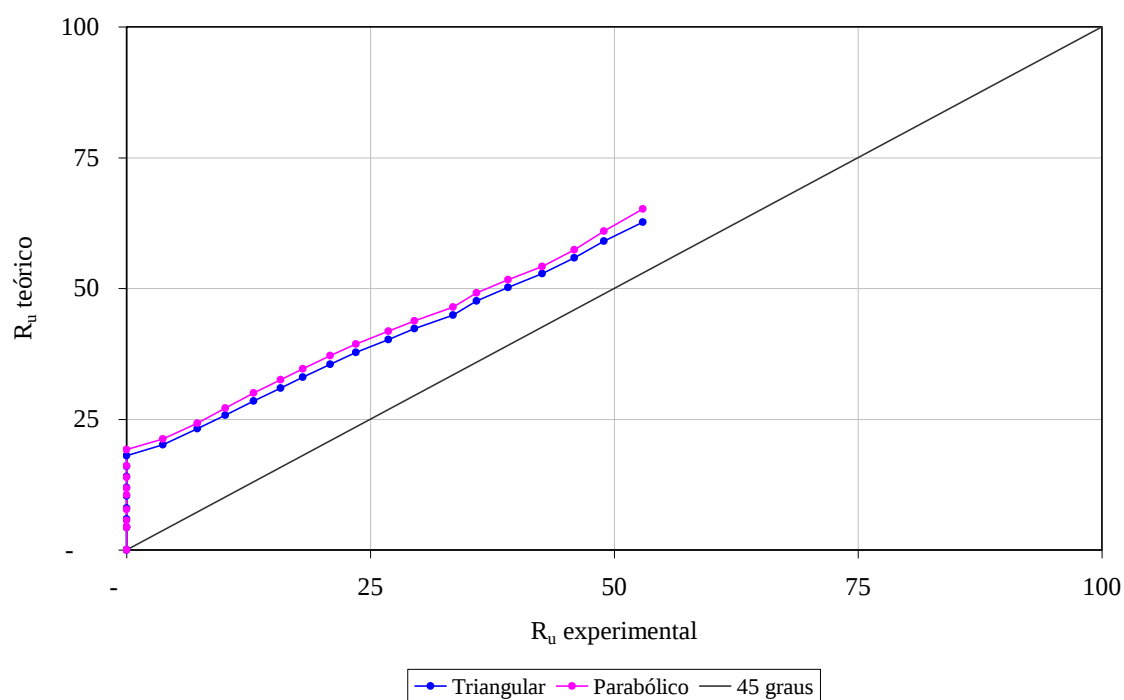


Figura 5. 37 – Gráfico R_u teórico x R_u experimental – placa A30-12B50

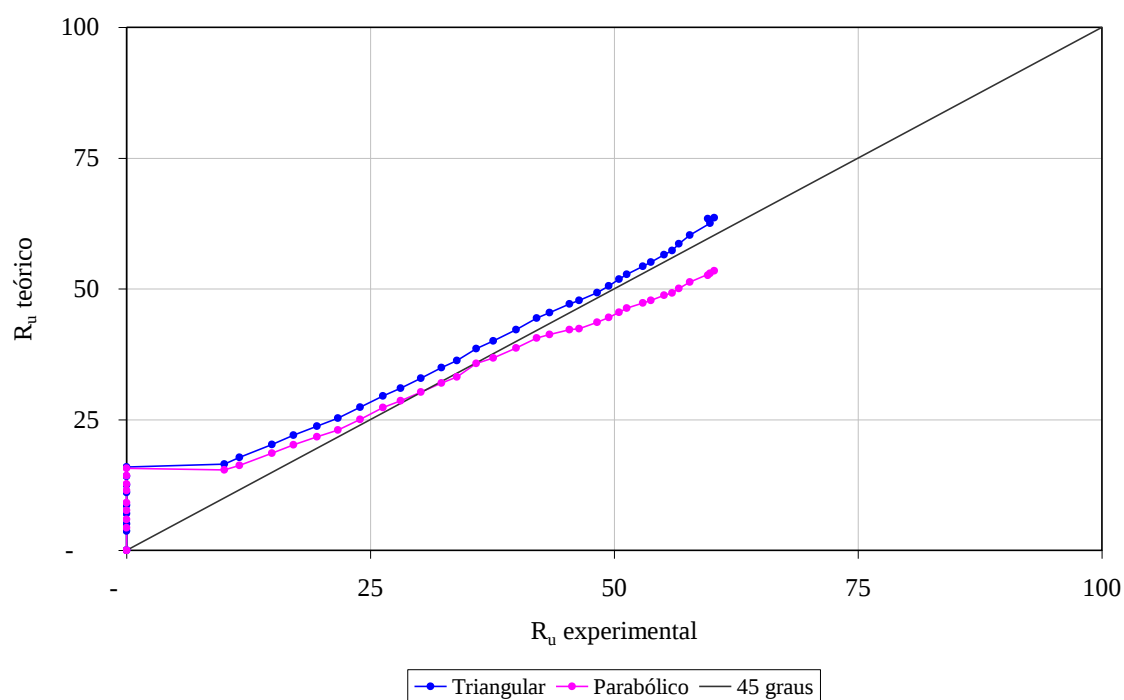


Figura 5. 38 – Gráfico R_u teórico x R_u experimental – placa A30-12B40

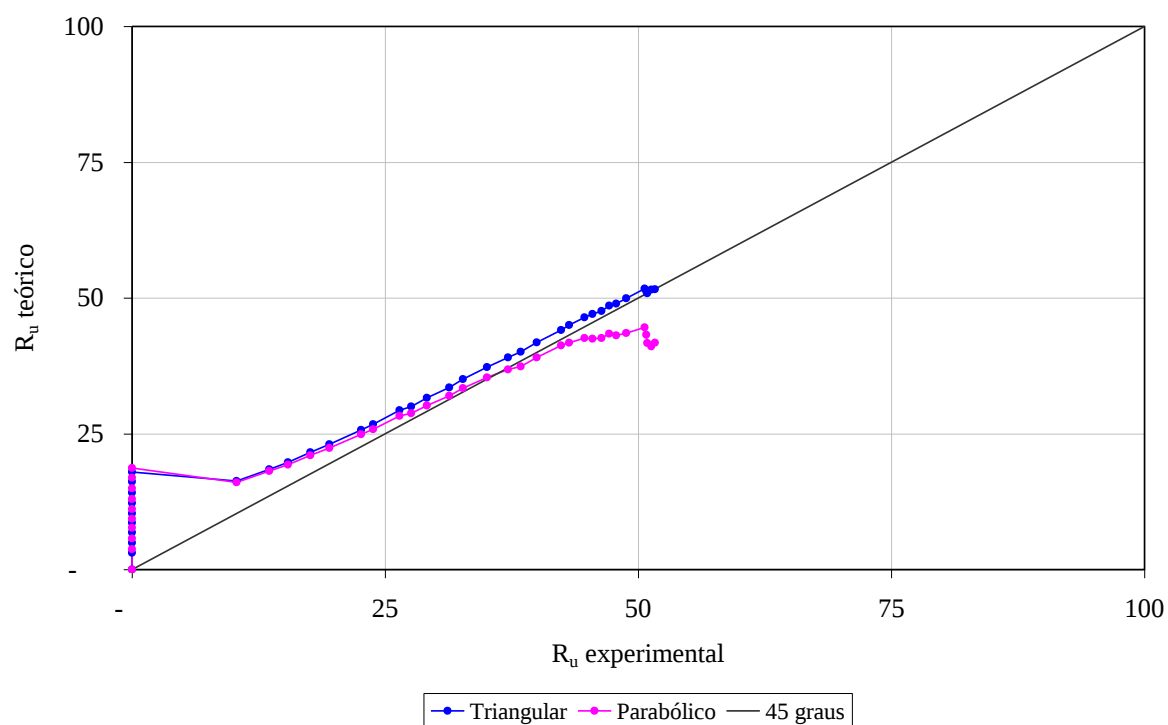


Figura 5. 39 – Gráfico R_u teórico x R_u experimental – placa A30-12B30

As resultantes teóricas e experimentais foram calculadas para as cargas de 40,10 kN (Tabela 5. 8) e de 117 kN (Tabela 5. 9). A carga de 40,10 kN foi escolhida por ser comum a todas as placas ensaiadas e equivale a carga máxima de transferência da placa

A30-12SB. Já a carga de referência de 117 kN foi escolhida por ser uma carga mais alta e que ainda é comum a maioria dos ensaios realizados.

Tabela 5. 8 – Resultantes teóricas e experimental do lado não carregado (Q = 40,10 kN)

PLACA	Q (kN)	$R_{u,exp}$ (kN)	$R^1_{u,teo}$ (kN)	$R^2_{u,teo}$ (kN)	$R_{u,exp}$ $\div$ Q	$R^1_{u,teo}$ $\div$ Q	$R^2_{u,teo}$ $\div$ Q
C20-16SB	40,10 kN	5,21	14,30	12,97	0,13	0,36	0,32
C20-16B50	40,10 kN	13,23	17,16	16,36	0,33	0,43	0,41
C20-16B40	40,10 kN	-	22,56	25,00	-	0,56	0,62
C20-16B30	40,10 kN	3,18	10,63	7,65	0,08	0,27	0,19
C20-12SB	40,10 kN	11,69	16,87	17,77	0,29	0,42	0,44
C20-12B50	40,10 kN	10,07	11,62	9,38	0,25	0,29	0,23
C20-12B40	40,10 kN	13,79	19,12	20,71	0,34	0,48	0,52
C20-12B30	40,10 kN	8,63	23,76	25,62	0,22	0,59	0,64
C30-12SB	40,10 kN	22,94	15,56	13,85	0,57	0,39	0,35
C30-12B50	40,10 kN	19,61	18,04	18,23	0,49	0,45	0,45
A30-12SB	40,10 kN	29,22	31,55	35,78	0,73	0,79	0,89
A30-12B50	40,10 kN	3,62	20,03	21,14	0,09	0,50	0,53
A30-12B40	40,10 kN	11,49	17,67	16,16	0,29	0,44	0,40
A30-12B30	40,10 kN	10,44	16,39	16,14	0,26	0,41	0,40

Tabela 5. 9 – Resultantes teóricas e experimental do lado não carregado (Q = 117 kN)

PLACA	Q (kN)	$R_{u,exp}$ (kN)	$R^1_{u,teo}$ (kN)	$R^2_{u,teo}$ (kN)	$R_{u,exp}$ $\div$ Q	$R^1_{u,teo}$ $\div$ Q	$R^2_{u,teo}$ $\div$ Q
C20-16SB	117 kN	**	**	**	**	**	**
C20-16B50	117 kN	61,44	83,15	90,39	0,53	0,71	0,77
C20-16B40	117 kN	32,60	40,70	33,87	0,28	0,35	0,29
C20-16B30	117 kN	36,42	35,84	27,99	0,31	0,31	0,24
C20-12SB	117 kN	**	**	**	**	**	**
C20-12B50	117 kN	31,56	29,44	23,12	0,27	0,25	0,20
C20-12B40	117 kN	55,02	58,41	59,39	0,47	0,50	0,51
C20-12B30	117 kN	44,87	60,37	62,96	0,38	0,52	0,54
C30-12SB	117 kN	**	**	**	**	**	**
C30-12B50	117 kN	51,81	56,56	60,31	0,44	0,48	0,52
A30-12SB	117 kN	29,22	31,55	35,78	0,25	0,27	0,31
A30-12B50	117 kN	50,31	60,28	62,38	0,43	0,52	0,53
A30-12B40	117 kN	44,06	46,01	41,57	0,38	0,39	0,36
A30-12B30	117 kN	41,05	42,86	40,06	0,35	0,37	0,34

** Placas que já haviam rompido na carga de 117 kN

Segundo Rodrigues (2008), Westergaard (1928) concluiu que cada lado da junta transmitiria metade da carga aplicada (Q) para barras ativas na transferência, ou seja, $0,50Q$. A relação entre as resultantes experimentais e teóricas com a carga aplicada estão nas duas tabelas acima apresentadas nas três últimas colunas, e apresentam nas duas cargas valores próximos ao esperado segundo Westergaard.

Na carga de 40,10 kN as relações entre a resultante experimental do lado não carregado com a carga ($R_{u,exp}/Q$), resultante teórica do método triangular com a carga ($R^1_{u,teo}/Q$) e a resultante teórica do método triangular com a carga ($R^2_{u,teo}/Q$) são em média iguais a 0,31; 0,46 e 0,46 respectivamente. Na carga de 117 kN as relações entre $R_{u,exp}/Q$, $R^1_{u,teo}/Q$ e $R^2_{u,teo}/Q$ são em média iguais a 0,37; 0,42 e 0,42 respectivamente. Esses índices mostram que:

- (a) As relações entre as resultantes teóricas e a carga são próximas entre si;
- (b) As relações das duas resultantes teóricas com a carga aplicada são mais próximas da relação esperada ($0,50Q$) do que a relação entre a resultante experimental com a carga aplicada;
- (c) A relação entre a resultante experimental com a carga aplicada fica mais próxima da relação esperada com o aumento do carregamento aplicado.

5.4 INFLUÊNCIA DA PROFUNDIDADE DA JUNTA SERRADA

O processo de execução das juntas serradas deste estudo está descrito no item 3.3.1. As juntas foram executadas com largura de 6 mm e profundidade igual a $\frac{1}{4}$ da espessura das placas, ficando com 40 mm nas placas da primeira série e 30 mm nas demais placas ensaiadas.

As barras de transferência foram posicionadas na metade da espessura da placa ($h/2$) para que as mesmas fiquem posicionadas na linha neutra da placa. Mas, na seção onde a junta serrada foi executada a barra de transferência já não fica mais na linha neutra visto que a execução da junta irá reduzir a espessura da seção de concreto que passará a ser igual a $\frac{3}{4}$ da espessura da placa. Sendo assim, nota-se que, na seção da junta, a distância entre o eixo da barra e a face inferior da junta é $h/4$ e a distância entre o eixo da barra e a face inferior da placa é $h/2$ (Figura 5. 40-a). Ao observar essa seção na região da junta serrada

verifica-se que a seção de concreto acima da barra equivale a metade da seção abaixo da barra.

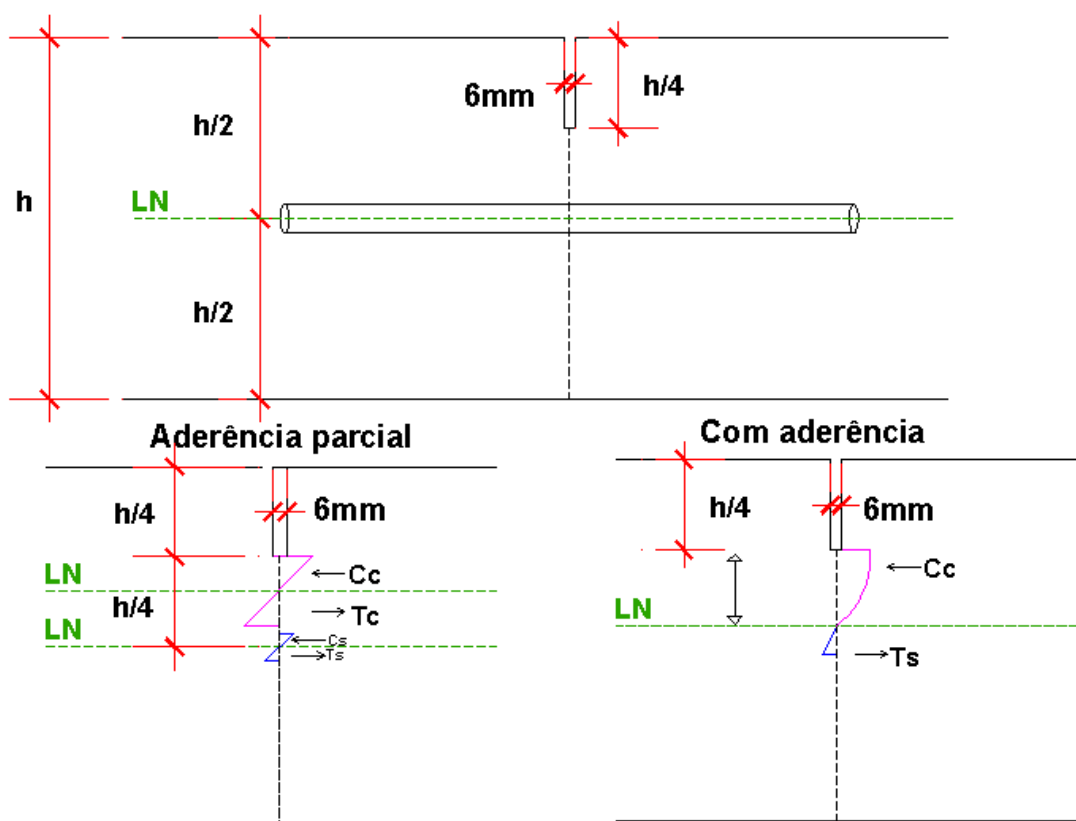


Figura 5. 40 – Tensões atuantes na seção da junta transversal: (a) Desenho esquemático da junta serrada; (b) Tensões atuantes com aderência parcial entre a barra e o concreto; (c) Tensões atuantes com aderência entre a barra e o concreto.

Após a fissuração a seção enfraquecida pela abertura da junta rompe e, após atingir a barra de transferência, nota-se que se houver uma aderência parcial entre a barra e o concreto (Figura 5. 40-b) as tensões de tração e compressão entre a barra e as tensões de tração e compressão na região de concreto situado acima da barra ($h/4$) deverão se equilibrar. Se houver aderência entre a barra e o concreto as tensões de tração da barra estarão se equilibrando com as tensões de compressão do concreto e a linha neutra mudará de posição conforme a seção de concreto situada na junta for rompendo (Figura 5. 40-c).

Com o aumento da abertura da fissuração a barra de transferência passa a ter maiores tensões de tração que de compressão o que pode ser visto na Figura 5. 41 que apresenta a média das deformações obtidas nas barras de transferência na face superior e na face inferior. No início do carregamento a barra não é solicitada, passando a se deformar após a fissuração da placa de concreto quando elas são solicitadas na transferência dos

esforços cisalhantes, dessa forma elas passam a ter maiores tensões de tração que de compressão.

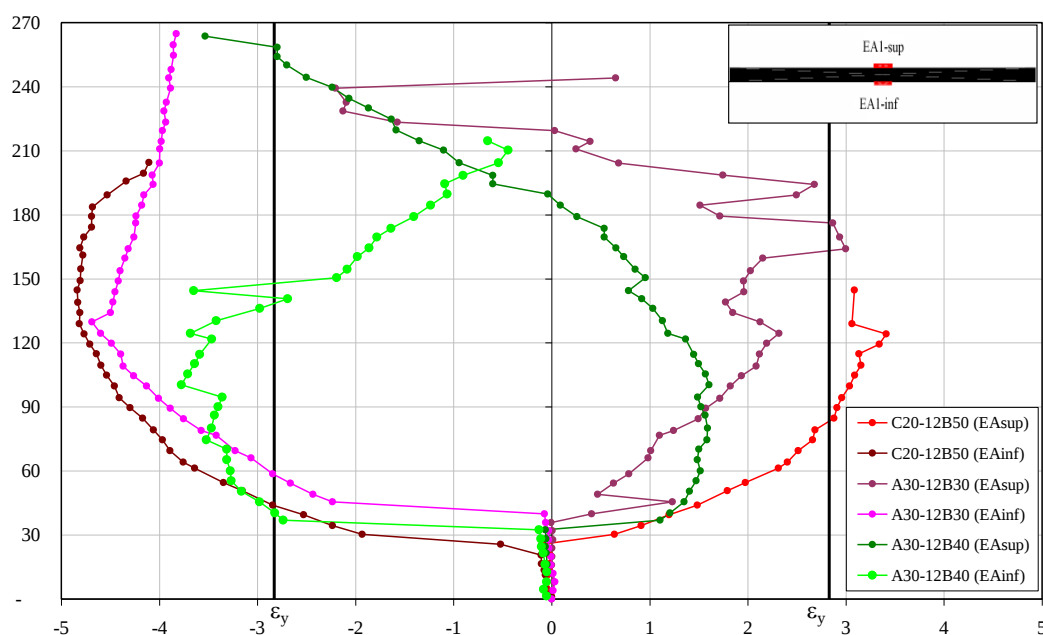


Figura 5. 41 – Gráfico carga aplicada x deformação no aço das placas C20-12B50, A30-12B30 e A30-12B40

Com o aumento do carregamento a barra é cada vez mais solicitada, a seção de concreto situada na junta é rompida devido as tensões de tração e há o levantamento das bordas que evidenciam essa transferência de carga entre os dois lados da junta. Nas últimas cargas aplicadas observa-se que tanto as tensões de tração na seção inferior como as de compressão na seção superior das barras diminuem e alguns casos, onde não houve a perda do extensômetro EA-sup, observa-se que a face superior da barra também fica tracionada. Como a junta foi executada para que não houvesse aderência entre a barra e o concreto, quando isso para que haja equilíbrio é necessário que o concreto existente na seção acima da barra trabalhe a compressão. Contudo se a seção acima da barra está com uma espessura reduzida e esse equilíbrio dependerá da profundidade que a junta foi executada, sendo que pequenas diferenças no seu tamanho poderão influenciar no equilíbrio das tensões nessa seção.

Deste modo para que continue havendo equilíbrio das tensões é necessário que haja uma contribuição por parte do concreto situado acima da barra o qual passa a atuar com maiores tensões de compressão. Entretanto esse aumento das tensões de compressão prejudica na transferência de esforços por cisalhamento, o que justifica o modo de ruptura

obtido na maioria dos ensaios experimentais por compressão e cisalhamento na parte superior da placa na região das barras de transferência.

O aumento dessas tensões de compressão no concreto quando a barra de transferência está sendo solicitada a tração pode justificar o fato de que a maioria das placas em concreto convencional rompeu com cargas inferiores a das placas em concreto autoadensável, pois neste caso a transferência dos esforços de cisalhamento se deu apenas pela presença da barra, pois não existe após a fissuração o intertravamento entre os agregados como há no concreto convencional.

Na execução das juntas serradas desse estudo experimental a profundidade foi definida através do posicionamento do disco de corte na serra-mármore (Maquita), não havendo uma verificação dessa profundidade através de medições após a desforma das placas. Se houverem diferenças de execução na profundidade das juntas por problemas na execução da junta ou por desgaste do disco de corte, estas influenciarão na espessura da seção de concreto acima da barra, pois a mesma depende da profundidade obtida nas juntas.

Essas possíveis diferenças na profundidade das juntas podem justificar a carga máxima obtida na placa C20-16B30 que usou em sua seção uma barra de transferência com o menor comprimento (300 mm), mas obteve a maior carga $P_{máx}$ da sua série de ensaios (placas C20-16).

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Neste capítulo são apresentadas as conclusões baseadas nas análises dos resultados obtidos nos ensaios de quatorze placas e sugestões de trabalhos futuros.

6.1 CONCLUSÕES

Neste estudo experimental foram ensaiadas 14 placas com junta serrada e procurou-se avaliar a influência das quatro variáveis adotadas no comportamento desse tipo de junta serrada, sendo estes: (1) variação da espessura da placa de concreto (160 mm e 120 mm), (2) variação da resistência característica a compressão do concreto (20 MPa e 30 MPa), (3) variação do tipo de concreto adotado (convencional e auto-adensável) e (4) variação do comprimento das barras de transferência posicionadas na junta serrada (500 mm, 400 mm e 300 mm).

Os experimentos foram realizados apoiando a placa de concreto em uma camada formada por lençóis de borracha. A carga foi aplicada de forma estática através de um atuador hidráulico em um dos lados da junta. As placas foram instrumentadas para medir os deslocamentos (verticais e horizontais da placa) e as deformações do aço e do concreto durante a aplicação do carregamento. O objetivo deste estudo experimental foi o de avaliar a transferência dos esforços cisalhantes na junta com a adoção das variáveis citadas acima, e as principais conclusões obtidas a partir da análise dos resultados são:

1. Comparando o comprimento das barras de transferência, o melhor desempenho em termos de eficiência e carga máxima de transferência ocorreu nas placas com barras de 500 mm. As barras de transferência com tamanho reduzido (400 e 300 mm) se mostram eficientes, mas as barras de 400 mm tiveram resultados mais próximos aos das barras em tamanho comercial (500 mm). Em relação ao comprimento, a capacidade de carga nas

placas é decrescente com o comprimento das barras e independente do comprimento, sempre há contribuição na capacidade de transferência dos esforços cisalhantes da junta.

2. As barras de transferência e o concreto atuam em conjunto na transferência de esforços na junta após a fissuração das placas executadas em concreto convencional. Nas placas em concreto auto-adensável a transferência é feita apenas pelas barras, pois não há nesse tipo de concreto o intertravamento entre os agregados. A sua composição ser baseada em agregados finos que proporcionam pouco intertravamento, e com isso a ruptura ocorre por tração do concreto e a junta após a fissuração atua como se fosse uma junta moldada. Esse comportamento é evidenciado através da baixa relação de 80% entre a carga máxima de transferência e a carga de fissuração na placa em concreto auto-adensável e sem barra na junta (A30-12SB).

3. O uso de barras de transferência na junta aumenta a capacidade de resistência da placa com o aumento da carga máxima aplicada, proporcionando uma melhor eficiência na transferência dos esforços, e por manter, após o surgimento da fissura, as seções dos dois lados da junta mais próximas entre si..

4. A relação entre a carga máxima de transferência das placas com barras e a carga máxima de transferência da placa sem barra em uma mesma série mostra a influência que as barras tiveram na eficiência da junta. Nas placas em concreto convencional quanto menor for a contribuição da junta menor será essa relação. Nas placas C20-12 (menor espessura e menor resistência do concreto) com barras em comprimento reduzido, 400 mm e 300 mm, possuem as menores relações entre essas cargas iguais a 50% e 48%. As placas em concreto auto-adensável apresentam as maiores relações (200% a 400%) e mostram que as barras são eficientes mesmo quando contribuição do concreto na transferência dos esforços é pequena.

5. A fissuração da placa depende da capacidade resistente da seção de concreto da junta (espessura da placa, tipo e resistência característica à compressão do concreto). Entre as placas em concreto convencional as menores cargas de fissuração ocorrem nas placas C20-12 que são as menos espessas (120 mm) e em concreto com menor resistência à compressão (20 MPa). Entre as placas em concreto convencional de 20 MPa e 30 MPa as maiores cargas de fissuração ocorrem nas placas executadas em concreto convencional de maior resistência (30 MPa). Nas placas em concreto auto-adensável as carga de fissuração foram próximas entre si, com variação máxima de 11%.

6. A relação entre a carga de escoamento e carga máxima de transferência indica a capacidade que o concreto localizado na junta ainda possui após o escoamento das barras. Esse índice ficou entre 19% e 68% nos ensaios realizados, e as placas C30-12B50 e C20-16B50 tiveram as maiores relações, iguais a 68% e 62% respectivamente, e isso ocorreu pois elas possuem seção com maior capacidade resistente devido ao concreto (maior espessura e maior resistência) e ao maior comprimento da barra (500 mm).
7. A eficiência da junta serrada é maior ou igual ao limite de 75% estabelecido pela ACPA nos ensaios realizados até que se atinja a carga máxima de transferência. Nas placas sem barras a eficiência começa a reduzir após a fissuração e é decrescente com o aumento do carregamento, pois neste a transferência de esforços na junta é feita apenas pelo intertravamento dos agregados do concreto. Nas placas com barras a perda da eficiência é mais lenta que nas placas sem barras, pois neste caso a transferência dos esforços é feita em conjunto pelo intertravamento fornecido pela seção de concreto e pela barra presente na junta.
8. As placas mais espessas apresentam menores deslocamentos das extremidades devido a maior rigidez da seção de concreto. As placas em concreto auto-adensável que tem toda a seção de concreto rompida logo após a fissuração apresenta os maiores deslocamentos. Até a carga máxima de transferência os deslocamentos das extremidades do lado não carregado foram maiores que do lado carregado evidenciando a eficiência da transferência de esforços na junta.
9. As reações da fundação foram próximas do valor estabelecido por Westergaard (1928) que é de 50% da carga aplicada. Nesse estudo, as resultantes foram calculadas para duas cargas de referência e as resultantes experimentais e teóricas obtidas pelo método triangular e parabólico são próximos entre si nas duas cargas. A média aritmética entre as resultantes experimentais e teóricas foi igual a 0,41 nas duas cargas e ficou próxima ao valor da reação estabelecido por Westergaard.
10. A profundidade da junta serrada influencia na capacidade resistente da placa porque a sua dimensão irá reduzir a seção de concreto existente acima da barra. Nas cargas próximas da ruptura, as tensões de tração na face inferior como as de compressão na face superior das barras diminuem e, em alguns casos, a face superior da barra também fica tracionada e a seção em concreto existente acima da barra irá trabalhar a compressão o que prejudica a transferência de esforços por cisalhamento na junta.

11. Nas placas sem barra de transferência na junta, executadas tanto em concreto convencional como auto-adensável, podem ser usadas nos casos onde o carregamento utilizado fosse inferior ao da carga de fissuração. Para maiores carregamentos o uso da barra como dispositivo de transferência de carga irá aumentar a capacidade da junta bem como a sua eficiência.

6.2 SUGESTÕES

Sugerem-se para trabalhos futuros a continuidade deste estudo (transferência de esforços em juntas serradas de pavimentos rígidos) através dos seguintes tópicos:

- Modificar o modo de obtenção do coeficiente de recalque para um que seja mais apropriado a fundação adotada em lençóis de borracha.
- Acrescentar duas células de carga na base de borracha logo abaixo da placa de concreto e comparar os resultados dessas com as que estão em contato com a laje de reação.
- Retirar as laterais da forma metálica antes da execução da junta e verificar a profundidade da mesma para que não haja diferença entre as placas ensaiadas e possíveis variações entre os resultados obtidos.
- Separar os dois lados da placa logo após o término do ensaio para que seja verificado o concreto na seção acima da barra e se houve esmagamento do mesmo nessa região.
- Posicionar a barra de transferência abaixo da linha neutra de modo que a nova altura da barra seja igual a metade seção restante do concreto existente abaixo da junta e igual a $\frac{3}{8}$ da espessura da placa de concreto em vez de $\frac{h}{2}$. Comparar os resultados dessa placa com outras que possua as mesmas variáveis e que tenha posicionado a barra na metade da espessura da placa verificando se a espessura da placa influencia na capacidade da junta.
- Utilizar outros dispositivos de transferência de carga em placas com junta serrada a fim de comparar a eficiência destes com as barras de transferência.
- Usar placas com espessuras menores e variar o diâmetro das barras comparando com as placas com espessura de 120 mm e barras de 12,5 mm de diâmetro.
- Modificar a posição de aplicação do carregamento estático e analisar a eficiência da junta em situações menos críticas de carregamento.
- Realizar um estudo com carga dinâmica simulando assim um pavimento em serviço.
- Aprofundar o estudo sobre concreto auto-adensável nos pavimentos rígidos para comparar aos resultados obtidos neste estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBANO, João Fortini. **Efeitos dos Excessos de Carga sobre a Durabilidade dos Pavimentos**. 2005. 232 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005 (pp. 13-23, 33-45, 56-67, 117-127).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, ABCP- PR1. **Pavimento de Concreto: Controle Tecnológico da Qualidade da Camada de Concreto Simples**. Prática Recomendada. São Paulo. 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, ABCP. **Cimento Hoje: Whitetopping em Santa Catarina**. Disponível em <http://www.abcp.org.br/downloads/cimento_hj/jornal35/pavimentacao.htm>. Acesso em: 24 de agosto de 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, ABCP. **Uma história de sucesso: ABCP 70 anos**. 1ª Edição. São Paulo, 2006. 48 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, ABCP-CON. **Manual de Estruturas: Concretagem (CON)**. São Paulo. 29 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, ABCP-PR2. **Pavimento de Concreto: Controle Tecnológico da Qualidade da Camada de Concreto Rolado**. Prática Recomendada. São Paulo. 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, ABCP-PR3. **Pavimento de Concreto: Texturização**. São Paulo. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, ABCP-PR4. **Pavimento de Concreto: Abertura e Selagem das Juntas**. Prática Recomendada. São Paulo. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, ABCP-PR5. **Pavimento de Concreto: Os Dez Mandamentos da Pavimentação Rígida**. Prática Recomendada. São Paulo. 16 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Argamassa e Concreto – Determinação da resistência a tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos – NBR 7222 – Rio de Janeiro, 1994**.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos – Procedimento** – NBR 5739 – Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Materiais Metálicos – Determinação das propriedades mecânicas à tração – Método de Ensaio** – NBR 6152 – Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Terminologia e classificação de pavimentação** – NBR 7207 – Rio de Janeiro, 1982.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentos de Concreto: Consequências da temperatura em placas de concreto**. Revista Concreto. Ibracon. Ano XXXIV n.º 45: ISSN1809-7197. p. 66-76.

BALBO, José Tadeu; PITTA, Márcio da Rocha. **Resultados de Recentes Pesquisas sobre Whitetopping Ultradelgado no Brasil**. Fórum Interamericano de Pavimentos de Concreto. Rio de Janeiro, 1999. 9 p.

BARRAS DE TRANSFERÊNCIA. **Catálogo técnico de produtos: Belgo Grupo Arcelor**. Julho 2003.

BERNUCCI, Liedi Légi Bariani; CERATTI, Jorge Augusto Pereira; MOTTA, Laura Maria Goretti da; SOARES, Jorge Barbosa. **Programa Asfalto na Universidade - Bloco 1: Introdução e Histórico. Petrobrás Asfaltos**. ABEDA (Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto. Disponível em: <http://www.det.ufc.br/jsoares/aulas/aula_1-Introducao.pdf>. Acesso em 24 de agosto de 2007.

BODOCSI, Andrew et al. **Effect of Pavement Variables on Average Joint Deflections in Experimental Concrete Pavements**. Transportation Research Record, 1449. December, 1994. p. 182-188

BRASKEM. **Boletim Técnico nº. 3, revisão 01**. Julho 2002. Disponível em <www.braskem.com.br/upload/portal_braskem/pt/produtos_e_servicos/boletins/Tabela_de_Propriedades_de_Refer%C3%Aancia_dos_Compostos_de_PVC.pdf> Acesso em: 14 de fevereiro de 2008

CARVALHO, Marcos Dutra. **Pavimento de concreto reduzindo o custo social**. <http://www.abcp.org.br/sala_de_imprensa/arquivos_pdf/pav_artigo2007.pdf> Acesso em 24 de agosto de 2007.

CERVO, Tatiana Cureau. **Estudo da resistência à fadiga de concretos de cimento Portland para pavimentação**. Tese (Doutorado). 220 f. Escola Politécnica. Universidade

de São Paulo. São Paulo/SP, 2004. p. 1-33.

CLÍMACO, João Carlos Teatini de Souza. **Estruturas de Concreto Armado: Fundamentos de Projeto, Dimensionamento e Verificação**. 410 p. 1ª Edição. Brasília/DF: Editora UNB-Finatec. Brasília, 2005. (pp. 1-60, 233-284, 343-384)

COFER, Ferro e Aço para Construção Civil. **Dicas: Faça Pisos em Concreto Armado**. 5 p. Disponível em: <<http://www.coferonline.com.br/dicas02.htm>>. Acesso em: 05 de fevereiro de 2008.

COSTA, Daniel de Godoy. **Análise Numérica Não-Linear de Placas Rígidas de Concreto Estruturalmente Armado sobre Base Elástica**. 2004. 205 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas). Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2004.

CPTP, Concrete Pavement Technology Program. **Concrete Pavement Technology Update**. U. S. Department of Transportation - Federal Highway Administration. FHWA-HIF-07-37. August, 2007, 12 p. Disponível em <www.fhwa.dot.gov/pavement/concrete/>. Acesso em: 16 de janeiro de 2008.

CRUZ, Luiz Otávio Maia. **Pavimento Intertravado de Concreto: Estudo dos Elementos e Métodos de Dimensionamentos**. 2003. 365 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia Civil do Rio de Janeiro. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2003. p. 25-67.

DANIELESKI, Maria Luiza. **Proposta de Metodologia para Avaliação Superficial de Pavimentos Urbanos: Aplicação à Rede Viária de Porto Alegre**. 2004. 187 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004. p. 43-75.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DA SECRETARIA DE TRANSPORTES DE SÃO PAULO (DER-SP). **Instrução de Projeto IP-DE-P00-003**. Revisão A. São Paulo, 2006. 29 p.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DA SECRETARIA DE TRANSPORTES DE SÃO PAULO (DER-SP). **Instrução de Projeto IP-DE-P00-039**. Revisão A. São Paulo, 2007. 24 p.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DO PARANÁ (DER/PR). **Pavimentação: Pavimento Rígido** - Especificações de Serviços Rodoviários DER/PR ES-P 35/05 Paraná, 2005, Volume 01. 27 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). **Manual de Pavimentos Rígidos: Projeto e Dimensionamento, Operação e Conservação** – Norma

35. Rio de Janeiro, 1989. Volume 02. 365 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Manual de Pavimentação** – Publicação IPR-719. 3ª Edição. 365 f. Rio de Janeiro, 2006. p. 93-100.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Manual de Pavimentos Rígidos: Estudo dos Concretos, Projeto e Dimensionamento, Operação e Conservação** – Publicação IPR-714, Rio de Janeiro, 2005. Volume 02. 365 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Pavimento Rígido – Defeitos – Terminologia** – Norma 061-TER/ 2004. Volume 01. 13 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Pavimento Rígido – Execução de Camada Superposta de Concreto do Tipo Whitetopping por meio mecânico – Especificação de Serviço** – Norma 068 Espírito Santo, 2004. Volume 01. 17 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Pavimento Rígido – Execução de Pavimento Rígido com Equipamento de Pequeno Porte – Especificação de Serviço: Materiais, Execução do Pavimento** – Norma 047 Espírito Santo, 2004. Volume 01. 14 p.

DURANTE, R. Notas de Aula: Concreto – Qualidade, Classificação e Propriedades. Centro Superior de Educação Tecnológica da UNICAMP. Loreira/SP, 2000, 67 p.

EDDIE, Darren; SHALABY, Ahmed; RIZKALLA, Shalaby. **Glass Fiber-Reinforced Polymer Dowels for Concrete Pavements**. ACI Structural Journal. Title n.º 98-S20. March-April 2001, p. 201-206

FLEURY, Rubia Helena. **Estudo Experimental de Mecanismos de Transferência de Esforços em Juntas de Pavimentos Rígidos**. 2006. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia Civil. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2006.

GARNETT NETO, Gustavo. **Estudo Técnico e Econômico da Manutenção de um Pavimento de Concreto**. 2001. 134 f. Tese (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP, Campinas/SP, 2001. pp 1-46

GASPARETTO, Wagner Edson. **Gestão Empresarial: Gestão de Projetos - Pisos e Pavimentos de Concreto**. Revista PI Pisos Industriais. Ano 1 n.º 8. 2007. pp 46 a 50.

GASPARETTO, Wagner Edson. **Manual Técnico: Barras e Distanciadores Soldados**. São Paulo. Novembro 2001. 18 p.

GASPARETTO, Wagner Edson; TOMIETI, Érica; QUINTA, Marcelo; MARIN, Valéria. **Matéria-Prima: Barras de Transferência**. Revista PI Pisos Industriais. Ano 1 n.º 3, 3 pp. Disponível em <www.pisosindustriais.com.br/materias/noticia_vi>. Acesso em: 24 de agosto de 2007

GASPARETTO, Wagner. **Como Construir: Pisos e pavimentos de concreto com o uso de espaçadores**. Revista Técnica. Janeiro/2004. p. 76-78.

GASPARETTO, Wagner. **Desenvolvendo Pisos Industriais de Qualidade Através de Projeto, Planejamento e Execução**. Palestra no Instituto de Engenharia. São Paulo. Junho 2008. 28 p.

GEYER, André Luiz Bottolacci; SÁ, Rodrigo Resende de. **Concreto auto-adensável: Uma nova tecnologia à disposição da construção civil de Goiânia**. REALMIX. Informativo Técnico. Ano I, n.º 1. Abril 2005. 6 p

GEYER, André Luiz Bottolacci; SÁ, Rodrigo Resende de. **Importância do Controle de Qualidade do Concreto no Estado Fresco**. REALMIX. Informativo Técnico. Ano 2, n.º 2. Julho 2006. 8 p.

GHARAIBEH, N. G.; DARTER, M. I. **Benefits and Costs of Jointed Plain Concrete Pavement Design Features**. Transportation Research Record 1778. 2001. p. 1-8

HOSS, Leonardo. **Caracterização do Comportamento e Determinação de Parâmetros Relacionados com Fratura e Fadiga de Materiais Elastoméricos**. 2006. 25 f. Monografia (Engenharia Mecânica). Departamento de Engenharia Mecânica. Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006.

HUANG, Y. H. **Pavement Analysis and Design**. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA. 1993. 850 p.

IOANNIDES, Anastasios M; KOROYESIS, George T. **Analysis and Design of Doweled Slab-on-Grade Pavements Systems: Journal of Transportation Engineering**. Vol. 118, nº 6. November/December 1992. p. 745-768

IPQ, 2007. **Ipiranga Petroquímica: Propriedades**. Disponível em <www.ipq.com.br/index.php?secao=propriedades&arquivo=Shore.pdf> Acesso: 12 de fevereiro de 2008.

JÚNIOR, Fausto Rodrigues. **Obtenção e caracterização de blendas de CAP-20 modificadas com poliestireno reciclado e resíduos de pneus**. 2006. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais). Universidade Estadual de Minas Gerais. Ouro Preto, 2006. p. 1-38.

KUENNEN, Tom. **Road Science: Correcting Problem Concrete Pavements**. Better Roads. May 2003. p. 32-38.

LAB VIEW. Programa computacional para leitura das deformações e carregamentos.

LEAL, Isabela; AMORIM, Paulo Henrique. **SBRT (Serviço Brasileiro de Resposta Técnica): Informações sobre a utilização de concreto auto-adensável para fazer piso industrial**. Rede da Tecnologia da Bahia-RETEC/BA. Janeiro/2007. Disponível em <<http://www.sbrt.ibict.br>>. Acesso: 25 de abril de 2008.

LOSBERG, Anders: **Designs Methods for Structurally Reinforcement Concrete Pavements**. In Transactions of Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, 1960. 444 p.

LPE, Engenharia e Consultoria Ltda. **The 40 Most Questions About F-Numbers**. The Face Company. Agosto 2004. 13 p. Disponível em <<http://www.lpe.eng.br/download.asp>>. Acesso em: 02 dezembro 2008.

MANNAVA, Syam S.; BUSH, Thomas D. Jr.; KUKRETI, Anant. **Load Deflection Behavior of Smooth Dowels**. ACI Structural Journal. Title n.º 96-S97. November-December, 1999. p. 891-898.

MELO, Dulcevir Guerreiro Vilar; ZANETTI, José James; ANDREUCCI, Cid José. **Pavimentos de Concreto: Execução do pavimento rígido da Rodovia dos Imigrantes - pista descendente**. Revista Concreto. Ibracon. Ano XXXIV n.º 45. ISSN1809-7197. p. 37-47.

MESQUITA, José. **Pavimento Rígido como Alternativa Econômica para Pavimentação**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina . Florianópolis, 2001. p. 23-65.

MONTARDO, Júlio P.; RODRIGUES, Públio Penna Firme Rodrigues. **A Influência da Adição de Fibras de Polipropileno nas Propriedades dos Concretos para Pisos e Pavimentos**. Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON) - 44º Congresso Brasileiro. Belo Horizonte/MG, 2002.

MÜLLER, Rodrigo Menegaz. **Avaliação de Transmissão de Esforços em Pavimentos Intertravados de Blocos de Concreto**. 2005. 234 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005. (p. 7-10, 52-83, 130-184).

NBR 6118:2003. **Projeto de estruturas de concreto - Procedimentos**. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Março 2003. 170 p.

NOVAIS, Djalma Santos Rodrigues. **O Processo de Execução de Piso de Concreto.** CONCRESERV Concreto & Serviços. São Paulo, p.7. Disponível em http://www.concreserv.com.br/pdf/piso_industrial.pdf. Acesso em: 25 agosto 2007.

NUNES, Viviane. **Jornal do Instituto de Engenharia: Engenharia Brasileira supera qualquer obstáculo.** Ano III. N.º 36. Agosto/2007. 4p.

OLIVEIRA, Patrícia Lizi. **Projeto Estrutural de Pavimentos Rodoviários e de Pisos Industriais de Concreto.** 2000. 216 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2000.

PEREIRA, Deividi da Silva. **Estudo de Gradientes Térmicos e Deformações em Whitetopping Ultradelgado.** 2001. 159 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001. p 1-43

PEREIRA, Deividi da Silva. **Estudo do comportamento de pavimentos de concreto simples em condições de aderência entre placa de concreto e base cimentada ou asfáltica..** 2003. 315 f. Tese (Doutorado em Engenharia). Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003. p. 18-52

PINHEIRO, L.; M. C.; SANTOS, S.; **Estruturas de Concreto: Características do Concreto, capítulo 2.** USP/ EESC – Departamento de Engenharia de Estruturas, 2004, 10 p.

PITTA, Márcio Rocha. **ET-13: Projeto de Juntas em Pavimentos Rodoviários de Concreto.** 6ª Edição. São Paulo/SP: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998-a. 36p.

PITTA, Márcio Rocha. **ET-14: Dimensionamento dos Pavimentos Rodoviários de Concreto.** 10ª Edição. São Paulo/SP: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998-b. 44p.

PITTA, Márcio Rocha. **ET-22: Selagem de Juntas em Pavimentos de concreto.** 4ª Edição. São Paulo/SP: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998-c. 24 p.

PITTA, Márcio Rocha. **ET-29: Projetos de Sub-bases para Pavimentos de Concreto.** 6ª Edição. São Paulo/SP: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998-d. 36 p.

PITTA, Márcio Rocha. **ET-81: Construção de Pavimentos de Concreto Simples.** 3ª Edição. São Paulo/SP: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998-e. 88 p.

PITTA, Márcio Rocha. **ET-97: Dimensionamento de pavimentos rodoviários e urbanos de concreto pelo método PCA/84.** 3ª Edição. São Paulo/SP: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998-f. 91 p.

PITTA, Márcio Rocha; CARVALHO, Marcos Dutra; RODRIGUES, Públio Penna Firme. **LT-7: Materiais para Pavimentos de Concreto Simples**. 5ª Edição. São Paulo/SP: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998-g. 165 p.

PMSP, Prefeitura Municipal de São Paulo. **IP-07: Dimensionamento de Pavimentos de Concreto**. 50 p. Disponível em: <http://www.estradas.com.br/new/header_sites/sos_estudos.asp>. Acesso em: 11 de março de 2008

RODRIGUES, Lezzir Ferreira. **Comportamento Estrutural de Placas de Concreto Apoiadas sobre Base Granular**. 2003. 249 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2003.

RODRIGUES, Lezzir Ferreira. **Juntas em Pavimentos de Concreto: Dispositivos de Transferência de Carga**. 2008. 256 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas). Universidade de São Paulo, 2008.

RODRIGUES, Lezzir Ferreira; PINHEIRO, Libânio Miranda; GUIMARÃES, Gilson Natal. **Juntas em Pavimentos de Concreto**. Cadernos de Engenharia de Estruturas, São Carlos. 2006. Volume 8. 2006. p 37-40.

RODRIGUES, Públio Penna Firme. **Mitigating Concrete Pavement Cracking**. International Workshop on Best Practices for Concrete Pavements. IBRACON-ISCP. Recife, 2007. 22 p.

RODRIGUES, Públio Penna Firme. **Pavimentos de Concreto: Pisos industriais: conceitos e execução**. Revista Concreto. Ibracon. Ano XXXIV n.º 45. ISSN1809-7197. 2008. p. 24-31.

RODRIGUES, Públio Penna Firme. **Pavimentos Estruturalmente Armados para Aeroportos**. 2003 International Conference Airports: Planning, Infrastructure & Environment, 8 a 11 Junho 2003. Rio de Janeiro, 2003. 14 p.

RODRIGUES, Públio Penna Firme. **Pisos Industriais: Conceitos e Execução**. Disponível em <http://www.multconcreto.com.br/exec_piso_ind.htm>. Acesso em: 25 de fevereiro de 2008. 11 p.

RODRIGUES, Públio Penna Firme; GASPARETTO, Wagner Edson. **Juntas em Pisos Industriais**. São Paulo, 1999. 22p.

RODRIGUES, Públio Penna Firme; PITTA, Márcio Rocha. **Dimensionamento de Pavimentos de Concreto Estruturalmente Armados**. Disponível em <<http://www.lpe.eng.br/download.asp>>. Acesso em 31 janeiro de 2008. 41 p.

RUFINO, Dulce Maria Saraiva. **Estudo dos Procedimentos de Dimensionamento e dos Novos Programas de Análise de Tensões em Pavimentos de Concreto**. 1997. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1997.

SHOUKRY, Samir N.; WILLIAM, Georgis W.; RIAD, Mourad Y.; MOTAMARRI, Sri Vani Sirisha: **Effect of Bonding Force on Stresses in Concrete Slabs**. West Virginia Departament of Transportation, Division of Highway, 2003. 128 p.

SILVA, Raquel Brito. **Placas de Pavimento Rígido de Concreto com Adição de Fibras de Aço**. 192 f. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia Civil. Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2005.

SUZUKI, Carlos Yukio; DOMINGUES, Felipe Augusto Aranha. **Considerações sobre o comportamento de pavimentos rodoviários**. Boletim Técnico EPUSP, 1992. Vol. 5. Departamento de Engenharia de Transportes da EPUSP (Escola Politécnica da Universidade de São Paulo). São Paulo, 1992. 25 p.

TELLER, Leslie W; CASHELL, Harry D. **Performance of Doweled Joints Under Repetitive Loading**. Public Roads, V. 30, No. 1. April 1958. 24 p

TERTULIANO, G. **Análise Experimental de Mecanismos de Transferência de Esforços Cisalhantes em Juntas de Pavimentos Rígidos**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia Civil. Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2005.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca. **Método para Dosagem de Concretos Auto-adensáveis**. 2004. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004.

VILAR, Walter. **Química e Tecnologia dos Poliuretanos/Durabilidade**. 2002. Disponível em <<http://www.poliuretanos.com.br/Cap8/813durabilidade.htm>> Acesso em: 14 de fevereiro de 2008

VULCANIZAR & CROSSLINKING, 2008. **Vulcanizar & Crosslinking: Artigos Técnicos**. Disponível em <<http://www.vulcanizar.com.br/arquivos/F14F00DC-2D22-466A-814B-BB668DC8E581.pdf>> Acesso: 12 de fevereiro de 2008.

WALKER, W. Wayne; HOLLAND, A. Jerry. **Plate Dowels for Slabs on Ground**. **Concrete Internacional**, pp 32-38. Julho 1998.

YU, Thomas H.; TAYABJI, Shiraz. **Best Pratices for Dowel Placement Tolerances**. CPTP (Concrete Pavement Technology Program). U. S. Departament of Transportation - Federal Highway Administration. FHWA-HIF-07-21. June-2007, 6 p.

APÊNDICE A

RESULTADOS DOS ENSAIOS

Este apêndice apresenta os dados obtidos nos ensaios realizados relacionados no item 3.3.4.

A.1 – COEFICIENTE DE RECALQUE

Tabela A. 2 – Ensaio de coeficiente de recalque antes da realização do 1º ensaio (04/06/2008)

Carga aplicada kN	Tensão kN/mm ²	Deslocamento (mm)			
		k	k1 *	k2 *	k3 *
0	-	-	-	-	-
10	0,00002	1,06	0,31	0,49	1,38
20	0,00004	1,66	0,63	0,72	2,04
30	0,00006	2,07	1,03	0,95	2,62
40	0,00008	2,37	1,52	1,16	3,35
50	0,00010	2,75	2,04	1,42	3,91
60	0,00012	3,03	2,60	1,54	4,46
70	0,00014	3,35	2,98	1,86	4,98
80	0,00016	3,65	3,36	2,16	5,33
90	0,00018	3,93	3,69	2,41	5,65
100	0,00020	4,17	3,93	2,56	5,97
110	0,00022	4,37	4,27	2,71	6,28
120	0,00024	4,60	4,47	2,87	6,55
130	0,00026	4,82	4,68	3,03	6,75
140	0,00028	5,01	4,90	3,26	6,93
150	0,00030	5,21	5,09	3,43	7,13
160	0,00032	5,36	5,28	3,55	7,31
170	0,00034	5,51	5,47	3,67	7,46
180	0,00036	5,65	5,65	3,84	7,62
190	0,00038	5,79	5,81	3,93	-
200	0,00040	5,91	5,98	4,04	-

* Resultados obtidos no estudo experimental de Fleury (2006)

A.2 – DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS E VERTICAIS

(* Não houve leitura durante o ensaio experimental; ** Leituras perdidas)

Nos ensaios realizados a carga Q1 é a carga que se espera que seja aplicada e Q2 é a carga obtida na realização dos ensaios.

Tabela A. 3 – Leituras dos deflectômetros - placa C20-16SB (08/06/2007)

CARGA (kN)		DESLOCAMENTOS (mm)									
Q1	Q2	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	*
4,00	4,05	-0,01	-	-0,06	-0,06	-0,06	-0,07	-0,07	-0,03	*	*
8,00	8,15	-0,04	-	-0,13	-0,13	-0,14	-0,15	-0,14	-0,07	*	*
12,00	12,75	-0,07	-	-0,21	-0,22	-0,23	-0,24	-0,22	-0,11	*	*
16,00	16,50	-0,10	-	-0,31	-0,30	-0,33	-0,34	-0,29	-0,14	*	*
20,00	20,30	-0,12	-	-0,39	-0,36	-0,40	-0,41	-0,35	-0,16	*	*
24,00	24,10	-0,14	-	-0,49	-0,42	-0,48	-0,50	-0,41	-0,19	*	*
28,00	28,35	-0,16	-	-0,59	-0,50	-0,58	-0,59	-0,48	-0,21	*	*
32,00	32,25	-0,17	-	-0,69	-0,56	-0,67	-0,68	-0,55	-0,24	*	*
36,00	36,30	-0,19	-	-0,80	-0,62	-0,76	-0,77	-0,61	-0,26	*	*
40,00	40,30	7,98	1,65	-1,37	-3,78	-4,72	-1,28	-0,01	4,75	*	*
45,00	45,10	9,22	2,23	-1,84	-3,78	-5,71	-1,28	-0,01	5,32	*	*
50,00	51,00	10,56	2,64	-2,30	-3,78	-6,23	-1,71	0,02	5,87	*	*
55,00	55,50	11,77	3,08	-2,67	-4,24	-6,70	-2,16	0,14	6,46	*	*
60,00	60,25	12,70	3,40	-2,96	-4,61	-7,13	-2,58	0,17	6,98	*	*

65,00	66,00	14,24	3,91	-3,33	-5,06	-7,60	-3,16	0,35	7,72	*	*
70,00	70,80	14,97	4,16	-3,55	-5,30	-7,96	-3,55	0,52	8,31	*	*
75,00	75,75	15,65	4,43	-3,80	-5,35	-8,44	-4,09	0,77	9,26	*	*
80,00	80,75	15,77	4,54	-4,13	-5,38	-8,87	-4,94	1,20	10,94	*	*
85,00	86,50	15,99	4,74	-4,40	-5,34	-9,64	-5,55	1,56	12,29	*	*
90,00	92,10	15,68	4,68	-4,40	-5,23	-10,94	-5,75	1,91	13,49	*	*
95,00	95,30	12,12	3,34	-3,33	-4,25	-10,94	-6,89	2,82	16,23	*	*
100,00	100,75	9,60	2,54	-2,47	-3,56	-10,94	-7,43	3,44	17,16	*	*
105,00	105,10	9,58	2,55	-2,52	-3,56	-10,94	-7,82	3,77	18,24	*	*
110,00	110,20	9,70	2,60	-2,59	-3,59	-10,94	-8,14	4,04	19,01	*	*
115,00	115,10	9,53	2,51	-2,38	-3,60	-10,94	-8,54	4,47	20,37	*	*
120,00	120,00	8,17	2,03	-2,05	-3,18	-10,94	-9,07	5,06	22,06	*	*
125,00	125,65	7,67	1,92	-2,04	-3,02	-10,94	-9,53	5,67	23,79	*	*
130,00	130,65	7,66	1,97	-2,04	-2,92	-10,94	-10,06	6,53	26,29	*	*
135,00	135,70	6,79	2,09	-1,98	-2,63	-10,94	-10,84	7,71	28,54	*	*
140,00	140,20	5,55	0,86	-0,01	-1,40	-10,94	-11,76	10,91	36,47	*	*

Tabela A. 4 – Leituras dos deflectômetros - placa C20-16B50 (13/06/2007)

CARGA (kN)		DESLOCAMENTOS (mm)									
Q1	Q2	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	*	*
4,00	4,10	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,04	0,00	*	*
8,00	8,10	-0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,10	-0,02	*	*
12,00	12,50	-0,04	0,00	-0,06	0,00	0,00	-0,03	-0,17	-0,04	*	*
16,00	16,40	-0,06	0,00	-0,13	0,00	0,00	-0,10	-0,23	-0,06	*	*
20,00	20,05	-0,07	0,00	-0,27	-0,01	-0,08	-0,19	-0,37	-0,09	*	*
24,00	23,95	-0,10	-0,08	-0,34	-0,09	-0,16	-0,41	-0,42	-0,10	*	*
28,00	28,20	5,43	1,30	-3,55	-3,23	-3,12	-3,68	0,16	4,67	*	*
33,00	32,90	7,07	1,82	-3,55	-3,87	-3,76	-4,30	0,34	5,88	*	*
38,00	38,35	8,80	2,33	-4,00	-4,48	-4,37	-4,84	0,43	7,00	*	*
43,00	43,05	10,26	2,85	-4,58	-5,01	-4,93	-5,30	0,61	7,19	*	*
48,00	47,95	11,36	3,22	-5,00	-5,40	-5,38	-5,68	0,73	7,19	*	*
53,00	53,20	12,44	3,56	-5,46	-5,90	-5,85	-5,79	0,86	7,35	*	*
58,00	58,00	12,43	4,03	-5,90	-6,27	-6,33	-5,87	1,01	7,35	*	*
63,00	63,15	12,43	4,43	-6,35	-6,62	-6,83	-5,89	1,20	7,36	*	*
68,00	68,00	12,43	4,73	-6,70	-6,83	-7,08	-5,91	1,39	7,36	*	*
73,00	73,15	12,95	5,22	-7,01	-6,83	-7,35	-5,96	1,65	7,36	*	*
78,00	78,00	13,56	5,20	-7,36	-7,37	-7,64	-6,01	1,74	7,35	*	*
83,00	83,15	13,62	4,84	-7,74	-8,13	-8,10	-5,90	1,77	7,83	*	*
88,00	88,30	13,67	3,96	-8,24	-9,58	-8,58	-5,90	2,95	10,05	*	*
93,00	93,35	12,68	3,54	-8,48	-9,86	-8,66	-6,03	3,42	11,38	*	*
98,00	98,10	11,60	3,22	-8,85	-10,14	-8,66	-6,01	4,02	13,01	*	*
103,00	103,10	10,82	3,05	-9,17	-10,38	-8,87	-5,93	4,51	14,43	*	*
108,00	108,30	9,49	2,94	-9,51	-10,75	-8,96	-6,00	5,39	16,73	*	*
113,00	113,10	8,76	2,94	-9,80	-10,98	-8,99	-6,00	6,02	17,22	*	*
118,00	118,10	7,93	1,35	-10,45	-14,52	-9,06	-6,00	2,78	16,23	*	*

Tabela A. 5 – Leituras dos deflectômetros - placa C20-16B40 (21/06/2007)

CARGA (kN)		DESLOCAMENTOS (mm)									
Q1	Q2	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,00	4,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8,00	8,70	-0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,00	0,01
12,00	12,50	-0,04	0,00	-0,10	-0,08	0,00	-0,09	-0,07	-0,04	0,00	0,01
16,00	18,20	-0,08	0,00	-0,26	-0,21	0,00	-0,21	-0,18	-0,12	0,00	0,01
20,00	20,20	-0,10	0,00	-0,31	-0,26	-0,02	-0,26	-0,22	-0,13	0,00	0,01
24,00	24,10	-0,16	0,01	-0,31	-0,40	-0,09	-0,36	-0,33	-0,19	-0,01	0,02
28,00	28,10	-0,19	0,01	-0,42	-0,50	-0,18	-0,46	-0,40	-0,23	-0,01	0,02
32,00	32,40	-0,20	0,01	-0,49	-0,59	-0,28	-0,56	-0,47	-0,26	0,00	0,00
36,00	36,35	-0,31	0,01	-0,59	-0,83	-0,37	-0,67	-0,63	-0,31	0,00	-0,01
40,00	40,60	-0,33	0,01	-0,69	-0,92	-0,48	-0,78	-0,70	-0,34	0,00	-0,01
45,00	45,25	2,67	1,55	-3,75	-3,55	-3,45	-3,82	-0,34	3,06	0,22	-0,41

50,00	50,55	2,67	2,17	-4,23	-4,14	-4,41	-4,81	-0,31	4,08	0,30	-0,41
55,00	54,05	2,67	2,45	-4,23	-4,14	-4,77	-5,18	-0,35	4,46	0,37	-0,41
60,00	60,40	4,45	3,12	-4,82	-4,14	-5,42	-5,84	-0,30	5,26	0,30	-0,41
65,00	65,40	5,47	3,43	-5,40	-4,86	-5,69	-6,28	-0,09	5,50	0,29	-0,42
70,00	69,80	6,42	3,63	-5,95	-4,86	-5,69	-6,65	0,42	5,53	0,31	-0,42
75,00	75,10	7,12	3,62	-6,35	-4,92	-5,69	-6,84	1,05	5,45	0,36	-0,42
80,00	81,00	7,12	3,70	-6,77	-4,92	-5,69	-7,23	1,63	5,38	0,36	-0,42
85,00	84,35	7,12	3,70	-6,89	-4,92	-5,69	-7,55	1,80	5,62	0,32	-0,41
90,00	88,65	7,12	3,95	-6,89	-5,22	-5,91	-7,81	1,92	5,87	0,31	-0,42
95,00	94,40	7,12	3,95	-6,89	-5,40	-6,16	-8,08	2,31	6,09	0,30	-0,41
100,00	99,60	8,87	3,95	-6,89	-5,40	-6,51	-8,37	2,81	6,34	0,28	-0,38
105,00	104,10	9,53	6,00	-6,95	-5,40	-6,83	-8,64	2,81	7,18	0,40	-0,41
110,00	109,45	10,64	6,40	-6,96	-5,40	-7,15	-8,95	2,85	7,51	0,38	-0,41
115,00	114,90	11,21	6,65	-7,14	-5,56	-7,39	-9,21	2,92	7,98	0,32	-0,41
120,00	119,80	12,24	7,07	-7,40	-5,75	-7,75	-9,50	2,96	8,27	0,30	-0,41
125,00	124,80	13,12	7,40	-7,64	-5,92	-8,04	-9,79	3,06	8,85	0,22	-0,41
130,00	129,30	13,88	7,69	-7,85	-6,10	-8,28	-10,02	3,11	9,02	0,17	-0,41
135,00	134,70	14,68	7,93	-7,90	-6,25	-8,55	-10,26	3,18	9,02	0,13	-0,42
140,00	139,70	15,77	**	-7,90	-6,46	-8,90	-10,60	3,25	9,02	0,06	-0,42
145,00	144,75	16,39	**	-7,90	-6,64	-9,21	-10,92	3,37	9,26	0,02	-0,41
150,00	149,50	17,08	**	-7,90	-6,77	-9,44	-11,14	3,44	9,63	-0,03	-0,41
155,00	154,30	17,91	**	-7,90	-6,90	-9,70	-11,31	3,51	10,05	-0,10	-0,41
160,00	159,50	19,02	**	-8,03	-7,06	-10,01	**	3,62	10,51	-0,14	-0,41
165,00	164,35	19,94	**	-8,12	-7,26	-10,30	**	3,35	10,28	-0,31	-0,38
170,00	169,10	20,69	**	-8,14	-7,31	-10,41	**	3,07	9,80	-0,56	-0,18
175,00	174,60	21,88	**	-8,15	-7,59	-10,58	**	2,49	8,95	-1,00	**

Tabela A. 6 – Leituras dos deflectômetros - placa C20-16B30 (20/07/2007)

CARGA (kN)		DESLOCAMENTOS (mm)									
Q1	Q2	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**
4,00	4,15	-0,01	-0,05	-0,09	-0,08	-0,08	-0,09	-0,08	-0,04	0,00	**
8,00	8,10	-0,02	-0,10	-0,21	-0,17	-0,17	-0,21	-0,16	-0,10	0,00	**
12,00	12,35	-0,04	-0,18	-0,33	-0,28	-0,28	-0,33	-0,25	-0,16	0,00	**
16,00	16,10	-0,07	-0,25	-0,43	-0,37	-0,37	-0,43	-0,33	-0,20	0,00	**
20,00	20,10	-0,10	-0,32	-0,54	-0,48	-0,48	-0,54	-0,41	-0,24	0,00	**
24,00	24,40	-0,11	-0,39	-0,65	-0,59	-0,59	-0,65	-0,49	-0,27	0,00	**
28,00	28,60	-0,13	-0,47	-0,77	-0,71	-0,71	-0,77	-0,58	-0,30	0,00	**
32,00	32,15	2,02	-0,68	-2,14	-1,93	-3,22	-3,10	-0,06	0,01	-0,10	**
37,00	37,55	2,46	-0,70	-2,43	-2,19	-3,61	-3,44	-0,10	0,45	-0,13	**
42,00	42,15	3,01	-0,71	-2,67	-2,42	-4,01	-3,81	-0,14	0,85	-0,16	**
47,00	47,50	3,68	-0,65	-2,96	-2,68	-4,61	-4,36	-0,17	1,41	-0,24	**
52,00	52,15	4,22	-0,62	-3,20	-2,91	-4,98	-4,71	-0,18	1,83	-0,24	**
57,00	57,10	4,85	-0,51	-3,46	-3,15	-5,35	-5,07	-0,21	2,18	-0,24	**
62,00	61,60	5,36	-0,45	-3,70	-3,37	-5,66	-5,38	-0,23	2,53	-0,24	**
67,00	66,80	5,88	-0,38	-3,98	-3,62	-6,02	-5,69	-0,24	2,79	-0,24	**
72,00	72,15	6,53	-0,25	-4,26	-3,89	-6,51	-6,19	-0,24	3,33	-0,22	**
77,00	77,40	6,89	0,00	-4,50	-4,10	-6,89	-6,53	-0,21	3,69	-0,21	**
82,00	81,80	7,29	0,10	-4,77	-4,38	-7,16	-6,80	-0,19	4,05	-0,19	**
87,00	87,20	7,91	0,24	-5,03	-4,59	-7,42	-7,05	-0,16	4,44	-0,17	**
92,00	92,15	8,63	0,43	-5,36	-4,90	-7,76	-7,43	-0,10	4,95	-0,15	**
97,00	97,80	9,31	0,62	-5,64	-5,15	-8,07	-7,61	-0,05	5,26	-0,12	**
102,00	101,40	9,81	0,79	-5,79	-5,34	-8,35	-7,93	0,02	5,77	-0,08	**
107,00	107,00	10,48	1,00	-6,09	-5,53	-8,56	-8,15	0,06	6,07	-0,06	**
112,00	112,00	10,48	1,00	-6,09	-5,53	-8,56	-8,15	0,06	6,07	-0,06	**
117,00	117,00	11,83	1,44	-6,61	-5,99	-8,96	-8,73	0,20	6,94	0,03	**
122,00	122,00	12,11	1,91	-6,91	-6,16	-9,46	-9,03	0,41	7,48	0,06	**
127,00	127,00	12,67	2,04	-7,07	-6,32	-9,65	-9,23	0,40	7,84	0,11	**
132,00	132,10	13,18	2,27	-7,07	-6,28	-9,69	-9,22	0,49	7,91	0,15	**
137,00	137,80	14,13	2,60	-7,59	-6,63	-10,20	-9,77	0,64	8,92	0,19	**
142,00	142,10	14,90	2,89	-7,63	-6,65	-10,26	-9,78	0,73	8,92	0,25	**

147,00	147,00	14,90	2,79	-8,05	-7,40	-10,87	-10,43	0,69	9,68	0,37	**
152,00	154,60	14,91	3,51	-8,24	-7,43	-11,64	-10,83	0,96	9,68	0,46	**
157,00	158,00	14,91	3,75	-8,56	-7,82	-11,61	-11,15	1,02	9,68	0,53	**
162,00	162,15	14,91	4,09	-8,96	-8,16	-12,09	-11,64	1,24	9,68	0,67	**
167,00	166,25	14,91	4,58	-9,29	-8,37	-12,63	**	1,48	9,68	0,85	**
172,00	174,00	14,91	4,58	-9,29	-8,37	-12,63	**	1,48	9,68	0,85	**
182,00	182,00	14,91	4,58	-9,29	-8,37	-12,63	**	1,48	9,68	0,85	**
192,00	194,00	14,91	7,10	-10,10	-8,62	-13,54	**	2,19	5,93	1,06	**
202,00	202,00	16,48	7,72	-10,45	-8,96	-14,19	**	2,42	7,04	1,27	**
207,00	209,05	16,69	7,77	-10,65	-9,51	-14,47	**	2,39	7,63	1,43	**
212,00	212,60	16,69	8,01	-10,79	-9,69	-14,53	**	2,48	8,15	1,53	**
217,00	216,40	16,69	8,04	-10,96	-10,03	-14,53	**	2,54	8,74	1,70	**

Tabela A. 7 – Leituras dos deflectômetros - placa C20-12SB (17/08/2007)

CARGA (kN)		DESLOCAMENTOS (mm)									
Q1	Q2	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,18	1,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,40	3,95	0,00	-0,02	-0,07	-0,48	0,00	-0,08	-0,04	0,00	0,00	-0,04
0,80	7,95	0,00	-0,10	-0,21	-0,62	-0,12	-0,18	-0,12	-0,03	-0,01	-0,04
1,18	11,80	-0,04	-0,15	-0,32	-0,73	-0,23	-0,29	-0,19	-0,03	-0,01	-0,04
1,60	15,95	-0,04	-0,22	-0,46	-0,86	-0,36	-0,41	-0,28	-0,05	-0,02	-0,05
2,04	20,35	-0,05	-0,29	-0,61	-0,99	-0,49	-0,53	-0,36	-0,05	-0,02	-0,19
2,40	24,00	-0,06	-0,33	-0,73	-1,12	-0,62	-0,64	-0,44	-0,05	-0,02	-0,19
2,83	28,30	4,82	0,11	-2,73	-3,32	-2,46	-2,77	-0,12	2,79	-0,14	0,14
3,20	31,95	7,23	1,16	-3,50	-4,10	-3,23	-3,57	-0,04	3,74	-0,24	0,57
3,88	38,81	9,75	2,61	-3,89	-4,72	-4,00	-3,80	0,00	4,52	-0,28	0,80
4,34	43,35	11,41	3,25	-4,27	-5,32	-4,61	-4,28	0,12	5,54	-0,41	1,01
4,77	47,65	13,11	3,89	-4,65	-5,76	-5,17	-4,76	0,20	6,31	-0,48	1,32
5,30	53,00	13,12	4,49	-5,06	-6,16	-5,70	-5,27	0,27	6,93	-0,49	1,45
5,89	58,90	14,76	5,22	-5,51	-6,64	-6,31	-5,87	0,45	7,86	-0,59	1,74
6,30	63,00	15,96	5,69	-5,79	-6,89	-6,74	-6,32	0,58	8,59	-0,64	1,83
6,92	69,20	17,48	6,28	-6,20	-7,16	-7,30	-6,96	0,85	9,79	-0,72	2,25
7,32	73,20	18,18	6,60	-6,62	-7,20	-7,96	-7,71	1,35	11,36	-0,88	2,50
7,88	78,80	19,59	7,19	-7,10	-7,23	-8,90	-8,66	2,19	13,27	-1,11	3,32
7,92	79,20	16,23	5,89	-6,22	-6,21	-9,77	-9,61	4,80	13,27	-2,06	4,62
8,80	88,00	12,18	3,46	-4,56	-4,92	-9,77	-10,66	7,07	19,03	-2,75	6,45
9,28	92,80	12,18	3,05	-4,53	-4,89	-9,77	-11,52	8,16	19,21	-3,49	6,46

Tabela A. 8 – Leituras dos deflectômetros - placa C20-12B50 (10/08/2007)

CARGA (kN)		DESLOCAMENTOS (mm)									
Q1	Q2	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,00	5,25	0,02	0,00	-0,11	-0,14	-0,11	-0,13	-0,08	0,00	0,00	0,00
8,00	11,25	0,05	-0,12	-0,28	-0,35	-0,29	-0,35	-0,21	0,00	0,00	0,00
12,00	13,55	0,06	-0,17	-0,37	-0,83	-0,50	-0,46	-0,26	0,00	0,00	-0,01
16,00	16,50	0,08	-0,23	-0,47	-0,97	-0,54	-0,57	-0,34	0,00	0,00	-0,01
20,00	20,60	0,11	-0,30	-0,58	-1,13	-0,64	-0,69	-0,44	0,00	0,00	-0,01
25,00	25,70	4,97	0,85	-0,97	-3,59	-3,44	-3,49	-0,43	2,63	0,03	0,13
30,00	30,30	6,51	1,29	-1,62	-4,33	-4,24	-4,33	-0,45	3,36	0,03	0,18
35,00	34,35	8,35	1,81	-2,30	-4,90	-4,87	-4,97	-0,48	3,83	0,04	0,26
40,00	39,45	9,67	2,24	-2,84	-5,41	-5,49	-5,59	-0,51	4,59	0,04	0,30
45,00	44,00	11,38	2,74	-3,47	-6,00	-6,15	-6,21	-0,55	5,19	0,05	0,36
50,00	50,80	13,40	3,40	-4,12	-6,58	-6,83	-6,89	-0,58	5,83	0,06	0,43
55,00	54,60	13,42	3,82	-4,57	-7,01	-7,35	-7,37	-0,61	6,28	0,07	0,48
60,00	61,30	14,85	4,62	-5,16	-7,36	-8,01	-8,03	-0,57	6,94	0,40	0,53
65,00	64,15	16,41	4,90	-5,44	-7,62	-8,36	-8,55	-0,57	7,29	0,43	0,56
70,00	69,50	18,04	5,54	-5,88	-7,93	-8,92	-9,12	-0,54	7,87	0,43	0,67
75,00	74,50	19,20	5,99	-6,16	-8,16	-9,30	-9,51	-0,54	8,16	0,43	0,91
80,00	79,20	20,19	6,37	-6,39	-8,34	-9,63	-9,83	-0,52	8,67	0,43	0,78
85,00	84,75	21,95	7,04	-6,76	-8,64	-10,12	-10,30	-0,50	9,17	0,44	-0,95
90,00	89,65	23,01	7,48	-6,98	-8,94	-10,46	-10,62	-0,50	9,38	0,44	-0,66

95,00	94,25	23,98	7,85	-7,20	-9,12	-10,75	-10,90	-0,49	9,84	0,46	-0,71
100,00	99,75	25,39	8,41	-7,44	-9,33	-11,12	-11,25	-0,45	10,28	0,47	-2,33
105,00	104,85	26,20	8,97	-7,72	-9,53	-11,49	-11,60	-0,41	10,69	0,49	-4,66
110,00	109,50	27,45	9,49	-7,90	-9,70	-11,85	-11,93	-0,35	11,15	0,51	-4,56
115,00	114,90	28,83	10,04	-8,09	-9,86	-12,19	-12,25	-0,31	11,59	0,53	-4,47
120,00	119,30	29,79	10,46	-8,25	-9,97	-12,46	-12,49	-0,28	11,79	0,53	-4,39
125,00	124,20	30,73	10,85	-8,40	-10,06	-12,69	-12,77	-0,23	12,28	0,56	-4,33
130,00	129,00	31,88	11,34	-8,58	-10,14	-12,98	-12,98	-0,18	12,65	0,59	-4,26
135,00	134,10	33,04	11,81	-8,75	-10,19	-13,28	-13,25	-0,12	13,05	0,61	-4,18
140,00	138,90	34,37	12,38	-9,04	-10,24	-13,69	-13,60	-0,06	13,51	0,65	-4,09
145,00	144,70	35,37	12,79	-9,17	-10,86	-13,93	-13,82	-0,01	13,86	0,69	-4,09
150,00	149,10	36,19	13,16	-9,30	-10,93	-14,16	-14,02	0,04	14,18	0,70	-4,09
155,00	154,60	36,82	13,73	-9,48	-10,95	-14,45	-14,30	0,15	14,67	0,74	-4,08
160,00	161,00	37,95	14,20	-9,61	-10,97	-14,71	-14,54	0,18	14,84	0,74	-4,08
165,00	164,50	39,06	14,68	-9,77	-10,89	-14,99	-14,78	0,29	15,44	0,80	-4,09
170,00	169,50	40,08	15,11	-9,89	-10,76	-15,22	-15,02	0,34	15,67	0,82	-4,10
175,00	174,20	41,30	15,70	-10,08	-10,60	-15,53	-15,31	0,45	16,33	0,88	-4,11
180,00	179,25	42,31	16,13	-10,19	-10,50	-15,75	-15,51	0,50	16,53	0,89	-4,12
185,00	183,60	43,44	16,58	-10,31	-10,44	-15,99	-15,74	0,63	17,14	0,96	-4,13
190,00	189,25	44,23	16,92	-10,41	-11,78	-16,18	-15,95	0,69	17,50	1,00	-4,14
195,00	195,80	45,55	16,93	-10,56	-11,79	-16,46	-16,21	0,77	17,82	1,05	-4,14
200,00	199,40	46,51	16,93	-10,71	-11,79	-16,75	-16,50	0,86	18,18	1,07	-4,15
205,00	204,50	47,29	16,93	-10,71	-11,79	-16,75	-16,50	0,86	18,18	1,07	-4,15

Tabela A. 9 – Leituras dos deflectômetros - placa C20-12B40 (02/08/2007)

CARGA (kN)		DESLOCAMENTOS (mm)									
0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,00	6,90	0,01	0,00	-0,17	-0,22	-0,17	-0,15	-0,13	0,02	0,00	-0,01
8,00	8,30	0,01	-0,02	-0,20	-0,26	-0,21	-0,20	-0,16	0,02	0,00	-0,01
12,00	12,50	0,02	-0,09	-0,32	-0,39	-0,33	-0,33	-0,24	0,01	0,00	-0,01
16,00	17,10	0,03	-0,15	-0,44	-0,53	-0,48	-0,49	-0,33	0,02	0,00	-0,01
20,00	22,30	0,05	-0,22	-0,59	-0,68	-0,62	-0,59	-0,42	0,03	0,00	-0,01
24,00	25,40	0,07	-0,28	-0,74	-0,79	-0,78	-0,91	-0,47	0,04	-0,01	0,00
28,00	28,00	4,26	0,87	-2,76	-2,89	-2,97	-1,82	-0,22	2,78	-0,09	0,32
33,00	34,10	7,01	1,68	-3,93	-3,97	-4,04	-2,47	-0,09	4,09	-0,25	0,65
38,00	38,20	8,54	2,07	-4,69	-4,55	-4,81	-3,11	0,00	5,03	-0,32	0,81
43,00	43,40	10,67	2,78	-5,34	-5,27	-5,23	-3,76	0,07	5,65	-0,36	1,06
48,00	48,70	11,20	3,21	-6,17	-6,01	-5,23	-3,97	0,25	6,90	-0,44	1,27
53,00	53,60	12,18	3,21	-6,49	-6,34	-5,57	-4,36	0,43	7,96	-0,52	1,50
58,00	59,50	14,21	3,21	-6,82	-6,80	-6,18	-4,92	0,60	8,81	-0,56	1,75
63,00	64,00	15,15	3,55	-6,82	-7,27	-6,69	-5,44	0,84	10,00	-0,66	1,89
68,00	69,10	17,18	4,25	-6,82	-7,68	-7,23	-5,96	1,03	10,76	-0,69	2,14
73,00	74,40	18,79	4,91	-7,21	-8,18	-7,83	-6,55	1,35	11,72	-0,80	2,35
78,00	79,00	20,26	5,43	-7,49	-8,50	-8,26	-6,95	1,54	11,72	-0,82	2,38
83,00	83,70	21,52	5,95	-7,78	-8,76	-8,63	-7,36	2,02	12,65	-0,96	2,38
88,00	88,60	22,92	6,41	-8,08	-9,23	-9,09	-7,50	2,24	13,94	-0,98	2,47
93,00	94,50	23,04	6,15	-8,50	-10,12	-9,61	-7,87	2,39	15,17	-1,06	2,81
98,00	98,20	23,04	6,25	-8,82	-10,67	-10,04	-8,30	2,55	15,96	-1,13	3,10
103,00	103,40	24,30	9,10	-9,18	-10,10	-10,55	-8,83	4,02	18,84	-1,51	3,41
108,00	109,10	26,86	10,08	-9,67	-10,39	-11,11	-8,89	4,88	21,13	-1,69	3,82
113,00	113,10	28,88	10,90	-10,14	-10,67	-11,11	-8,89	6,06	23,87	-1,95	4,30
118,00	118,20	32,71	12,44	-11,01	-10,67	-11,55	-9,45	9,00	31,03	-3,50	4,32

Tabela A. 10 – Leituras dos deflectômetros - placa C20-12B30 (26/07/2007)

CARGA (kN)		DESLOCAMENTOS (mm)									
Q1	Q2	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
0,00	1,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,00	4,15	0,00	-0,04	-0,04	-0,10	-0,02	-0,09	-0,04	0,01	0,01	0,00
8,00	8,65	0,01	-0,14	-0,24	-0,28	-0,18	-0,25	-0,12	0,06	0,01	0,00
12,00	12,05	0,01	-0,20	-0,39	-0,41	-0,30	-0,37	-0,19	0,08	0,01	0,00
16,00	16,05	-0,81	-0,20	-0,39	-0,42	-0,30	-0,37	-0,25	0,13	0,01	0,00
20,00	20,95	1,98	0,03	-3,91	-2,61	-3,70	-2,96	0,00	2,31	-0,03	0,12

25,00	26,30	3,61	0,44	-4,81	-3,44	-4,54	-3,14	0,12	3,48	-0,07	0,22
30,00	31,55	5,23	0,94	-5,64	-4,21	-5,23	-3,45	0,25	4,63	-0,09	0,32
35,00	36,20	5,69	1,49	-6,41	-5,00	-5,72	-3,73	0,41	5,76	-0,14	0,46
40,00	41,45	5,69	2,05	-7,09	-5,63	-6,21	-4,21	0,58	6,84	-0,23	0,59
45,00	46,95	5,69	2,62	-7,74	-6,28	-6,70	-4,69	0,76	7,94	-0,26	0,69
50,00	51,65	6,74	3,23	-8,29	-6,82	-7,19	-5,17	0,96	8,43	-0,31	0,83
55,00	56,25	7,30	3,73	-8,83	-7,45	-7,59	-5,54	1,14	8,44	-0,31	0,95
60,00	61,70	7,30	4,39	-9,29	-7,57	-8,08	-6,00	1,50	9,41	-0,31	1,06
65,00	66,25	7,30	5,00	-9,74	-7,98	-8,63	-6,53	1,72	10,27	-0,31	1,18
70,00	70,85	8,43	5,62	-10,10	-8,38	-9,05	-6,94	2,17	11,82	-0,31	1,29
75,00	77,45	10,73	6,57	-10,43	-8,75	-9,69	-7,55	2,77	13,60	-0,33	1,49
80,00	82,60	11,88	7,04	-10,43	-9,03	-10,04	-7,91	3,10	14,74	-0,64	1,58
85,00	85,80	13,52	7,09	-10,61	-9,47	-10,55	-8,39	3,54	16,24	-0,90	1,72
90,00	91,60	15,52	7,09	-10,96	-10,00	-11,12	-8,98	4,04	17,07	-0,90	1,79
95,00	96,30	16,68	7,57	-11,34	-10,24	-11,65	-9,46	4,95	17,07	-1,01	1,99
100,00	101,45	17,74	7,57	-12,19	-11,45	-11,97	-9,80	5,05	17,07	-1,03	2,06
105,00	106,85	21,08	9,49	-12,07	-11,19	-12,60	-10,50	5,84	17,91	-1,88	2,32
110,00	117,00	21,22	9,28	-12,27	-13,09	-12,69	-10,51	4,76	18,64	-3,28	2,64

Tabela A. 11 – Leituras dos deflectômetros - placa C30-12SB (11/09/2007)

CARGA (kN)		DESLOCAMENTOS (mm)									
Q1	Q2	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,00	4,05	-0,05	0,00	-0,11	-0,09	-0,08	-0,05	-0,05	0,00	0,00	0,00
8,00	8,15	-0,07	-0,08	-0,23	-0,22	-0,21	-0,18	-0,14	0,00	-0,01	0,00
12,00	12,75	-0,09	-0,17	-0,36	-0,35	-0,33	-0,31	-0,23	-0,04	-0,01	0,00
16,00	16,50	-0,11	-0,25	-0,48	-0,48	-0,46	-0,45	-0,32	-0,06	-0,01	0,00
20,00	20,30	-0,12	-0,33	-0,62	-0,62	-0,60	-0,60	-0,41	-0,08	-0,02	0,00
24,00	24,10	-0,14	-0,43	-0,78	-0,76	-0,73	-0,72	-0,50	-0,09	-0,03	0,00
28,00	28,35	-0,15	-0,51	-0,93	-0,90	-0,87	-0,85	-0,59	-0,09	-0,04	0,00
32,00	32,25	12,35	4,90	-2,75	-3,00	-2,20	-3,43	2,61	11,29	-1,04	2,61
35,00	35,29	13,33	5,24	-2,75	-3,00	-2,42	-3,63	2,74	11,86	-1,08	2,72
40,00	40,30	15,10	5,86	-2,75	-3,00	-2,90	-4,05	3,04	13,01	-1,17	2,90
45,00	45,10	17,49	6,73	-3,09	-3,39	-3,28	-4,73	3,45	14,58	-1,26	3,18
50,00	51,00	19,92	7,64	-3,42	-3,77	-3,64	-5,17	3,93	16,21	-1,34	3,49
55,00	55,50	22,50	8,68	-3,63	-3,95	-4,07	-5,85	4,58	18,41	-1,44	3,92
60,00	60,25	23,75	9,34	-3,62	-4,11	-4,50	-6,21	5,37	20,54	-1,60	4,28
65,00	66,00	25,47	10,06	-3,48	-4,23	-4,64	-6,61	6,30	23,12	-1,85	4,77
70,00	70,80	27,48	10,96	-3,11	-4,31	-4,64	-7,24	7,65	26,07	-2,59	5,51
75,00	75,75	29,09	11,57	-3,04	-4,45	-4,64	-7,78	8,90	29,30	-2,59	6,05
80,00	80,75	29,91	12,19	-2,20	-4,57	-5,25	-8,81	12,46	36,49	-2,59	8,09

Tabela A. 12 – Leituras dos deflectômetros - placa C30-12B50 (14/09/2007)

CARGA (kN)		DESLOCAMENTOS (mm)									
Q1	Q2	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
0,00	1,00	5,55	0,08	-3,97	-4,91	-3,94	-4,65	-0,33	4,26	0,00	0,48
4,00	4,35	6,89	0,27	-3,97	-5,70	-4,22	-5,35	-0,34	4,94	-0,01	0,63
8,00	8,85	8,10	0,57	-4,76	-6,43	-4,90	-6,08	-0,32	5,79	0,00	0,74
12,00	12,10	9,41	0,86	-5,35	-6,50	-5,38	-6,54	-0,27	6,43	-0,11	0,92
16,00	16,25	10,52	1,12	-5,89	-7,01	-5,91	-6,74	-0,25	7,02	-0,08	1,02
20,00	20,10	11,43	0,97	-6,54	-8,03	-6,39	-7,12	-0,82	7,11	-0,52	1,47
25,00	25,20	11,32	-0,34	-7,00	-8,43	-6,81	-7,52	-2,22	6,26	-1,77	3,21
30,00	30,10	10,92	-1,73	-7,50	-10,55	-7,33	-8,10	-3,57	5,66	-1,75	3,27
35,00	35,05	10,41	-2,53	-7,87	-11,98	-7,54	-8,45	-4,29	5,50	-1,51	3,10
40,00	40,15	9,78	-3,24	-7,73	-13,27	-7,54	-8,87	-4,91	5,48	-1,30	3,10
45,00	45,50	9,19	-3,98	-8,09	-14,71	-7,90	-9,30	-5,83	5,23	-1,03	2,88
50,00	50,25	8,43	-4,04	-8,40	-16,15	-8,26	-9,70	-6,89	4,89	-0,82	4,60
55,00	55,80	9,63	-3,70	-8,62	-16,35	-8,26	-9,98	-6,75	5,07	-0,73	4,68
60,00	60,25	10,85	-3,32	-8,84	-16,62	-8,26	-10,29	-6,60	5,77	-0,74	4,77
65,00	65,70	12,66	-2,65	-9,18	-15,12	-8,78	-10,70	-6,38	6,64	-0,73	4,91
70,00	70,10	14,03	-2,13	-9,15	-15,44	-9,35	-11,17	-6,10	7,62	-0,71	5,08
75,00	75,60	15,64	-1,56	-9,45	-15,69	-9,64	-11,51	-5,88	8,41	-0,69	5,27

4,00	3,98	0,03	0,00	-0,06	-0,08	-0,02	-0,01	-0,05	0,00	0,01	0,01
8,00	8,00	0,00	-0,09	-0,18	-0,25	-0,13	-0,14	-0,15	-0,04	0,00	-0,02
12,00	11,93	0,00	-0,20	-0,29	-0,37	-0,24	-0,25	-0,26	-0,09	0,00	-0,02
16,00	15,90	0,02	-0,25	-0,42	-0,51	-0,38	-0,38	-0,34	-0,12	0,00	-0,02
20,00	19,80	0,05	-0,32	-0,55	-0,65	-0,51	-0,51	-0,42	-0,14	0,00	-0,02
24,00	23,80	0,06	-0,39	-0,68	-0,78	-0,64	-0,64	-0,51	-0,15	0,00	-0,02
28,00	27,78	0,07	-0,46	-0,81	-0,91	-0,76	-0,77	-0,60	-0,16	0,00	-0,02
32,00	31,95	0,07	-0,54	-0,95	-1,05	-0,91	-0,91	-0,70	-0,16	0,00	-0,02
36,00	35,78	0,08	-0,61	-1,09	-1,19	-1,06	-1,05	-0,79	-0,16	0,00	-0,02
40,00	39,90	7,97	1,62	-4,60	-4,52	-4,74	-4,62	-0,23	4,45	0,01	0,78
45,00	45,45	9,13	2,08	-5,23	-5,13	-5,41	-5,27	-0,20	5,07	0,00	0,76
50,00	49,07	10,11	2,40	-5,63	-5,54	-5,86	-5,71	-0,16	5,56	0,01	0,81
55,00	54,24	11,26	2,74	-6,02	-5,92	-6,29	-6,15	-0,11	6,14	0,00	0,88
60,00	58,67	12,28	3,18	-6,35	-6,25	-6,71	-6,54	-0,04	6,71	0,01	0,84
65,00	66,04	13,40	3,43	-6,72	-6,62	-7,09	-6,96	0,02	7,15	0,01	1,00
70,00	69,49	14,45	3,80	-7,03	-6,94	-7,46	-7,33	0,10	7,67	0,00	1,04
75,00	76,60	15,49	4,17	-7,34	-7,23	-7,79	-7,67	0,19	8,20	-0,03	1,10
80,00	78,95	16,52	4,57	-7,64	-7,53	-8,17	-8,04	0,31	8,79	-0,07	1,15
85,00	84,39	18,07	5,10	-8,00	-7,88	-8,59	-8,46	0,42	9,44	-0,13	1,21
90,00	89,40	18,76	5,41	-8,22	-8,09	-8,84	-8,72	0,53	9,92	-0,18	1,23
95,00	94,05	19,75	5,77	-8,46	-8,31	-9,13	-8,99	0,64	10,46	-0,24	1,27
100,00	99,71	20,29	6,17	-8,69	-8,54	-9,43	-9,29	0,74	11,01	-0,34	1,33
105,00	104,59	20,97	6,73	-8,92	-8,71	-9,73	-9,59	0,96	11,68	-0,39	1,40
110,00	109,13	22,11	7,21	-9,15	-8,71	-10,04	-9,87	1,16	12,46	-0,49	1,47
115,00	114,70	23,40	7,71	-9,28	-8,85	-10,27	-9,88	1,28	12,95	-0,55	1,51
120,00	119,83	24,08	7,99	-9,58	-9,14	-10,71	-10,05	1,43	13,59	-0,59	1,51
125,00	124,43	25,52	8,57	-9,81	-9,36	-11,08	-10,42	1,60	14,26	-0,66	1,52
130,00	129,80	26,58	9,02	-10,02	-9,51	-11,46	-10,80	1,85	15,16	-0,77	1,55
135,00	134,21	27,84	9,56	-10,25	-9,70	-11,93	-11,31	2,11	16,09	-0,90	1,63
140,00	139,10	29,18	10,10	-10,51	-9,91	-12,32	-11,75	2,28	16,45	-1,04	1,67
145,00	143,90	30,13	10,51	-10,80	-10,06	-12,59	-12,02	2,45	16,45	-1,16	1,69
150,00	149,00	31,52	11,11	-10,91	-10,25	-12,99	-12,45	2,65	17,08	-1,25	1,70
155,00	153,78	32,65	11,58	-11,08	-10,38	-13,31	-12,79	2,81	17,79	-1,38	1,73
160,00	159,67	33,31	12,21	-11,25	-10,55	-13,75	-13,22	3,16	18,92	-1,58	1,75
165,00	164,01	35,08	12,93	-11,25	-10,77	-14,27	-13,71	3,41	19,84	-1,76	1,77
170,00	169,56	36,56	13,58	-11,34	-10,94	-14,79	-14,45	3,61	20,56	-1,92	1,77
175,00	176,09	38,22	14,32	-11,52	-11,14	-15,27	-14,94	3,84	21,42	-2,12	1,77
180,00	179,45	40,14	15,08	-11,68	-11,33	-15,77	-15,43	4,17	22,64	-2,36	1,84
185,00	184,46	41,41	15,63	-11,75	-11,44	-16,07	-15,74	4,34	23,22	-2,51	1,88
190,00	189,20	42,54	16,14	-11,82	-11,55	-16,39	-16,09	4,53	23,80	-2,67	1,91
195,00	194,19	43,94	16,76	-11,95	-11,69	-16,74	-16,48	4,68	23,81	-2,85	1,94
200,00	198,49	45,50	17,45	-12,11	-11,84	-17,07	-16,88	4,87	23,81	-3,06	1,97
205,00	204,19	45,78	18,29	-12,33	-12,04	-17,08	-17,08	5,21	24,55	-3,30	2,05
210,00	210,86	45,78	19,47	-12,54	-12,23	-17,08	-17,69	5,57	25,72	-3,58	2,10
215,00	214,36	48,65	20,30	-12,94	-12,28	-17,33	-18,37	5,92	27,05	-4,00	2,30
220,00	219,46	50,25	20,99	-13,08	-12,44	-17,71	-18,71	6,15	27,82	-4,23	2,34
225,00	223,39	51,91	21,77	-13,18	-12,57	-18,11	-19,11	6,39	28,64	-4,45	2,39
230,00	228,50	53,90	22,68	-13,35	-12,73	-18,53	-19,62	6,67	29,64	-4,73	2,44
235,00	232,65	56,11	23,69	-13,49	-12,89	-19,05	-20,15	6,94	30,64	-5,01	2,52
240,00	239,29	57,79	24,42	-13,63	-13,02	-19,45	-20,60	7,19	31,55	-5,28	3,13
245,00	244,05	58,96	26,00	-13,81	-13,23	-20,13	-21,37	7,41	32,19	-5,49	3,20
250,00	248,03	60,62	26,75	-13,92	-13,35	-20,57	-21,79	7,66	33,09	-5,74	3,31
255,00	254,60	63,09	27,86	-14,02	-13,48	-21,08	-22,38	7,95	34,06	-6,02	3,47
260,00	259,63	65,19	28,90	-14,12	-13,58	-21,24	-22,87	8,32	35,29	-6,36	3,58
265,00	264,80	67,87	30,09	-14,22	-13,70	-21,24	-23,52	8,59	36,20	-6,73	3,80

A.3 – CÉLULAS NA CAMADA DE BORRACHA E EFICIÊNCIA

As médias aritméticas d_u e d_L são obtidas a partir da leitura dos deflectômetros D3 e D4 no lado não carregado e D5 e D6 no lado carregado.

Tabela A. 17 – Leituras das células de carga e eficiência da placa C20-16SB

CARGA (kN)		CÉLULAS DE CARGA (kN)				EFICIÊNCIA		
Q1	Q2	C1	C2	C3	C4	d _u (mm)	d _L (mm)	E (%)
-	-	0,02	-	-	0,03	-	-	100%
4,00	4,05	0,03	-	-	0,04	-0,06	-0,07	95%
8,00	8,15	0,03	-	-	0,04	-0,13	-0,15	95%
12,00	12,75	0,04	-	-	0,05	-0,22	-0,24	96%
16,00	16,50	0,04	-	-	0,05	-0,31	-0,34	96%
20,00	20,30	0,05	-	-	0,06	-0,37	-0,41	96%
24,00	24,10	0,06	-	-	0,07	-0,45	-0,49	96%
28,00	28,35	0,06	-	-	0,08	-0,54	-0,59	96%
32,00	32,25	0,07	-	-	0,09	-0,63	-0,68	96%
36,00	36,30	0,08	-	-	0,10	-0,71	-0,77	97%
40,00	40,30	-	0,11	0,44	0,02	-2,57	-3,00	92%
45,00	45,10	-	0,15	0,64	0,02	-2,81	-3,50	89%
50,00	51,00	-	0,20	0,79	0,02	-3,04	-3,97	87%
55,00	55,50	-	0,25	0,94	0,02	-3,45	-4,43	88%
60,00	60,25	-	0,30	1,07	0,02	-3,78	-4,86	88%
65,00	66,00	-	0,36	1,28	0,02	-4,19	-5,38	88%
70,00	70,80	-	0,40	1,42	0,02	-4,42	-5,76	87%
75,00	75,75	-	0,41	1,56	0,01	-4,57	-6,27	84%
80,00	80,75	-	0,37	1,81	0,01	-4,75	-6,91	82%
85,00	86,50	-	0,37	2,00	0,00	-4,87	-7,60	78%
90,00	92,10	-	0,35	2,16	0,00	-4,81	-8,35	73%
95,00	95,30	-	0,20	2,38	-	-3,79	-8,92	60%
100,00	100,75	-	0,21	2,49	-	-3,01	-9,19	49%
105,00	105,10	-	0,24	2,59	-	-3,04	-9,38	49%
110,00	110,20	-	0,27	2,64	-	-3,09	-9,54	49%
115,00	115,10	-	0,28	2,73	-	-2,99	-9,74	47%
120,00	120,00	-	0,29	2,91	-	-2,61	-10,01	41%
125,00	125,65	-	0,30	2,90	-	-2,53	-10,24	40%
130,00	130,65	-	0,33	2,99	-	-2,48	-10,50	38%
135,00	135,70	-	0,38	3,09	-	-2,30	-10,89	35%
140,00	140,20	0,02	0,41	3,25	-	-0,70	-11,35	12%

Tabela A. 18 – Leituras das células de carga e eficiência da placa C20-16B50

CARGA (kN)		CÉLULAS DE CARGA (kN)				EFICIÊNCIA		
Q1	Q2	C1	C2	C3	C4	d _u (mm)	d _L (mm)	E (%)
-	-	0,04	-	-	0,04	0,00	0,00	100%
4,00	4,10	0,05	-	-	0,05	0,00	0,00	100%
8,00	8,10	0,05	-	-	0,05	0,00	0,00	100%
12,00	12,50	0,06	-	-	0,06	-0,03	-0,02	100%
16,00	16,40	0,07	-	-	0,07	-0,07	-0,05	100%
20,00	20,05	0,07	-	-	0,08	-0,14	-0,14	100%
24,00	23,95	0,08	-	-	0,09	-0,22	-0,29	97%
28,00	28,20	0,01	0,15	0,28	0,02	-3,39	-3,40	100%
33,00	32,90	0,00	0,27	0,50	0,01	-3,71	-4,03	100%
38,00	38,35	-	0,42	0,71	0,01	-4,24	-4,61	100%
43,00	43,05	-	0,52	0,87	0,01	-4,80	-5,12	100%
48,00	47,95	-	0,61	1,02	0,01	-5,20	-5,53	100%
53,00	53,20	-	0,70	1,16	0,01	-5,68	-5,82	100%
58,00	58,00	-	0,78	1,28	0,01	-6,09	-6,10	100%
63,00	63,15	-	0,86	1,41	0,01	-6,49	-6,36	100%
68,00	68,00	-	0,95	1,53	0,00	-6,77	-6,50	100%
73,00	73,15	-	1,02	1,66	0,00	-6,92	-6,66	100%
78,00	78,00	-	1,09	1,75	0,00	-7,37	-6,83	100%
83,00	83,15	-	1,15	1,87	-	-7,94	-7,00	100%
88,00	88,30	-	1,22	1,97	-	-8,91	-7,24	100%
93,00	93,35	-	1,29	2,10	-	-9,17	-7,35	100%
98,00	98,10	-	1,35	2,19	-	-9,50	-7,34	100%

103,00	103,10	-	1,41	2,29	-	-9,78	-7,40	100%
108,00	108,30	-	1,47	2,39	-	-10,13	-7,48	100%
113,00	113,10	-	1,54	2,47	-	-10,39	-7,50	100%
118,00	118,10	-	1,63	2,59	-	-12,49	-7,53	100%

Tabela A. 19 – Leituras das células de carga e eficiência da placa C20-16B40

CARGA (kN)		CÉLULAS DE CARGA (kN)				EFICIÊNCIA		
Q1	Q2	C1	C2	C3	C4	d _u (mm)	d _L (mm)	E (%)
0,00	0,00	-	-	-	0,04	0,00	0,00	100%
4,00	4,20	-	-	-	0,04	0,00	0,00	100%
8,00	8,70	0,01	-	-	0,04	-0,05	-0,02	100%
12,00	12,50	0,01	-	-	0,04	-0,09	-0,07	100%
16,00	18,20	0,02	-	-	0,05	-0,24	-0,17	100%
20,00	20,20	0,02	-	-	0,06	-0,29	-0,20	100%
24,00	24,10	0,02	-	-	0,06	-0,36	-0,27	100%
28,00	28,10	0,03	-	-	0,07	-0,46	-0,32	100%
32,00	32,40	0,03	-	-	0,08	-0,54	-0,42	100%
36,00	36,35	0,04	-	-	0,08	-0,71	-0,52	100%
40,00	40,60	0,05	-	-	0,09	-0,81	-0,63	100%
45,00	45,25	-	-	0,08	0,05	-3,65	-3,64	100%
50,00	50,55	-	-	0,14	0,05	-4,19	-4,61	95%
55,00	54,05	-	0,03	0,20	0,05	-4,19	-4,98	91%
60,00	60,40	-	0,08	0,31	0,04	-4,48	-5,63	89%
65,00	65,40	-	0,14	0,44	0,04	-5,13	-5,99	92%
70,00	69,80	-	0,20	0,56	0,04	-5,41	-6,17	93%
75,00	75,10	-	0,26	0,65	0,04	-5,64	-6,27	95%
80,00	81,00	-	0,34	0,78	0,04	-5,85	-6,46	95%
85,00	84,35	-	0,39	0,88	0,04	-5,91	-6,62	94%
90,00	88,65	-	0,45	0,93	0,04	-6,06	-6,86	94%
95,00	94,40	-	0,51	1,01	0,03	-6,15	-7,12	93%
100,00	99,60	-	0,58	1,12	0,03	-6,15	-7,44	90%
105,00	104,10	-	0,65	1,22	0,03	-6,18	-7,74	89%
110,00	109,45	-	0,71	1,31	0,02	-6,18	-8,05	87%
115,00	114,90	-	0,77	1,40	0,02	-6,35	-8,30	87%
120,00	119,80	-	0,83	1,49	0,02	-6,58	-8,63	87%
125,00	124,80	-	0,90	1,58	0,02	-6,78	-8,92	86%
130,00	129,30	-	0,96	1,63	0,02	-6,98	-9,15	87%
135,00	134,70	-	1,01	1,72	0,01	-7,08	-9,41	86%
140,00	139,70	-	1,07	1,79	0,01	-7,18	-9,75	85%
145,00	144,75	-	1,12	1,87	0,01	-7,27	-10,07	84%
150,00	149,50	-	1,17	1,95	0,01	-7,34	-10,29	83%
155,00	154,30	-	1,21	2,02	0,01	-7,40	-10,51	83%
160,00	159,50	-	1,27	2,10	0,01	-7,55	-10,01	86%
165,00	164,35	-	1,26	2,13	0,01	-7,69	-10,30	85%
170,00	169,10	-	1,24	2,16	0,02	-7,73	-10,41	85%
175,00	174,60	-	1,19	2,17	0,04	-7,87	-10,58	85%

Tabela A. 20 – Leituras das células de carga e eficiência da placa C20-16B30

CARGA (kN)		CÉLULAS DE CARGA (kN)				EFICIÊNCIA		
Q1	Q2	C1	C2	C3	C4	d _u (mm)	d _L (mm)	E (%)
0,00	0,00	0,01	-	-	0,02	0,00	0,00	100%
4,00	4,15	0,01	-	-	0,02	-0,09	-0,09	100%
8,00	8,10	0,02	-	-	0,03	-0,19	-0,19	100%
12,00	12,35	0,02	-	-	0,04	-0,31	-0,31	100%
16,00	16,10	0,02	-	-	0,04	-0,40	-0,40	100%
20,00	20,10	0,03	-	-	0,05	-0,51	-0,51	100%
24,00	24,40	0,04	-	-	0,06	-0,62	-0,62	100%
28,00	28,60	0,04	-	-	0,06	-0,74	-0,74	100%
32,00	32,15	0,05	-	0,18	0,06	-2,04	-3,16	78%
37,00	37,55	0,04	0,04	0,32	0,06	-2,31	-3,53	79%
42,00	42,15	0,04	0,08	0,45	0,06	-2,55	-3,91	79%
47,00	47,50	0,03	0,16	0,60	0,06	-2,82	-4,49	77%

52,00	52,15	0,03	0,26	0,72	0,06	-3,05	-4,85	77%
57,00	57,10	0,02	0,36	0,82	0,06	-3,31	-5,21	78%
62,00	61,60	0,02	0,45	0,92	0,06	-3,54	-5,52	78%
67,00	66,80	0,01	0,55	1,03	0,06	-3,80	-5,86	79%
72,00	72,15	0,01	0,66	1,16	0,06	-4,07	-6,35	78%
77,00	77,40	0,00	0,78	1,25	0,05	-4,30	-6,71	78%
82,00	81,80	-	0,88	1,35	0,05	-4,57	-6,98	79%
87,00	87,20	-	0,94	1,41	0,05	-4,81	-7,24	80%
92,00	92,15	-	1,06	1,53	0,04	-5,13	-7,60	81%
97,00	97,80	-	1,08	1,52	0,03	-5,39	-7,84	82%
102,00	101,40	-	1,18	1,52	0,03	-5,56	-8,14	81%
107,00	107,00	-	1,23	1,76	0,03	-5,81	-8,36	82%
112,00	112,00	-	1,30	1,83	0,03	-5,81	-8,36	82%
117,00	117,00	-	1,29	1,77	0,02	-6,30	-8,85	83%
122,00	122,00	-	1,42	1,97	0,02	-6,53	-9,25	83%
127,00	127,00	-	1,48	2,00	0,02	-6,69	-9,44	83%
132,00	132,10	-	1,27	1,77	0,01	-6,67	-9,46	83%
137,00	137,80	-	1,59	2,28	0,01	-7,11	-9,99	83%
142,00	142,10	-	1,37	1,96	0,01	-7,14	-10,02	83%
147,00	147,00	-	1,64	2,44	0,00	-7,72	-10,65	84%
152,00	154,60	-	1,78	2,58	0,00	-7,83	-11,24	82%
157,00	158,00	-	1,62	2,53	0,00	-8,19	-11,38	84%
162,00	162,15	-	1,89	2,79	-	-8,56	-11,87	84%
167,00	166,25	-	1,92	2,89	-	-8,83	-12,63	82%
172,00	174,00	-	1,90	2,89	-	-8,83	-12,63	82%
182,00	182,00	-	2,04	3,05	-	-8,83	-12,63	82%
192,00	194,00	-	2,00	3,05	-	-9,36	-13,54	82%
202,00	202,00	-	2,10	3,27	-	-9,70	-14,19	81%
207,00	209,05	-	2,12	3,32	-	-10,08	-14,47	82%
212,00	212,60	-	2,14	3,36	-	-10,24	-14,53	83%
217,00	216,40	-	2,17	3,48	-	-10,49	-14,53	84%

Tabela A. 21 – Leituras das células de carga e eficiência da placa C20-12SB

CARGA (kN)		CÉLULAS DE CARGA (kN)				EFICIÊNCIA		
Q1	Q2	C1	C2	C3	C4	d _u (mm)	d _L (mm)	E (%)
0,00	0,00	0,02	-	-	0,02	0,00	0,00	100%
0,18	1,80	0,01	-	-	0,03	0,00	0,00	100%
0,40	3,95	0,02	-	-	0,03	-0,28	-0,04	100%
0,80	7,95	0,02	-	-	0,04	-0,42	-0,15	100%
1,18	11,80	0,03	-	-	0,05	-0,53	-0,26	100%
1,60	15,95	0,04	-	-	0,06	-0,66	-0,39	100%
2,04	20,35	0,05	-	-	0,07	-0,80	-0,51	100%
2,40	24,00	0,05	-	-	0,08	-0,93	-0,63	100%
2,83	28,30	-	0,05	0,18	0,02	-3,03	-2,62	100%
3,20	31,95	-	0,13	0,32	0,02	-3,80	-3,40	100%
3,88	38,81	-	0,33	0,55	0,01	-4,31	-3,90	100%
4,34	43,35	-	0,47	0,70	0,01	-4,80	-4,45	100%
4,77	47,65	-	0,62	0,85	0,01	-5,21	-4,97	100%
5,30	53,00	-	0,74	0,97	0,01	-5,61	-5,49	100%
5,89	58,90	-	0,88	1,11	0,00	-6,08	-6,09	100%
6,30	63,00	-	0,95	1,25	0,00	-6,34	-6,53	99%
6,92	69,20	-	1,20	1,35	0,00	-6,68	-7,13	97%
7,32	73,20	-	1,01	1,55	-	-6,91	-7,84	94%
7,88	78,80	-	1,03	1,72	-	-7,17	-8,78	90%
7,92	79,20	-	0,76	2,09	-	-6,22	-9,69	78%
8,80	88,00	-	0,74	2,34	0,00	-4,74	-10,22	63%
9,28	92,80	-	0,79	2,47	0,00	-4,71	-10,65	61%

Tabela A. 22 – Leituras das células de carga e eficiência da placa C20-12B50

CARGA (kN)		CÉLULAS DE CARGA (kN)				EFICIÊNCIA		
Q1	Q2	C1	C2	C3	C4	d _u (mm)	d _L (mm)	E (%)
0,00	1,00	0,01	-	-	0,04	0,00	0,00	100%

4,00	5,25	0,02	-	-	0,05	-0,13	-0,12	100%
8,00	11,25	0,03	-	-	0,07	-0,32	-0,32	99%
12,00	13,55	0,04	-	-	0,07	-0,60	-0,48	100%
16,00	16,50	0,05	-	-	0,08	-0,72	-0,56	100%
20,00	20,60	0,06	-	-	0,09	-0,86	-0,67	100%
25,00	25,70	-	-	0,06	0,06	-2,28	-3,47	79%
30,00	30,30	-	0,04	0,13	0,06	-2,98	-4,29	82%
35,00	34,35	-	0,10	0,24	0,06	-3,60	-4,92	85%
40,00	39,45	-	0,23	0,38	0,06	-4,13	-5,54	85%
45,00	44,00	-	0,36	0,54	0,06	-4,74	-6,18	87%
50,00	50,80	-	0,53	0,68	0,06	-5,35	-6,86	88%
55,00	54,60	-	0,68	0,84	0,06	-5,79	-7,36	88%
60,00	61,30	-	0,82	0,98	0,06	-6,26	-8,02	88%
65,00	64,15	-	0,92	1,08	0,06	-6,53	-8,46	87%
70,00	69,50	-	1,01	1,22	0,06	-6,91	-9,02	87%
75,00	74,50	-	1,11	1,31	0,05	-7,16	-9,41	86%
80,00	79,20	-	1,19	1,42	0,05	-7,37	-9,73	86%
85,00	84,75	-	1,27	1,54	0,05	-7,70	-10,21	86%
90,00	89,65	-	1,34	1,62	0,05	-7,96	-10,54	86%
95,00	94,25	-	1,41	1,70	0,04	-8,16	-10,83	86%
100,00	99,75	-	1,47	1,78	0,04	-8,39	-11,19	86%
105,00	104,85	-	1,53	1,87	0,04	-8,63	-11,55	86%
110,00	109,50	-	1,60	1,95	0,03	-8,80	-11,89	85%
115,00	114,90	-	1,64	2,03	0,03	-8,98	-12,22	85%
120,00	119,30	-	1,69	2,11	0,03	-9,11	-12,48	84%
125,00	124,20	-	1,74	2,20	0,02	-9,23	-12,73	84%
130,00	129,00	-	1,78	2,28	0,02	-9,36	-12,98	84%
135,00	134,10	-	1,83	2,38	0,02	-9,47	-13,27	83%
140,00	138,90	-	1,87	2,44	0,02	-9,64	-13,65	83%
145,00	144,70	-	1,92	2,52	0,01	-10,02	-13,88	84%
150,00	149,10	-	1,95	2,60	0,01	-10,12	-14,09	84%
155,00	154,60	-	2,01	2,69	0,01	-10,22	-14,38	83%
160,00	161,00	-	2,04	2,78	0,01	-10,29	-14,63	83%
165,00	164,50	-	2,08	2,82	0,01	-10,33	-14,89	82%
170,00	169,50	-	2,13	2,91	0,01	-10,33	-15,12	81%
175,00	174,20	-	2,13	3,00	0,00	-10,34	-15,42	80%
180,00	179,25	-	2,14	3,06	0,00	-10,35	-15,63	80%
185,00	183,60	-	2,18	3,13	0,00	-10,38	-15,87	79%
190,00	189,25	-	2,18	3,21	0,00	-11,10	-16,07	82%
195,00	195,80	-	2,19	3,28	0,00	-11,18	-16,34	81%
200,00	199,40	-	2,20	3,34	0,00	-11,25	-16,63	81%
205,00	204,50	-	1,93	3,38	0,00	-11,25	-16,63	81%

Tabela A. 23 – Leituras das células de carga e eficiência da placa C20-12B40

CARGA (kN)		CÉLULAS DE CARGA (kN)				EFICIÊNCIA		
Q1	Q2	C1	C2	C3	C4	d _u (mm)	d _t (mm)	E (%)
0,00	1,00	0,02	-	-	0,02	0,00	0,00	100%
4,00	6,90	0,02	-	-	0,03	-0,20	-0,16	100%
8,00	8,30	0,02	-	-	0,04	-0,23	-0,21	100%
12,00	12,50	0,03	-	-	0,04	-0,36	-0,33	100%
16,00	17,10	0,03	-	-	0,05	-0,49	-0,49	100%
20,00	22,30	0,04	-	-	0,06	-0,64	-0,61	100%
24,00	25,40	0,05	-	-	0,07	-0,77	-0,85	95%
28,00	28,00	-	-	0,06	0,02	-2,83	-2,40	100%
33,00	34,10	-	0,03	0,10	0,02	-3,95	-3,26	100%
38,00	38,20	-	0,09	0,15	0,01	-4,62	-3,96	100%
43,00	43,40	-	0,20	0,25	0,01	-5,31	-4,50	100%
48,00	48,70	-	0,32	0,36	0,01	-6,09	-4,60	100%
53,00	53,60	-	0,48	0,46	0,01	-6,42	-4,97	100%
58,00	59,50	-	0,61	0,57	0,00	-6,81	-5,55	100%
63,00	64,00	-	0,74	0,67	0,00	-7,05	-6,07	100%

68,00	69,10	-	0,83	0,77	-	-7,25	-6,60	100%
73,00	74,40	-	0,93	0,89	-	-7,70	-7,19	100%
78,00	79,00	-	1,00	0,97	-	-8,00	-7,61	100%
83,00	83,70	-	1,10	1,08	-	-8,27	-8,00	100%
88,00	88,60	-	1,22	1,17	-	-8,66	-8,30	100%
93,00	94,50	-	1,29	1,25	-	-9,31	-8,74	100%
98,00	98,20	-	1,37	1,35	-	-9,75	-9,17	100%
103,00	103,40	-	1,45	1,48	-	-9,64	-9,69	100%
108,00	109,10	-	1,53	1,60	-	-10,03	-10,00	100%
113,00	113,10	-	1,61	1,72	-	-10,41	-10,00	100%
118,00	118,20	-	1,76	1,92	-	-10,84	-10,50	100%

Tabela A. 24 – Leituras das células de carga e eficiência da placa C20-12B30

CARGA (kN)		CÉLULAS DE CARGA (kN)				EFICIÊNCIA		
Q1	Q2	C1	C2	C3	C4	d _u (mm)	d _L (mm)	E (%)
0,00	1,45	0,01	-	-	0,04	0,00	0,00	100%
4,00	4,15	0,01	-	-	0,04	-0,07	-0,05	100%
8,00	8,65	0,01	-	-	0,05	-0,26	-0,22	100%
12,00	12,05	0,01	-	-	0,06	-0,40	-0,34	100%
16,00	16,05	0,01	-	-	0,07	-0,41	-0,34	100%
20,00	20,95	0,02	-	-	0,07	-3,26	-3,33	100%
25,00	26,30	0,01	-	0,05	0,04	-4,13	-3,84	99%
30,00	31,55	-	-	0,13	0,03	-4,93	-4,34	100%
35,00	36,20	-	-	0,28	0,02	-5,71	-4,73	100%
40,00	41,45	-	0,07	0,46	0,01	-6,36	-5,21	100%
45,00	46,95	-	0,16	0,63	0,01	-7,01	-5,70	100%
50,00	51,65	-	0,28	0,82	0,01	-7,56	-6,18	100%
55,00	56,25	-	0,40	0,95	0,00	-8,14	-6,57	100%
60,00	61,70	-	0,50	1,09	0,00	-8,43	-7,04	100%
65,00	66,25	-	0,62	1,24	0,00	-8,86	-7,58	100%
70,00	70,85	-	0,74	1,35	0,00	-9,24	-8,00	100%
75,00	77,45	-	0,83	1,45	0,00	-9,59	-8,62	100%
80,00	82,60	-	0,94	1,58	0,00	-9,73	-8,98	100%
85,00	85,80	-	1,03	1,69	0,00	-10,04	-9,47	100%
90,00	91,60	-	1,12	1,81	0,00	-10,48	-10,05	100%
95,00	96,30	-	1,20	1,92	0,00	-10,79	-10,56	100%
100,00	101,45	-	1,27	2,04	0,00	-11,82	-10,89	100%
105,00	106,85	-	1,35	2,13	0,00	-11,63	-11,55	100%
110,00	117,00	-	1,46	2,30	0,00	-12,68	-11,60	100%

Tabela A. 25 – Leituras das células de carga e eficiência da placa C30-12SB

CARGA (kN)		CÉLULAS DE CARGA (kN)				EFICIÊNCIA		
Q1	Q2	C1	C2	C3	C4	d _u (mm)	d _L (mm)	E (%)
0,00	0,00	0,01	-	-	0,03	0,00	0,00	100%
4,00	4,05	0,02	-	-	0,04	-0,10	-0,07	100%
8,00	8,15	0,02	-	-	0,05	-0,23	-0,20	100%
12,00	12,75	0,03	-	-	0,06	-0,36	-0,32	100%
16,00	16,50	0,04	-	-	0,07	-0,48	-0,46	100%
20,00	20,30	0,05	-	-	0,08	-0,62	-0,60	100%
24,00	24,10	0,06	-	-	0,09	-0,77	-0,73	100%
28,00	28,35	0,07	-	-	0,09	-0,92	-0,86	100%
32,00	32,25	-	0,84	0,43	-	-2,88	-2,82	100%
35,00	35,29	-	0,99	0,54	-	-2,88	-3,03	97%
40,00	40,30	-	1,12	0,64	-	-2,88	-3,48	91%
45,00	45,10	-	1,24	0,80	-	-3,24	-4,01	89%
50,00	51,00	-	1,35	0,92	-	-3,60	-4,41	90%
55,00	55,50	-	1,42	1,06	-	-3,79	-4,96	87%
60,00	60,25	-	1,52	1,20	-	-3,87	-5,36	84%
65,00	66,00	-	1,56	1,35	-	-3,86	-5,63	81%
70,00	70,80	-	1,61	1,52	-	-3,71	-5,94	77%
75,00	75,75	-	1,64	1,65	-	-3,75	-6,21	75%
80,00	80,75	-	1,64	1,93	-	-3,39	-7,03	65%

Tabela A. 26 – Leituras das células de carga e eficiência da placa C30-12B50

CARGA (kN)		CÉLULAS DE CARGA (kN)				EFICIÊNCIA		
Q1	Q2	C1	C2	C3	C4	d _u (mm)	d _L (mm)	E (%)
0,00	1,00	0,01	-	-	0,02	-4,44	-4,30	100%
4,00	4,35	0,02	-	-	0,03	-4,84	-4,79	100%
8,00	8,85	0,03	-	-	0,04	-5,60	-5,49	100%
12,00	12,10	0,04	-	-	0,05	-5,93	-5,96	100%
16,00	16,25	0,06	-	-	0,06	-6,45	-6,33	100%
20,00	20,10	0,01	-	-	0,04	-7,29	-6,76	100%
25,00	25,20	0,00	-	-	0,04	-7,72	-7,17	100%
30,00	30,10	-	0,10	0,07	0,04	-9,03	-7,72	100%
35,00	35,05	-	0,21	0,16	0,04	-9,93	-8,00	100%
40,00	40,15	-	0,31	0,26	0,03	-10,50	-8,21	100%
45,00	45,50	-	0,44	0,38	0,03	-11,40	-8,60	100%
50,00	50,25	-	0,54	0,48	0,03	-12,28	-8,98	100%
55,00	55,80	-	0,67	0,60	0,03	-12,49	-9,12	100%
60,00	60,25	-	0,76	0,67	0,03	-12,73	-9,28	100%
65,00	65,70	-	0,88	0,78	0,02	-12,15	-9,74	100%
70,00	70,10	-	0,96	0,90	0,02	-12,30	-10,26	100%
75,00	75,60	-	1,07	0,98	0,01	-12,57	-10,58	100%
80,00	80,25	-	1,13	1,07	0,01	-12,86	-10,94	100%
85,00	85,45	-	1,20	1,16	0,01	-13,33	-11,47	100%
90,00	90,15	-	1,29	1,26	-	-13,54	-11,78	100%
95,00	95,20	-	1,36	1,33	-	-13,91	-12,47	100%
100,00	100,70	-	1,44	1,43	-	-14,33	-12,40	100%
105,00	105,30	-	1,49	1,50	-	-4,44	-4,30	100%
110,00	110,10	-	1,58	1,60	-	-4,84	-4,79	100%
115,00	115,30	-	1,65	1,70	-	-5,60	-5,49	100%
120,00	120,15	-	1,73	1,81	-	-5,93	-5,96	100%
125,00	125,00	-	1,80	1,94	-	-6,45	-6,33	100%

Tabela A. 27 – Leituras das células de carga e eficiência da placa A30-12SB

CARGA (kN)		CÉLULAS DE CARGA (kN)				EFICIÊNCIA		
Q1	Q2	C1	C2	C3	C4	d _u (mm)	d _L (mm)	E (%)
0,00	0,00	0,02	-	-	0,01	0,00	0,00	100%
4,00	3,70	0,02	-	-	0,02	0,00	0,00	100%
8,00	9,80	0,03	-	-	0,03	-0,12	-0,14	90%
12,00	13,20	0,04	-	-	0,03	-0,22	-0,24	97%
16,00	16,60	0,04	-	-	0,04	-0,32	-0,33	99%
20,00	21,30	0,05	-	-	0,05	-0,46	-0,47	99%
24,00	25,00	0,06	-	-	0,05	-0,59	-0,58	100%
28,00	28,65	0,07	-	-	0,06	-0,71	-0,70	100%
32,00	32,25	0,07	-	-	0,07	-0,83	-0,82	100%
36,00	37,80	-	0,51	0,28	0,13	-4,71	-1,99	100%
40,00	40,10	-	0,75	0,46	0,10	-5,23	-2,33	100%
45,00	46,70	-	0,53	0,83	-	-5,75	-3,06	100%
50,00	50,00	-	0,26	1,26	-	-5,66	-4,28	100%

Tabela A. 28 – Leituras das células de carga e eficiência da placa A30-12B50

CARGA (kN)		CÉLULAS DE CARGA (kN)				EFICIÊNCIA		
Q1	Q2	C1	C2	C3	C4	d _u (mm)	d _L (mm)	E (%)
0,00	1,50	0,02	-	-	0,02	0,00	0,00	100%
4,00	4,35	0,01	-	-	0,03	-0,05	-0,08	100%
8,00	8,55	0,02	-	-	0,03	-0,14	-0,18	77%
12,00	12,30	0,03	-	-	0,04	-0,21	-0,26	88%
16,00	16,65	0,04	-	-	0,05	-0,30	-0,38	89%
20,00	20,25	0,05	-	-	0,06	-0,50	-0,49	88%
24,00	24,15	0,05	-	-	0,07	-0,69	-0,69	100%
28,00	28,30	0,06	-	-	0,07	-0,61	-0,61	100%
32,00	32,35	0,07	-	-	0,08	-0,77	-0,77	100%
36,00	36,70	0,08	-	-	0,09	-5,55	-4,91	100%
40,00	40,20	-	-	0,19	-	-5,95	-5,32	100%

45,00	45,45	-	0,04	0,35	-	-6,52	-5,94	100%
50,00	50,20	-	0,10	0,50	-	-7,08	-6,37	100%
55,00	55,30	-	0,17	0,64	-	-7,63	-6,82	100%
60,00	60,85	-	0,26	0,80	-	-8,14	-7,32	100%
65,00	65,20	-	0,35	0,93	-	-8,50	-7,68	100%
70,00	70,55	-	0,43	1,04	-	-8,88	-8,09	100%
75,00	75,30	-	0,52	1,14	-	-9,26	-8,49	100%
80,00	80,30	-	0,61	1,24	-	-9,57	-8,84	100%
85,00	85,10	-	0,72	1,33	-	-9,71	-9,08	100%
90,00	90,40	-	0,81	1,41	-	-10,01	-9,36	100%
95,00	95,60	-	0,91	1,43	-	-10,19	-9,55	100%
100,00	100,60	-	1,01	1,56	-	-10,54	-9,93	100%
105,00	105,60	-	1,10	1,62	-	-10,90	-10,35	100%
110,00	110,30	-	1,19	1,67	-	-11,26	-10,64	100%
115,00	115,30	-	1,28	1,74	-	-11,51	-10,79	100%
120,00	120,30	-	1,35	1,80	-	-11,97	-10,99	100%

Tabela A. 29 – Leituras das células de carga e eficiência da placa A30-12B40

CARGA (kN)		CÉLULAS DE CARGA (kN)				EFICIÊNCIA		
Q1	Q2	C1	C2	C3	C4	d _u (mm)	d _t (mm)	E (%)
0,00	0,00	0,04	-	-	0,02	0,00	0,00	100%
0,00	1,35	0,04	-	-	0,03	0,00	0,00	100%
4,00	4,50	0,05	-	-	0,04	-0,08	-0,02	100%
8,00	8,10	0,06	-	-	0,05	-0,18	-0,11	100%
12,00	12,70	0,07	-	-	0,06	-0,33	-0,27	100%
16,00	16,20	0,08	-	-	0,07	-0,44	-0,39	100%
20,00	21,55	0,09	-	-	0,08	-0,60	-0,57	100%
24,00	24,50	0,09	-	-	0,08	-0,73	-0,70	100%
28,00	28,15	0,09	-	-	0,09	-0,86	-0,85	100%
32,00	32,40	0,10	-	-	0,10	-1,10	-1,13	98%
36,00	36,95	-	0,20	0,49	0,01	-6,12	-6,92	94%
40,00	40,30	-	0,25	0,57	0,01	-6,33	-7,40	92%
45,00	45,50	-	0,37	0,71	0,00	-6,66	-7,76	92%
50,00	50,40	-	0,48	0,84	-	-7,24	-8,41	93%
55,00	55,40	-	0,58	0,93	-	-7,67	-8,93	92%
60,00	60,10	-	0,67	1,01	-	-8,11	-9,50	92%
65,00	65,25	-	0,76	1,10	-	-8,44	-9,78	93%
70,00	70,15	-	0,85	1,18	-	-8,74	-9,99	93%
75,00	74,50	-	0,93	1,25	-	-9,18	-10,49	93%
80,00	80,10	-	1,01	1,34	-	-9,47	-10,88	93%
85,00	86,10	-	1,09	1,43	-	-9,80	-11,32	93%
90,00	90,10	-	1,15	1,49	-	-10,04	-11,63	93%
95,00	94,50	-	1,22	1,56	-	-10,58	-11,99	94%
100,00	100,30	-	1,28	1,63	-	-10,85	-12,47	93%
105,00	105,45	-	1,35	1,70	-	-11,08	-12,76	93%
110,00	110,20	-	1,40	1,77	-	-11,27	-13,04	93%
115,00	114,50	-	1,45	1,83	-	-11,53	-13,47	92%
120,00	121,80	-	1,52	1,92	-	-11,68	-13,90	91%
125,00	124,40	-	1,56	1,97	-	-11,77	-14,18	91%
130,00	130,40	-	1,62	2,02	-	-11,76	-14,20	91%
135,00	136,10	-	1,66	2,09	-	-11,86	-14,41	90%
140,00	140,60	-	1,69	2,15	-	-12,00	-14,65	90%
145,00	144,40	-	1,74	2,22	-	-12,39	-15,12	90%
150,00	150,50	-	1,78	2,28	-	-12,43	-15,30	90%
155,00	154,50	-	1,82	2,34	-	-12,58	-15,58	89%
160,00	160,30	-	1,86	2,41	-	-12,75	-15,88	89%
165,00	164,50	-	1,89	2,46	-	-12,91	-16,17	89%
170,00	169,50	-	1,90	2,52	-	-13,10	-16,51	88%
175,00	173,60	-	1,91	2,58	-	-13,26	-16,80	88%
180,00	179,15	-	1,93	2,64	-	-13,48	-17,24	88%
185,00	184,40	-	1,93	2,70	-	-13,66	-17,62	87%

190,00	189,70	-	1,93	2,77	-	-13,98	-18,30	87%
195,00	194,40	-	1,91	2,84	-	-14,08	-18,57	86%
200,00	198,40	-	1,91	2,92	-	-14,22	-18,91	86%
205,00	204,40	-	1,91	2,98	-	-14,37	-19,26	85%
210,00	210,30	-	1,90	3,06	-	-14,51	-19,50	85%
215,00	214,60	-	1,89	3,12	-	-14,69	-19,50	86%
220,00	219,75	-	1,86	3,20	-	-15,00	-19,95	86%
225,00	224,80	-	1,84	3,26	-	-15,25	-20,54	85%
230,00	230,00	-	1,82	3,34	-	-15,39	-20,91	85%
235,00	234,50	-	1,82	3,40	-	-15,52	-21,33	84%
240,00	239,75	-	1,81	3,48	-	-15,65	-21,66	84%
245,00	244,40	-	1,80	3,57	-	-15,77	-22,04	83%
250,00	250,10	-	1,79	3,66	-	-15,90	-22,42	83%
255,00	254,10	-	1,78	3,72	-	-16,02	-22,80	83%
260,00	258,40	-	1,76	3,82	-	-16,20	-23,29	82%
265,00	263,70	-	1,73	3,89	-	-16,34	-23,88	81%

Tabela A. 30 – Leituras das células de carga e eficiência da placa A30-12B30

CARGA (kN)		CÉLULAS DE CARGA (kN)				EFICIÊNCIA		
Q1	Q2	C1	C2	C3	C4	d _u (mm)	d _t (mm)	E (%)
0,00	0,00	0,03	-	-	0,02	0,00	0,00	100%
4,00	3,98	0,04	-	-	0,02	-0,07	-0,02	100%
8,00	8,00	0,05	-	-	0,03	-0,22	-0,14	100%
12,00	11,93	0,06	-	-	0,04	-0,33	-0,25	100%
16,00	15,90	0,06	-	-	0,05	-0,47	-0,38	100%
20,00	19,80	0,07	-	-	0,05	-0,60	-0,51	100%
24,00	23,80	0,07	-	-	0,06	-0,73	-0,64	100%
28,00	27,78	0,08	-	-	0,07	-0,86	-0,77	100%
32,00	31,95	0,08	-	-	0,08	-1,00	-0,91	100%
36,00	35,78	0,09	-	-	0,09	-1,14	-1,06	100%
40,00	39,90	-	0,29	0,59	0,02	-4,56	-4,68	99%
45,00	45,45	-	0,44	0,73	0,02	-5,18	-5,34	98%
50,00	49,07	-	0,55	0,84	0,02	-5,59	-5,79	98%
55,00	54,24	-	0,65	0,93	0,01	-5,97	-6,22	98%
60,00	58,67	-	0,75	1,03	0,01	-6,30	-6,63	97%
65,00	66,04	-	0,84	1,08	0,01	-6,67	-7,03	97%
70,00	69,49	-	0,91	1,16	0,01	-6,99	-7,40	97%
75,00	76,60	-	0,99	1,24	0,00	-7,29	-7,73	97%
80,00	78,95	-	1,08	1,32	-	-7,59	-8,11	97%
85,00	84,39	-	1,13	1,38	-	-7,94	-8,53	96%
90,00	89,40	-	1,22	1,46	-	-8,16	-8,78	96%
95,00	94,05	-	1,27	1,53	-	-8,39	-9,06	96%
100,00	99,71	-	1,33	1,59	-	-8,62	-9,36	96%
105,00	104,59	-	1,39	1,65	-	-8,82	-9,66	95%
110,00	109,13	-	1,45	1,73	-	-8,93	-9,96	95%
115,00	114,70	-	1,50	1,79	-	-9,07	-10,08	95%
120,00	119,83	-	1,55	1,83	-	-9,36	-10,38	95%
125,00	124,43	-	1,59	1,90	-	-9,59	-10,75	94%
130,00	129,80	-	1,63	1,97	-	-9,77	-11,13	93%
135,00	134,21	-	1,67	2,05	-	-9,98	-11,62	92%
140,00	139,10	-	1,72	2,11	-	-10,21	-12,04	92%
145,00	143,90	-	1,75	2,16	-	-10,43	-12,31	92%
150,00	149,00	-	1,79	2,23	-	-10,58	-12,72	91%
155,00	153,78	-	1,83	2,30	-	-10,73	-13,05	90%
160,00	159,67	-	1,85	2,36	-	-10,90	-13,49	89%
165,00	164,01	-	1,88	2,42	-	-11,01	-13,99	88%
170,00	169,56	-	1,90	2,49	-	-11,14	-14,62	86%
175,00	176,09	-	1,90	2,53	-	-11,33	-15,11	86%
180,00	179,45	-	1,92	2,62	-	-11,51	-15,60	85%
185,00	184,46	-	1,92	2,66	-	-11,60	-15,91	84%
190,00	189,20	-	1,92	2,73	-	-11,69	-16,24	84%

195,00	194,19	-	1,92	2,78	-	-11,82	-16,61	83%
200,00	198,49	-	1,92	2,88	-	-11,98	-16,98	83%
205,00	204,19	-	1,92	2,94	-	-12,19	-17,08	83%
210,00	210,86	-	1,91	3,02	-	-12,39	-17,39	83%
215,00	214,36	-	1,88	3,08	-	-12,61	-17,85	83%
220,00	219,46	-	1,88	3,16	-	-12,76	-18,21	82%
225,00	223,39	-	1,88	3,22	-	-12,88	-18,61	82%
230,00	228,50	-	1,87	3,31	-	-13,04	-19,08	81%
235,00	232,65	-	1,85	3,39	-	-13,19	-19,60	80%
240,00	239,29	-	1,84	3,47	-	-13,33	-20,03	80%
245,00	244,05	-	1,81	3,57	-	-13,52	-20,75	79%
250,00	248,03	-	1,80	3,65	-	-13,64	-21,18	78%
255,00	254,60	-	1,78	3,74	-	-13,75	-21,73	78%
260,00	259,63	-	1,77	3,85	-	-13,85	-22,06	77%
265,00	264,80	-	1,74	3,88	-	-13,96	-22,38	77%

A.4 – LEITURAS DOS EXTENSÔMETROS

(* Não houve leitura desse instrumento neste ensaio; ** Extensômetro perdido)

Tabela A. 31 – Leituras dos extensômetros no ensaio da placa C20-16SB

CARGA (kN)		EXTENSÔMETRO NAS BT's				EXTENSÔMETRO NO CONCRETO			
Q1	Q2	EA1.sup	EA1.inf	EA2.sup	EA2.inf	EC1	EC2	EC3	EC4
-	-	*	*	*	*	0,00	0,00	0,00	0,00
4,00	4,05	*	*	*	*	0,03	0,01	0,00	0,01
8,00	8,15	*	*	*	*	0,01	-0,01	-0,02	0,00
12,00	12,75	*	*	*	*	0,02	-0,02	-0,01	0,01
16,00	16,50	*	*	*	*	0,02	-0,01	-0,02	-0,01
20,00	20,30	*	*	*	*	0,03	-0,02	-0,01	0,00
24,00	24,10	*	*	*	*	0,03	-0,01	-0,02	0,00
28,00	28,35	*	*	*	*	0,03	-0,02	-0,02	0,00
32,00	32,25	*	*	*	*	0,03	-0,02	-0,03	-0,01
36,00	36,30	*	*	*	*	0,01	-0,03	-0,04	-0,02
40,00	40,30	*	*	*	*	0,12	-0,93	**	0,08
45,00	45,10	*	*	*	*	0,03	-0,49	-4,71	-0,02
50,00	51,00	*	*	*	*	0,04	-0,50	-4,66	-0,02
55,00	55,50	*	*	*	*	-0,01	-0,59	-4,64	-0,04
60,00	60,25	*	*	*	*	0,00	-0,59	-4,60	-0,04
65,00	66,00	*	*	*	*	-0,03	-0,61	-4,57	-0,05
70,00	70,80	*	*	*	*	-0,06	-0,60	-4,58	-0,06
75,00	75,75	*	*	*	*	-0,08	-0,32	-4,41	-0,05
80,00	80,75	*	*	*	*	-0,15	-0,27	-4,35	-0,08
85,00	86,50	*	*	*	*	-0,20	-0,23	-4,33	-0,09
90,00	92,10	*	*	*	*	-0,28	-0,19	-4,29	-0,07
95,00	95,30	*	*	*	*	-0,97	-0,34	-4,25	-0,16
100,00	100,75	*	*	*	*	-1,74	0,00	-4,23	-0,33
105,00	105,10	*	*	*	*	-1,41	0,00	-4,22	-0,32
110,00	110,20	*	*	*	*	-1,41	0,04	-4,17	-0,27
115,00	115,10	*	*	*	*	-1,72	0,01	-4,20	-0,38
120,00	120,00	*	*	*	*	-2,53	0,06	-4,13	-0,52
125,00	125,65	*	*	*	*	-2,73	0,02	-4,12	-0,43
130,00	130,65	*	*	*	*	-2,90	-0,07	-4,11	-0,35
135,00	135,70	*	*	*	*	-0,11	-0,29	-4,06	0,07
140,00	140,20	*	*	*	*	-0,23	-0,05	-3,68	-0,10

Tabela A. 32 – Leituras dos extensômetros no ensaio da placa C20-16B50

CARGA (kN)		EXTENSÔMETRO NAS BT's				EXTENSÔMETRO NO CONCRETO			
Q1	Q2	EA1.sup	EA1.inf	EA2.sup	EA2.inf	EC1	EC2	EC3	EC4
-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,00	4,10	0,00	-0,02	0,00	-0,01	0,00	-0,01	-0,01	0,01
8,00	8,10	0,00	-0,02	-0,01	-0,02	-0,01	-0,03	-0,02	0,01
12,00	12,50	-0,01	-0,03	-0,02	-0,03	-0,02	-0,04	-0,03	0,01

16,00	16,40	0,01	-0,02	0,00	-0,02	-0,01	-0,04	-0,02	0,02
20,00	20,05	0,00	-0,03	-0,01	-0,03	-0,01	-0,05	-0,02	0,02
24,00	23,95	0,01	-0,04	0,00	-0,03	-0,01	-0,06	-0,03	0,02
28,00	28,20	0,95	-1,72	0,84	-1,36	0,08	-0,05	-1,83	0,13
33,00	32,90	1,31	-2,09	1,13	-1,65	0,07	-0,03	-1,77	0,13
38,00	38,35	1,69	-2,39	1,44	-1,93	0,08	0,00	-0,66	0,14
43,00	43,05	1,96	-2,55	1,64	-2,14	0,08	0,00	-0,74	0,15
48,00	47,95	2,20	-2,42	1,82	-2,32	0,09	0,00	-0,78	0,16
53,00	53,20	2,43	-1,43	1,98	-2,51	0,08	-0,01	-0,83	0,17
58,00	58,00	**	-0,97	2,05	-2,66	0,05	-0,02	-0,89	0,18
63,00	63,15	**	-0,77	2,11	-2,75	0,06	-0,03	-0,91	0,19
68,00	68,00	**	-0,71	2,19	-2,82	0,08	-0,01	-0,94	0,20
73,00	73,15	**	-0,74	**	-2,91	0,04	-0,06	-1,08	0,20
78,00	78,00	**	-0,65	**	-2,95	0,03	-0,07	-1,23	0,13
83,00	83,15	**	-0,68	**	-2,97	0,01	-0,09	-1,53	0,13
88,00	88,30	**	-0,73	**	-2,95	0,01	-0,09	-1,85	0,13
93,00	93,35	**	-0,90	**	-2,93	0,01	-0,09	-2,32	0,15
98,00	98,10	**	-0,88	**	-2,90	0,05	-0,07	**	0,16
103,00	103,10	**	-0,89	**	-2,89	0,05	-0,07	**	0,16
108,00	108,30	**	-0,89	**	-2,82	0,05	-0,08	**	0,15
113,00	113,10	**	-0,88	**	-2,79	0,09	-0,06	**	0,14
118,00	118,10	**	-0,88	**	-2,75	0,16	-0,04	**	0,11

Tabela A. 33 – Leituras dos extensômetros no ensaio da placa C20-16B40

CARGA (kN)		EXTENSÔMETRO NAS BT's				EXTENSÔMETRO NO CONCRETO			
Q1	Q2	EA1.sup	EA1.inf	EA2.sup	EA2.inf	EC1	EC2	EC3	EC4
0,00	0,00	0,00	0,00	**	**	0,00	0,00	0,00	0,00
4,00	4,20	-0,02	-0,03	**	**	-0,01	-0,02	-0,01	-0,02
8,00	8,70	-0,05	-0,04	**	**	-0,01	-0,04	-0,03	-0,04
12,00	12,50	-0,06	-0,05	**	**	-0,01	-0,04	-0,03	-0,04
16,00	18,20	-0,03	-0,04	**	**	-0,01	-0,05	-0,04	-0,03
20,00	20,20	-0,03	-0,05	**	**	-0,01	-0,06	-0,04	-0,04
24,00	24,10	-0,03	-0,06	**	**	-0,01	-0,05	-0,04	-0,04
28,00	28,10	-0,02	-0,05	**	**	-0,01	-0,06	-0,05	-0,04
32,00	32,40	-0,03	-0,06	**	**	-0,01	-0,07	-0,07	-0,04
36,00	36,35	-0,04	-0,07	**	**	-0,01	-0,07	-0,06	-0,04
40,00	40,60	-0,03	-0,07	**	**	-0,01	-0,07	-0,06	-0,04
45,00	45,25	0,97	-1,49	**	**	0,01	-0,10	-0,59	0,00
50,00	50,55	2,15	-1,85	**	**	0,02	-0,09	-0,59	0,02
55,00	54,05	2,25	-2,09	**	**	0,01	-0,11	-0,62	0,01
60,00	60,40	2,44	-2,38	**	**	0,00	-0,14	-0,73	0,01
65,00	65,40	3,16	-2,60	**	**	0,00	-0,18	-0,71	0,01
70,00	69,80	2,31	-2,78	**	**	0,00	-0,24	-0,76	-0,01
75,00	75,10	2,61	-3,03	**	**	-0,01	-0,39	-0,83	0,00
80,00	81,00	3,32	-3,27	**	**	-0,01	-0,45	-0,93	0,00
85,00	84,35	3,75	-3,40	**	**	-0,01	-0,43	-0,91	-0,01
90,00	88,65	4,08	-3,53	**	**	-0,01	-0,46	-0,90	0,00
95,00	94,40	4,25	-3,73	**	**	-0,01	-0,51	-0,99	-0,01
100,00	99,60	**	-3,93	**	**	-0,01	-0,48	-1,07	0,00
105,00	104,10	**	-4,21	**	**	0,01	-0,41	-1,23	-0,02
110,00	109,45	**	-4,44	**	**	0,00	-0,41	-1,30	-0,01
115,00	114,90	**	-4,60	**	**	0,01	-0,42	-1,39	0,00
120,00	119,80	**	-4,76	**	**	0,00	-0,40	-1,50	0,00
125,00	124,80	**	-4,89	**	**	0,00	-0,33	-1,63	-0,01
130,00	129,30	**	-4,96	**	**	0,00	-0,43	-1,68	0,00
135,00	134,70	**	-5,10	**	**	-0,01	-0,42	-1,82	0,00
140,00	139,70	**	-5,17	**	**	-0,02	-0,39	-1,89	0,00
145,00	144,75	**	-5,23	**	**	-0,02	-0,34	-1,94	-0,01
150,00	149,50	**	-5,34	**	**	-0,02	-0,34	-2,03	0,00
155,00	154,30	**	-5,45	**	**	-0,03	-0,34	-2,08	0,00
160,00	159,50	**	-5,51	**	**	-0,03	-0,35	-2,10	0,00

165,00	164,35	**	-5,50	**	**	-0,04	-0,36	-2,02	0,00
170,00	169,10	**	-5,50	**	**	-0,04	-0,39	-1,96	-0,02
175,00	174,60	**	-5,47	**	**	-0,03	-0,40	-1,85	-0,01

Tabela A. 34 – Leituras dos extensômetros no ensaio da placa C20-16B30

CARGA (kN)		EXTENSÔMETRO NAS BT's				EXTENSÔMETRO NO CONCRETO			
Q1	Q2	EA1.sup	EA1.inf	EA2.sup	EA2.inf	EC1	EC2	EC3	EC4
0,00	0,00	0,00	**	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,00	4,15	0,00	**	-0,02	-0,03	-0,01	-0,01	0,00	-0,01
8,00	8,10	0,01	**	-0,03	-0,04	-0,04	-0,04	-0,02	-0,05
12,00	12,35	0,01	**	-0,02	-0,04	-0,05	-0,03	-0,02	-0,05
16,00	16,10	0,01	**	-0,02	-0,04	-0,04	-0,02	-0,01	-0,05
20,00	20,10	0,02	**	-0,01	-0,03	-0,04	-0,01	0,00	-0,05
24,00	24,40	0,03	**	-0,03	-0,06	-0,05	-0,04	-0,03	-0,06
28,00	28,60	0,03	**	-0,03	-0,07	-0,06	-0,03	-0,03	-0,07
32,00	32,15	0,44	**	0,04	-1,03	-0,05	0,05	0,04	-0,07
37,00	37,55	0,70	**	0,13	-1,30	-0,08	0,05	0,05	-0,09
42,00	42,15	0,87	**	0,12	-1,47	-0,08	0,05	0,07	-0,09
47,00	47,50	1,05	**	0,07	-1,67	-0,09	0,04	0,08	-0,09
52,00	52,15	1,19	**	0,12	-1,82	-0,08	0,03	0,09	-0,10
57,00	57,10	1,31	**	0,18	-1,99	-0,11	0,01	0,08	-0,11
62,00	61,60	1,43	**	0,20	-2,14	-0,12	0,00	0,07	-0,12
67,00	66,80	1,55	**	0,23	-2,25	-0,09	0,01	0,11	-0,10
72,00	72,15	1,72	**	0,23	-2,42	-0,10	0,01	0,13	-0,11
77,00	77,40	1,86	**	0,32	-2,61	-0,12	-0,02	0,07	-0,14
82,00	81,80	1,94	**	0,38	-2,72	-0,12	-0,02	0,06	-0,14
87,00	87,20	2,12	**	0,46	-2,87	-0,12	-0,02	-0,01	-0,12
92,00	92,15	2,27	**	0,48	-3,08	-0,15	-0,06	-0,13	-0,15
97,00	97,80	2,39	**	0,60	-3,27	-0,14	-0,09	-0,22	-0,15
102,00	101,40	2,48	**	0,68	-3,29	-0,13	-0,09	-0,26	-0,14
107,00	107,00	2,65	**	0,81	-3,32	-0,13	-0,12	-0,39	-0,14
112,00	112,00	2,65	**	0,81	-3,32	-0,13	-0,12	-0,39	-0,14
117,00	117,00	2,98	**	1,17	-2,64	-0,14	-0,16	-0,57	-0,15
122,00	122,00	3,17	**	1,37	-2,33	-0,13	-0,17	-0,73	-0,14
127,00	127,00	3,30	**	1,50	-2,32	-0,13	-0,18	-0,80	-0,14
132,00	132,10	3,44	**	1,68	-2,28	-0,15	-0,21	-0,89	-0,15
137,00	137,80	**	**	**	-2,26	-0,17	-0,25	-1,00	-0,17
142,00	142,10	**	**	**	-2,39	-0,17	-0,25	-1,01	-0,18
147,00	147,00	**	**	**	-2,41	-0,19	-0,29	-1,06	-0,19
152,00	154,60	**	**	**	-2,16	-0,19	-0,31	-1,07	-0,19
157,00	158,00	**	**	**	-1,99	-0,19	-0,31	-1,09	-0,19
162,00	162,15	**	**	**	-2,05	-0,20	-0,32	-1,07	-0,20
167,00	166,25	**	**	**	-1,79	-0,19	-0,32	-1,06	-0,19
172,00	174,00	**	**	**	-1,71	-0,22	-0,33	-1,07	-0,22
182,00	182,00	**	**	**	-1,77	-0,21	-0,32	-1,04	-0,21
192,00	194,00	**	**	**	-1,78	-0,20	-0,31	-1,04	-0,20
202,00	202,00	**	**	**	-1,85	-0,23	-0,31	-1,05	-0,23
207,00	209,05	**	**	**	-1,88	-0,22	-0,29	-1,04	-0,21
212,00	212,60	**	**	**	-1,85	-0,21	-0,27	-1,03	-0,21
217,00	216,40	**	**	**	-1,85	-0,23	-0,28	-1,04	-0,22

Tabela A. 35 – Leituras dos extensômetros no ensaio da placa C20-12SB

CARGA (kN)		EXTENSÔMETRO NAS BT's				EXTENSÔMETRO NO CONCRETO			
Q1	Q2	EA1.sup	EA1.inf	EA2.sup	EA2.inf	EC1	EC2	EC3	EC4
0,00	0,00	*	*	*	*	0,00	0,00	0,00	0,00
0,18	1,80	*	*	*	*	0,00	0,00	0,00	0,00
0,40	3,95	*	*	*	*	0,01	-0,01	-0,01	-0,28
0,80	7,95	*	*	*	*	0,01	-0,06	-0,05	-0,39
1,18	11,80	*	*	*	*	0,01	-0,08	-0,08	-0,42
1,60	15,95	*	*	*	*	0,03	-0,10	-0,10	-0,41
2,04	20,35	*	*	*	*	0,05	-0,13	-0,13	-0,36
2,40	24,00	*	*	*	*	0,06	-0,18	-0,15	-0,34

2,83	28,30	*	*	*	*	0,44	**	0,05	0,12
3,20	31,95	*	*	*	*	0,56	**	0,04	0,01
3,88	38,81	*	*	*	*	0,52	**	0,02	-0,01
4,34	43,35	*	*	*	*	0,32	**	0,01	-0,02
4,77	47,65	*	*	*	*	0,17	**	0,00	-0,12
5,30	53,00	*	*	*	*	0,15	**	0,04	-0,07
5,89	58,90	*	*	*	*	0,08	**	0,04	-0,05
6,30	63,00	*	*	*	*	-0,09	**	0,05	-0,10
6,92	69,20	*	*	*	*	-1,70	**	0,03	-0,17
7,32	73,20	*	*	*	*	-3,08	**	0,02	-0,16
7,88	78,80	*	*	*	*	-4,96	**	0,02	0,01
7,92	79,20	*	*	*	*	-5,99	**	0,01	0,25
8,80	88,00	*	*	*	*	-6,99	**	0,01	0,30
9,28	92,80	*	*	*	*	-4,13	**	0,02	0,42

Tabela A. 36 – Leituras dos extensômetros no ensaio da placa C20-12B50

CARGA (kN)		EXTENSÔMETRO NAS BT's				EXTENSÔMETRO NO CONCRETO			
Q1	Q2	EA1.sup	EA1.inf	EA2.sup	EA2.inf	EC1	EC2	EC3	EC4
0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**	0,00	0,00	0,00
4,00	5,25	-0,01	-0,07	-0,09	-0,06	**	-0,08	-0,07	-0,07
8,00	11,25	0,01	-0,07	-0,08	-0,06	**	-0,10	-0,08	-0,06
12,00	13,55	0,02	-0,09	-0,06	-0,07	**	-0,14	-0,11	-0,05
16,00	16,50	0,03	-0,12	-0,07	-0,09	**	-0,19	-0,15	-0,07
20,00	20,60	0,04	-0,11	-0,07	-0,10	**	-0,22	-0,16	-0,06
25,00	25,70	-0,13	-0,36	-0,07	-0,68	**	-0,25	-0,18	-0,06
30,00	30,30	0,49	-2,10	0,79	-1,76	**	-0,31	-0,87	-0,10
35,00	34,35	0,75	-2,45	1,07	-2,03	**	-0,33	-0,87	-0,11
40,00	39,45	1,05	-2,76	1,34	-2,30	**	-0,39	-1,05	-0,11
45,00	44,00	1,36	-3,11	1,61	-2,58	**	-0,43	-1,09	-0,14
50,00	50,80	1,70	-3,48	1,89	-2,82	**	-0,47	-1,39	-0,14
55,00	54,60	1,91	-3,71	2,04	-2,98	**	-0,41	-1,25	-0,15
60,00	61,30	2,28	-4,13	2,34	-3,15	**	-0,38	-1,32	-0,12
65,00	64,15	2,43	-4,27	2,37	-3,24	**	-0,34	-1,05	-0,13
70,00	69,50	2,57	-4,48	2,46	-3,30	**	-0,37	-1,37	-0,13
75,00	74,50	2,66	-4,58	**	-3,36	**	-0,38	-1,45	-0,14
80,00	79,20	2,75	-4,71	2,62	-3,41	**	-0,39	-1,48	-0,15
85,00	84,75	2,88	-4,86	**	-3,47	**	-0,40	-1,52	-0,16
90,00	89,65	3,02	-5,05	2,80	-3,55	**	-0,38	-1,48	-0,14
95,00	94,25	3,09	-5,18	2,83	-3,64	**	-0,39	-1,46	-0,16
100,00	99,75	3,16	-5,34	2,91	-3,58	**	-0,39	-1,47	-0,17
105,00	104,85	3,21	-5,46	2,97	-3,61	**	-0,39	-1,42	-0,16
110,00	109,50	3,29	-5,57	3,02	-3,62	**	-0,38	-1,43	-0,16
115,00	114,90	3,28	-5,65	2,99	-3,64	**	-0,38	-1,33	-0,17
120,00	119,30	3,34	-5,77	**	-3,65	**	-0,39	-1,38	-0,18
125,00	124,20	3,41	-5,88	**	-3,65	**	-0,39	-1,42	-0,18
130,00	129,00	**	-5,97	3,06	-3,66	**	-0,40	-1,42	-0,18
135,00	134,10	**	-5,99	**	-3,64	**	-0,39	-1,39	-0,17
140,00	138,90	**	-6,00	**	-3,66	**	-0,41	-1,35	-0,21
145,00	144,70	**	-5,99	3,09	-3,68	**	-0,41	-1,35	-0,20
150,00	149,10	**	-5,96	**	-3,66	**	-0,40	-1,34	-0,18
155,00	154,60	**	-5,93	**	-3,67	**	-0,42	-1,39	-0,22
160,00	161,00	**	-5,91	**	-3,65	**	-0,43	-1,43	-0,21
165,00	164,50	**	-5,97	**	-3,65	**	-0,45	-1,53	-0,22
170,00	169,50	**	-5,92	**	-3,62	**	-0,45	-1,54	-0,22
175,00	174,20	**	-5,85	**	-3,53	**	-0,42	-1,41	-0,20
180,00	179,25	**	-5,85	**	-3,53	**	-0,42	-1,41	-0,20
185,00	183,60	**	-5,85	**	-3,51	**	-0,44	-1,64	-0,21
190,00	189,25	**	-5,58	**	-3,49	**	-0,45	-1,59	-0,22
195,00	195,80	**	-5,18	**	-3,50	**	-0,45	-1,71	-0,22
200,00	199,40	**	-4,88	**	-3,44	**	-0,44	-1,67	-0,22
205,00	204,50	**	-4,78	**	-3,43	**	-0,45	-1,67	-0,23

Tabela A. 37 – Leituras dos extensômetros no ensaio da placa C20-12B40

CARGA (kN)		EXTENSÔMETRO NAS BT's				EXTENSÔMETRO NO CONCRETO			
Q1	Q2	EA1.sup	EA1.inf	EA2.sup	EA2.inf	EC1	EC2	EC3	EC4
0,00	1,00	**	-0,01	**	-0,02	0,00	**	0,00	0,00
4,00	6,90	**	-0,02	**	-0,02	0,00	**	0,00	0,00
8,00	8,30	**	-0,01	**	-0,01	0,01	**	-0,05	0,10
12,00	12,50	**	-0,03	**	0,04	0,03	**	-0,05	0,12
16,00	17,10	**	-0,04	**	0,18	0,03	**	-0,10	0,18
20,00	22,30	**	-0,04	**	0,12	0,03	**	-0,12	0,23
24,00	25,40	**	-0,04	**	0,27	0,06	**	-0,16	0,30
28,00	28,00	**	-1,30	**	-0,49	0,07	**	-0,20	0,33
33,00	34,10	**	-1,84	**	-1,08	0,43	**	-0,16	0,93
38,00	38,20	**	-2,16	**	-1,49	0,52	**	-0,10	**
43,00	43,40	**	-2,50	**	**	0,53	**	-0,17	**
48,00	48,70	**	-2,79	**	-3,49	0,57	**	-0,25	**
53,00	53,60	**	-3,19	**	-2,72	0,57	**	-0,42	**
58,00	59,50	**	-3,46	**	**	0,59	**	-0,64	**
63,00	64,00	**	-3,69	**	-4,54	0,64	**	-0,75	**
68,00	69,10	**	-3,97	**	-4,80	0,66	**	-0,67	**
73,00	74,40	**	-4,21	**	**	0,68	**	-0,62	**
78,00	79,00	**	-4,38	**	**	0,71	**	-0,39	**
83,00	83,70	**	-4,50	**	**	0,72	**	-0,34	**
88,00	88,60	**	-4,61	**	**	0,68	**	-0,29	**
93,00	94,50	**	-4,67	**	**	0,62	**	-0,27	**
98,00	98,20	**	-4,69	**	**	0,54	**	-0,25	**
103,00	103,40	**	-4,90	**	**	0,52	**	-0,22	**
108,00	109,10	**	-4,96	**	**	0,57	**	-0,25	**
113,00	113,10	**	-4,88	**	**	0,65	**	-0,22	**
118,00	118,20	**	-4,42	**	**	0,74	**	-0,23	**

Tabela A. 38 – Leituras dos extensômetros no ensaio da placa C20-12B30

CARGA (kN)		EXTENSÔMETRO NAS BT's				EXTENSÔMETRO NO CONCRETO			
Q1	Q2	EA1.sup	EA1.inf	EA2.sup	EA2.inf	EC1	EC2	EC3	EC4
0,00	1,45	0,00	**	**	0,00	-0,04	-0,04	-0,04	0,00
4,00	4,15	0,00	**	**	-0,02	-0,04	-0,04	-0,07	0,00
8,00	8,65	-0,07	**	**	-0,02	-0,04	-0,05	-0,10	0,00
12,00	12,05	-0,01	**	**	-0,04	-0,04	-0,05	-0,17	0,00
16,00	16,05	0,02	**	**	-0,07	-0,02	-0,03	-0,31	-0,01
20,00	20,95	0,39	**	**	-0,98	-0,03	-0,05	-0,34	-0,01
25,00	26,30	0,61	**	**	-1,39	-0,03	-0,03	-0,34	-0,01
30,00	31,55	0,89	**	**	-1,75	-0,02	-0,02	-0,30	-0,01
35,00	36,20	1,21	**	**	-2,12	-0,05	-0,03	-0,28	0,00
40,00	41,45	1,44	**	**	-2,50	-0,05	-0,04	-0,24	0,00
45,00	46,95	1,77	**	**	-2,85	-0,06	-0,04	-0,21	0,00
50,00	51,65	2,22	**	**	-3,22	-0,04	-0,02	-0,18	0,00
55,00	56,25	2,58	**	**	-3,51	-0,06	-0,05	-0,19	0,01
60,00	61,70	2,97	**	**	-3,96	-0,07	-0,05	-0,18	0,01
65,00	66,25	3,37	**	**	-4,40	-0,07	-0,05	-0,17	0,02
70,00	70,85	3,86	**	**	-4,45	-0,09	-0,06	-0,16	0,02
75,00	77,45	4,72	**	**	-4,32	-0,07	-0,03	-0,14	0,01
80,00	82,60	5,33	**	**	-4,52	-0,07	-0,04	-0,13	0,01
85,00	85,80	5,79	**	**	-4,55	-0,06	-0,05	-0,12	0,01
90,00	91,60	6,79	**	**	-4,95	-0,06	-0,03	-0,12	0,01
95,00	96,30	7,48	**	**	-5,23	-0,08	-0,04	-0,13	0,01
100,00	101,45	8,08	**	**	-5,27	-0,06	-0,05	-0,11	0,01
105,00	106,85	9,47	**	**	-4,92	-0,06	0,08	-0,11	0,01
110,00	117,00	10,45	**	**	-4,72	-0,04	0,10	-0,11	0,02

Tabela A. 39 – Leituras dos extensômetros no ensaio da placa C30-12B3

CARGA (kN)		EXTENSÔMETRO NAS BT's				EXTENSÔMETRO NO CONCRETO			
Q1	Q2	EA1.sup	EA1.inf	EA2.sup	EA2.inf	EC1	EC2	EC3	EC4
0,00	0,00	*	*	*	*	0,00	0,00	0,00	0,00

4,00	4,05	*	*	*	*	-0,04	-0,90	-0,08	-0,32
8,00	8,15	*	*	*	*	-0,05	-0,94	-0,11	-0,32
12,00	12,75	*	*	*	*	-0,05	-0,96	-0,15	-0,33
16,00	16,50	*	*	*	*	-0,04	-0,97	-0,16	-0,31
20,00	20,30	*	*	*	*	-0,04	-0,99	-0,19	-0,32
24,00	24,10	*	*	*	*	-0,04	-1,02	-0,23	-0,30
28,00	28,35	*	*	*	*	-0,04	-1,26	-0,19	-0,31
32,00	32,25	*	*	*	*	-0,07	**	-0,03	-0,41
35,00	35,29	*	*	*	*	-0,11	**	-0,06	-0,45
40,00	40,30	*	*	*	*	-0,16	**	-0,06	-0,45
45,00	45,10	*	*	*	*	-0,19	**	-0,06	-0,45
50,00	51,00	*	*	*	*	-0,24	**	-0,08	-0,48
55,00	55,50	*	*	*	*	-0,29	**	-0,09	-0,50
60,00	60,25	*	*	*	*	-0,28	**	-0,07	-0,50
65,00	66,00	*	*	*	*	-0,30	**	-0,09	-0,51
70,00	70,80	*	*	*	*	-0,32	**	-0,12	-0,52
75,00	75,75	*	*	*	*	-0,33	**	-0,12	-0,51
80,00	80,75	*	*	*	*	-0,35	**	-0,13	-0,53

Tabela A. 40 – Leituras dos extensômetros no ensaio da placa C30-12B50

CARGA (kN)		EXTENSÔMETRO NAS BT's				EXTENSÔMETRO NO CONCRETO			
Q1	Q2	EA1.sup	EA1.inf	EA2.sup	EA2.inf	EC1	EC2	EC3	EC4
0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,00	4,35	-0,03	-0,02	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,02	0,00
8,00	8,85	-0,01	-0,04	-0,02	-0,04	-0,03	-0,09	-0,07	0,01
12,00	12,10	-0,04	-0,07	-0,05	-0,08	-0,05	-0,13	-0,12	0,01
16,00	16,25	-0,04	-0,08	-0,03	-0,08	-0,05	-0,16	-0,13	0,01
20,00	20,10	0,31	-1,73	0,37	-1,63	-0,03	-0,01	-0,21	0,00
25,00	25,20	0,40	-1,83	0,61	-1,74	-0,04	-0,03	-0,20	0,01
30,00	30,10	0,46	-1,90	0,76	-1,79	-0,05	-0,05	-0,21	0,01
35,00	35,05	0,50	-1,95	0,91	-1,63	-0,04	-0,06	-0,21	0,00
40,00	40,15	0,55	-2,01	1,02	-1,66	-0,06	-0,07	-0,19	0,00
45,00	45,50	0,59	-2,06	1,16	-1,64	-0,05	-0,07	-0,15	-0,01
50,00	50,25	0,61	-2,12	1,25	-1,67	-0,07	-0,08	-0,15	-0,01
55,00	55,80	0,63	-2,18	1,38	-1,68	-0,06	-0,09	-0,11	-0,01
60,00	60,25	0,69	-2,21	1,57	-1,67	-0,06	-0,09	-0,07	-0,01
65,00	65,70	0,74	-2,27	1,80	-1,69	-0,06	-0,09	0,04	-0,01
70,00	70,10	0,79	-2,32	1,99	-1,71	-0,08	-0,10	0,08	-0,01
75,00	75,60	0,85	-2,36	2,23	-1,76	-0,08	-0,11	0,13	0,00
80,00	80,25	1,00	-2,44	2,63	-1,81	-0,07	-0,10	0,26	0,00
85,00	85,45	1,25	-2,48	2,97	-1,86	-0,07	-0,09	0,35	-0,01
90,00	90,15	1,49	-2,57	3,33	-1,81	-0,09	-0,09	0,43	-0,01
95,00	95,20	1,59	-2,69	3,74	-1,89	-0,10	-0,10	0,52	-0,01
100,00	100,70	1,66	-2,82	4,18	-1,94	-0,13	-0,13	0,56	-0,01
105,00	105,30	1,78	-2,97	4,74	-2,04	-0,15	-0,13	0,64	-0,01
110,00	110,10	2,01	-3,11	5,33	-2,10	-0,16	-0,14	0,70	-0,01
115,00	115,30	2,47	-3,06	6,34	-2,16	-0,17	-0,14	0,74	-0,01
120,00	120,15	3,03	-3,20	7,30	-2,27	-0,17	-0,13	0,78	-0,01
125,00	125,00	3,87	-3,24	8,81	-2,40	-0,19	-0,13	0,76	-0,01

Tabela A. 41 – Leituras dos extensômetros no ensaio da placa A30-12SB

CARGA (kN)		EXTENSÔMETRO NAS BT's				EXTENSÔMETRO NO CONCRETO			
Q1	Q2	EA1.sup	EA1.inf	EA2.sup	EA2.inf	EC1	EC2	EC3	EC4
0,00	0,00	*	*	*	*	0,00	**	0,00	0,00
4,00	3,70	*	*	*	*	0,00	**	0,00	0,00
8,00	9,80	*	*	*	*	-0,01	**	-0,04	-0,03
12,00	13,20	*	*	*	*	-0,01	**	-0,05	-0,04
16,00	16,60	*	*	*	*	-0,01	**	-0,05	-0,06
20,00	21,30	*	*	*	*	-0,02	**	-0,08	-0,07
24,00	25,00	*	*	*	*	-0,01	**	-0,11	-0,10
28,00	28,65	*	*	*	*	-0,02	**	-0,11	-0,10
32,00	32,25	*	*	*	*	-0,01	**	-0,13	-0,12

36,00	37,80	*	*	*	*	-0,03	**	-0,15	-0,15
40,00	40,10	*	*	*	*	0,00	**	-0,04	-0,06
45,00	46,70	*	*	*	*	-0,17	**	-0,09	-0,08
50,00	50,00	*	*	*	*	-0,19	**	-0,08	-0,10

Tabela A. 42 – Leituras dos extensômetros no ensaio da placa A30-12B50

CARGA (kN)		EXTENSÔMETRO NAS BT's				EXTENSÔMETRO NO CONCRETO			
Q1	Q2	EA1.sup	EA1.inf	EA2.sup	EA2.inf	EC1	EC2	EC3	EC4
0,00	1,50	**	**	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	0,00
4,00	4,35	**	**	0,00	0,00	0,00	-0,01	-0,02	0,01
8,00	8,55	**	**	0,01	-0,01	0,02	-0,02	-0,03	0,02
12,00	12,30	**	**	0,01	-0,01	0,01	-0,05	-0,05	0,03
16,00	16,65	**	**	0,01	-0,02	0,03	-0,07	-0,07	0,04
20,00	20,25	**	**	0,00	-0,04	0,01	-0,10	-0,09	0,06
24,00	24,15	**	**	0,01	-0,04	0,03	-0,12	-0,12	0,07
28,00	28,30	**	**	0,00	-0,05	0,02	-0,15	-0,15	0,08
32,00	32,35	**	**	0,01	-0,06	0,04	-0,18	-0,16	0,10
36,00	36,70	**	**	-0,56	-1,03	0,10		-0,11	0,34
40,00	40,20	**	**	-0,07	-2,34	0,12		-0,45	0,35
45,00	45,45	**	**	-0,07	-2,34	0,12		-0,45	0,35
50,00	50,20	**	**	0,54	-3,36	0,15		-0,04	0,27
55,00	55,30	**	**	0,79	-3,73	0,17		-0,04	0,26
60,00	60,85	**	**	1,05	-4,08	0,18		-0,05	0,25
65,00	65,20	**	**	1,46	-4,35	0,17		-0,06	0,22
70,00	70,55	**	**	1,56	-4,77	0,17		-0,07	0,22
75,00	75,30	**	**	1,75	-5,02	0,15		-0,08	0,20
80,00	80,30	**	**	1,99	-5,30	0,14		-0,08	0,21
85,00	85,10	**	**	2,14	-5,39	0,12		-0,10	0,21
90,00	90,40	**	**	2,28	-5,32	0,11		-0,09	0,18
95,00	95,60	**	**	2,63	-5,35	0,08		-0,11	0,18
100,00	100,60	**	**	3,04	-5,46	0,07		-0,11	0,16
105,00	105,60	**	**	3,49	-5,54	0,06		-0,13	0,16
110,00	110,30	**	**	3,92	-5,59	0,04		-0,13	0,14
115,00	115,30	**	**	**	-5,56	0,07		-0,09	0,09
120,00	120,30	**	**	**	-5,56	0,05		-0,12	0,05

Tabela A. 43 – Leituras dos extensômetros no ensaio da placa A30-12B50

CARGA (kN)		EXTENSÔMETRO NAS BT's				EXTENSÔMETRO NO CONCRETO			
Q1	Q2	EA1.sup	EA1.inf	EA2.sup	EA2.inf	EC1	EC2	EC3	EC4
0,00	0,00	-0,05	-0,06	-0,06	-0,06	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	1,35	-0,08	-0,08	-0,09	-0,09	-0,06	-0,07	-0,06	-0,01
4,00	4,50	-0,04	-0,06	-0,06	-0,06	-0,08	-0,09	-0,09	0,00
8,00	8,10	-0,04	-0,05	-0,04	-0,04	-0,05	-0,07	-0,07	0,00
12,00	12,70	-0,04	-0,07	-0,05	-0,05	-0,03	-0,07	-0,07	0,01
16,00	16,20	-0,05	-0,09	-0,06	-0,06	-0,05	-0,10	-0,10	0,01
20,00	21,55	-0,06	-0,11	-0,07	-0,07	-0,05	-0,10	-0,11	0,02
24,00	24,50	-0,05	-0,11	-0,06	-0,06	-0,05	-0,11	-0,13	0,03
28,00	28,15	-0,05	-0,13	-0,07	-0,07	-0,04	-0,12	-0,14	0,04
32,00	32,40	0,58	-2,88	1,63	1,63	-0,05	-0,13	-0,16	0,05
36,00	36,95	0,69	-2,97	1,72	1,72	-0,10	-0,33	-1,91	0,07
40,00	40,30	0,81	-3,12	1,88	1,88	-0,10	-0,34	-1,90	0,07
45,00	45,50	0,85	-3,30	1,96	1,96	-0,12	-0,40	-1,93	0,05
50,00	50,40	0,91	-3,41	2,04	2,04	-0,19	-0,45	-1,99	0,05
55,00	55,40	0,95	-3,43	2,08	2,08	-0,19	-0,48	-2,00	0,04
60,00	60,10	0,92	-3,46	2,05	2,05	-0,16	-0,46	-1,99	0,04
65,00	65,25	0,93	-3,46	2,07	2,07	-0,18	-0,49	-2,02	0,04
70,00	70,15	1,04	-3,89	2,12	2,12	-0,18	-0,49	-2,01	0,04
75,00	74,50	1,05	-3,82	2,13	2,13	-0,20	-0,50	-2,01	0,04
80,00	80,10	1,02	-3,78	2,11	2,11	-0,18	-0,48	-1,99	0,04
85,00	86,10	0,98	-3,75	2,06	2,06	-0,17	-0,50	-1,98	0,03
90,00	90,10	0,95	-3,71	2,03	2,03	-0,18	-0,49	-1,99	0,03
95,00	94,50	1,22	-2,89	1,99	1,99	-0,18	-0,48	-1,99	0,03

100,00	100,30	1,18	-2,82	1,95	1,95	-0,12	-0,46	-2,01	0,02
105,00	105,45	1,11	-2,74	1,88	1,88	-0,12	-0,45	-1,99	0,02
110,00	110,20	1,07	-2,68	1,83	1,83	-0,12	-0,46	-1,99	0,02
115,00	114,50	0,99	-2,57	1,73	1,73	-0,12	-0,48	-2,00	0,02
120,00	121,80	0,71	-3,00	1,66	1,66	-0,12	-0,48	-2,00	0,01
125,00	124,40	0,65	-2,90	1,61	1,61	-0,15	-0,53	-2,04	0,01
130,00	130,40	0,57	-2,76	1,49	1,49	-0,14	-0,54	-2,04	0,01
135,00	136,10	0,48	-2,64	1,35	1,35	-0,13	-0,55	-2,03	0,00
140,00	140,60	0,24	-4,83	1,32	1,32	-0,15	-0,57	-2,03	-0,01
145,00	144,40	0,64	-2,00	1,27	1,27	-0,16	-0,58	-2,04	-0,01
150,00	150,50	0,56	-1,91	1,14	1,14	-0,15	-0,58	-2,03	-0,01
155,00	154,50	0,47	-1,79	1,00	1,00	-0,16	-0,60	-2,04	-0,02
160,00	160,30	0,42	-1,67	0,89	0,89	-0,16	-0,61	-2,05	-0,02
165,00	164,50	0,33	-1,51	0,74	0,74	-0,16	-0,61	-2,04	-0,02
170,00	169,50	0,33	-1,51	0,74	0,74	-0,16	-0,61	-2,03	-0,03
175,00	173,60	0,14	-1,29	0,38	0,38	-0,16	-0,61	-2,03	-0,03
180,00	179,15	0,03	-1,12	0,15	0,15	-0,17	-0,64	-2,04	-0,03
185,00	184,40	-0,05	-1,04	-0,04	-0,04	-0,16	-0,64	-2,02	-0,03
190,00	189,70	-0,85	-1,09	-0,35	-0,35	-0,17	-0,65	-2,02	-0,03
195,00	194,40	-0,85	-1,09	-0,35	-0,35	-0,17	-0,66	-2,03	-0,03
200,00	198,40	-1,11	-0,56	-0,77	-0,77	-0,17	-0,66	-2,03	-0,03
205,00	204,40	-1,25	-0,88	-0,95	-0,95	-0,17	-0,67	-2,03	-0,03
210,00	210,30	-1,47	-0,65	-1,23	-1,23	-0,18	-0,69	-2,05	-0,03
215,00	214,60	-1,70	0,17	-1,48	-1,48	-0,19	-0,71	-2,08	-0,03
220,00	219,75	-1,65	-0,06	-1,62	-1,62	-0,20	-0,73	-2,11	-0,03
225,00	224,80	-1,83	**	-1,90	-1,90	-0,18	-0,71	-2,14	-0,03
230,00	230,00	-1,99	**	-2,14	-2,14	-0,16	-0,70	-2,15	-0,03
235,00	234,50	-2,12	**	-2,35	-2,35	-0,18	-0,70	-2,18	-0,03
240,00	239,75	-2,35	**	-2,65	-2,65	-0,17	-0,70	-2,19	-0,03
245,00	244,40	-2,52	**	-2,88	-2,88	-0,18	-0,71	-2,23	-0,03
250,00	250,10	-2,61	**	-2,99	-2,99	-0,17	-0,70	-2,23	-0,03
255,00	254,10	-2,61	**	-2,99	-2,99	-0,18	-0,71	-2,23	-0,03
260,00	258,40	-3,36	**	-3,71	-3,71	-0,18	-0,71	-2,23	-0,03
265,00	263,70	-0,05	**	-0,06	-0,06	-0,16	-0,71	-2,28	-0,03

Tabela A. 44 – Leituras dos extensômetros no ensaio da placa A30-12B30

CARGA (kN)		EXTENSÔMETRO NAS BT's				EXTENSÔMETRO NO CONCRETO			
Q1	Q2	EA1.sup	EA1.inf	EA2.sup	EA2.inf	EC1	EC2	EC3	EC4
0,00	0,00	0,00	-	**	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,00	3,98	0,00	0,01	**	0,02	0,03	0,01	0,00	0,01
8,00	8,00	0,00	0,03	**	0,03	0,06	0,02	0,01	0,03
12,00	11,93	0,01	0,02	**	0,03	0,06	-0,01	-0,01	0,04
16,00	15,90	-0,01	-0,01	**	0,01	0,06	-0,02	-0,04	0,07
20,00	19,80	-0,01	-0,01	**	0,01	0,08	-0,03	-0,05	0,09
24,00	23,80	-0,01	-0,03	**	0,00	0,08	-0,07	-0,10	0,12
28,00	27,78	0,01	-0,03	**	0,02	0,11	-0,06	-0,09	0,14
32,00	31,95	0,01	-0,03	**	0,02	0,11	-0,09	-0,12	0,17
36,00	35,78	-0,01	-0,06	**	0,01	0,07		-0,01	0,13
40,00	39,90	-0,02	-0,07	**	0,12	0,10		-0,03	0,20
45,00	45,45	0,70	-2,24	**	1,48	0,09		-0,04	0,23
50,00	49,07	0,98	-2,43	**	1,64	0,09		-0,02	0,26
55,00	54,24	-0,70	-2,66	**	1,78	0,06		-0,05	0,28
60,00	58,67	-0,52	-2,85	**	1,93	0,04		-0,06	0,30
65,00	66,04	-0,36	-3,07	**	2,11	0,02		-0,06	0,32
70,00	69,49	-0,14	-3,23	**	2,25	0,01		-0,07	0,35
75,00	76,60	-0,23	-3,42	**	2,42	-0,03		-0,07	0,38
80,00	78,95	-0,22	-3,57	**	2,58	-0,04		-0,07	0,42
85,00	84,39	-0,10	-3,75	**	2,75	-0,05		-0,09	0,45
90,00	89,40	0,24	-3,89	**	2,87	-0,09		-0,11	0,48
95,00	94,05	0,27	-4,01	**	3,01	-0,13		-0,10	0,49
100,00	99,71	0,42	-4,13	**	3,13	-0,18		-0,10	0,50

105,00	104,59	0,51	-4,26	**	3,25	-0,28		-0,12	0,50
110,00	109,13	0,62	-4,37	**	3,34	-0,59		-0,13	0,50
115,00	114,70	0,83	-4,39	**	3,46	-0,87		-0,12	0,51
120,00	119,83	0,78	-4,49	**	3,53	-1,19		-0,14	0,53
125,00	124,43	0,85	-4,60	**	3,59	-1,49		-0,16	0,53
130,00	129,80	1,04	-4,69	**	3,62	-1,82		-0,16	0,54
135,00	134,21	0,63	-4,50	**	3,09	-2,86		-0,18	0,45
140,00	139,10	0,60	-4,47	**	3,04	-3,50		-0,18	0,44
145,00	143,90	0,50	-4,45	**	3,00			-0,18	0,44
150,00	149,00	0,91	-4,42	**	2,92			-0,19	0,45
155,00	153,78	1,00	-4,40	**	2,86			-0,19	0,46
160,00	159,67	1,19	-4,35	**	2,69			-0,21	0,50
165,00	164,01	1,61	-4,32	**	2,58			-0,22	0,56
170,00	169,56	3,42	-4,26	**	2,44			-0,20	0,63
175,00	176,09	3,43	-4,24	**	2,34			-0,18	0,67
180,00	179,45	3,39	-4,24	**	2,28			-0,18	0,66
185,00	184,46	1,16	-4,18	**	2,16			-0,20	0,55
190,00	189,20	0,87	-4,16	**	2,09			-0,22	0,44
195,00	194,19	2,90	-4,06	**	2,52			-0,21	0,25
200,00	198,49	2,84	-4,07	**	2,38			-0,21	-0,03
205,00	204,19	1,11	-4,00	**	**			-0,22	-0,16
210,00	210,86	0,68	-4,00	**	**			-0,25	-0,20
215,00	214,36	0,25	-3,98	**	**			-0,21	-0,19
220,00	219,46	0,39	-3,97	**	**			-0,21	-0,22
225,00	223,39	0,03	-3,93	**	**			-0,24	-0,25
230,00	228,50	-1,57	-3,95	**	**			-0,27	-0,25
235,00	232,65	-2,13	-3,93	**	**			-0,25	-0,28
240,00	239,29	-2,09	-3,89	**	**			-0,27	-0,30
245,00	244,05	-2,21	-3,90	**	**			-0,29	-0,33
250,00	248,03	**	-3,88	**	**			-0,29	-0,35
255,00	254,60	**	-3,85	**	**			-0,29	-0,38
260,00	259,63	**	-3,86	**	**			-0,29	-0,41
265,00	264,80	**	-3,83	**	**			-0,32	-0,54

APÊNDICE B

DEMAIS GRÁFICOS

Este apêndice apresenta os demais gráficos não apresentados nos capítulos anteriores. Os itens B.1 e B.2 relacionam a carga aplicada e as deformações dos extensômetros do aço e do concreto que não constam no Capítulo 4. O item B.3 apresenta os gráficos das deformadas das placas antes e após a fissuração em algumas cargas específicas (P_y , P_{trans} e $P_{máx}$).

B.1 - EXTENSÔMETRO DO AÇO E DO CONCRETO

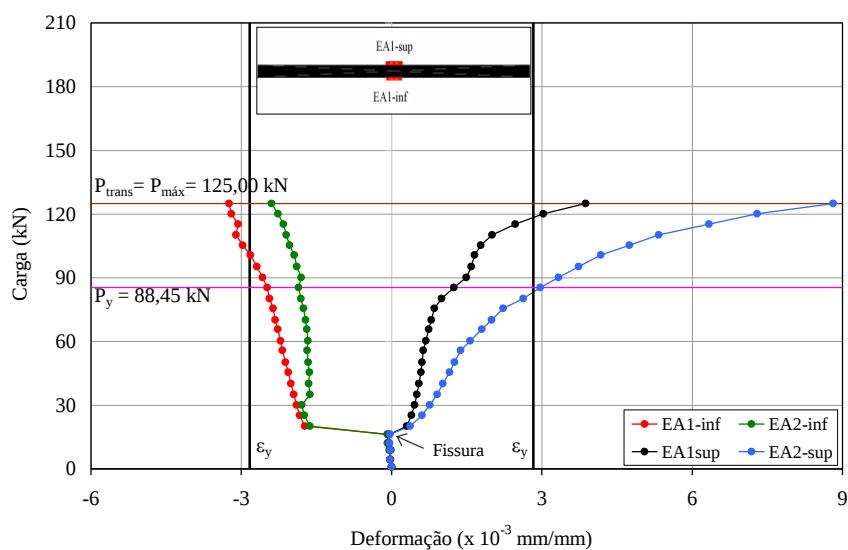


Figura B. 10 – Gráfico carga aplicada x deformação no aço da placa C30-12B50

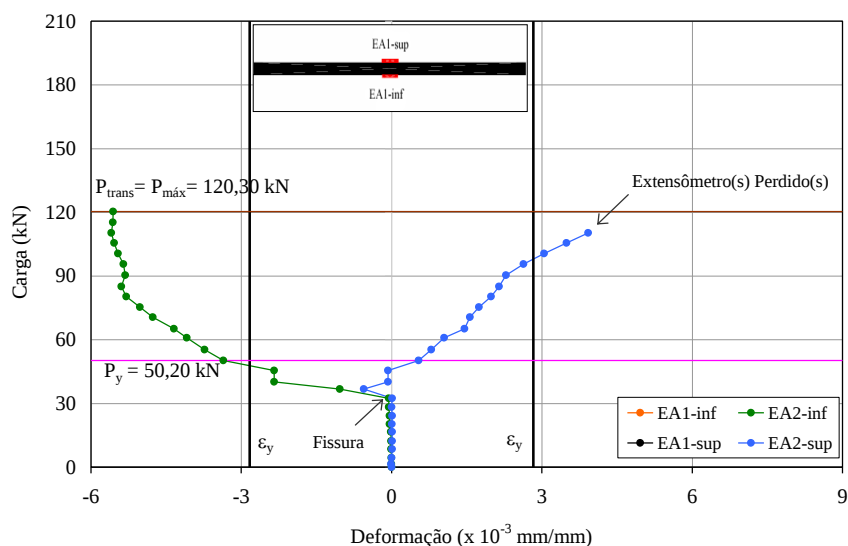


Figura B. 11 – Gráfico carga aplicada x deformação no aço da placa A30-12B50

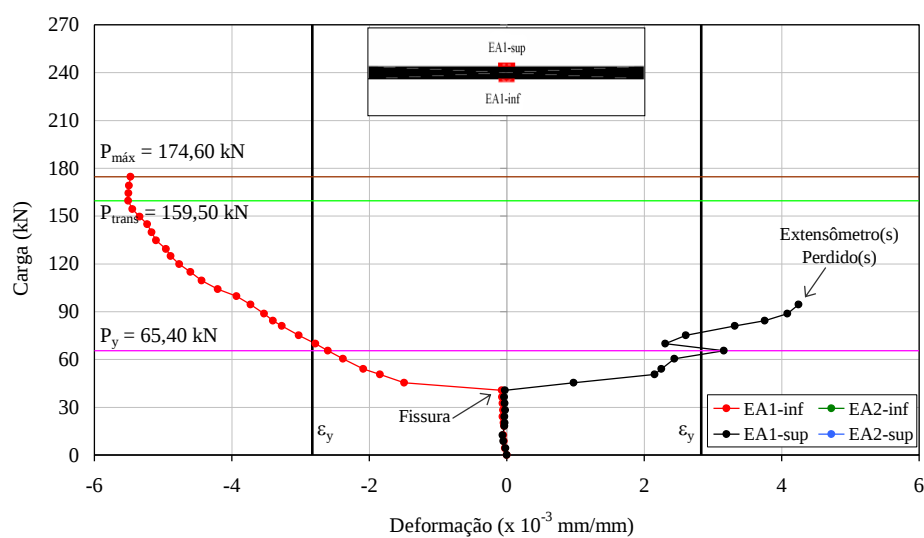


Figura B. 12 – Gráfico carga aplicada x deformação no aço da placa C20-16B40

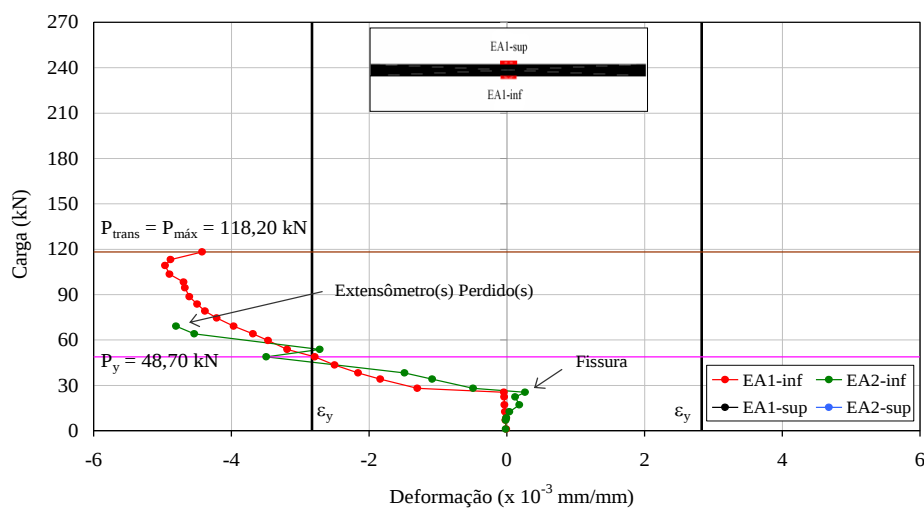


Figura B. 13 – Gráfico carga aplicada x deformação no aço da placa C20-12B40

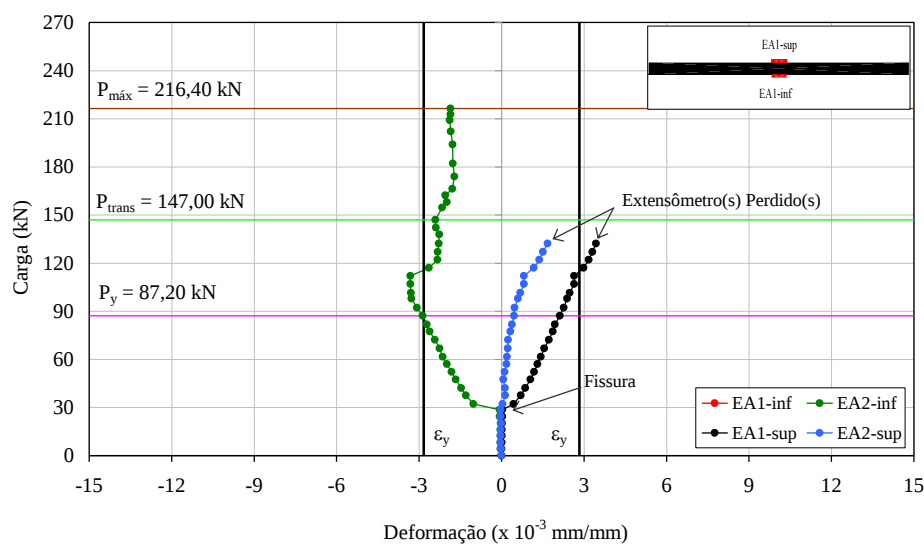


Figura B. 14 – Gráfico carga aplicada x deformação no aço da placa C20-16B30

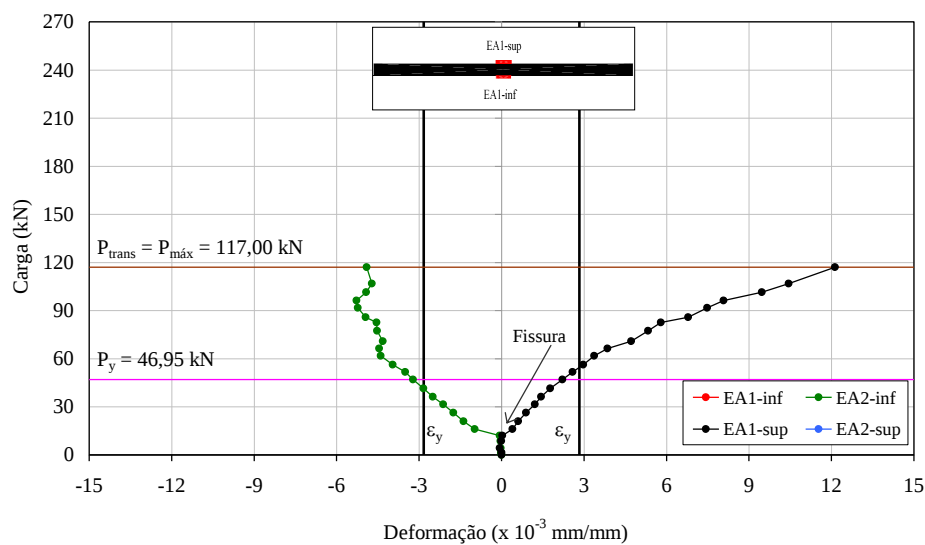


Figura B. 15 – Gráfico carga aplicada x deformação no aço da placa C20-12B30

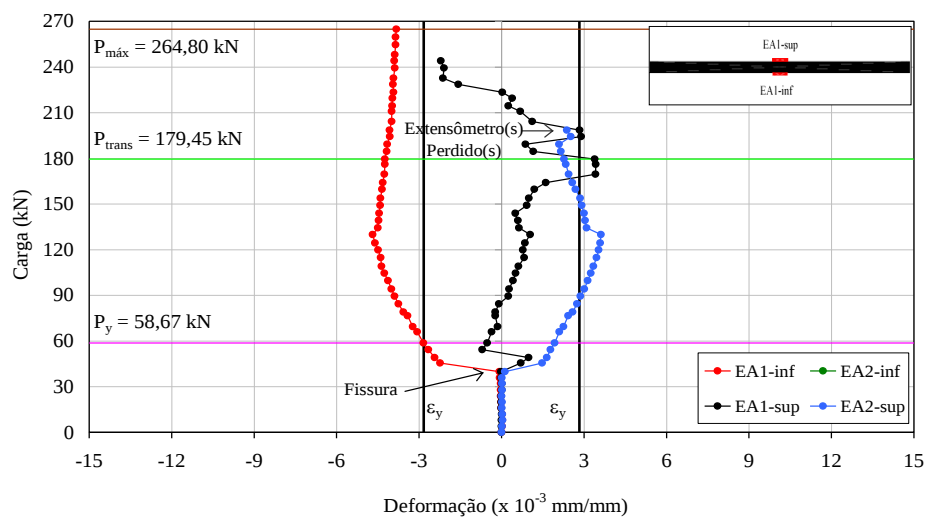


Figura B. 16 – Gráfico carga aplicada x deformação no aço da placa A30-12B30

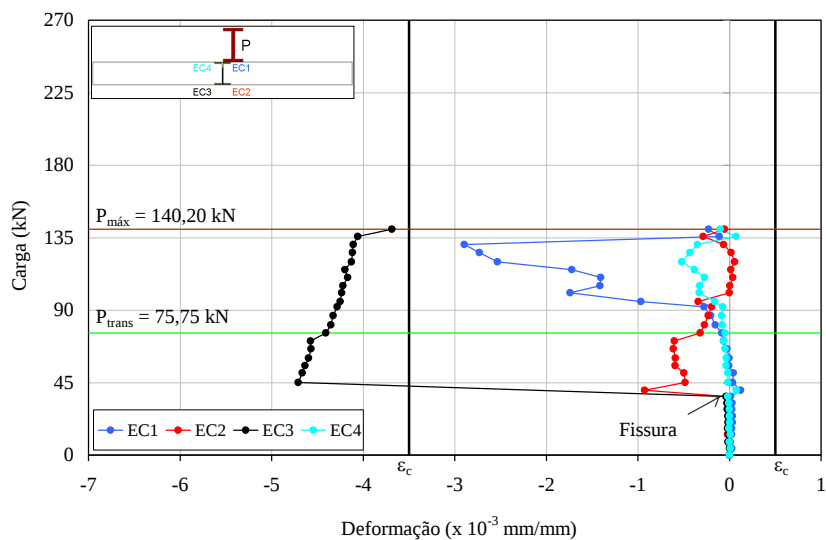


Figura B. 17 – Gráfico carga aplicada x deformação do concreto da placa C20-16SB

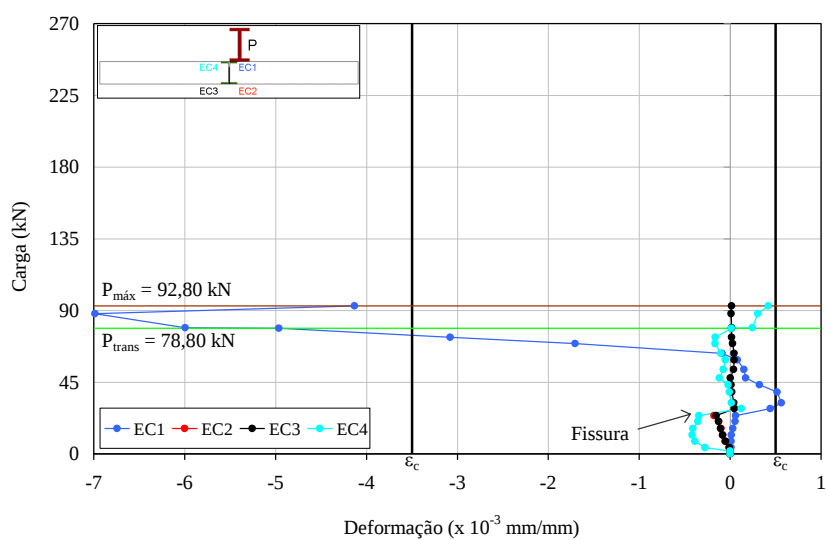


Figura B. 18 – Gráfico carga aplicada x deformação do concreto da placa C20-12SB

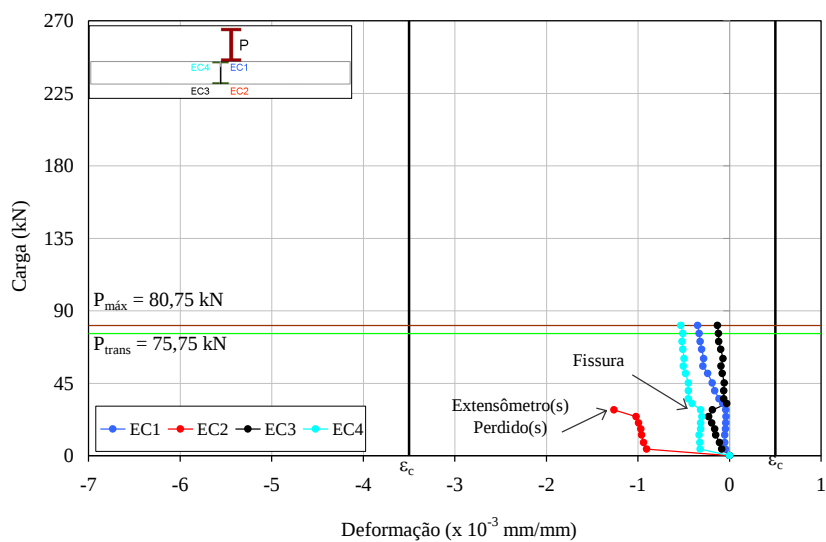


Figura B. 19 – Gráfico carga aplicada x deformação do concreto da placa C30-12SB

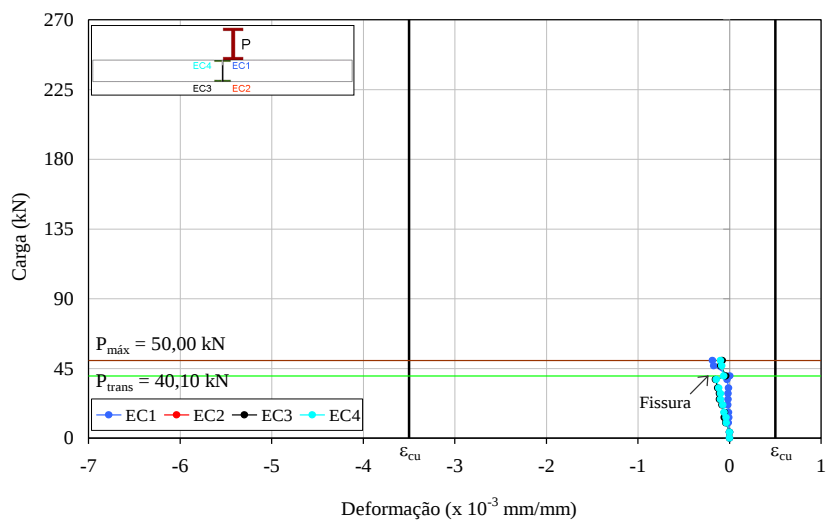


Figura B. 20 – Gráfico carga aplicada x deformação do concreto da placa A30-12SB

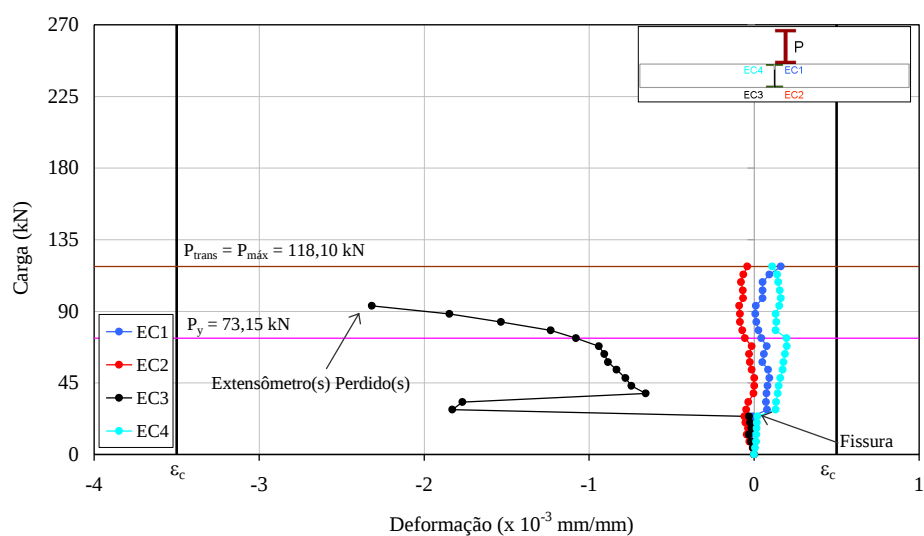


Figura B. 21 – Gráfico carga aplicada x deformação do concreto da placa C20-16B50

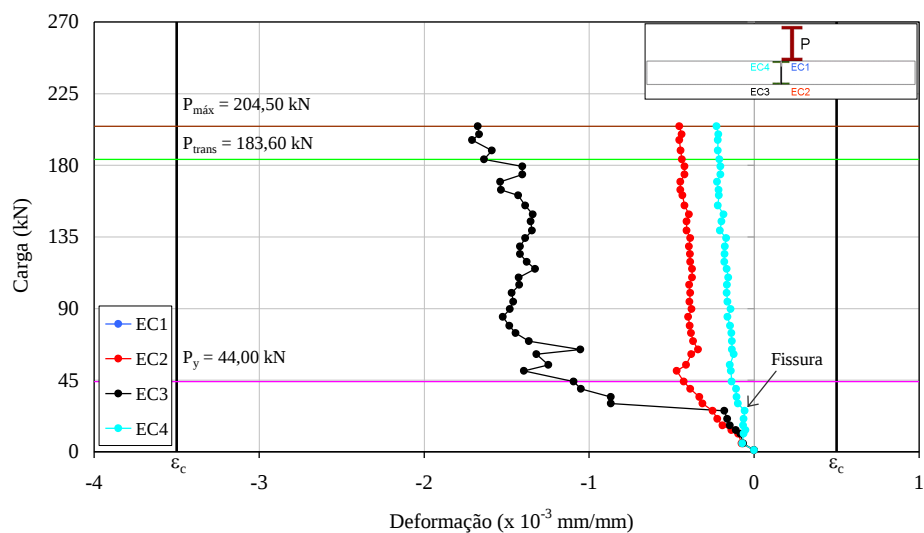


Figura B. 22 – Gráfico carga aplicada x deformação do concreto da placa C20-12B50

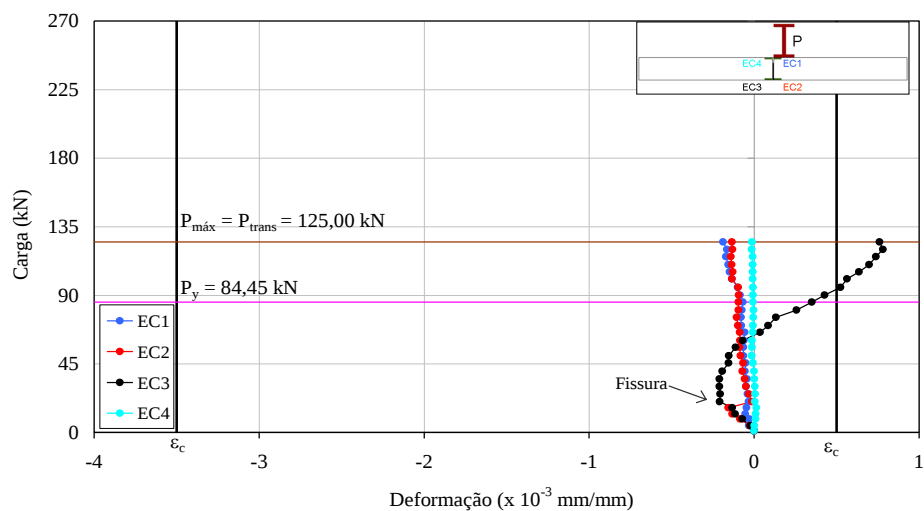


Figura B. 23 – Gráfico carga aplicada x deformação do concreto da placa C30-12B50

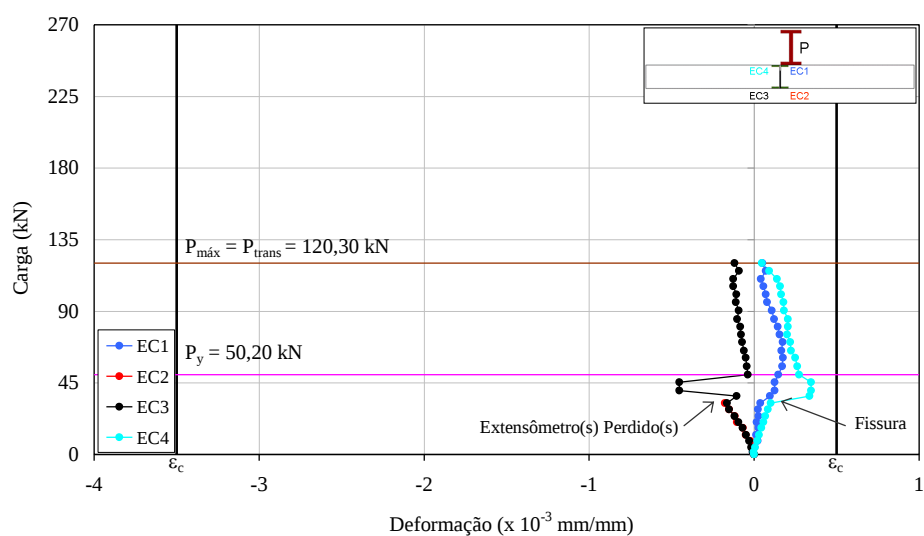


Figura B. 24 – Gráfico carga aplicada x deformação do concreto da placa A30-12B50

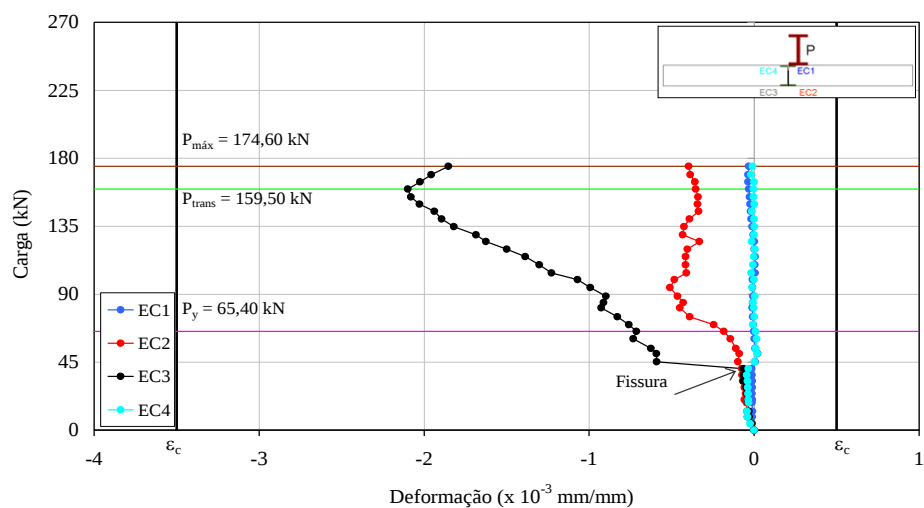


Figura B. 25 – Gráfico carga aplicada x deformação do concreto da placa C20-16B40

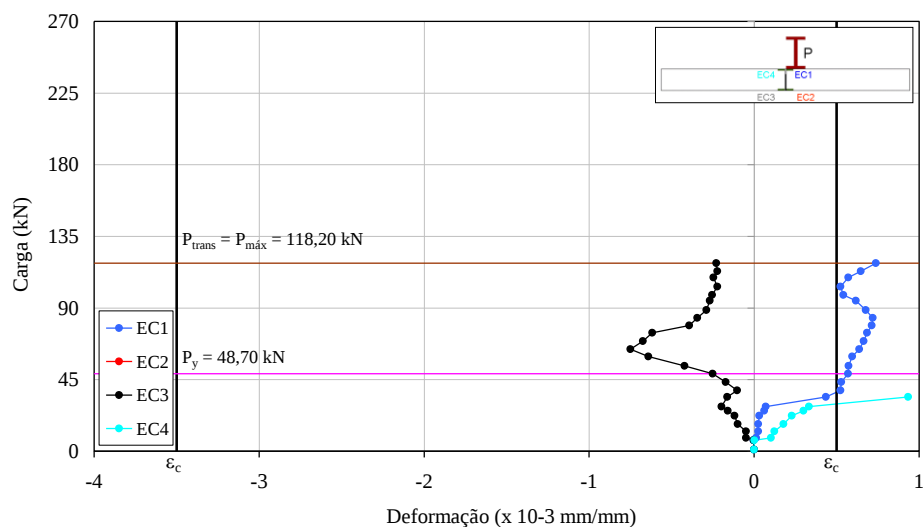


Figura B. 26 – Gráfico carga aplicada x deformação do concreto da placa C20-12B40

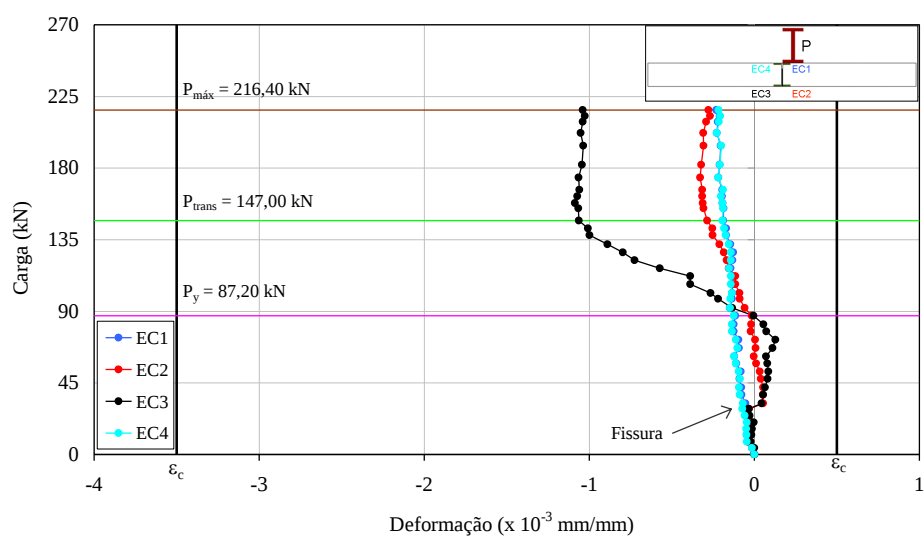


Figura B. 27 – Gráfico carga aplicada x deformação do concreto da placa C20-16B30

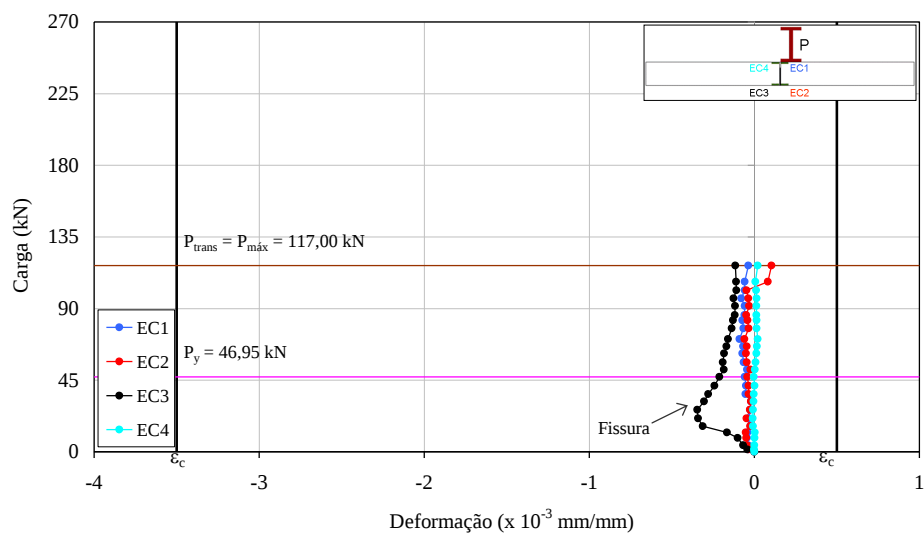


Figura B. 28 – Gráfico carga aplicada x deformação do concreto da placa C20-12B30

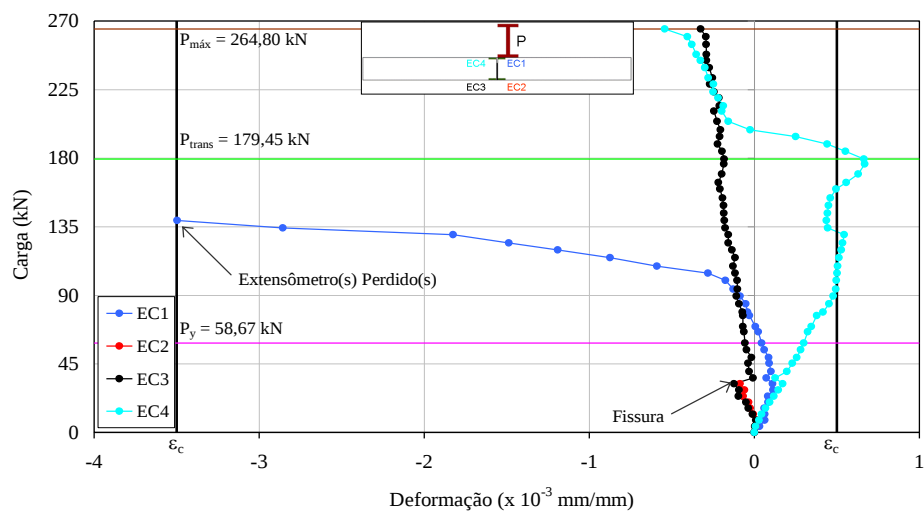


Figura B. 29 – Gráfico carga aplicada x deformação do concreto da placa A30-12B30

B.2 – DEFORMADA DAS PLACAS

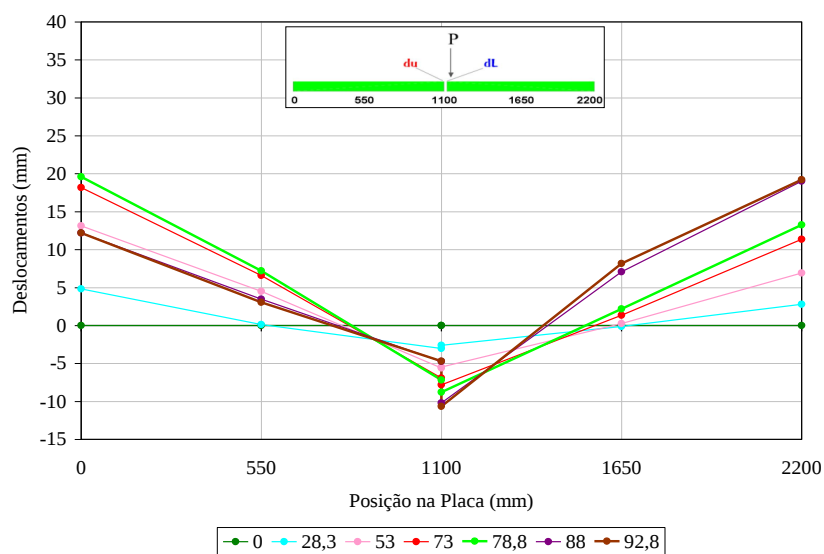


Figura B. 30 – Gráfico deformada da placa C20-12SB

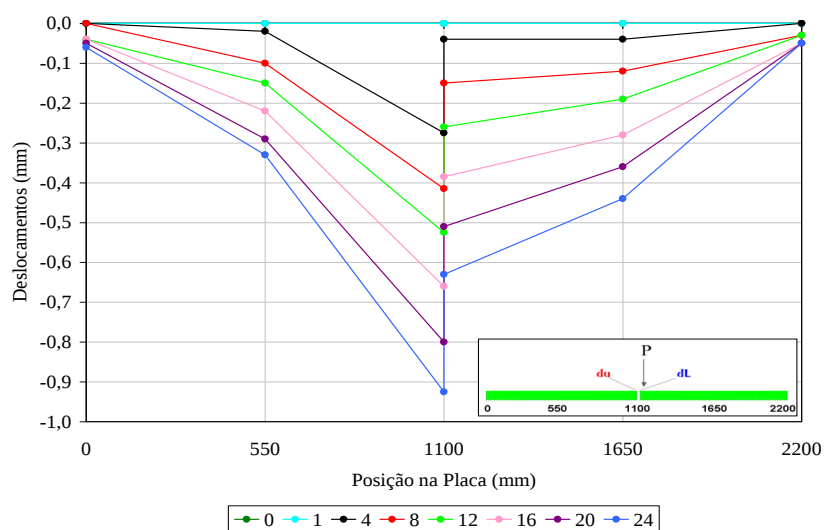


Figura B. 31 – Gráfico deformada da placa C20-12SB – antes da fissuração

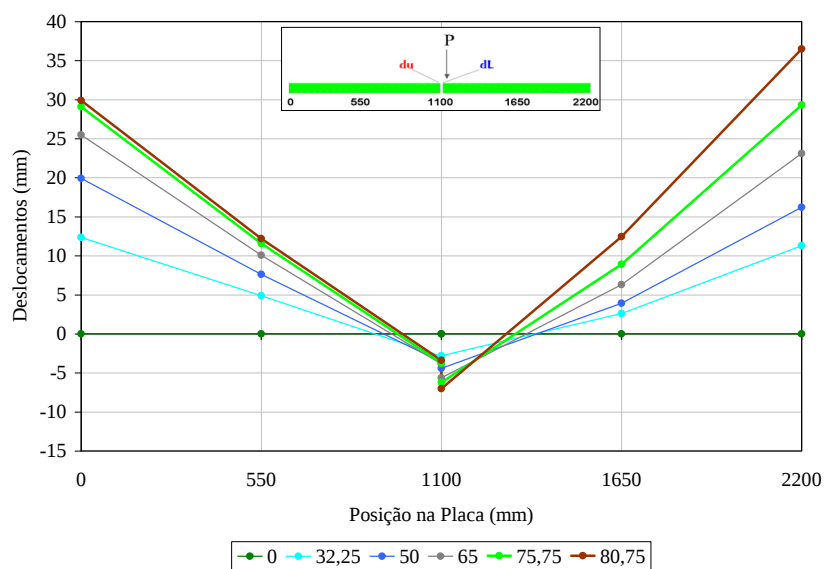


Figura B. 32 – Gráfico deformada da placa C30-12SB

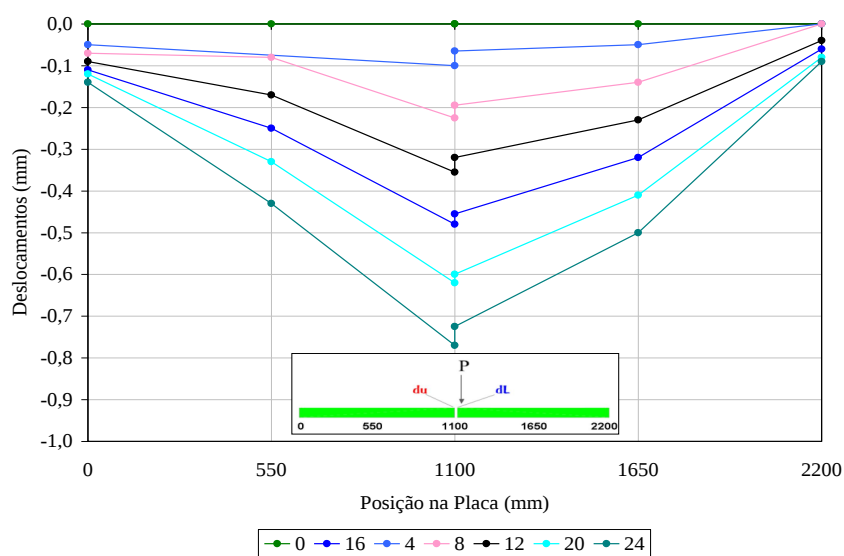


Figura B. 33 – Gráfico deformada da placa C30-12SB – antes da fissuração

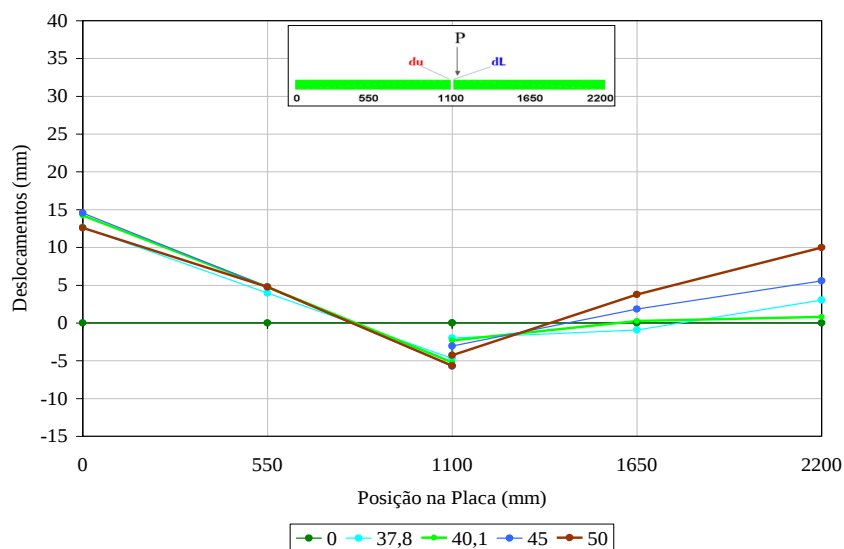


Figura B. 34 – Gráfico deformada da placa A30-12SB

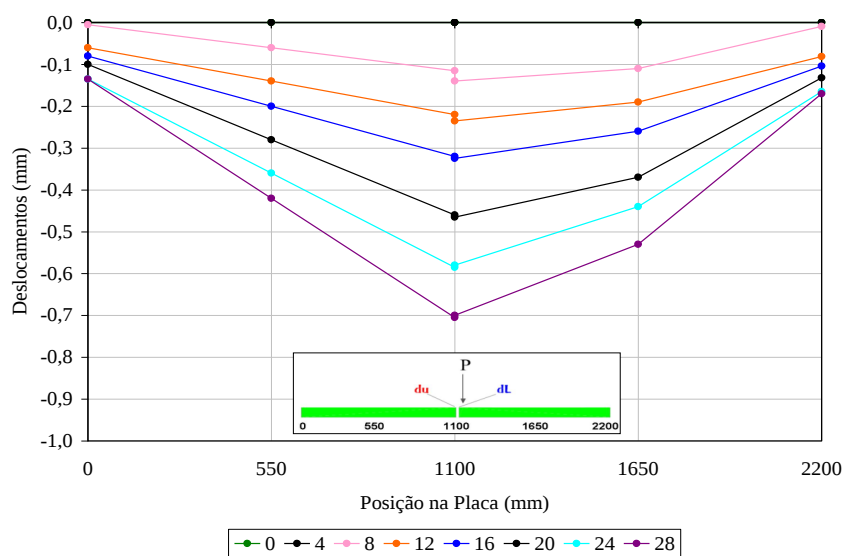


Figura B. 35 – Gráfico deformada da placa A30-12SB – antes da fissuração

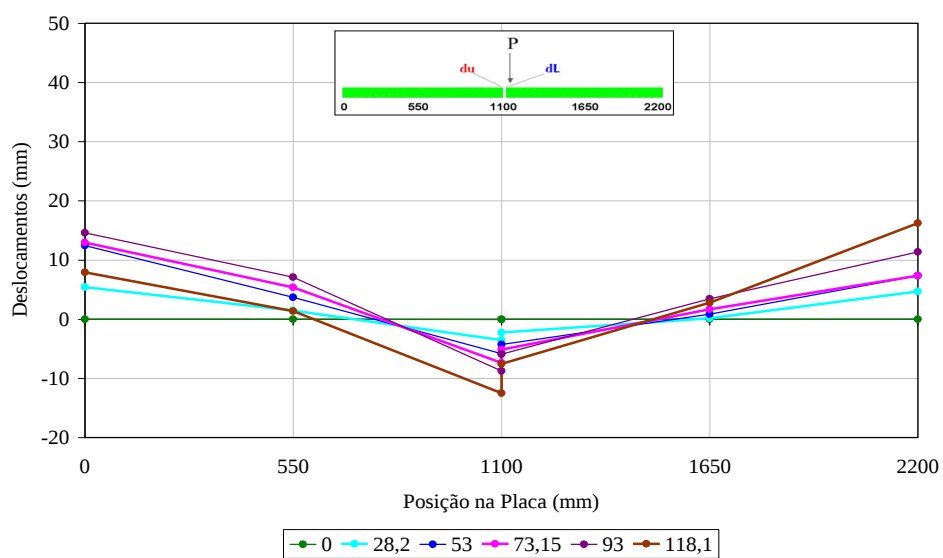


Figura B. 36 – Gráfico deformada da placa C20-16B50

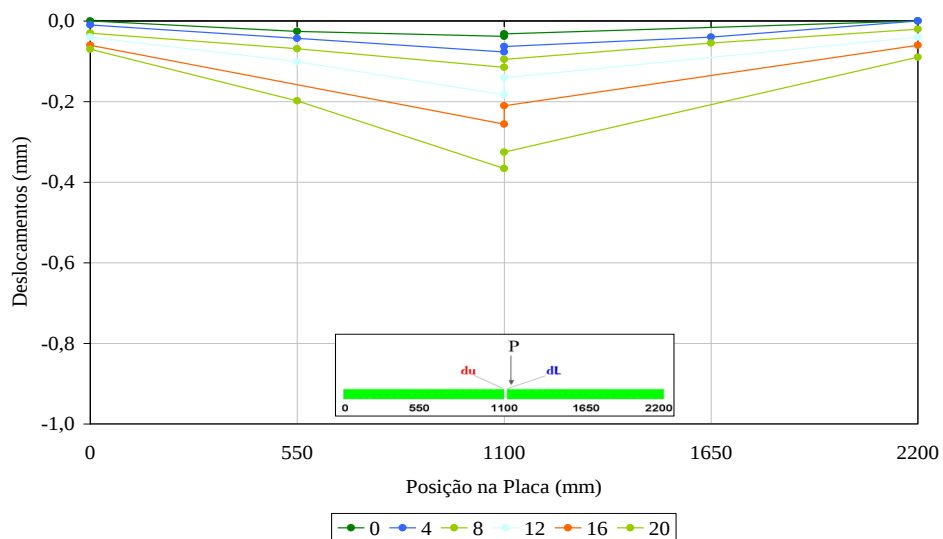


Figura B. 37 – Gráfico deformada da placa C20-16B50 – antes da fissuração

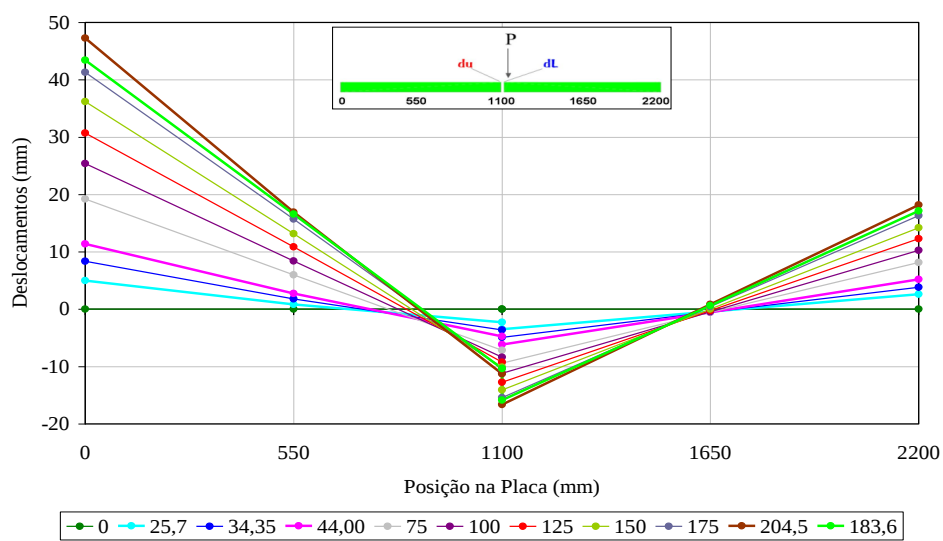


Figura B. 38 – Gráfico deformada da placa C20-12B50

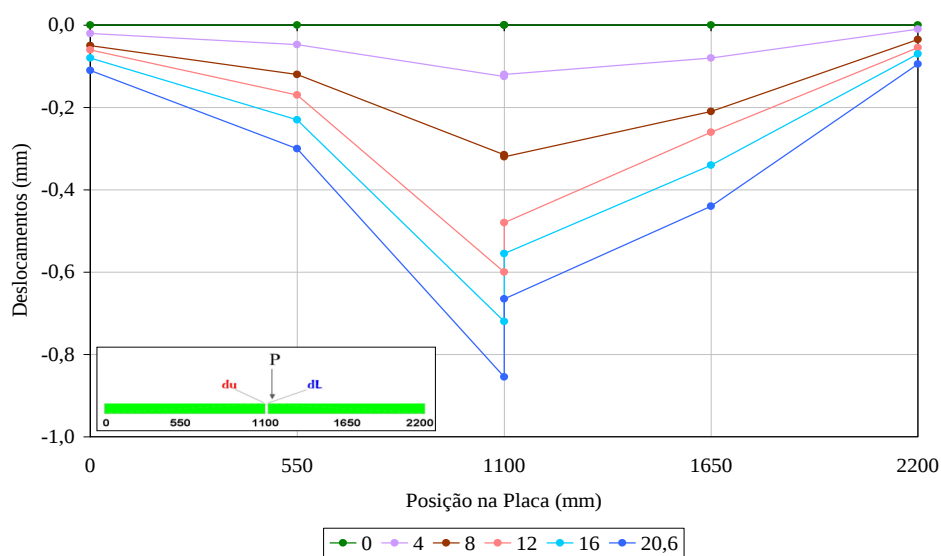


Figura B. 39 – Gráfico deformada da placa C20-12B50 – antes da fissuração

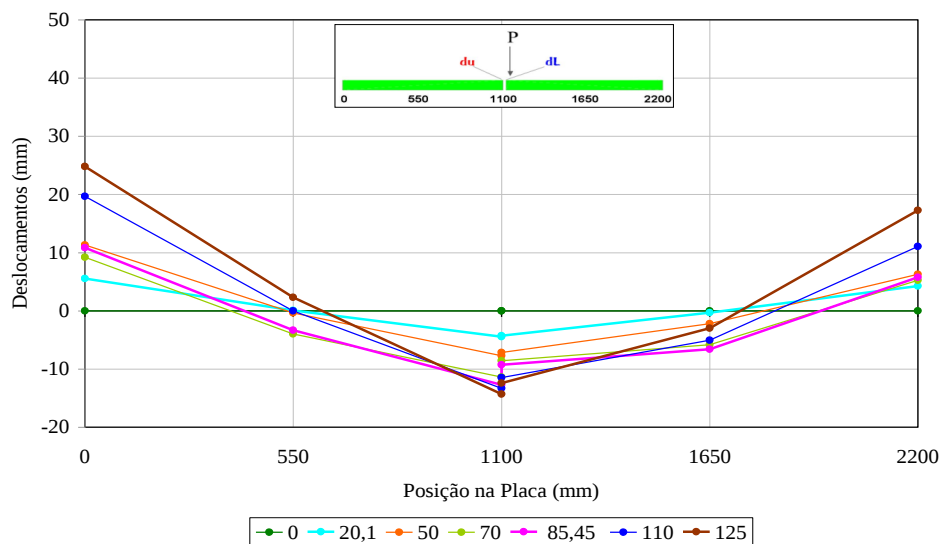


Figura B. 40 – Gráfico deformada da placa C30-12B50

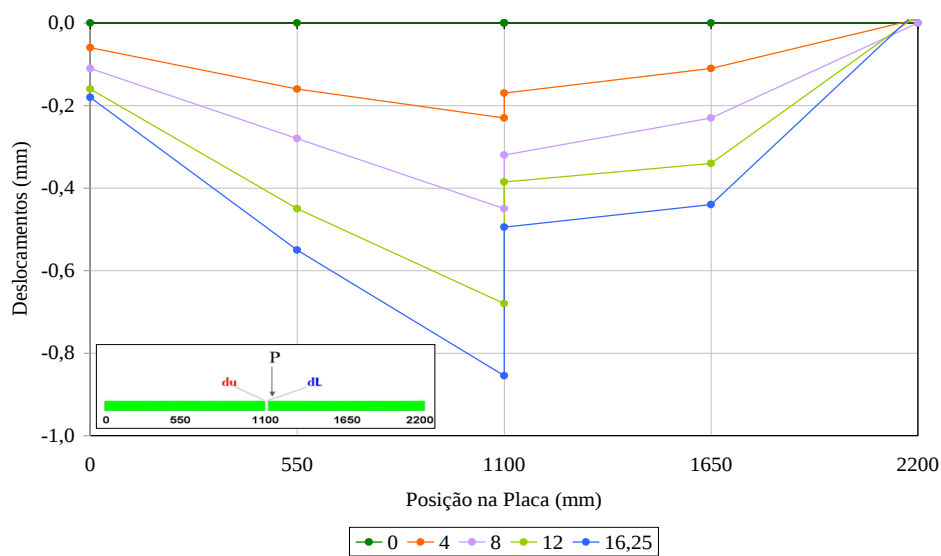


Figura B. 41 – Gráfico deformada da placa C30-12B50 – antes da fissuração

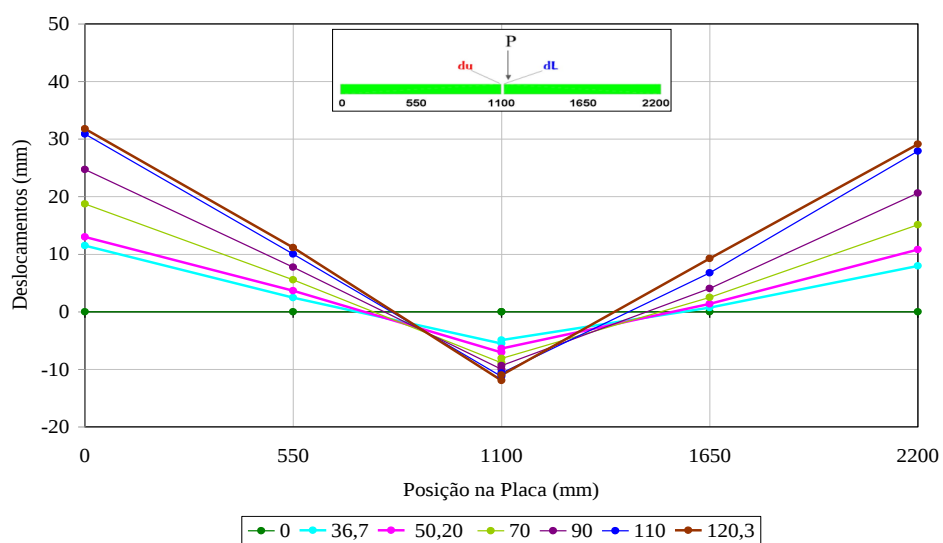


Figura B. 42 – Gráfico deformada da placa A30-12B50

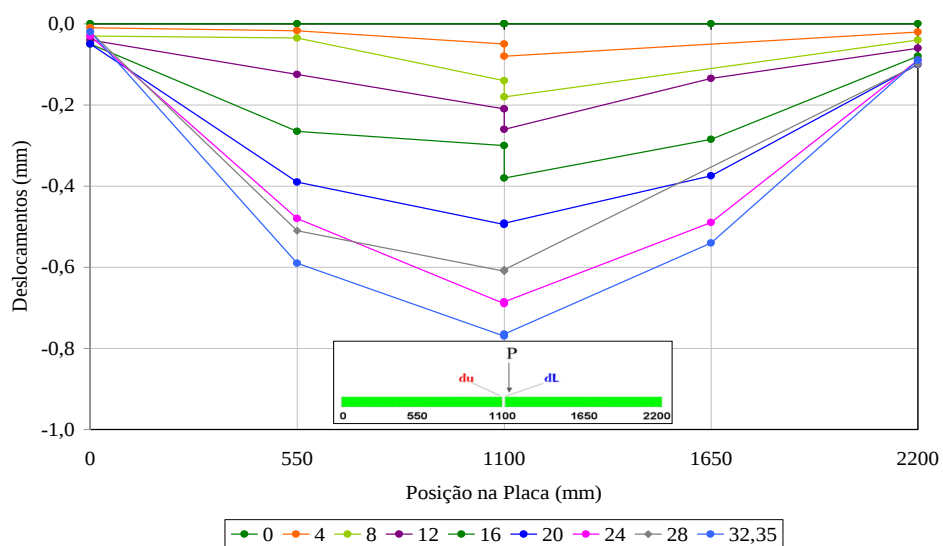


Figura B. 43 – Gráfico deformada da placa A30-12B50 – antes da fissuração

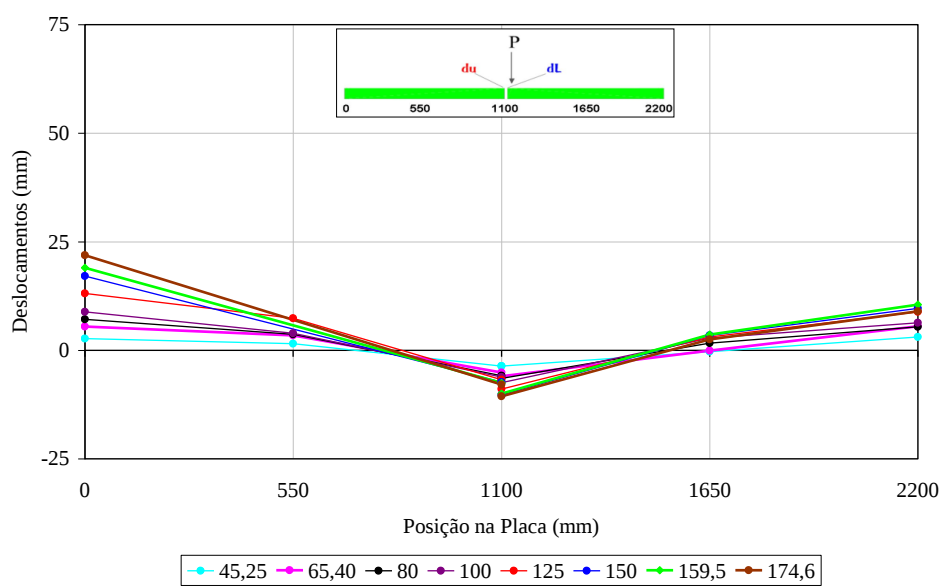


Figura B. 44 – Gráfico deformada da placa C20-16B40

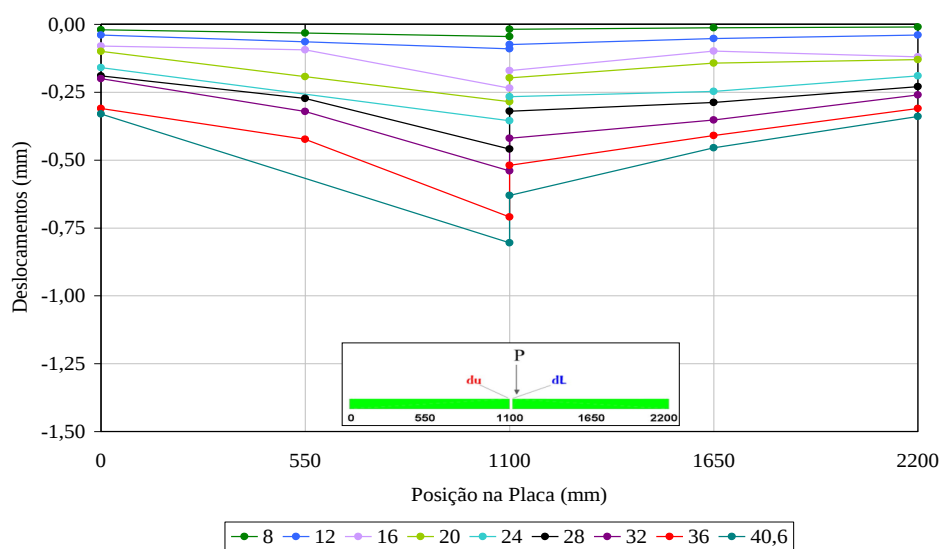


Figura B. 45 – Gráfico deformada da placa C20-16B40 – antes da fissuração

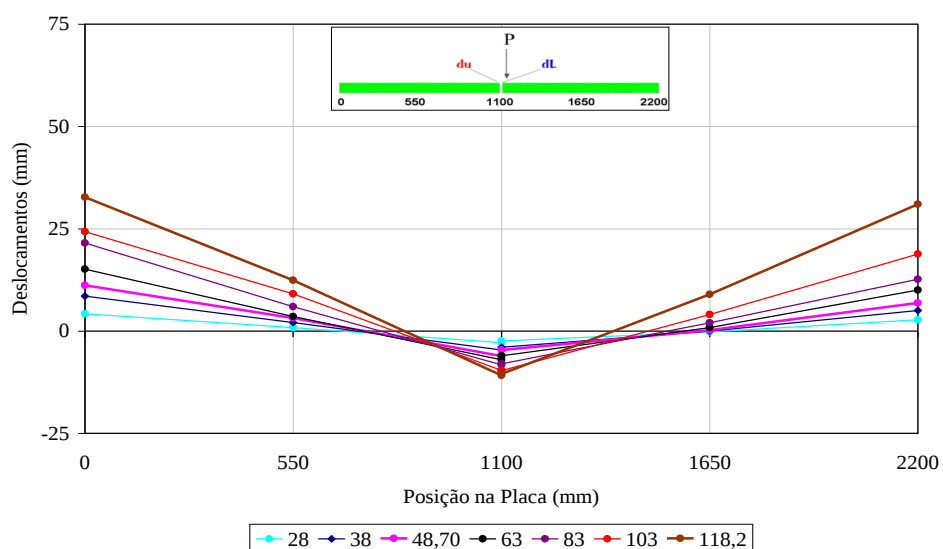


Figura B. 46 – Gráfico deformada da placa C20-12B40

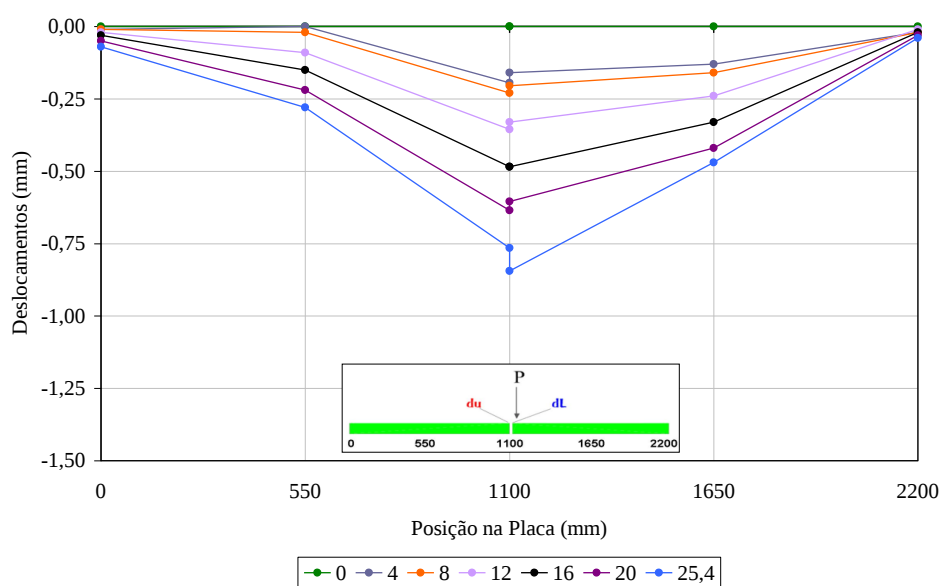


Figura B. 47 – Gráfico deformada da placa C20-12B40 – antes da fissuração

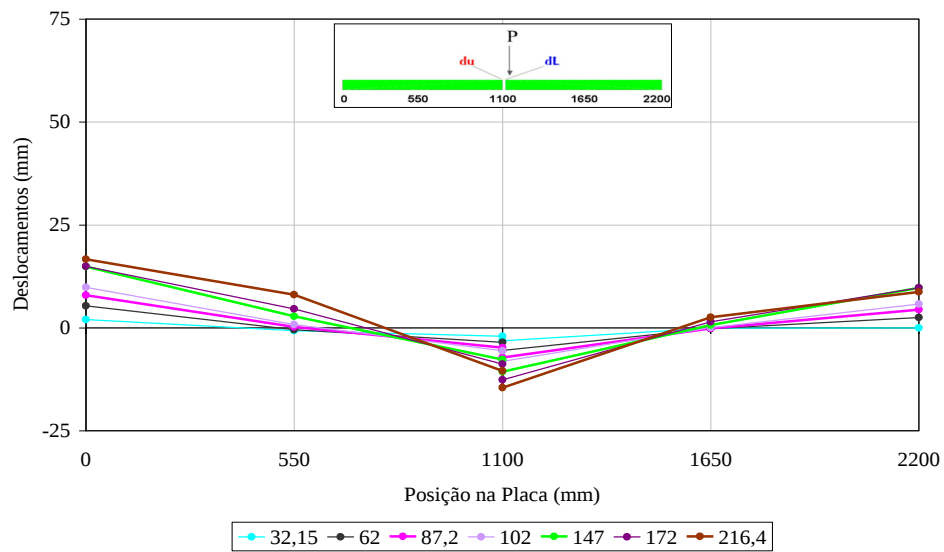


Figura B. 48 – Gráfico deformada da placa C20-16B30

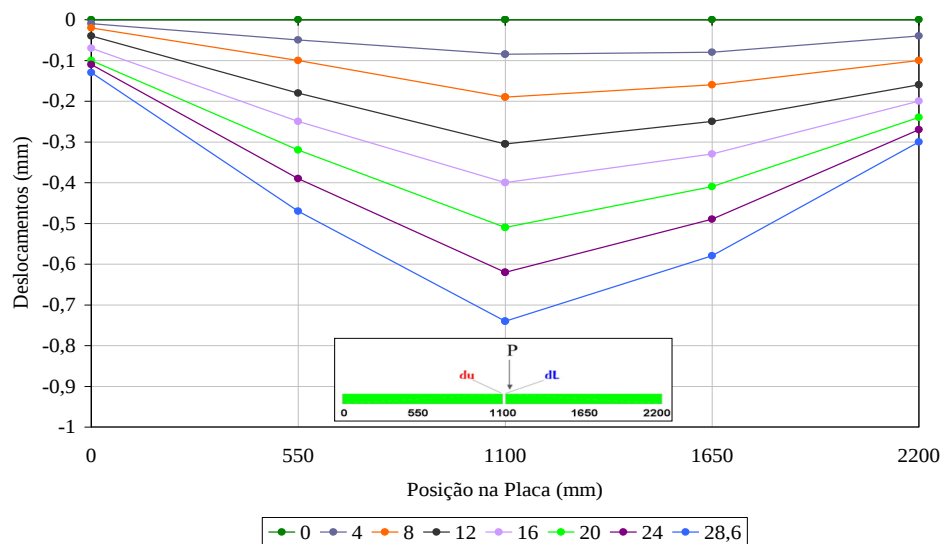


Figura B. 49 – Gráfico deformada da placa C20-16B30 – antes da fissuração

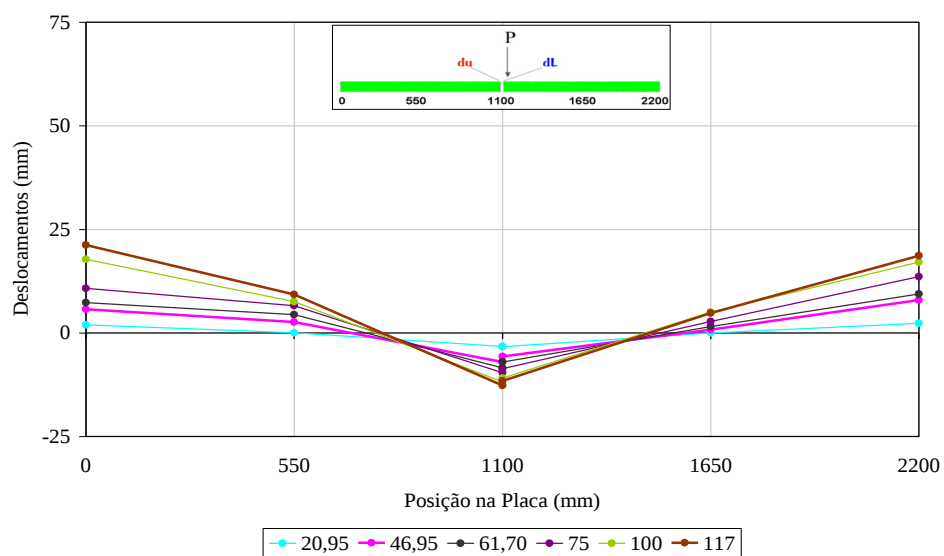


Figura B. 50 – Gráfico deformada da placa C20-12B30

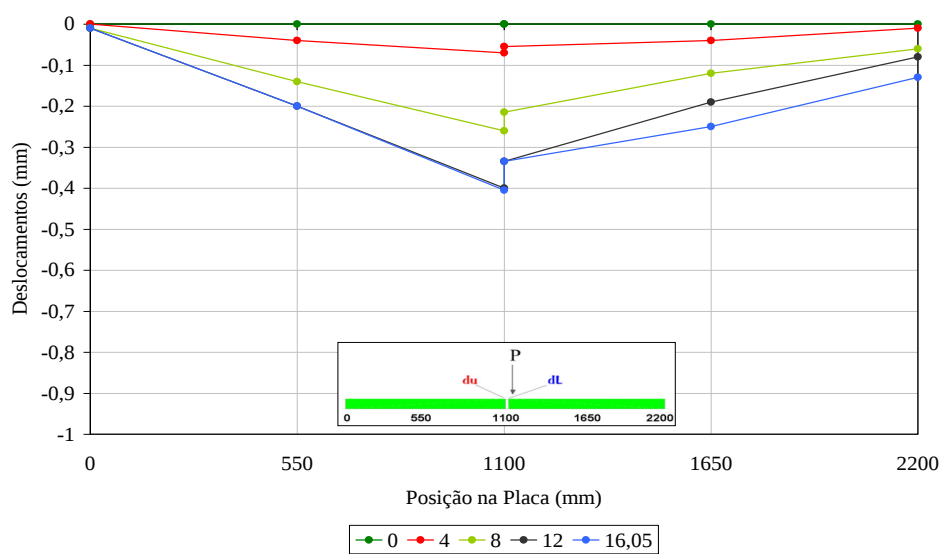


Figura B. 51 – Gráfico deformada da placa C20-12B30 – antes da fissuração

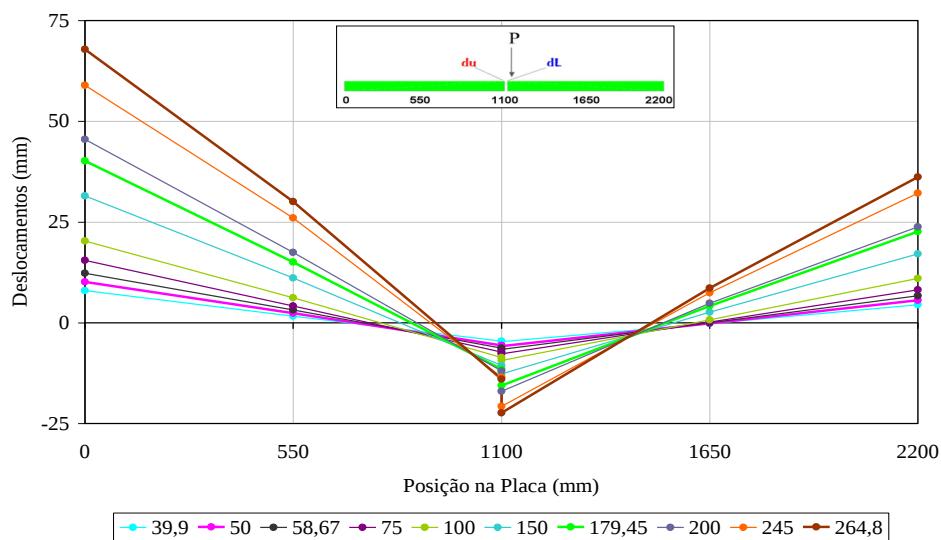


Figura B. 52 – Gráfico deformada da placa A30-12B30

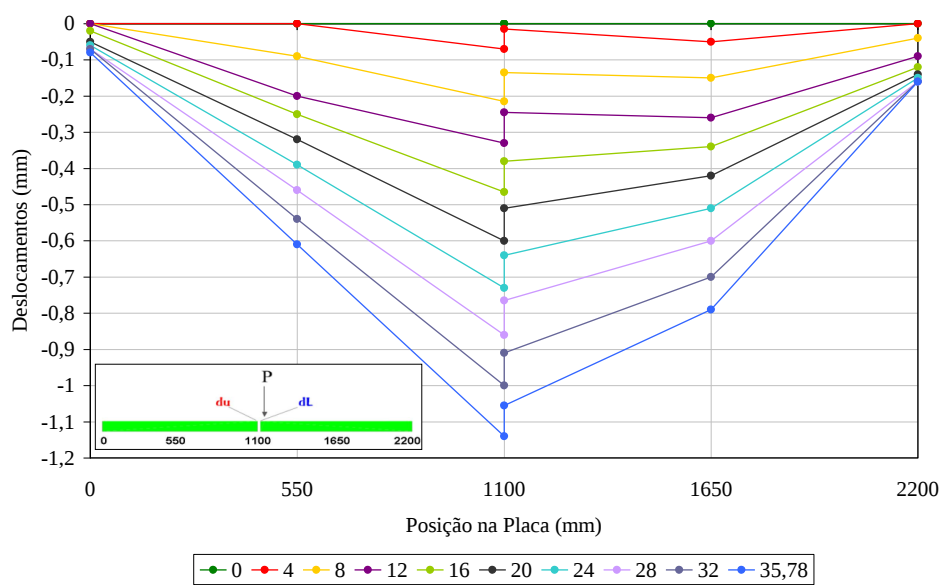


Figura B. 53 – Gráfico deformada da placa A30-12B30 – antes da fissuração

APÊNDICE C

CÁLCULO DAS RESULTANTES

Este apêndice apresenta os cálculos das resultantes experimental e teóricas apresentados no item 5.3. As resultantes foram calculadas para as cargas de 40,10 kN e 117 kN. O exemplo abaixo mostra o cálculo dos comprimentos L_u e L_L da placa C20-12B30 na carga de 117 kN:

C.1 – CÁLCULO DO COMPRIMENTO L

Os comprimentos L_L e L_U dos lados carregado e não carregado respectivamente representam o comprimento da placa que estava apoiado na fundação em uma determinada carga. Esses comprimentos foram obtidos a partir dos deslocamentos fornecidos pelos deflectômetros posicionados na placa de concreto conforme a Figura C. 1.

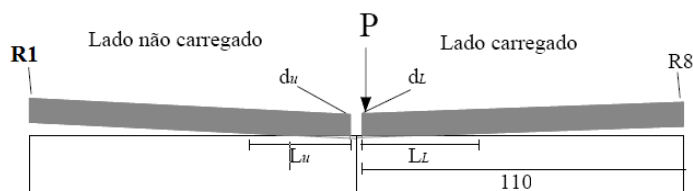


Figura C. 1 – Representação dos comprimentos L_u e L_L

O comprimento do lado carregado, L_L , foi calculado a partir do deflectômetro D8 e da média dos deflectômetros localizados na junta (D5 e D6). De modo similar o comprimento do lado não carregado, L_U , foi obtido através das leituras dos deflectômetros D1, D3 e D4.

Tabela C. 1 – Deslocamentos da placa C20-12B30 na carga de 117 kN

Placa	Carga kN	Deslocamentos (mm)							
		D1	D3	D4	Média d_u	D8	D5	D6	Média d_L
C20-12B30	117,00	21,22	-12,27	-13,09	-12,68	18,64	-12,69	-10,51	-11,60

$$L_u = \frac{12,68 \times 110}{(12,68 + 21,22)} = 41,14 \text{ cm}$$

$$L_L = \frac{11,60 \times 110}{(11,60 + 18,64)} = 42,20 \text{ cm}$$

C.2 – CÁLCULO DA RESULTANTE EXPERIMENTAL

A resultante experimental foi calculada conforme o item 5.3.1 a partir do equilíbrio das forças verticais, desconsiderando o peso próprio da placa, e das leituras obtidas nas células de carga localizadas abaixo da junta do lado não carregado (C2) e do lado carregado (C3).

Tabela C. 2 – Leituras das células de carga e comprimentos L_u e L_L da placa C20-12B30 na carga de 117 kN

Placa	Carga (kN)	C2 (kN)	C3 (kN)	L_u (cm)	L_L (cm)
C20-12B30	117,00	1,55	2,43	41,14	42,20

A partir das equações apresentadas no item 5.3.1:

$$\frac{R_{u,exp}}{C_u \times L_u} = \frac{R_{L,exp}}{C_L \times L_L} \quad (1)$$

$$F = R_{u,exp} + R_{L,exp} \quad (2)$$

E, substituindo (1) em (2) tem-se que:

$$R_{u,exp} = \frac{117}{\left(\frac{2,43 \times 42,20}{1,55 \times 41,14} \right)} = 44,87kN$$

$$R_{L,exp} = 117 - 44,87 = 72,13kN$$

C.3 – CÁLCULO DA RESULTANTE TEÓRICA – PRIMEIRO MÉTODO

O primeiro método é apresentado no item 5.3.2 (1) e considera que a resultante da fundação é triangular. A partir das equações 5.7 e 5.8, temos que:

$$\frac{R_{u,teo}^1}{d_u \times L_u} = \frac{R_{L,teo}^1}{d_L \times L_L} \quad (3)$$

$$F = R_{u,teo} + R_{L,teo} \quad (4)$$

Substituindo (3) em (4) e usando os valores dos comprimentos e dos deslocamentos apresentados nas tabelas acima temos que:

$$R_{u,teo}^1 = \frac{117}{\left(\frac{11,60 \times 42,20}{12,68 \times 41,14} \right)} = 60,37kN$$

$$R_{L,teo}^1 = 117 - 60,37 = 56,63kN$$

C.4 – CÁLCULO DA RESULTANTE TEÓRICA – SEGUNDO MÉTODO

O segundo método é apresentado no item 5.3.2 (2) e considera que a resultante da fundação é parabólica. A partir das equações 5.8 e 5.9, temos que:

$$\frac{R_{u,teo}^2}{(d_u)^2 \times L_u} = \frac{R_{L,teo}^2}{(d_L)^2 \times L_L} \quad (5)$$

$$F = R_{u,teo} + R_{L,teo} \quad (6)$$

Substituindo (5) em (6) e usando os valores dos comprimentos e dos deslocamentos apresentados nas tabelas acima temos que:

$$R_{u,teo}^2 = \frac{117}{\left(\frac{11,60^2 \times 42,20}{12,68^2 \times 41,14} + 1 \right)} = 62,96kN$$

$$R_{L,teo}^2 = 117 - 62,96 = 54,04kN$$

APÊNDICE D

TRAÇO E TEOR DE ARGAMASSA DOS CONCRETOS

Este apêndice apresenta na tabela abaixo os traços dos concretos convencionais e o teor de argamassa dos concretos convencionais e autoadensáveis utilizados nos ensaios experimentais deste estudo.

Tabela D. 45 – Traço dos concretos utilizados nos ensaios experimentais

TRAÇO DOS CONCRETOS			
MATERIAL	CONCRETO CONVENCIONAL Fck = 20MPa (brita 0/1, slump 9±1cm)	CONCRETO CONVENCIONAL Fck = 30MPa (brita 0/1, slump 9±1cm)	CONCRETO AUTOADENSÁVEL Fck = 30MPa (brita 0/1)*
Cimento	302 kg	410 kg	-
Areia natural fina	150 kg	135 kg	-
Areia artificial	680 kg	580 kg	-
Brita 0	370 kg	420 kg	-
Brita 1	620 kg	590 kg	-
Água	205 litros	205 litros	-
Aditivo 390 RB	1,80 litros	2,46 litros	-
* O traço do concreto autoadensável utilizado nos ensaios experimentais não foi fornecido pela concreteira Realmix.			

Tabela D. 2 – Teor de argamassa dos concretos utilizados nos ensaios experimentais

TEOR DE ARGAMASSA			
	CONCRETO CONVENCIONAL Fck = 20MPa (brita 0/1, slump 9±1cm)	CONCRETO CONVENCIONAL Fck = 30MPa (brita 0/1, slump 9±1cm)	CONCRETO AUTOADENSÁVEL Fck = 30MPa (brita 0/1)
Cálculo do teor de argamassa	1132 ÷ 2122	1125 ÷ 2135	1125 ÷ 2135
Valor do teor de argamassa	0,533	0,527	0,529

(Dados fornecidos pela Realmix Concreto através do Engº Msc. Rodrigo Resende de Sá)