

Departamento: DEE - Divisão de Ensaios Especiais

Título do documento:
RELATÓRIO DOS ENSAIOS PARA
AVALIAÇÃO DOS CONCRETOS
MOLDADOS EM AMBIENTES COM
VIBRAÇÕES MECÂNICAS INDUZIDAS
POR TRÁFEGOS DE VEÍCULOS
Relatório final da pesquisa

Interessado: Engelog (1)

**RELATÓRIO DOS ENSAIOS PARA AVALIAÇÃO DOS CONCRETOS
MOLDADOS EM AMBIENTES COM VIBRAÇÕES MECÂNICAS INDUZIDAS
POR TRÁFEGOS DE VEÍCULOS**

Relatório final da pesquisa

CONTRATO DEE 94

Rev.	Motivo da revisão	Data	Preparado	Conferido	Aprovado
1	Segunda edição	24/01/07			
0	Primeira edição	12/12/06	Roberta Forestieri	Pedro A.O. Almeida	Pedro A.O. Almeida

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	3
2. ENSAIOS REALIZADOS	7
3. RESULTADOS	12
4. ANÁLISE DOS RESULTADOS	35
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA CONTINUIDADE DA INVESTIGAÇÃO	39
Anexo A	41

1. INTRODUÇÃO

A durabilidade das construções de concreto está relacionada com as vibrações mecânicas atuantes, principalmente, nas primeiras idades do concreto, quando o concreto está na fase de endurecimento. Nesta fase, as vibrações mecânicas podem introduzir danos permanentes na microestrutura levando a uma redução de propriedades estruturais do concreto tais como a resistência a tração e resistência a ancoragem. Uma das principais consequências desse fenômeno é uma imediata fissuração das peças, seguida pela perda de rigidez global decorrente da microfissuração da peça pelas vibrações mecânicas durante a fase de moldagem.

Quando se trata da ampliação ou reparo de obras de arte do tipo pontes e viadutos que são normalmente submetidas a ações dinâmicas, a moldagem das peças passa ser de importância vital para a durabilidade da estrutura, pois normalmente essas obras são realizadas durante vibrações induzidas por tráfego de veículos das pistas vizinhas, aonde vêm sendo observadas fissurações prematuras das peças.

Portanto, para aumentar o entendimento desse fenômeno e propor um método de moldagem de peças para ambientes com vibrações controladas, foi proposta nesta investigação uma avaliação do desempenho da resistência do concreto sujeito as vibrações ambientes¹ durante a cura. Para isso, numa primeira etapa foram realizados ensaios em laboratório simulando as vibrações ambientes registradas em campo e publicadas no Relatório Técnico LSE-DEE-94-R-20060316, em 7 de março de 2006.

Na segunda etapa da pesquisa, as peças foram moldadas em campo onde havia vibrações ambientes inerentes da passagem de veículos. Esses ensaios foram realizados durante a moldagem do pavimento da ponte de Lavrinhas, no Estado de São Paulo. Em ambos os experimentos foram empregados diferentes níveis de vibração, com natureza e intensidade distintas visando a identificação da mudança das propriedades estruturais de controle tecnológico do concreto.

¹ Vibrações ambientes são aquelas induzidas por tráfego de veículos ou ações decorrentes de vento, por exemplo.

Os experimentos de laboratório e de campo foram realizados com amostras de corpos-de-prova padrão para determinação das propriedades estruturais do concreto. Os resultados dos ensaios de simulação em laboratório foram publicados no Relatório Técnico LSE-DEE-94-R-20060316, em 7 de março de 2006.

Com os resultados desses ensaios foram realizadas comparações da resistência e da rigidez medidas em laboratório com as medidas diretamente em ambiente de campo (ponte de Lavrinhas), nas situações de repouso e de vibração.

Para a execução dos ensaios em laboratório foram moldados corpos-de-prova com concreto de resistência média de $f_{ck}=40 \text{ MPa}$, utilizando traços fornecidos pela Engellog para cimentos CP-III e CP-V.

Nos ensaios de campo foi utilizado o mesmo concreto utilizado na obra de alargamento de pista da Ponte sobre o Rio Paraíba, km 21,73 da pista São Paulo - Rio de Janeiro, na concretagem do dia 05/10/06 às 7h00.

Os corpos-de-prova têm formatos cilíndricos e prismáticos. Os cilíndricos foram utilizados para determinação da resistência a compressão e resistência a tração por compressão diametral. Os prismáticos foram utilizados para determinação da resistência à tração por flexão e também para ensaio de arrancamento, para avaliação da aderência da barra de aço no concreto.

Para simular em laboratório as condições de vibração em campo, os concretos foram moldados em plataforma vibratória e em plataforma em repouso. Para os ensaios em plataforma vibratória foram utilizados como referência os registros medidos por nossa equipe no Viaduto de acesso à Penedo.

Para esta pesquisa foram moldados 6 lotes de corpos-de-prova, dois deles utilizaram o traço com o cimento CP III, três utilizaram o traço com cimento CP V e um utilizou o concreto utilizado na obra da ponte sobre o Rio Paraíba em 05/10/06.

Para cada um dos lotes foi utilizado um conjunto de fôrmas com dimensões descritas na Tabela 1.1.

Tabela 1.1 – Quantidade de corpos-de-prova por lote

Ensaio	Situação de Cura	Dimensões (m)	Volume (dm ³)	Quantidade	Volume Total (dm ³)	Total CP's
Resistência a tração por compressão diametral	SEM VIBRAÇÃO	0,15 x 0,30	5,3	12	63,6	24
Resistência a tração por compressão diametral	COM VIBRAÇÃO	0,15 x 0,30	5,3	12	63,6	
Resistência a Compressão	SEM VIBRAÇÃO	0,10 x 0,20	1,6	12	19,2	24
Resistência a Compressão	COM VIBRAÇÃO	0,10 x 0,20	1,6	12	19,2	
Resistência a tração na flexão	SEM VIBRAÇÃO	0,10 x 0,10 x 0,40	4	12	48	24
Resistência a tração na flexão	COM VIBRAÇÃO	0,10 x 0,10 x 0,40	4	12	48	
Resistência a aderência	SEM VIBRAÇÃO	0,15 x 0,15 x 0,15	3,38	12	40,56	24
Resistência a aderência	COM VIBRAÇÃO	0,15 x 0,15 x 0,15	3,38	12	40,56	
Volume Total de Concreto =					342,72	

Os ensaios mecânicos dos corpos-de-prova moldados com o traço com cimento CP III e com o concreto utilizado em campo foram realizados aos 7 e aos 28 dias de idade, enquanto os ensaios mecânicos dos corpos-de-prova moldados com o traço com cimento CP V foram realizados aos 3 e aos 21 dias de idade.

Durante toda a etapa de laboratório realizada no LSE, foram moldados 5 lotes de corpos-de-prova: dois lotes com o traço CP III e três lotes empregando o traço CP V. Um lote de CP III e um de CP V foram ensaiados no LEM-USP e os demais foram ensaiados no Laboratório Falcão Bauer.

Em campo foi moldado um único lote que foi ensaiado no LSE, com exceção aos ensaios de aderência que foram realizados no LEM-USP.

Os primeiros dois lotes moldados em laboratório foram ensaiados no âmbito do LEM-USP. Os resultados dos ensaios executados no LEM-USP não apresentaram diferenças significativas para o concreto moldado em ambiente com vibração e em repouso, optou-se então por moldar mais dois lotes, um para cada traço de cimento e enviá-los para outro laboratório para ter a confirmação dos resultados.

Desses dois últimos lotes moldados em laboratório alguns corpos-de-prova estavam não conforme no lote moldado com o traço empregando cimento CP V, impossibilitando a realização dos ensaios para determinação do módulo de elasticidade do concreto moldado em ambiente com vibração. Foi moldado, então, mais um lote com o traço com CP V.

Os resultados de todos os ensaios realizados assim como a análise comparativa realizada entre os concretos moldados e curados em repouso e em vibração estão apresentados nos próximos capítulos deste relatório.

2. ENSAIOS REALIZADOS

2.1 Materiais

Os materiais utilizados em laboratório na confecção dos corpos-de-prova estão relacionados a seguir:

- a) cimento CP III;
- b) cimento CP V;
- c) areia;
- d) brita;
- e) aditivo Rheotec.

O traço em massa com CPIII está na tabela 2.1 e o traço em massa com CP V está na tabela 2.2.

Tabela 2.1 – Traço em massa para CP III

Cimento	Votoran CPIII-40Rs	485 kg
Brita 1	Pedreira Serra da Lapa	980 kg
Areia	Areal Alvorada	282 kg
Areia quartzo	Areal Alvorada	423 kg
Aditivo	Rheotec	2,43 L
Água		172 L

Tabela 2.2 – Traço em massa para CP V

Cimento	ARI CP V RS	450 kg
Brita 1	Pedreira Serra da Lapa	1001 kg
Areia grossa	Areal Alvorada	442 kg
Areia média	Areal Alvorada	294 kg
Aditivo	Rheotec	2,25 L
Água		180 L

Nos ensaios de campo foi utilizado o mesmo concreto de moldagem da laje da Ponte sobre o Rio Paraíba, do dia 05/10/06. com o traço relacionado na tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Traço em massa para concreto utilizado em campo

Cimento	TUPI CP III 40 RS	416 kg
Brita 1	Pedreira Itapi da Serra	1080 kg
Areia natural	Porto Cosmar	460 kg
Areia artificial	Pedreiras Sargon	290 kg
Aditivo	Degussa 322 N	2,00 L
Água		188 L

2.2 Equipamentos

Os equipamentos utilizados na moldagem dos corpos-de-prova em laboratório estão relacionados a seguir:

- a) vibradores;
- b) atuador;
- c) sensor de deslocamento;
- d) célula de carga;
- e) 3 acelerômetros Kiowa;
- f) unidade hidráulica;
- g) estrutura de apoio dos corpo-de-prova – atuador;
- h) formas para os corpos-de-prova cilíndricos;
- i) formas para os corpos-de-prova prismáticos
- j) controlador ODIN 3;
- k) condicionador de sinais ADS.

Os equipamentos utilizados na moldagem dos corpos-de-prova em campo estão relacionados a seguir:

- a) vibradores;
- b) 4 acelerômetros Kiowa;
- c) 4 acelerômetros Kistler;
- d) controlador ODIN 3;
- e) condicionador de sinais ADS.

2.3 Procedimentos de ensaio

Em cada uma das etapas da investigação foram moldados dois lotes de corpos-de-prova. Um dos lotes foi moldado sobre plataforma vibratória e o outro em plataforma em repouso.

Para a vibração dos corpos-de-prova em laboratório foi construída uma plataforma mista com vigas de aço, perfil I, apoiados em uma chapa aparafulada na haste do atuador. Sobre as vigas foi colocada uma laje de concreto para suporte dos corpos-de-prova durante a moldagem e período de cura.

A vibração da plataforma foi induzida por um atuador servo hidráulico MK-250, da marca DARTEC, conectado a unidade hidráulica UH2 do LSE. Durante o ensaio o servossistema foi controlado pelo ODIN 3, com registro simultâneo no sistema de aquisição de dados ADS2000, que registra tanto os sinais de controle quanto de feedback da malha fechada. Esse sistema também monitora as vibrações da plataforma durante o ensaio.

A vibração aplicada durante o processo de moldagem e cura foi realizada com um sinal registrado em campo, normalizado, que se repetia a cada intervalo de tempo, tal como ocorre na ponte normalmente. Esse sinal de referência foi registrado no viaduto de Penedo que foi reproduzido com níveis de acelerações cinco vezes maior que o medido no Viaduto originalmente.

As vibrações obtidas na monitoração do tabuleiro do Viaduto de acesso à Penedo, Tabela 2.1, foram reproduzidos na plataforma vibratória durante 4 horas com uma intensidade cinco vezes maior.

Tabela 2.1 – Estatística das acelerações medidas no Viaduto de acesso à Penedo, Rodovia Presidente Dutra

Local: **Viaduto de Acesso à Penedo**
Período: 29/8/2002 De: 15:36:50 Até 15:37:30

	A-1	A-2
	(g)	(g)
Amostras	19929	19929
Máximo	0,060059	0,05881
Mínimo	-0,05006	-0,05936
Máx - Mín	0,110123	0,11818
Média	-0,00103	-0,00186
Desvio Padrão	0,006989	0,00716
Área	-0,04114	-0,07422
RMS	0,007064	0,0074

Nos ensaios de campo foram moldados dois lotes de corpo-de-prova. Um deles foi moldado sobre o vão central da Ponte sobre o Rio Paraíba e o outro foi moldado fora da ponte, em uma região em repouso, Figura 2.1

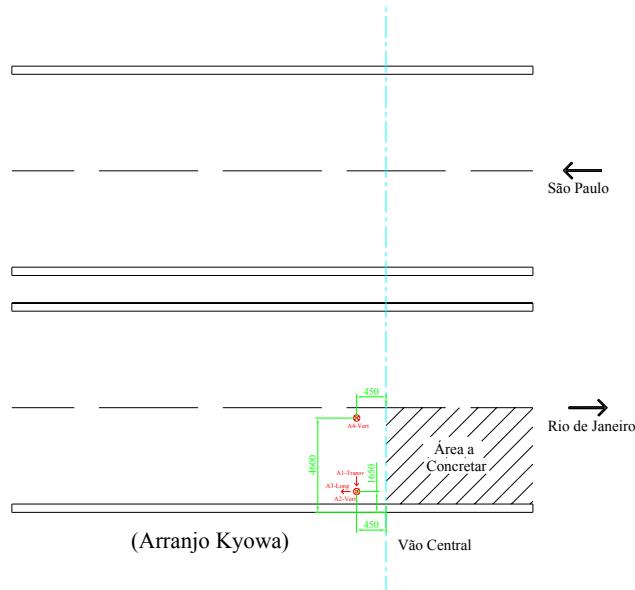


Figura 2.1 – Arranjo da instrumentação do tabuleiro da ponte sobre o Rio Paraíba

2.4 Corpos-de-prova

Cada lote moldado era composto por corpos-de-prova cilíndricos, prismáticos e de arrancamento.

Os corpos-de-prova cilíndricos foram utilizados para a determinação da resistência a compressão, em ensaio de compressão simples e resistência à tração por ensaio de compressão diametral tanto para os concretos moldados em ambiente de vibração quanto em repouso.

Os corpos-de-prova prismáticos foram utilizados na determinação da resistência a tração, em ensaio de flexão.

Os corpos-de-prova de arrancamento foram utilizados para a determinação da resistência a aderência (arrancamento) direta.

Os corpos-de-prova para o ensaio de aderência entre o aço e o concreto são cúbicos com aresta de 150 mm, contendo uma barra de aço CA-50 de 12,5 mm de diâmetro. A armadura foi posicionada na horizontal, no centro da aresta lateral. As dimensões desses corpos-de-prova estão relacionadas no primeiro relatório da pesquisa.

3. RESULTADOS

3.1 Características das vibrações

A mobilidade da plataforma vibratória foi determinada pela medida de 3 servoacelerômetros, instalados na direção vertical. As estatísticas de sinais adquiridos dos servoacelerômetros durante as quatro moldagens em laboratório e em campo estão apresentadas nas tabelas 3.1.1 à 3.1.5, correspondentes a Amostra A a Amostra E.

Tabela 3.1.1 – Estatística das acelerações medidas na plataforma – Amostra A

Local: **Plataforma Vibratória LSE - Amostra A**
Período: 6/12/2006 De: 18:26:14 Até 18:26:54

	A1	A2	A3
	(g)	(g)	(g)
Amostras	1219462	1219462	1219462
Máximo	0,235742	0,261259	0,265797
Mínimo	-0,22843	-0,25357	-0,26085
Máx - Mín	0,464172	0,514832	0,526642
Média	0	0	0
Desvio Padrão	0,030787	0,034345	0,034893
Área	2,15E-05	-0,00012	-6,42E-05
RMS	0,030787	0,034345	0,034893

Tabela 3.1.2 – Estatística das acelerações medidas na plataforma – Amostra B

Local: **Plataforma Vibratória LSE - Amostra B**
Período: 25/1/2006 De: 17:57:38 Até 17:58:18

	A1 (g)	A2 (g)	A3 (g)
Amostras	1206922	1206922	1206922
Máximo	0,251972	0,217693	0,220832
Mínimo	-0,24479	-0,21596	-0,20132
Máx - Mín	0,496765	0,433655	0,42215
Média	0	0	0
Desvio Padrão	0,033007	0,028449	0,02835
Área	-6,48E-05	-1,45E-05	4,28E-05
RMS	0,033007	0,028449	0,02835

Tabela 3.1.3 – Estatística das acelerações medidas na plataforma – Amostra C

Local: **Plataforma Vibratória LSE - Amostra C**
Período: 15/12/2005 De: 19:04:23 Até 19:05:03

	A1 (g)	A2 (g)	A3 (g)
Amostras	1202055	1202055	1202055
Máximo	0,20278	0,180468	0,17404
Mínimo	-0,21311	-0,19249	-0,1937
Máx - Mín	0,415894	0,372955	0,367737
Média	0	0	0
Desvio Padrão	0,035833	0,031135	0,030638
Área	-5,00E-05	0,000124	5,70E-06
RMS	0,035833	0,031135	0,030638

Tabela 3.1.4 – Estatística das acelerações medidas na plataforma – Amostra D

Local: **Plataforma Vibratória LSE - Amostra D**
Período: 31/1/2006 De: 19:47:11 Até 19:47:51

	A1	A2	A3
	(g)	(g)	(g)
Amostras	1216845	1216845	1216845
Máximo	0,298659	0,20791	0,217865
Mínimo	-0,32402	-0,24103	-0,24713
Máx - Mín	0,622681	0,448944	0,464996
Média	0	0	0
Desvio Padrão	0,047847	0,032647	0,034681
Área	9,40E-05	0,00018	7,09E-06
RMS	0,047847	0,032647	0,034681

Tabela 3.1.5 – Estatística das acelerações medidas em campo – Amostra E

Local: **Ensaio de campo - Amostra E**
Período: 05/10/2006 De: 9:46:44 Até 13:30:33

	A2-Vertical	A4-Vert	A1-Transv
	(g)	(g)	(g)
Amostras	6877538	6877538	6877538
Máximo	0,126673	0,536986	0,274159
Mínimo	-0,132177	-1,00156	-0,438731
Máx - Mín	0,25885	1,53854	0,712891
Média	0	0	0
Desvio Padrão	0,0100459	0,016604	0,102899
Área	0,0007456	0,000148	-5,72741
RMS	0,0100459	0,016604	0,102899

Os resultados das séries temporais de vibração e suas características básicas estão nos diagramas do Anexo A.

3.2 Ensaio de compressão axial

Os ensaios de compressão axial foram realizados no LEM, Figura 3.2.1, Falcão Bauer e no LSE.



Figura 3.2.1 –Equipamento para ensaio de compressão axial – LEM-USP

Os resultados obtidos no ensaio de compressão axial dos corpos-de-prova moldados com traço utilizando CP III estão apresentados nas Tabelas 3.2.1 a 3.2.2.

Tabela 3.2.1 – Resultados dos Ensaios a compressão axial - Traço CP III, ensaiado na USP

Resistência à Compressão Axial											
7 dias							28 dias				
Cura		Compressão Axial (tf)	fci (MPa)	fcm (MPa)	σ	δ	Compressão Axial (tf)	fci (MPa)	fcm (MPa)	σ	δ
cv	1	31,82	39,81	40,53	2,47	6,09	35,20	44,03	44,08	7,14	16,21
cv	2	34,38	43,01				34,70	43,41			
cv	3	31,98	40,01				31,20	39,03			
cv	4	33,68	42,13				40,50	50,66			
cv	5	33,60	42,03				42,60	53,29			
cv	6	28,94	36,20				27,20	34,03			
SV	7	31,94	39,96	39,08	2,53	6,48	42,20	52,79	48,50	2,36	4,87
SV	8	28,16	35,23				38,30	47,91			
SV	9	29,40	36,78				37,40	46,79			
SV	10	33,32	41,68				39,50	49,41			
SV	11	31,82	39,81				37,00	46,29			
SV	12	32,82	41,06				38,20	47,79			

Tabela 3.2.2 – Resultados dos Ensaios a compressão axial - Traço CP III, ensaiado na Falcão Bauer

Resistência à Compressão Axial											
7 dias							28 dias				
Cura		Compressão Axial (tf)	fcm (MPa)	σ	δ	fci (MPa)	fcm (MPa)	σ	δ		
cv	1	39,20	38,75	3,23	8,34	45,70	49,68	3,20	6,44		
cv	2	39,60				53,80					
cv	3	39,80				52,00					
cv	4	33,30				46,20					
cv	5	37,50				50,60					
cv	6	43,10				49,80					
SV	7	32,40	31,50	2,83	8,99	42,60	44,67	3,37	7,53		
SV	8	27,80				41,80					
SV	9	28,40				45,60					
SV	10	34,00				41,20					
SV	11	34,60				49,70					
SV	12	31,80				47,10					

Os resultados obtidos no ensaio de compressão axial nos corpos-de-prova moldados com traço utilizando CP V estão apresentados nas Tabelas 3.2.3 a 3.2.4.

Tabela 3.2.3 – Resultados dos Ensaios a compressão axial - Traço CP V, ensaiado na USP

Resistência à Compressão Axial											
3 dias						21 dias					
Cura		Compressão Axial (tf)	fci (MPa)	fcm (MPa)	Σ	δ	Compressão Axial (tf)	fci (MPa)	fcm (MPa)	σ	δ
cv	1	26,65	33,34	40,77	6,90	16,94	46,40	58,04	53,69	7,27	13,54
cv	2	27,50	34,40				47,50	59,42			
cv	3	35,40	44,28				45,90	57,42			
cv	4	38,00	47,54				39,60	49,54			
cv	5	29,00	36,28				32,50	40,66			
cv	6	39,00	48,79				45,60	57,04			
SV	7	18,60	23,27	35,22	7,02	19,93	40,00	50,04	52,42	4,24	8,09
SV	8	27,75	34,71				39,90	49,91			
SV	9	25,50	31,90				40,20	50,29			
SV	10	34,00	42,53				48,70	60,92			
SV	11	32,50	40,66				41,40	51,79			
SV	12	30,60	38,28				41,20	51,54			

Tabela 3.2.4 – Resultados dos Ensaios a compressão axial - Traço CP V, ensaiado na Falcão Bauer

Compressão Axial									
3 dias						21 dias			
Cura		fci (MPa)	fcm (MPa)	σ	Δ	fci (MPa)	fcm (MPa)	σ	δ
cv	1	42,30	41,01	3,25	7,93	53,80	56,06	2,91	5,20
cv	2	37,80				53,60			
cv	3	43,00				56,90			
cv	4	44,30				55,30			
cv	5	36,60				60,70			
cv	6	37,50				***			
SV	10	40,20	40,60	4,76	11,72	54,50	46,65	3,39	7,27
SV	11	35,50				57,60			
SV	12	38,10				50,80			
SV	13	43,30				57,60			
SV	14	48,70				59,40			
SV	15	37,80				***			

Os resultados obtidos no ensaio de compressão axial nos corpos-de-prova moldados com o concreto utilizado em campo estão apresentados na Tabela 3.2.5.

Tabela 3.2.5 – Resultados dos Ensaios a compressão axial (Traço de campo, ensaiado no LSE)

Resistência à Compressão Axial												
7 dias							28 dias					
Cura		Compressão Axial (kN)	f_{ci} (MPa)	f_{cm} (MPa)	Σ	δ	Compressão Axial (kN)	f_{ci} (MPa)	f_{cm} (MPa)	σ	δ	
cv	1	166,11	21,16	24,54	3,14	12,82	256,57	32,68	29,57	7,28	24,62	
cv	2	190,59	24,28				303,01	38,60				
cv	3	239,34	30,49				267,54	34,08				
cv	4	186,82	23,80				228,93	29,16				
cv	5	191,36	24,38				193,66	24,67				
cv	6	181,53	23,12				142,93	18,21				
SV	7	242,69	30,92	27,14	3,55	13,09	202,72	25,82	30,65	5,84	19,05	
SV	8	247,54	31,53				202,38	25,78				
SV	9	174,03	22,17				205,09	26,13				
SV	10	207,86	26,48				275,79	35,13				
SV	11	196,95	25,09				245,91	31,33				
SV	12	209,35	26,67				311,89	39,73				

3.3 Ensaios de compressão diametral

Os ensaios de compressão diametral foram realizados no LEM, Figura 3.3.1, no Laboratório Falcão Bauer e no LSE.

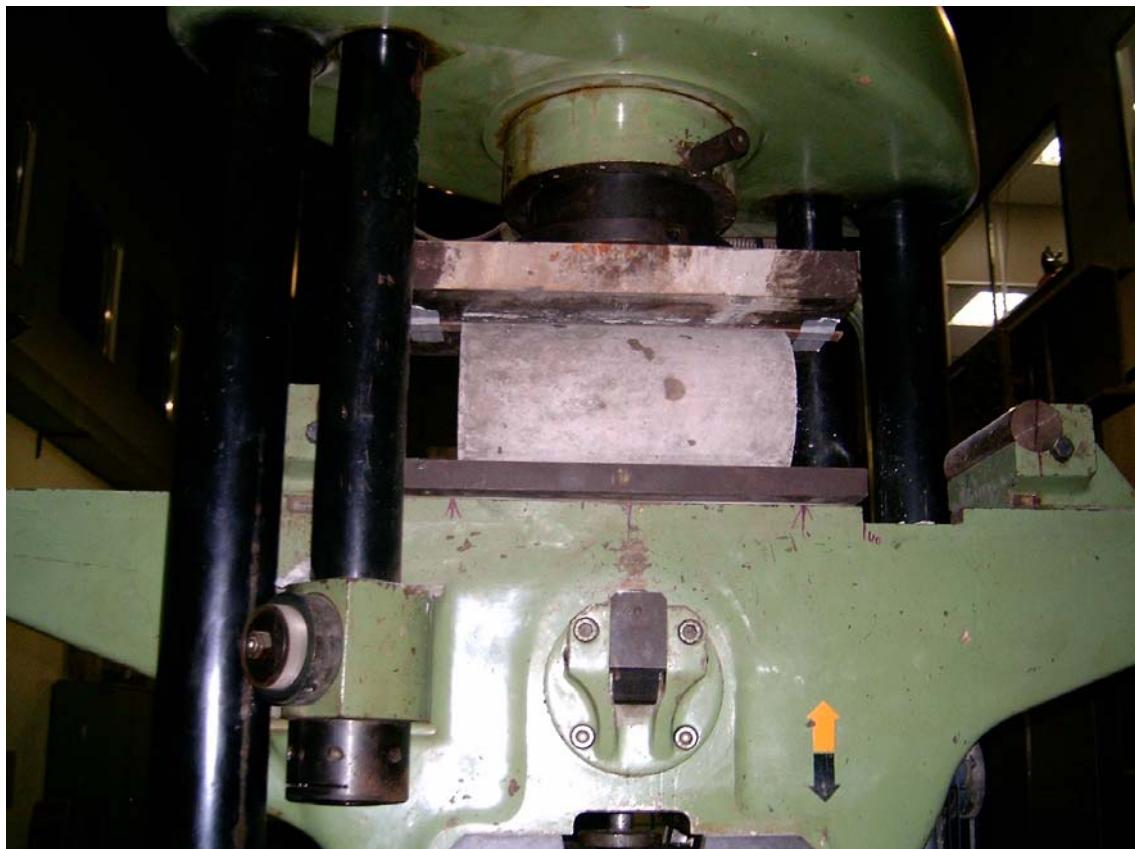


Figura 3.3.1 – Realização do Ensaio de Compressão Diametral no LEM

Os resultados obtidos no ensaio de compressão diametral nos corpos-de-prova moldados com traço utilizando CP III estão apresentados nas Tabelas 3.3.1 a 3.3.2.

Tabela 3.3.1 – Resultados dos Ensaios a compressão diametral (Traço CP III, ensaiado na USP)

Resistência à tração por compressão diametral											
		7 dias					28 dias				
Cura		Compressão Diametral (tf)	ftci (MPa)	ftcm (MPa)	Σ	δ	Compressão Axial (tf)	ftci (MPa)	ftcm (MPa)	σ	δ
CV	1	23,00	2,40	2,36	0,32	13,54	32,10	3,34	3,10	0,37	12,08
CV	2	25,60	2,67				23,50	2,45			
CV	3	19,46	2,03				31,90	3,32			
CV	4	25,08	2,61				27,40	2,85			
CV	5	18,28	1,90				31,30	3,26			
CV	6	24,36	2,54				32,50	3,38			
SV	7	22,04	2,30	2,15	0,36	16,58	29,50	3,07	3,01	0,10	3,33
SV	8	21,68	2,26				27,80	2,90			
SV	9	21,00	2,19				28,90	3,01			
SV	10	23,02	2,40				30,40	3,17			
SV	11	13,76	1,43				28,90	3,01			
SV	12	22,12	2,30				28,00	2,92			

Tabela 3.3.2 – Resultados dos Ensaios a compressão diametral (Traço CP III, ensaiado na Falcão Bauer)

Resistência à tração por compressão diametral											
		7 dias					28 dias				
Cura		ftci (MPa)	ftcm (MPa)	σ	Δ	ftci (MPa)	ftcm (MPa)	σ	δ		
CV	1	2,85	3,34	0,35	10,46	3,54	3,60	0,14	3,93		
CV	2	3,12				3,60					
CV	3	3,67				3,58					
CV	4	3,29				3,81					
CV	5	3,33				3,66					
CV	6	3,80				3,38					
SV	7	3,04	3,18	0,16	5,16	3,12	3,20	0,19	6,08		
SV	8	3,22				3,05					
SV	9	2,95				3,10					
SV	10	3,40				3,05					
SV	11	3,29				3,41					
SV	12	3,17				3,49					

Os resultados obtidos no ensaio de compressão diametral nos corpos-de-prova moldados com traço utilizando CP V estão apresentados nas Tabelas 3.3.3 a 3.3.4.

Tabela 3.3.3 – Resultados dos Ensaios a compressão diametral (Traço CP V, ensaiado na USP)

Resistência à tração por compressão diametral											
		3 dias					21 dias				
Cura		Compressão Diametral (tf)	ftci (MPa)	ftcm (MPa)	σ	δ	Compressão Axial (tf)	ftci (MPa)	ftcm (MPa)	σ	δ
CV	1	23,5	2,45	2,69	0,37	13,61	26,20	2,73	2,73	0,14	4,96
CV	2	23,4	2,44				25,00	2,60			
CV	3	30,8	3,21				27,60	2,87			
CV	4	28,4	2,96				25,80	2,69			
CV	5	21,7	2,26				24,90	2,59			
CV	6	27,3	2,84				28,00	2,92			
SV	7	25,3	2,63	2,52	0,24	9,52	21,30	2,22	2,58	0,25	9,75
SV	8	24,7	2,57				23,70	2,47			
SV	9	26,3	2,74				23,70	2,47			
SV	10	24,8	2,58				25,70	2,68			
SV	11	19,7	2,05				28,30	2,95			
SV	12	24,4	2,54				26,00	2,71			

Tabela 3.3.4 – Resultados dos Ensaios a compressão diametral (Traço CP V, ensaiado na Falcão Bauer)

Resistência à tração por compressão diametral											
		3 dias					21 dias				
Cura		ftci (MPa)	ftcm (MPa)	σ	δ	ftci (MPa)	ftcm (MPa)	σ	δ		
CV	1	3,74	3,55	0,29	8,24	4,02	4,04	0,14	3,35		
CV	2	3,37				3,95					
CV	3	3,60				3,92					
CV	4	3,33				4,04					
CV	5	4,01				4,30					
CV	6	3,24				4,01					
SV	7	3,62	4,06	0,41	10,16	4,08	4,20	0,32	7,61		
SV	8	4,23				3,95					
SV	9	4,76				4,44					
SV	10	3,88				4,42					
SV	11	4,11				3,74					
SV	12	3,74				4,54					

Os resultados obtidos no ensaio de compressão diametral nos corpos-de-prova moldados em campo estão apresentados na Tabela 3.3.5 e Figura 3.3.2.

Tabela 3.3.5 – Resultados dos Ensaios a compressão diametral (Traço de Campo, ensaio LSE)

Resistência à tração por compressão diametral											
		7 dias					28 dias				
Vib		Compressão Diametral (tf)	ftci (MPa)	ftcm (MPa)	σ	δ	Compressão Axial (tf)	ftci (MPa)	ftcm (MPa)	σ	δ
CV	1	119,94	1,27	1,39	0,18	12,82	193,13	2,05	2,03	0,33	16,21
CV	2	160,73	1,71				220,05	2,34			
CV	3	130,17	1,38				223,43	2,37			
CV	4	129,91	1,38				157,82	1,68			
CV	5	111,39	1,18				150,16	1,59			
CV	6	136,17	1,45				202,72	2,15			
SV	7	165,72	1,76	1,79	0,11	6,29	229,87	2,44	2,33	0,25	10,80
SV	8	170,46	1,81				234,00	2,48			
SV	9	148,63	1,58				183,74	1,95			
SV	10	174,06	1,85				207,37	2,20			
SV	11	178,76	1,90				209,06	2,22			
SV	12	172,87	1,84				250,26	2,66			



Figura 3.3.2 – Ruptura do CP no Ensaio de Compressão Diametral, LSE

3.4 Ensaios de arrancamento

Os ensaios de arrancamento foram realizados no LEM-USP, Figura 3.4.1 e no Laboratório Falcão Bauer.



Figura 3.4.1 – Arranjo de ensaio de arrancamento

Os resultados obtidos no ensaio de arrancamento dos corpos-de-prova moldados com traço utilizando CP III estão apresentados nas Tabelas 3.4.1 e 3.4.2.

Tabela 3.4.1 – Resultados dos ensaio de arrancamento (Traço CP III, ensaiado na USP)

		Arrancamento									
		7 dias				28 dias					
Cura		Força Arrancamento (tf)	F (kN)	Fm(kN)	Σ	δ	Força Arrancamento (tf)	F (kN)	Fm(kN)	σ	δ
CV	1	7,65	75,05	63,81	13,15	20,60	8,10	79,46	78,81	10,81	13,72
CV	2	4,08	40,02				8,40	82,40			
CV	3	7,55	74,07				8,10	79,46			
CV	4	7,25	71,12				8,70	85,35			
CV	5	6,18	60,63				9,00	88,29			
CV	6	6,32	62,00				5,90	57,88			
SV	7	6,50	63,77	67,13	8,41	12,53	8,70	85,35	77,66	15,47	19,91
SV	8	5,92	58,08				7,80	76,52			
SV	9	6,89	67,59				4,80	47,09			
SV	10	6,50	63,77				8,80	86,33			
SV	11	8,45	82,89				8,50	83,39			
SV	12	6,80	66,71				8,90	87,31			

Tabela 3.4.2 – Resultados dos ensaios de arrancamento (Traço CP III, ensaiado no Falcão Bauer)

		Arrancamento									
		7 dias				28 dias					
Cura		Força Arrancamento (tf)	F (kN)	Fm(kN)	σ	δ	Força Arrancamento (tf)	F (kN)	Fm(kN)	σ	δ
CV	1	5,78	56,70	54,05	10,60	19,61	8,00	78,48	65,76	7,35	11,18
CV	2	5,20	51,01				6,72	65,92			
CV	3	7,00	68,67				6,70	65,73			
CV	4	3,90	38,26				5,68	55,72			
CV	5	6,24	61,21				6,42	62,98			
CV	6	4,94	48,46				6,70	65,73			
SV	7	5,70	55,92	46,89	8,65	18,45	6,72	65,92	66,25	7,03	10,60
SV	8	3,68	36,10				6,88	67,49			
SV	9	4,70	46,11				7,78	76,32			
SV	10	3,80	37,28				7,02	68,87			
SV	11	5,18	50,82				5,58	54,74			
SV	12	5,62	55,13				6,54	64,16			

Os resultados obtidos no ensaio de arrancamento nos corpos-de-prova moldados com traço utilizando CP V estão apresentados nas Tabela 3.4.3 e 3.4.4.

Tabela 3.4.3 – Resultados dos Ensaios de aderência (Traço CP V, ensaiado na USP)

Arrancamento												
		3 dias					21 dias					
Cura		Força Arrancamento (tf)	F (kN)	Fm (kN)	Σ	δ	Força Arrancamento (tf)	F (kN)	Fm (kN)	σ	δ	
CV	1	4,76	46,70	56,96	7,50	13,17	3,50	34,34	59,68	14,78	24,77	
CV	2	6,10	59,84				6,40	62,78				
CV	3	6,00	58,86				7,90	77,50				
CV	4	6,50	63,77				7,10	69,65				
CV	5	4,96	48,66				5,60	54,94				
CV	6	6,52	63,96				6,00	58,86				
SV	7	6,54	64,16	66,02	9,54	14,45	8,10	79,46	74,23	11,38	15,34	
SV	8	6,64	65,14				5,60	54,94				
SV	9	6,88	67,49				7,00	68,67				
SV	10	6,30	61,80				7,70	75,54				
SV	11	5,54	54,35				9,00	88,29				
SV	12	8,48	83,19				8,00	78,48				

Tabela 3.4.4 – Resultados dos ensaios de arrancamento(Traço CP V, ensaiado no Falcão Bauer)

Arrancamento												
		3 dias					21 dias					
Cura		Força Arrancamento (tf)	F (kN)	Fm (kN)	σ	δ	Força Arrancamento (tf)	F (kN)	Fm (kN)	σ	δ	
CV	1	6,20	60,82	47,94	10,93	22,79	6,96	68,28	69,52	7,24	10,41	
CV	2	4,90	48,07				8,32	81,62				
CV	3	3,80	37,28				7,24	71,02				
CV	4	6,10	59,84				6,02	59,06				
CV	5	4,78	46,89				6,94	68,08				
CV	6	3,54	34,73				7,04	69,06				
SV	7	6,60	64,75	57,16	9,54	16,70	8,50	83,39	69,26	12,00	17,33	
SV	8	6,24	61,21				6,66	65,33				
SV	9	4,68	45,91				7,10	69,65				
SV	10	4,64	45,52				6,30	61,80				
SV	11	6,94	68,08				5,38	52,78				
SV	12	5,86	57,49				8,42	82,60				

Os resultados obtidos no ensaio de arrancamento nos corpos-de-prova moldados em campo estão apresentados na Tabela 3.4.5.

Tabela 3.4.5 – Resultados dos ensaios de arrancamento (Concreto de campo, ensaiado no LEM)

Cura		Força Arrancamento (kgf)	F (kN)	Fm(kN)	Σ	δ	Força Arrancamento (kgf)	F (kN)	Fm(kN)	σ	δ
CV	1	5050	49,54	29,23	17,63	60,31	600	5,89	26,62	11,44	42,98
CV	2	500	4,91				3600	35,32			
CV	3	3150	30,90				3030	29,72			
CV	4	2200	21,58				2560	25,11			
CV	5	1980	19,42				2590	25,41			
CV	6	4999	49,04				3900	38,26			
SV	7	6400	62,78	52,35	11,28	21,54	7500	73,58	53,10	11,83	22,27
SV	8	3800	37,28				5690	55,82			
SV	9	6500	63,77				5000	49,05			
SV	10	4600	45,13				4800	47,09			
SV	11	6140	60,23				3910	38,36			
SV	12	4580	44,93				5580	54,74			

3.5 Ensaio de resistência à tração na flexão

Os ensaios de flexão simples foram realizados no LEM, Figura 3.5.1 no LSE, Figura 3.5.2 e na Falcão Bauer.



Figura 3.5.1 – Arranjo de Ensaio de Flexão, LEM-USP

Os resultados obtidos no ensaio de flexão simples dos corpos-de-prova moldados com traço CP III, estão apresentados na Tabela 3.5.1.

Tabela 3.5.1 – Resultados dos Ensaios de Flexão Simples (Traço CP III, ensaiado na Falcão Bauer)

Resistência à tração por flexão										
		7 dias				28 dias				
Cura		f_{tM1} (MPa)	f_{tMm} (MPa)	σ	δ	f_{tM1} (MPa)	f_{tMm} (MPa)	σ	δ	
CV	1	4,50	5,35	0,79	14,75	5,20	5,70	0,57	10,05	
CV	2	6,80				5,80				
CV	3	5,30				5,20				
CV	4	5,10				5,90				
CV	5	5,50				6,70				
CV	6	4,90				5,40				
SV	7	4,80	4,55	0,37	8,19	5,40	6,02	0,75	12,41	
SV	8	4,00				6,10				
SV	9	4,50				7,20				
SV	10	5,10				5,70				
SV	11	4,40				5,20				
SV	12	4,50				6,50				

Os resultados obtidos no ensaio de flexão simples nos corpos-de-prova moldados com traço utilizando CP V estão apresentados nas Tabelas 3.5.2 a 3.5.3.

Tabela 3.5.2 – Resultados dos ensaios de flexão simples (Traço CP V, ensaiado na USP)

Resistência à tração por flexão											
		3 dias					21 dias				
Cura		Força (kgf)	f_{tMI} (kN)	f_{tMm} (kN)	σ	δ	Força (kgf)	f_{tMI} (kN)	f_{tMm} (kN)	σ	δ
CV	1	1690	4,97	4,31	0,44	10,18	2850	8,39	8,59	0,60	7,00
CV	2	1330	3,91				2790	8,21			
CV	3	1390	4,09				2700	7,95			
CV	4	1470	4,33				3280	9,65			
CV	5	1320	3,88				3010	8,86			
CV	6	1590	4,68				2890	8,51			
SV	7	1830	5,39	5,97	0,50	8,45	3250	9,56	7,43	1,38	18,62
SV	8	2330	6,86				1910	5,62			
SV	9	2100	6,18				2390	7,03			
SV	10	1970	5,80				2880	8,48			
SV	11	1950	5,74				2400	7,06			
SV	12	1985	5,84				2320	6,83			

Tabela 3.5.3 – Resultados dos ensaios de flexão simples (Traço CP V, ensaiado na Falcão Bauer)

Resistência à tração por flexão					
3 dias					
Vib		f_{tMI} (kN)	f_{tMm} (kN)	σ	δ
CV	1	4,20	4,38	0,21	4,88
CV	2	4,40			
CV	3	4,10			
CV	4	4,50			
CV	5	4,70			
CV	6	4,40			
SV	7	5,10	5,27	0,70	13,35
SV	8	6,60			
SV	9	4,60			
SV	10	5,40			
SV	11	4,90			
SV	12	5,00			

Os resultados obtidos no ensaio de flexão simples dos corpos-de-prova moldados em campo, estão apresentados na Tabela 3.5.4.

Tabela 3.5.4 – Resultados dos ensaios de flexão simples (Traço de campo, ensaiado no LSE)

Resistência à tração na flexão											
Vib		F (kN)	ftM	ftMm	σ	δ	F (kN)	ftM	ftMm	σ	δ
CV	1	14,19	4,26	4,37	2,29	52,49	11,31	3,39	4,52	2,44	53,95
CV	2	13,18	3,95				14,94	4,48			
CV	3	15,64	4,69				14,06	4,22			
CV	4	12,90	3,87				16,60	4,98			
CV	5	12,73	3,82				14,89	4,47			
CV	6	18,68	5,60				18,55	5,57			
SV	7	14,25	4,27	4,14	1,60	38,64	16,67	5,00	4,68	1,80	38,45
SV	8	15,37	4,61				15,28	4,58			
SV	9	13,62	4,09				13,64	4,09			
SV	10	12,92	3,88				17,91	5,37			
SV	11	15,47	4,64				16,66	5,00			
SV	12	11,24	3,37				13,45	4,03			

**Figura 3.5.2** – Arranjo de ensaio de flexão simples, LSE

3.6 Módulo de Elasticidade

Os ensaios de compressão para determinação do módulo de elasticidade foram realizados no LEM, Falcão Bauer e LSE.

Para a determinação do módulo de elasticidade nos ensaios de compressão simples os corpos-de-prova (cp) foram instrumentados com 2 extensômetros, tipo clip-gage, instalados diametralmente opostos no cp, figura 3.6.1.

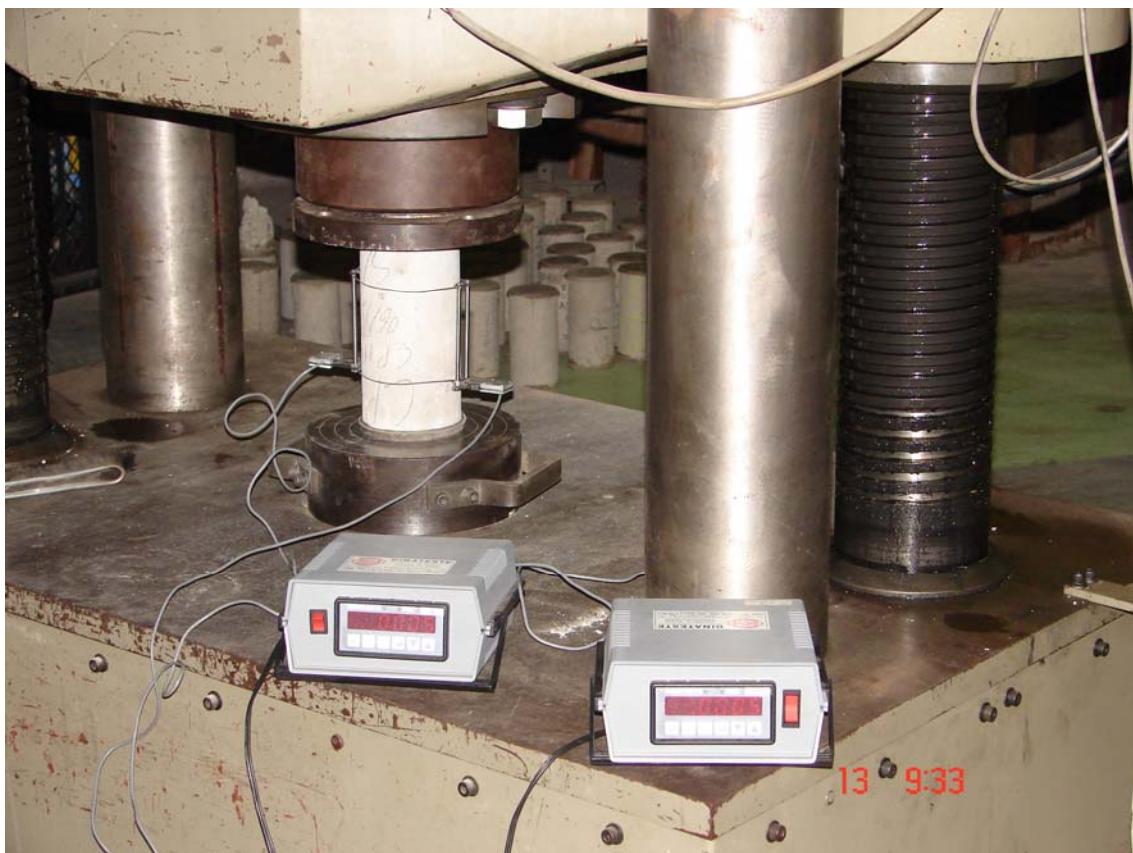


Figura 3.6.1 – Arranjo de ensaio para determinação do módulo de elasticidade, LEM

Os resultados obtidos no ensaio para determinação do módulo de elasticidade dos corpos-de-prova com o traço com CP III, estão apresentados nas Tabelas 3.6.1 a 3.6.2.

Tabela 3.6.1 – Resultados dos ensaios de módulo de elasticidade (Traço CP III, ensaiado na USP)

Módulo de Elasticidade									
		7 dias				28 dias			
Cura		Ecsi (GPa)	Ecsm (GPa)	σ	δ	Ecsi (GPa)	Ecsm (GPa)	σ	δ
C/V	1	27,32	21,26	8,57	2,48	15,40	26,95	10,05	2,68
C/V	2	15,20				33,70			
C/V	3	***				31,76			
S/V	4	27,80	29,54	1,58	18,64	33,90	33,69	0,59	56,76
S/V	5	29,92				34,15			
S/V	6	30,90				33,02			

Tabela 3.6.2 – Resultados dos ensaios de módulo de elasticidade (Traço CP III, ensaiado na Falcão Bauer)

Módulo de Elasticidade					
7 dias					
Vib		Ecsi (GPa)	Ecsm (GPa)	σ	δ
C/V	1	24,20	24,17	1,64	14,74
C/V	2	25,80			
C/V	3	22,52			
S/V	4	21,11	22,23	1,36	16,29
S/V	5	23,75			
S/V	6	21,83			

Os resultados obtidos no ensaio para determinação do módulo de elasticidade dos corpos-de-prova com o traço com CP V, estão apresentados nas Tabelas 3.6.3 a 3.6.4.

Tabela 3.6.3 – Resultados dos ensaios de módulo de elasticidade (Traço CP V, ensaiado na USP)

Módulo de Elasticidade										
3 dias							21 dias			
Vib		Ecsi (GPa)	Ecsm (GPa)	σ	Δ	Ecsi (GPa)	Ecsm (GPa)	σ	δ	
C/V	1	26,40	28,89	3,64	7,94	34,40	32,63	1,54	21,23	
C/V	2	27,20				31,60				
C/V	3	33,06				31,90				
S/V	4	24,03	26,89	3,64	7,38	30,67	29,69	0,86	34,60	
S/V	5	30,99				29,35				
S/V	6	25,65				29,06				

Tabela 3.6.4 – Resultados dos ensaios de módulo de elasticidade (Traço CP V, ensaiado na Falcão Bauer)

Módulo de Elasticidade					
3 dias					
Vib		Ecsi (GPa)	Ecsm (GPa)	σ	δ
C/V	1	***	27,29	0,90	30,39
C/V	2	***			
C/V	3	***			
S/V	4	26,32			
S/V	5	28,09			
S/V	6	27,47			

Os ensaios de compressão simples para determinação do módulo de elasticidade do concreto moldado em campo, ensaiados aos 28 dias, resultaram em valores não estatisticamente consistentes e foram desconsiderados na avaliação final desta da pesquisa. Na Tabela 3.6.5 estão relacionados os ensaios realizados aos 7 dias.

Tabela 3.6.5 – Resultados dos ensaios de módulo de elasticidade (Traço de campo, ensaiado no LSE)

Módulo de Elasticidade					
7 dias					
Vib		Ecsi (GPa)	Ecsm (GPa)	σ	δ
C/V	1	19,169943	-		
C/V	2	23,255341	-21,21	2,89	7,34
C/V	3	**			
S/V	4	-28,51			
S/V	5	**	-24,00	6,37	-
S/V	6	-19,50			3,77

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Sistematização dos valores das propriedades estruturais

Os resultados das propriedades de resistência e rigidez do concreto determinados ao longo da investigação estão sistematizados na tabela 4.1.1.

A tabela 4.1.1 tem 14 colunas, sendo a primeira correspondente ao tipo de amostra ensaiado, seguida do tipo de traço, idade do corpo-de-prova no momento do ensaio e tipo de cura. Nas demais colunas encontram-se a resistência à compressão simples e seu respectivo percentual de influência da vibração na resistência. Na coluna 7 encontra-se a resistência à tração determinada no ensaio de compressão diametral, na coluna 9 a resistência à tração determinada no ensaio de flexão simples, na coluna 11 a resistência ao arrancamento e na coluna 13 o módulo de elasticidade.

Tabela 4.1.1 – Valores de resistência e rigidez dos concretos ensaiados

Amostra	Traço	Idade Dias	Cura	fcm		ftDm		ftMm		Ftu		Ecsm	
				(MPa)	(R-V)/R	(MPa)	(R-V)/R	(MPa)	(R-V)/R	kN	(R-V)/R	GPa	(R-V)/R
A	CP III	7	Repouso	39,08	-3,7%	2,15	-9,8%	*		67,13	4,9%	29,54	7,5%
		7	Vibração	40,53		2,36		*		63,81		27,32	
		28	Repouso	48,50	9,1%	3,01	-3,0%	*		77,66	-1,5%	33,70	3,0%
		28	Vibração	44,08		3,10		*		78,81		32,70	
B	CP III	7	Repouso	31,50	-23,0%	3,18	-5,0%	4,55	-17,6%	46,89	-15,3%	22,23	-8,7%
		7	Vibração	38,75		3,34		5,35		54,05		24,17	
		28	Repouso	44,67	-11,2%	3,20	-12,5%	6,02	5,3%	66,25	0,7%	29,59	-11,4%
		28	Vibração	49,68		3,60		5,70		65,76		32,95	
C	CP V	3	Repouso	35,22	-15,8%	2,52	-6,7%	5,97	27,8%	66,02	13,7%	26,90	-7,4%
		3	Vibração	40,77		2,69		4,31		56,96		28,90	
		21	Repouso	52,42	-2,4%	2,58	-5,8%	7,43	-15,6%	74,23	19,6%	29,70	-9,8%
		21	Vibração	53,69		2,73		8,59		59,68		32,60	
D	CP V	3	Repouso	40,60	-1,0%	4,06	12,6%	5,27	16,9%	57,16	16,1%	27,29	
		3	Vibração	41,01		3,55		4,38		47,94		***	
		21	Repouso	46,65	-20,2%	4,20	3,8%	8,20	7,9%	69,26	-0,4%	34,39	6,1%
		21	Vibração	56,06		4,04		7,55		69,52		32,29	
E	CAMPO	7	Repouso	27,14	9,6%	1,79	22,3%	4,14	-5,6%	52,35	44,2%	24,00	11,6%
		7	Vibração	24,54		1,39		4,37		29,23		21,21	
		28	Repouso	30,65	3,5%	2,33	12,9%	4,68	3,4%	53,10	49,9%	**	
		28	Vibração	29,57		2,03		4,52		26,62		**	

* corpo-de-prova não moldado

** dados não tabulados

*** corpos-de-prova não conforme para ensaio



Influência da vibração não é prejudicial



Influência da vibração é prejudicial

Para a verificação do efeito deletério da vibração na propriedade estrutura, tomou-se como referência os valores determinados na situação de repouso, denominados de R. Em seguida determinou-se a percentagem de modificação da propriedade pela relação $(R-V)/R$, onde R é o valor de repouso e V o valor de vibração. Dessa forma, o valor percentual maior que zero corresponde ao efeito deletério da vibração durante o período de cura dos concretos moldados e do valor menor que zero corresponde aos efeitos benéficos correspondentes.

4.2 Ensaio de compressão axial

Os resultados dos ensaios de compressão axial realizados nas amostras moldadas em repouso e em vibração realizados em simulação de laboratório não indicaram diferenças significativas entre eles. A indicação tornou-se mais clara nos resultados de campo onde o nível de aceleração foi da ordem de três (3) vezes maior que no laboratório, Tabelas 3.2.1 a 3.2.5 e Tabela 4.1.1. Portanto, trata-se de uma propriedade do concreto não recomendável para avaliar os efeitos da vibração ambiente na cura do concreto. Ressalta-se também que os resultados das amostras tiveram uma baixa variabilidade.

4.2 Ensaio de compressão diametral

As resistências à tração dos concretos, determinadas nos ensaios de compressão diametral não indicaram o efeito deletério da vibração nos corpos-de-prova moldados em ambientes com vibração em simulação no laboratório. Entretanto em ensaios de realizados em campo, onde o nível de vibração é maior, houve uma boa indicação do efeito deletério da vibração. Esses efeitos estão quantificados nos resultados das tabelas 3.3.1 a 3.3.5 e Tabela 4.1.1.

4.3 Ensaios de compressão simples para determinação do módulo de elasticidade

Os resultados dos módulos de elasticidade determinados a partir dos ensaios de compressão simples, também não foram estatisticamente significativos na identificação dos efeitos da vibração ambiente na cura do concreto. Os resultados estão relacionados nas Tabelas de 3.6.1 a 3.6.5 e Tabela 4.1.1.

4.4 Ensaios de arrancamento

Os valores da resistência ao arrancamento expressaram uma maior correspondência do efeito deletério da vibração durante a cura do concreto, Tabelas 3.4.1 a 3.4.5 e Tabela 4.1.1.

Deve-se ressaltar também que com o aumento da amplitude das acelerações houve uma mudança significativa no modo de ruptura do corpo-de-prova, onde antes havia predominância da ruptura por escoamento da barra passou a ser predominante o arrancamento da barra do concreto, sem danos aparentes na barra e no bloco de concreto, indicando a significativa alteração da interface barra-concreto.

Assim sendo, esse resultado é indicativo do fenômeno deletério da vibração e deve ser levando em conta durante no planejamento das moldagens de peças com armaduras em ambientes com vibrações.

Deve-se ressaltar a necessidade de ampliar a investigação desse fenômeno visando relacionar a intensidade da vibração com a redução da resistência ao arrancamento.

4.5 Ensaios de flexão para determinação da resistência a tração

Durante a investigação foram moldados corpos-de-prova prismáticos de 10cmx10cmx40cm com objetivo de determinar a resistência à tração do concreto a partir do ensaio de flexão pura para em seguida comparar as resistências da cura nos dois ambientes distintos, em repouso e em vibração.

Verifica-se nos resultados obtidos que a resistência a tração indica satisfatoriamente o fenômeno deletério observado, Tabelas 3.5.1 a 3.5.4 e Tabela 4.1.1.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA CONTINUIDADE DA INVESTIGAÇÃO

As conclusões da investigação realizada para avaliar os efeitos da vibração ambiente durante a cura do concreto tanto em laboratório quanto em campo estão apresentadas a seguir:

- a) nos resultados das 4 amostras ensaiadas no laboratório com amplitude de acelerações em valor rms de 35 mg (acelerações 5 vezes maior que as medidas originalmente em campo no viaduto de Penedo, valor rms 7 mg), verifica-se que a resistência a compressão dos concretos não é uma boa propriedade para indicar o efeito deletério da vibração, o mesmo já não acontecendo na resistência ao arrancamento, onde se verificou que 70% dos ensaios foram sensíveis ao efeito deletério da vibração, ou seja, houve uma redução da resistência em decorrência da vibração;
- b) o efeito deletério da vibração na resistência e na rigidez do concreto fica mais evidente quando se aumenta a intensidade da vibração, situação que ocorreu nos ensaios de campo, onde se observa que todas as variáveis indicaram uma redução da resistência, onde se praticou vibrações verticais da ordem de 10 mg e na direção transversal ao tabuleiro de 103 mg, com resultante de 110 mg (ambos valores em rms);
- c) o aumento da intensidade das vibrações levou a redução da resistência ao arrancamento da ordem de 50%, Tabela 4.1.1;
- d) da análise das vibrações no tabuleiro da ponte, observa-se também que a direção da vibração não é importante na variação da resistência, pois no caso da ponte de Lavrinhas as vibrações transversais foram da ordem de dez (10) vezes maiores que as vibrações verticais, Tabela 3.1.5;

Finalmente, conclui-se que a investigação alcançou seus objetivos identificando uma variável que se modifica sensivelmente com a presença da vibração na cura dos concretos.

Ademais a investigação também possibilita a implantação de um procedimento de concretagem para controlar as vibrações deletérias à resistência do concreto, com medidas localizadas de acelerações, fazendo correspondência com as velocidades dos veículos na pista, figura 5.1.

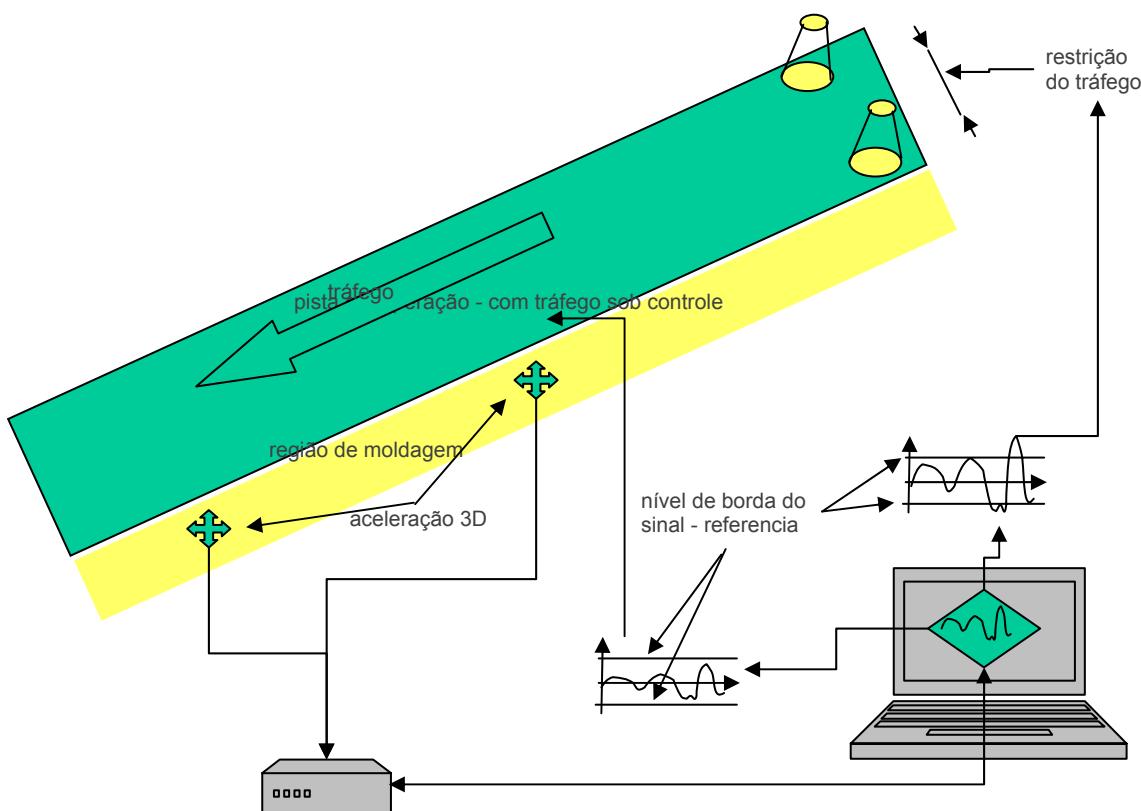


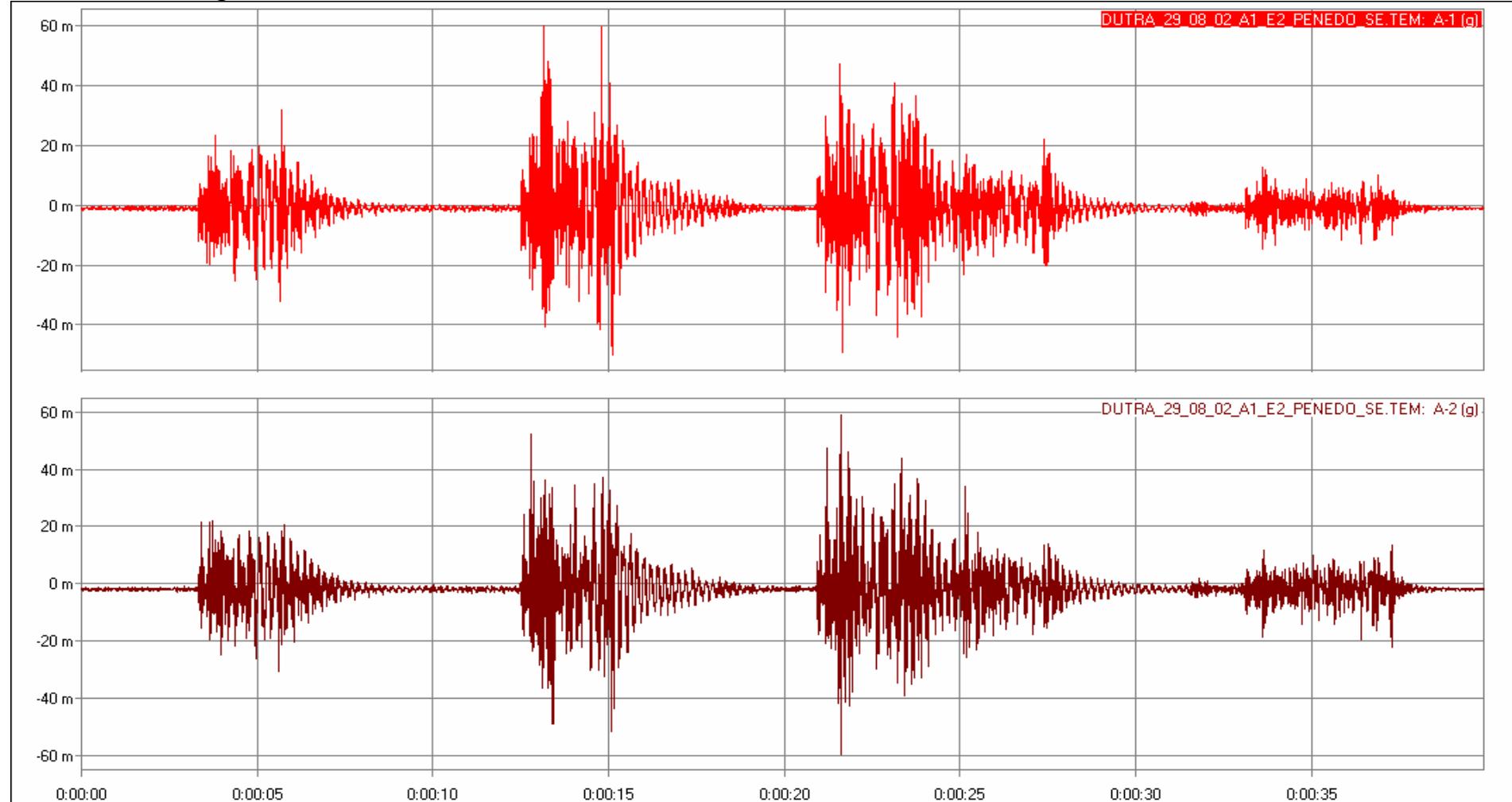
Figura 5.1 – Método de moldagem com vibração controlada, proposto pelo LSE

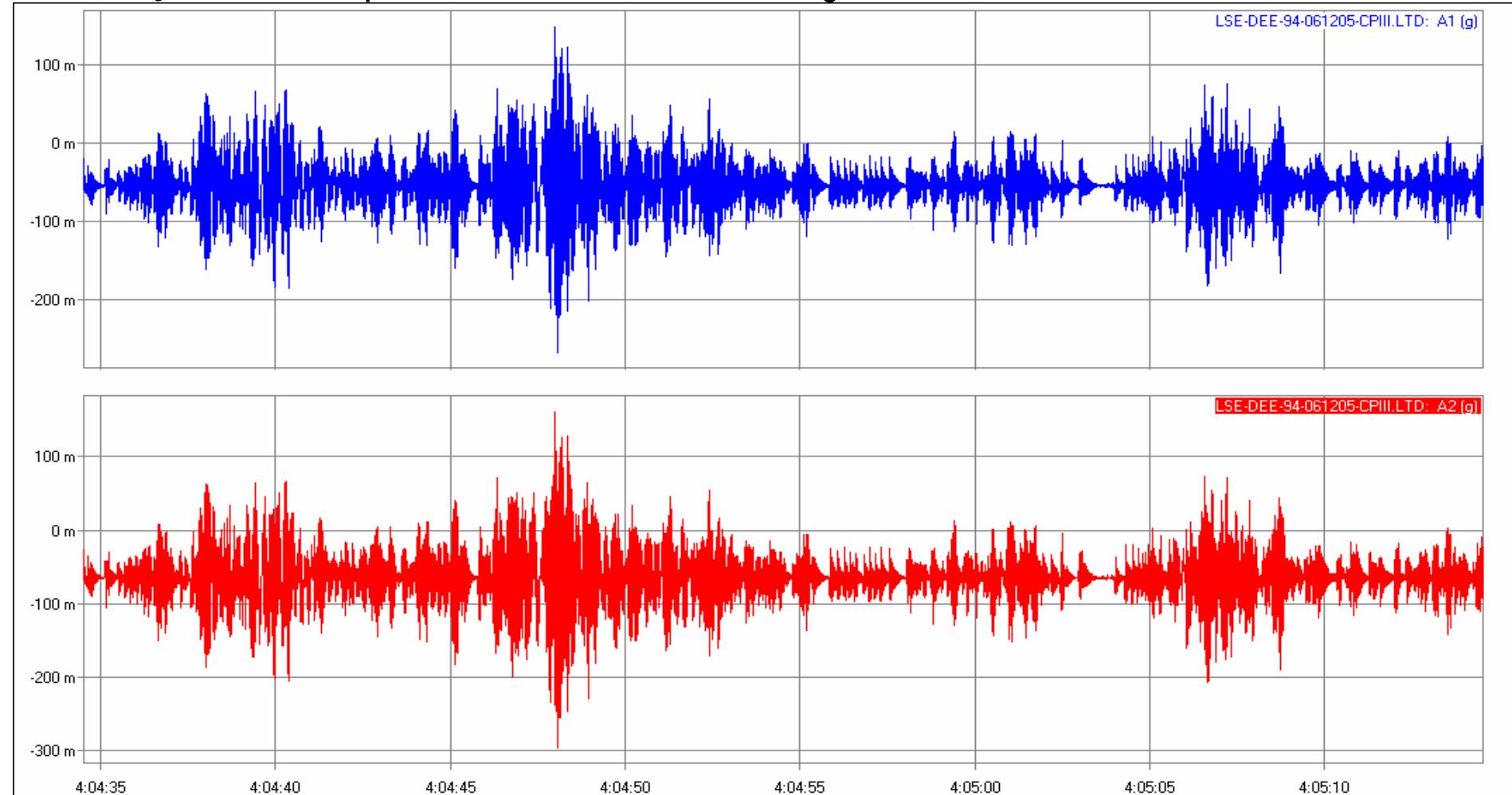
Para a continuidade da investigação, recomenda-se que o estudo seja ampliado para a avaliação de peças de concreto: vigas, lajes e pilares, considerando não somente as propriedades de resistência e rigidez determinadas em ensaios estáticos mas também aquelas determinadas em ensaios cíclicos que levem em conta a natureza da solicitação como o envelhecimento do concreto.

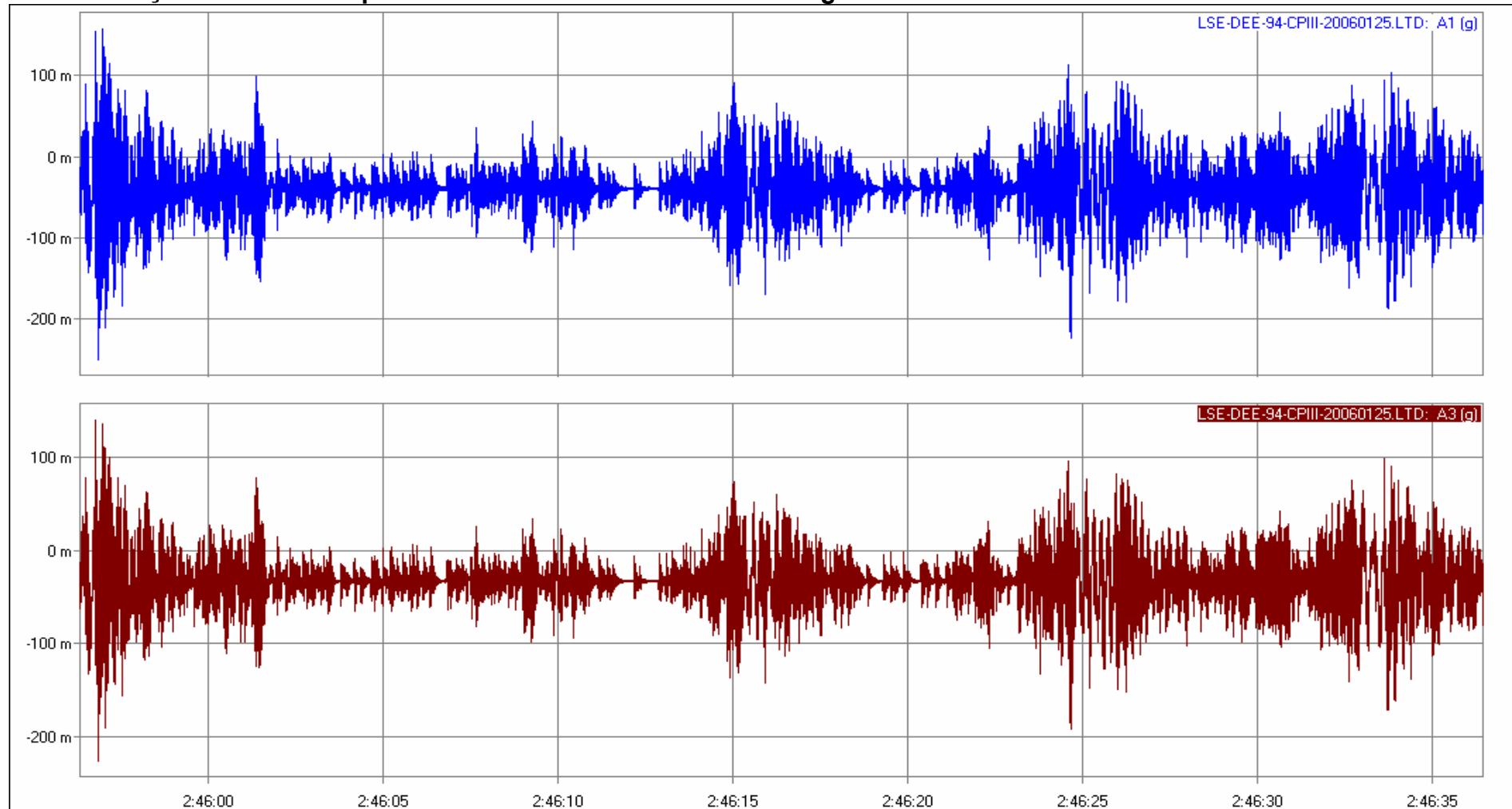
Na continuidade da investigação, recomenda-se também a realização de moldagem de corpos-de-prova em diferentes níveis de vibração.

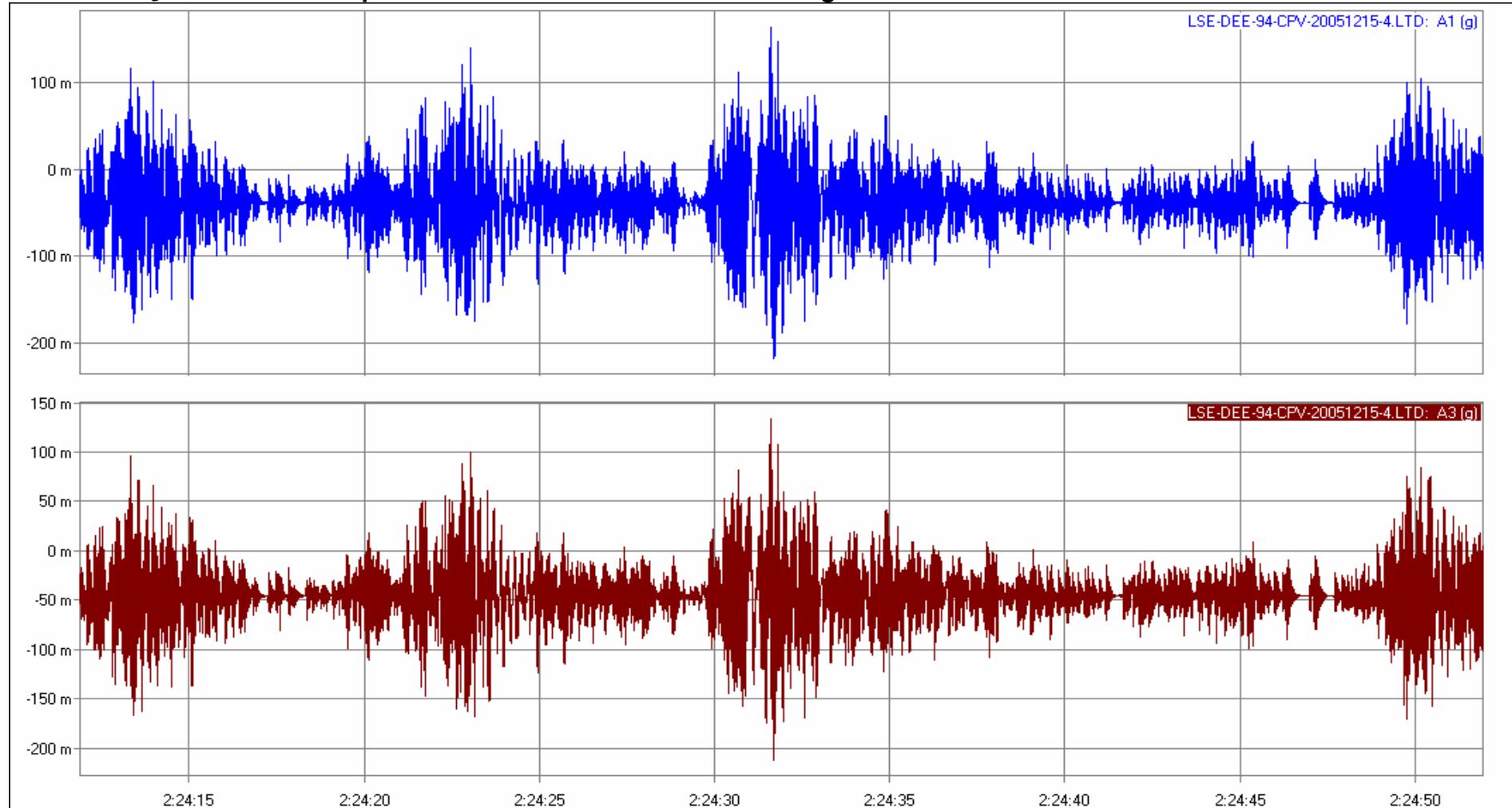


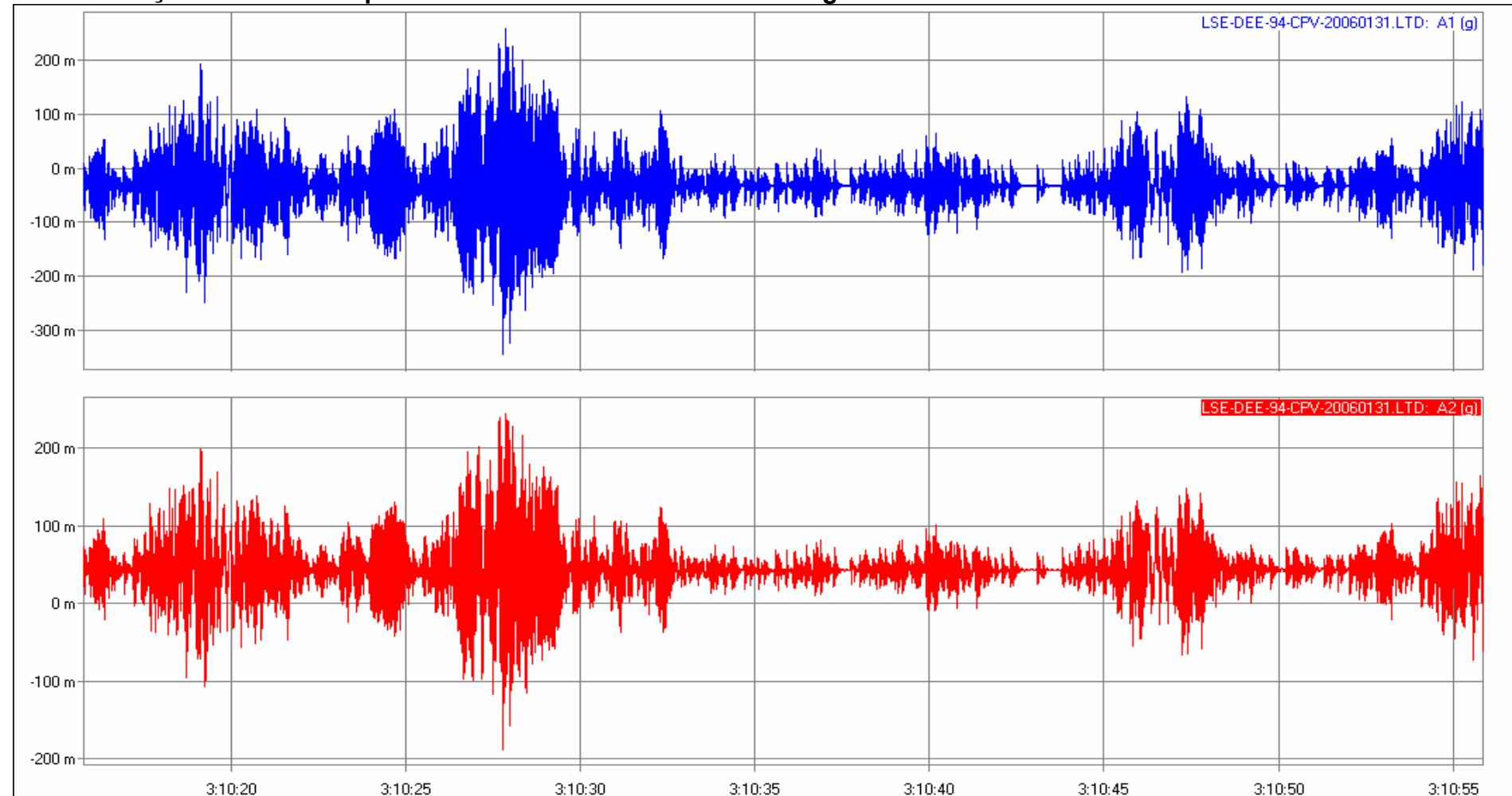
ANEXO A

A.1 Acelerações gravadas em Penedo em 29/08/02

A.2 Acelerações medidas na plataforma vibratória durante a moldagem da Amostra A

A.3 Acelerações medidas na plataforma vibratória durante a moldagem da Amostra B

A.4 Acelerações medidas na plataforma vibratória durante a moldagem da Amostra C

A.5 Acelerações medidas na plataforma vibratória durante a moldagem da Amostra D

A.6 Acelerações medidas em campo durante a moldagem da Amostra E