

Monitoração de Estruturas Visando a Conservação de Obras de Arte Especiais (OAEs)

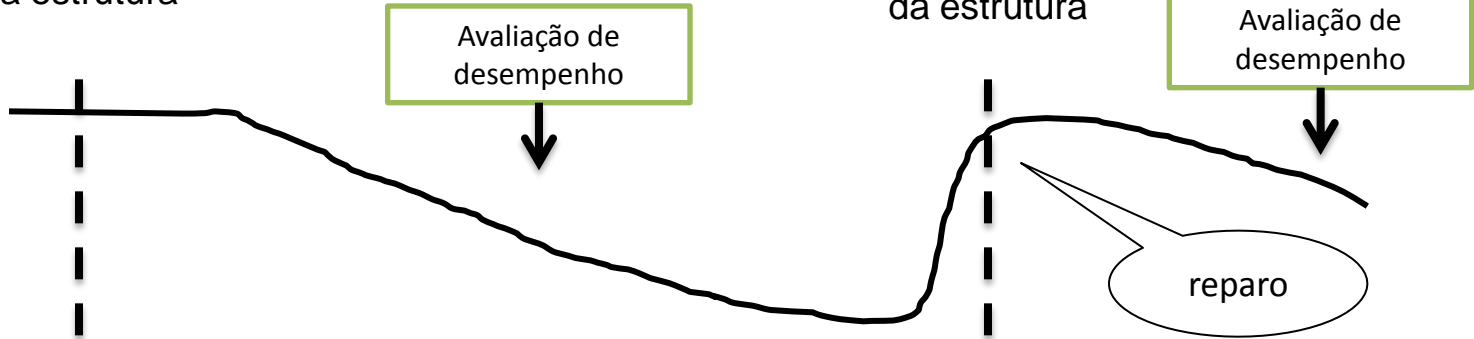
Pedro Afonso de Oliveira Almeida

Prof. Doutor - Escola Politécnica da USP

Diretor do LSE



“Birth Certification”
da estrutura



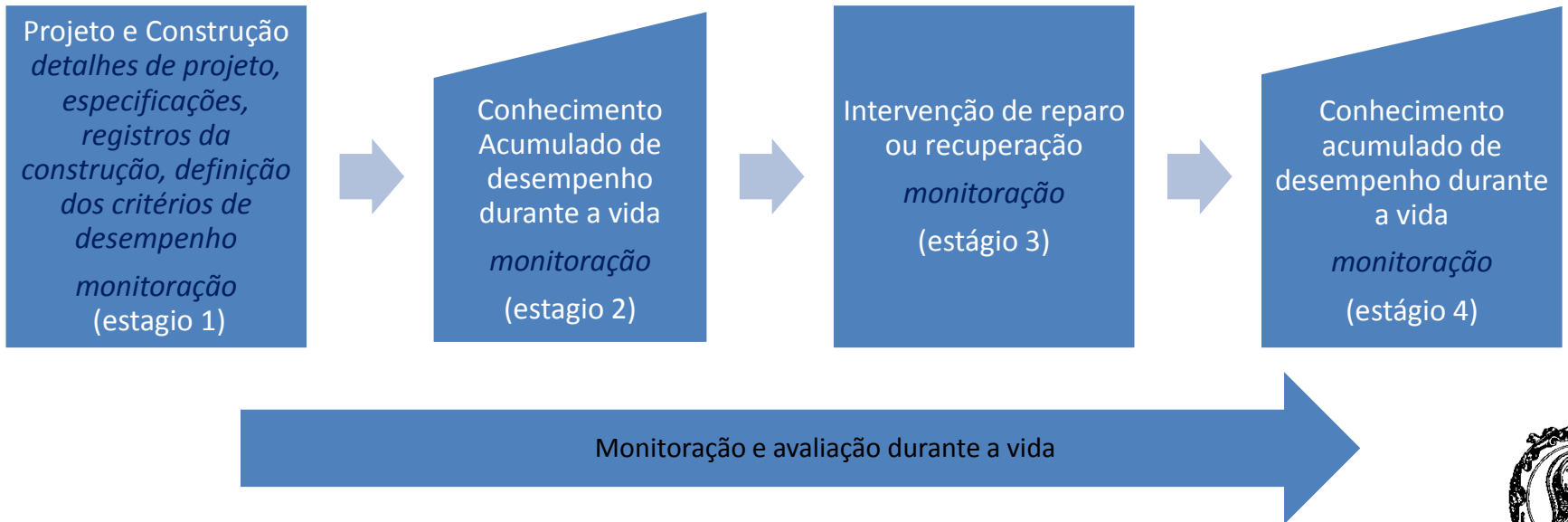
“Re-Birth Certification”
da estrutura

Avaliação de desempenho

Avaliação de desempenho

reparo

Limite de interrupção do serviço



Projeto e Construção
*detalhes de projeto,
especificações,
registros da
construção, definição
dos critérios de
desempenho*
monitoração
(estágio 1)

Conhecimento
Acumulado de
desempenho
durante a vida
monitoração
(estágio 2)

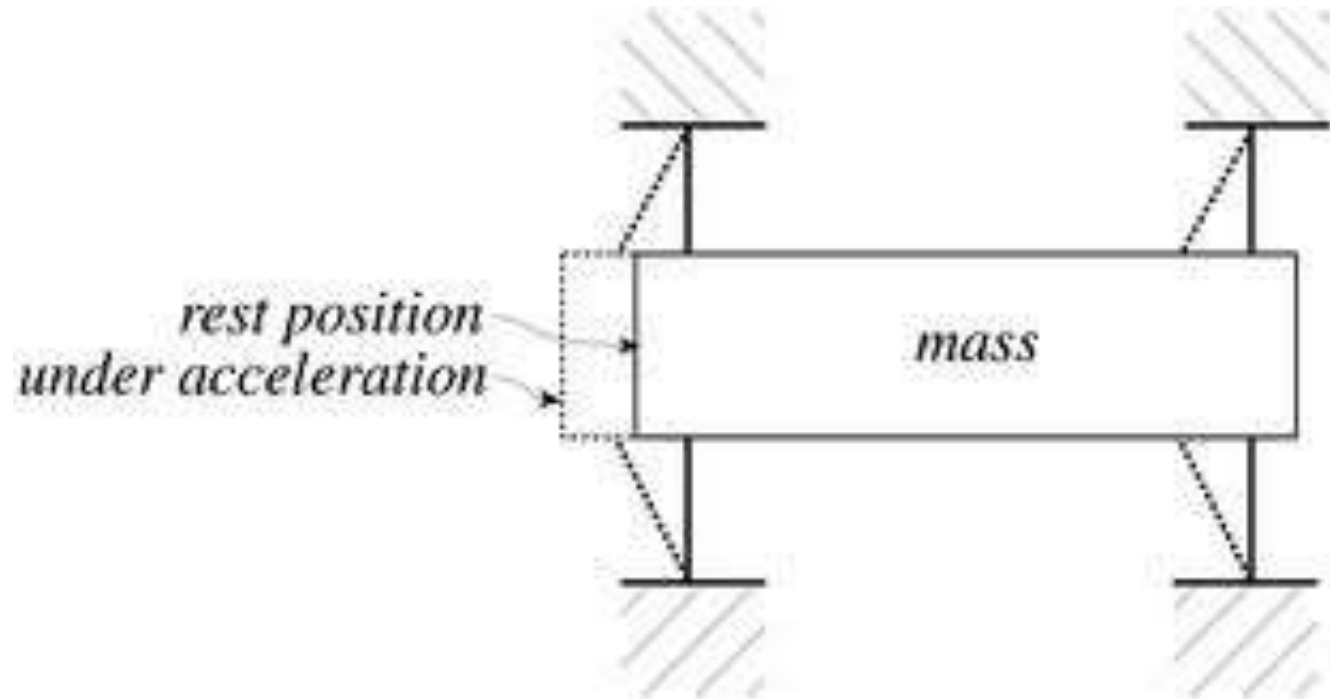
Intervenção de reparo
ou recuperação
monitoração
(estágio 3)

Conhecimento
acumulado de
desempenho durante
a vida
monitoração
(estágio 4)

Monitoração e avaliação durante a vida



Aceleração - efeito



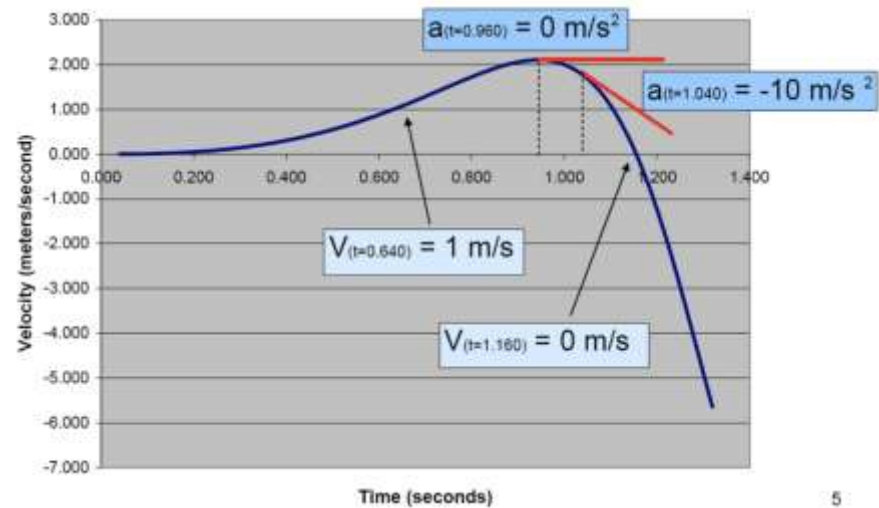
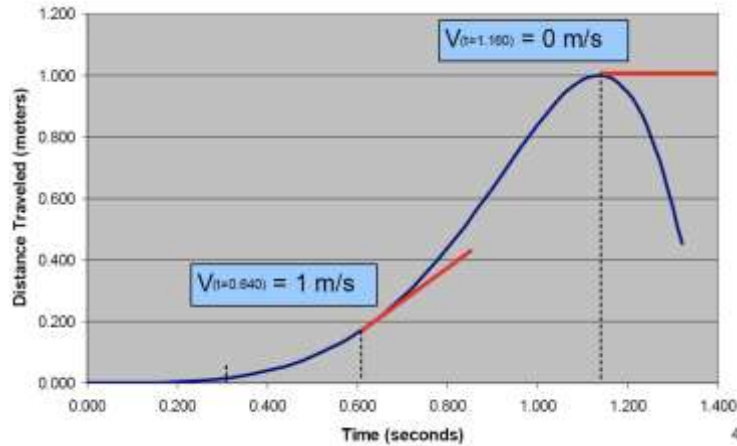
Aceleração: mudança da velocidade.

Unidade de medida: m/s^2 ou em $g=9,8m/s^2$

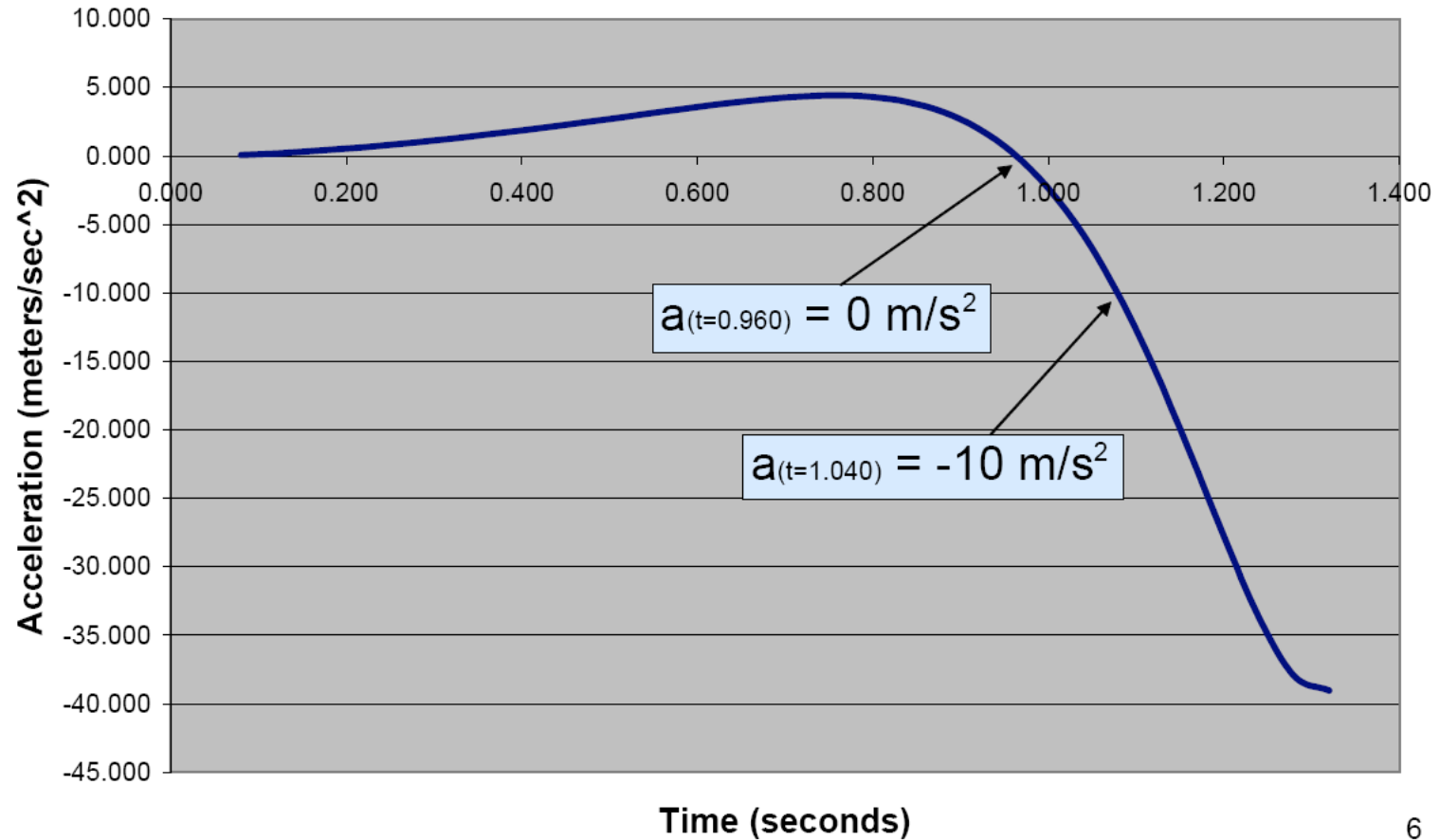
$$a = \frac{\partial v}{\partial t} = \frac{\partial^2 x}{\partial t^2}$$



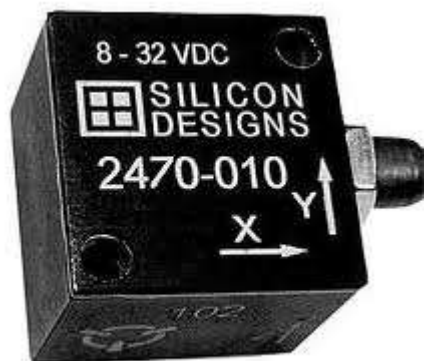
Velocidade - aceleração



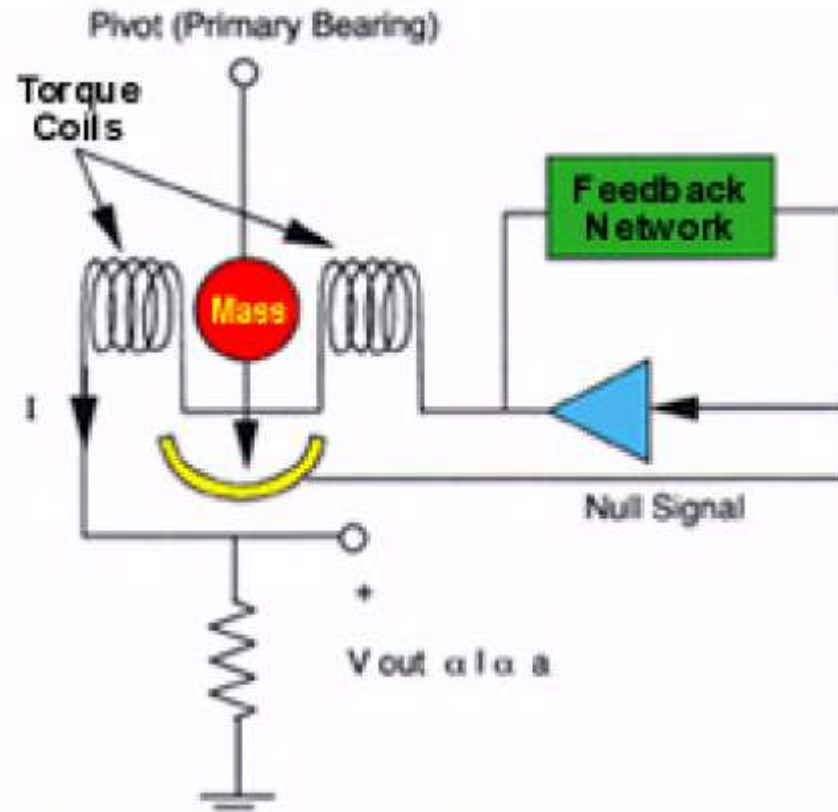
Serie temporal de aceleração



acelerômetro



Servo acelerômetro

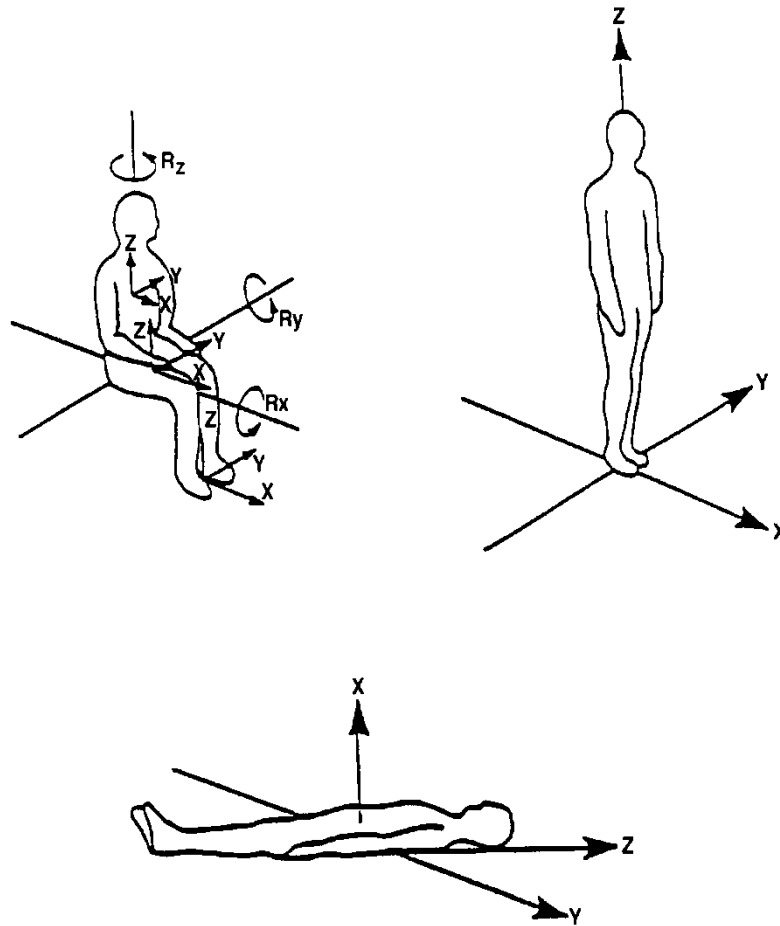


The Servo Accelerometer

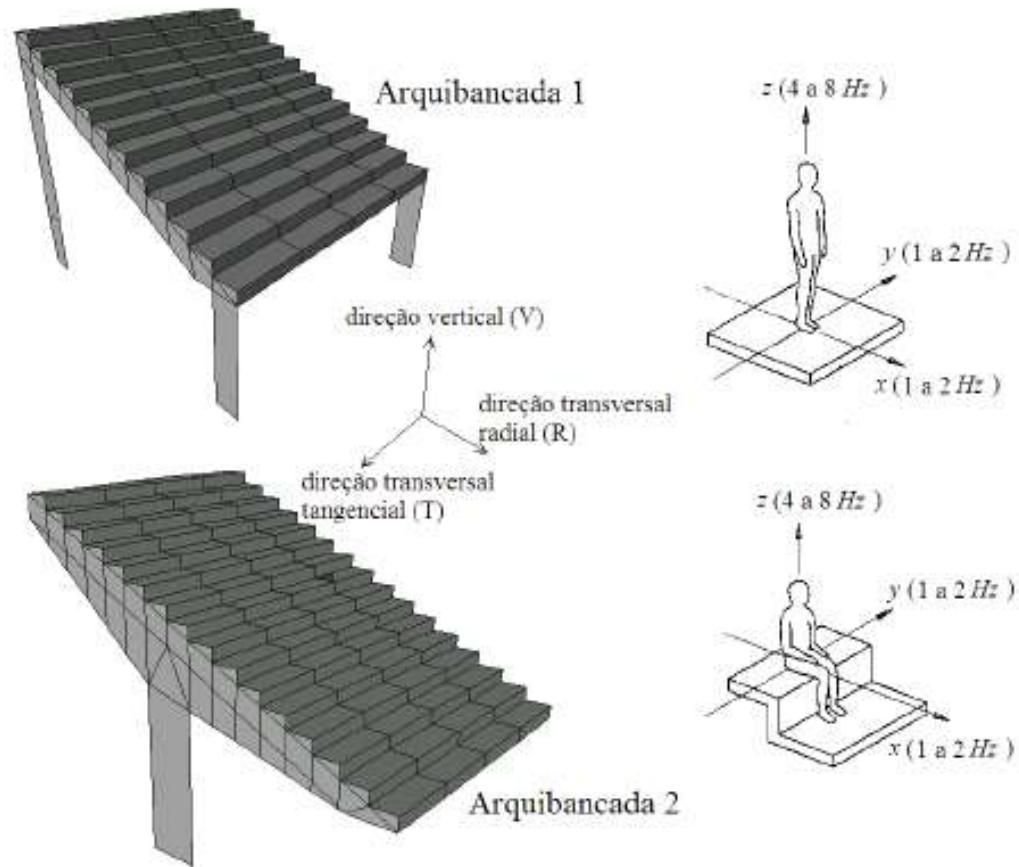


Conforto humano

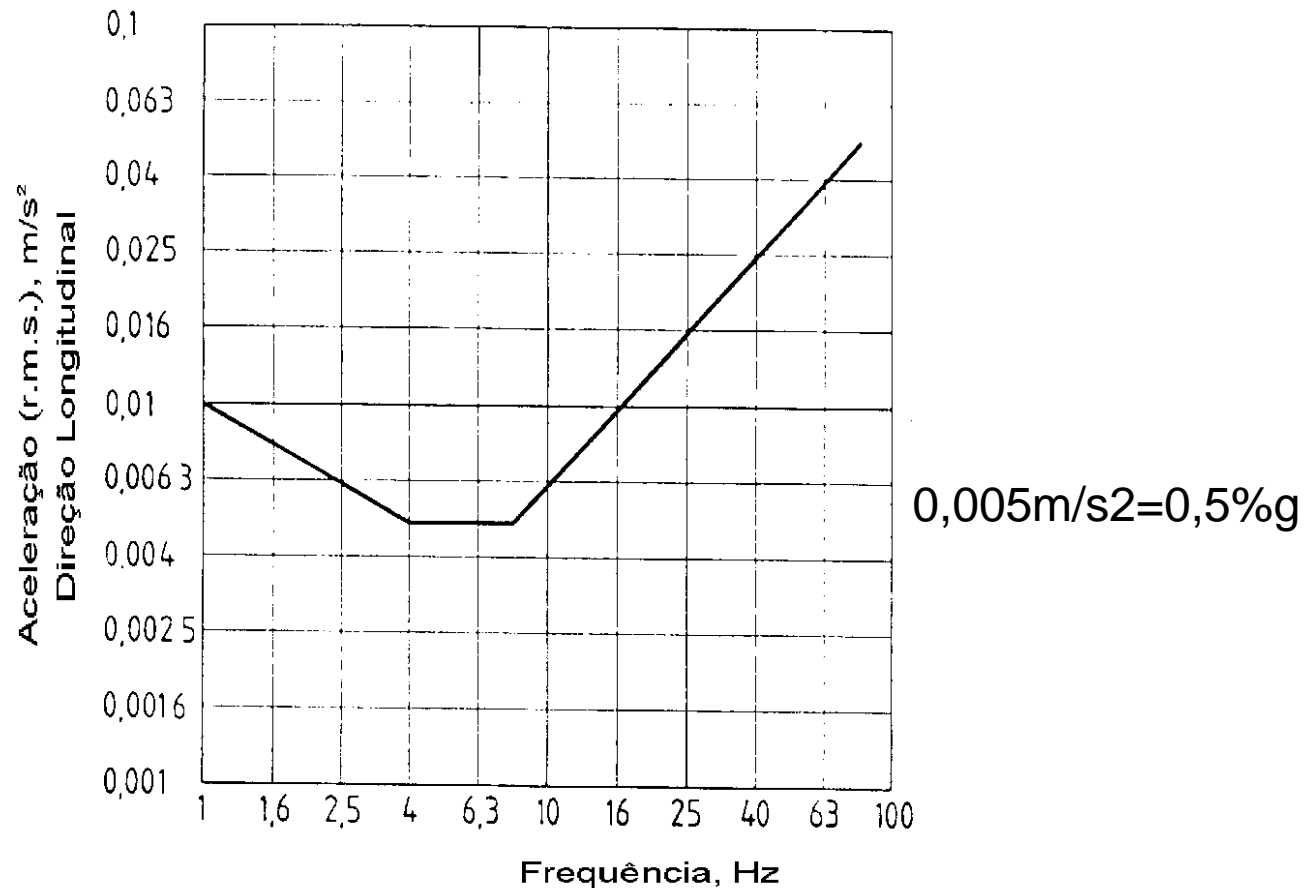
Sistema de referência, ISO 2631-2 (1989)



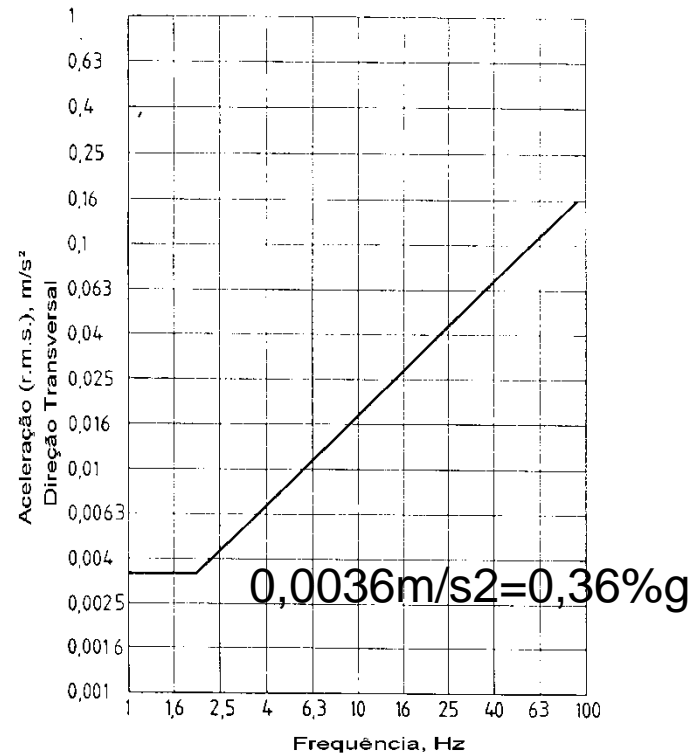
Sistema Arquibancada



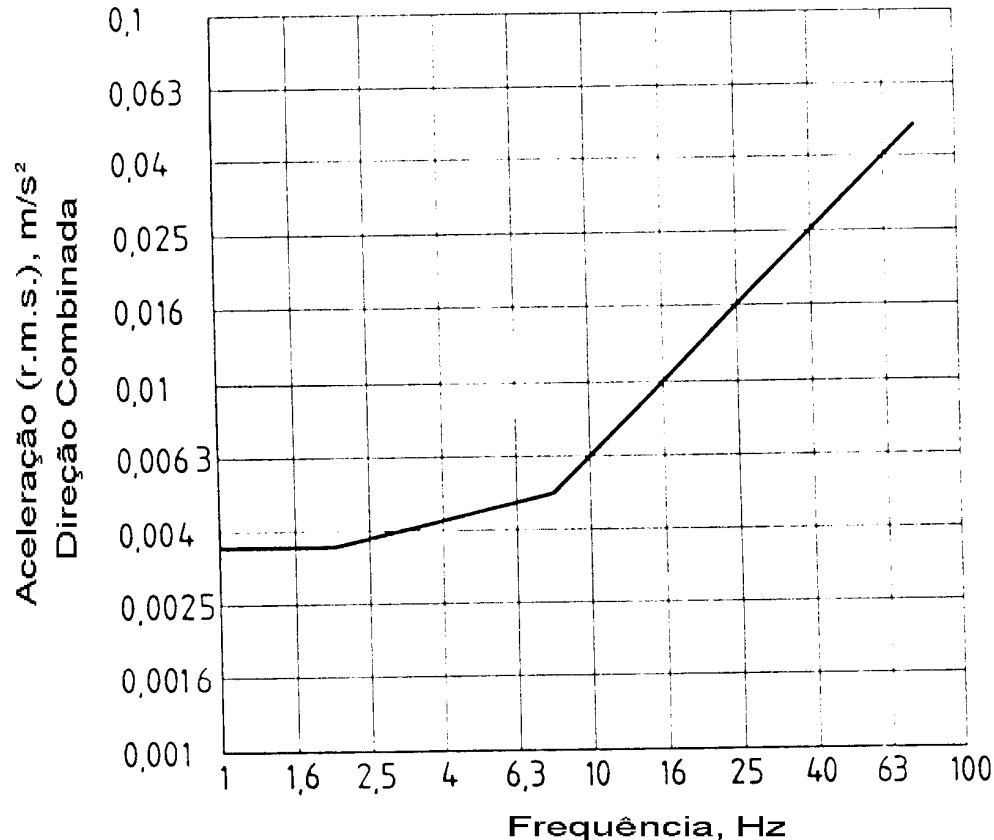
Curvas básicas da ISO-2631/2 (1989)



Curvas básicas da ISO-2631/2 (1989)



Curvas básicas ISO-2631/2 (1989)



Considerando uma frequência de 2,5 Hz, a curva básica é de 4/1000 m/s². Admitindo que é tolerável um peso de 128(vibração transiente em ambiente de workshop) então a aceleração de pico será de 7%g

$$128 \cdot \frac{0.004}{0.7} = 0.731 \blacksquare$$



Fator de aumento da tolerância em função da duração da vibração, ISO-2631/1 (1989)

24 h	16 h	8 h	4 h	2,5 h	1 h	25 min	16 min	1 min
1	1,51	2,25	3,75	5,0	8,5	12,5	15	20

Fatores de tolerância de acordo com o ambiente, ISO-2631 (1989)

Área	Período	Vibrações A	Vibrações B
Áreas críticas: áreas hospitalares	Diurno	1	1
	Noturno		
Residencial	Diurno	2 a 4	30 a 90
	Noturno	1,4	1,4 a 20
Escritórios	Diurno	4	60 a 128
	Noturno		
Workshop	Diurno	8	90 a 128
	Noturno		

A: continua

B: intermitente

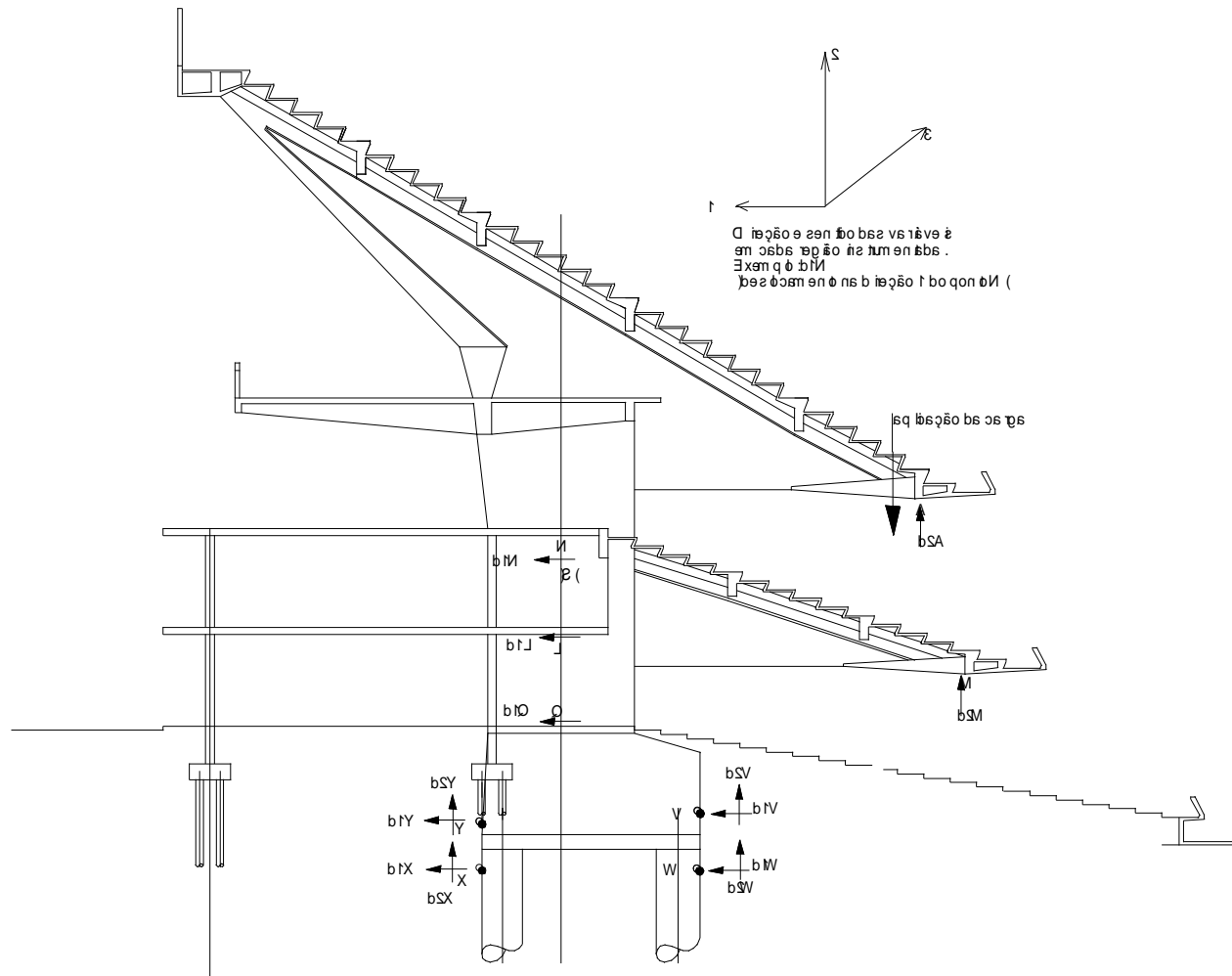
Para estádios de futebol foi determinado peso 20 (1,1 % g), identificados em cabines de rádio, RODRIGUES, 1998 (TESE Dissertação mestrado)



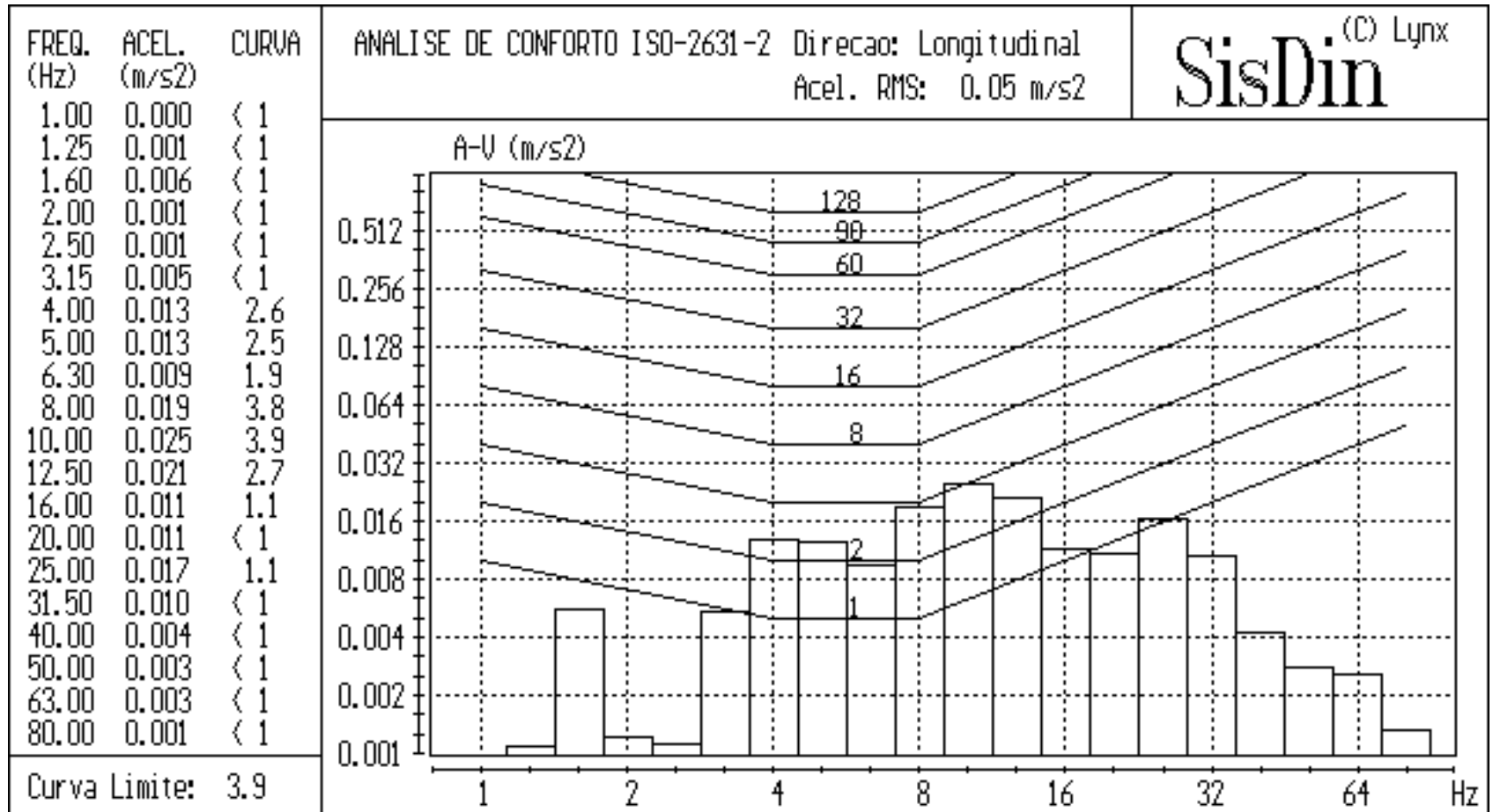
Exemplos - estádios de futebol



Instrumentação–arquibancada Morumbi



Resultados – conforto



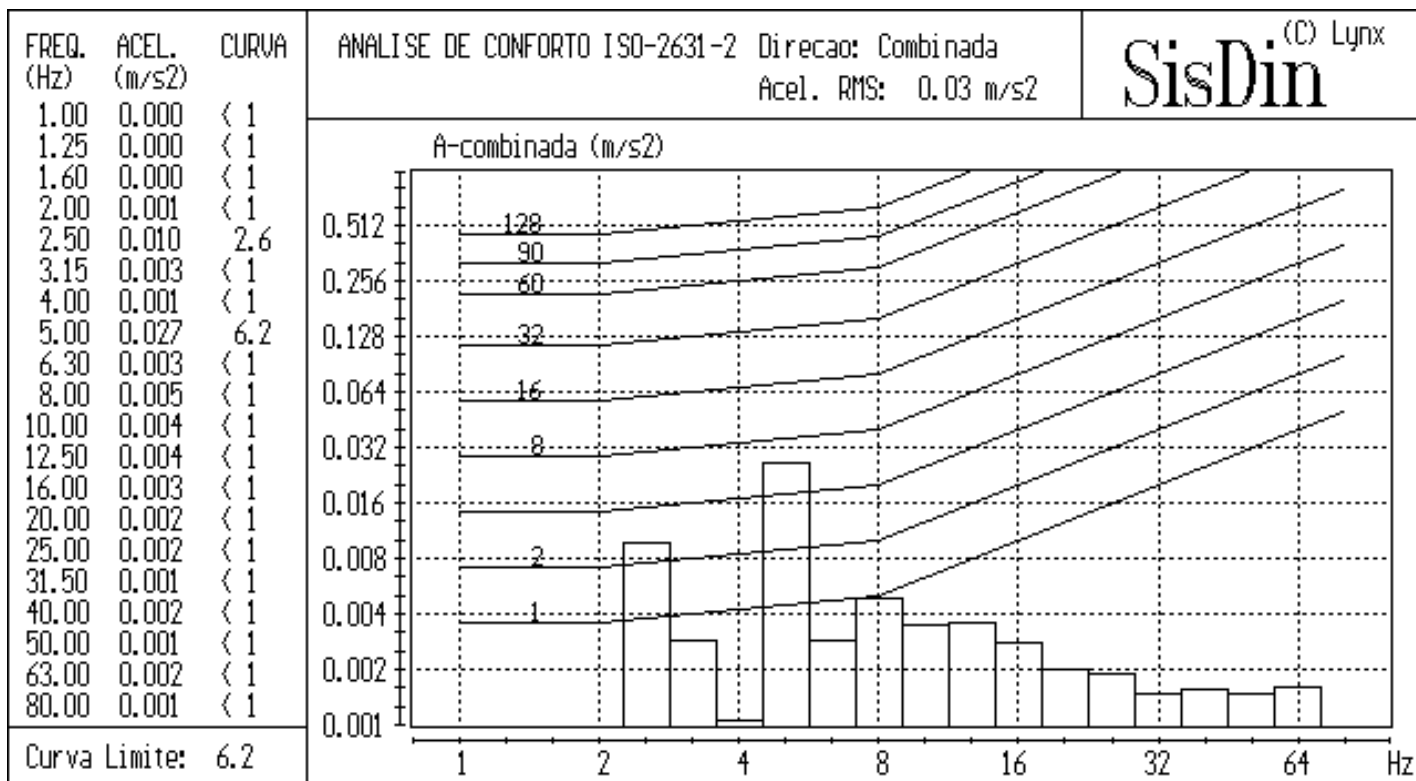


Figura 4.15 Conforto segundo a direção combinada no subsetor 10, durante o segundo tempo do jogo Corinthians X São Paulo realizado em 5 de junho de 1997



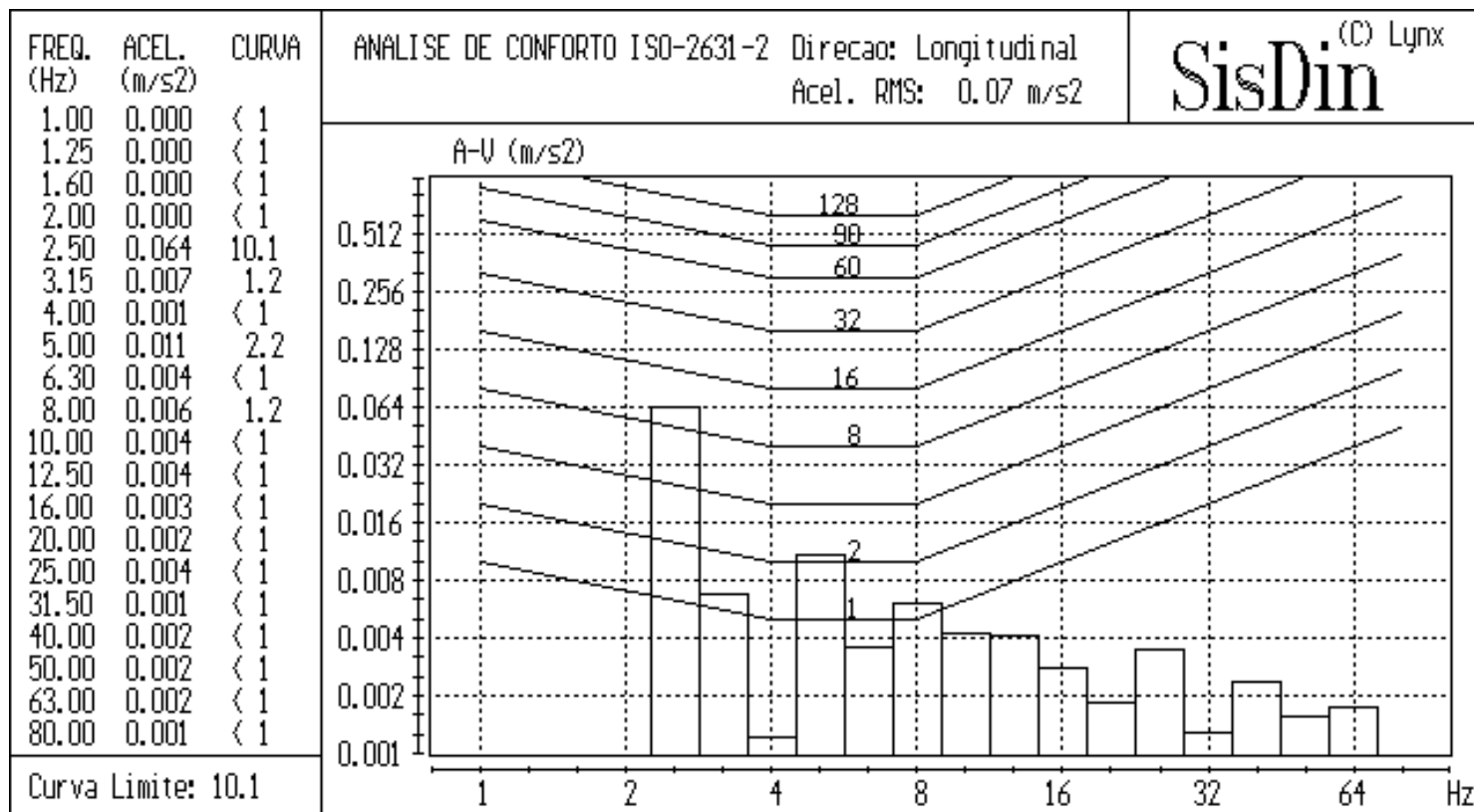


Figura 4.16 Conforto segundo a direção longitudinal no subsetor 10, durante o segundo tempo do jogo Corinthians X São Paulo realizado em 5 de junho de 1997



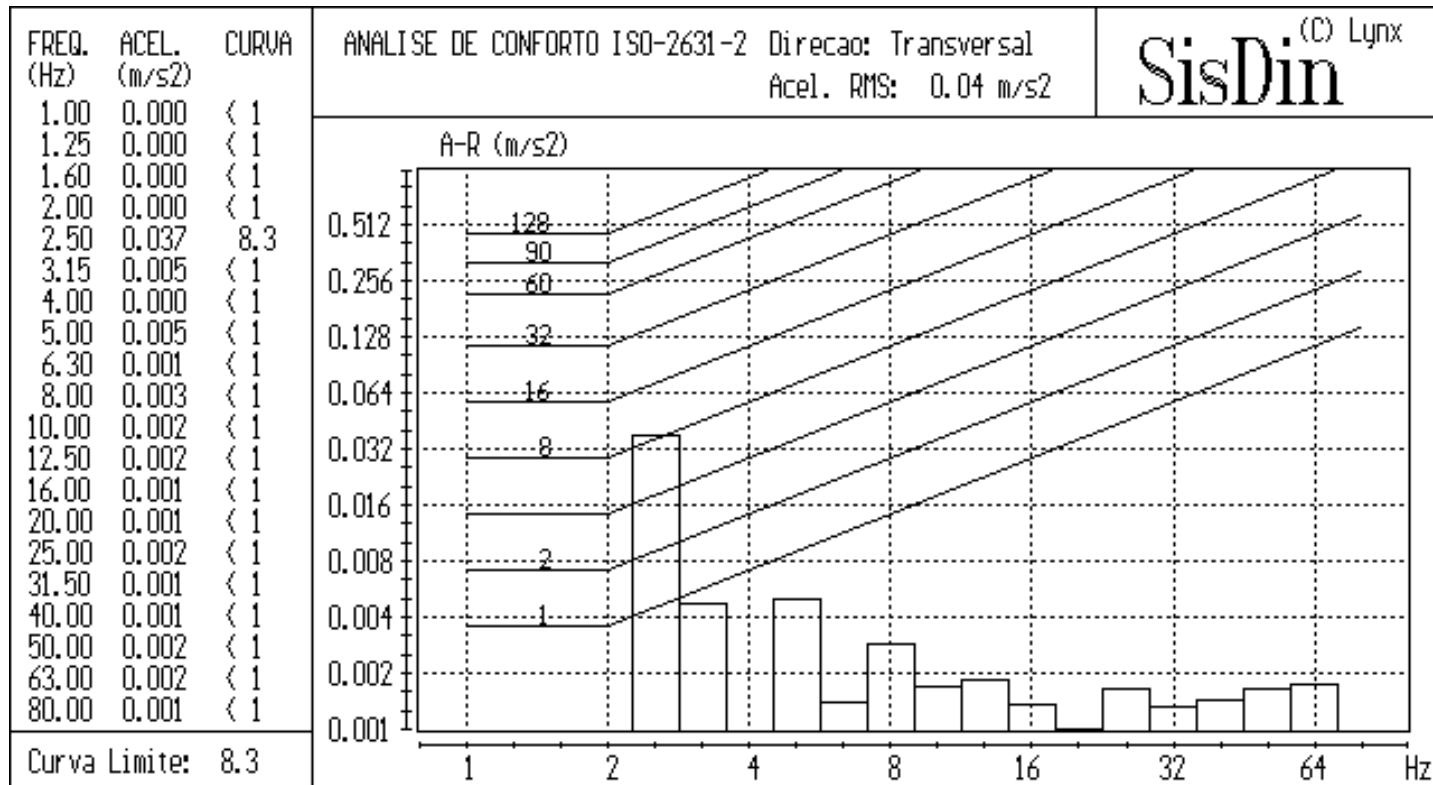


Figura 4.17 Conforto segundo a direção transversal radial no subsetor 10, durante o segundo tempo do jogo Corinthians X São Paulo realizado em 5 de junho de 1997



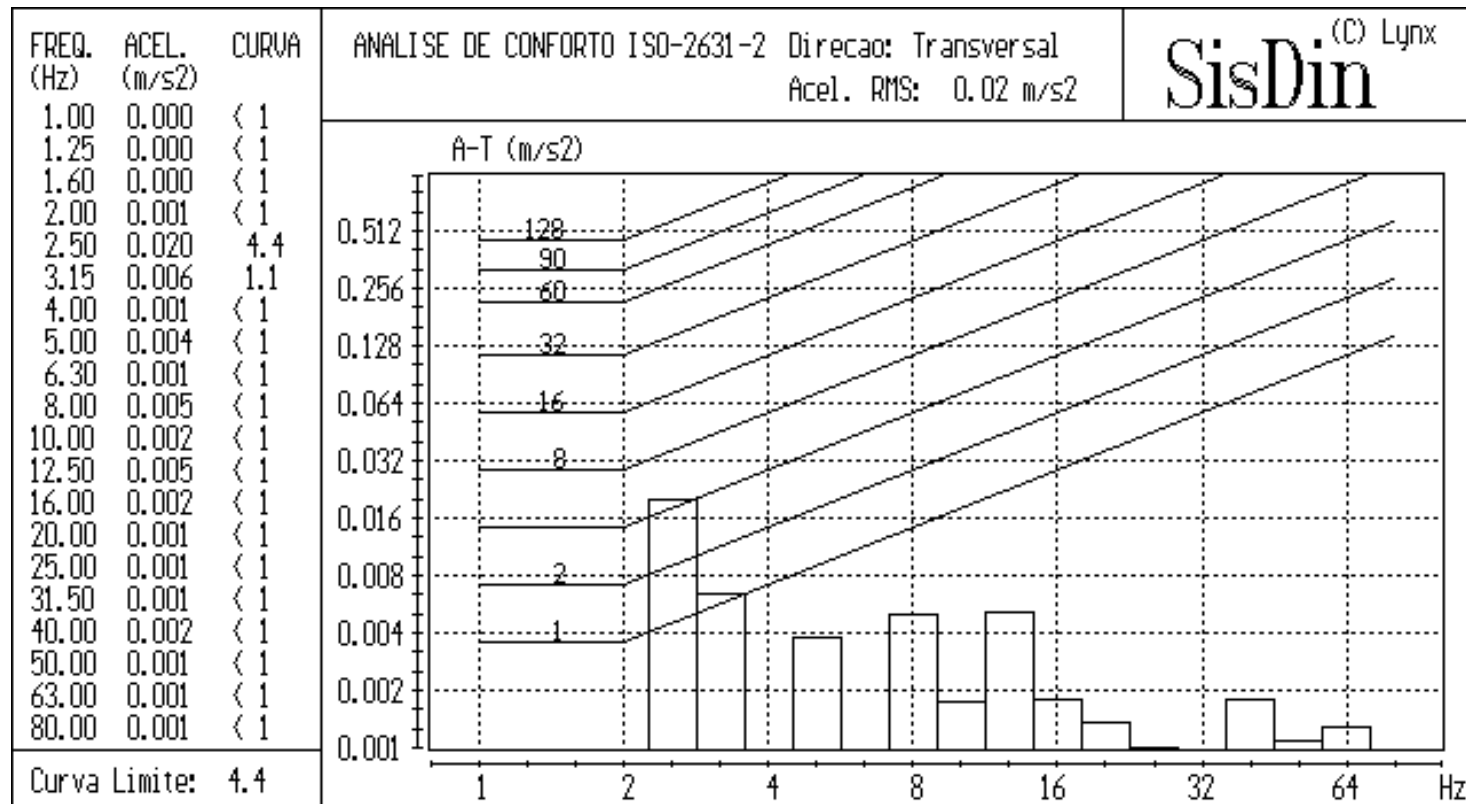


Figura 4.18 Conforto segundo a direção transversal tangencial no subsetor 10, durante o segundo tempo do jogo Corinthians X São Paulo realizado em 5 de junho de 1997



HOMOLOGAÇÃO DO ESTÁDIO PRESIDENTE VARGAS FORTALEZA – CE (2011)



Arquibancadas



Shaker servohidráulico



Capacidade 100kN
com varredura de 0,0
Hz a 20 Hz



Instalação do shaker servohidráulico na arquibancada



Instrumentação da arquibancada

Base de servo acelerômetros



Instrumentação da arquibancada

Acelerômetro 3D sobre o ponto de fixação do shaker

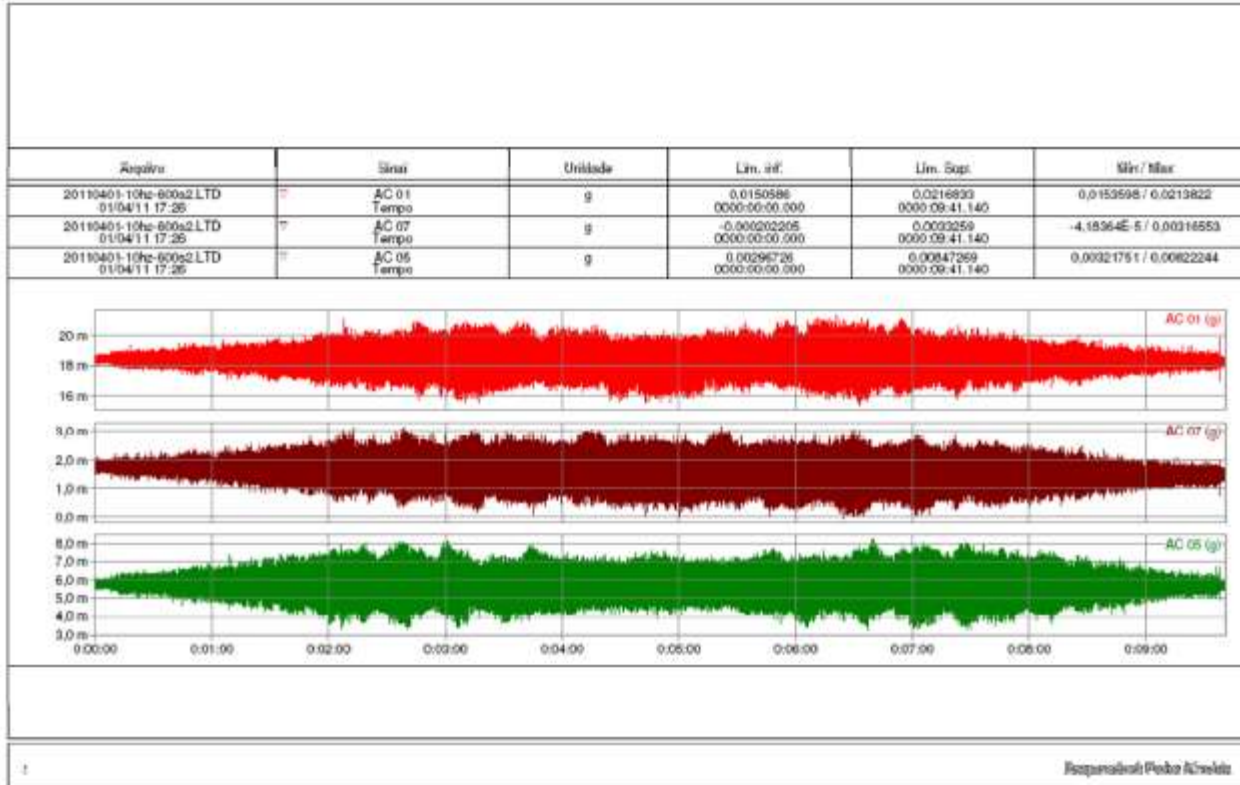


Series temporais de aceleração

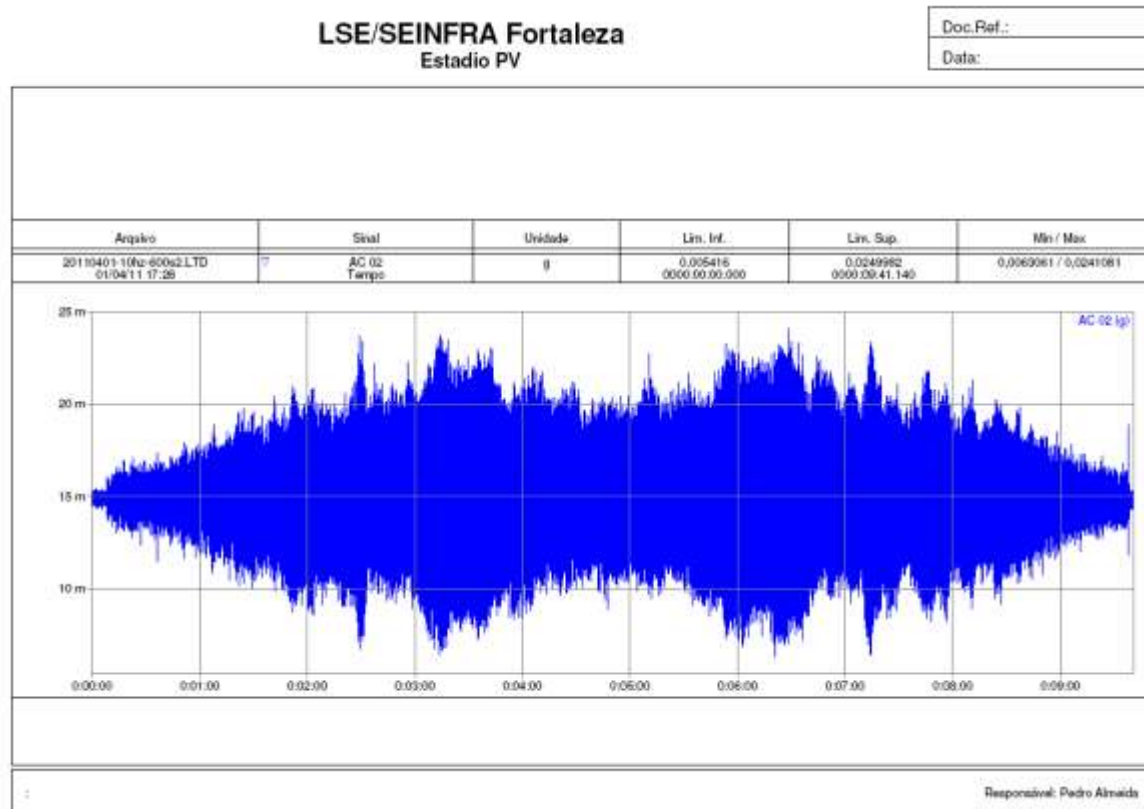
LSE/SEINFRA Fortaleza
Estadio PV

Doc. Ref.:

Data:



Series temporais de aceleração

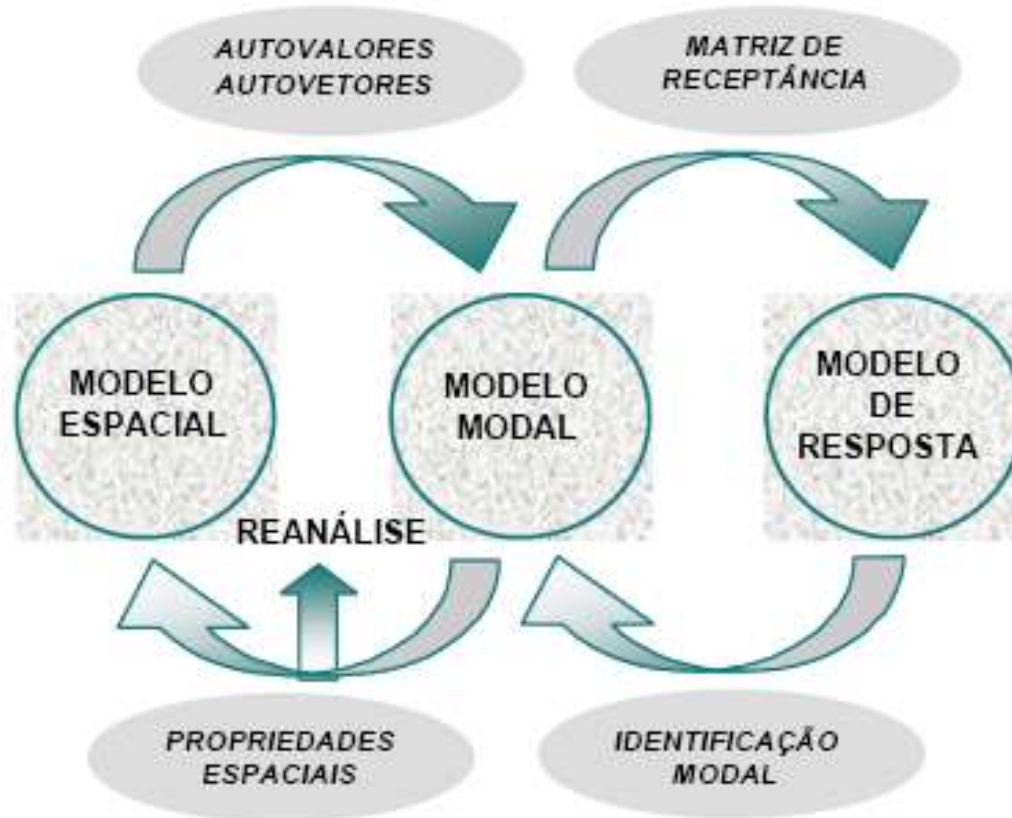


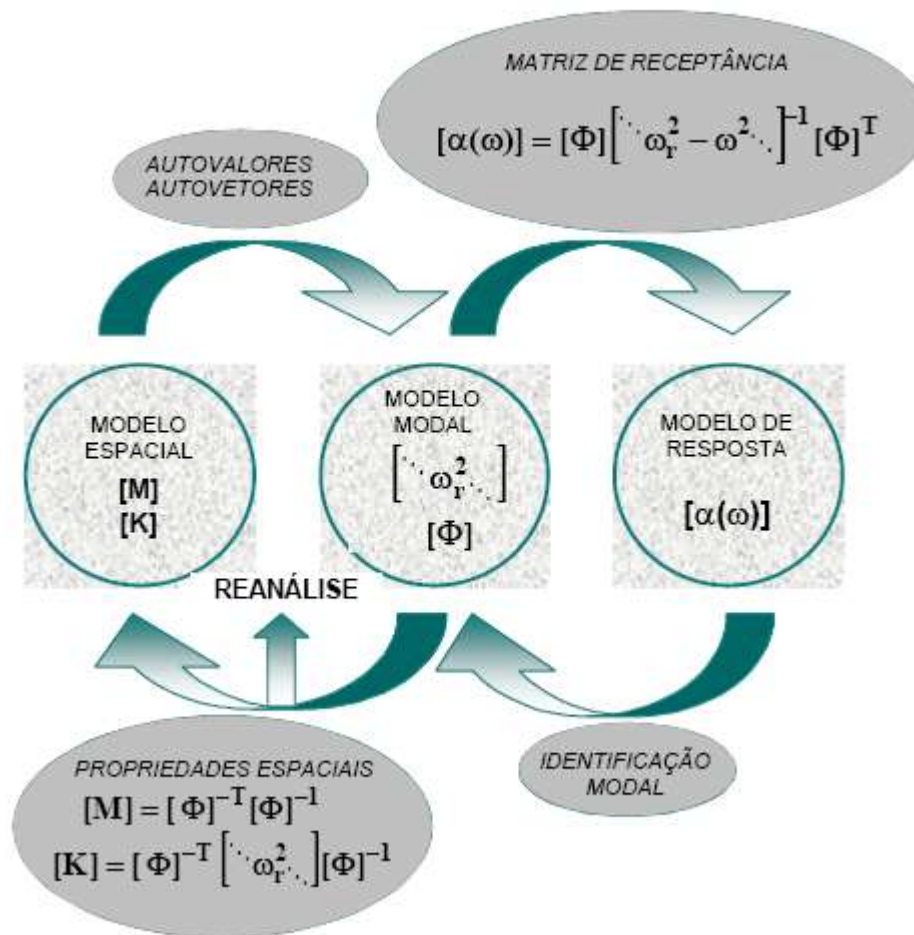
A máxima força dinâmica aplicada nesse arranjo foi de $F_{dmax}=11,47 \text{ kN}$, na direção vertical e a mínima de $F_{dmin}=0,58 \text{ kN}$. Considerando que o excitador está fixado numa área de $0,60\text{m} \times 0,8\text{m}$, essa força corresponde a um carregamento dinâmico de: $p_d=(11,4\text{kN}-6,2\text{kN})/(0,6\text{m}*0,8\text{m})=10,9 \text{ kN/m}^2$ na arquibancada.

Com a máxima aceleração $a_{rms} = 0,12 \text{ m/s}^2$ (equivalente $a_{pico}=1,71\% \text{ g}$), medida na direção vertical, correspondente a uma carga dinâmica de $p_d=10,9 \text{ kN/m}^2$, conclui-se que o conforto da arquibancada está adequado, dentro dos padrões de qualidade de conforto humano especificados pela ISO 2631

Identificação de Estruturas Análise Modal Experimental

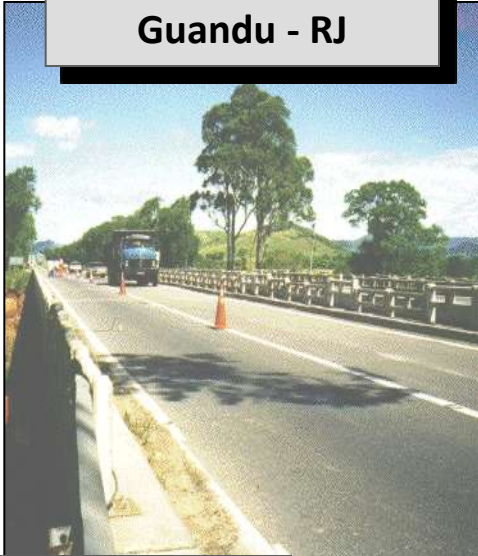
Modelo de identificação





DIAGNÓSTICO DO COMPORTAMENTO DE SISTEMAS ESTRUTURAIS DE PONTES DE CONCRETO

Pontes sobre o Rio Guandu - RJ



- Inspeção Visual
- Ensaios Dinâmicos
 - *Veículo de Prova*
 - *Monitoração do Tráfego Normal*
- Modelos Numéricos
- Reanálises
- Identificação e Caracterização
- Diagnóstico

Viaduto do Tatuapé - SP



Ponte sobre o Rio Entupido - SP



Pontes sobre o Rio Pavuna - RJ



DIAGNÓSTICO DO COMPORTAMENTO DE SISTEMAS ESTRUTURAIS DE PONTES DE CONCRETO

● **Justificativas**

- **consideração incompleta das ações de natureza dinâmica nas fases de concepção e projeto ⇒ danos estruturais;**
- **mudança das características dos veículos que trafegam nas rodovias;**
- **Os modelos de cálculo devem ser reavaliados com base nos carregamentos efetivos das pontes.**

● **Objetivo**

- **Identificar e esclarecer as causas dos mecanismos pelos quais um fenômeno afeta o comportamento esperado ou desejado de uma estrutura**

Como?

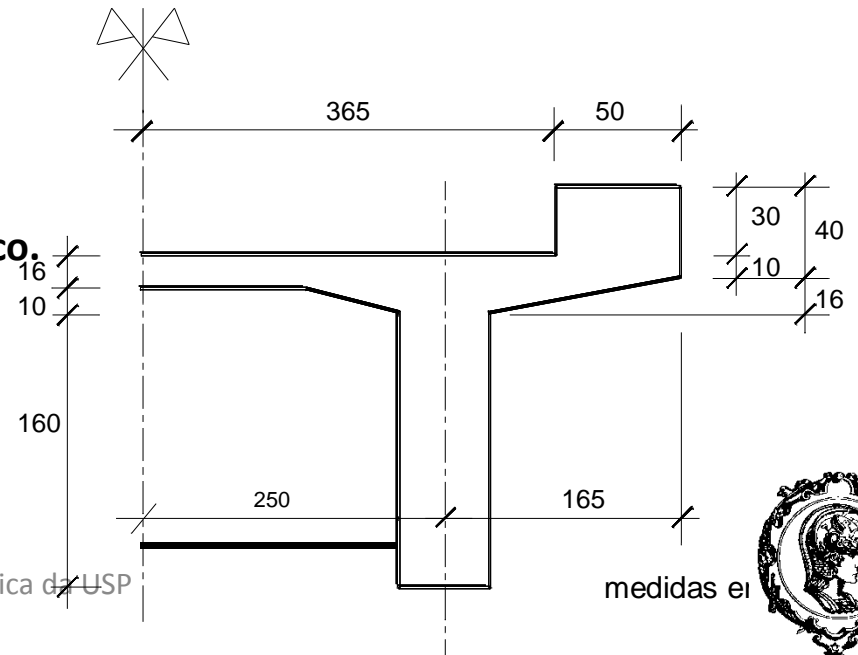
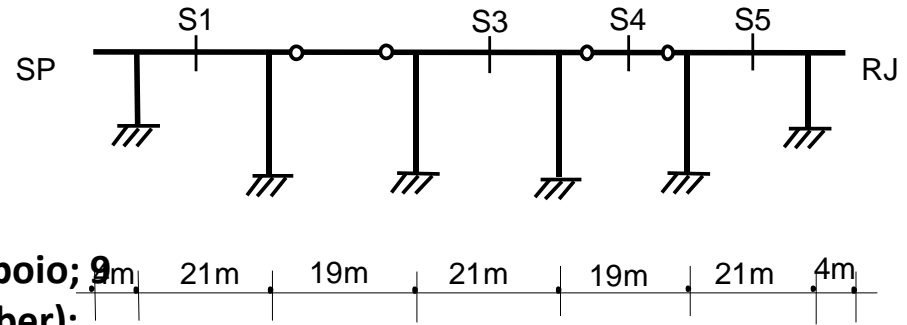
- **Inspeção visual da estrutura;**
- **Verificação do detalhamento do projeto;**
- **Provas de carga dinâmicas realizadas com um veículo de prova instrumentado;**
- **Monitoração da estrutura sob ação do tráfego normal;**
- **Análise de sinais;**
- **Modelos Numéricos Calibrados (reanálises) ⇒ identificação e caracterização;**
- **Estabelecimento de um método para diagnóstico.**



SISTEMAS ESTRUTURAIS

Ponte sobre o Rio Guandu - RJ

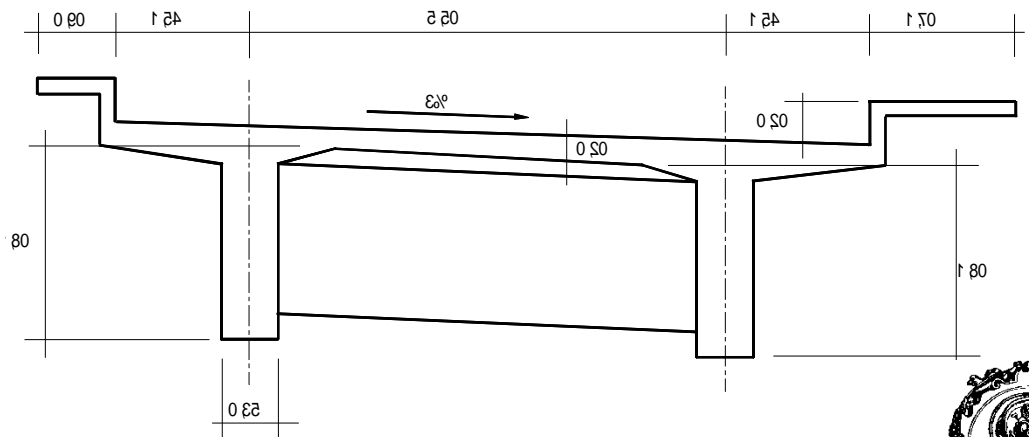
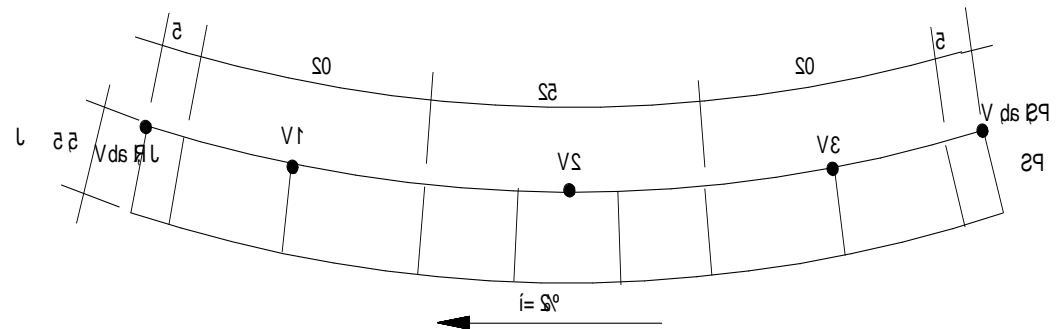
- Duas vias independentes nos sentidos SP-RJ e RJ-SP;
- Ponte em duas vigas;
- Comprimento total de $L=109\text{m}$;
- 5 vãos - maior vão de 21m ;
- 27 transversinas ligadas (2 extremidade; 6 apoio; 9 intermediárias; 10 intermediárias - vãos Gerber);
- Largura total de $8,30\text{m}$;
- Duas faixas de tráfego de $7,30\text{m}$;
- Dois passeios de $0,50\text{ m}$ cada;
- Sistema com dentes Gerber \Rightarrow sistema isostático.



SISTEMAS ESTRUTURAIS

Ponte sobre o Rio Entupido - SP

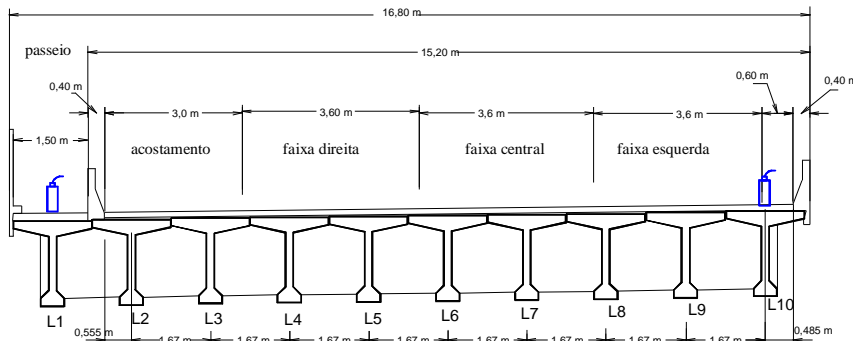
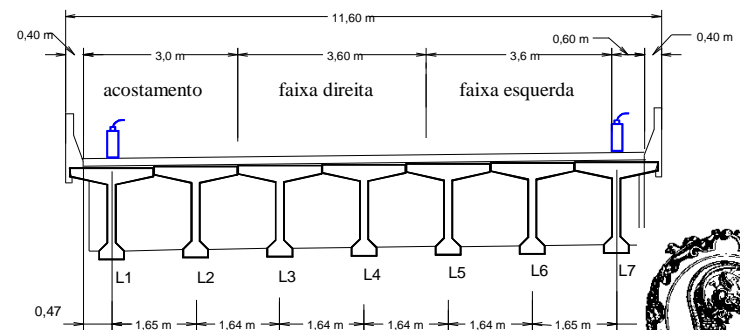
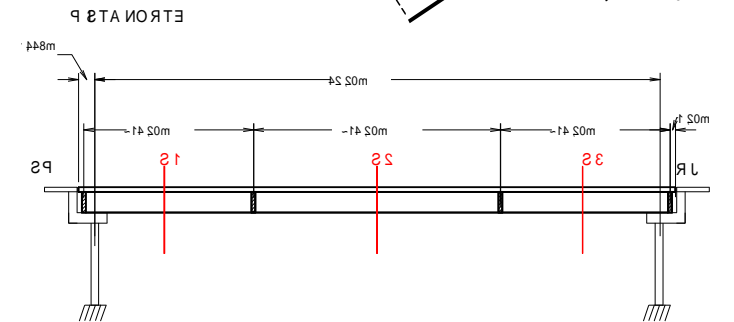
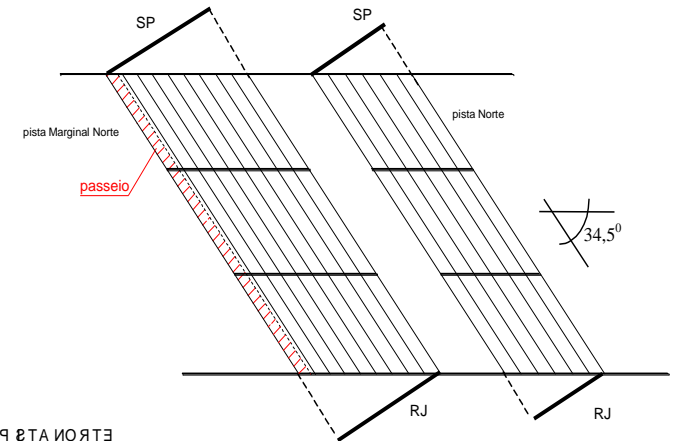
- Duas vias independentes nos sentidos SP-RJ e RJ-SP;
- Ponte curva em duas vigas;
- Comprimento total de $L=75\text{m}$;
- 3 vãos;
- Largura total de $11,18\text{m}$;
- Duas faixas de tráfego de $8,58\text{m}$;
- Dois passeios:
0,9m externo e 1,70m interno;
- 10 transversinas desligadas;
- Sistema hiperestático.



SISTEMAS ESTRUTURAIS

Pontes sobre o Rio Pavuna - RJ

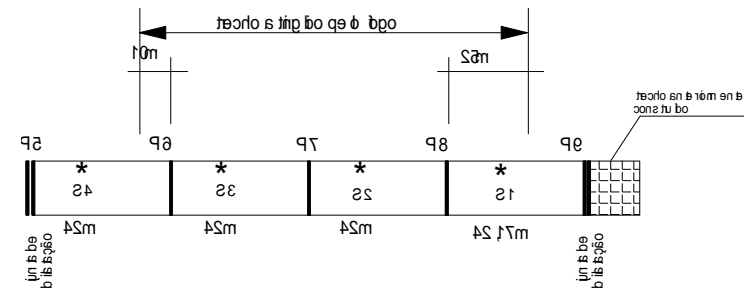
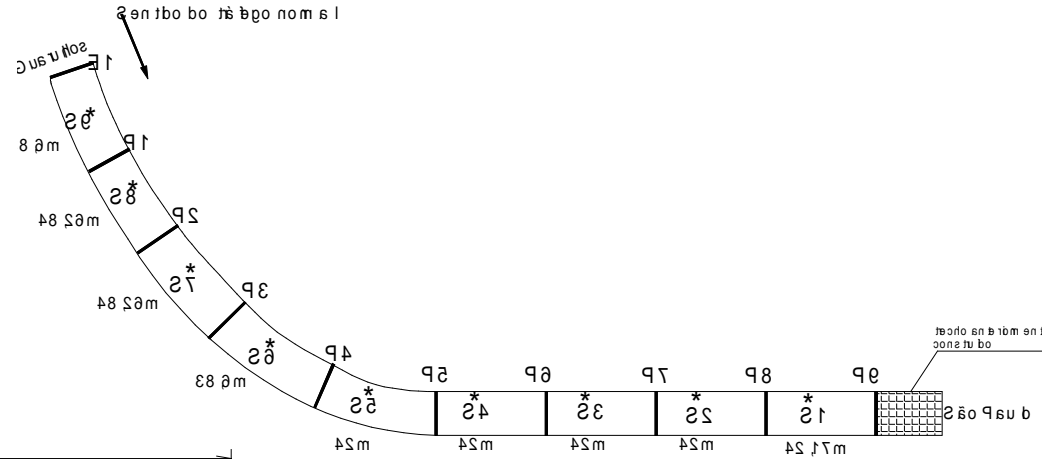
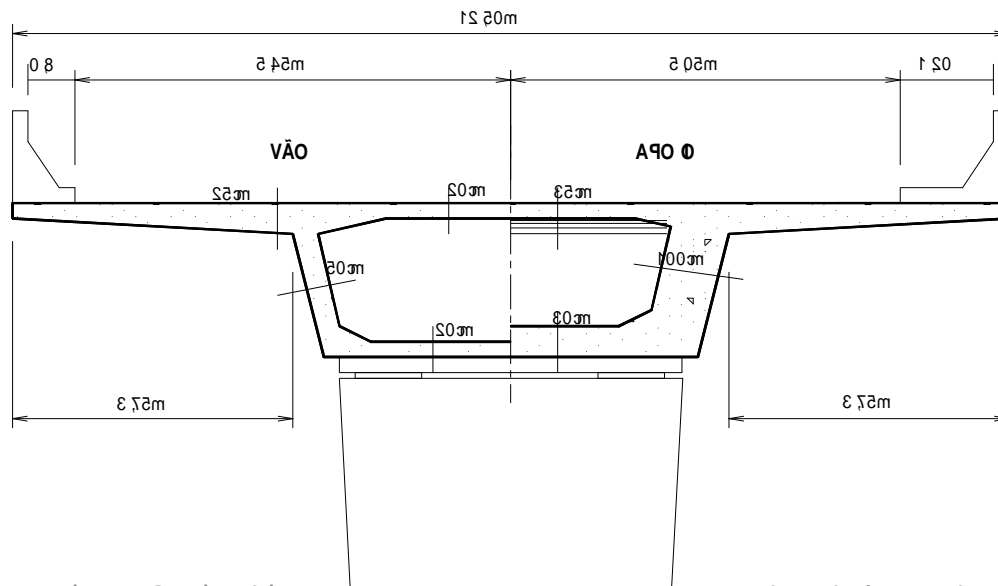
- Duas vias independentes nos sentidos SP-RJ (Marginal Norte) e RJ-SP (Norte);
- Comprimento total de $L=45\text{m}$;
- 1 vão com esconseidade de $34,5^\circ$;
- 4 transversinas protendidas, longarinas pré-moldadas protendidas;
- Larguras totais de $11,6\text{m}$ e $16,6\text{m}$;
- Sistema em grelha.



SISTEMAS ESTRUTURAIS

Viaduto do Tatuapé - SP

- Duas faixas e um acostamento;
- Vigas em seção caixão;
- Comprimento total de $L=385\text{m}$;
- Concreto protendido;
- 9 vãos de, em média, 42 m .



VEÍCULO DE PROVA



**Instrumentação dos eixos do VP
com extensômetros elétricos**



Pesagem do VP



**Sistema de aquisição de dados
instalado a bordo do VP**



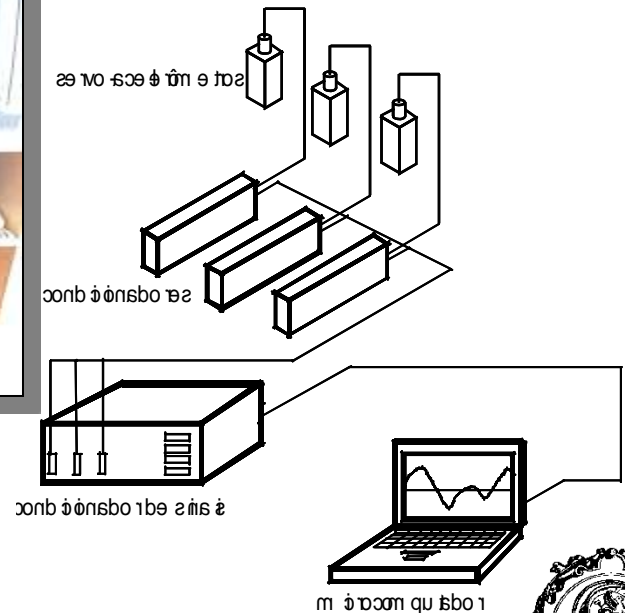
INSTRUMENTAÇÃO E SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS



Sistema triaxial



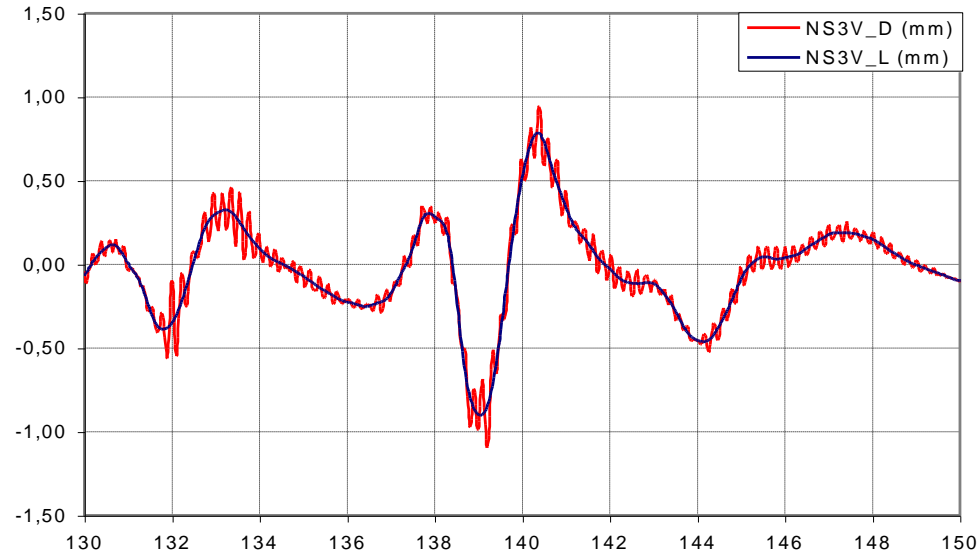
Sistema de aquisição de dados



Sensores de passagem



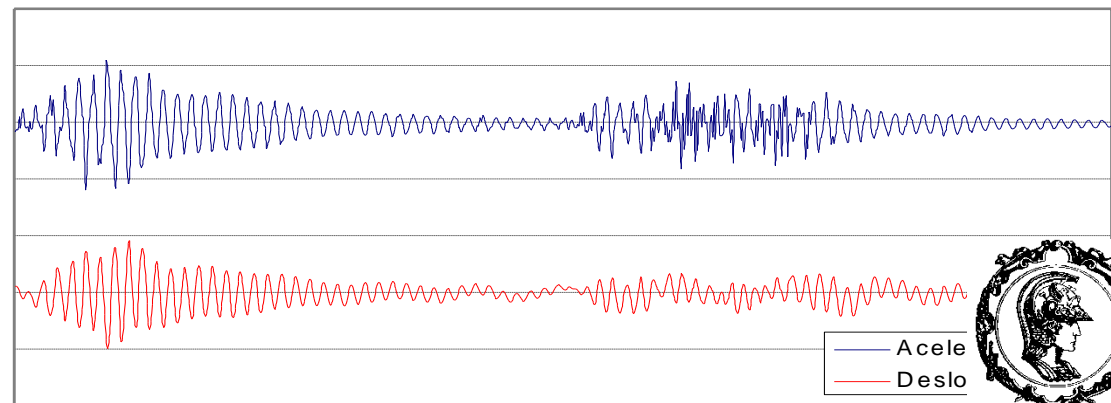
MONITORAÇÃO DO TRÁFEGO NORMAL

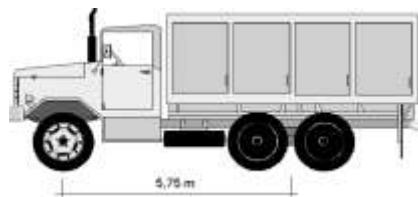


**Diagrama de Deslocamentos - S3
Guandu Pista RJ-SP
Tráfego normal - DAF = 1,44 e 1,22**

**Ponte sobre o Rio Pavuna - PMN
Séries temporais de acelerações
e deslocamentos**

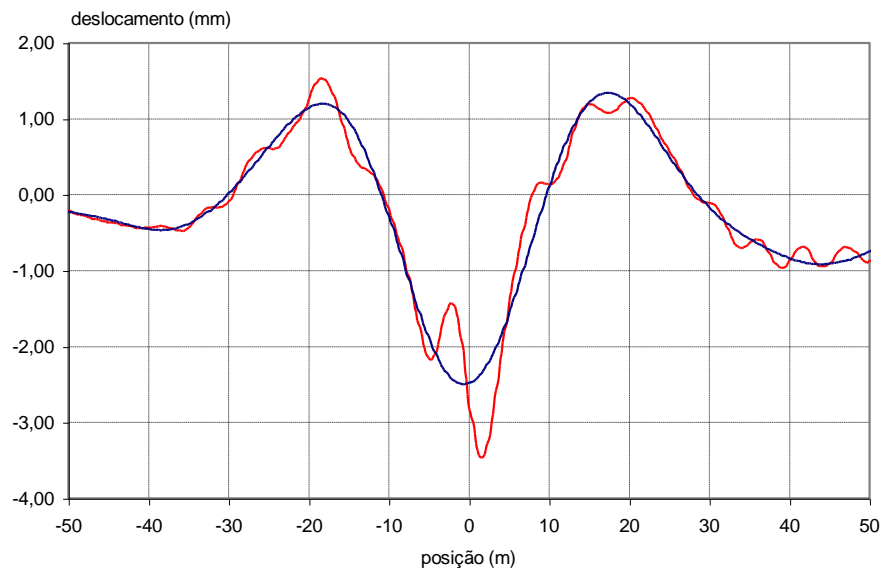
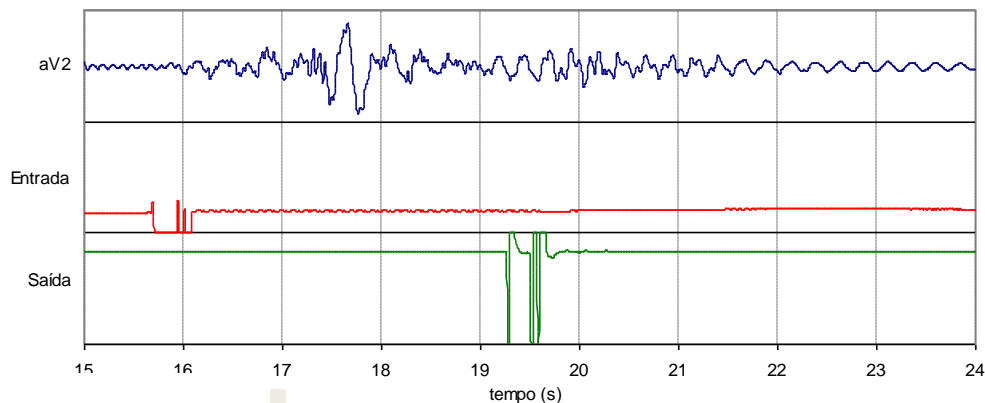
Pedro A. O. Almeida





ENSAIOS DINÂMICOS

ENTUPIDO Sinais de entrada e saída da ponte



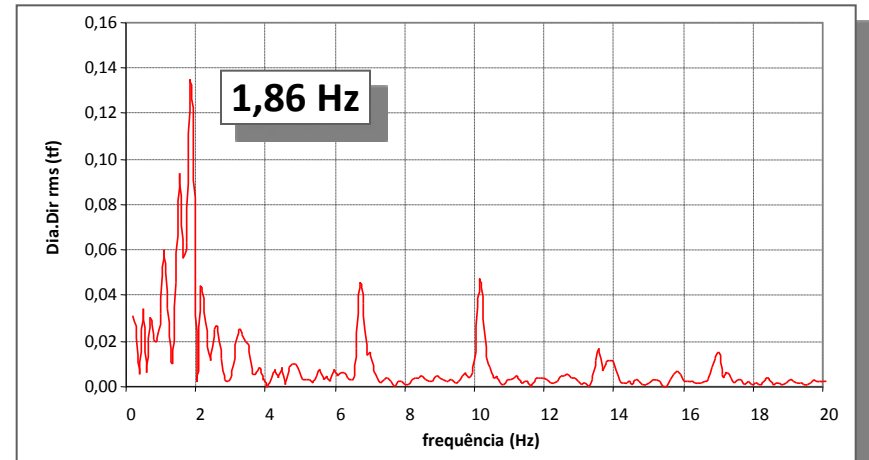
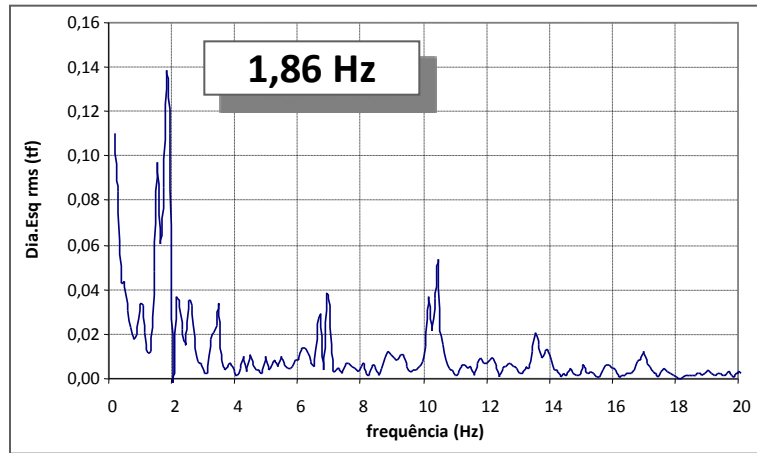
ENTUPIDO
Diagrama de Deslocamentos- S2
veículo carregado - 75 km/h
DAF = 1,39



ESPECTROS DE FORÇAS (VP)

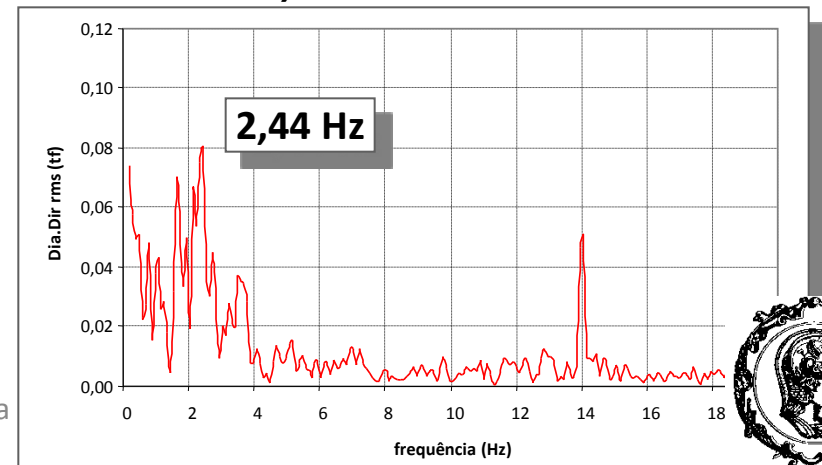
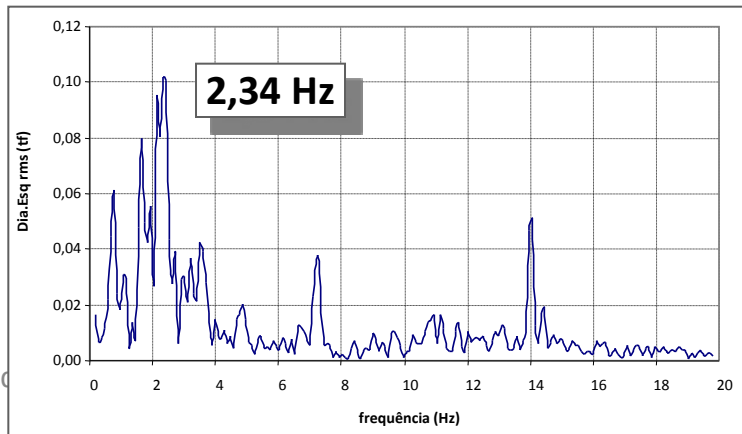
ENTUPIDO

Espectro de Forças (rodas dianteiras esquerda e direita) VP carregado a 41 km/h



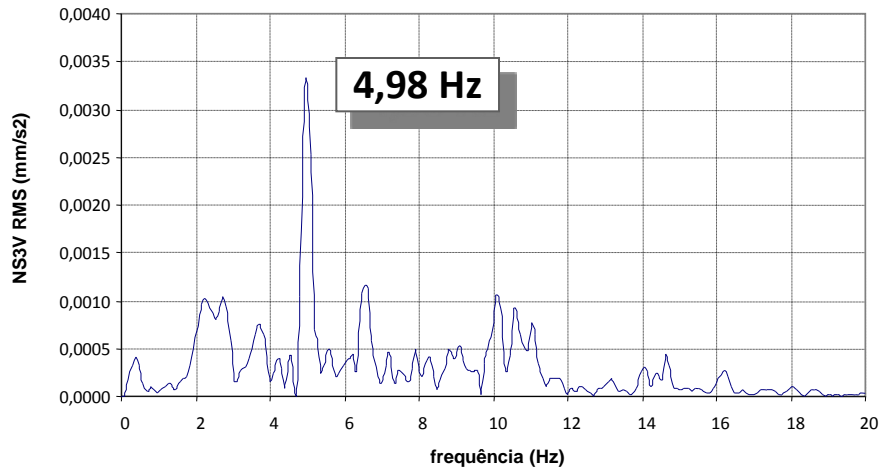
ENTUPIDO

Espectro de Forças (rodas dianteiras esquerda e direita) VP vazio a 87 km/h

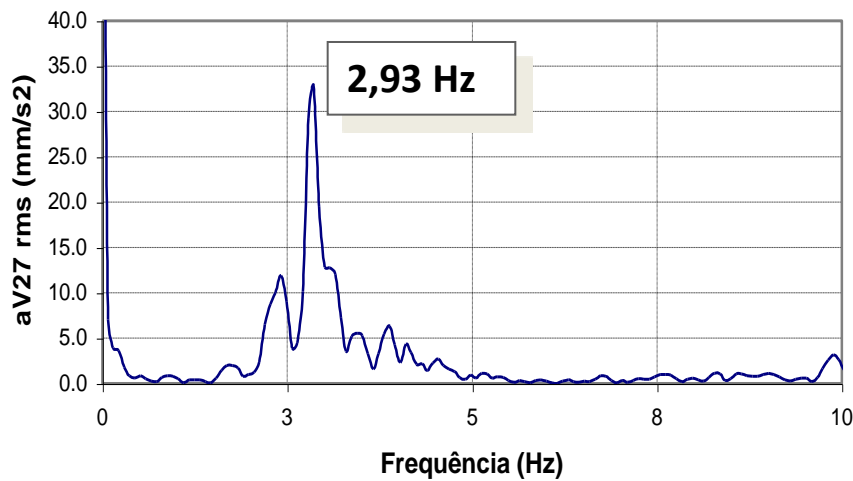
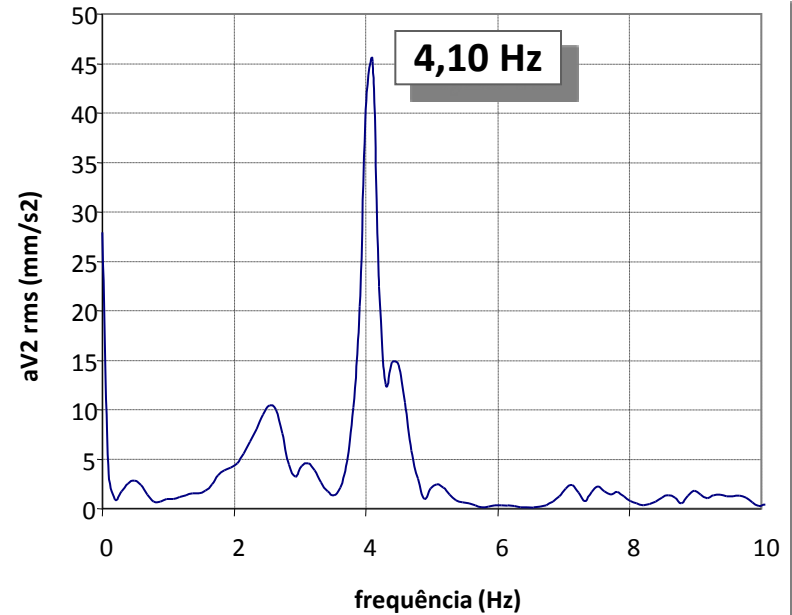


ESPECTROS DE ACELERAÇÕES DAS PONTES

GUANDU - S3 - 48km/h



ENTUPIDO -AV2 - 60km/h



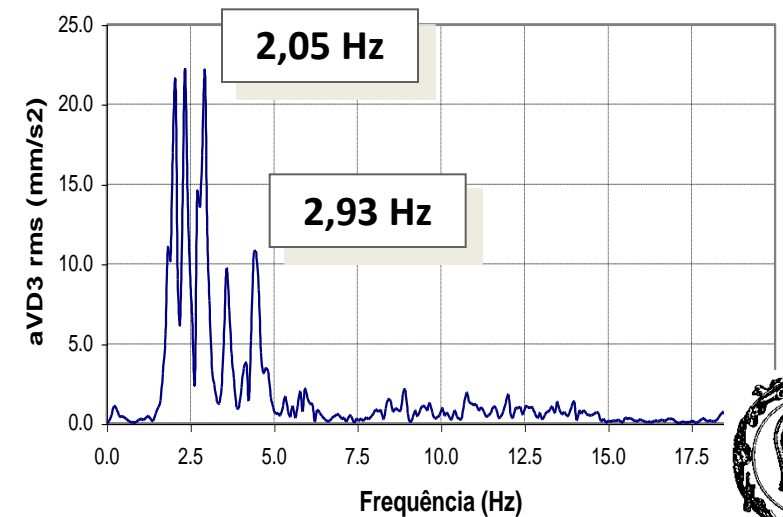
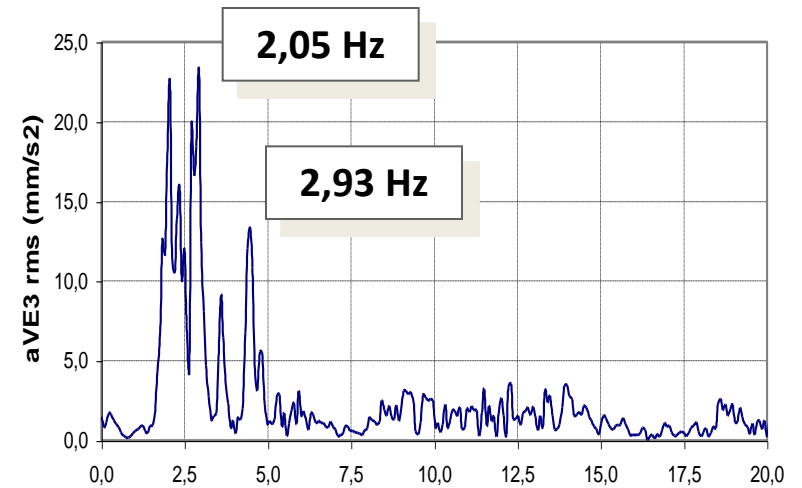
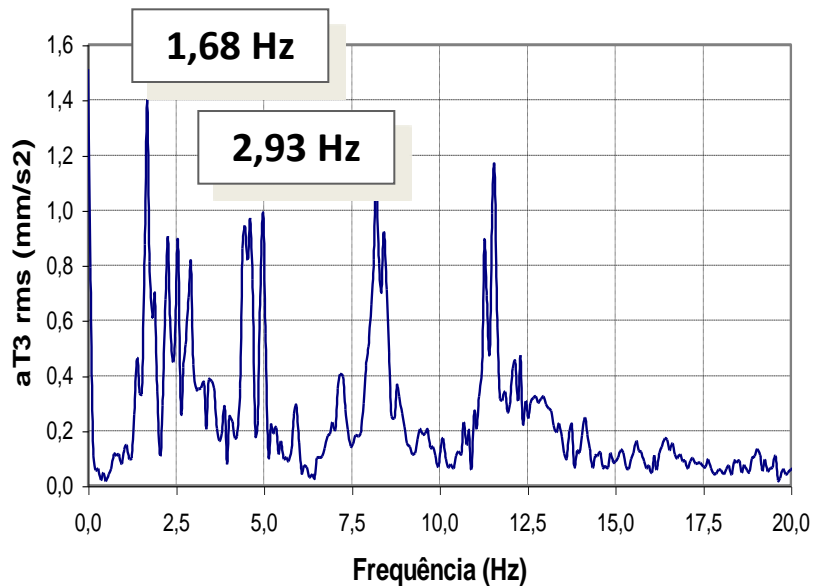
PAVUNA - PN -AV27 - 20km/h



ESPECTROS DE ACELERAÇÕES DAS PONTES

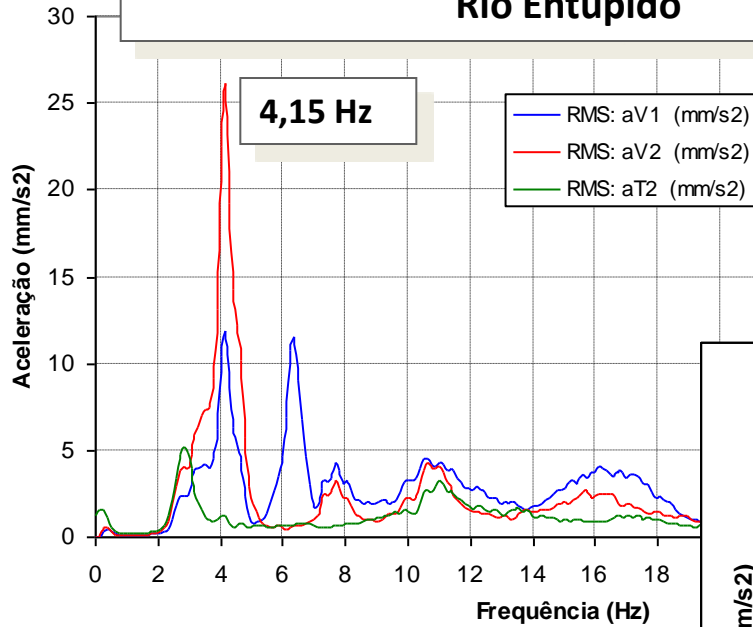
TATUAPÉ -AVE3 e AVD3 - 55 km/h

TATUAPÉ -AT3 - 21km/h

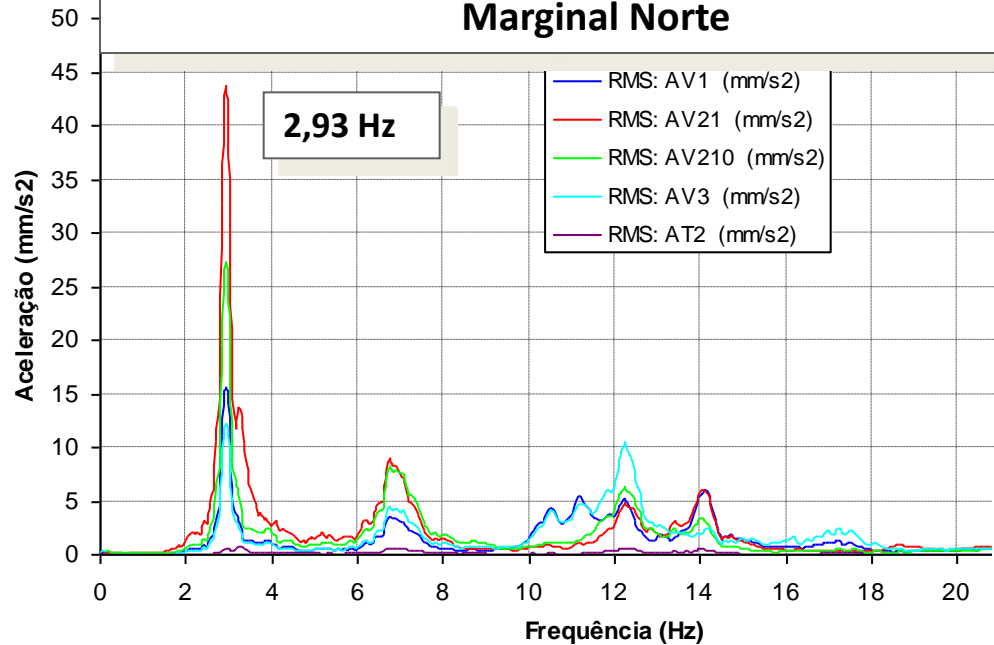


ESPECTROS DE ACELERAÇÕES DAS PONTES

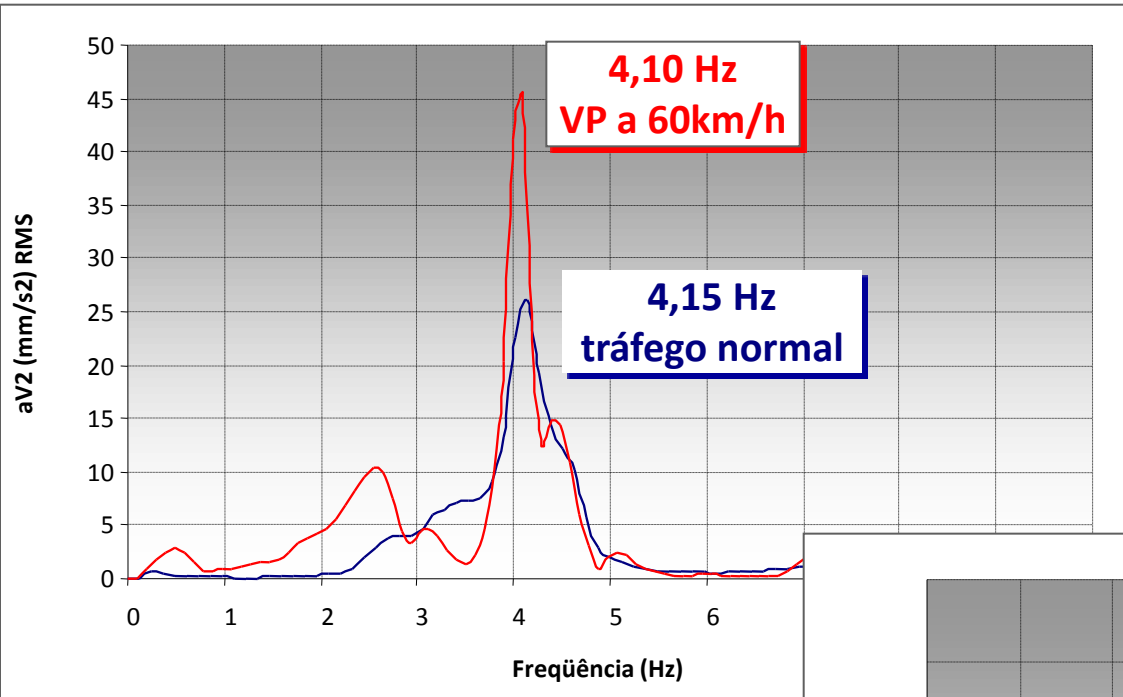
Tráfego após a liberação da pista - Ponte sobre o Rio Entupido



Tráfego Normal - Ponte sobre o Rio Pavuna - Pista Marginal Norte

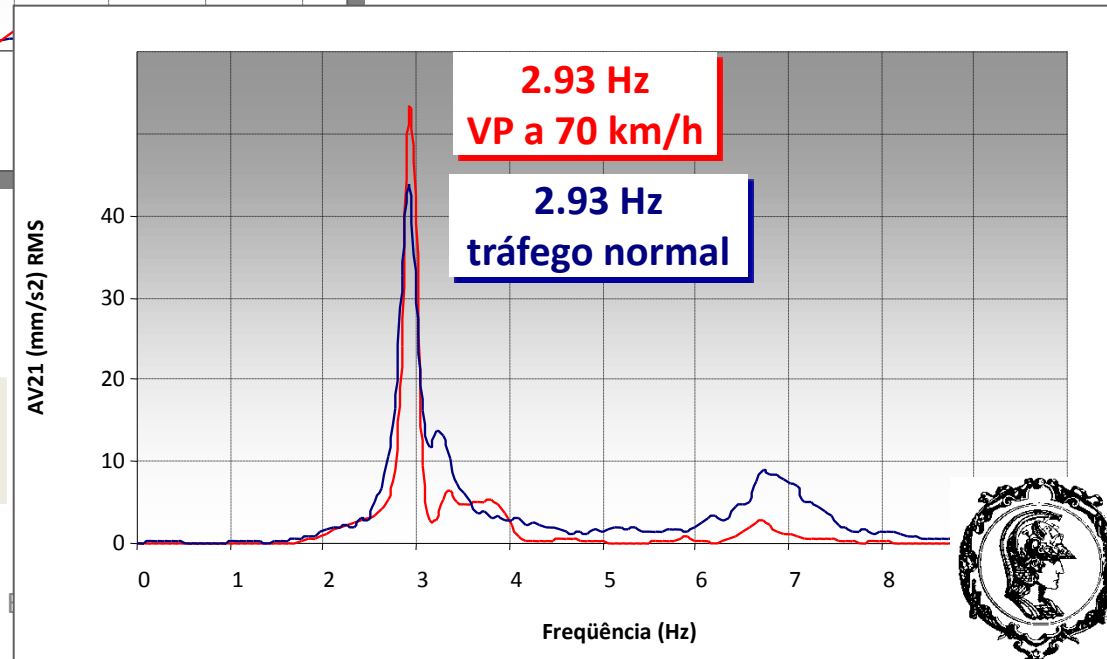


ESPECTROS DE ACELERAÇÕES DAS PONTES

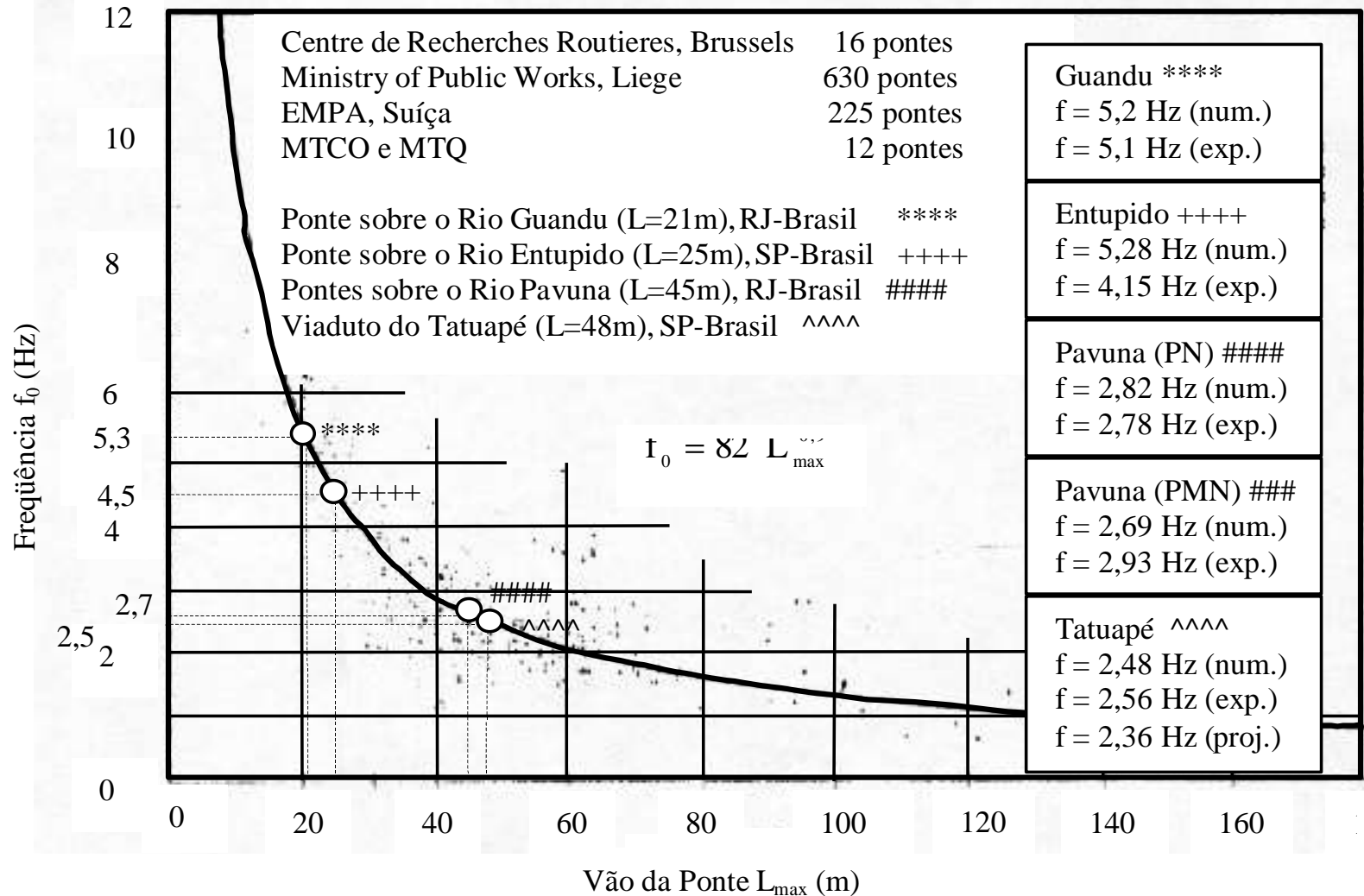


PONTE SOBRE O RIO ENTUPIDO

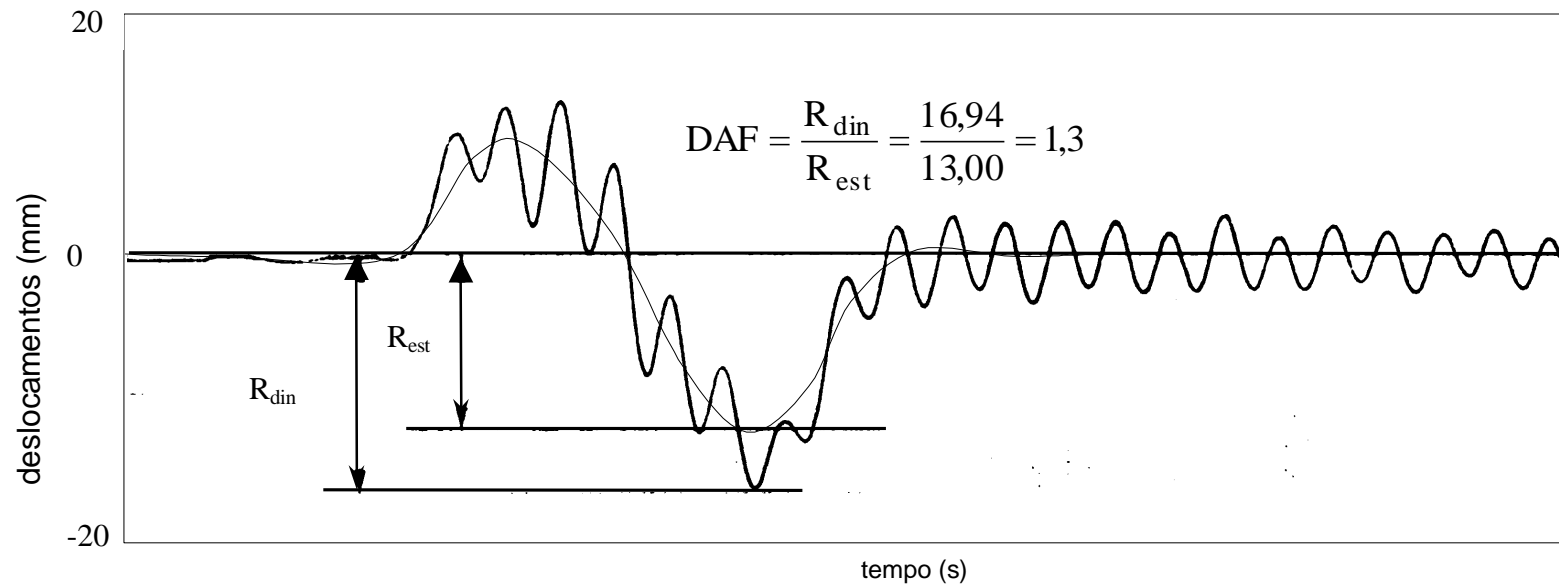
PONTE SOBRE O RIO PAVUNA - PMN



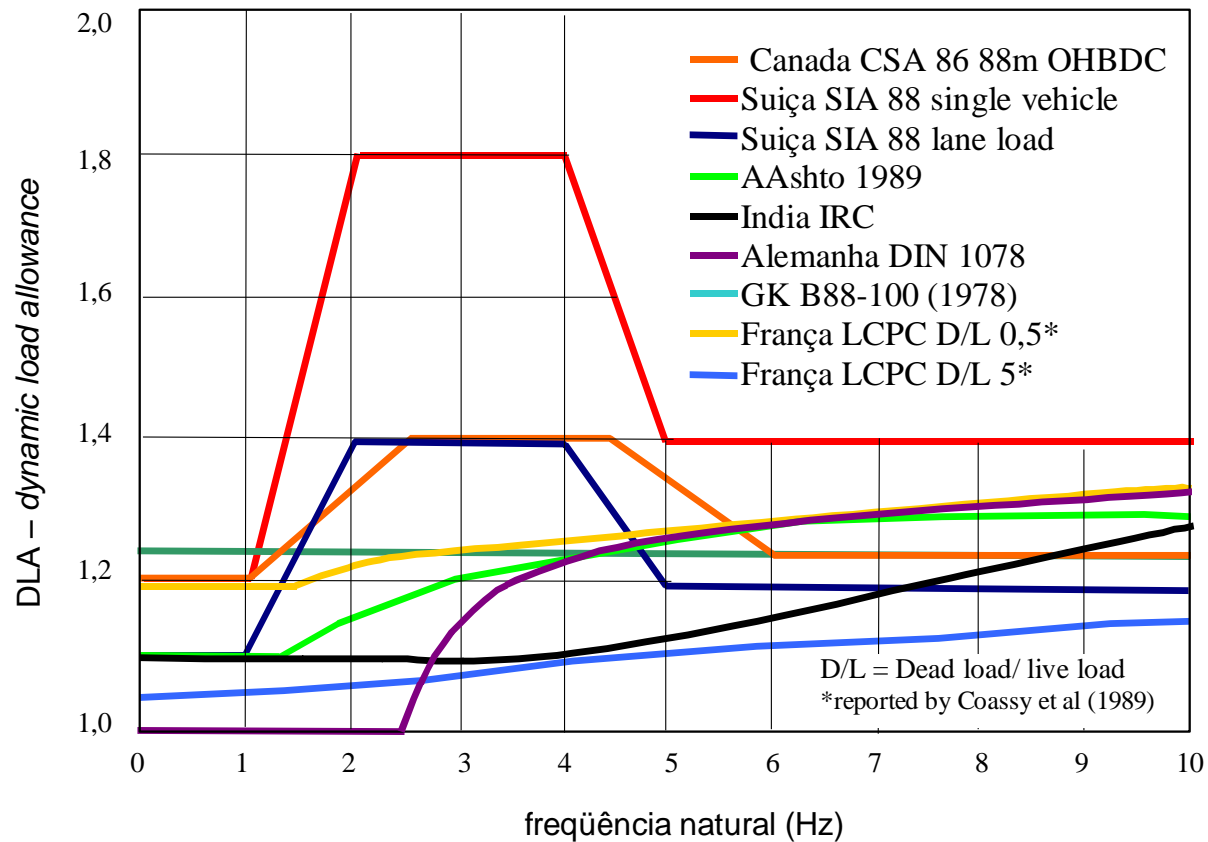
FREQÜÊNCIAS NATURAIS



DAF dynamic amplification factor



DAF NORMALIZADOS



Método para diagnóstico do comportamento de sistemas estruturais de pontes de concreto

- ***Inspeção visual da estrutura;***
- ***avaliação das propriedades efetivas dos materiais estruturais;***
- ***Análise do projeto;***
- ***Monitoração do tráfego normal;***
- ***Provas de carga dinâmicas;***
- ***Análise dos sinais coletados;***
- ***Reanálises (modelos calibrados);***
- ***Identificação e Caracterização;***
- ***Avaliação dos coeficientes dinâmico das estruturas***
- ***Diagnóstico do Sistema Estrutural, tomando-se como referencia a situação especificada pelo cliente, ou seja, obras onde não predominância de uso para pessoas e obras onde há frequente uso de pessoas***



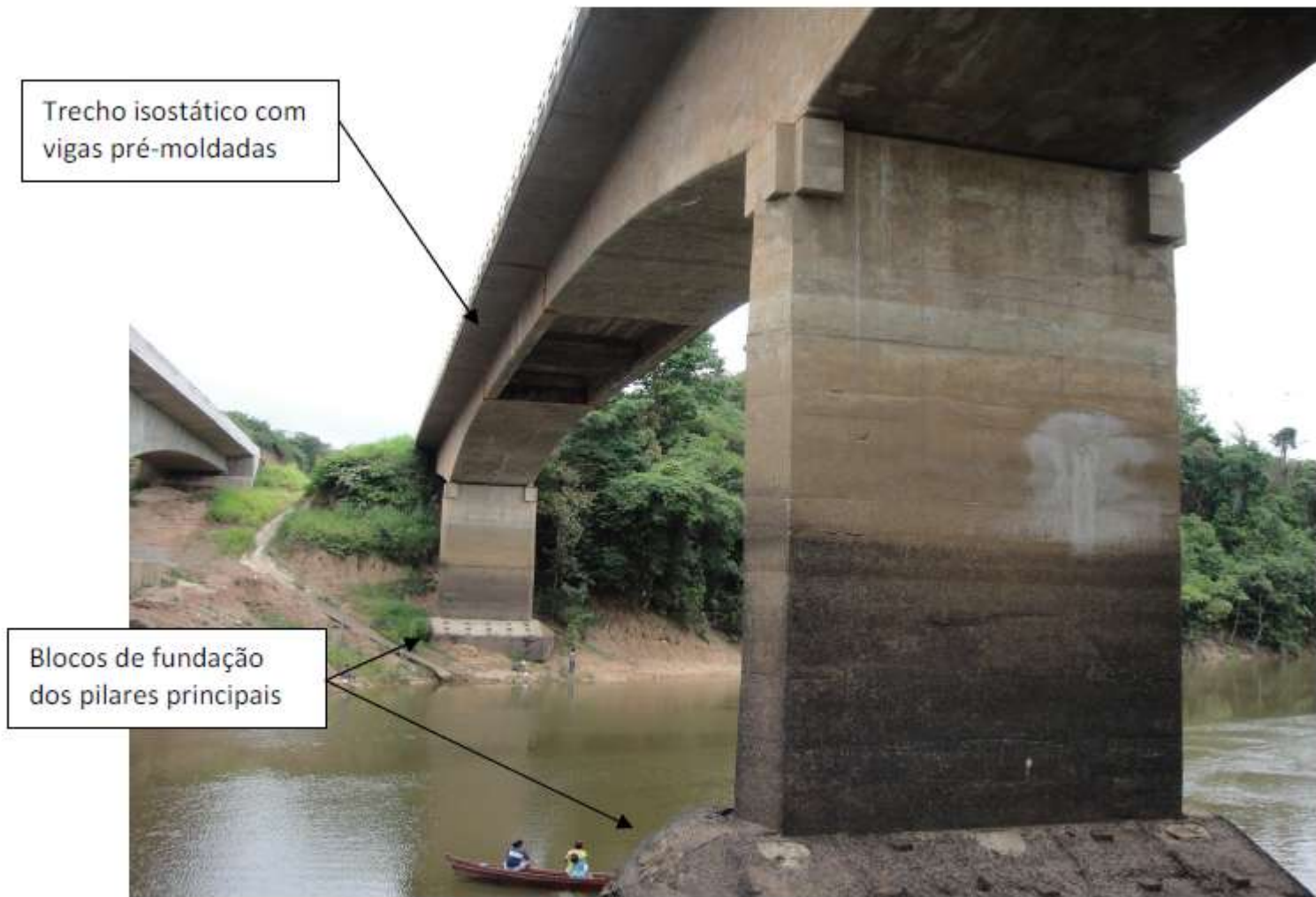
**AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DA PONTE
SOBRE O RIO
CANDEIAS, BR-364, km 693, RO
Inspeção visual – Ensaio Dinâmico –
Batimetria**





Ponte sobre o rio Candeias, km 693,3 da BR-364, vista panorâmica a montante, tirada da margem direita, fotografia de abril de 2010





Ponte sobre o rio Candeias, km 693,3 da BR-364, vista panorâmica a montante, tirada da margem direita, fotografia de 15 de dezembro de 2010



Levantamento topográfico



Vista panorâmica do levantamento geométrico do tabuleiro



Batimetria



Sonda acústica e transdutor



Inspeção visual



Medição da espessura da fissura com uso de fissurômetro





Aparelho de apoio, pilar P2, lado montante



Extração de testemunhos



Extração de testemunhos do trecho em balanço (passeio) da laje superior

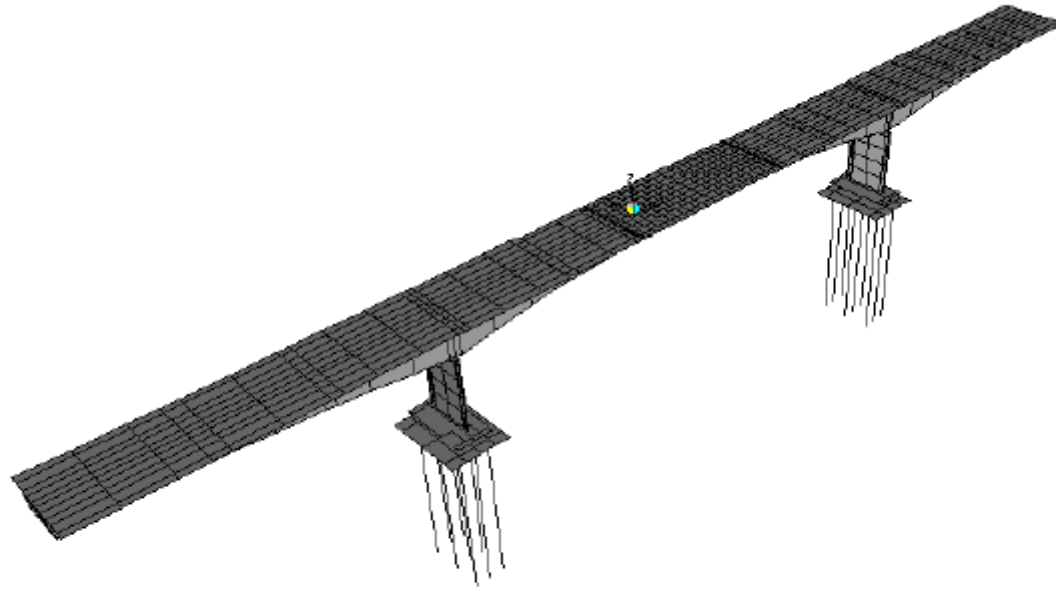




Ensaio de compressão simples para a determinação do módulo de elasticidade



Modelo numérico



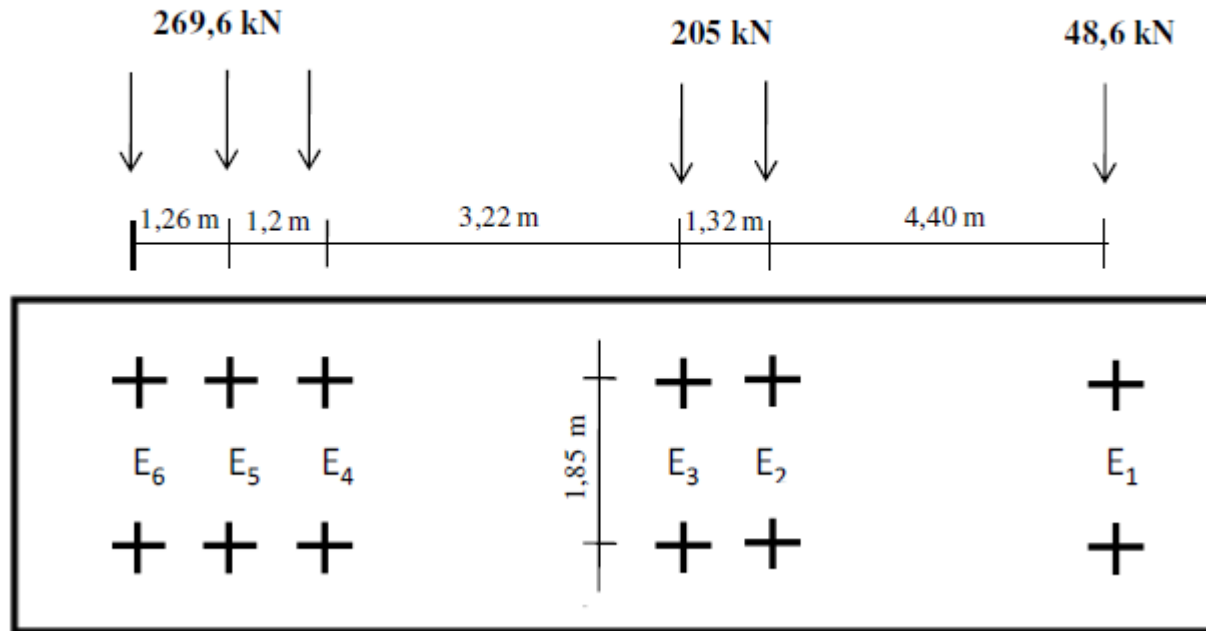
Ensaio dinâmico



Veículo de prova (VP) empregado nos ensaios dinâmicos

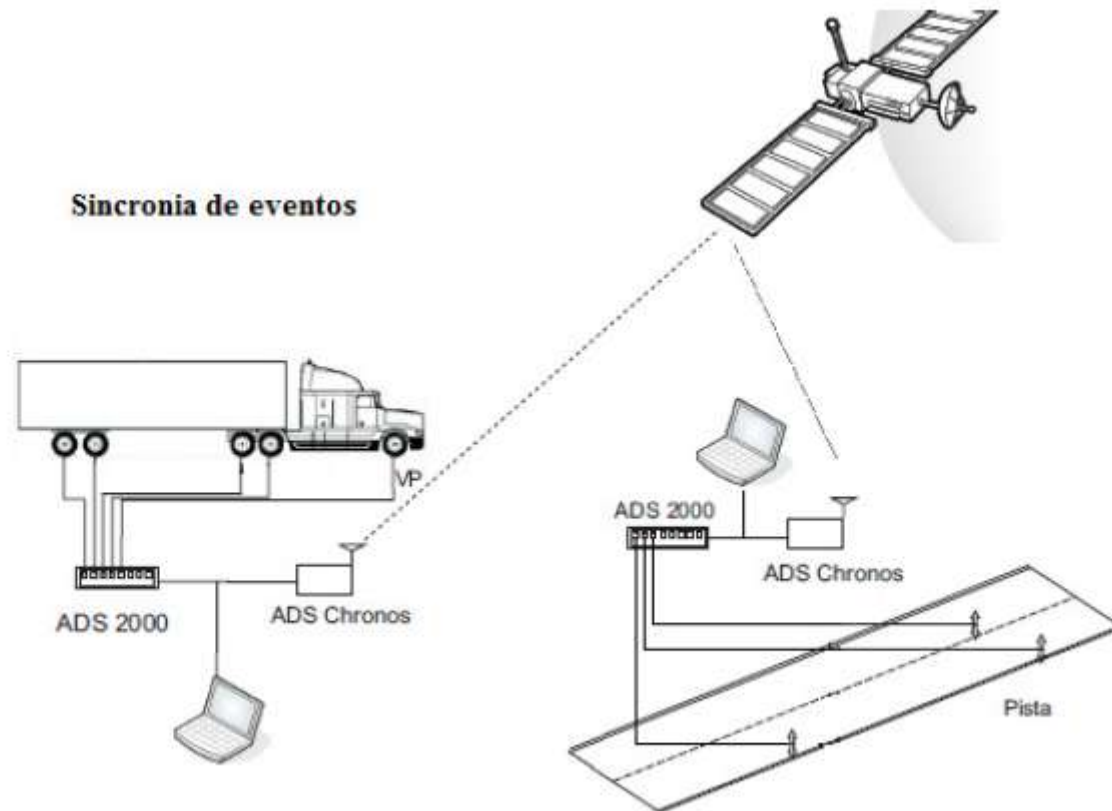


$P_{total} = 523,2 \text{ kN}$



Esquema de carregamento dos eixos do veículo de prova (VP) empregado nos ensaios estático e dinâmico (situação carregado), $P_{total}=523,2 \text{ kN}$





Sistema utilizado para sincronismo de eventos

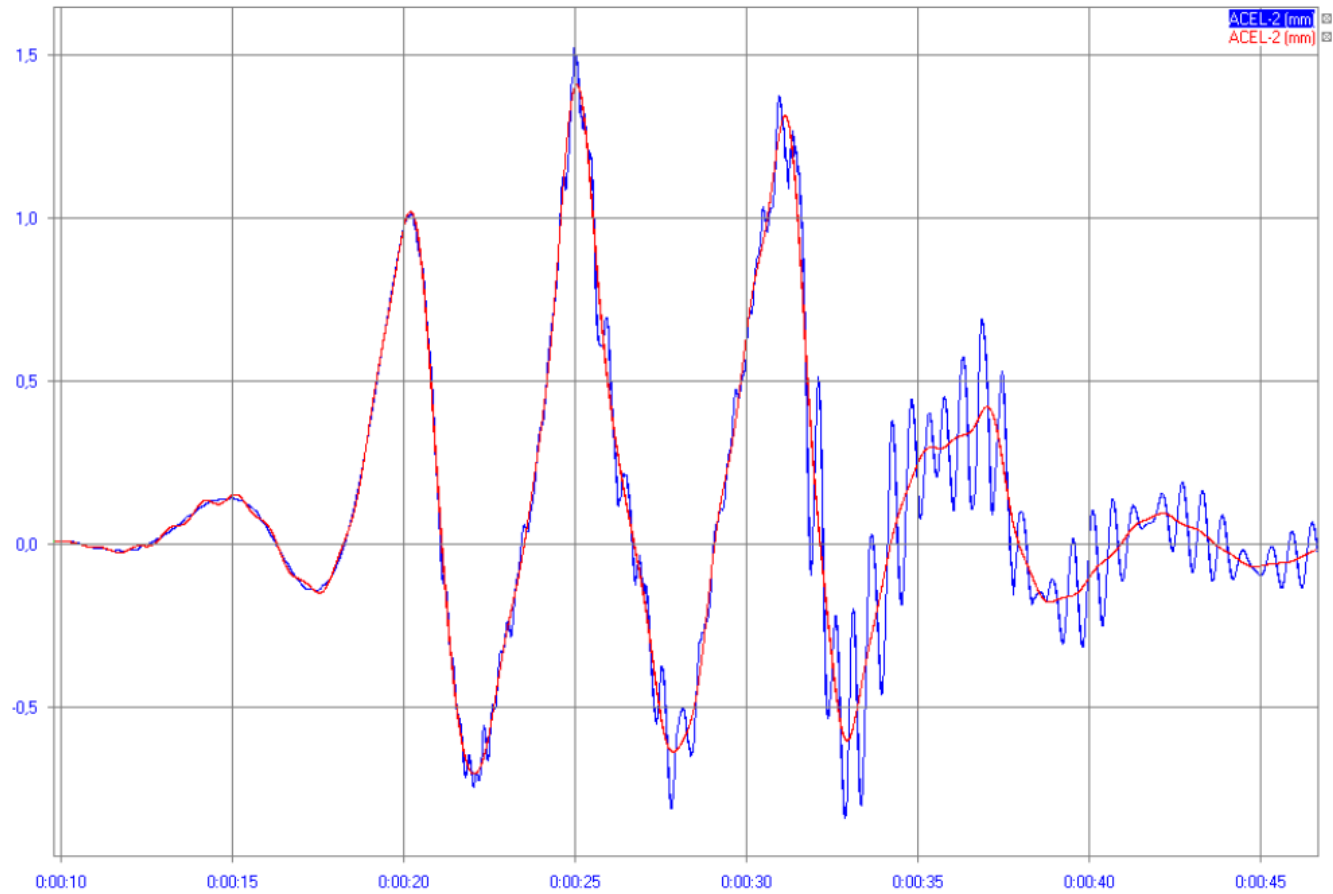


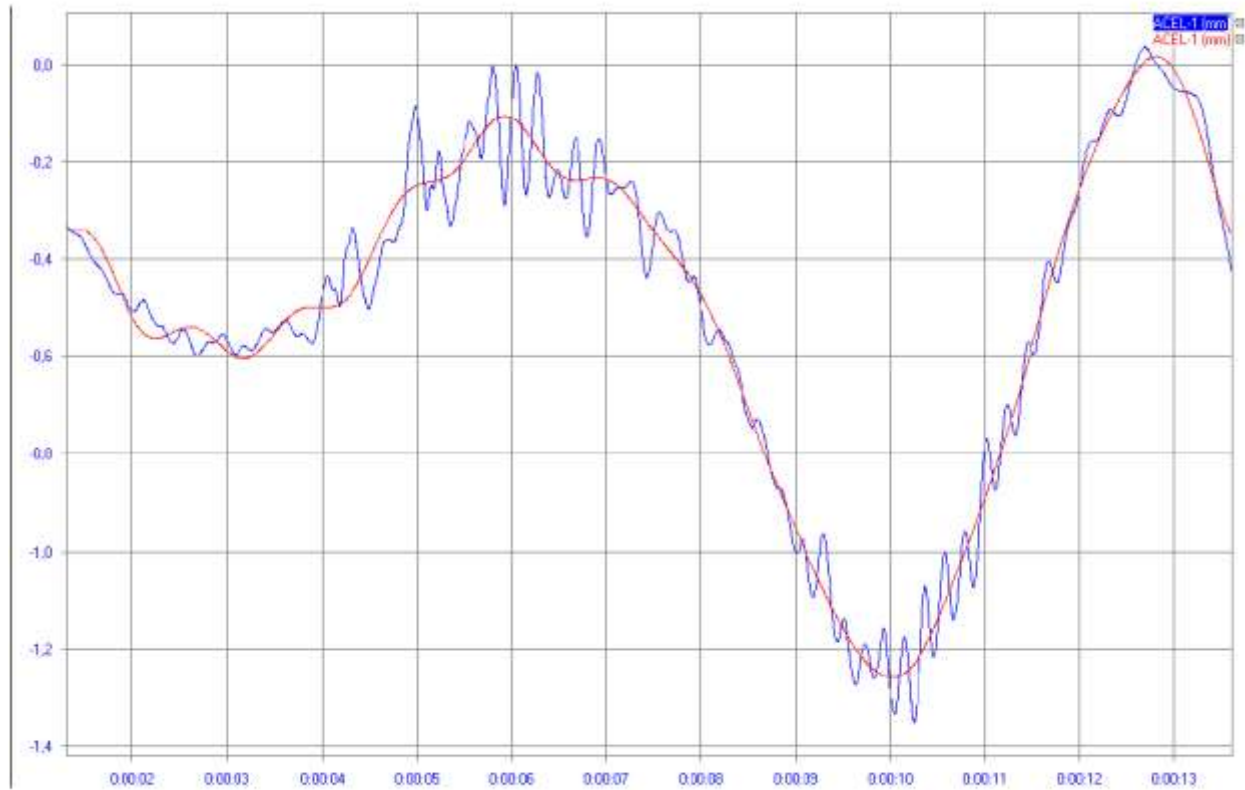


Sistema de aquisição de dados instalado no veículo do LSE, estacionado no acesso à p



DAF



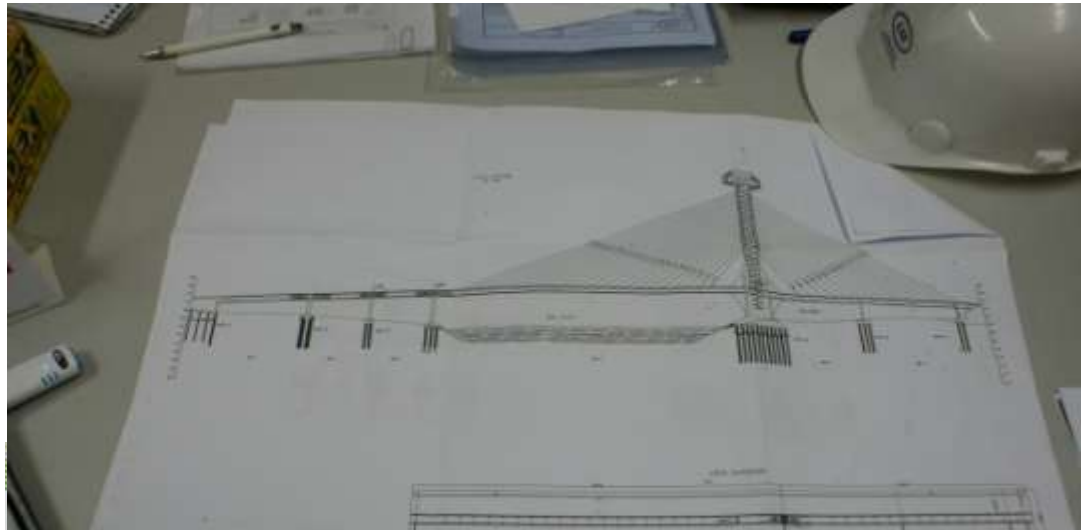


Pontes Estaiadas

Ensaio dinâmicos e análise dinâmica Teresina PI

*Ensaio dinâmico visa a identificação
do sistema estrutural.*

Preparação do ensaio, com definição
da instrumentação e plano de
carregamento da obra



Ensaio dinâmicos e análise dinâmica Teresina PI

Caminhão utilizado para o ensaio
dinâmico, com características
representativa da classe da ponte

Vista da preparação da
instrumentação, com veículo de apoio



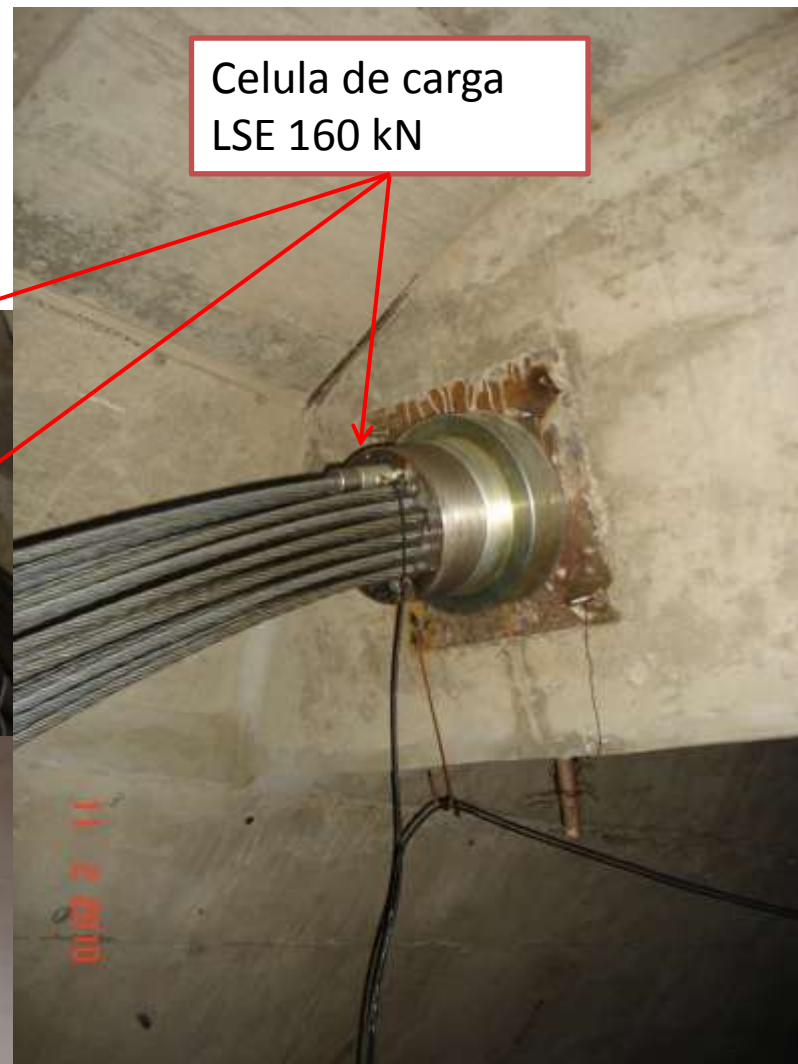
Ensaio dinâmico e análise dinâmica Teresina PI

Instrumentação da pista com servo
acelerômetros, ensaios noturnos em
razão da temperatura diurna.



Ensaio dinâmico e análise dinâmica Teresina PI

Celula de carga instalada no caixão



Ensaio dinâmico e análise dinâmica Teresina PI

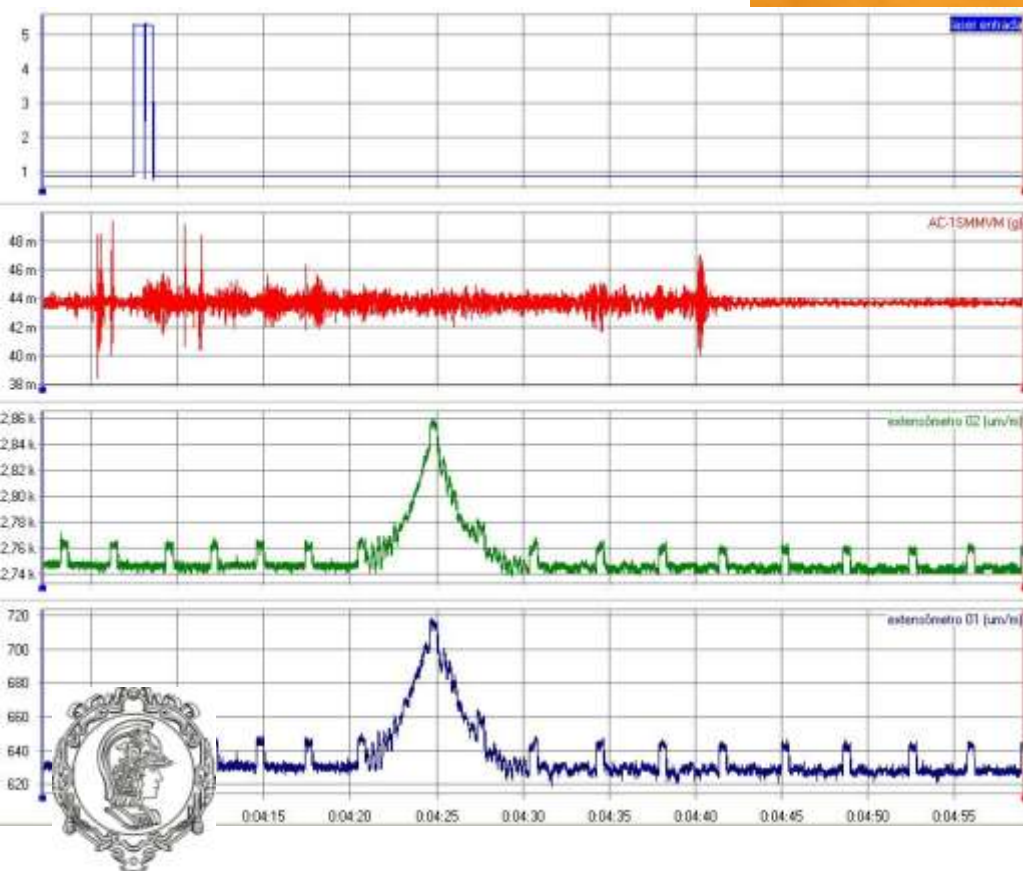
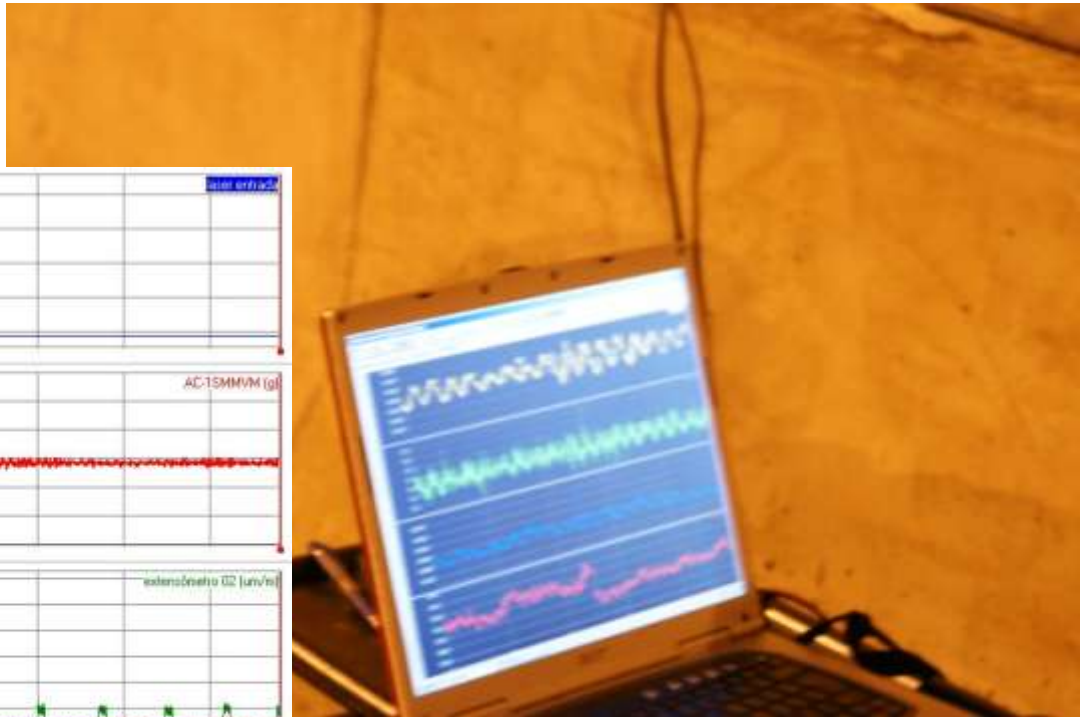
Ensaio dinâmico, caminhão em
velocidade de 40 km/h

Feixe laser para detectar a passagem
do veículo no início e final da ponte,
necessário para determinação das
linhas de influência



Ensaio dinâmico e análise dinâmica Teresina PI

Serie temporal e coeficiente de impacto



	20 km/h		40 km/h	
	AC-5 (Z)	AC-6 (Z)	AC-5 (Z)	AC-6 (Z)
Dinâmico (mm)	2,72	1,317	2,06	1,905
Estático (mm)	2,09	0,943	1,60	1,711
DAF	1,30	1,40	1,29	1,11

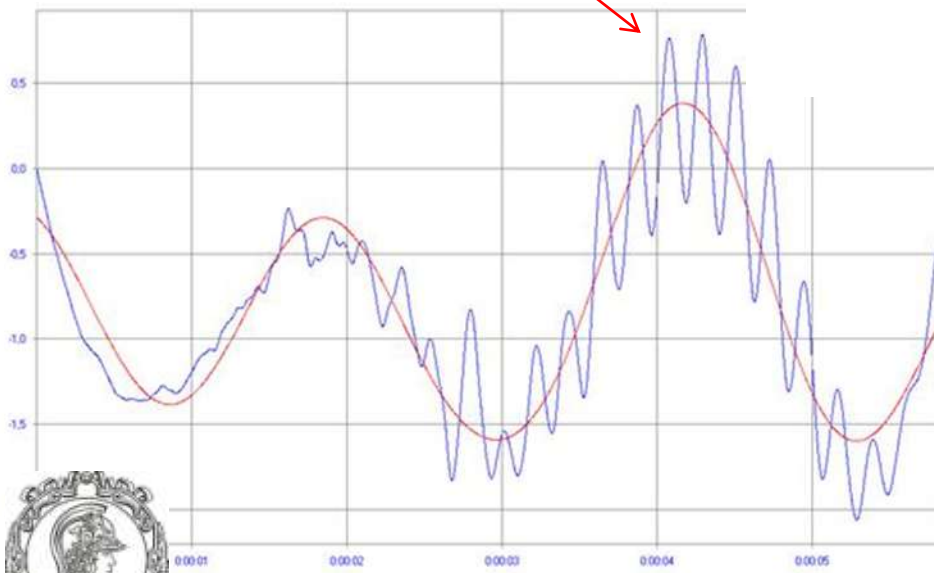


Ensaio dinâmicos e análise dinâmica Teresina PI

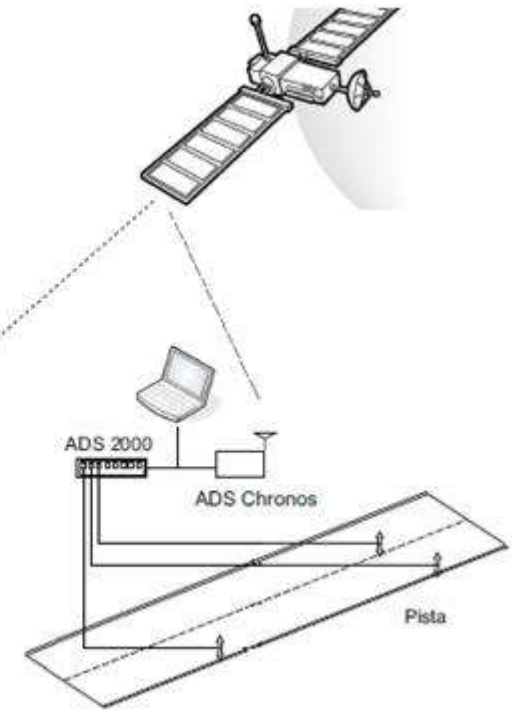
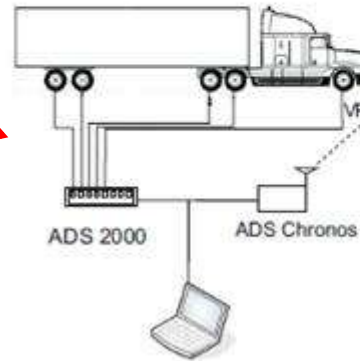
Sincronização das medidas

Determinação do coeficiente de
amplificação dinâmica

$$DAF = E_D / E_S$$



Sincronia de eventos



Ponte Sergio Mota - MT

Identificação de danos e defeitos

Pte Sergio Mota Cuiaba – MT

Formação de degrau entre o tabuleiro e o encontro



Vandalismo da instrumentação permanente – instalada na construção da obra



Célula de carga de ancoragem



conector da célula de carga

célula de carga de ancoragem



Determinação das forças pela medida das catenárias dos cabos

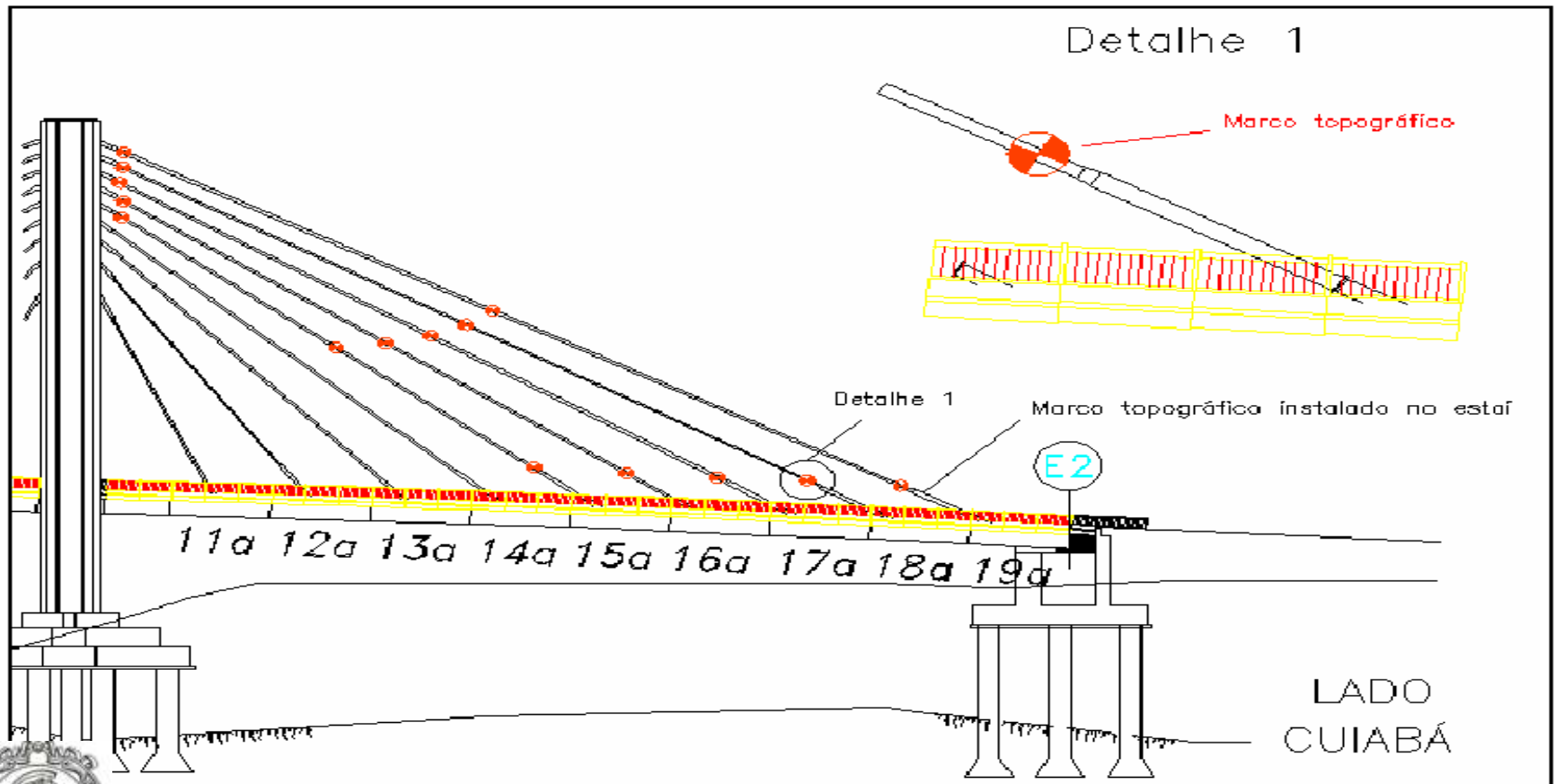


Figura 2.3 – Esquema dos alvos instalados nos estais – estais 5 a



Sistema de referência para medida da catenária



Figura 2.4 – Alvos instalados nos estais, na base do estai e nos meios dos estais



Sistema de medidas direta da catenária



Figura 2.6 – Leitura da posição dos alvos



Resultados das forças (catenária)

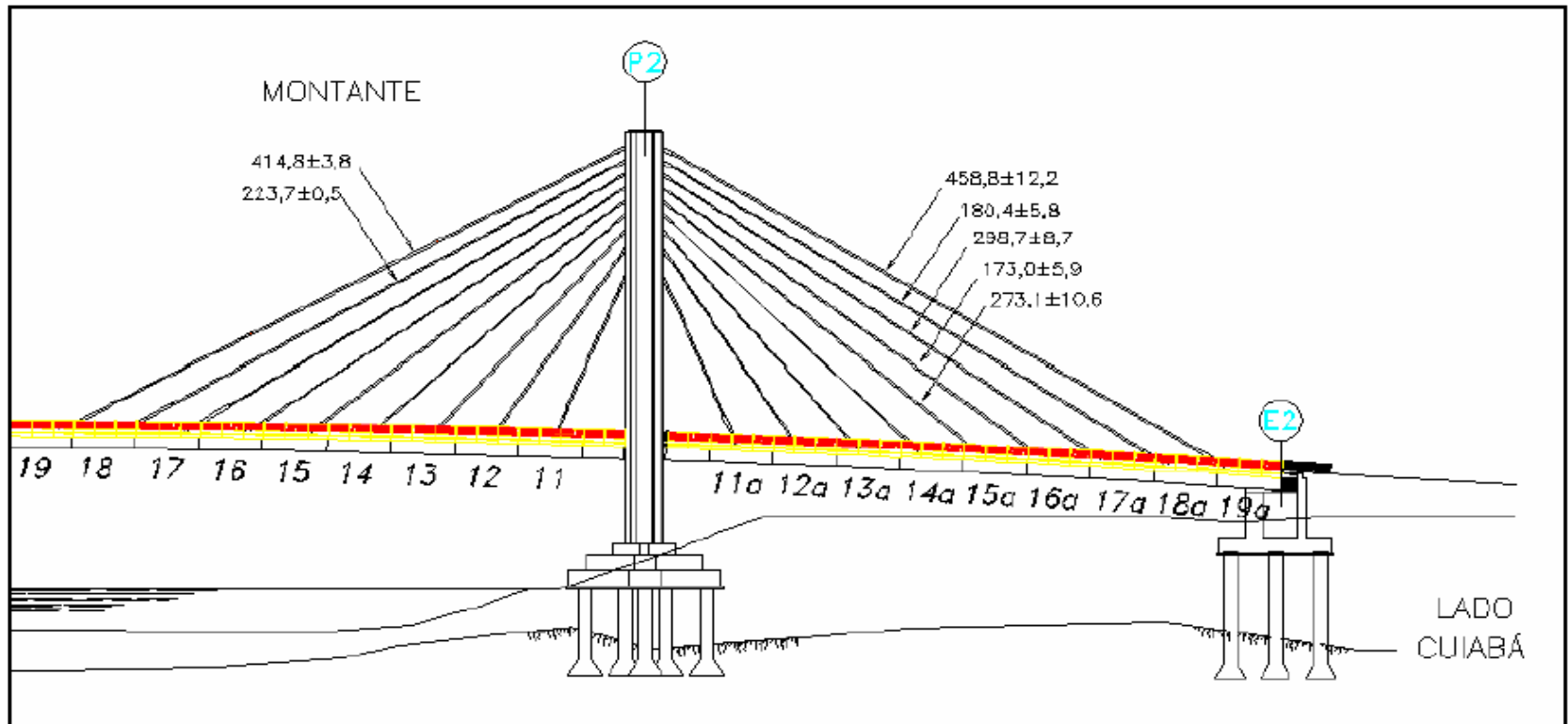


Figura 4.1 – Forças calculadas para os estais 19M, 18M, 19AM A 15AM (valores em tf)



Pontes Trillizos – La Paz, Bolivia

Identificação de danos e defeitos

Flecha exagerada

Fissuração na alma do caixão



Identificação de danos e defeitos

Ausencia de sistema de suspensão

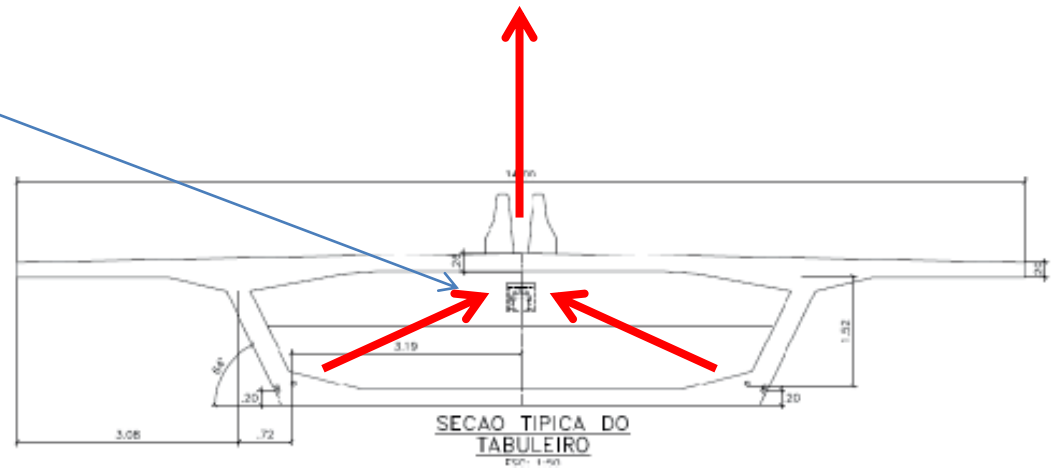


Figura 3.2 – Arranjo tipo de fixação dos estais no tabuleiro



Ponte Av. do Estado

Monitoração inteligente para plano de manutenção adequado

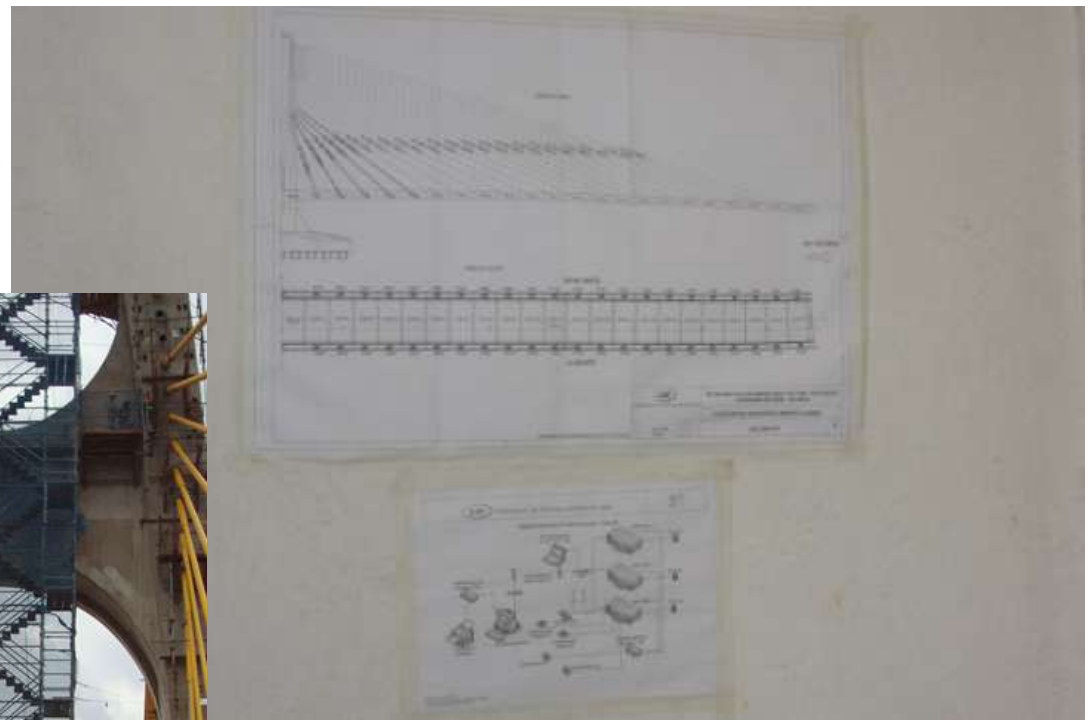
Pte estaiada “Av. do Estado” em São Paulo – sistema estrutura com tabuleiro articulado sobre travessa do mastro.

Mastro central com 2 pilares inclinados, dois planos de estaiamento

Relação $h/L_M = 55\text{m}/280\text{m} = 0,19$



Monitoração inteligente para plano de manutenção adequado



Monitoração inteligente para plano de manutenção adequado

Centro de monitoração das forças, temperatura e velocidade do vento.

Verificação da inclinação do tubo forma.



Monitoração inteligente para plano de manutenção adequado

Apoio da longarina sobre a travessa do mastro



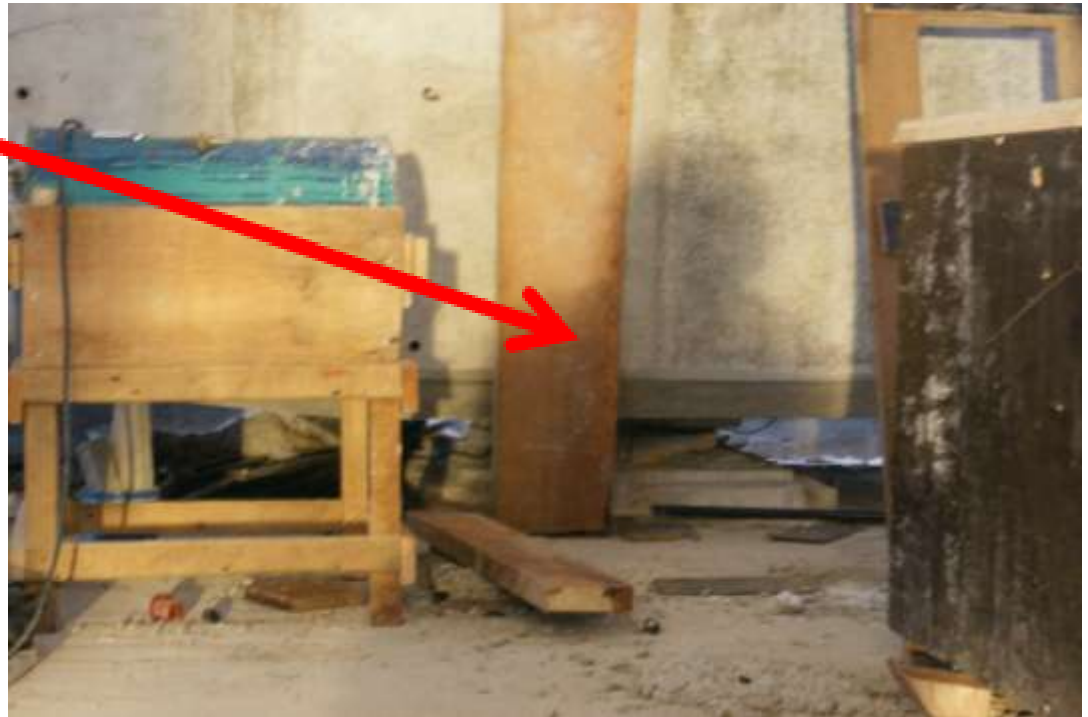
Monitoração inteligente para plano de manutenção adequado

Apoio provisório da longarina durante a fase da montagem da estrutura – “ pilar” de concreto sobre apoio neoprene



Monitoração inteligente para plano de manutenção adequado

Apoio fixo da longarina sobre a travessa do mastro



Ponte Oiapoque - Brasil/Guiana

Monitoração inteligente para plano de manutenção adequado

Oiapoque – sistema de vinculação



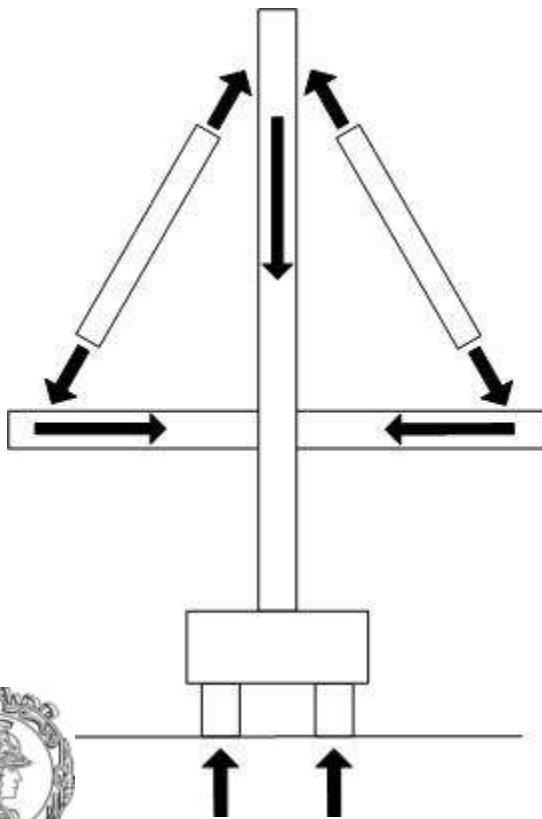
Monitoração inteligente para plano de manutenção adequado

Aparelho de apoio



Monitoração inteligente para plano de manutenção adequado

Sistema de vinculação da ponte no encontro Brasil – lado mais baixo (vinculação transversal e longitudinal)



Monitoração inteligente para plano de manutenção adequado

Vista do tabuleiro passando sobre a travessa do mastro



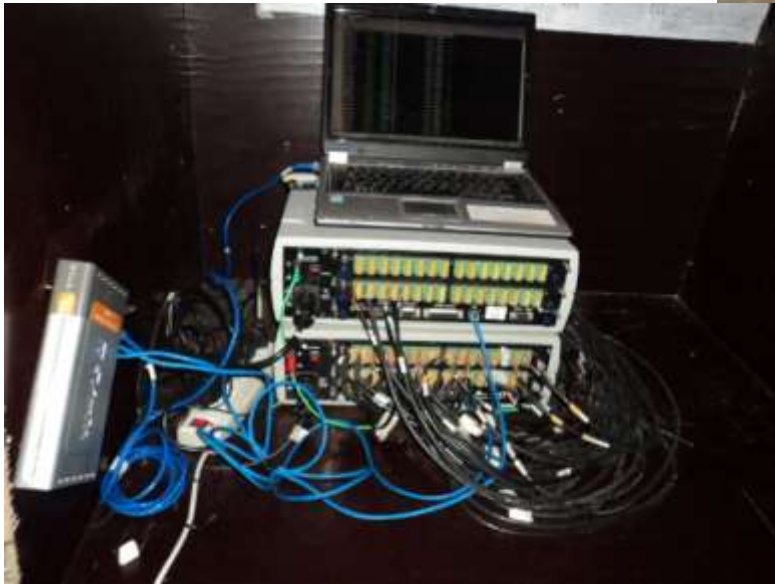
Monitoração inteligente para plano de manutenção adequado

Sistema com tabuleiro estaiado por cabos sobre a travessa de apoio do mastro









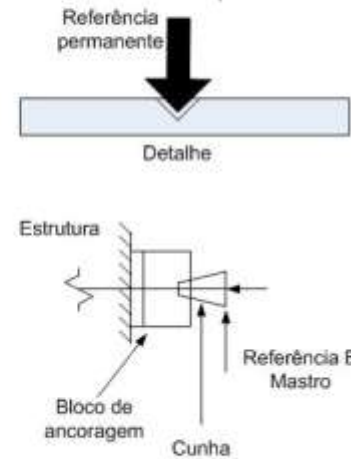
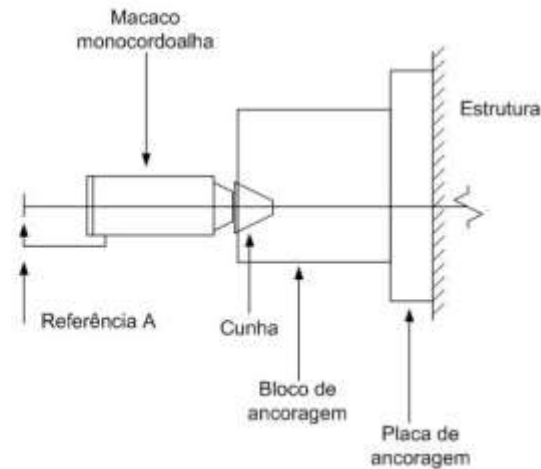
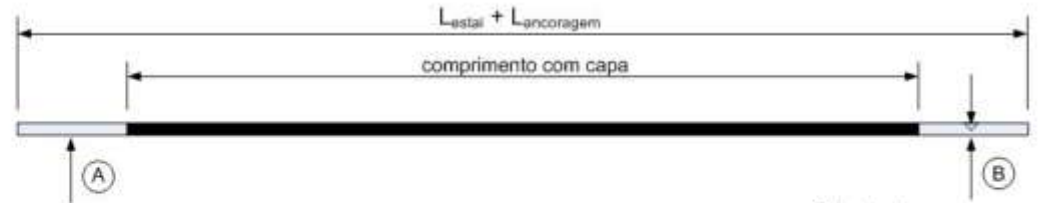


Cabos de alto desempenho

Metodos de montagem

1 Método Isotensão

2 *Metodo do comprimento (utilizado pela protende)*



Ponte Rio Negro

Cabos de alto desempenho

Preparação das cordoalhas para a montagem pelo “metodo do comprimento”, pte RN

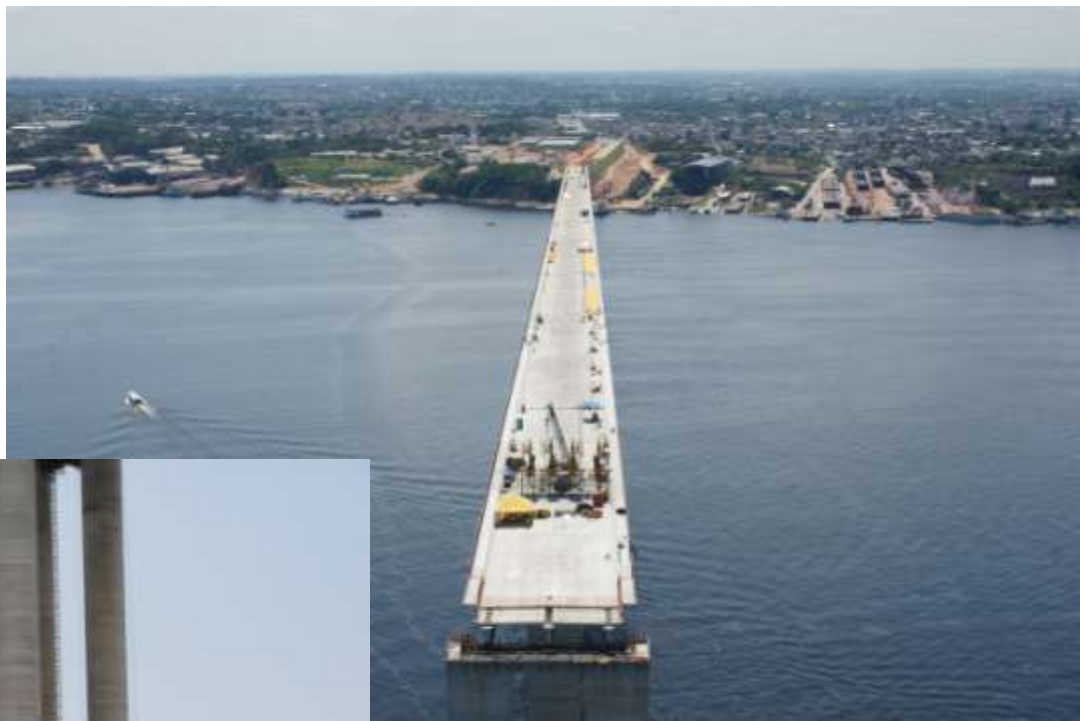


Cabos de alto desempenho

Preparação das bainhas de plástico
Maquina de emenda das bainhas



Cabos de alto desempenho



Cabos de alto desempenho



Cabos de alto desempenho



Cabos de alto desempenho



Monitoração das forças nos estais da Ponte estaiada sobre o Rio Negro
 Contrato: LSE-205

Planilha de controle e apresentação das forças nos estais

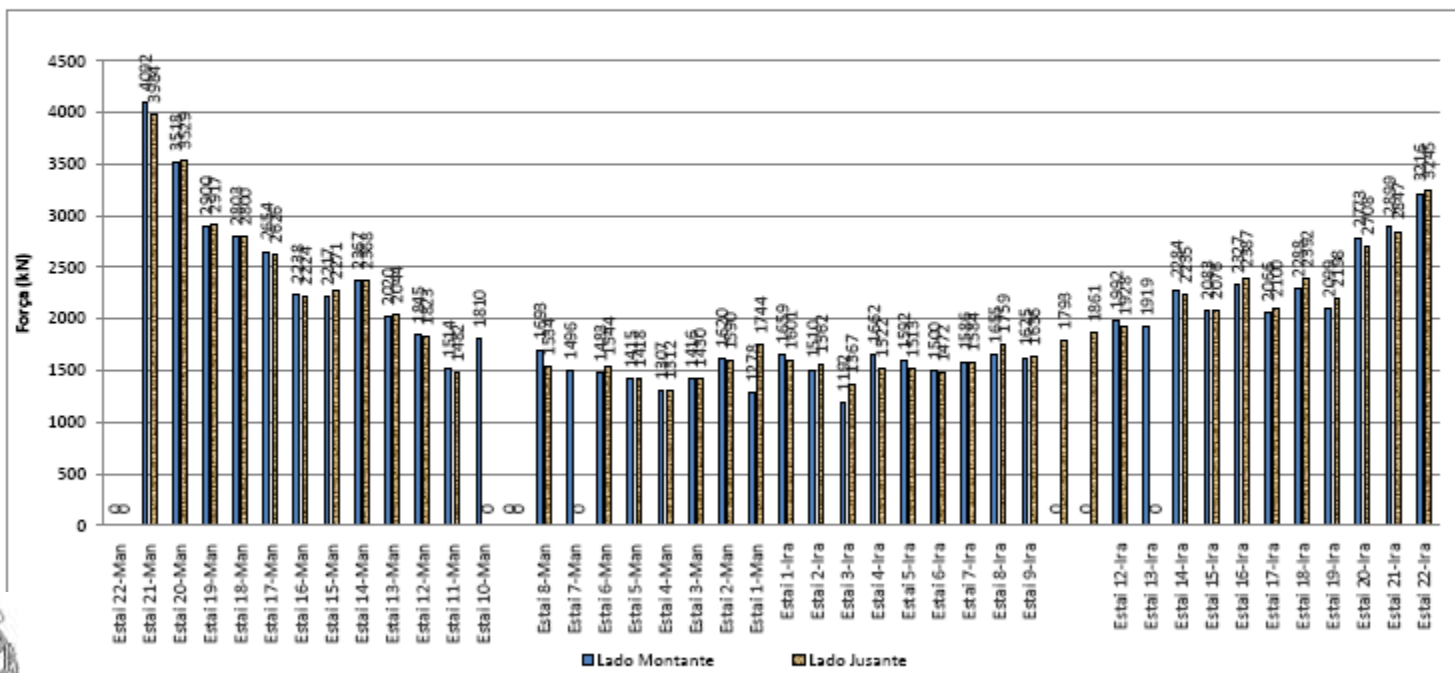
Data: 19/11/2010

Hora: 6:56

Temperaturas:

26,59 °C (ambiente no local)

27,48 °C (ambiente, interna no mastro)



Controle Tecnológico do Estaiamento

Ensaio de fadiga para cabos de pontes estaiadas de pontes estaiadas

1. Ensaio de cordoalhas com ancoragem de obra
2. Pin-Test
3. Ensaio de relaxação
4. Ensaio para homologação de cabos de pontes - ancoragens



Controle Tecnológico do Estaiamento – Ensaios mecânicos

Ensaios de resistência estática

- 1 Amostragem - rastreabilidade
- 2 Extração de amostras no campo
- 3 Corte e preparação do cp para ensaio de tração



Controle Tecnológico do Estaiamento – Ensaio mecânicos

Ensaio de cordoalhas com ancoragem de obra e ancoragem de laboratório

1. Ensaio de resistência estática
2. Ensaio de fadiga
3. Ensaio Pin-Test (tração desviada)
4. Ensaio de relaxação


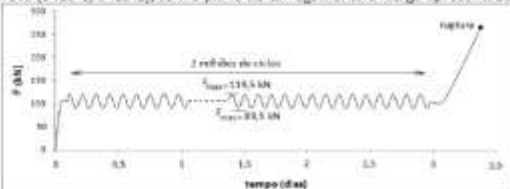
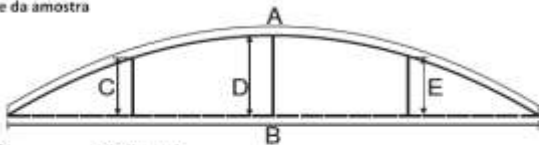


Controle Tecnológico do Estaiamento – Ensaio mecânicos



Controle Tecnológico do Estaiamento – Ensaios mecânicos

Certificado de resistência a fadiga das cordoalhas

	Laboratório de Sistemas Estruturais Ltda															
Homologação da resistência à fadiga das cordoalhas RB177 CERTIFICADO N° 2010-248-002																
Cliente: Consórcio Desenvolvimento Viário Rua Tenente Negrão, n° 140, 8° Andar CEP: 04530-030	Contrato: CDV 068/2010 Bairro: Itaim Bibi São Paulo SP															
Material: Cordoalha para estai, CP 177 RB 15,7 Fabricante: Belgo Mineira Lote: 32099938 Data de corte da amostra: 29/10/10 Ancoragem: Tenssaccial monocordoalha para estai	Carretel/bobina: 1022600410 Nota fiscal ref: 22804															
Procedimento dos ensaios O ensaio de fadiga foi realizado conforme procedimento recomendado pelo FIB 30 [2005], em amostras com 2 corpos-de-prova (0410-1, 0410-2), com o plano de carregamento à fadiga apresentado na Figura 1.																
	Fig. 1 - Plano de carregamento utilizado nos ensaios															
Parâmetros do ensaio de fadiga Amplitude máxima da força (ref. FIB30-2005): <u>119,5 kN</u> Amplitude mínima da força (ref. FIB30-2005): <u>89,5 kN</u>																
Padrão(ões) utilizado(s) * Transdutor de força HBM de 500kN, U15, S/N 01323755, Cert. 24849/DKD-K-00101, de 11/02/2010 * Transdutor de deslocamento HBM de 200 mm, WA-200MM-T, S/N 131110027, Cert. Digimes 528/2008-1-Facion																
Controle da amostra																
	Fig. 2 - Medidas para controle da amostra															
Arco (A): <u>5.015 mm</u> Flecha (D): <u>582 mm</u> Diâmetro: <u>15,7 mm</u>																
Resultado dos ensaios de fadiga (conforme certificados anexos)																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>N° de ciclos realizados</th> <th>Resistência à tração após 2 milhões de ciclos (kN)</th> <th>Eficiência nominal* (%)</th> <th>Modos de ruptura</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CP1</td> <td>2.000.036</td> <td>246,91</td> <td>93,00</td> <td>1 fio na ancoragem</td> </tr> <tr> <td>CP2</td> <td>2.000.002</td> <td>250,04</td> <td>94,18</td> <td>1 fio na ancoragem</td> </tr> </tbody> </table>		N° de ciclos realizados	Resistência à tração após 2 milhões de ciclos (kN)	Eficiência nominal* (%)	Modos de ruptura	CP1	2.000.036	246,91	93,00	1 fio na ancoragem	CP2	2.000.002	250,04	94,18	1 fio na ancoragem	* Ftu/Fork
	N° de ciclos realizados	Resistência à tração após 2 milhões de ciclos (kN)	Eficiência nominal* (%)	Modos de ruptura												
CP1	2.000.036	246,91	93,00	1 fio na ancoragem												
CP2	2.000.002	250,04	94,18	1 fio na ancoragem												
Resultado final do lote: 32099938 : CONFORME																
Técnico executor: _____ Luciana Sironi Souza																
Engenheiro responsável: _____ Pedro Afonso de Oliveira Almeida	Pag: 1/3															



Controle Tecnológico do Estaiamento – Ensaio mecânicos

Ensaio de fadiga

Padrão de 10 MN, LSE



Controle Tecnológico do Estaiamento – Ensaio mecânicos

Ensaio Pin-Test (tração desviada)

Pin Test Efficiency (PTI)

$$(PTE) = F_R / f'_{sa}$$

F_R : a resistência medida no pin-test

f'_{sa} : a resistência a tração simples



Figure A-1

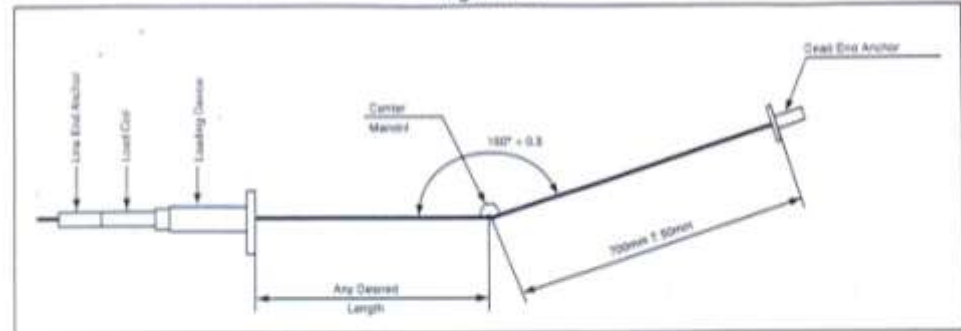
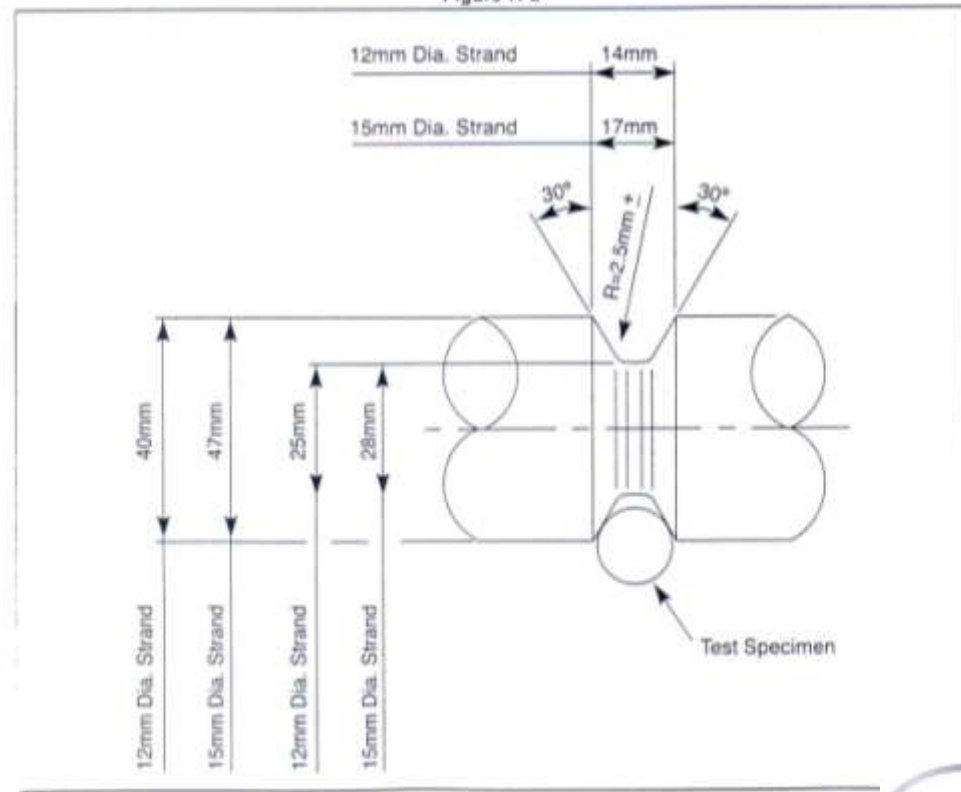
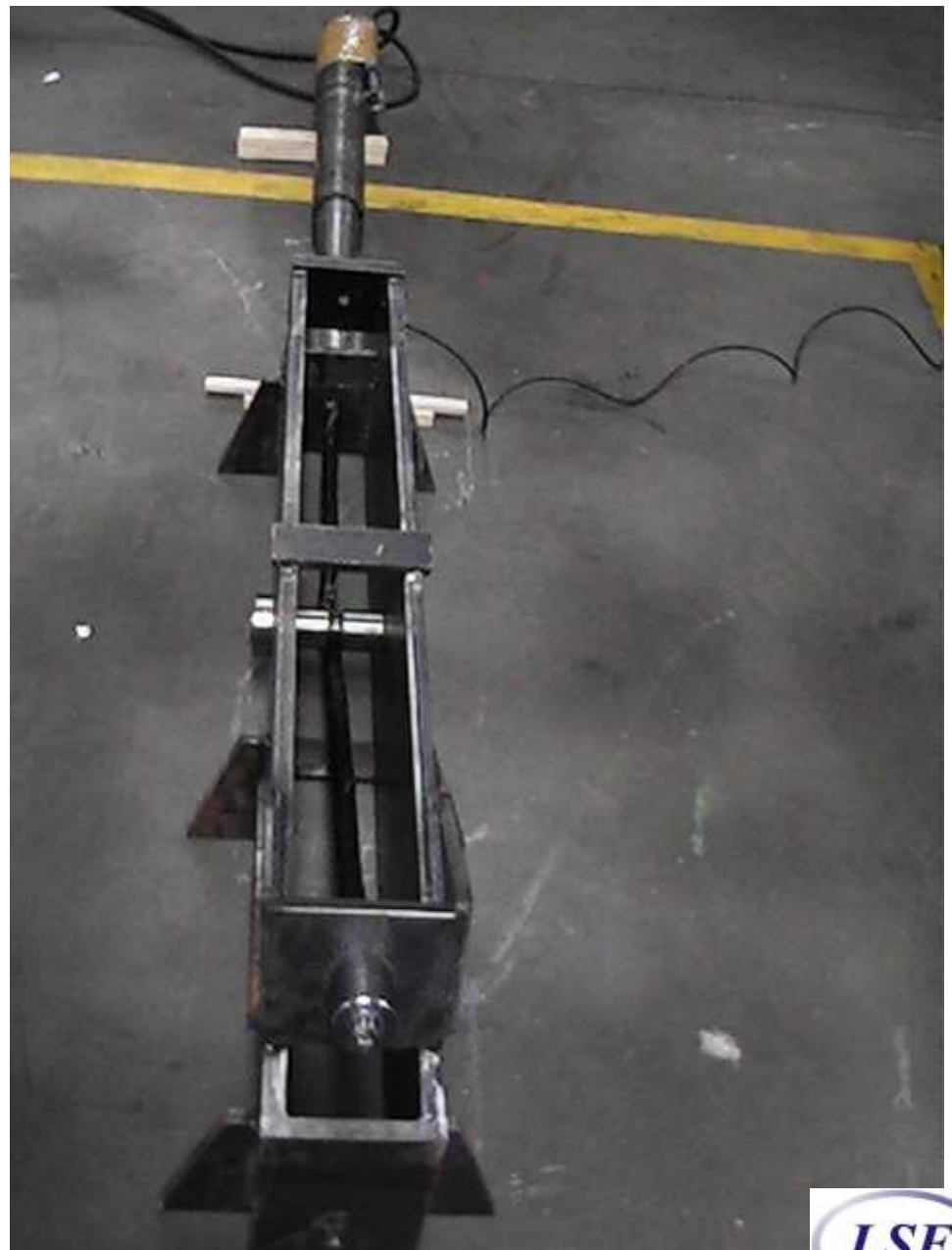
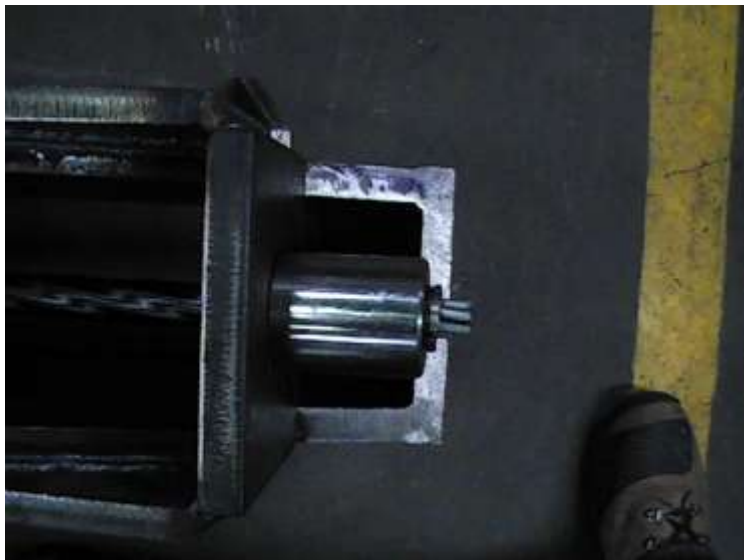


Figure A-2



Controle Tecnológico do Estaiamento – Ensaio mecânicos

Fotos de ensaios realizados na máquina do LSE



Controle Tecnológico do Estaiamento – Ensaio mecânicos

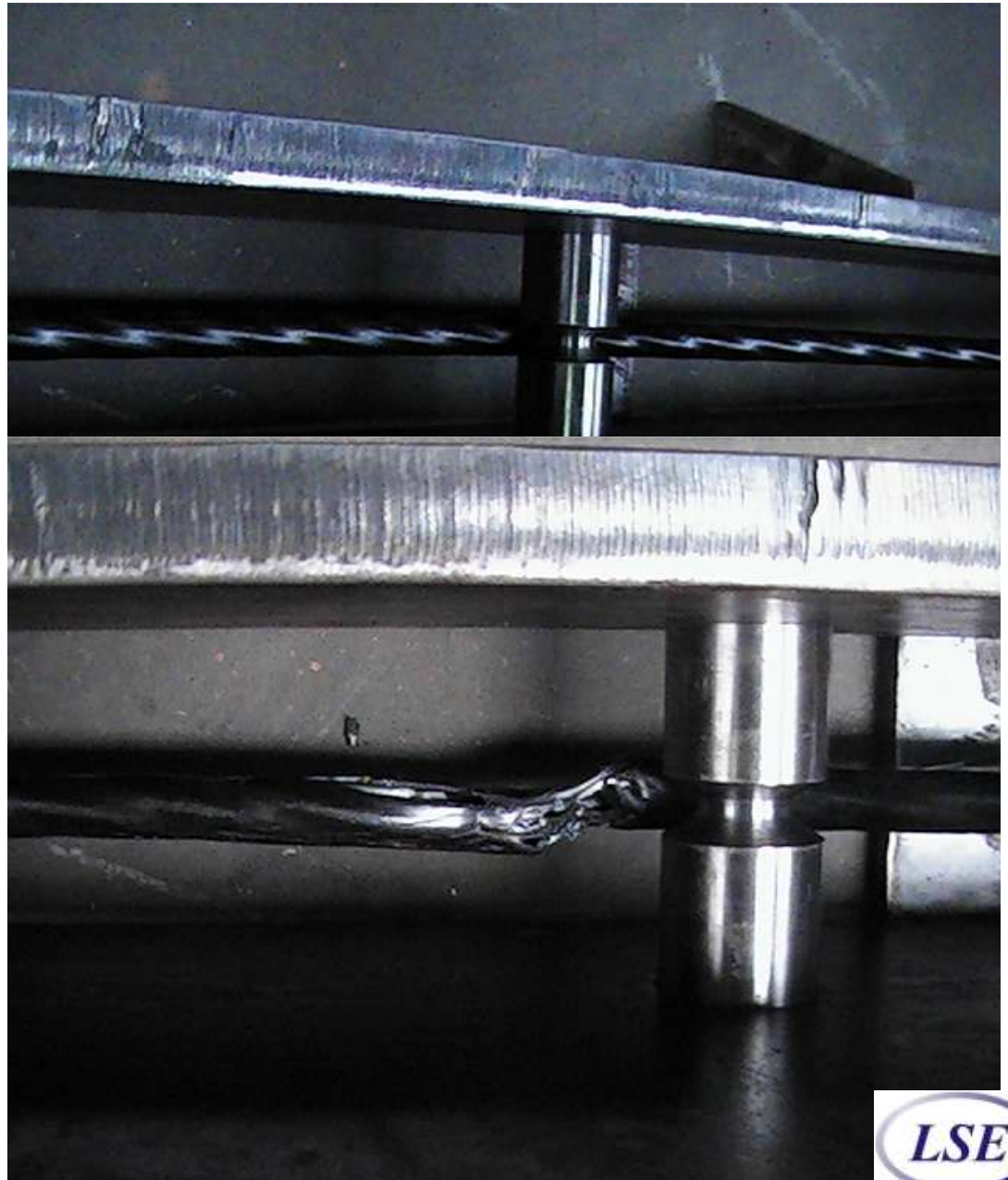
Fotos de ensaios realizados na máquina do LSE

Pin Test Efficiency (*PTI*)

$$(PTE) = F_R / f'_{sa}$$

F_R : a resistência medida no pin-test

f'_{sa} : a resistência a tração simples



Controle Tecnológico do Estaiamento – Ensaio mecânicos

Ensaio de relaxação

1 Alavanca para da deformação em 1000 h

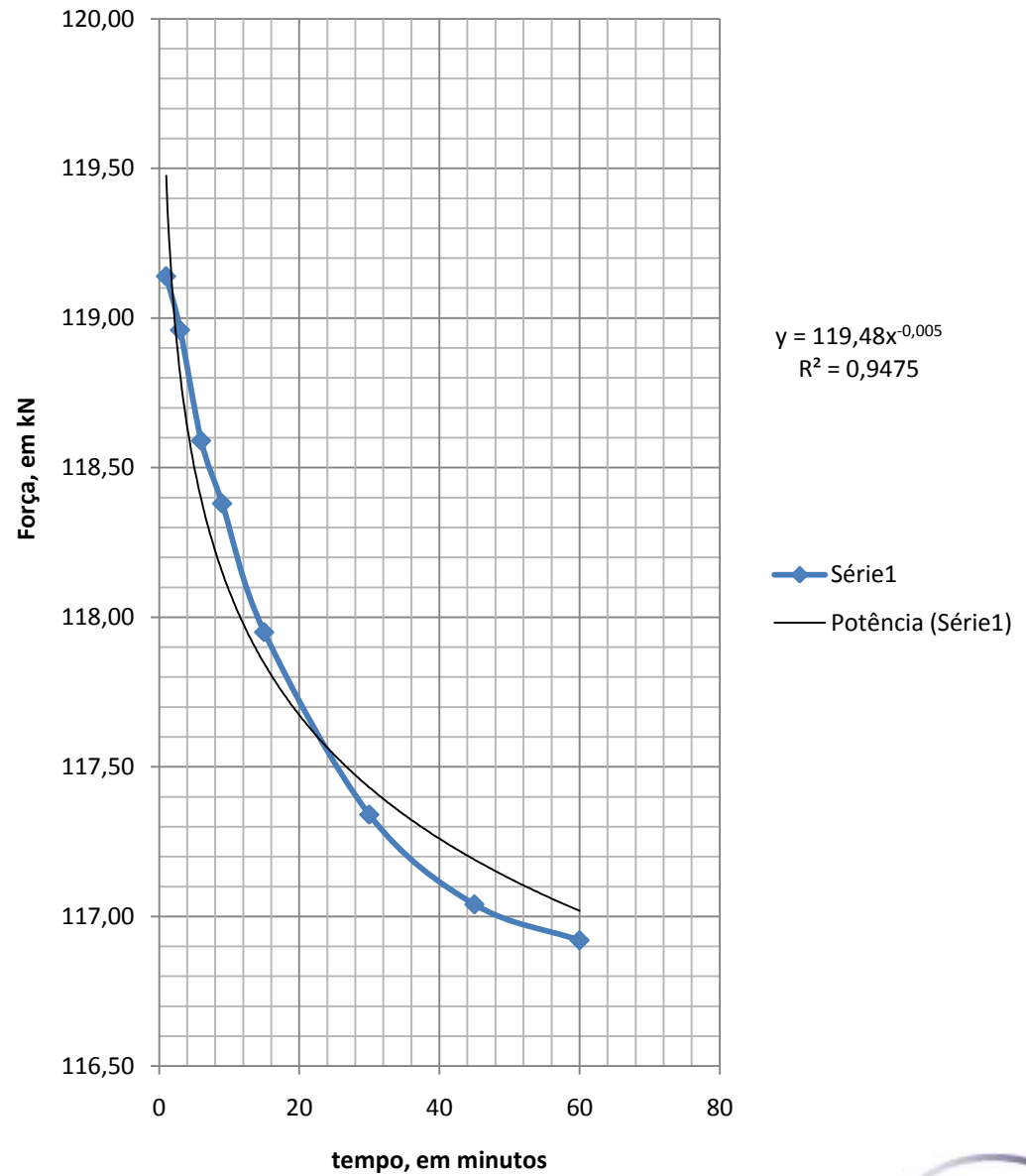
2 Sistema de controle para variação do carregamento continuamente com malha fechada em set point da deformação específica da cordoalha

3 Sistema de aquisição de dados registrando a manutenção da deformação e a variação da força

4 Sala com ambiente controlado, umidade e temperatura.



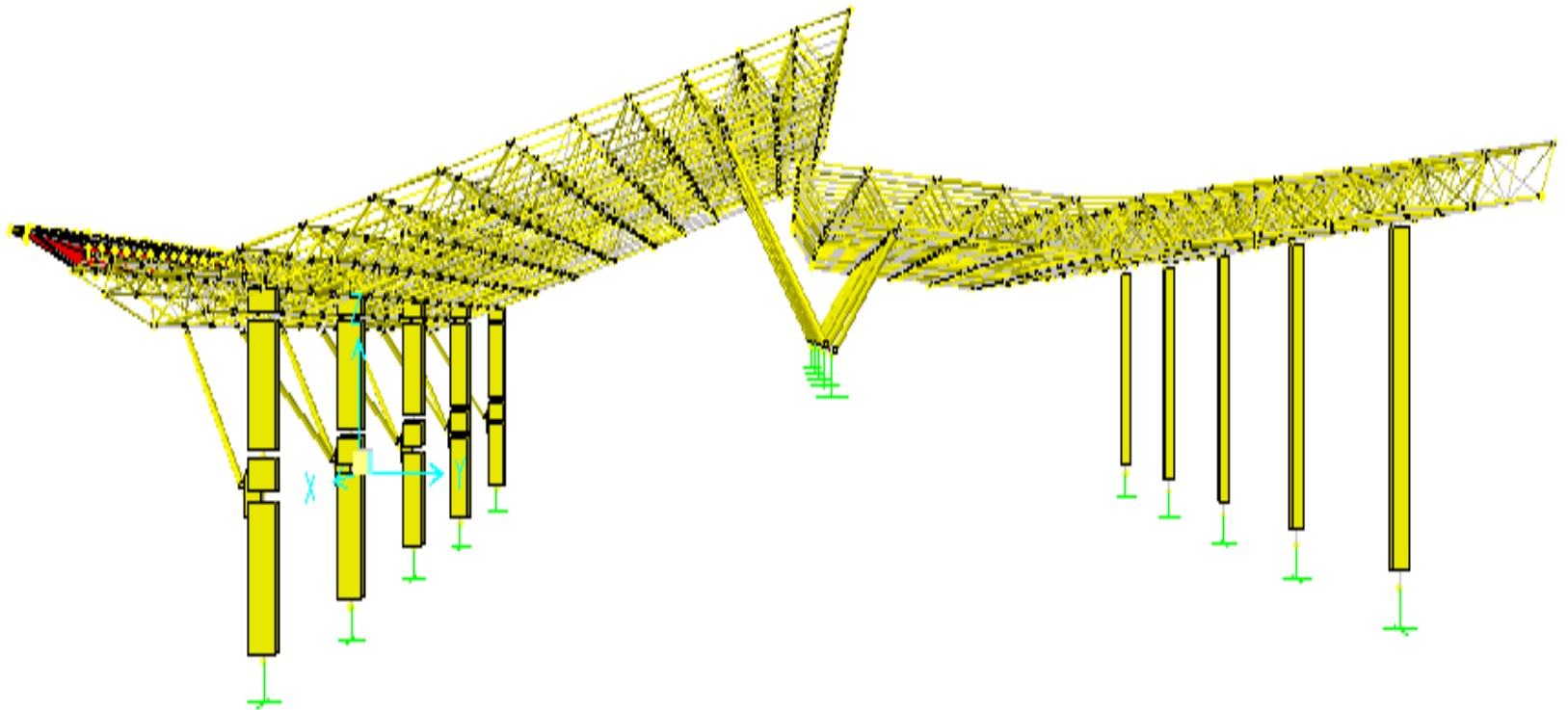
Controle Tecnológico do Estaiamento – Ensaio mecânicos



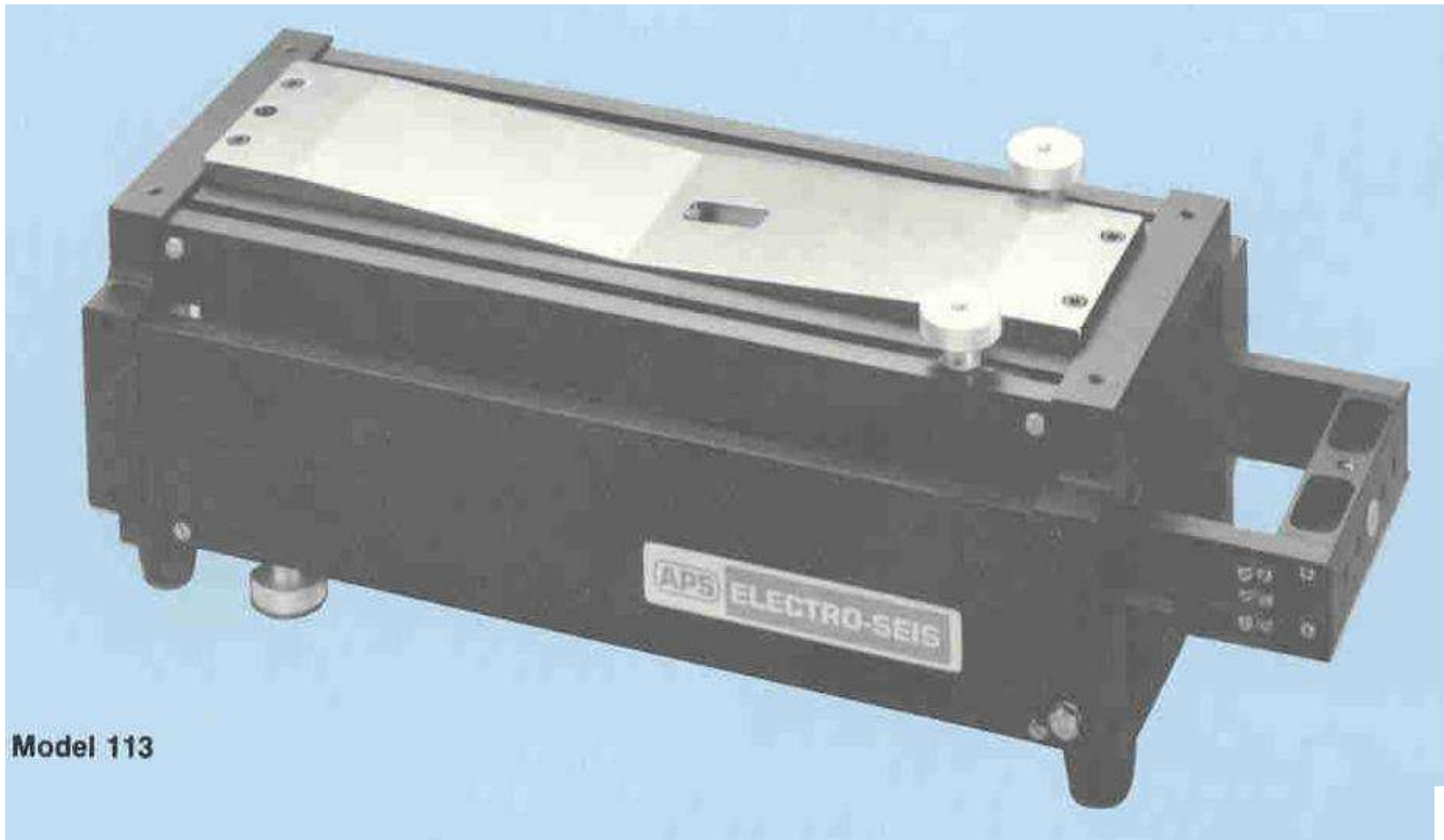
Ensaio de Homologação

Aeroporto de Belém do Pará

Modelo do Aeroporto Internacional de Belém - PA



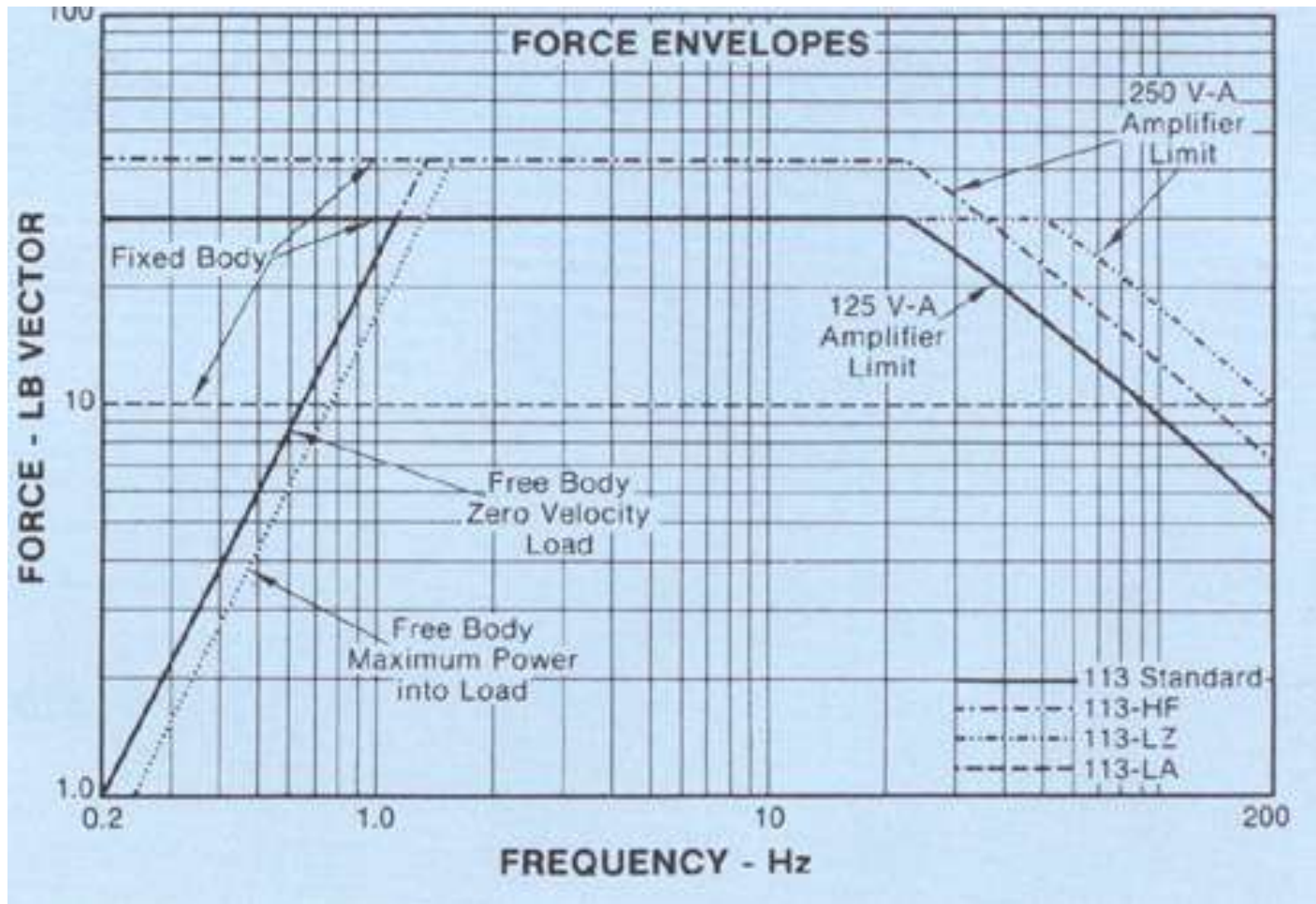
Excitadores de translação eletrodinâmicos - equipamento



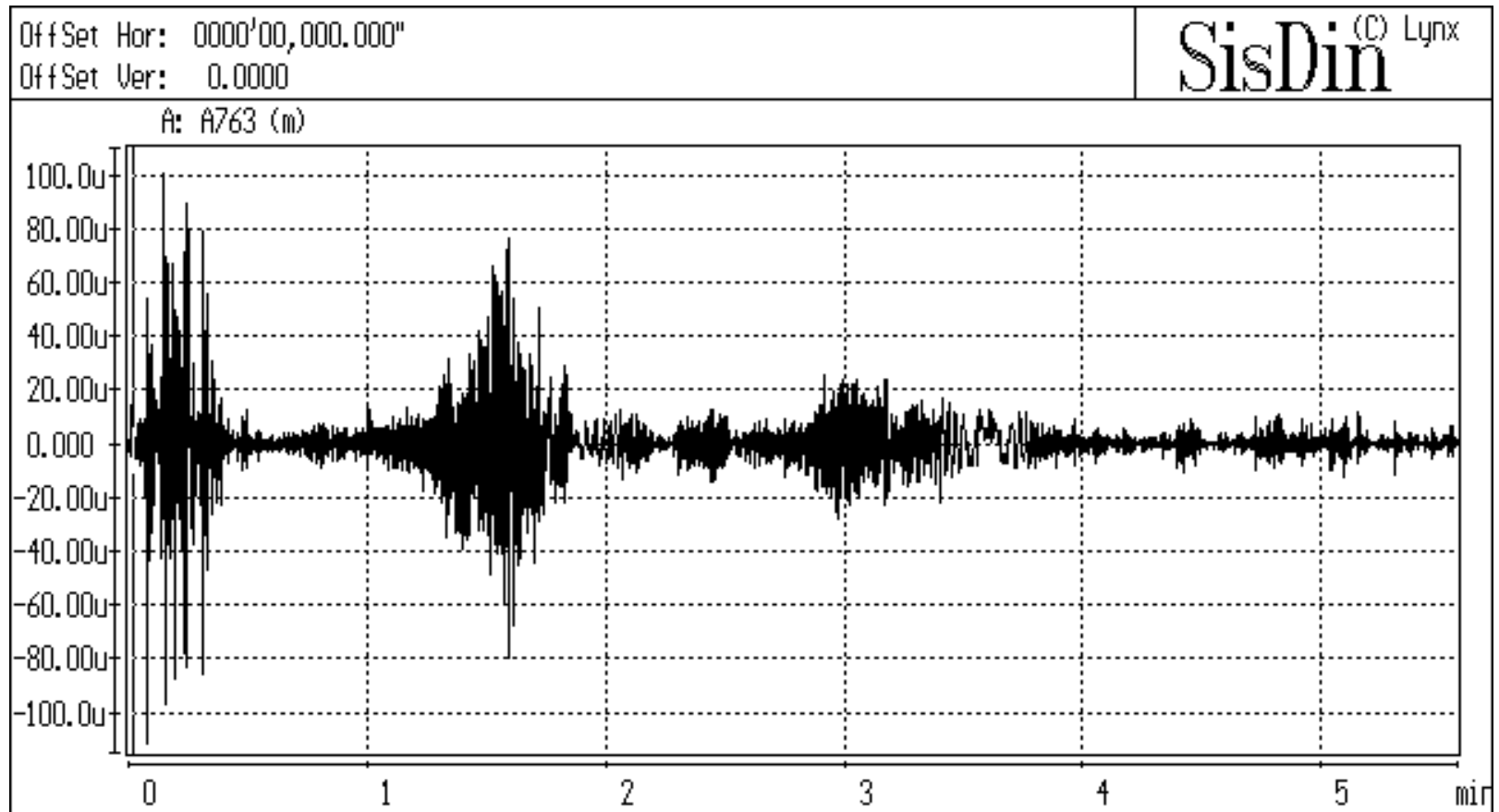
Model 113



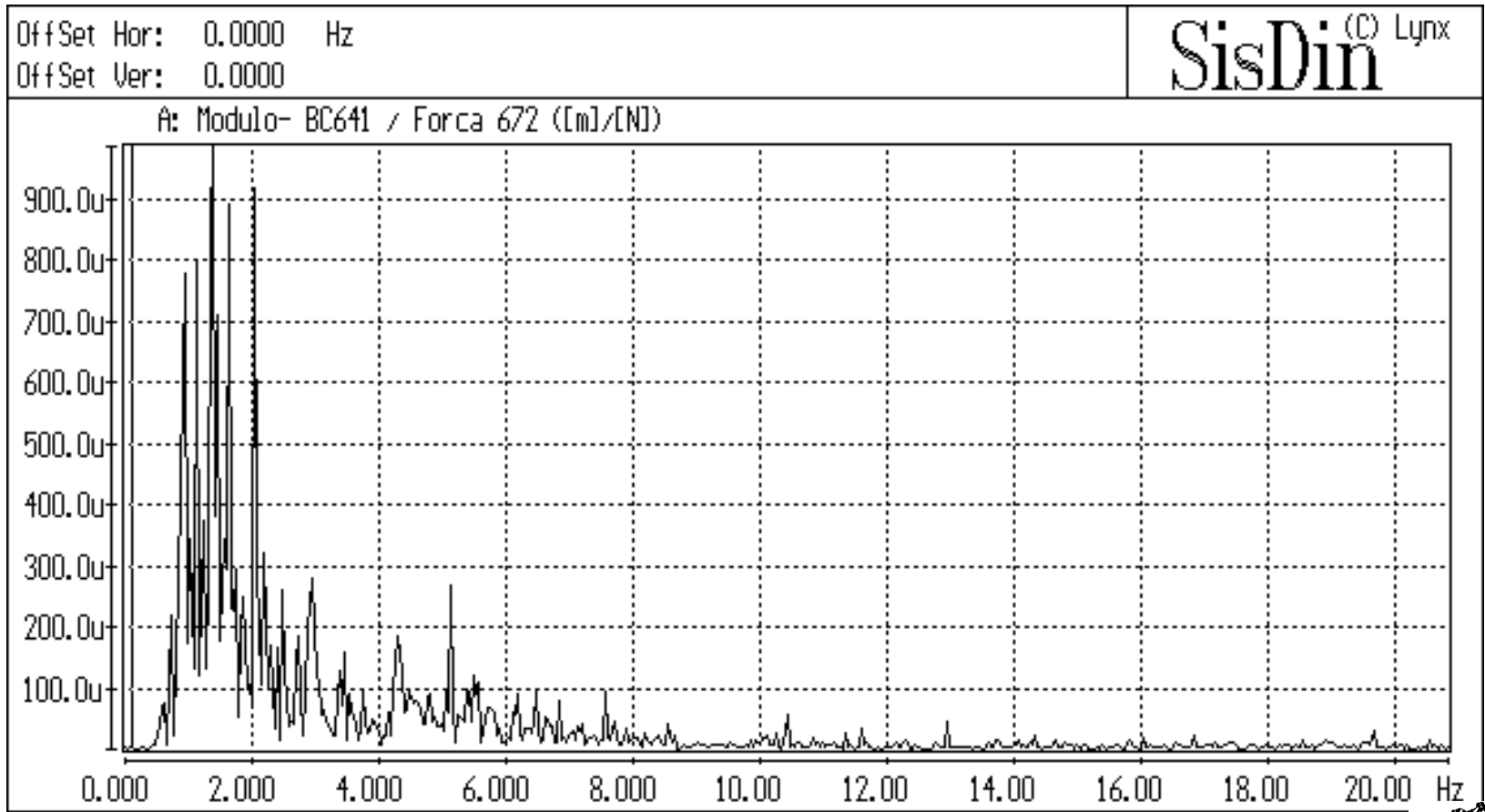
Força dinâmica de excitação



Série temporal de aceleração



Espectro de resposta FRF



**Homologação das vigas longarinas
da ponte sobre o Rio
Cocó, visando avaliar a sua
capacidade portante,
Fortaleza, CE**









Instrumentação das armaduras



Ensaio Dinâmico



Resultados

Viga	Frequência teórica (Hz) E1 = 28.200MPa	Frequência Experimental (Hz)	Fator de Qualidade	Frequência teórica (Hz) E2 = 33.130MPa	Frequência Experimental (Hz)	Fator de Qualidade
V3A	4,08	4,61	1,13	4,43	4,61	1,04
V3B	4,08	4,69	1,15	4,43	4,69	1,06
V3D	4,08	4,56	1,12	4,43	4,56	1,03
V3C	4,08	4,56	1,12	4,43	4,56	1,03
V3H	4,08	4,56	1,12	4,43	4,56	1,03
P4-P5-V20	4,08	4,30	1,05	4,43	4,30	0,97
P4-P5-V19	4,08	4,45	1,09	4,43	4,45	1,00



AGRADECIMENTOS

- São Paulo Futebol Clube
- NovaDutra
- Autoban
- Protende
- EGT
- CPTM
- LSE



Sumário

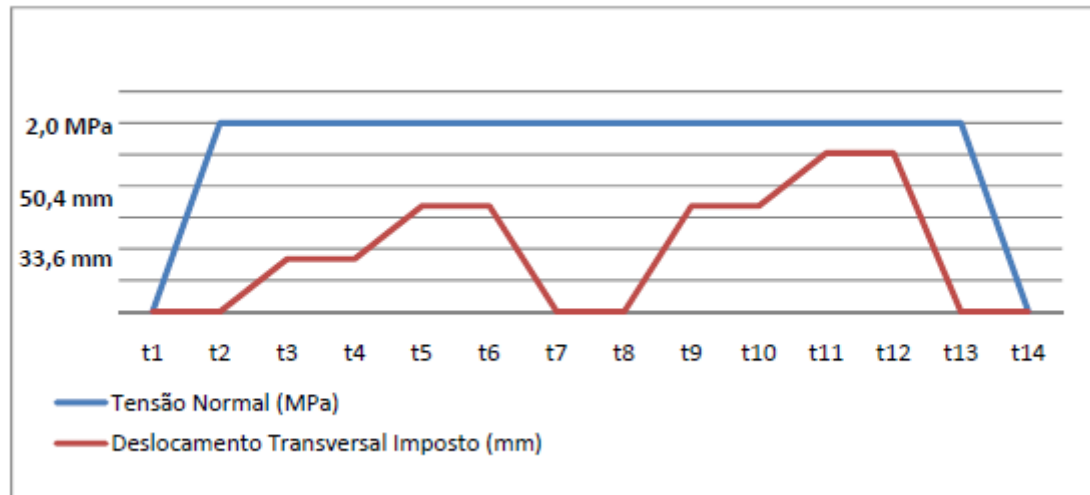
1. Conceitos de conservação de obras de arte aplicados a monitoração (*fib* 2010)
2. Sensores, sistemas de aquisição de dados empregados na monitoração de curta e longa duração
3. Fundamentos da acelerometria, análise de sinais, controle de vibrações estruturais visando o conforto humano
4. Aspectos da análise modal experimental aplicados a monitoração de estruturas
5. Ensaios dinâmicos (provas de carga) em estruturas de grande porte, com exemplos de monitoração de estádios de futebol (conforto das arquibancadas) e ajuste de montagem de pontes estaiadas
6. Conclusão



**ENSAIO DE CISALHAMENTO PARA
IDENTIFICAÇÃO DO
COMPORTAMENTO ESTRUTURAL
DO APARELHO DE
APOIO ELASTOMERICO DAS VIGAS
DO LOTE 5, DO
RODOANEL, TRECHO SUL - SP**



Plano de carregamento



Plano de carregamento para aplicação das forças no CP



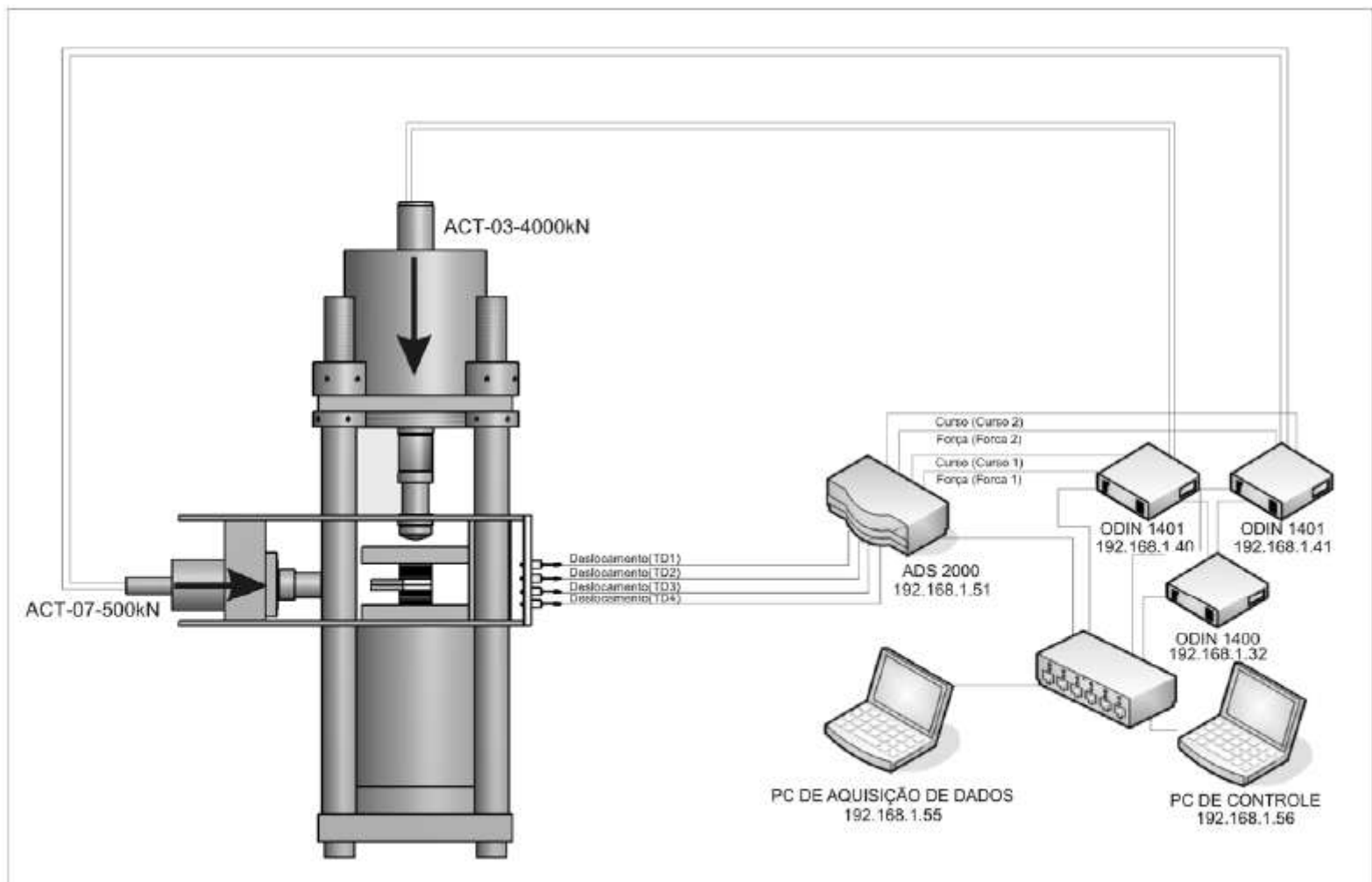


Diagrama esquemático do ensaio de cisalhamento com sistema de controle



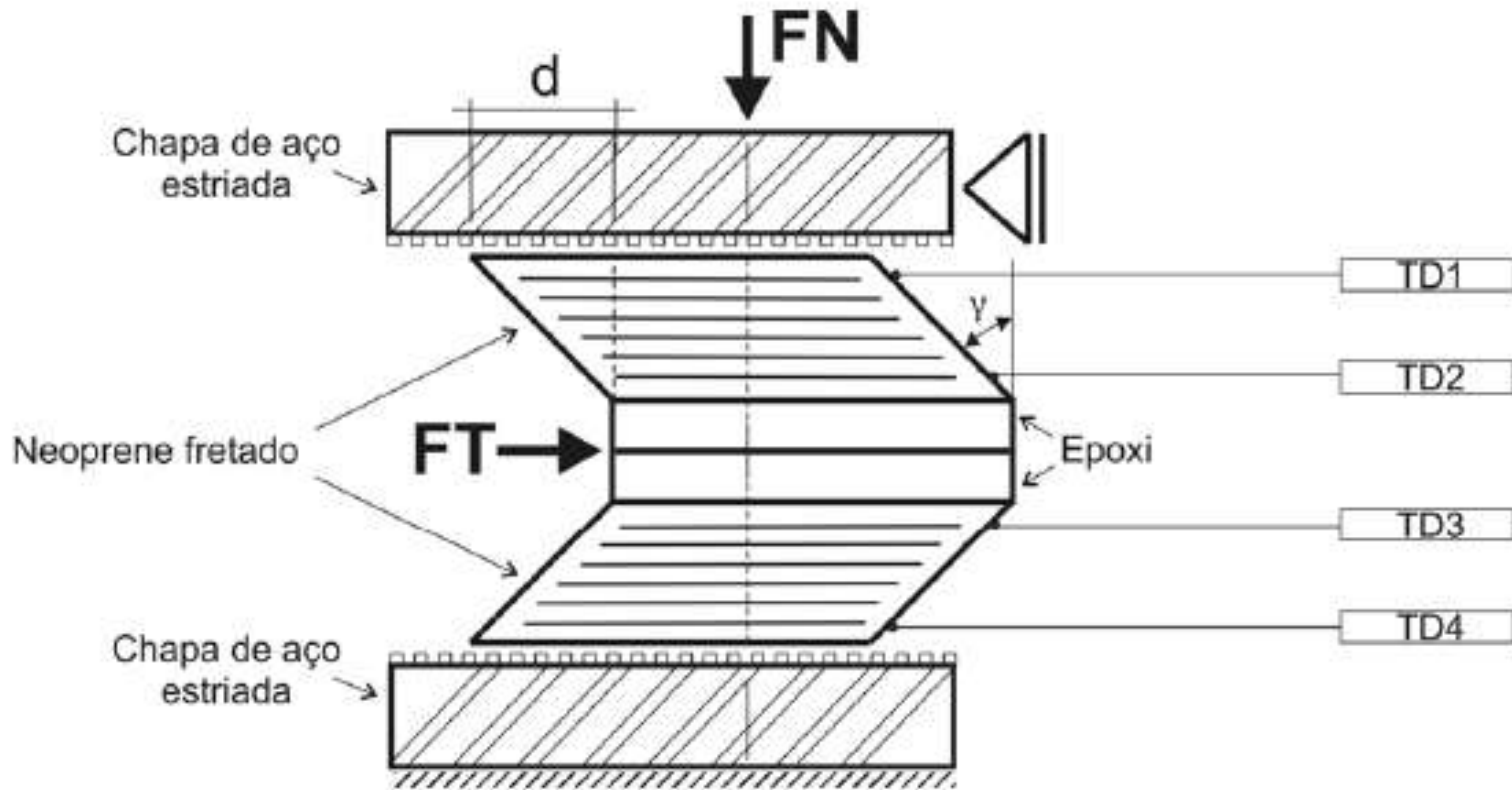
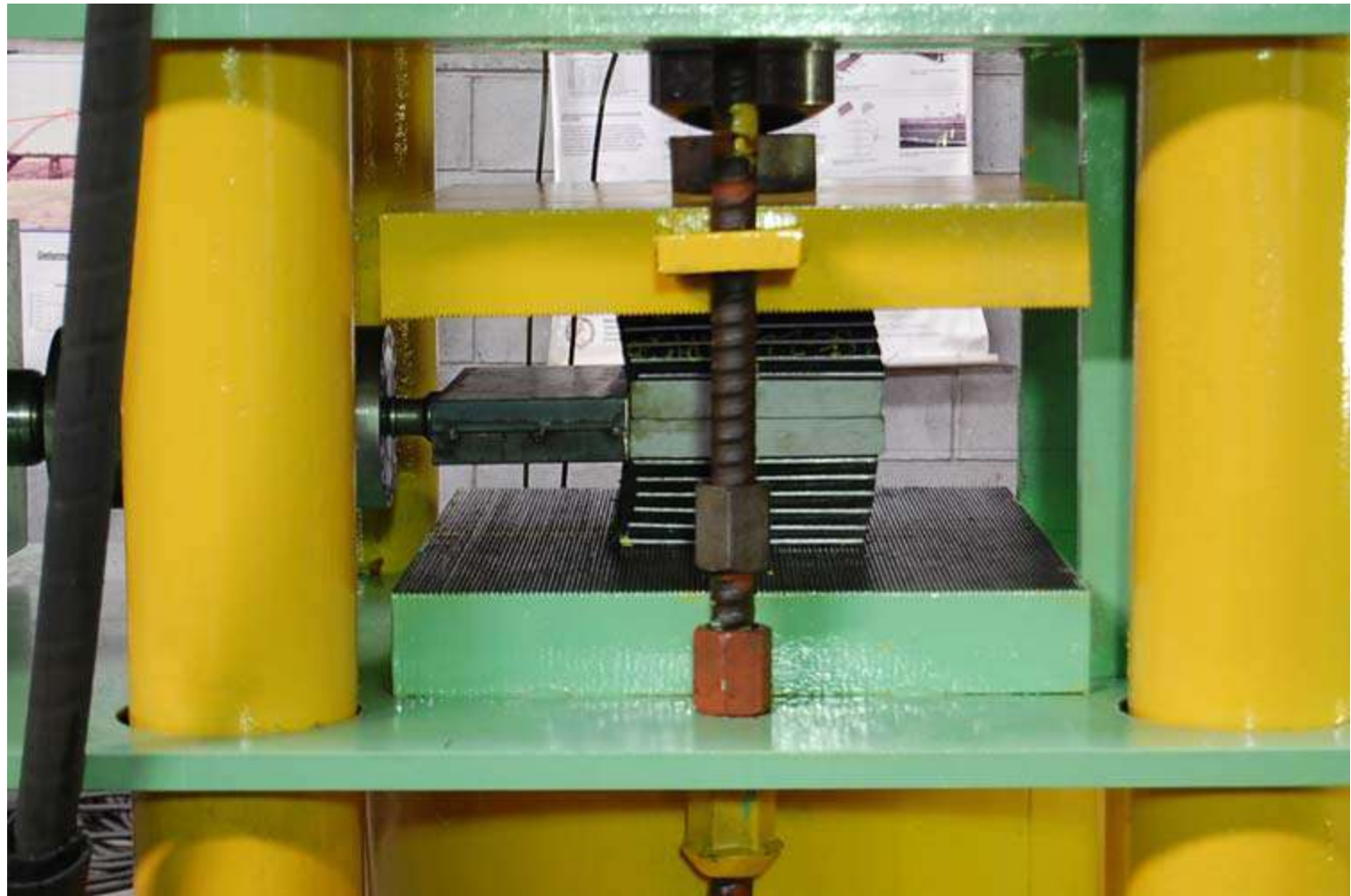


Diagrama esquemático da instrumentação do corpo de prova







resultados

Coeficientes de atrito estático μ_s

Ensaio	Nome CP	Tipo de contato	Distorção de controle tan(γ)	FN (kN)	FTmax (kN)	deslocamento imposto (mm)	Coefficiente de atrito estático	Tipo de CP
1	LSE-223-1520-0203	Seco	0,6	-58,5	-33,0	34,3	0,28	modelo
2	LSE-223-1520-0203	Molhado	0,6	-59,4	-14,0	35,0	0,12	modelo
3	LSE-223-1520-0104	Seco	0,6	-63,2	-29,3	31,4	0,23	modelo
			0,9	-63,0	-40,7	50,2	0,32	modelo
4	LSE-223-1520-0104	Molhado	0,6	-63,2	-10,1	33,5	0,08	modelo
5	LSE-223-4048-0102	Moldado	1,2	-328,7	-343,2	65,6	0,52	protótipo
6	LSE-223-1520-Cliente	Moldado	0,9	-62,7	-48,7	50,3	0,39	modelo
7	LSE-223-4048-0102	Seco	0,6	-328,4	-197,3	33,6	0,30	protótipo
8	LSE-223-4048-0102	Molhado	0,6	-328,8	-109,4	33,6	0,17	protótipo



Distorções efetivas dos CPs ensaiados

Nome CP	Tipo de contato	Espessura a média (mm)	Espessura a útil (mm)	TD1 (mm)	TD2 (mm)	TD3 (mm)	TD4 (mm)	Distorção neoprene superior $\tan(\gamma)$	Distorção neoprene inferior $\tan(\gamma)$
LSE-223-1520-0203	Seco	74,2	56,2	5,94	31,66	30,55	1,95	0,5	0,5
LSE-223-1520-0203	Molhado	74,2	56,2	2,16	15,45	9,29	0,31	0,2	0,2
LSE-223-1520-0104	Seco	73,9	55,9	6,3	20,4	29,58	1,5	0,3	0,5
		73,9	55,9	6,28	40,79	42,24	0,74	0,6	0,7
LSE-223-1520-0104	Molhado	73,9	55,9	5,86	16,26	8,15	0,53	0,2	0,1
LSE-223-4048-0102	Moldado	71,1	53,1	6,34	52,09	51,71	3,05	0,9	0,9
LSE-223-1520-Ciente	Moldado	74,0	56,0	2,59	44,7	44,81	1,87	0,8	0,8
LSE-223-4048-0102	Seco	71,1	53,1	2,49	27,9	28,24	0,59	0,5	0,5
LSE-223-4048-0102	Molhado	71,1	53,1	1,95	12,4	15,01	0,44	0,2	0,3

