



Variante da Solum (1,161 km) – Sistema de Mobilidade do Mondego – Projecto de Medidas de Redução de Vibração

Relatório Final

2009-Adj047-R01V07-VCR.doc

Cliente: Ferbritas

Autores do Relatório: Vitor Rosão

Data: 2009-07-16

SCHI U, Engenharia de Vibração e Ruído
Sector de Consultoria
Divisão de Ambiente Exterior
Rua de Faro, Bloco B, 2º Frente, Estoi
8005-463 Faro – Portugal

W.: www.schiu.com
M.: +351 919 075 077
T.: +351 289 998 009
F.: +351 289 998 318
E.: vitorrosao@schiu.com



Índice Geral

1 Introdução.....	4
2 Enquadramento	6
2.1 Dados de referência.....	6
2.1.1 Danos nos edifícios.....	6
2.1.2 Percepção humana da vibração.....	9
2.1.3 Percepção humana do ruído estrutural.....	10
2.1.4 Interferência com equipamentos.....	13
2.2 Critérios considerados.....	14
3 Metodologia.....	17
4 Edifícios identificados.....	20
5 Medições.....	31
5.1 Dias de medição	31
5.2 Equipamentos.....	31
5.3 Resultados	31
5.3.1 Valores medidos.....	31
5.3.2 Funções de transferência.....	36
6 Prospectivas.....	39
6.1 Emissão vibrátil	39
6.2 Propagação e Recepção vibrátil.....	43
6.3 Edifícios afectados	48
7 Medidas de Redução de Vibração	51
8 Plano de Monitorização	55
8.1 Locais e periodicidade da monitorização.....	55
8.1.1 Medição de vibração.....	56
8.1.2 Auscultação	57
8.1.3 Medição de ruído	57
8.1.4 Efeitos associados	57
8.1.5 Periodicidade.....	58
8.2 Parâmetros a caracterizar	60
8.3 Métodos e equipamentos	62
8.4 Critérios de avaliação dos resultados.....	64
8.5 Tratamento dos dados.....	65
8.6 Organograma da monitorização.....	66
8.7 Relatórios a elaborar	68
9 Conclusões	69
Bibliografia.....	70

CR



Apêndices:

- A1. Dados geotécnicos
- A2. Peças Desenhadas
- A3. Ficha de calibração do Vibrómetro SVAN 946A
- A4. Ficha de calibração do Vibrómetro SVAN 958
- A5. Funções de Transferência da Vibração e Fórmulas de Cálculo Prospectivo
- A6. Espectros das medições com comboios
- A7. Equipa

Índice de Quadros

Quadro 1 – Critérios considerados para a Percepção Humana da Vibração	15
Quadro 2 – Critérios considerados para a Percepção Humana do Ruído Estrutural.....	15
Quadro 3 – Critérios considerados para a Interferência com Equipamentos	15
Quadro 4 – Descrição dos Edifícios Identificados.....	20
Quadro 5 – Resultados das Medições.....	32
Quadro 6 – Constantes de atenuação com a distância.....	37
Quadro 7 – Velocidades eficazes de vibração de referência.....	42
Quadro 8 – Limites considerados para a velocidade eficazes de vibração.....	65

Índice de Desenhos

- Desenho A1. Localização dos Edifício Identificados (Poente; 1:2000)
- Desenho A2. Localização dos Edifício Identificados (Nascente; 1:2000)

Desenho B1. Localização dos Pontos de Medição e das principais fontes actuais de vibração ambiente (Poente; 1:2000)

Desenho B2. Localização dos Pontos de Medição e das principais fontes actuais de vibração ambiente (Nascente; 1:2000)

Desenho C1. Isolinhas da Vibração Particular futura e Edifícios afectados (Poente; 1:2000)

Desenho C2. Isolinhas da Vibração Particular futura e edifícios afectados (Nascente; 1:2000)

Desenho D1. Localização das Medidas de Redução de Vibração preconizadas e Isolinhas resultantes (Poente; 1:2000)

Desenho D2. Localização das Medidas de Redução de Vibração preconizadas e Isolinhas resultantes (Nascente; 1:2000)

CR



1 Introdução

O presente Relatório, que visa dimensionar as Medidas de Redução de Vibração necessárias para a Variante da Solum, pertencente ao Sistema de Mobilidade do Mondego (infra-estrutura de transporte ferroviário), está dividido nos seguintes capítulos, para além desta Introdução:

- (a) Capítulo 2 (Enquadramento): enunciação e fundamentação dos requisitos que serão observados no presente Projecto de Medidas de Redução de Vibração.
- (b) Capítulo 3 (Metodologia): exposição da estrutura metodológica que foi seguida.
- (c) Capítulo 4 (Edifícios Identificados): descrição e localização dos edifícios identificados ao longo do traçado da Variante da Solum.
- (d) Capítulo 5 (Resultados das Medições): apresentação dos equipamentos e dos resultados das medições de vibração efectuadas *in situ*.
- (e) Capítulo 6 (Valores Prospectivados): apresentação dos resultados prospectivados, tendo em conta as funções de transferência determinadas, a localização do traçado, as velocidades de circulação previstas e a emissão vibrátil julgada aplicável à infra-estrutura ferroviária, e identificação dos edifícios com maior potencial de afectação.
- (f) Capítulo 7 (Medidas de Redução de Vibração): enunciação das Medidas de Redução de Vibração julgadas mais adequadas para o caso em apreço, em função das eficácias típicas das medidas e dos resultados prospectivos obtidos.
- (g) Capítulo 8 (Plano de Monitorização): explicitação do Plano de Monitorização que se propõe para controlo dos valores de vibração efectivamente resultantes da exploração ferroviária da Variante da Solum.

CR



(h) Capítulo 9 (Conclusões): apreciação conclusiva do estudo efectuado.

CR



2 Enquadramento

Apesar da Componente Vibração corresponder a um descritor usualmente estudado nos projectos de infra-estruturas de transporte ferroviário já há alguns anos a esta parte, a mesma não possui ainda enquadramento legal. Nestas circunstâncias é necessário estabelecer em primeiro lugar, de forma justificada, quais os critérios que se afiguram dever ser considerados no presente Projecto de Medidas de Redução de Vibração.

De acordo com o estabelecido na norma ISO 14837-1, de 2005 (*Mechanical vibration: Ground-borne noise and vibration arising from rail systems: Part 1: General guidance*) será necessário distinguir 4 potenciais efeitos indesejáveis devidos à vibração, a saber:

1. Danos nos edifícios.
2. Percepção humana da vibração.
3. Percepção humana do ruído estrutural.
4. Interferência com equipamentos

2.1 Dados de referência

2.1.1 Danos nos edifícios

Conforme estabelecido no capítulo 7 do documento “Federal Transit Administration (USA) – *Transit noise and vibration impact assessment*. 2006”, os projectos típicos de infra-estruturas de transporte ferroviário não são susceptíveis de causar danos nos edifícios, razão pela qual este efeito não deverá ser condicionante para a Variante da



Solum. De qualquer forma afigura-se adequado apresentar alguns valores limite que deverão ser tidos em conta na fase de monitorização.

A norma NP 2074, de 1983 (*Avaliação da influência em construções provocadas por explosões ou solicitações similares*), estabelece como parâmetro caracterizador o valor máximo da velocidade de vibração (v), medida na fundação do edifício, e a seguinte expressão de limitação:

$$v = \alpha \times \beta \times \gamma \times 10^{-2} \text{ (m/s)}$$

onde α varia entre 0.5 e 2 em função das características do terreno de fundação, β varia entre 0.5 e 3 em função das características do tipo de construção e γ varia entre 0.7 e 1 em função do número médio de solicitações. Nestas circunstâncias os valores mais exigentes, em função do tipo de construção, são os seguintes:

- Construções que exigem cuidados especiais (ex.: monumentos históricos, hospitais, depósitos de água, chaminés):
 - o $v = 1.75 \text{ mm/s}$.
- Construções correntes:
 - o $v = 3.5 \text{ mm/s}$.
- Construções reforçadas:
 - o $v = 10.5 \text{ mm/s}$.

Dada a aplicação exclusiva dos limites enunciados a vibrações impulsivas (explosões ou solicitações similares), afigura-se adequado explicitar também os denominados Critérios LNEC para vibrações continuadas, estabelecidos por exemplo no documento “Schiappa de Azevedo, Fernando; Patrício, Jorge – *Vibrações ambientes*:

CR



Critérios de danos e de incomodidade: Actualidades e perspectivas futuras. TecniAcustica 2001”, onde é estabelecido como parâmetro caracterizador a velocidade eficaz de vibração de segundo a segundo (v_{ef} ; componente vertical, ou horizontal se esta for mais significativa) e o seguinte valor limite para inexistência de danos em edificações correntes (excluindo monumentos e edifícios sensíveis):

$$v_{ef} = 3.5 \text{ mm/s}$$

No documento “Federal Transit Administration (USA) – *Transit noise and vibration impact assessment*. 2006” não são apresentados limites, em termos de danos nos edifícios, para a fase de exploração de infra-estruturas ferroviárias – pelas razões já expostas – mas apenas para a fase de construção, sendo esses limites expressos em termos da velocidade de pico e convertidos para velocidade eficaz considerando um factor de crista de 4 [de notar que os valores expressos em dB (VdB) no documento em referência foram convertidos em mm/s (v_{ef}) através da seguinte expressão: $v_{ef} = 10^{VdB/20} \times 25.4 \times 10^{-6} \text{ mm/s}$, considerando 1 inch = 25.4 mm]:

- Edifícios extremamente susceptíveis:
 - o $v = 3 \text{ mm/s} \Leftrightarrow v_{ef} = 0.8 \text{ mm/s}$.
- Edifícios sem projecto de engenharia:
 - o $v = 5 \text{ mm/s} \Leftrightarrow v_{ef} = 1.3 \text{ mm/s}$.
- Edifícios com projecto de engenharia:
 - o $v = 8 \text{ mm/s} \Leftrightarrow v_{ef} = 2 \text{ mm/s}$.
- Edifícios reforçados:
 - o $v = 13 \text{ mm/s} \Leftrightarrow v_{ef} = 3 \text{ mm/s}$.



2.1.2 Percepção humana da vibração

Em termos de percepção humana da vibração, os Critérios LNEC estabelecem o seguinte para habitações ou locais de trabalho intelectual:

- $v_{ef} < 0.11$ mm/s: Sensação nula.
- $v_{ef} < 0.28$ mm/s: Perceptível mas suportável para pequena duração.

O documento “Federal Transit Administration (USA) – *Transit noise and vibration impact assessment*. 2006” diferencia 5 tipos de uso e 3 tipos de número de eventos de vibração particular, e considera os seguintes valores limite para que não ocorra incomodidade devido à percepção humana da vibração:

- Habitações e edifícios onde as pessoas usualmente dormem:
 - o Mais de 70 eventos por dia:
 - $v_{ef} < 0.101$ mm/s.
 - o Entre 30 e 70 eventos:
 - $v_{ef} < 0.143$ mm/s.
 - o Menos de 30 eventos:
 - $v_{ef} < 0.254$ mm/s.
- Zonas com utilização sensível à vibração sobretudo no período diurno:
 - o Mais de 70 eventos por dia:
 - $v_{ef} < 0.143$ mm/s.
 - o Entre 30 e 70 eventos:

CR



- $v_{ef} < 0.202 \text{ mm/s}$.
- o Menos de 30 eventos:
 - $v_{ef} < 0.359 \text{ mm/s}$.
- Salas de concerto, estúdios de televisão e estúdios de gravação:
 - o $v_{ef} < 0.045 \text{ mm/s}$.
- Auditórios e Teatros:
 - o Mais de 70 eventos por dia:
 - $v_{ef} < 0.101 \text{ mm/s}$.
 - o Até 70 eventos por dia:
 - $v_{ef} < 0.254 \text{ mm/s}$.

2.1.3 Percepção humana do ruído estrutural

Em termos de percepção humana do ruído estrutural, os Critérios LNEC estabelecem o seguinte:

- $v_{ef}(f \geq 63 \text{ Hz}) < 0.03 \text{ mm/s}$.

O documento “Federal Transit Administration (USA) – *Transit noise and vibration impact assessment*. 2006” diferencia 5 tipos de uso, 3 tipos de número de eventos de vibração particular e 2 frequências típicas de pico para o espectro da vibração, e estabelece os seguintes valores limite para que não ocorra incomodidade devido à percepção humana do ruído estrutural:

CR



- Habitações e edifícios onde as pessoas usualmente dormem:
 - o Mais de 70 eventos por dia:
 - $v_{ef} < 0.03 \text{ mm/s}$ [$f(\text{pico}) \approx 60 \text{ Hz}$].
 - $v_{ef} < 0.1 \text{ mm/s}$ [$f(\text{pico}) \approx 30 \text{ Hz}$].
 - o Entre 30 e 70 eventos:
 - $v_{ef} < 0.04 \text{ mm/s}$ [$f(\text{pico}) \approx 60 \text{ Hz}$].
 - $v_{ef} < 0.2 \text{ mm/s}$ [$f(\text{pico}) \approx 30 \text{ Hz}$].
 - o Menos de 30 eventos:
 - $v_{ef} < 0.06 \text{ mm/s}$ [$f(\text{pico}) \approx 60 \text{ Hz}$].
 - $v_{ef} < 0.4 \text{ mm/s}$ [$f(\text{pico}) \approx 30 \text{ Hz}$].
- Zonas com utilização sensível à vibração sobretudo no período diurno:
 - o Mais de 70 eventos por dia:
 - $v_{ef} < 0.05 \text{ mm/s}$ [$f(\text{pico}) \approx 60 \text{ Hz}$].
 - $v_{ef} < 0.3 \text{ mm/s}$ [$f(\text{pico}) \approx 30 \text{ Hz}$].
 - o Entre 30 e 70 eventos:
 - $v_{ef} < 0.06 \text{ mm/s}$ [$f(\text{pico}) \approx 60 \text{ Hz}$].
 - $v_{ef} < 0.4 \text{ mm/s}$ [$f(\text{pico}) \approx 30 \text{ Hz}$].
 - o Menos de 30 eventos:
 - $v_{ef} < 0.1 \text{ mm/s}$ [$f(\text{pico}) \approx 60 \text{ Hz}$].
 - $v_{ef} < 0.6 \text{ mm/s}$ [$f(\text{pico}) \approx 30 \text{ Hz}$].

CR



- Salas de concerto, estúdios de televisão e estúdios de gravação:
 - o $v_{ef} < 0.008 \text{ mm/s}$ [$f(\text{pico}) \approx 60 \text{ Hz}$].
 - o $v_{ef} < 0.05 \text{ mm/s}$ [$f(\text{pico}) \approx 30 \text{ Hz}$].
- Auditórios:
 - o Mais de 70 eventos por dia:
 - $v_{ef} < 0.01 \text{ mm/s}$ [$f(\text{pico}) \approx 60 \text{ Hz}$].
 - $v_{ef} < 0.08 \text{ mm/s}$ [$f(\text{pico}) \approx 30 \text{ Hz}$].
 - o Até 70 eventos por dia:
 - $v_{ef} < 0.04 \text{ mm/s}$ [$f(\text{pico}) \approx 60 \text{ Hz}$].
 - $v_{ef} < 0.2 \text{ mm/s}$ [$f(\text{pico}) \approx 30 \text{ Hz}$].
- Teatros:
 - o Mais de 70 eventos por dia:
 - $v_{ef} < 0.03 \text{ mm/s}$ [$f(\text{pico}) \approx 60 \text{ Hz}$].
 - $v_{ef} < 0.1 \text{ mm/s}$ [$f(\text{pico}) \approx 30 \text{ Hz}$].
 - o Até 70 eventos por dia:
 - $v_{ef} < 0.06 \text{ mm/s}$ [$f(\text{pico}) \approx 60 \text{ Hz}$].
 - $v_{ef} < 0.4 \text{ mm/s}$ [$f(\text{pico}) \approx 30 \text{ Hz}$].

CR



2.1.4 Interferência com equipamentos

Em termos de interferência com equipamentos, os Critérios LNEC estabelecem que os limites devem ser especificados pelos respectivos fabricantes.

O documento “Federal Transit Administration (USA) – *Transit noise and vibration impact assessment*. 2006” distingue os seguintes casos:

- $v_{ef} < 0.2$ mm/s: adequado para computadores e microscópios ópticos de baixa resolução (20×).
- $v_{ef} < 0.1$ mm/s: adequado para microscópios ópticos de média resolução (100×).
- $v_{ef} < 0.05$ mm/s: adequado para microscópios ópticos de média a alta resolução (400×), microbalanças e balanças ópticas.
- $v_{ef} < 0.025$ mm/s: adequado para equipamento com detalhe de 3 micron.
- $v_{ef} < 0.012$ mm/s: adequado para equipamento com detalhe de 1 micron.
- $v_{ef} < 0.006$ mm/s: adequado para microscópios electrónicos.
- $v_{ef} < 0.002$ mm/s: adequado para equipamentos extremamente sensíveis.

CR



2.2 Critérios considerados

Dada a dispersão de valores e a falta de consenso internacional em termos de valores limite, sendo representativo disso mesmo o abandono dos valores limite expostos na versão anterior da ISO 2631-2, de 1989 [*Evaluation of human exposure to whole-body vibration: Part 2: Continuous and shock-induced vibrations in buildings (1 to 80 Hz)*], na nova versão da ISO 2631-2, de 2003 (*Mechanical vibration and shock: Evaluation of human exposure to whole-body vibration: Part 2: Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz)*], sendo explicitado o seguinte na Nota 2 do Ponto 1 da nova versão (tradução livre):

Presentemente não é possível apresentar valores limite para a magnitude da vibração até que seja obtida mais informação de acordo com o estabelecido nesta parte da ISO 2631,

afigura-se adequado estabelecer um compromisso entre a complementação dos Critérios LNEC e a simplificação dos Critérios dos Estados Unidos da América, utilizando, por simpatia com os Critérios LNEC, a grandeza Velocidade Eficaz da Vibração, de segundo a segundo (v_{ef}), como parâmetro caracterizador.

Não será explicitado qualquer critério para os danos em edifícios, dada a sua não pertinência na fase de exploração duma infra-estrutura de transporte ferroviário. Para os restantes 3 efeitos (Percepção Humana da Vibração, Percepção Humana do Ruído Estrutural e Interferência com Equipamentos) afigura-se adequado, na senda da perspectiva de complementação dos Critérios LNEC e simplificação dos Critérios dos Estados Unidos da América, distinguir 3 tipos de uso/equipamentos e utilizar nessa limitação os valores mínimos, intermédios (Critérios LNEC arredondados) e máximos expostos anteriormente.



Relativamente às frequências pertinentes de análise, para cada um dos 3 tipos de efeitos, considera-se a gama de frequências recomendadas na ISO 14837-1, de 2005, o que será relevante sobretudo em fase de monitorização, na medida em que as prospectivas do presente estudo serão efectuadas em termos globais.

Quadro 1 – Critérios considerados para a Percepção Humana da Vibração

Tipo de uso	Valor limite v_{ef} (1 Hz a 80 Hz)
Usos muito sensíveis (ex: salas de concerto, estúdios de televisão, estúdios de gravação)	0.045 mm/s
Usos normais (ex: habitações, escolas)	0,100 mm/s
Usos menos sensíveis (ex: zona comercial)	0.400 mm/s

Quadro 2 – Critérios considerados para a Percepção Humana do Ruído Estrutural

Tipo de uso	Valor limite v_{ef} (16 Hz a 250 Hz)
Usos muito sensíveis (ex: salas de concerto, estúdios de televisão, estúdios de gravação, auditórios, teatros)	0.008 mm/s
Usos normais (ex: habitações, escolas)	0.030 mm/s
Usos menos sensíveis (ex: zona comercial)	0.600 mm/s

Quadro 3 – Critérios considerados para a Interferência com Equipamentos

Tipo de equipamento	Valor limite v_{ef} (1 Hz a 200 Hz)
Equipamentos extremamente sensíveis às vibrações (ex: microscópios electrónicos)	0.003 mm/s
Equipamentos muito sensíveis (ex: microscópios ópticos)	0,010 mm/s
Equipamentos sensíveis	0.045 mm/s (ver limite especificado pelos fabricantes)

OR



Considera-se ser de salientar que os equipamentos sensíveis à vibração são eles próprios, em condições normais, condicionados em função da vibração de fundo existente nos locais de implantação, razão pela qual os limites a considerar, no âmbito de um Projecto de Medidas de Redução de Vibração de uma nova infra-estrutura de transporte ferroviário, têm de ser entendidos não só em função dos valores absolutos apresentados no Quadro 3 mas também em função da modificação das características vibráticas do local, sendo usualmente suficiente garantir a não ultrapassagem da vibração actualmente existente no local para não ocorrer interferência com equipamentos sensíveis à vibração.

CR



3 Metodologia

Tendo em conta o enquadramento exposto no capítulo anterior e o objectivo de concretização do Projecto de Medidas de Redução de Vibração da Variante da Solum, a metodologia seguida foi a seguinte:

- Realização de trabalho de campo para identificação dos edifícios que possuem usos com sensibilidade às vibrações, existentes na envolvente da Variante da Solum:

Na ausência de definição normativa ou legal relativamente à tipologia de edifícios a considerar, afigura-se adequado adoptar a definição de Receptor Sensível constante no Decreto-Lei n.º 9/2007, de 17 de Janeiro, que aprova o Regulamento Geral do Ruído:

O edifício habitacional, escolar, hospitalar ou similar ou espaço de lazer, com utilização humana.

Acrescenta-se também, por razões óbvias, os edifícios que integram equipamentos sensíveis a vibração.

- Identificação da previsão de implantação de novos edifícios na envolvente à Variante da Solum.
- Realização de medições de vibração *in situ*, com equipamento adequado e com os seguintes dois objectivos:
 1. identificação das principais fontes de vibração ambiente actual e caracterização dos valores da velocidade eficaz de vibração associados, num conjunto de edifícios julgados representativos de toda a envolvente

CR



à Variante da Solum, para as 3 gamas de frequência pertinentes (1Hz-80Hz, 1Hz-200Hz e 16Hz-250Hz).

2. obtenção das diversas funções de transferência da vibração, ou seja, determinação, em concreto, das constantes de atenuação com a distância (ver Apêndice A5), em função dos resultados obtidos a diferentes distâncias da mesma fonte de vibração (fontes reais existentes *in situ*) para diferentes pares de pontos de medição – medições efectuadas em simultâneo – ao longo de toda a envolvente à Variante da Solum:

De referir que esta metodologia, que utiliza como fonte de vibração as fontes existentes no local (tráfego rodoviário e ferroviário), só é possível devido às características marcadamente urbanas do local, é preferível relativamente à utilização de uma fonte de percussão pontual, porque a infra-estrutura em apreço é melhor representada por uma fonte linear do que por uma fonte pontual. Nestas circunstâncias, a eventual utilização de uma fonte pontual, obrigaria a uma extrapolação incerta dos resultados para fontes lineares – conforme estabelecido no capítulo 11.2.2 do documento “Federal Transit Administration (USA) – *Transit noise and vibration impact assessment*. 2006”. Acresce ao referido o facto de grande maioria do traçado desenvolver-se em zonas onde ocorre actualmente tráfego rodoviário ou ferroviário, o que dificulta também o uso de uma metodologia de percussão pontual, mais adequada para zonas não urbanas, onde não existem fontes de vibração no local previsto para o traçado.

CR



- Selecção da emissão vibrátil julgada mais adequada para a Variante da Solum, de acordo com dados bibliográficos disponíveis e de acordo com resultados obtidos junto ao Metro Ligeiro do Porto.
- Determinação das constantes de atenuação máxima, mediana e mínima, e prospectiva das respectivas isolinhas de vibração particular da Variante da Solum, em função da velocidade de circulação prevista ao longo da linha.
- Identificação dos Edifícios onde se prospectivam valores superiores aos limites estabelecidos.
- Definição das Medidas de Redução de Vibração julgadas adequadas.
- Definição de Plano de Monitorização em conformidade com as prospectivas efectuadas e medidas preconizadas.

CR



4 Edifícios identificados

Apresenta-se no Quadro 4 a descrição dos Edifícios Identificados no trabalho de campo, os quais se localizam nos Desenhos A em Apêndice.

Quadro 4 – Descrição dos Edifícios Identificados

Referência	Descrição	Fotos
E01	Edifício habitacional multifamiliar com 8 pisos, integrando comércio	
E02	Edifícios habitacionais multifamiliares maioritariamente com 3 pisos e, o mais a poente, com 7 pisos, integrando comércio.	
E03	Edifício habitacional unifamiliar com 2 pisos, integrando comércio.	
E04	Edifícios habitacionais unifamiliares com 2 pisos, integrando comércio.	

CR



Quadro 4 – Descrição dos Edifícios Identificados

Referência	Descrição	Fotos
E05	Edifício habitacional unifamiliar com 2 pisos, integrando comércio. Está prevista a demolição deste edifício, aquando da implementação da Variante da Solum	
E06	Edifício de 1 piso correspondente a antiga casa de guarda ferroviário.	
E07	Edifícios habitacionais multifamiliares de 3 pisos.	
E08	Edifícios de comércio com 1 piso.	
E09	Edifício habitacional multifamiliar de 3 pisos.	
E10	Edifício habitacional multifamiliar de 5 pisos, integrando comércio.	

CR



Quadro 4 – Descrição dos Edifícios Identificados

Referência	Descrição	Fotos
E11	Edifício habitacional multifamiliar de 5 pisos, integrando comércio.	
E12	Edifício habitacional multifamiliar de 7 pisos, integrando comércio.	
E13	Estádio Municipal de Coimbra, que integra uma Clínica Médica.	
E14	Edifício habitacional unifamiliar de 1 piso.	
E15	Edifício habitacional unifamiliar de 1 piso.	
E16	Edifício habitacional multifamiliar de 7 pisos, integrando comércio.	

CR



Quadro 4 – Descrição dos Edifícios Identificados

Referência	Descrição	Fotos
E17	Edifício habitacional multifamiliar de 7 pisos, integrando comércio.	
E18	Edifício habitacional multifamiliar de 7 pisos, com garagens.	
E19	Jardim Escola João de Deus, com 1 piso.	
E20	Jardim de Infância n.º 1 de Coimbra, com 1 piso.	
E21	Centro Comercial Dolce Vita e fogos de habitação, com 6 pisos à superfície e estacionamento no subsolo.	
E22	Pavilhão Multidesportos.	



Quadro 4 – Descrição dos Edifícios Identificados

Referência	Descrição	Fotos
E23	Escola Superior de Educação, com 4 pisos.	
E24	Edifícios habitacionais multifamiliares de 7 pisos, com garagens.	
E25	Edifício habitacional multifamiliar de 13 pisos, integrando comércio.	
E26	Edifício habitacional multifamiliar de 13 pisos, integrando comércio.	
E27	Edifício habitacional multifamiliar de 13 pisos, integrando comércio.	
E28	Edifício habitacional multifamiliar de 4 pisos, com garagens.	

CR



Quadro 4 – Descrição dos Edifícios Identificados

Referência	Descrição	Fotos
E29	Edifícios habitacionais multifamiliares de 7 pisos, com garagens.	
E30	Edifício habitacional multifamiliar de 9 pisos, integrando comércio.	
E31	Edifício habitacional unifamiliar de 2 pisos.	
E32	Edifício habitacional unifamiliar de 3 pisos.	
E33	Edifícios habitacionais unifamiliares de 2 pisos.	
E34	Edifício habitacional unifamiliar de 2 pisos.	

CR



Quadro 4 – Descrição dos Edifícios Identificados

Referência	Descrição	Fotos
E35	Edifício habitacional multifamiliar de 7 pisos, ainda em construção.	
E36	Edifício habitacional multifamiliar de 5 pisos.	
E37	Edifícios habitacionais multifamiliares de 6/7 pisos, integrando comércio e serviços de formação (Universidade Aberta).	
E38	Edifício habitacional multifamiliar de 5 pisos.	
E39	Edifício habitacional multifamiliar de 7 pisos, integrando comércio.	
E40	Edifícios habitacionais multifamiliares de 6 pisos.	

CR



Quadro 4 – Descrição dos Edifícios Identificados

Referência	Descrição	Fotos
E41	Edifício habitacional multifamiliar de 6 pisos, incluindo Clínica Veterinária da Solum.	
E42	Edifícios habitacionais multifamiliares de 6 pisos.	
E43	Edifício habitacional multifamiliar de 7 pisos, integrando comércio.	
E44	Edifício rural de 1 piso, possivelmente habitacional.	
E45	Edifício habitacional unifamiliar de 3 pisos.	
E46	Edifício habitacional multifamiliar de 4 pisos, de construção recente e não implantado na cartografia disponível.	

CR



Quadro 4 – Descrição dos Edifícios Identificados

Referência	Descrição	Fotos
E47	Edifícios habitacionais multifamiliares de 4 pisos.	
E48	Edifício habitacional multifamiliar de 5 pisos, integrando comércio.	
E49	Edifício habitacional multifamiliar de 5 pisos, integrando comércio.	
E50	Edifício habitacional multifamiliar de 5 pisos, integrando comércio.	
E51	Edifício habitacional multifamiliar de 5 pisos.	
E52	Edifício habitacional unifamiliar de 1 piso.	

CR



Quadro 4 – Descrição dos Edifícios Identificados

Referência	Descrição	Fotos
E53	Edifício habitacional unifamiliar de 2 pisos.	
E54	Edifício habitacional multifamiliar de 10 pisos com garagens.	
E55	Edifício habitacional unifamiliar de 2 pisos.	
E56	Edifício habitacional unifamiliar de 2 pisos.	
E57	Edifícios habitacionais unifamiliares até 2 pisos.	
E58	Edifício habitacional unifamiliar de 2 pisos.	

CR



Na envolvente da Variante da Solum está ainda prevista a implantação de um novo edifício – Urbanização Casa Branca – o qual se localiza no Desenho A2 em Apêndice, e se identifica como E59. Para a mesma zona de Casa Branca está previsto um novo complexo escolar, que não foi incluído no Estudo por se localizar previsivelmente a distância significativa (mais de 50 metros) da Variante da Solum.

Verifica-se assim, que em termos de tipologias de usos envolventes, a Variante da Solum possui sobretudo usos normais (habitações e escolas), mas existem também usos menos sensíveis às vibrações (zonas comerciais). Em termos de usos mais sensíveis às vibrações (ex. salas de concerto, estúdios de televisão, estúdios de gravação) apenas se assinala, de acordo com a informação disponível que foi possível recolher, a Escola Superior de Educação, onde existe um estúdio de televisão (ver <https://www1.esec.pt/pagina.php?id=15>).

CR



5 Medições

O presente capítulo identifica os dias em que foram realizadas as medições de vibração, os equipamentos utilizados e os resultados obtidos.

5.1 Dias de medição

As medições foram realizadas nos dias 13-02-2009, 16-03-2009 e 21-03-2009.

5.2 Equipamentos

Foram utilizados os seguintes equipamentos, que verificam os requisitos da norma ISO 8041, de 2005 (*Human response to vibration: Measuring instrumentation*):

- Vibrómetro SVANTEK, modelo 958 (medição triaxial; foi identificado o eixo dos z como eixo principal).
- Vibrómetro SVANTEK, modelo 946A (medição uniaxial; medição segundo o eixo dos z).

As fichas de calibração dos equipamentos estão expostas no Apêndice A3.

5.3 Resultados

5.3.1 Valores medidos

Foram efectuadas medições em 31 Pontos, que se localizam nos Desenhos B em Apêndice.



As medições foram efectuadas para as seguintes gamas de frequência: 1Hz-80Hz, 1Hz-200Hz e 16Hz-250Hz.

Verificou-se, invariavelmente, que os valores globais associados às gamas 1Hz-80Hz e 1Hz-200Hz eram os mesmos – o que significa que a energia de vibração, nos casos em análise, se concentra nos valores abaixo de 80 Hz – e que apenas era possível estabelecer uma relação entre os valores medidos e as diferentes fontes de vibração associadas para a gama 16Hz-250Hz – o que significa que os valores abaixo dos 16Hz, na generalidade dos casos, se ficam a dever a diferentes fontes, próximas e distantes, de difícil identificação – exclui-se a proximidade do Ramal ferroviário da Lousã, onde era possível identificar a passagem de comboios em bandas de frequência menores do que 16 Hz.

Apresentam-se, no Quadro 5, os valores obtidos para as 3 gamas referidas.

Quadro 5 – Resultados das Medições

Ponto de Medição	Principais Fontes de vibração	v_{ef} [mm/s] (1 a 80Hz $\equiv$ 1 a 200Hz)	v_{ef} [mm/s] (16 a 250 Hz)
P01	Tráfego ferroviário do Ramal da Lousã	0.061	0.056
	Tráfego rodoviário da Rua de Angola	0.036 (f.d.i.)	0.005
P02	Tráfego ferroviário do Ramal da Lousã	0.064 (f.d.i.)	0.035
	Tráfego rodoviário da Rua de Angola		0.009
P03	Tráfego ferroviário do Ramal da Lousã	0.066	0.063
	Tráfego rodoviário com diferentes origens	0.058 (f.d.i.)	0.011

CR



Quadro 5 – Resultados das Medições

Ponto de Medição	Principais Fontes de vibração	v_{ef} [mm/s] (1 a 80Hz $\approx$ 1 a 200Hz)	v_{ef} [mm/s] (16 a 250 Hz)
P04	Tráfego ferroviário do Ramal da Lousã	0.045 (f.d.i.)	0.019
	Tráfego rodoviário da Rua Tomé Rodrigues Sobral		0.006
P05	Tráfego ferroviário do Ramal da Lousã	0.074 (f.d.i.)	0,015
	Tráfego rodoviário com diferentes origens		0.004
P06	Tráfego rodoviário da Rua D. João III	0.048 (f.d.i.)	0.006
P07	Tráfego rodoviário da Rua D. João III	0.049 (f.d.i.)	0.005
P08	Tráfego rodoviário da Rua Jorge Anjinho	0.093 (f.d.i.)	0.029
P09	Tráfego rodoviário condicionado (rua em calçada)	0.045 (f.d.i.)	0.013
	Tráfego rodoviário da Rua Jorge Anjinho		0.006
P10	Tráfego rodoviário condicionado (rua em calçada)	0.092 (f.d.i.)	0.010
	Tráfego rodoviário da Rua General Humberto Delgado		0.007
P11	Tráfego rodoviário condicionado (rua em calçada)	0.045 (f.d.i.)	0.009 0.040 (1 pesado; não habitual)
	Tráfego rodoviário da Rua General Humberto Delgado		0.008

CR



Quadro 5 – Resultados das Medições

Ponto de Medição	Principais Fontes de vibração	v_{ef} [mm/s] (1 a 80Hz $\approx$ 1 a 200Hz)	v_{ef} [mm/s] (16 a 250 Hz)
P12	Tráfego rodoviário da Rua D. João III	0.049 (f.d.i.)	0.009
	Tráfego rodoviário da Rua General Humberto Delgado		0.007
P13	Tráfego rodoviário da Rua General Humberto Delgado	0.058 (f.d.i.)	0.012
P14	Tráfego rodoviário da Rua General Humberto Delgado	0.109 (f.d.i.)	0.004
	Tráfego rodoviário da Rua João de Deus Ramos		0.007
P15	Tráfego rodoviário da Rua General Humberto Delgado	0.074 (f.d.i.)	0.006
P16	Tráfego rodoviário da Rua General Humberto Delgado	0.076 (f.d.i.)	0.003
P17	Tráfego rodoviário da rotunda	0.093 (f.d.i.)	0.011
P18	Tráfego rodoviário da Av. da rotunda	0.055 (f.d.i.)	0.005
P19	Tráfego rodoviário esporádico da Rua Feliciano Castilho	0.045 (f.d.i.)	0.002
	Tráfego rodoviário da Av. Fernando Namora		0.002
P20	Tráfego rodoviário da Av. Fernando Namora	0.118 (f.d.i.)	0.006
P21	Tráfego rodoviário da Av. Fernando Namora	0.065 (f.d.i.)	0.003
P22	Tráfego rodoviário da Av. Fernando Namora e rotunda	0.039 (f.d.i.)	0.003

CR



Quadro 5 – Resultados das Medições

Ponto de Medição	Principais Fontes de vibração	v_{ef} [mm/s] (1 a 80Hz $\approx$ 1 a 200Hz)	v_{ef} [mm/s] (16 a 250 Hz)
P23	Tráfego rodoviário da rotunda	0.053 (f.d.i.)	0.005
P24	Tráfego rodoviário da rotunda	0.059 (f.d.i.)	0.004
P25	Tráfego rodoviário da Av. Fernando Namora Tráfego ferroviário do Ramal da Lousã	0.104 (f.d.i.)	0.009 0.012
P26	Tráfego ferroviário do Ramal da Lousã	0.140	0.175
P27	Tráfego ferroviário do Ramal da Lousã	0,039	0.039
P28	Tráfego ferroviário do Ramal da Lousã Tráfego rodoviário da Rua da casa Branca	0.076 (f.d.i.)	0.016 0.011
P29	Tráfego ferroviário do Ramal da Lousã Tráfego rodoviário da Rua da Casa Branca	0.101 0.055 (f.d.i.)	0.099 0.011
P30	Tráfego ferroviário do Ramal da Lousã Tráfego rodoviário da Rua da Casa Branca	n.p.c. 0.070 (f.d.i.)	n.p.c. 0.010
P31	Tráfego ferroviário do Ramal da Lousã Tráfego rodoviário da Rua da Casa Branca	0.410 0.072 (f.d.i.)	0.410 0.011

f.d.i.: Fontes difíceis de identificar. n.p.c.: Não foi possível caracterizar.

CR



Para além das principais fontes de vibração ambientais referidas, foram também identificadas as seguintes fontes secundárias: tráfego rodoviário esporádico em vias secundárias ou em parques de estacionamento, movimentação de pessoas, abertura e fecho de portas nos edifícios e equipamentos vibráteis instalados nos edifícios, nomeadamente equipamentos de condicionamento higrotérmico. A selecção dos pontos e períodos de medição foi efectuada de forma a minimizar a influência dessas fontes secundárias.

Verifica-se assim que a zona envolvente à Variante da Solum já possui, actualmente, fontes de vibração assinaláveis, o que faz com que o valor mínimo registado para a gama de frequências 1 Hz a 200 Hz corresponda ao seguinte valor expressivo:

- 0.036 mm/s.

Nestas circunstâncias, considera-se ser suficiente garantir a não ultrapassagem do valor de 0.030 mm/s, para a Vibração Particular da Variante da Solum, para que, potencialmente, não ocorra interferência com equipamentos sensíveis à vibração típicos, eventualmente existentes na envolvente, nomeadamente nas Clínicas Médicas identificadas (E13 e E41).

5.3.2 Funções de transferência

De acordo com o explicitado anteriormente, verifica-se que, para a metodologia utilizada, apenas é possível estabelecer funções de transferência para a gama de frequências 16Hz-250Hz.

Tal condicionante não configura uma grande limitação para infra-estruturas de transporte ferroviário, na medida em que a energia associada à passagem das composições centraliza-se normalmente acima dos 16 Hz – no caso dos comboios

CR



actuais do Ramal da Lousã ver espectros no Apêndice A6. Acresce ao referido o facto dos efeitos das vibrações nas pessoas e nos equipamentos assumirem usualmente especial acuidade apenas para as bandas de frequência acima dos 8 Hz (ver capítulo 8.2 do documento “Federal Transit Administration (USA) – *Transit noise and vibration impact assessment*. 2006”), e a atenuação com a distância ser tipicamente superior nas proximidades da linha, onde prevalecem os valores superiores a 0.100 mm/s, mesmo para as bandas de frequência inferiores a 16 Hz, como se ilustra no caso do par de medição P26/P27.

Apresentam-se, no Quadro 6, os valores obtidos para os 14 pares de medição (medições em simultâneo) realizados, e as constantes de atenuação com a distância (k) resultantes, conforme estabelecido no Apêndice A5.

Quadro 6 – Constantes de atenuação com a distância

Pares de medição		Fonte de vibração considerada	d_1 [m]	d_2 [m]	Gama 16 a 250 Hz		k
					V_{ef1} [mm/s]	V_{ef2} [mm/s]	
P01	P02	Ramal ferroviário da Lousã	18	42	0.056	0.035	-0.6
P04	P05	Ramal ferroviário da Lousã	17	45	0.019	0.015	-0.2
P06	P07	Rua D. João III	15	25	0.006	0.005	-0.4
P08	P09	Rua Jorge Anjinho	10	102	0.029	0.006	-0.7
P09	P10	Calçada (Trânsito condicionado)	5	7	0,013	0,010	-0.8
P11	P12	Rua General Humberto Delgado	27	32	0.008	0.007	-0.8
P13	P14	Rua General Humberto Delgado	18	38	0.012	0.004	-1.5



Quadro 6 – Constantes de atenuação com a distância

Pares de medição		Fonte de vibração considerada	d_1 [m]	d_2 [m]	Gama 16 a 250 Hz		k
					V_{ef1} [mm/s]	V_{ef2} [mm/s]	
P15	P16	Rua General Humberto Delgado	17	30	0.006	0.003	-1.2
P17	P18	Rotunda	16	27	0.011	0.005	-1.5
P19	P21	Av. Fernando Namora	37	31	0.002	0.003	-2.3
P23	P24	Rotunda	17	27	0.005	0.004	-0.5
P25	P26	Ramal ferroviário da Lousã	83	13	0.011	0.175	-1.5
P26	P27	Ramal ferroviário da Lousã	13	17	0.140* 0.175	0.039* 0.039	-4.8* -5.6
P28	P29	Ramal ferroviário da Lousã	17	12	0.016	0.099	-5.2
Valor máximo							-0.2
Valor mediano							-1.2
Valor mínimo							-5.6

* Gama 1 Hz a 80 Hz.

CR



6 Prospectivas

O presente capítulo dá conta da prospectiva das velocidades eficazes de vibração globais, associados à exploração da Variante da Solum, tendo em conta dados de emissão vibrátil julgados adequados e as funções de transferência obtidas *in situ*.

6.1 Emissão vibrátil

Para definição da emissão vibrátil da Variante da Solum, afigura-se adequado recorrer aos dados de emissão sonora disponíveis na bibliografia da especialidade e a dados obtidos *in situ*, junto a empreendimentos semelhantes ao Sistema de Mobilidade do Mondego.

De acordo com a Figura 10.1 do documento “Federal Transit Administration (USA) – *Transit noise and vibration impact assessment*. 2006”, podemos escrever (com a devida transformação de unidades; ver capítulo 2.1.1 para a transformação de VdB em mm/s):

- Veículos com pneus:
 - o Velocidade de circulação de referência:
 - 48 km/h
 - o Distância de referência:
 - 6 m.
 - o Velocidade eficaz de referência:
 - 0.101 mm/s.

CR



- Trânsito rápido ou Comboios ligeiros:
 - o Velocidade de circulação de referência:
 - 80 km/h
 - o Distância de referência:
 - 6 m.
 - o Velocidade eficaz de referência:
 - 0.226 mm/s.
- Locomotivas de passageiros ou de mercadorias:
 - o Velocidade de circulação de referência:
 - 80 km/h
 - o Distância de referência:
 - 6 m.
 - o Velocidade eficaz de referência:
 - 0.901 mm/s.

De acordo com o documento “Suhairry, Sinan AL – *Prediction of Ground Vibration From Railways*. Swedish National Testing and Research Institute, 2000”, podemos escrever:

- Comboio de Alta Velocidade X2000:
 - o Velocidade de circulação de referência:
 - 70 km/h

CR



- o Distância de referência:
 - 20 m.
- o Velocidade eficaz de referência:
 - 0.034 mm/s.
- Comboio Intercidades:
 - o Velocidade de circulação de referência:
 - 70 km/h
 - o Distância de referência:
 - 20 m.
 - o Velocidade eficaz de referência:
 - 0.032 mm/s.
- Comboio de Mercadorias:
 - o Velocidade de circulação de referência:
 - 70 km/h
 - o Distância de referência:
 - 20 m.
 - o Velocidade eficaz de referência:
 - 0.047 mm/s.

De acordo com medições *in situ* efectuadas junto ao Metro Ligeiro do Porto, podemos escrever:



- Metro Ligeiro:
 - o Velocidade de circulação de referência:
 - 50 km/h
 - o Distância de referência:
 - 3 m.
 - o Velocidade eficaz de referência:
 - 0.200 mm/s.

Para que todos os valores sejam comparáveis, substitui-se os mesmos na expressão (1) do Apêndice A5, e calculam-se as respectivas velocidades eficazes de vibração para os originais valores de referência, 20 metros e 70 km/h, considerando o valor mediano original de $k = -0.7$ (ver “Suhairy, Sinan AL – *Prediction of Ground Vibration From Railways*. Swedish National Testing and Research Institute, 2000”). Os resultados obtidos estão apresentados no Quadro 7.

Quadro 7 – Velocidades eficazes de vibração de referência

Base	Tipo de fonte de vibração	v_{ef} [mm/s] (a 20 m de distância para uma velocidade de circulação de 70 km/h)
Federal Transit Administration (USA) – Transit noise and vibration impact assessment. 2006	Veículos com pneus	0,061
	Trânsito rápido e Comboios Ligeiros	0,086
	Locomotivas de passageiros ou de mercadorias	0,344
Suhairy, Sinan AL – Prediction of Ground Vibration From Railways. Swedish National Testing and Research Institute, 2000	Comboio de Alta Velocidade X2000	0,034
	Comboio Intercidades	0.032
	Comboio de Mercadorias	0.047
Medições Metro do Porto	Metro Ligeiro	0,072

CR



Dada a discrepância de valores, afigura-se adequado assumir, como valor de referência o valor de 0.200 mm/s, obtido a 3 metros do Metro Ligeiro do Porto, para uma velocidade de circulação de 50 km/h, o qual se encontra assim entre os valores veiculados pelas duas referências base utilizadas.

6.2 Propagação e Recepção vibrátil

Apresentam-se, nos gráficos seguintes, os resultados da expressão (1) do Apêndice A5 para as diferentes velocidades de circulação previstas para a Variante da Solum, para diferentes distâncias à via, para os valores k máximo, mediano e mínimo obtidos nas medições *in situ* (ver capítulo 5.3.2), e para a velocidade eficaz de vibração de referência considerada.

Nos Desenhos C em Apêndice, são apresentadas as velocidades de circulação previstas para cada secção da Variante da Solum e as Isolinhas da Vibração Particular de 0.100 mm/s (limite para habitações e escolas em termos de percepção da vibração), 0.030 mm/s (limite para habitações e escolas em termos de percepção do ruído estrutural, e limite para interferência com equipamentos dado o valor mínimo da vibração de fundo) e 0.008 mm/s (limite para estúdios de televisão em termos de percepção do ruído estrutural; apenas se apresenta esta isolinha na zona da Escola Superior de Educação), em conformidade com os resultados dos gráficos seguintes.

Afigura-se que os valores determinados para as constantes de atenuação máxima e mínima ($k = -0.2$ e $k = -5.6$) têm pouca probabilidade de ocorrência em termos globais, devendo apenas influenciar a definição dos pontos de monitorização. Assim, a maior probabilidade de ocorrência em termos globais recai sobre os valores determinados para a constante de atenuação mediana ($k = -1.2$), o quais devem assim

CR

não só influenciar a definição dos pontos de monitorização mas também as Medidas de Redução de Vibração.

Não se apresentam cálculos para distâncias superiores a 100 metros, pois os mesmos, para as isolinhas de interesse, apenas estão associados ao pouco provável $k = -0.2$.

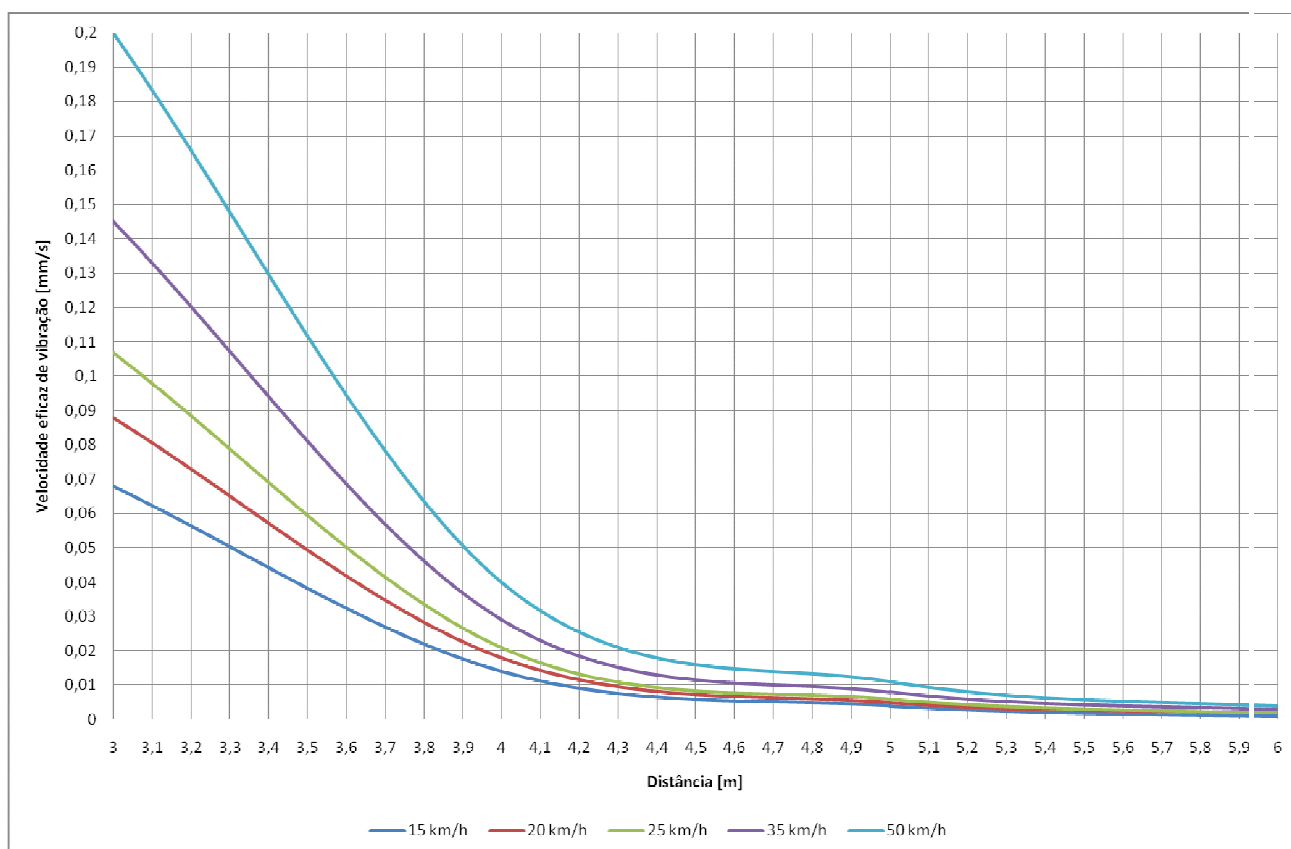


Figura 1 – Atenuação da velocidade eficazes de vibração com a distância ($k = -5.6$), para as velocidades de circulação (c) previstas

De acordo com o gráfico anterior podemos definir as seguintes isolinhas:

- $v_{ef} = 0.100$ mm/s e $c = 15$ km/h $\rightarrow d = 0$ m.
- $v_{ef} = 0.100$ mm/s e $c = 20$ km/h $\rightarrow d = 0$ m.



- $v_{ef} = 0.100 \text{ mm/s}$ e $c = 25 \text{ km/h} \rightarrow d = 3.1 \text{ m.}$
- $v_{ef} = 0.100 \text{ mm/s}$ e $c = 35 \text{ km/h} \rightarrow d = 3.4 \text{ m.}$
- $v_{ef} = 0.100 \text{ mm/s}$ e $c = 50 \text{ km/h} \rightarrow d = 3.6 \text{ m.}$
- $v_{ef} = 0.030 \text{ mm/s}$ e $c = 15 \text{ km/h} \rightarrow d = 3.6 \text{ m.}$
- $v_{ef} = 0.030 \text{ mm/s}$ e $c = 20 \text{ km/h} \rightarrow d = 3.8 \text{ m.}$
- $v_{ef} = 0.030 \text{ mm/s}$ e $c = 25 \text{ km/h} \rightarrow d = 3.9 \text{ m.}$
- $v_{ef} = 0.030 \text{ mm/s}$ e $c = 35 \text{ km/h} \rightarrow d = 4 \text{ m.}$
- $v_{ef} = 0.030 \text{ mm/s}$ e $c = 50 \text{ km/h} \rightarrow d = 4.1 \text{ m.}$
- $v_{ef} = 0.008 \text{ mm/s}$ e $c = 15 \text{ km/h} \rightarrow d = 4.5 \text{ m.}$
- $v_{ef} = 0.008 \text{ mm/s}$ e $c = 50 \text{ km/h} \rightarrow d = 5.5 \text{ m.}$

CR

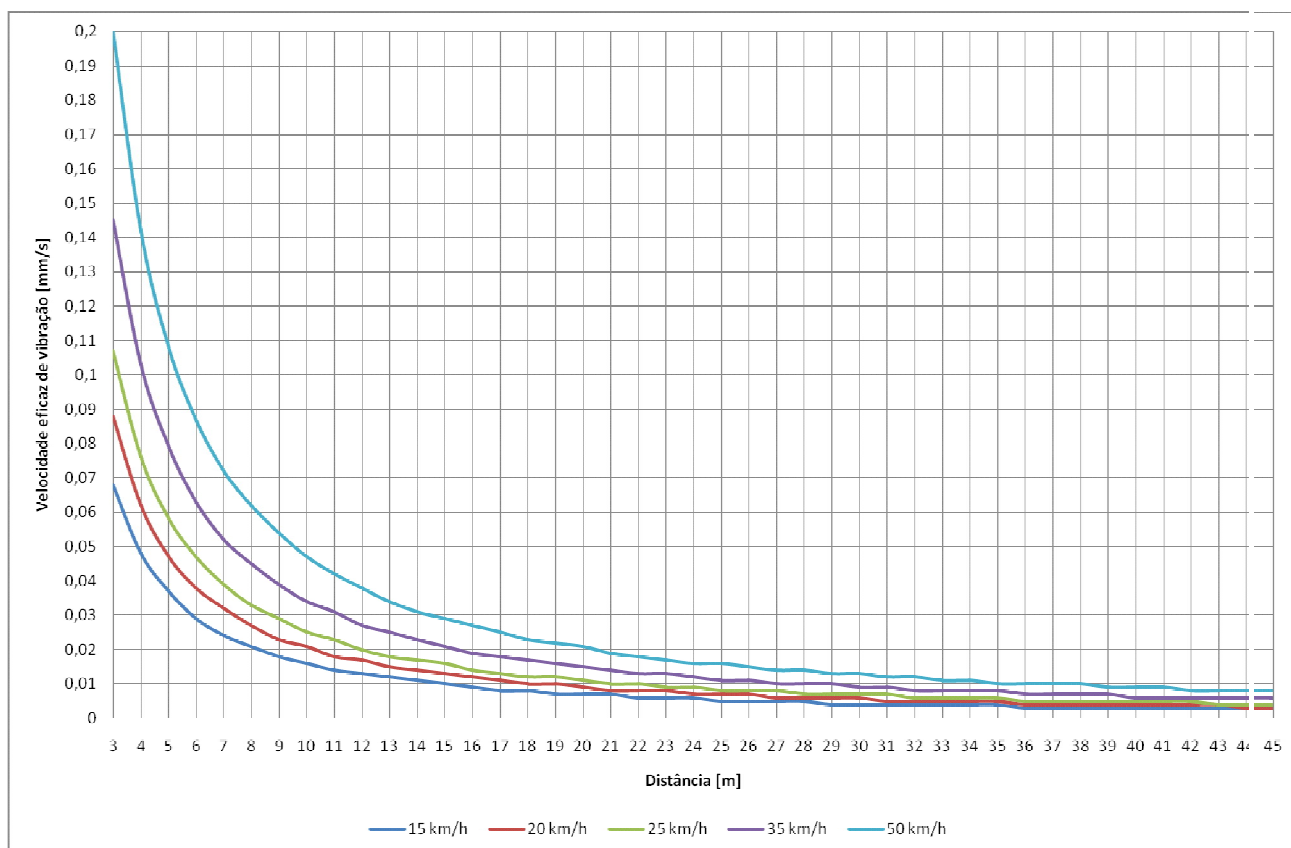


Figura 2 – Atenuação da velocidade eficazes de vibração com a distância ($k = -1.2$), para as velocidades de circulação (c) previstas

De acordo com o gráfico anterior podemos definir as seguintes isolinhas:

- $v_{ef} = 0.100 \text{ mm/s}$ e $c = 15 \text{ km/h} \rightarrow d = 0 \text{ m}$.
- $v_{ef} = 0.100 \text{ mm/s}$ e $c = 20 \text{ km/h} \rightarrow d = 0 \text{ m}$.
- $v_{ef} = 0.100 \text{ mm/s}$ e $c = 25 \text{ km/h} \rightarrow d = 3.5 \text{ m}$.
- $v_{ef} = 0.100 \text{ mm/s}$ e $c = 35 \text{ km/h} \rightarrow d = 4 \text{ m}$.
- $v_{ef} = 0.100 \text{ mm/s}$ e $c = 50 \text{ km/h} \rightarrow d = 5.5 \text{ m}$.
- $v_{ef} = 0.030 \text{ mm/s}$ e $c = 15 \text{ km/h} \rightarrow d = 6 \text{ m}$.

- $v_{ef} = 0.030 \text{ mm/s}$ e $c = 20 \text{ km/h} \rightarrow d = 7.5 \text{ m}$
- $v_{ef} = 0.030 \text{ mm/s}$ e $c = 25 \text{ km/h} \rightarrow d = 9 \text{ m}$.
- $v_{ef} = 0.030 \text{ mm/s}$ e $c = 35 \text{ km/h} \rightarrow d = 11 \text{ m}$.
- $v_{ef} = 0.030 \text{ mm/s}$ e $c = 50 \text{ km/h} \rightarrow d = 14 \text{ m}$.
- $v_{ef} = 0.008 \text{ mm/s}$ e $c = 15 \text{ km/h} \rightarrow d = 17 \text{ m}$.
- $v_{ef} = 0.008 \text{ mm/s}$ e $c = 50 \text{ km/h} \rightarrow d = 42 \text{ m}$.

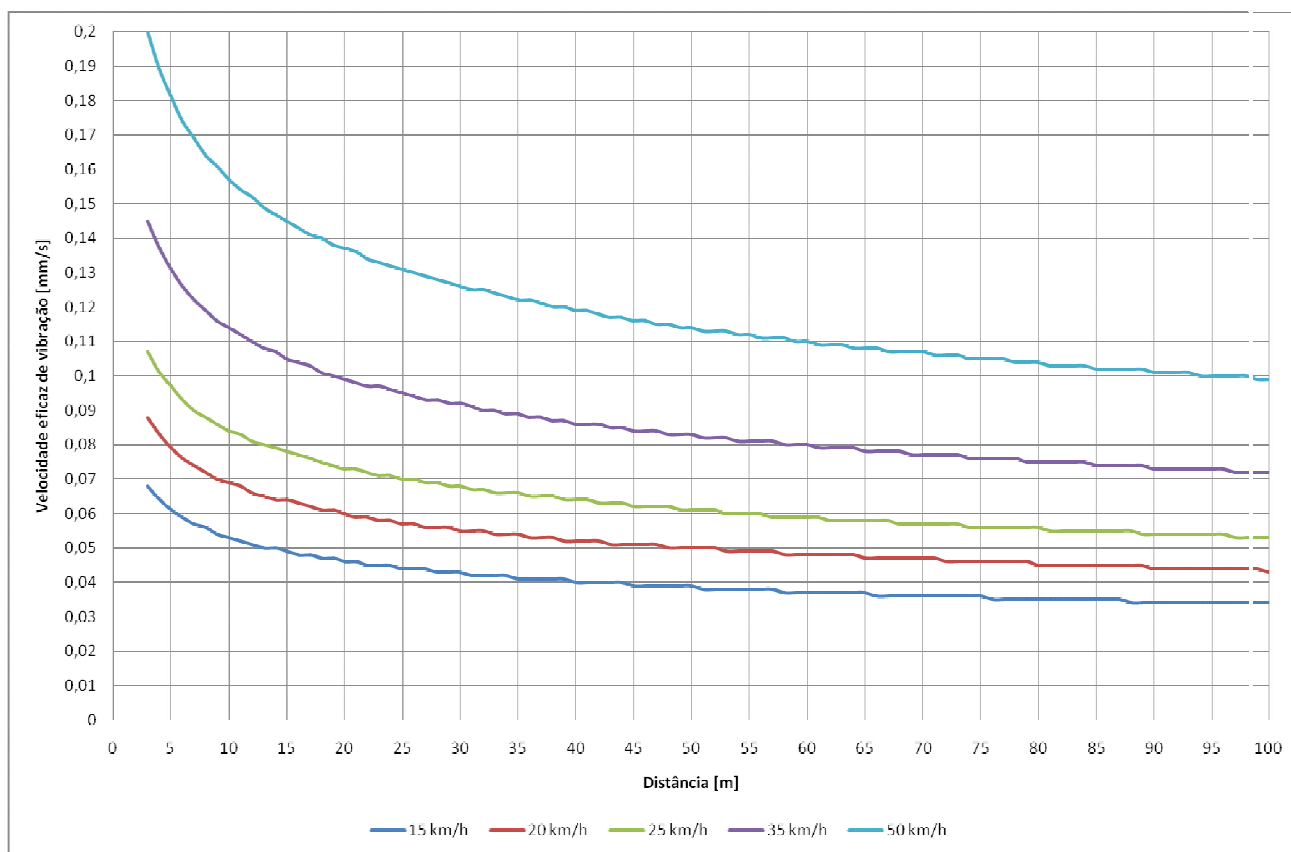


Figura 3 – Atenuação da velocidade eficazes de vibração com a distância ($k = -0.2$), para as velocidades de circulação (c) previstas

De acordo com o gráfico anterior podemos definir as seguintes isolinhas:



- $v_{ef} = 0.100 \text{ mm/s}$ e $c = 15 \text{ km/h} \rightarrow d = 0 \text{ m}$.
- $v_{ef} = 0.100 \text{ mm/s}$ e $c = 20 \text{ km/h} \rightarrow d = 0 \text{ m}$
- $v_{ef} = 0.100 \text{ mm/s}$ e $c = 25 \text{ km/h} \rightarrow d = 5 \text{ m}$.
- $v_{ef} = 0.100 \text{ mm/s}$ e $c = 35 \text{ km/h} \rightarrow d = 20 \text{ m}$.
- $v_{ef} = 0.100 \text{ mm/s}$ e $c = 50 \text{ km/h} \rightarrow d = 100 \text{ m}$.
- $v_{ef} = 0.030 \text{ mm/s}$ e $c = 15 \text{ km/h} \rightarrow d > 100 \text{ m}$.
- $v_{ef} = 0.030 \text{ mm/s}$ e $c = 20 \text{ km/h} \rightarrow d > 100 \text{ m}$.
- $v_{ef} = 0.030 \text{ mm/s}$ e $c = 25 \text{ km/h} \rightarrow d > 100 \text{ m}$.
- $v_{ef} = 0.030 \text{ mm/s}$ e $c = 35 \text{ km/h} \rightarrow d > 100 \text{ m}$.
- $v_{ef} = 0.030 \text{ mm/s}$ e $c = 50 \text{ km/h} \rightarrow d > 100 \text{ m}$.
- $v_{ef} = 0.008 \text{ mm/s}$ e $c = 15 \text{ km/h} \rightarrow d > 100 \text{ m}$.
- $v_{ef} = 0.008 \text{ mm/s}$ e $c = 50 \text{ km/h} \rightarrow d > 100 \text{ m}$.

6.3 Edifícios afectados

De acordo com o referido anteriormente e de acordo com os Desenhos C, são os seguintes os Edifícios com maior probabilidade de afectação:

- E02 e E03:
 - o Prevêm-se valores superiores a 0.030 mm/s .

CR



- E04 e E05:
 - o Prevêm-se valores superiores a 0.100 mm/s. Como se prevê a demolição do E05, apenas se preconizam medidas para o E04.
- E06:
 - o Prevêm-se valores ligeiramente superiores a 0.030 mm/s, contudo, tratando-se de um edifício não habitado, não se recomendará qualquer medida.
- E13 (Clínica Médica):
 - o Prevêm-se valores inferiores a 0.030 mm/s, pelo que apenas se recomenda monitorização, para controlo de eventuais equipamentos sensíveis à vibração.
- E23:
 - o Prevêm-se valores superiores a 0.008 mm/s mas inferiores a 0.030 mm/s. De acordo com a informação disponível (<https://www1.esec.pt/pagina.php?id=62>) o Estúdio de Televisão encontra-se para além da isolinha dos 0.008 mm/s, pelo que não se recomendará qualquer medida.
- E24 e E29:
 - o Prevêm-se valores superiores a 0.030 mm/s.
- E38:
 - o Prevêm-se valores ligeiramente superiores a 0.030 mm/s.

CR



- E41 (Clínica Veterinária):
 - o Prevêm-se valores inferiores a 0.030 mm/s, pelo que apenas se recomenda monitorização, para controlo de eventuais equipamentos sensíveis à vibração.
- E49:
 - o Prevêm-se valores ligeiramente superiores a 0.030 mm/s.
- E52, E55, E57 e E58:
 - o Prevêm-se valores superiores a 0.030 mm/s e próximos de 0.100 mm/s.

CR



7 Medidas de Redução de Vibração

As Medidas de Redução de Vibração podem passar pelas seguintes medidas:

- Interposição de materiais resilientes entre a estrutura ferroviária e o solo:
 - o De acordo com a informação constante no capítulo 11.5 do documento “Federal Transit Administration (USA) – *Transit noise and vibration impact assessment*. 2006”, as atenuações típicas vão até aos 10 dB (uma atenuação de cerca de 1/3 para as velocidades eficazes de vibração), podendo chegar aos 15 dB (uma atenuação de cerca de 1/5 para as velocidades eficazes de vibração) no caso de manta sob todo o sistema. Nestas circunstâncias, e tendo como objectivo principal a não ultrapassagem de uma velocidade eficaz de vibração de 0.03 mm/s, verifica-se que a interposição de material resiliente apenas é adequada, em casos típicos, quando a velocidade eficaz de vibração prevista, sem medidas, é menor do que 0.090 mm/s, ou, em casos de possibilidade de implementação de manta, menor do que 0.150 mm/s.
- Redução da velocidade de circulação das composições:
 - o A implementação desta medida apenas deverá ocorrer quando não for viável ou eficaz a interposição de material resiliente e não haja uma grande interferência com o perfil de velocidades de circulação prevista.

De acordo com o gráfico da Figura 2, verifica-se que apenas se estimam velocidades eficazes de vibração superiores a 0.090 mm/s, para as velocidades de circulação das composições de 25 km/h, 35 km/h e 50 km/h, e velocidades eficazes de vibração



superiores a 0.150 mm/s, para a velocidade de circulação das composições de 50 km/h, sendo as distâncias associadas aos dois valores limite referidos anteriormente as seguintes:

- 25 km/h:
 - o $v_{ef} = 0.090 \text{ mm/s} \rightarrow d = 3.5 \text{ m.}$
 - Não foi identificado qualquer edifício entre a linha e esta distância, para esta secção de velocidade.
- 35 km/h:
 - o $v_{ef} = 0.090 \text{ mm/s} \rightarrow d = 4.5 \text{ m.}$
 - Não foi identificado qualquer edifício entre a linha e esta distância, para esta secção de velocidade.
- 50 km/h:
 - o $v_{ef} = 0.090 \text{ mm/s} \rightarrow d = 6 \text{ m.}$
 - Apenas os edifícios E04 e E05 (a ser demolido) se encontram neste caso.
 - o $v_{ef} = 0.150 \text{ mm/s} \rightarrow d = 4 \text{ m.}$
 - Apenas os edifícios E04 e E05 (a ser demolido) se encontram neste caso.

Face ao enunciado preconizam-se as seguintes Medidas de Redução de Vibração para os seguintes casos:

- Interposição de materiais resilientes entre a estrutura ferroviária e o solo, com

CR



uma eficácia na redução de vibração de pelo menos 10 dB, pelo menos nos seguintes kms da Variante da Solum:

- o km 0+000 a km 0+174.
 - o km 0+684 a km 0+775.
 - o km 0+885 a km 1+055.
 - o km 1+225 a km 1+265.
 - o km 1+625 a km 1+665.
 - o km 1+715 a km 1+760.
 - o km 1+800 até ao fim da Variante da Solum.
- Redução da velocidade de circulação das composições:
 - o Dado que a atenuação de 10 dB não é suficiente para reduzir a velocidade eficaz de vibração no E04, para valores inferiores a 0.030 mm/s, recomenda-se a criação de uma nova secção de velocidade de circulação, correspondente a 30 km/h, entre o km 0+125 e o km 0+174.

De salientar que o Projecto da Variante da Solum já prevê a interposição de material resiliente (carril embebido) em toda a Variante da Solum, contudo com eficácia na redução de vibração previsivelmente inferior a 10 dB. Nestas circunstâncias recomenda-se que, pelo menos nos quilómetros indicados anteriormente, seja substituída a solução prevista por solução mais eficaz nas frequências de interesse (eficácia na redução de vibração de pelo menos 10 dB; eficácia de pelo menos 1/3 para a velocidade eficaz de vibração). De referir a título de exemplo a solução CDM PREFARAIL COMFORT (frequência de ressonância aos 37 Hz de acordo com o fabricante; ver <http://www.cdm.be/documents/pdfs/cdm-iso-prefarail.pdf>), indicada

CR



para Metro Ligeiro e instalada com sucesso no Metro de Atenas (ver “Vogiatzis, C. E. – *Vibration & Ground Borne Noise Mitigation Measures at Athens Tramway – The Prefarail-Confort® Embedded Track & CDM-DFMA-L10® Floating Slab-Track Vibration Isolation Solution*. 9th International Conference on Environmental Science and Technology, Rhodes Island, Greece, 2005”; resultados de 0,010 mm/s a 12.5 m de distância da linha na Banda principal dos 63 Hz). Para Metro Ligeiro é expectável que a energia da vibração produzida se concentre acima dos 40 Hz, pelo que se considera adequada esta solução para a Variante da Solum, contudo salienta-se que caso venham existir previsões – não disponíveis actualmente – de que o tipo de composição que será implementado na Variante da Solum possua um espectro de emissão com componentes não desprezáveis abaixo dos 40 Hz, esta solução de carril embebido – incluindo a já prevista originalmente no Projecto – deverá ser substituída por solução com frequência de ressonância inferior (idealmente abaixo dos 16 Hz), caso contrário, em vez de ocorrer uma diminuição da vibração poderá ocorrer um aumento.

Apresentam-se nos Desenhos D, em Apêndice, os kms onde é necessário implementar as Medidas de Redução de Vibração complementares às já previstas no Projecto, e as isolinhas ajustadas às Medidas de Redução de Vibração em causa.

CR



8 Plano de Monitorização

Dadas as incertezas associadas às previsões e aos próprios critérios de limitação, julga-se adequado definir um Plano de Monitorização, para a componente vibração, direccionado para a exploração da Variante da Solum, em conformidade com o estabelecido na Portaria n.º 330/2001, de 2 de Abril.

O Plano de Monitorização que se propõe, tem como objectivo informar sobre as velocidades eficazes de vibração em locais julgados pertinentes – numa lógica de proporcionalidade com as dimensões e características do projecto, como é referido na secção VI do n.º 3 do Anexo II da Portaria n.º 330/2001, de 2 de Abril – de forma a verificar se são cumpridos os requisitos estabelecidos, qual a eficácia das medidas implementadas, se é necessário complementar essas medidas e qual o grau de incerteza inerente às técnicas de predição. Pretende-se ainda obter informação relativamente ao ruído estrutural, a outros efeitos associados e à sensibilidade das pessoas relativamente à Variante da Solum.

São indicados os locais de monitorização, os parâmetros a serem monitorizados, a periodicidade da monitorização, os meios necessários, condições a que deverão obedecer as medições e indicação da metodologia de análise e tratamento dos resultados das medições.

8.1 Locais e periodicidade da monitorização

Vamos distinguir 4 tipos de abordagem para a monitorização:

1. Medições de vibração.

CR



2. Auscultação da sensibilidade das pessoas relativamente aos efeitos vibráticos da Variante da Solum.
3. Medições de ruído.
4. Anotações de efeitos associados.

Os locais e periodicidades que se indicam em seguida deverão ser ajustados em função dos dados concretos da monitorização.

8.1.1 Medição de vibração

Recomenda-se a realização de medições de vibração pelo menos na soleira dos edifícios que se encontram dentro de todas as isolinhas dos Desenhos C, ou seja:

- E01, E02, E03, E04, E07, E10, E12, E13 (Clínica), E15, E19, E20, E23, E24, E25, E26, E27, E28, E29, E38, E41 (Clínica), E49, E50, E51, E52, E53, E54, E55, E56, E57, E58 e E59.

Recomenda-se também a realização de medições de vibração no compartimento alegadamente com efeitos vibráticos mais significativos – um por cada uma das fracções em que os inquilinos auscultados referirem efeitos vibráticos significativos devido à Variante da Solum.

As medições de vibração que forem efectuadas em outras eventuais campanhas de monitorização após a 1.^a campanha, deverão procurar caracterizar os locais seleccionados, exactamente nos mesmos pontos em que foram caracterizados na 1.^a campanha, para que seja possível a comparação de resultados.

CR



8.1.2 Auscultação

Caso ocorram medições de vibração na soleira dos edifícios que revelem valores superiores aos valores limite dos requisitos estabelecidos, deverá ser auscultado pelo menos um inquilino por cada uma das fracções dos edifícios em que ocorre tal ultrapassagem.

No caso das escolas, ou outros edifícios em que tal se aplique, deverá ser auscultado o conselho directivo ou similar.

8.1.3 Medição de ruído

Recomenda-se a realização de medições de ruído no compartimento alegadamente com efeitos vibráticos mais significativos – um por cada uma das fracções em que os inquilinos auscultados referirem efeitos vibráticos significativos devido à Variante da Solum.

As medições de ruído que forem efectuadas em outras eventuais campanhas de monitorização após a 1.^a campanha, deverão procurar caracterizar os locais seleccionados, exactamente nos mesmos pontos em que foram caracterizados na 1.^a campanha, para que seja possível a comparação de resultados.

8.1.4 Efeitos associados

As medições de vibração e de ruído no compartimento alegadamente com efeitos vibráticos mais significativos – um por cada uma das fracções em que os inquilinos auscultados referirem efeitos vibráticos significativos devido à Variante da Solum –

CR



devem ser acompanhadas pela anotação de eventuais efeitos claramente ou alegadamente associados à passagem das composições da Variante da Solum, por exemplo:

- Eventuais fissuras no compartimento.
- Eventuais movimentos de objectos à passagem das composições.
- Eventual ressonância sonora de estruturas à passagem das composições.

8.1.5 Periodicidade

A 1.^a campanha de medições deverá ser realizada com a entrada em exploração da Variante da Solum.

A auscultação das pessoas, se necessária, deverá ocorrer pelo menos 1 mês após a entrada em exploração da Variante da Solum.

A periodicidade das restantes campanhas dependerá dos resultados da 1.^a campanha de monitorização:

1. Caso não exista cumprimento dos requisitos estabelecidos ou caso seja possível demonstrar objectivamente efeitos vibráticos significativos em algum compartimento, deverão ser definidas Medidas de Condicionamento em conformidade com os efeitos em causa. Após a implementação das Medidas de Condicionamento deverá ser efectuada uma nova campanha nos compartimentos em causa, para confirmação da adequação das medidas implementadas, efectuando novas auscultações, novas medições de vibração, novas medições de ruído e novas anotações de efeitos associados.

CR



2. Caso exista cumprimento dos requisitos estabelecidos em todos os locais monitorizados na 1.^a campanha, ou caso seja possível demonstrar objectivamente efeitos vibráticos não significativos, ou após a confirmação da adequação das eventuais medidas complementares implementadas, recomenda-se a realização de novas campanhas de medições na soleira de alguns edifícios, de 5 em 5 anos. Os resultados dessas campanhas determinarão a necessidade ou desnecessidade de mais campanhas, sendo aconselhável pelo menos a realização de uma campanha 5 anos após a 1.^a campanha.

Apontam-se, à partida, os seguintes edifícios onde deverão ser efectuadas medições de vibração na soleira de 5 em 5 anos:

- E02, E04, E012, E19, E23, E24, E29, E38, E46, E49, E52 e E58.

3. Caso ocorram modificações significativas das características de emissão, propagação ou recepção sonora, deverá ser revisto o Plano de Monitorização.
4. Caso existam reclamações, deverão ser efectuadas auscultações, medições e anotações no interior do compartimento em causa, em condições idênticas às que geraram a reclamação. No caso de eventuais reclamações devido a interferência com equipamentos, deverá ser solicitada informação relativamente aos valores limite de vibração – idealmente em bandas de frequência – recomendados pelo fabricante.

CR



8.2 Parâmetros a caracterizar

Para a realização do Plano de Monitorização proposto, dever-se-á caracterizar os seguintes parâmetros físicos, sem prejuízo de outros que se verifiquem necessários:

- Medições de vibração:
 - o Velocidade eficaz de vibração (v_{ef}), de segundo a segundo, nas bandas de 1/3 de oitava de 1 Hz a 500 Hz, à passagem das composições, e na ausência da passagem das composições.
 - o Deverão ser registadas pelo menos 5 passagens representativas de cada tipo de comboio. Se as diferenças obtidas nas medições no mesmo ponto para o mesmo tipo de comboio forem superiores a $\pm 25\%$, deverão ser realizadas novas medições, conforme estabelecido no ponto 7.3 da norma ISO 14837-1, de 2005.
- Medições de ruído:
 - o Nível Sonoro Contínuo Equivalente, Ponderado A ($L_{Aeq,T}$), de segundo a segundo, nas bandas de 1/3 de oitava de 12.5 Hz a 12.5 kHz, à passagem das composições, e na ausência da passagem das composições.
 - o Nível de Avaliação (L_A), nas mesmas condições referidas anteriormente;
 - o Deverão ser registadas pelo menos 5 passagens representativas de cada tipo de comboio. Se as diferenças obtidas nas medições no mesmo ponto para o mesmo tipo de comboio forem superiores a ± 2 dB, deverão ser realizadas novas medições, conforme estabelecido no ponto 7.3 da norma ISO 14837-1, de 2005.

CR



- Outros parâmetros:
 - o Velocidade de circulação das composições ferroviárias aquando das medições de vibração e das medições de ruído.
 - o Qualquer outra informação julgada importante deverá ser registada.

Para além dos parâmetros físicos referidos poderá ser necessário efectuar auscultação à sensibilidade das pessoas relativamente aos efeitos vibráticos da Variante da Solum, devendo ser anotados eventuais efeitos associados.

A auscultação deverá ser efectuada através da seguinte pergunta, ou similar:

Quais são para si os efeitos do Metro Ligeiro do Mondego na fracção de que é inquilino, em termos de vibração, ruído e/ou outros efeitos, sendo duas as hipóteses de respostas para cada efeito: efeitos significativos ou efeitos não significativos

Os outros efeitos eventuais deverão ser devidamente anotados.

No interior dos compartimentos onde, eventualmente, for necessário realizar medições de vibração e ruído, deverão ser anotados os efeitos claramente ou alegadamente associados à passagem das composições da Variante da Solum, por exemplo:

- Eventuais fissuras no compartimento.
- Eventuais movimentos de objectos à passagem das composições.
- Eventual ressonância sonora de estruturas à passagem das composições.

CR



8.3 Métodos e equipamentos

A obtenção dos parâmetros referidos no capítulo anterior deverá ser efectuada mediante os seguintes equipamentos, sem prejuízo de outros que possam ser necessários:

- Medições de vibração:
 - o O sistema de medição das vibrações deverá ser adequadamente acoplado à estrutura cuja vibração se pretende medir (ISO 5348, de 1998), verificar as especificações da ISO 8041, de 2005, e ser capaz de medir uma gama de magnitudes e de frequências de vibração suficiente:
 - 5×10^{-4} mm/s a 100 mm/s, no caso de medições de velocidade.
 - 3×10^{-3} mm/s² a 500 mm/s², no caso de medições de aceleração.
 - 1 Hz a 500 Hz.
 - o Poderão ser usados transdutores de deslocamento, de velocidade ou de aceleração, mas os resultados deverão ser expressos em termos de velocidade eficaz de vibração de segundo a segundo, por bandas de 1/3 de oitava (1-80 Hz, 1-200 Hz, 1-500 Hz e 16-250 Hz) para serem comparáveis com os requisitos estabelecidos.
 - o O eixo de maior vibração deverá ser identificado e deverão ser utilizados os valores obtidos segundo esse eixo para avaliação do cumprimento dos requisitos estabelecidos.
- Medições de ruído:

CR



- o Sonómetro integrador de classe 1 (EN 60804, de 2000), com filtros de classe 1 (EN 61260, de 1995), de modelo aprovado pelo IPQ, verificado em conformidade com o regime metrológico aplicável (Portaria n.º 1069/89, de 13 de Dezembro) e capaz de registar os valores de L_{Aeq} de segundo a segundo, em bandas de 1/3 de oitava e simultaneamente com ponderação no tempo *Fast* e *Impulse*.
- Medições da velocidade de circulação das composições:
 - o Velocímetro com incerteza de medição menor ou igual a $\pm 5\%$ do valor medido.

Em todas as medições deverão ser seguidas as melhores regras aplicáveis, tendo por base a normalização em vigor, nomeadamente:

- Improved Methods for the Assessment of the Generic Impact of Noise in the Environment (IMAGINE) – Determination of L_{den} and L_{night} using measurements. 2006
- ISO/DIS 4866 – Mechanical vibration and shock -- Vibration of fixed structures -- Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on structures. 2008.
- ISO 14837-1 – Mechanical vibration: Ground-borne noise and vibration arising from rail systems: Part 1: General guidance. 2005.
- NP 2074 - Acústica – Avaliação da influência em construções de vibrações provocadas por explosões ou situações idênticas. 1983.
- NP 1730-1 – Descrição do Ruído Ambiente: Grandezas Fundamentais e Procedimentos. 1996.

CR



- NP 1730-2 – Descrição do Ruído Ambiente: Recolha de Dados Relevantes para o Uso do Solo. 1996.
- NP 1730-3 – Descrição do Ruído Ambiente: Aplicação aos Limites do Ruído. 1996.
- ISO 1996-1 – Acoustics -- Description, measurement and assessment of environmental noise -- Part 1: Basic quantities and assessment procedures. 2003
- ISO 1996-2 – Acoustics -- Description, measurement and assessment of environmental noise -- Part 2: Determination of environmental noise levels. 2007.
- ISO 2631-1 – Mechanical Vibration and Shock: Evaluation of human exposure to whole-body vibrations: part 1: General requirements. 1997.
- ISO 2631-2 - Mechanical vibration and shock -- Evaluation of human exposure to whole-body vibration -- Part 2: Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz). 2003.

8.4 Critérios de avaliação dos resultados

Os resultados das medições de vibração, deverão ser analisados não só no sentido do cumprimento ou incumprimento dos requisitos estabelecidos e que se resumem em seguida, mas também no sentido de verificar, tão objectivamente quanto possível, se existem efectivamente efeitos vibráticos significativos nos compartimentos.

Igual raciocínio se aplica aos resultados das medições de ruído, podendo ser seguidos como requisitos guia, à passagem das composições, a não ultrapassagem de um

CR



diferencial de 5 dB no período diurno, de 4 dB no período do entardecer, e de 3 dB no período nocturno, em conformidade com o estabelecido no Decreto-Lei n.º 9/2007, de 17 de Janeiro, ainda que não vinculativo para infra-estruturas de transporte, mas adequado para determinação da influência do ruído estrutural.

Caso exista ultrapassagem dos requisitos estabelecidos ou caso seja possível demonstrar objectivamente a existência de efeitos vibráticos significativos no compartimento, devido à Variante da Solum, deverão ser equacionadas Medidas de Condicionamento adequadas e deverá ser revisto o Plano de Monitorização.

Quadro 8 – Limites considerados para a velocidade eficazes de vibração

Tipo de uso	Valores limite para a velocidade eficaz de vibração			
	Percepção da Vibração (1-80 Hz)	Percepção do Ruído Estrutural (16-250 Hz)	Interferência com equipamentos (1-200 Hz)	Danos nos edifícios (1-500 Hz)
Usos muito sensíveis (ex: salas de concerto, estúdios de televisão, estúdios de gravação)	0.045 mm/s	0.008 mm/s	0.030* (em casos específicos ver limite especificado pelos fabricantes, idealmente em função da frequência)	0.800 mm/s**
Usos normais (ex: habitações, escolas)	0,100 mm/s	0.030 mm/s		
Usos menos sensíveis (ex: zona comercial)	0.400 mm/s	0.600 mm/s		

* Valor limite considerado, tendo por base as vibrações ambientes actuais.

** Apresenta-se a título indicativo o limite mínimo, associado à possibilidade de danos em edifícios muito susceptíveis, considerando um factor de crista igual a 4.

8.5 Tratamento dos dados

O tratamento dos dados deverá ser efectuado de forma rigorosa e explícita – tendo por base a normalização aplicável – para que se obtenham resultados credíveis e correlacionáveis com as características intrínsecas e extrínsecas que se pretendem observar. Para além do referido, o tratamento dos dados deverá permitir tirar conclusões sustentadas e despoletar, fundamentadamente e se necessário,

CR



procedimentos correctivos e/ou complementares adequados. Nestas circunstâncias, as medições e o tratamento dos dados, assim como as eventuais revisões do Plano de Monitorização, deverão ser efectuados por técnicos de acústica habilitados para o efeito.

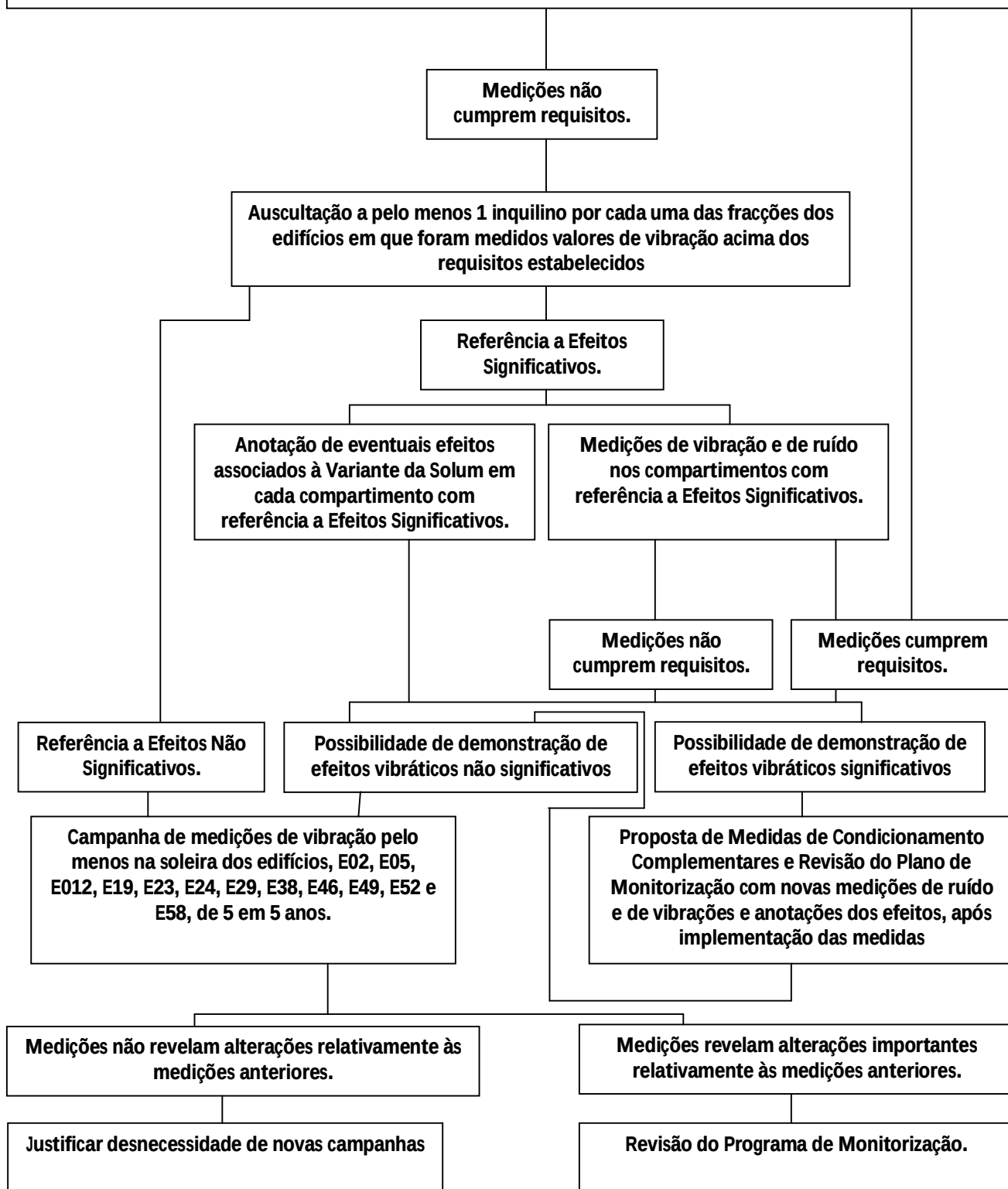
De referir, ainda neste âmbito, que alguns dos pontos de medição estabelecidos neste plano poderão e deverão ser eliminados, substituídos ou complementados com outros pontos, caso os resultados obtidos nas medições *in situ*, ou outros fundamentos, assim o justifiquem, não podendo, contudo, deixar de ser explicitadas e justificadas tais alterações nos respectivos Relatórios de Monitorização. Idêntica abordagem deverão ter as periodicidades, parâmetros, métodos e equipamentos estabelecidos anteriormente.

8.6 Organograma da monitorização

Apresenta-se na figura seguinte o organograma da monitorização preconizada.

CR

Medições de vibração na soleira dos edifícios E01, E02, E03, E04, E07, E10, E12, E13, E15, E19, E20, E23, E24, E25, E26, E27, E28, E29, E38, E41, E49, E50, E51, E52, E53, E54, E55, E56, E57, E58 e E59, com a entrada em funcionamento da Variante da Solum.





8.7 Relatórios a elaborar

Os Relatórios a elaborar, para apresentação à Autoridade de A.I.A., deverão estar em conformidade com o estabelecido no anexo V da Portaria n.º 330/2001, de 2 de Abril e deverão dar conta das eventuais evoluções técnicas que possam ocorrer ao longo da monitorização – não só no que concerne aos equipamentos de medição e metodologias de análise, como também no que concerne às Medidas de Redução de Vibração – e dos benefícios que possam daí advir para as populações vizinhas do empreendimento, assim como se adaptar às possíveis modificações dos requisitos a analisar, quer devido a alterações legislativas, quer devido a alterações vinculativas de outra natureza.

CR



9 Conclusões

De acordo com o Estudo efectuado, prevê-se, nas condições de exploração estabelecidas pelo Projecto de Variante da Solum, a possibilidade de incumprimento dos requisitos estabelecidos – ver capítulo 2.2 – em alguns Edifícios identificados, pelo que se recomendam Medidas de Redução de Vibração complementares às já previstas no Projecto – ver capítulo 7.

Dadas as incertezas das previsões estabeleceu-se a necessidade de implementação de um Plano de Monitorização direccionado – ver capítulo 8.

CR



Bibliografia

- Bernardo, Pedro; Dinis da Gama, Carlos – *Sugestões para melhoria da norma portuguesa de controle de vibrações em construções*. Instituto Superior Técnico.
- Diário da República Portuguesa – D.L. n.º 9/2007, de 17 de Janeiro.
- Diário da República Portuguesa – Portaria n.º 330/2001, de 2 de Abril.
- Federal Transit Administration (USA) – *Transit noise and vibration impact assessment*. 2006.
- Geocontrolo/Ferbritas – *Ramal da Lousã: Variante da Solum: Volume de prospecção geotécnica e ensaios de laboratório*. 2008.
- ISO 14837-1 – *Mechanical vibration: Ground-borne noise and vibration arising from rail systems: Part 1: General guidance*. 2005.
- ISO 2631-1 – *Mechanical Vibration and Shock: Evaluation of human exposure to whole-body vibrations: part 1: General requirements*. 1997.
- ISO 2631-2 – *Evaluation of human exposure to whole-body vibration: Part 2: Continuous and shock-induced vibrations in buildings (1 to 80 Hz)*. 1989.
- ISO 2631-2 – *Mechanical vibration and shock: Evaluation of human exposure to whole-body vibration: Part 2: Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz)*. 2003.
- ISO 5348 – *Mechanical vibration and shock: Mechanical mounting of accelerometers*. 1998.
- ISO 8041 – *Human response to vibration: Measuring instrumentation*. 2005.

CR



- ISO/DIS 4866 – *Mechanical vibration and shock: Vibration of fixed structures: Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on structures*. 2008.
 - Maekawa, Z. e Lord, P. – *Environmental and Architectural Acoustics*, E&FN SPON, 1997. Londres.
 - NP 2074 – *Avaliação da influência em construções provocadas por explosões ou solicitações similares*. 1983.
 - Pierce, Allan D. – *Acoustics, An Introduction to It's Physical Principles and Applications*. 3ª ed. [s.l.]: Acoustical Society of America, 1994. ISBN 0-88318-612-8.
 - Schiappa de Azevedo, Fernando; Patrício, Jorge – *Vibrações ambientes: Critérios de danos e de incomodidade: Actualidades e perspectivas futuras*. TecniAcustica 2001.
 - Suhairy, Sinan AL – *Prediction of Ground Vibration From Railways*. Swedish National Testing and Research Institute, 2000.
- VDI 3837 – *Ground-born vibration in the vicinity of at-grade rail systems: Spectral Prediction Method*. Verein Deutscher Ingenieure, 2006.
- Vogiatzis, C. E. – *Vibration & Ground Borne Noise Mitigation Measures at Athens Tramway – The Prefarail-Confort® Embedded Track & CDM-DFMA-L10® Floating Slab-Track Vibration Isolation Solution*. 9th International Conference on Environmental Science and Technology, Rhodes Island, Greece, 2005.



APÊNDICES

- A1. Dados geotécnicos
- A2. Peças Desenhadas
- A3. Ficha de calibração do Vibrómetro SVAN 946A
- A4. Ficha de calibração do Vibrómetro SVAN 958
- A5. Funções de Transferência da Vibração e Fórmulas de Cálculo Prospectivo
- A6. Espectros das medições com comboios
- A7. Equipa



A1. DADOS GEOTÉCNICOS

OR



De acordo com o documento “Geocontrolo/Ferbritas – *Ramal da Lousã: Variante da Solum: Volume de prospecção geotécnica e ensaios de laboratório*. 2008.”, verifica-se que as características litológicas da zona em apreço correspondem na sua maioria a areias ou argilas silto-arenosas, sendo de destacar a existência de um aterro na zona dos seguintes Edifícios (ver Desenhos A):

1. E10 e E13, sob a Praça 25 de Abril e sob a Rua D. João III.
2. E29, sob a Rua General Humberto Delgado.
3. E36, E38 e E41, sob a Av. Fernando Namora.

e a existência de xistos, a partir dos 15 metros de profundidade, na zona dos Edifícios E36, E38 e E41.

Foi controlada a constante de atenuação com a distância nestas zonas, respectivamente através dos seguintes pares de medição (ver Quadro 6):

1. P6 e P7.
2. P15 e P16.
3. P19 e P21.



A2. PEÇAS DESENHADAS

Desenho A1. Localização dos Edifício Identificados (Poente; 1:2000)

Desenho A2. Localização dos Edifício Identificados (Nascente; 1:2000)

Desenho B1. Localização dos Pontos de Medição e das principais fontes actuais de vibração ambiente (Poente; 1:2000)

Desenho B2. Localização dos Pontos de Medição e das principais fontes actuais de vibração ambiente (Nascente; 1:2000)

Desenho C1. Isolinhas da Vibração Particular futura e Edifícios afectados (Poente; 1:2000)

Desenho C2. Isolinhas da Vibração Particular futura e edifícios afectados (Nascente; 1:2000)

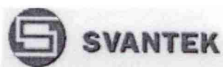
Desenho D1. Localização das Medidas de Redução de Vibração preconizadas e Isolinhas resultantes (Poente; 1:2000)

Desenho D2. Localização das Medidas de Redução de Vibração preconizadas e Isolinhas resultantes (Nascente; 1:2000)



A3. FICHA DE CALIBRAÇÃO DO VIBRÓMETRO SVAN 946A

(2 páginas)



ISO9001 certified

FACTORY CALIBRATION DATA OF THE SVAN 946A nr.: 9602

1. CALIBRATION (electrical)

LEVEL METER; Range: 145dB; Filter: HP10; $f_{\text{sin}}=79,6\text{Hz}$

Input $_{\text{sin}}$ [dB]	Indication [dB]	Error [dB]
140.0 (10.0m/s ²)	140.0	0.0

LEVEL METER; Range: 170dB; Filter: HP10; $f_{\text{sin}}=79,6\text{Hz}$

Input $_{\text{sin}}$ [dB]	Indication [dB]	Error [dB]
170.0 (316m/s ²)	170.0	0.0

2. CALIBRATION (vibrational)

LEVEL METER; Range: 145dB; Input signal: 120dB; Calibration factor: -0.2dB

Characteristic	Reference frequency [Hz]	Correct value [dB]	Indication [dB]	Error [dB]
HP1	79,6	120.0	120.0	0.0
HP10	79,6	120.0	120.0	0.0
W-Bxy	7,96	108.1	108.0	-0.1
W-Bc	7,96	115.3	115.2	-0.1
H-A	79,6	106.1	106.0	-0.1

Calibration measured with the accelerometer DYTRAN type 3187D No. 2327.

3. LINEARITY TEST (electrical)

LEVEL METER; Range: 145 dB; Filter: HP10; $f_{\text{sin}}=80\text{Hz}$

Input (Total RMS) [dB]	65.0	70.0	80.0	90.0	100.0	110.0	120.0	130.0	140.0	150.0	154.0
Error [dB]	-0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

LEVEL METER; Range: 170 dB; Filter: HP10; $f_{\text{sin}}=80\text{Hz}$

Input (Total RMS) [dB]	85.0	90.0	100.0	110.0	120.0	130.0	140.0	150.0	160.0	170.0	175.0
Error [dB]	-0.3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

1/3 OCTAVE (80Hz); Range: 170 dB; $f_{\text{sin}}=80\text{Hz}$

Input [dB]	75.0	80.0	90.0	100.0	110.0	120.0	130.0	140.0	150.0	160.0	170.0	175.0
Error [dB]	-0.2	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

4. RMS DETECTOR ACCURACY

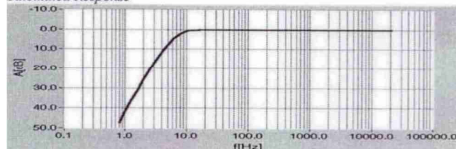
LEVEL METER; Range: 170 dB; Input signal =140dB; RMS detector: Impulse

Crest factor	≤ 3	≤ 5	≤ 10
Max Error [dB]	0.0	0.0	0.0

5. FREQUENCY RESPONSE (electrical)

LEVEL METER; Filter: HP10; Range: 170 dB; Input signal =175 dB;

Calculated Response



Measured Response (f-frequency, A-attenuation)

f [Hz]	A [dB]	f [Hz]	A [dB]	f [Hz]	A [dB]	f [Hz]	A [dB]	f [Hz]	A [dB]
0.8	47.3	6.3	4.4	50	0.0	400	0.0	3150	0.0
1	41.6	8	2.1	63	0.0	500	0.0	4000	0.0
1.25	36.1	10	0.8	80	0.0	630	0.0	5000	0.0
1.6	30.7	12.5	0.3	100	0.0	800	0.0	6300	0.0
2	25.6	16	0.0	125	0.0	1000	0.0	8000	0.0
2.5	20.6	20	0.0	160	0.0	1250	0.0	10000	0.1
3.15	16.0	25	0.0	200	0.0	1600	0.0	12500	0.1
4	11.6	31.5	0.0	250	0.0	2000	0.0	16000	0.0
5	7.6	40	0.0	315	0.0	2500	0.0	20000	0.0

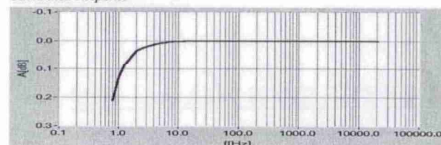
All frequencies are nominal center values for the 1/3 octave bands

DR



1/3 OCTAVE; Filter: HP; Range: 170 dB; input=175 dB;

Calculated Response



Measured Response (f-frequency, A-attenuation)

f [Hz]	A [dB]	f [Hz]	A [dB]	f [Hz]	A [dB]	f [Hz]	A [dB]
0.8	0.2	6.3	0.0	50	0.0	400	0.0
1	0.1	8	0.0	63	0.0	500	0.0
1.25	0.1	10	0.0	80	0.0	630	0.0
1.6	0.1	12.5	0.0	100	0.0	800	0.0
2	0.0	16	0.0	125	0.0	1000	0.0
2.5	0.0	20	0.0	160	0.0	1250	0.1
3.15	0.0	25	0.0	200	0.0	1600	0.0
4	0.0	31.5	0.0	250	0.0	2000	0.0
5	0.0	40	0.0	315	0.0	2500	0.0

All frequencies are nominal center values for the 1/3 octave bands

6. INTERNAL NOISE LEVEL (electrical)

LEVEL METER func.: Range: 145 dB; Back-light – off

Characteristic	HP1	HP10	WBx-y	WBc	H-A
Indication [dB]	35.0	35.0	41.7	41.6	38.1

ENVIRONMENTAL CONDITIONS

Temperature	Relative humidity	Ambient pressure
27 °C	29 %	1009 hPa

TEST EQUIPMENT

Item	Manufacturer	Model	Serial no.	Description
1.	SVANTEK	SVAN 401	65	Signal generator
2.	SVANTEK	SVAN 912A	4369	Vibration Meter
3.	SVANTEK	SV4366	3190	Reference accelerometer
4.	VEB RFT	11075	61004	Shaker
5.	SOAR	3430	90CA1811	Digital voltmeter

CONFORMITY & TEST DECLARATION

- Herewith Svantek company declares that this instrument has been calibrated and tested in compliance with the internal ISO9001 procedures and meets all specification given in the Manual(s) or respectively surpass them
- The vibrational calibration was performed using the Back-to-Back Comparison method and is traceable to the GUM (Central Office of Measures) reference standard - accelerometer type 8305 No 143523
- The information appearing on this sheet has been compiled specifically for this instrument. This form is produced with advanced equipment & procedures which permit comprehensive quality assurance verification of all data supplied herein.
- This calibration sheet shall not be reproduced except in full, without written permission of the SVANTEK Ltd.

Calibration specialist: Ryszard Leoniak

Test date: 2006-07-18



A4. FICHA DE CALIBRAÇÃO DO VIBRÓMETRO SVAN 958

(8 páginas)



ISO9001 certified

FACTORY CALIBRATION DATA OF THE SVAN 958 No. 14296

SOUND LEVEL METER

1. CALIBRATION (electrical)

LEVEL METER; Filter: LIN; Input signal =114.0dB, $f_{sin}=1\text{kHz}$

	Range 105dB		Range 130dB	
	Indication [dB]	Error [dB]	Indication [dB]	Error [dB]
Channel 1	113.92	-0.08	113.97	-0.03
Channel 2	113.91	-0.09	113.95	-0.05
Channel 3	113.91	-0.09	113.96	-0.04
Channel 4	113.91	-0.09	113.96	-0.04

2. CALIBRATION* (acoustical)

LEVEL METER; Range: 130 dB; Reference frequency: 1000Hz;

Filter	LIN		A		C	
	Indication [dB]	Error [dB]	Indication [dB]	Error [dB]	Indication [dB]	Error [dB]
Channel 1	113.8	0.0	113.8	0.0	113.8	0.0
Channel 2	113.8	0.0	113.8	0.0	113.8	0.0
Channel 3	113.8	0.0	113.8	0.0	113.8	0.0
Channel 4	113.8	0.0	113.9	0.1	113.9	0.1

Calibration measured with the microphone SVANTEK type SV22 No. 4010133. Calibration factor: 3.1dB

3. LINEARITY TEST* (electrical)

LEVEL METER; Range: 105 dB; Filter: A; $f_{sin}=1000\text{ Hz}$

	Input [dB]	24.0	30.0	40.0	50.0	60.0	70.0	80.0	90.0	100.0	110.0	114.0
Channel 1	Error [dB]	0.10	0.04	0.00	-0.02	-0.02	-0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02
Channel 2	Error [dB]	0.10	0.04	0.00	-0.02	-0.02	-0.02	0.00	-0.01	0.00	0.02	0.02
Channel 3	Error [dB]	0.00	0.01	-0.03	-0.02	-0.01	-0.01	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02
Channel 4	Error [dB]	-0.03	0.01	-0.02	-0.02	-0.02	-0.01	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02

LEVEL METER; Range: 130 dB; Filter: A; $f_{sin}=1000\text{ Hz}$

	Input [dB]	45.0	50.0	60.0	70.0	80.0	90.0	100.0	110.0	120.0	130.0	135.0
Channel 1	Error [dB]	0.01	0.05	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	0.02	-0.01	0.01	0.01
Channel 2	Error [dB]	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.01	-0.02	0.00	0.00
Channel 3	Error [dB]	-0.03	0.00	0.01	-0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	-0.02	0.00	0.00
Channel 4	Error [dB]	0.00	0.02	0.02	-0.01	0.00	0.00	0.01	0.02	-0.01	0.01	0.01

1/3 OCTAVE (1kHz); Range: 130 dB; Filter: A; $f_{sin}=1000\text{ Hz}$

	Input [dB]	35.0	40.0	50.0	60.0	70.0	80.0	90.0	100.0	110.0	120.0	130.0	135.0
Channel 1	Error [dB]	0.29	0.01	0.05	0.03	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	-0.02	0.00	0.00
Channel 2	Error [dB]	0.31	0.08	0.05	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	-0.01	-0.00	-0.00
Channel 3	Error [dB]	0.24	-0.10	-0.01	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.01	0.02	-0.01	0.01	0.01
Channel 4	Error [dB]	0.30	-0.07	0.00	-0.02	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	-0.02	0.00	0.00

*** SVAN 958 No. 14296 page 1 ***

DR



4. TONEBURST RESPONSE* (electrical)

LEVEL METER; Characteristic: A; $f_{sin} = 4000$ Hz; Burst duration: 2s;

Range: 105dB; Equivalent input steady level = 112dB

Result	Detector	Ch.	Duration [ms]	1000	500	200	100	50	20	10	5	2	1	0.5	0.25
MAX	Fast	1	Indication [dB]	112.0	111.9	111.0	109.4	107.2	103.7	100.9	97.9	94.0	91.0	87.9	84.9
			Error [dB]	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.1	0.0	-0.0	-0.1	-0.1	-0.1
		2	Indication [dB]	111.9	111.8	110.9	109.3	107.0	103.6	100.7	97.8	93.8	90.8	87.8	84.8
			Error [dB]	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.1	0.0	-0.0	-0.1	-0.1	-0.1
		3	Indication [dB]	111.9	111.8	110.9	109.3	107.1	103.6	100.8	97.8	93.9	90.9	87.8	84.8
			Error [dB]	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.1	0.0	-0.0	-0.0	-0.1	-0.1
		4	Indication [dB]	111.8	111.8	110.9	109.2	107.0	103.5	100.7	97.8	93.8	90.8	87.7	84.7
			Error [dB]	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.1	0.0	-0.0	-0.0	-0.1	-0.1
	Slow	1	Indication [dB]	110.0	108.0	104.6	101.8	98.9	95.0	92.0	89.0	85.0	-	-	-
			Error [dB]	0.0	0.1	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-	-	-
		2	Indication [dB]	109.9	107.8	104.5	101.7	98.8	94.8	91.8	88.8	84.9	-	-	-
			Error [dB]	0.0	0.1	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-	-	-
		3	Indication [dB]	109.9	107.9	104.5	101.7	98.8	94.9	91.9	88.9	84.9	-	-	-
			Error [dB]	0.0	0.1	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-	-	-
		4	Indication [dB]	109.9	107.8	104.4	101.6	98.7	94.8	91.8	88.8	84.8	-	-	-
			Error [dB]	0.0	0.1	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-	-	-
SEL		1	Indication [dB]	112.0	109.0	105.0	102.0	99.0	95.0	92.0	89.0	85.0	82.0	78.9	75.9
			Error [dB]	0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.1	-0.1
		2	Indication [dB]	111.9	108.9	104.9	101.9	98.9	94.9	91.9	88.9	84.9	81.8	78.8	75.7
			Error [dB]	0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.1	-0.1
		3	Indication [dB]	111.9	108.9	104.9	101.9	98.9	94.9	91.9	88.9	84.9	81.9	78.8	75.8
			Error [dB]	0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.1	-0.1
		4	Indication [dB]	111.8	108.8	104.9	101.8	98.8	94.9	91.8	88.8	84.8	81.8	78.7	75.7
			Error [dB]	0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.1	-0.1
		1	Indication [dB]	92.0	91.9	91.0	89.4	87.2	83.7	80.8	77.9	74.0	71.0	67.9	64.9
			Error [dB]	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.1	0.0	-0.0	-0.0	-0.1	-0.1
		2	Indication [dB]	91.9	91.8	90.9	89.2	87.0	83.5	80.7	77.8	73.8	70.8	67.8	64.7
			Error [dB]	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.1	0.0	-0.0	-0.1	-0.1	-0.1
		3	Indication [dB]	91.9	91.8	90.9	89.3	87.1	83.6	80.7	77.8	73.9	70.9	67.8	64.8
			Error [dB]	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.1	0.0	-0.0	-0.0	-0.1	-0.1
		4	Indication [dB]	91.8	91.7	90.8	89.2	87.0	83.5	80.7	77.7	73.8	70.8	67.7	64.7
			Error [dB]	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.1	0.0	-0.0	-0.1	-0.1	-0.1
MAX	Slow	1	Indication [dB]	90.0	88.0	84.6	81.8	78.9	75.0	72.0	69.0	65.0	-	-	-
			Error [dB]	0.0	0.1	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-	-	-
		2	Indication [dB]	89.9	87.8	84.4	81.6	78.7	74.8	71.8	68.8	64.8	-	-	-
			Error [dB]	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-	-	-
		3	Indication [dB]	89.9	87.9	84.5	81.7	78.8	74.9	71.9	68.9	64.9	-	-	-
			Error [dB]	0.0	0.1	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-	-	-
		4	Indication [dB]	89.8	87.8	84.4	81.6	78.7	74.8	71.8	68.8	64.8	-	-	-
			Error [dB]	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-	-	-
SEL		1	Indication [dB]	92.0	89.0	85.0	82.0	79.0	75.0	72.0	69.0	65.0	62.0	58.9	55.9
			Error [dB]	0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.1	-0.1
		2	Indication [dB]	91.9	88.8	84.9	81.9	78.8	74.9	71.8	68.8	64.8	61.8	58.8	55.7
			Error [dB]	0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.1	-0.1	-0.1
		3	Indication [dB]	91.9	88.9	84.9	81.9	78.9	74.9	71.9	68.9	64.9	61.9	58.8	55.8
			Error [dB]	0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.1	-0.1	-0.1
		4	Indication [dB]	91.8	88.8	84.8	81.8	78.8	74.8	71.8	68.8	64.8	61.8	58.7	55.7
			Error [dB]	0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.1	-0.1	-0.1

Range: 105dB; Equivalent input steady level = 92dB

Result	Detector	Ch.	Duration [ms]	1000	500	200	100	50	20	10	5	2	1	0.5	0.25
MAX	Fast	1	Indication [dB]	92.0	91.9	91.0	89.4	87.2	83.7	80.8	77.9	74.0	71.0	67.9	64.9
			Error [dB]	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.1	0.0	-0.0	-0.0	-0.1	-0.1
		2	Indication [dB]	91.9	91.8	90.9	89.2	87.0	83.5	80.7	77.8	73.8	70.8	67.8	64.7
			Error [dB]	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.1	0.0	-0.0	-0.1	-0.1	-0.1
		3	Indication [dB]	91.9	91.8	90.9	89.3	87.1	83.6	80.7	77.8	73.9	70.9	67.8	64.8
			Error [dB]	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.1	0.0	-0.0	-0.0	-0.1	-0.1
		4	Indication [dB]	91.8	91.7	90.8	89.2	87.0	83.5	80.7	77.7	73.8	70.8	67.7	64.7
			Error [dB]	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.1	0.0	-0.0	-0.1	-0.1	-0.1
	Slow	1	Indication [dB]	90.0	88.0	84.6	81.8	78.9	75.0	72.0	69.0	65.0	-	-	-
			Error [dB]	0.0	0.1	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-	-	-
		2	Indication [dB]	89.9	87.8	84.4	81.6	78.7	74.8	71.8	68.8	64.8	-	-	-
			Error [dB]	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-	-	-
		3	Indication [dB]	89.9	87.9	84.5	81.7	78.8	74.9	71.9	68.9	64.9	-	-	-
			Error [dB]	0.0	0.1	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-	-	-
		4	Indication [dB]	89.8	87.8	84.4	81.6	78.7	74.8	71.8	68.8	64.8	-	-	-
			Error [dB]	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-	-	-
SEL		1	Indication [dB]	92.0	89.0	85.0	82.0	79.0	75.0	72.0	69.0	65.0	62.0	58.9	55.9
			Error [dB]	0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.1	-0.1
		2	Indication [dB]	91.9	88.8	84.9	81.9	78.8	74.9	71.8	68.8	64.8	61.8	58.8	55.7
			Error [dB]	0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.1	-0.1	-0.1
		3	Indication [dB]	91.9	88.9	84.9	81.9	78.9	74.9	71.9	68.9	64.9	61.9	58.8	55.8
			Error [dB]	0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.1	-0.1	-0.1
		4	Indication [dB]	91.8	88.8	84.8	81.8	78.8	74.8	71.8	68.8	64.8	61.8	58.7	55.7
			Error [dB]	0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.1	-0.1	-0.1

*** SI'AN'958 No. 14296 page 2 ***



Range: 105dB; Equivalent input steady level = 72dB

Result	Detector	Ch.	Duration [ms]	1000	500	200	100	50	20	10	5	2	1	0.5	0.25
MAX	Fast	1	Indication [dB]	72.0	71.9	71.0	69.4	67.2	63.7	60.8	57.9	54.0	50.9	47.9	44.9
			Error [dB]	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.1	0.0	-0.0	-0.1	-0.1	-0.1
		2	Indication [dB]	71.8	71.8	70.9	69.2	67.0	63.5	60.7	57.8	53.8	50.8	47.7	44.7
			Error [dB]	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.0	0.0	-0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.1	-0.1
		3	Indication [dB]	71.9	71.8	70.9	69.3	67.1	63.6	60.7	57.8	53.9	50.8	47.8	44.8
			Error [dB]	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.1	0.0	-0.0	-0.0	-0.1	-0.1
		4	Indication [dB]	71.8	71.7	70.8	69.2	67.0	63.5	60.6	57.7	53.8	50.8	47.7	44.7
			Error [dB]	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.1	0.0	-0.0	-0.1	-0.1	-0.1
	Slow	1	Indication [dB]	70.0	67.9	64.6	61.8	58.9	55.0	52.0	49.0	45.0	-	-	-
			Error [dB]	0.0	0.1	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-	-	-
		2	Indication [dB]	69.8	67.8	64.4	61.6	58.7	54.8	51.8	48.8	44.8	-	-	-
			Error [dB]	0.0	0.1	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-	-	-
		3	Indication [dB]	69.9	67.8	64.5	61.7	58.8	54.9	51.9	48.9	44.9	-	-	-
			Error [dB]	0.0	0.1	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-	-	-
		4	Indication [dB]	69.8	67.8	64.4	61.6	58.7	54.8	51.8	48.8	44.8	-	-	-
			Error [dB]	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-	-	-
SEL	-	1	Indication [dB]	72.0	69.0	65.0	62.0	59.0	55.0	52.0	49.0	45.0	41.9	38.9	35.9
			Error [dB]	0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.1	-0.1
		2	Indication [dB]	71.8	68.8	64.8	61.8	58.8	54.8	51.8	48.8	44.8	41.8	38.8	35.7
			Error [dB]	0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.1	-0.1
		3	Indication [dB]	71.9	68.9	64.9	61.9	58.9	54.9	51.9	48.9	44.9	41.8	38.8	35.8
			Error [dB]	0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.1	-0.1
		4	Indication [dB]	71.8	68.8	64.8	61.8	58.8	54.8	51.8	48.8	44.8	41.8	38.7	35.7
			Error [dB]	0.0	-0.0	0.0	-0.0	-0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.1	-0.1

Range: 105dB; Equivalent input steady level = 52dB

Result	Detector	Ch.	Duration [ms]	1000	500	200	100	50	20	10	5	2	1	0.5	0.25
MAX	Fast	1	Indication [dB]	52.0	51.9	51.0	49.4	47.1	43.7	40.8	37.9	34.0	30.9	28.0	24.9
			Error [dB]	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.0	0.0	-0.0	0.0	-0.0	-0.0	0.1	-0.1
		2	Indication [dB]	51.8	51.8	50.9	49.2	47.0	43.5	40.7	37.7	33.8	30.8	27.8	24.9
			Error [dB]	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.1	0.0	0.1
		3	Indication [dB]	51.9	51.8	50.9	49.3	47.0	43.6	40.7	37.8	33.9	30.9	27.8	24.9
			Error [dB]	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.1	-0.0	-0.0	-0.0	-0.1	0.1
		4	Indication [dB]	51.8	51.7	50.8	49.2	47.0	43.5	40.6	37.7	33.8	30.8	27.8	24.9
			Error [dB]	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0	0.0	-0.1	0.0	-0.0	0.0	0.0	0.1
	Slow	1	Indication [dB]	50.0	47.9	44.6	41.8	38.9	35.0	32.0	29.0	25.1	-	-	-
			Error [dB]	0.0	0.1	-0.0	0.0	-0.0	-0.0	0.0	0.0	0.1	-	-	-
		2	Indication [dB]	49.8	47.8	44.4	41.6	38.7	34.8	31.9	28.8	25.0	-	-	-
			Error [dB]	0.0	0.1	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	0.0	0.0	0.1	-	-	-
		3	Indication [dB]	49.9	47.8	44.5	41.7	38.8	34.9	31.9	28.9	25.0	-	-	-
			Error [dB]	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	0.1	-	-	-
		4	Indication [dB]	49.8	47.7	44.4	41.6	38.7	34.8	31.8	28.8	24.9	-	-	-
			Error [dB]	0.0	0.1	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	0.0	0.1	0.1	-	-	-
SEL	-	1	Indication [dB]	52.0	49.0	45.0	42.0	39.0	35.0	32.1	29.1	25.4	-	-	-
			Error [dB]	0.0	-0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.5	-	-	-
		2	Indication [dB]	51.8	48.8	44.8	41.8	38.8	34.9	31.9	29.0	25.3	-	-	-
			Error [dB]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.5	-	-	-
		3	Indication [dB]	51.9	48.9	44.9	41.9	38.9	34.9	31.9	29.0	25.3	-	-	-
			Error [dB]	0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	0.0	0.1	0.1	0.4	-	-	-
		4	Indication [dB]	51.8	48.8	44.8	41.8	38.8	34.9	31.9	29.0	25.2	-	-	-
			Error [dB]	0.0	-0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.5	-	-	-

*** SVAN958 No. 14296 page 3 ***

OR



Range: 105dB; Equivalent input steady level = 34dB

Result	Detector	Ch.	Duration [ms]	1000	500
MAX	Fast	1	Indication [dB]	34.0	33.9
			Error [dB]	0.0	0.0
		2	Indication [dB]	33.9	33.7
			Error [dB]	0.0	-0.0
		3	Indication [dB]	33.9	33.8
			Error [dB]	0.0	0.0
		4	Indication [dB]	33.8	33.7
			Error [dB]	0.0	0.0
	Slow	1	Indication [dB]	32.0	30.0
			Error [dB]	0.0	0.1
		2	Indication [dB]	31.9	29.8
			Error [dB]	0.0	0.1
		3	Indication [dB]	31.9	29.8
			Error [dB]	0.0	0.1
		4	Indication [dB]	31.8	29.8
			Error [dB]	0.0	0.1
SEL		1	Indication [dB]	34.0	31.1
			Error [dB]	0.0	0.1
		2	Indication [dB]	33.9	30.9
			Error [dB]	0.0	0.1
		3	Indication [dB]	33.9	30.9
			Error [dB]	0.0	0.1
		4	Indication [dB]	33.8	30.9
			Error [dB]	0.1	0.1

Range: 130dB; Equivalent input steady level = 134dB

Result	Detector	Ch.	Duration [ms]	1000	500	200	100	50	20	10	5	2	1	0.5	0.25
MAX	Fast	1	Indication [dB]	134.0	134.0	133.1	131.4	129.2	125.7	122.9	120.0	116.0	113.0	109.9	106.9
			Error [dB]	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.1	0.0	-0.0	-0.0	-0.1	-0.1
		2	Indication [dB]	133.9	133.8	132.9	131.3	129.1	125.6	122.7	119.8	115.8	112.8	109.8	106.8
			Error [dB]	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.1	0.0	-0.0	-0.1	-0.1	-0.1
		3	Indication [dB]	133.9	133.9	133.0	131.3	129.1	125.6	122.8	119.9	115.9	112.9	109.8	106.8
			Error [dB]	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.1	0.0	-0.0	-0.1	-0.1	-0.1
		4	Indication [dB]	133.9	133.8	132.9	131.3	129.0	125.5	122.7	119.8	115.8	112.8	109.8	106.7
			Error [dB]	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.1	0.0	-0.0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
	Slow	1	Indication [dB]	132.1	130.0	126.6	123.8	120.9	117.0	114.0	111.0	107.0	-	-	-
			Error [dB]	0.0	0.1	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-	-	-
		2	Indication [dB]	131.9	129.8	126.5	123.7	120.8	116.8	113.9	110.8	106.9	-	-	-
			Error [dB]	0.0	0.1	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-	-	-
		3	Indication [dB]	131.9	129.9	126.5	123.7	120.8	116.9	113.9	110.9	106.9	-	-	-
			Error [dB]	0.0	0.1	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-	-	-
		4	Indication [dB]	131.9	129.8	126.5	123.7	120.7	116.8	113.8	110.8	106.8	-	-	-
			Error [dB]	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-	-	-
SEL		1	Indication [dB]	134.0	131.0	127.0	124.0	121.0	117.0	114.0	111.0	107.0	104.0	100.9	97.9
			Error [dB]	0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.1	-0.1
		2	Indication [dB]	133.9	130.9	126.9	123.9	120.9	116.9	113.9	110.9	106.9	103.8	100.8	97.7
			Error [dB]	0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.1	-0.1
		3	Indication [dB]	133.9	130.9	127.0	123.9	120.9	117.0	113.9	110.9	106.9	103.9	100.8	97.8
			Error [dB]	0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.1	-0.1
		4	Indication [dB]	133.9	130.8	126.9	123.9	120.9	116.9	113.9	110.8	106.9	103.8	100.8	97.7
			Error [dB]	0.0	-0.0	0.0	-0.0	-0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.1	-0.1	-0.1

*** SI/AN958 No. 14296 page 4 ***

OR



Range: 130dB; Equivalent input steady level = 114dB

Result	Detector	Ch.	Duration [ms]	1000	500	200	100	50	20	10	5	2	1	0.5	0.25
MAX	Fast	1	Indication [dB]	114.0	113.9	113.0	111.4	109.1	105.7	102.8	99.9	95.9	92.9	89.9	86.8
			Error [dB]	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.1	0.0	-0.0	-0.1	-0.1	-0.1
		2	Indication [dB]	113.8	113.7	112.8	111.2	109.0	105.5	102.6	99.7	95.8	92.7	89.7	86.7
			Error [dB]	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.1	95.8	-0.0	-0.1	-0.1	-0.1
		3	Indication [dB]	113.9	113.8	112.9	111.3	109.0	105.5	102.7	99.8	95.8	92.8	89.8	86.7
			Error [dB]	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.1	0.0	-0.0	-0.1	-0.1	-0.1
		4	Indication [dB]	113.8	113.7	112.8	111.2	109.0	105.5	102.6	99.7	95.8	92.7	89.7	86.7
			Error [dB]	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.1	0.0	-0.0	-0.1	-0.1	-0.1
	Slow	1	Indication [dB]	112.0	109.9	106.5	103.7	100.8	96.9	93.9	90.9	86.9	-	-	-
			Error [dB]	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-	-	-
		2	Indication [dB]	111.8	109.7	106.4	103.6	100.7	96.8	93.8	90.8	86.8	-	-	-
			Error [dB]	0.0	0.1	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-	-	-
		3	Indication [dB]	111.9	109.8	106.4	103.6	100.7	96.8	93.8	90.8	86.8	-	-	-
			Error [dB]	0.0	0.1	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-	-	-
		4	Indication [dB]	111.8	109.7	106.4	103.6	100.7	96.7	93.8	90.7	86.8	-	-	-
			Error [dB]	0.0	0.1	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-	-	-
SEL	-	1	Indication [dB]	114.0	111.0	107.0	104.0	101.0	97.0	94.0	90.9	86.9	83.9	80.9	77.8
			Error [dB]	0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.1	-0.1	-0.1
		2	Indication [dB]	113.8	110.8	106.8	103.8	100.8	96.8	93.8	90.8	86.8	83.7	80.7	77.7
			Error [dB]	0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.1	-0.1	-0.1
		3	Indication [dB]	113.9	110.9	106.9	103.9	100.8	96.9	93.9	90.8	86.8	83.8	80.8	77.7
			Error [dB]	0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.1	-0.1
		4	Indication [dB]	113.8	110.8	106.8	103.8	100.8	96.8	93.8	90.8	86.8	83.7	80.7	77.6
			Error [dB]	0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.1	-0.1

Range: 130dB; Equivalent input steady level = 94dB

Result	Detector	Ch.	Duration [ms]	1000	500	200	100	50	20	10	5	2	1	0.5	0.25
MAX	Fast	1	Indication [dB]	94.0	94.0	93.1	91.4	89.2	85.7	82.9	80.0	76.0	73.0	69.9	66.9
			Error [dB]	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.1	0.0	-0.0	-0.1	-0.1	-0.1
		2	Indication [dB]	93.9	93.8	92.9	91.3	89.0	85.6	82.7	79.8	75.8	72.8	69.8	66.8
			Error [dB]	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.1	0.0	-0.0	-0.0	-0.1	-0.1
		3	Indication [dB]	93.9	93.9	93.0	91.3	89.1	85.6	82.8	79.9	75.9	72.9	69.9	66.8
			Error [dB]	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.1	0.0	-0.0	-0.1	-0.1	-0.1
		4	Indication [dB]	93.9	93.8	92.9	91.3	89.0	85.5	82.7	79.8	75.8	72.8	69.8	66.7
			Error [dB]	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.1	0.0	-0.0	-0.1	-0.1	-0.1
	Slow	1	Indication [dB]	92.0	90.0	86.6	83.8	80.9	77.0	74.0	71.0	67.0	-	-	-
			Error [dB]	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-	-	-
		2	Indication [dB]	91.9	89.8	86.5	83.7	80.8	76.8	73.9	70.8	66.8	-	-	-
			Error [dB]	0.0	0.1	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-	-	-
		3	Indication [dB]	91.9	89.9	86.5	83.7	80.8	76.9	73.9	70.9	66.9	-	-	-
			Error [dB]	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-	-	-
		4	Indication [dB]	91.9	89.8	86.4	83.6	80.7	76.8	73.8	70.8	66.8	-	-	-
			Error [dB]	0.0	0.1	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-	-	-
SEL	-	1	Indication [dB]	94.0	91.0	87.0	84.0	81.0	77.0	74.0	71.0	67.0	64.0	61.0	57.9
			Error [dB]	0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.1	-0.1
		2	Indication [dB]	93.9	90.9	86.9	83.9	80.9	76.9	73.9	70.9	66.9	63.8	60.8	57.8
			Error [dB]	0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.1	-0.1	-0.1
		3	Indication [dB]	93.9	90.9	87.0	83.9	80.9	76.9	73.9	70.9	66.9	63.9	60.9	57.8
			Error [dB]	0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.1	-0.1
		4	Indication [dB]	93.9	90.9	86.9	83.9	80.9	76.9	73.9	70.8	66.8	63.8	60.8	57.8
			Error [dB]	0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.1	-0.1

*** SVAN958 No. 14296 page 5 ***

OR



Range: 130dB; Equivalent input steady level = 74dB

Result	Detector	Ch.	Duration [ms]	1000	500	200	100	50	20	10	5	2	1	0.5	0.25
MAX	Fast	1	Indication [dB]	74.0	74.0	73.0	71.4	69.2	65.7	62.9	59.9	56.0	53.0	50.0	47.0
			Error [dB]	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.1	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0
		2	Indication [dB]	73.9	73.8	72.9	71.3	69.0	65.6	62.7	59.8	55.8	52.8	49.8	46.8
			Error [dB]	0.0	0.0	72.9	0.0	-0.0	0.0	-0.0	0.0	-0.0	-0.1	-0.1	-0.1
		3	Indication [dB]	73.9	73.8	72.9	71.3	69.1	65.6	62.8	59.8	55.9	52.9	49.9	46.9
			Error [dB]	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.1	-0.0	-0.0	0.0	-0.1	-0.1
		4	Indication [dB]	73.9	73.8	72.9	71.2	69.0	65.5	62.7	59.7	55.8	52.8	49.8	46.9
			Error [dB]	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	0.0
	Slow	1	Indication [dB]	72.0	70.0	66.6	63.8	60.9	57.0	54.0	51.0	47.1	-	-	-
			Error [dB]	0.0	0.1	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	0.1	-	-	-
		2	Indication [dB]	71.9	69.8	66.5	63.7	60.8	56.8	53.9	50.9	47.0	-	-	-
			Error [dB]	0.0	0.1	0.0	0.0	-0.0	-0.0	0.0	0.0	0.1	-	-	-
		3	Indication [dB]	71.9	69.9	66.5	63.7	60.8	56.9	53.9	50.9	47.0	-	-	-
			Error [dB]	0.0	0.1	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	0.1	-	-	-
		4	Indication [dB]	71.9	69.8	66.4	63.6	60.7	56.8	53.9	50.8	46.9	-	-	-
			Error [dB]	0.0	0.1	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	0.0	-0.0	0.1	-	-	-
SEL	-	1	Indication [dB]	74.0	71.0	67.0	64.0	61.0	57.1	54.1	51.1	47.3	-	-	-
			Error [dB]	0.0	-0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	-	-	-
		2	Indication [dB]	73.9	70.9	66.9	63.9	60.9	56.9	53.9	51.0	47.2	-	-	-
			Error [dB]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.3	-	-	-
		3	Indication [dB]	73.9	70.9	66.9	63.9	60.9	57.0	54.0	51.0	47.2	-	-	-
			Error [dB]	0.0	-0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	-	-	-
		4	Indication [dB]	73.8	70.8	66.8	63.9	60.8	56.9	53.9	50.9	47.1	-	-	-
			Error [dB]	0.0	-0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.3	-	-	-

Range: 130dB; Equivalent input steady level = 54dB

Result	Detector	Ch.	Duration [ms]	1000	500
MAX	Fast	1	Indication [dB]	54.0	54.0
			Error [dB]	-0.0	0.0
		2	Indication [dB]	53.9	53.8
			Error [dB]	0.0	0.0
		3	Indication [dB]	53.9	53.8
			Error [dB]	0.0	0.0
		4	Indication [dB]	53.9	53.8
			Error [dB]	0.0	0.0
	Slow	1	Indication [dB]	52.0	50.0
			Error [dB]	-0.0	0.1
		2	Indication [dB]	51.9	49.8
			Error [dB]	0.0	0.1
SEL	-	1	Indication [dB]	54.0	51.1
			Error [dB]	0.0	0.1
		2	Indication [dB]	53.9	51.0
			Error [dB]	0.0	0.1
		3	Indication [dB]	54.0	51.0
			Error [dB]	0.1	0.1
		4	Indication [dB]	53.9	50.9
			Error [dB]	0.0	0.1

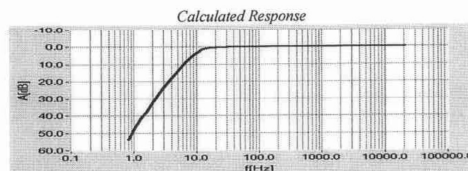
*** SVAN958 No. 14296 page 6 ***

OR



6. FREQUENCY RESPONSE (electrical)

LEVEL METER; Filter: Z; Range: 130 dB; Input signal =135 dB;



Measured Response (f-frequency, An-attenuation in channel n)

f [Hz]	A1[dB]	A2[dB]	A3[dB]	A4[dB]	f [Hz]	A1[dB]	A2[dB]	A3[dB]	A4[dB]
0.8	53.6	53.8	53.7	53.4	6.3	9.6	9.7	9.6	9.5
1	48.0	48.1	48.0	47.7	8	6.0	6.1	6.0	5.9
1.25	42.5	42.6	42.5	42.3	10	3.2	3.2	3.2	3.1
1.6	37.1	37.2	37.1	36.9	12.5	1.4	1.5	1.4	1.4
2	32.0	32.1	32.0	31.9	16	0.5	0.6	0.5	0.4
2.5	27.0	27.1	27.0	26.9	20	0.1	0.2	0.1	0.1
3.15	22.4	22.4	22.4	22.3	25	0.0	0.0	0.0	-0.1
4	17.9	17.9	17.9	17.8	31.5	-0.1	0.0	-0.1	-0.1
5	13.6	13.7	13.6	13.6	40	0.0	0.0	0.0	-0.1

f [Hz]	A1[dB]	A2[dB]	A3[dB]	A4[dB]	f [Hz]	A1[dB]	A2[dB]	A3[dB]	A4[dB]	f [Hz]	A1[dB]	A2[dB]	A3[dB]	A4[dB]
50	0.0	0.0	0.0	-0.1	400	0.0	0.1	0.0	0.0	3150	0.0	0.1	0.0	0.0
63	0.0	0.0	0.0	-0.1	500	0.0	0.0	0.0	0.0	4000	0.0	0.1	0.0	0.0
80	0.0	0.0	0.0	-0.1	630	0.0	0.1	0.0	0.0	5000	0.0	0.1	0.0	0.0
100	0.0	0.1	0.0	0.0	800	0.0	0.0	0.0	0.0	6300	0.0	0.1	0.0	0.0
125	0.0	0.0	0.0	0.0	1000	0.0	0.1	0.0	0.0	8000	0.0	0.1	0.0	0.0
160	0.0	0.0	0.0	0.0	1250	0.0	0.1	0.0	0.0	10000	0.0	0.1	0.0	0.0
200	0.0	0.0	0.0	0.0	1600	0.0	0.1	0.0	0.0	12500	0.0	0.1	0.0	0.0
250	0.0	0.1	0.0	0.0	2000	0.0	0.1	0.0	0.0	16000	0.0	0.1	0.0	0.0
315	0.0	0.1	0.0	0.0	2500	0.0	0.1	0.0	0.0	20000	0.0	0.1	0.0	0.0

All frequencies are nominal center values for the 1/3 octave bands

7. INTERNAL NOISE LEVEL* (electrical)

LEVEL METER; Range: 105 dB; Back-light – off

Filter	Z	A	C
Channel 1	Level [dB]	12.1	10.4
Channel 2	Level [dB]	14.1	10.8
Channel 3	Level [dB]	11.8	10.0
Channel 4	Level [dB]	14.4	10.5

* measured with preamplifier SVANTEK type SV12L No. 5540.

VIBRATION LEVEL METER

1. CALIBRATION (electrical)

LEVEL METER; Filter: HP10; Input signal =140.0dB (10.0 m/s³), f_{in}=79.6Hz

	Range 145dB		Range 170dB	
	Indication [dB]	Error [dB]	Indication [dB]	Error [dB]
Channel 1	139.92	-0.08	139.97	-0.03
Channel 2	139.92	-0.08	139.95	-0.05
Channel 3	139.92	-0.08	139.96	-0.04
Channel 4	139.91	-0.09	139.97	-0.03

2. CALIBRATION (vibrational)

LEVEL METER; Range: 145dB; Input signal: 120dB;

Filter	HP1		HP10		Wd		Wm		Wh	
	Indication [dB]	Error [dB]	Indication [dB]	Error [dB]	Indication [dB]	Error [dB]	Indication [dB]	Error [dB]	Indication [dB]	Error [dB]
Channel 1	119.9	-0.1	119.9	-0.1	106.0	-0.1	108.2	0.1	115.4	0.1
Channel 2	119.8	-0.2	119.8	-0.2	105.9	-0.2	108.2	0.1	115.3	0.0
Channel 3	119.8	-0.2	119.8	-0.2	105.9	-0.2	108.2	0.1	115.3	0.0
Channel 4	119.8	-0.2	119.8	-0.2	105.9	-0.2	108.2	0.1	115.3	0.0

Calibration measured with the accelerometer DYTRAN type 3185D No. 2442. Calibration factor: -0.2dB

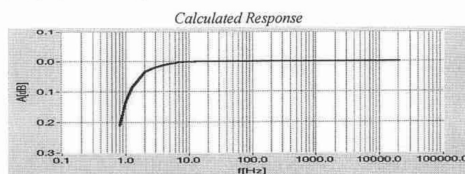
*** SI/AN958 No. 14296 page 7 ***

OR



3. FREQUENCY RESPONSE (electrical)

1/3 OCTAVE; Filter: HP; Range: 170 dB; input=175 dB;



Measured Response (f-frequency, An-attenuation in channel n)

f [Hz]	A1[dB]	A2[dB]	A3[dB]	A4[dB]	f [Hz]	A1[dB]	A2[dB]	A3[dB]	A4[dB]
0.8	0.19	0.19	0.19	0.19	6.3	0.03	0.02	0.03	0.03
1	0.12	0.12	0.12	0.12	8	0.00	-0.01	0.00	0.00
1.25	0.08	0.08	0.08	0.08	10	0.01	0.01	0.01	0.01
1.6	0.05	0.05	0.06	0.05	12.5	0.02	0.02	0.03	0.02
2	0.04	0.03	0.04	0.03	16	0.00	0.00	0.01	0.00
2.5	0.01	0.01	0.02	0.01	20	0.01	0.01	0.02	0.01
3.15	0.02	0.01	0.02	0.02	25	0.01	0.01	0.01	0.01
4	0.01	0.01	0.01	0.01	31.5	-0.01	-0.01	0.00	-0.01
5	0.02	0.01	0.02	0.02	40	0.00	0.00	0.01	0.00

f [Hz]	A1[dB]	A2[dB]	A3[dB]	A4[dB]	f [Hz]	A1[dB]	A2[dB]	A3[dB]	A4[dB]	f [Hz]	A1[dB]	A2[dB]	A3[dB]	A4[dB]
50	0.01	0.00	0.01	0.01	400	0.00	0.00	0.00	0.00	3150	0.01	0.01	0.01	0.01
63	0.00	0.00	0.00	0.00	500	0.00	0.00	0.00	0.00	4000	0.02	0.01	0.02	0.01
80	0.00	0.00	0.00	0.00	630	0.00	0.00	0.00	0.00	5000	0.02	0.01	0.02	0.02
100	0.01	0.00	0.01	0.00	800	0.00	0.00	0.00	0.00	6300	0.03	0.02	0.03	0.02
125	0.00	0.00	0.00	0.00	1000	0.00	0.00	0.00	0.00	8000	0.05	0.03	0.04	0.03
160	0.00	0.00	0.00	0.00	1250	0.00	0.00	0.01	0.00	10000	0.06	0.03	0.05	0.04
200	0.00	0.00	0.00	0.00	1600	0.00	0.00	0.01	0.00	12500	0.06	0.03	0.04	0.04
250	0.00	0.00	0.00	0.00	2000	0.01	0.00	0.01	0.00	16000	0.04	0.01	0.02	0.02
315	0.00	0.00	0.00	0.00	2500	0.01	0.00	0.01	0.00	20000	0.03	0.01	0.04	0.03

All frequencies are nominal center values for the 1/3 octave bands

4. INTERNAL NOISE LEVEL (electrical)

LEVEL METER func.; Range: 145 dB; Back-light – off

	Filter	HP1	HP10	Wd	Wm	Wh
Channel 1	Indication [dB]	53.7	51.2	42.7	38.9	36.8
Channel 2	Indication [dB]	54.0	51.3	42.3	39.0	37.0
Channel 3	Indication [dB]	53.9	51.6	43.1	39.2	36.4
Channel 4	Indication [dB]	54.5	51.9	42.7	39.0	36.9

ENVIRONMENTAL CONDITIONS

Temperature	Relative humidity	Ambient pressure
23 °C	27 %	1026 hPa

TEST EQUIPMENT

Item	Manufacturer	Model	Serial no.	Description
1.	SVANTEK	SVAN 401	87	Signal generator
2.	SVANTEK	SVAN 912A	3000	Sound & Vibration Analyser
3.	SOAR	3430	90CA1811	Digital voltmeter
4.	SVANTEK	SV30A	5369	Acoustic calibrator
5.	SVANTEK	ST02	-	Microphone equivalent electrical impedance (18pF)
6.	DYTRAN	3120A	1306	Reference accelerometer

CONFORMITY & TEST DECLARATION

1. Herewith Svantek company declares that this instrument has been calibrated and tested in compliance with the internal ISO9001 procedures and meets all specification given in the Manual(s) or respectively surpass them.
2. Traceability of the calibration is guaranteed by the above mentioned ISO9001 procedures.
3. The information appearing on this sheet has been compiled specifically for this instrument. This form is produced with advanced equipment & procedures which permit comprehensive quality assurance verification of all data supplied herein.
4. This calibration sheet shall not be reproduced except in full, without written permission of the SVANTEK Ltd.

Calibration specialist: Anna Domańska

Anna Domańska

Test date: 2008-02-11

*** SVAN958 No. 14296 page 8 ***

OR



A5. FUNÇÕES DE TRANSFERÊNCIA DA VIBRAÇÃO E FÓRMULAS DE CÁLCULO PROSPECTIVO

(3 páginas)



Denomina-se por Função de Transferência da Vibração a função que relaciona o valor assumido por um determinado parâmetro de vibração – no presente Estudo utiliza-se o parâmetro velocidade eficaz de vibração (v_{ef}) – em um determinado ponto (v_{ef1}), com o valor assumido por esse parâmetro em outro ponto (v_{ef2}), nas mesmas condições de operação da fonte de vibração.

A função de transferência depende assim de 3 diferentes factores:

- Tipo de fonte que emite a vibração (F).
- Tipo de solo onde se propaga a vibração (P).
- Tipo de edifício que recebe a vibração (R).

Podemos assim escrever, para a velocidade eficaz de vibração:

$$v_{ef} = v_{ef,ref} \times f(F, P, R)$$

De acordo com a norma ISO 14837-1, de 2005, esta função pode ser decomposta em 3 funções multiplicativas:

$$f(F, P, R) = F \times P \times R$$

resulta assim:

$$v_{ef} = v_{ef,ref} \times F \times P \times R$$

Tendo como objectivo a determinação de uma função de atenuação da vibração com a distância ($f(d)$), que inclua quer a função do tipo de solo (P) quer a função do tipo de edifício (R), resulta, para dois pontos diferentes e para as mesmas condições de operação da fonte de vibração:



$$V_{ef1} = V_{ef,ref} \times F \times f(d_1)$$

$$V_{ef2} = V_{ef,ref} \times F \times f(d_2)$$

ou seja:

$$\frac{v_{ef2}}{v_{ef1}} = \frac{f(d_2)}{f(d_1)}$$

De acordo com o documento “Suhairy, Sinan AL – *Prediction of Ground Vibration from Railways*. Swedish National Testing and Research Institute, 2000”, tem-se:

$$f(d) = d^k$$

logo:

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{d_2^k}{d_1^k} \Leftrightarrow k = \frac{\log\left(\frac{v_2}{v_1}\right)}{\log\left(\frac{d_2}{d_1}\right)}$$

Assim, para determinar k , basta determinar a velocidade eficaz de vibração em 2 pontos a diferentes distâncias de uma data fonte de vibração para as mesmas condições de emissão (medições em simultâneo).

Vamos assim determinar vários valores para k , devido às diferentes características do terreno e devido às diferentes características dos edifícios, e seleccionar os valores máximo, mediano e mínimo.

Os valores máximo, mediano e mínimo de k serão utilizados na seguinte expressão (1), baseada no estabelecido no documento “Suhairy, Sinan AL – *Prediction of Ground Vibration From Railways*. Swedish National Testing and Research Institute, 2000”,



para determinação da velocidade eficaz de vibração em um determinado ponto, a uma determinada distância do futuro traçado para uma dada velocidade de circulação das composições (c), em função de uma dada velocidade eficaz de referência:

$$v_{ef} = v_{ef,ref} \times \left(\frac{c}{c_{ref}} \right)^{0.9} \times \left(\frac{d}{d_{ref}} \right)^k \quad (1)$$

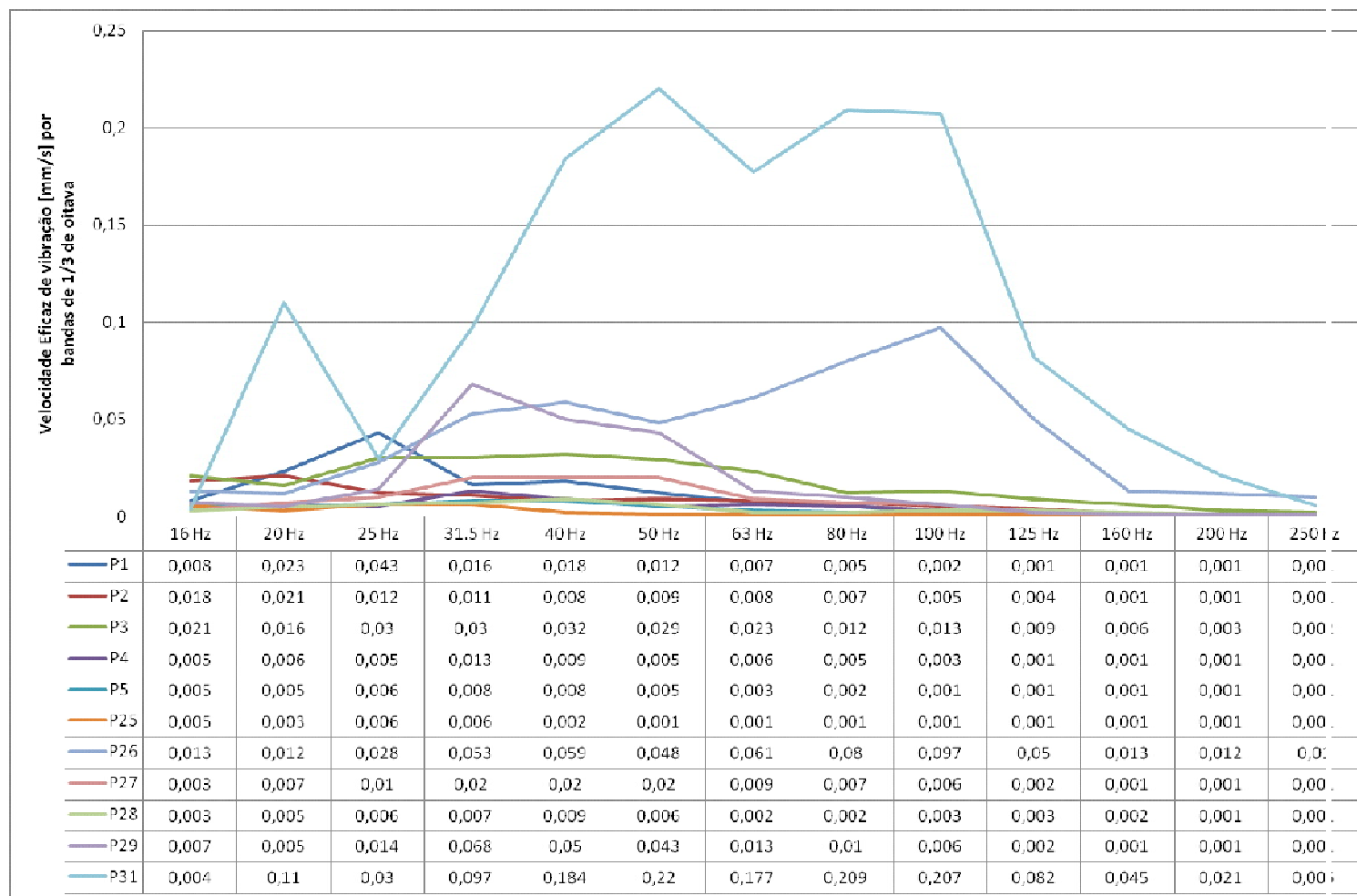
De referir que a constante k assume os seguintes valores no documento referido:

- Comboio de Alta Velocidade X2000: $k = -1$.
- Comboio Intercidades: $k = -0.7$.
- Comboio de Mercadorias: $k = -0.6$.



A6. ESPECTROS DAS MEDIÇÕES COM COMBOIOS

(1 página)





A7. EQUIPA



A equipa que elaborou o presente Estudo foi constituída pelas seguintes pessoas:

- Coordenação e Desenvolvimento: Vitor Rosão.
- Medições e Apoio Técnico: Teresa Marques e Carlos Rosão.