

# **CARACTERIZAÇÃO DE VIBRAÇÕES DEVIDAS À TUNELADORA NA ESCAVAÇÃO DO LOTE ALAMEDA-SALDANHA DO METRO DE LISBOA**

## **CHARACTERIZATION OF VIBRATIONS DUE TO THE EXCAVATION BY TBM AT THE ALAMEDA-SALDANHA SECTION OF LISBON METRO**

Dinis da Gama, Carlos, *Centro de Geotecnia, IST, Lisboa, Portugal, dgama@ist.utl.pt*

Barroso, Fernando, *Centro de Geotecnia, IST, Lisboa, Portugal, pcm4028@mail.ist.utl.pt*

### **RESUMO**

Neste trabalho é feito o estudo e a caracterização, de acordo com as normas NP 2074 e a ISO 2631, dos valores de vibrações provocadas pelo funcionamento da tuneladora, conhecida como Moira, no troço Alameda-Saldanha do Metro de Lisboa. Os pontos de monitorização foram localizados junto a alguns edifícios do Instituto Superior Técnico, nomeadamente o Departamento de Engenharia de Minas, a Estação de Bioquímica e o Laboratório de Lasers Intensos (L2I). Os resultados colhidos revelaram baixas amplitudes de vibração, inferiores aos limiares das normas aplicáveis.

### **ABSTRACT**

In this paper, the study and characterization of vibrations measured at the surface, due to the excavation activity developed in the Alameda - Saldanha section of Lisbon Metro by a tunnel boring machine, known as Moira, are described. The monitoring points were located at different buildings of Instituto Superior Técnico, namely the Mining Engineering Department, the Biochemistry Station and the Intensive Lasers Laboratory (L2I). Gathered results have revealed low vibration amplitudes, below the limits of applicable standards.

### **1. INTRODUÇÃO**

As vibrações provocadas pelas tuneladoras durante a escavação subterrânea, poderão constituir um impacte ambiental com duas vertentes distintas. A primeira é a possibilidade de causarem danos estruturais em construções próximas e a segunda consiste na incomodidade para as pessoas afectadas pelas vibrações. Assim sendo, é importante efectuar a monitorização das vibrações próximo das estruturas e laboratórios científicos de precisão, assim como de locais com pessoas susceptíveis de sofrerem este tipo de impacte ambiental.

Normalmente associa-se o fenómeno físico das vibrações a um movimento cíclico contínuo, mas em Geotecnia também podem ser do tipo irregular, quando não seguem nenhum padrão determinado. O controle destes impactes é essencial, visto que as vibrações têm efeitos indesejáveis para as obras de engenharia e desagradáveis para as pessoas:

Os movimentos vibratórios implicam a transmissão de solicitações dinâmicas que podem ser destrutivas, quer para as estruturas civis e máquinas, quer para as próprias formações geológicas, compostas por falhas, diaclases, massas rochosas e solos, onde assentam as fundações de edifícios e túneis subterrâneos.

Adicionalmente, as vibrações podem conduzir à perda de precisão no funcionamento de equipamentos de laboratório caracterizados por elevado rigor, assim como certas máquinas de grande sensibilidade.

Por outro lado, mesmo os níveis mais baixos de vibrações podem causar um grande desconforto com efeitos negativos para a saúde humana, com a consequente perda de rendimento no trabalho, pelo que os níveis de vibração provocados pelas fontes de geração de vibrações, devem respeitar valores consignados na normalização internacional, como a Norma ISO-2631.

## 2. LOCAIS DE MEDIÇÃO DAS VIBRAÇÕES GERADAS PELA TUNELADORA

Foram monitorizadas vibrações nos locais de registo identificados na Fig. 1, ao longo de várias semanas nos meses de Fevereiro e Março de 2005, acompanhando o avanço dos trabalhos subterrâneos da abertura do tunel com 9.80 m de diâmetro no trecho da estação Alameda até Saldanha. Os locais dos pontos de registo que se encontram na figura são os seguintes:

Ponto de Registo 1: Pavilhão de Engenharia de Minas e Georrecursos do IST, junto ao equipamento de ar condicionado.

Ponto de Registo 2: Estação de Bioquímica (ao ar livre), situada a 1.8m acima do nível da estrada da Av. Rovisco Pais.

Ponto de Registo 3: Laboratório de Física L2i, que está localizado na 2ª cave do Pavilhão de Física do IST, a 3m abaixo do nível da Avenida Rovisco Pais e Rua Alves Redol.



Figura 1 – Locais de registo de vibrações no trecho de obra Alameda - Saldanha

A máquina tuneladora que funcionou na abertura do segmento em pauta é da marca Lovat e possui 9.80 m de diâmetro de perfuração (ver Fig. 2). Funciona com o sistema EPB (com equilíbrio de pressão na frente de avanço) e desenvolve elevada produção, com média de instalação de 8 aduelas completas de revestimento em cada turno de 10 horas de serviço.



Figura 2 – Aspecto da execução do túnel no segmento Alameda - Saldanha

### 3 - REGISTOS DE VIBRAÇÕES NO PONTO 1

A campanha de monitorização de vibrações dentro do IST, provenientes da actividade de escavação do túnel do Metropolitano, teve início quando a cabeça da tuneladora se encontrava por baixo do edifício do Departamento de Minas.

Ficou claro que existiam vibrações de outras origens nas proximidades, designadamente o trânsito de viaturas pesadas e autocarros na Av. Rovisco Pais e as vibrações oriundas da central de ar condicionado situada em área adjacente ao edifício.

Na tabela 1 estão referidas as vibrações mais significativas desta fase dos registos.

Tabela 1 – Registo de vibrações geradas pela TBM e distâncias desde a tuneladora ao ponto de registo 1, com os respectivos valores médios da velocidade de vibração de pico resultante (PVS)

2005 – Fev. Dia	Intervalo Horário de Registo de Vubrações	Causa da vibração	Distância D(m)	Velocidade de Vibração V(mm/s)	
				Média	Desvio Padrão
15	16:08:04 - 16:11:30	Tuneladora	34.32	0.083	0.018
21	10:05:41 - 10:08:52		45.66	0.076	0.009
21	16:47:49 - 16:51:15		45.66	0.072	0.010
23	9:31:11 - 9:34:32		62.45	0.069	0.011
23	16:03:53 - 16:07:19		62.45	0.068	0.012
24	8:25:11 - 8:28:37		69.29	0.063	0.017

Desde logo se observou que as amplitudes de vibração possuíam valores reduzidos, bem abaixo dos limiares de dano estrutural que pudessem vir a causar, como por exemplo os limites admissíveis da Norma Portuguesa 2074 (1983).

Para determinar se as magnitudes de vibração são admissíveis, em termos de provocarem incomodidade às pessoas, foram as mesmas comparadas com a especificação da Norma ISO 2631, já que em Portugal não existe legislação sobre incomodidade humana causada por vibrações. A Fig. 3 mostra a variação dessas magnitudes com a distância, revelando que se situam abaixo do limiar da ISO 2631 (0.1 mm/s).

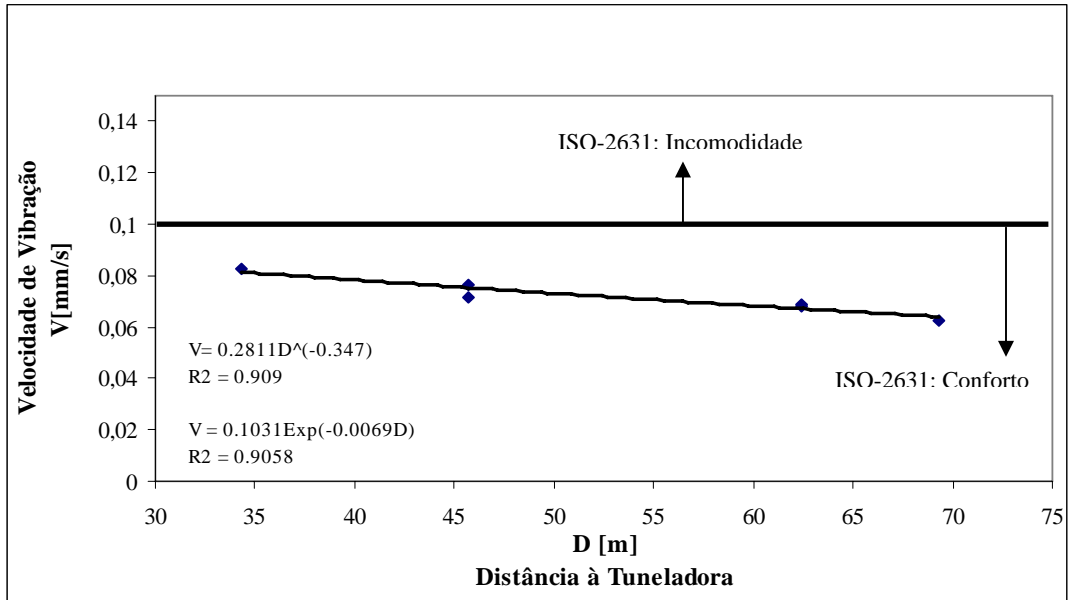


Fig. 3 - Gráfico da amplitude das vibrações geradas pela TBM e distâncias desde a tuneladora ao ponto de registo 1, com o nível de conforto da norma ISO-2631

#### 4. REGISTOS DE VIBRAÇÕES NO PONTO 2

As vibrações foram registadas ao ar livre, no ponto de registo 2 (ver Fig. 4), encontrando-se a uma distância de 10m da Av. Rovisco Pais e a 1.8m acima do nível da estrada desta avenida, com circulação intensa de automóveis e autocarros.



Figura 4 – Registo de vibrações efectuado na estação de Bioquímica (ao ar livre)

Os registos foram efectuados nos periodos mortos em que havia menos trânsito, com o objectivo de evitar vibrações provenientes da circulação de automóveis e autocarros, porém nem sempre isso se conseguiu evitar, pelo que se efectuou posteriormente a selecção dos eventos registados, em que a causa das vibrações eram devidas à tuneladora, eliminando os registos devido ao trânsito que circulava na avenida Rovisco Pais, obtendo-se assim os dados que constam na tabela seguinte.

Tabela 2 – Registo de vibrações e distâncias desde a tuneladora na Estação de Bioquímica, com os respectivos valores médios da velocidade de vibração de pico resultante (PVS) e desvio padrão

2005 – Fev. Dia	Intervalo Horário de Registo de Vibrações	Causa da Vibração	Distância D[m]	Veloc. de Pico de Vibração V (mm/s)	
				Média	Desvio Padrão
16	16:09:36 - 16:13:01	Tuneladora	48.9	0.593	0.2042
18	14:23:50 - 14:27:16		42.8	0.705	0.4705
21	16:02:57 - 16:06:17		39.3	0.880	0.5478
22	9:23:36 - 9:26:57		44.2	0.722	0.4092
23	16:27:54 - 16:31:20		44.7	0.638	0.2633

Com os dados da tabela 2, efectuando o gráfico da distância à tuneladora *versus* velocidade de vibração, obtém a lei da atenuação da velocidade de vibração provocada pela tuneladora em função da distância da TBM ao ponto de registo 2. Como se pode observar na fig. 5 a lei de atenuação com maior coeficiente de correlação ( $R^2 = 0.848$ ) tem a seguinte expressão:

$$V(\text{mm/s}) = 522.97D^{-1.749}$$

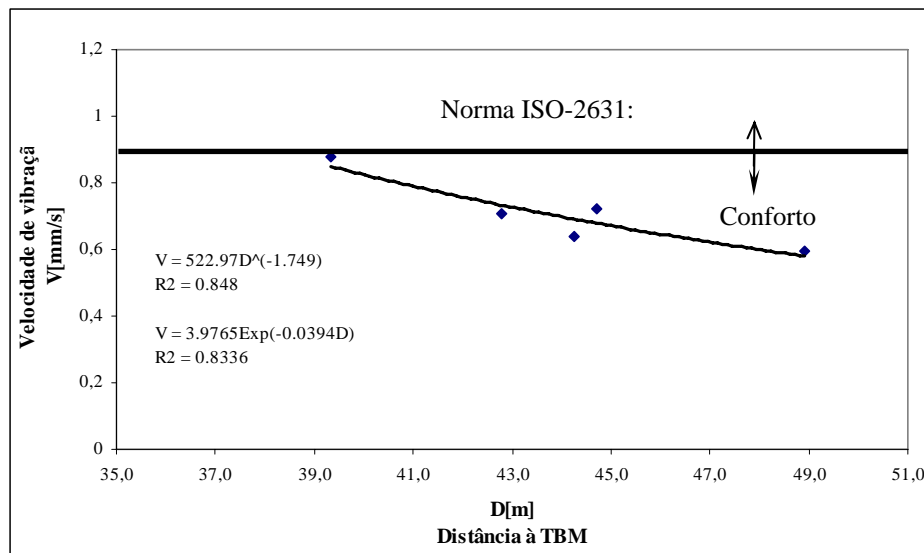


Figura 5 – Gráfico da amplitude de vibração gerada pela tuneladora na Estação de Bioquímica, com a lei da atenuação da velocidade de vibração em função da distância à fonte de geração

Pode-se constatar, a partir do gráfico da Fig.5, que de acordo com a norma ISO-2631, a amplitude das vibrações provocadas pela tuneladora não causam incomodidade humana, uma vez que se situam na zona de conforto localizada abaixo da velocidade limite  $V = 0.1\text{mm/s}$ .

Relativamente às vibrações provocadas pela circulação de automóveis e autocarros na Avenida Rovisco Pais, obteve-se no Ponto 2 a seguinte tabela de valores.

Tabela 3 – Registo de vibrações provocadas pelo trânsito de automóveis na Estação de Bioquímica, com os respectivos valores médios da velocidade de vibração de pico resultante (PVS) e desvio padrão

2005 – Fev. Dia	Intervalo Horário de Registo de Vibrações	Causa da Vibração	Veloc. de Pico de Vibração V (mm/s)	
			Média	Desvio Padrão
16	9:57:59 - 10:01:25	Trânsito de Automóveis e Autocarros	1.009	0.2006
17	16:37:44 - 16:41:10		0.790	0.5272
18	10:11:40 - 10:15:06		0.528	0.2389
21	10:30:15 - 10:33:36		0.794	0.5770
23	9:07:35 - 9:11:01		0.814	0.5092
24	8:50:39 - 8:53:55		0.936	0.3130
24	16:06:56 - 16:10:22		0.781	0.3917
25	7:50:32 - 7:53:53		0.929	0.4598
25	16:38:05 - 16:41:31		0.846	0.3674
Todos os pontos			0.824	0.432

Da tabela 4 observa-se que as amplitudes de vibrações provocadas pelo trânsito na avenida Rovisco Pais varia entre 1.009 a 0.528 mm/s, com um valor médio de referência de velocidade de vibração,  $V = 0.824\text{mm/s}$  e um desvio padrão de  $0.432\text{mm/s}$ .

## 5 - REGISTOS DE VIBRAÇÕES NO PONTO 3

As vibrações registadas a partir do Laboratório de Lasers Intensos (ponto de registo 3) forneceram valores numéricos que constam da Tabela 4 e Figura 6.

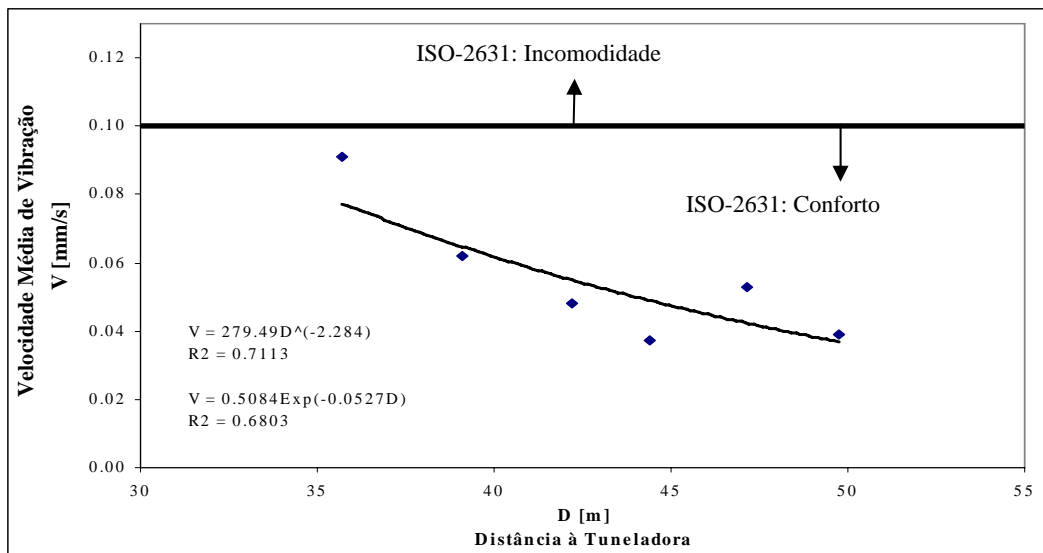


Figura 6 – Variação da velocidade média de vibração com a distância desde a tuneladora ao Laboratório L2i

Tabela 4 – Registo de vibrações e distâncias desde a tuneladora ao Laboratório L2i com os respectivos valores médios da velocidade de vibração de pico resultante (PVS) e desvio padrão

Mar / 2005 Dia	Intervalo Horário de registo	Distância D[m]	PVS[mm/s]	
			Média	Desvio Padrão
14	17:25:07 a 17:28:33	49.74	0.431	0.115
15	10:35:00 a 11:10:00	47.17	0.503	0.072
16	16:31:00 a 16:34:21	41.58	0.409	0.152
18	17:22:28 a 17:25:59	36.68	0.646	0.119
23	15:56:11 a 15:59:37	42.19	0.933	0.094
29	15:14:13 a 15:17:39	60.03	0.505	0.063

A determinação do coeficiente de atenuação da velocidade de vibração gerada pelo ar condicionado no piso em betão do laboratório L2I é apresentada na tabela seguinte.

Tabela 6 – Valores médios da velocidade de pico de vibração registados a diferentes distâncias à fonte (ar condicionado do L2I)

D[m]	V (mm/s)	
	Média	Desv. Padrão
0.1	0.096	0.002
0.2	0.060	0.004
0.5	0.065	0.006
1	0.048	0.004
1.5	0.042	0.005
2	0.037	0.004

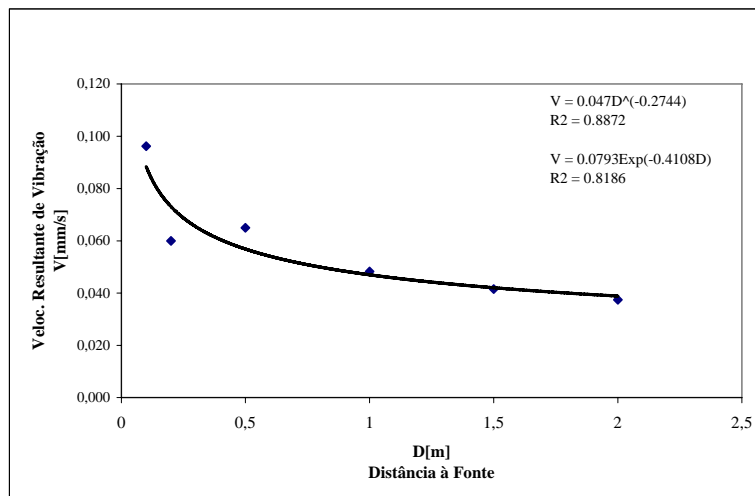


Fig.7 – Gráfico com os valores médios da velocidade de pico de vibração registados em função das distâncias à fonte (ar condicionado do L2i) de geração das vibrações

## 6 - CONCLUSÕES

Após os registos de vibrações efectuados e respectiva interpretação, pode concluir-se que a magnitude das vibrações à superfície, provenientes da operação da tuneladora, na sua actividade de abertura do túnel de Metropolitano entre as estações de Alameda e Saldanha revelaram baixas

amplitudes de vibração, inferiores aos limiares especificados nas normas da especialidade aplicáveis.

Também se constatou que o nível das referidas vibrações é inferior ao das vibrações oriundas da situação de referência, quer no que respeita ao tráfego de veículos pesados na avenida situada por cima do túnel, quer na central de ar condicionado existente a céu aberto no IST.

## **REFERÊNCIAS**

- [1] C. Dinis da Gama, 2002 - Environmental baseline studies of vibrations in urban areas. Proceedings of Eurock 2002, Funchal, Editors C. Dinis da Gama and L. Ribeiro e Sousa, SPG, pp. 481-488.
- [2] C. Dinis da Gama, 2004 – Vibrações dos terrenos: da geração ao controle. I Simpósio Ibero-Americano de Engenharia de Minas. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Anais, Vol.1, pp. 147-152.
- [3] C. Dinis da Gama e Gustavo A. Paneiro, 2004 – Quantificação do descritor vibrações em estudos de impacte ambiental. 9º Congresso Nacional de Geotecnia, Aveiro. Ed. SPG, Vol. II, pp. 297-306.