

**Rui Miguel Bettencourt Melo**

**EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL A VIBRAÇÕES  
TRANSMITIDAS AO CORPO INTEIRO:  
Factores Condicionantes na Condução de Autocarros Urbanos**

**Dissertação apresentada a defesa pública com vista à obtenção do grau de Doutor  
no Ramo de Motricidade Humana, Especialidade em Ergonomia**

Orientador: Professor Doutor Alberto Sérgio de Sá Rodrigues Miguel

**Júri:**

Presidente: Reitor da Universidade Técnica de Lisboa  
Vogais: Doutora Maria Luísa de Vargas Bulcão de Melo Barreiros  
Doutora Anabela dos Santos Aleixo Simões  
Doutor Alberto Sérgio de Sá Rodrigues Miguel  
Doutor Álvaro Alberto de Matos Ferreira da Cunha  
Doutor Francisco dos Santos Rebelo  
Doutor Pedro Miguel Ferreira Martins Arezes



**Universidade Técnica de Lisboa  
FACULDADE DE MOTRICIDADE HUMANA**

**2006**



“We do, however, collect data, test hypotheses and do experiments for a biologically driven mixture of reasons of curiosity (when we are young), compulsion (when we’re trying to get a job), duty (when we’ve got one) and habit (when we’re older!).”

A. J. Underwood



## AGRADECIMENTOS

A todos aqueles que me acompanharam no meu percurso académico no Departamento de Ergonomia da Faculdade de Motricidade Humana (F.M.H.) da Universidade Técnica de Lisboa, ora contribuindo de forma activa e directa para a realização deste trabalho, ora participando na minha formação profissional e pessoal e incentivando-me nos momentos mais críticos desta caminhada, gostaria de deixar aqui uma palavra de reconhecimento e gratidão.

Para além deste agradecimento geral, não posso deixar de me referir, individualmente:

- ao Professor Doutor Sérgio Miguel, por ter aceite orientar a minha formação académica e pedagógica, desde o início da minha actividade na F.M.H., pelo apoio e incentivo permanentes e pela amizade que fomos construindo ao longo destes dez anos de convivência;
- à Professora Doutora Luísa Barreiros, por ter acreditado que o meu contributo profissional poderia ser relevante para o desenvolvimento do Departamento de Ergonomia da F.M.H.;
- à Professora Doutora Anabela Simões, por ter impulsionado a apresentação do projecto que conduziu à realização deste estudo, por ter incentivado a respectiva candidatura a financiamento, junto da Direcção Geral dos Transportes Terrestres e do Ministério da Educação e pelo entusiasmo com que sempre me apoiou;
- à Dr<sup>a</sup>. Susana Rôla, pela sua preciosa colaboração, empenhamento e dedicação durante a fase de recolha de dados, sobretudo quando da realização das medições dos níveis vibracionais;
- ao Dr. Pedro Ferreira, por ter aceite o desafio de assumir as actividades docentes que integram as minhas funções enquanto Assistente da F.M.H., libertando-me das mesmas e permitindo que a conclusão deste trabalho se concretizasse de acordo com a calendarização prevista;
- ao Eng<sup>o</sup>. Reis Simões por ter disponibilizado todos os meios humanos e materiais da empresa que administrava, no sentido de se proceder à recolha de dados que serviram de base a este trabalho;
- ao Eng<sup>o</sup> António Fernandes, director de uma das estações da empresa que proporcionou a recolha de dados, pelo seu empenhamento na coordenação das

diferentes estações, no que se refere à disponibilização dos meios necessários, nomeadamente informação técnica, condutores e veículos;

- a todos os condutores que aceitaram colaborar no estudo e cujo contributo foi muito além de tudo aquilo que aqui ficou registado;
- ao Dr. Paulo Noriega, pela sua permanente disponibilidade para escutar as minhas dúvidas e pelos conselhos, sobretudo no que se refere ao tratamento estatístico dos resultados apresentados;
- ao restantes colegas do Departamento de Ergonomia, pelo apoio e companheirismo que sempre manifestaram;
- e à minha família, em particular à Beatriz, ao Rodrigo e à Luísa, pelos momentos em que os privei da minha presença e que nunca foram reclamados, e por tudo o que me têm dado.

Finalmente, um agradecimento particular ao apoio financeiro prestado:

- pela Direcção-Geral dos Transportes Terrestres, que se empenhou também na divulgação dos resultados do estudo;
- pelo Ministério da Educação, que através do Programa de Desenvolvimento Educativo para Portugal (PRODEP III), co-financiado pelo Fundo Social Europeu, no âmbito do III Quadro Comunitário de Apoio, suportou parte dos custos subjacentes ao estudo.

Acção Co-financiada pelo Fundo Social Europeu e pelo Estado Português



## RESUMO

A par do desenvolvimento tecnológico, nas últimas décadas surgiram veículos mais velozes, apresentando rácios potência-peso cada vez mais elevados, que aumentam a transmissão de vibrações de corpo inteiro (VCI) aos condutores. Desconforto, redução do desempenho humano e problemas de saúde ocorrem frequentemente em profissionais expostos a VCI.

A exposição a VCI durante a condução de autocarros em ambiente urbano foi estudada, investigando-se o papel desempenhado pelas irregularidades do piso, pelas propriedades dos veículos e pelas características dos condutores. Obtiveram-se modelos de regressão linear múltipla que permitem prever o nível vibracional sobre o assento do condutor, a partir daquelas três categorias de factores.

O estudo envolveu dez modelos de veículos e três tipos de pavimento: asfalto recente, asfalto irregular e paralelepípedos. As medições efectuaram-se de acordo com a norma ISO 2631-1 (1997).

As vibrações mais severas para os condutores transmitiram-se na direcção vertical. As irregularidades do piso e as características do veículo desempenharam um papel relevante na transmissão das vibrações. O perfil da estrada (amplitude e comprimento de onda) condicionou as frequências dominantes, bem como o nível vibracional registado. O pavimento de asfalto recente e os veículos mais pesados, de maiores dimensões e mais recentes estão associados a menores níveis vibracionais.

**Palavras-chave:** Vibrações de Corpo Inteiro, Autocarros, Condutores, Assento, Modelos de Regressão Múltipla, Transmissibilidade.

## ABSTRACT

The last few decades have brought, together with technological development, faster vehicles with greater power-to-weight ratios, which increased whole-body vibration (WBV) transmission to the drivers. Discomfort, reduced human performance and health impairments are found among professionals repeatedly exposed to WBV.

Vibration exposure levels experienced by bus drivers operating in urban environments were studied in order to evaluate the role played by ground surface irregularities as well as vehicle properties and driver characteristics. Multiple regression models were developed so that WBV levels on the seat pan could be predicted from those three groups of factors.

The study involved ten different bus models, from four different manufacturers, and three types of terrain: recently asphalt paved, irregular asphalt paved and brick paved. Vibration was measured according to ISO 2631-1 (1997).

The most severe vibration to the drivers was transmitted along the vertical direction. Ground roughness and the vehicle characteristics played a relevant role on the vibration transmission. Road surface profile (amplitude and wave length) was a significant controlling factor for the dominant frequencies, as well as for the vibration levels. Recently asphalt paved surface, along with larger, heavier and younger vehicles were associated with lower vibration magnitudes on the driver's seat.

**Keywords:** Whole-body Vibration, Buses, Drivers, Seat, Multiple Regression Models, Transmissibility.

## ÍNDICE GERAL

|                                                                     |             |
|---------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>AGRADECIMENTOS .....</b>                                         | <b>I</b>    |
| <b>RESUMO.....</b>                                                  | <b>III</b>  |
| <b>ABSTRACT.....</b>                                                | <b>IV</b>   |
| <b>ÍNDICE GERAL.....</b>                                            | <b>V</b>    |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>                                      | <b>IX</b>   |
| <b>ÍNDICE DE TABELAS.....</b>                                       | <b>XIII</b> |
| <b>LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....</b>                          | <b>XVII</b> |
| <b>INTRODUÇÃO.....</b>                                              | <b>1</b>    |
| <b>PARTE I - ENQUADRAMENTO TEÓRICO E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA ....</b> | <b>7</b>    |
| <b>1. VIBRAÇÕES DE CORPO INTEIRO .....</b>                          | <b>9</b>    |
| 1.1. CARACTERIZAÇÃO DA VIBRAÇÃO.....                                | 10          |
| 1.2. FONTES DE EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL .....                          | 12          |
| 1.3. CONSEQUÊNCIAS DA EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL .....                   | 13          |
| 1.3.1. <i>Efeitos sobre o conforto</i> .....                        | 15          |
| 1.3.2. <i>Efeitos sobre o desempenho</i> .....                      | 17          |
| 1.3.3. <i>Efeitos sobre a saúde</i> .....                           | 20          |
| 1.4. APLICAÇÕES DAS VIBRAÇÕES DE CORPO INTEIRO .....                | 31          |
| 1.5. LEGISLAÇÃO .....                                               | 33          |
| 1.6. NORMALIZAÇÃO .....                                             | 36          |
| <b>2. VIBRAÇÕES E A POSIÇÃO DE SENTADO .....</b>                    | <b>47</b>   |
| 2.1. A POSIÇÃO DE SENTADO .....                                     | 47          |
| 2.2. O ASSENTO .....                                                | 51          |
| <b>3. VARIABILIDADE DA EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL.....</b>               | <b>57</b>   |
| 3.1. VARIÁVEIS INTRÍNSECAS AO CONDUTOR.....                         | 57          |
| 3.2. VARIÁVEIS EXTRÍNSECAS AO CONDUTOR .....                        | 59          |

|                                                    |            |
|----------------------------------------------------|------------|
| <b>4. CONTROLO DA EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL.....</b>   | <b>73</b>  |
| 4.1. MEDIDAS TÉCNICAS.....                         | 74         |
| 4.2. MEDIDAS ORGANIZACIONAIS.....                  | 78         |
| 4.3. MEDIDAS DE PROTECÇÃO INDIVIDUAL.....          | 80         |
| <b>5. VIBRAÇÕES E MODELOS.....</b>                 | <b>83</b>  |
| 5.1. MODELOS BIOMECÂNICOS .....                    | 83         |
| 5.2. MODELOS PREVISORES DO NÍVEL VIBRACIONAL ..... | 86         |
| <b>PARTE II - ESTUDO EXPERIMENTAL.....</b>         | <b>91</b>  |
| <b>6. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....</b>               | <b>93</b>  |
| 6.1. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....                   | 93         |
| 6.2. OBJECTIVOS DO ESTUDO .....                    | 95         |
| <b>7. METODOLOGIA .....</b>                        | <b>99</b>  |
| 7.1. AMOSTRA .....                                 | 99         |
| 7.1.1. Veículos .....                              | 99         |
| 7.1.2. Sujeitos .....                              | 100        |
| 7.2. DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS .....                 | 101        |
| 7.3. INSTRUMENTOS .....                            | 103        |
| 7.4. PERCURSOS E PAVIMENTOS.....                   | 105        |
| 7.5. PROCEDIMENTOS .....                           | 106        |
| 7.6. TRATAMENTO DOS SINAIS VIBRATÓRIOS.....        | 108        |
| 7.7. TRATAMENTO ESTATÍSTICO .....                  | 110        |
| <b>PARTE III - RESULTADOS E CONCLUSÕES.....</b>    | <b>113</b> |
| <b>8. RESULTADOS.....</b>                          | <b>115</b> |
| 8.1. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO .....   | 115        |
| 8.2. EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL A VIBRAÇÕES .....       | 119        |
| 8.2.1. Espectros por banda de terço de oitava..... | 119        |
| 8.2.2. Aceleração ponderada .....                  | 122        |
| 8.2.3. Aceleração total ponderada.....             | 128        |
| 8.2.4. Transmissibilidade .....                    | 133        |
| 8.3. PREVISÃO DO NÍVEL VIBRACIONAL .....           | 137        |

|                                                                                                                         |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 8.3.1. <i>Factores condicionantes do nível vibracional</i> .....                                                        | 137        |
| 8.3.2. <i>Modelos previsores do nível vibracional</i> .....                                                             | 140        |
| <b>9. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....</b>                                                                                | <b>145</b> |
| 9.1. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO .....                                                                        | 145        |
| 9.2. EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL A VIBRAÇÕES .....                                                                            | 148        |
| 9.2.1. <i>Espectros de banda de terço de oitava</i> .....                                                               | 148        |
| 9.2.2. <i>Aceleração ponderada</i> .....                                                                                | 150        |
| 9.2.3. <i>Aceleração total ponderada</i> .....                                                                          | 151        |
| 9.2.4. <i>Transmissibilidade</i> .....                                                                                  | 153        |
| 9.3. PREVISÃO DO NÍVEL VIBRACIONAL .....                                                                                | 155        |
| 9.3.1. <i>Validação dos modelos previsores dos níveis vibracionais</i> .....                                            | 159        |
| <b>10. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>                                                                                   | <b>163</b> |
| 10.1. CONCLUSÕES .....                                                                                                  | 163        |
| 10.2. LIMITAÇÕES DO ESTUDO E PERSPECTIVAS DE CONTINUIDADE .....                                                         | 165        |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>                                                                                  | <b>167</b> |
| <b>ANEXO I - Descrição Detalhada dos Percursos</b>                                                                      |            |
| <b>ANEXO II - Espectros por banda de terço de oitava</b>                                                                |            |
| <b>ANEXO III - Distribuição da transmissibilidade do assento na direcção vertical,<br/>por banda de terço de oitava</b> |            |
| <b>ANEXO IV - Resultados das medições efectuadas</b>                                                                    |            |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 1.1 - Sistema de eixos coordenados de referência definido pela norma ISO 2631-1 (1997): a) sentado; b) de pé; c) prostrado. ....                                                                                                                                                                                                     | 39  |
| Figura 2.1 - Posição relativa da pélvis e da zona lombar da coluna vertebral: a) de pé; b) postura mediana, sentada, sem suporte e relaxada; c) postura mediana, sentada, sem suporte e erecta; d) postura anterior, sentada; e) postura posterior, sentada (adaptado de Chaffin & Andersson, 1991). ....                                   | 48  |
| Figura 2.2 – Interacção inicial entre o corpo do condutor e o assento de um automóvel quando o veículo é submetido a uma vibração vertical: a) um hipotético assento de automóvel sem encosto; b) um assento de automóvel típico, com o encosto fixo; c) um assento de automóvel com encosto móvel (adaptado de Johnson & Nève, 2001). .... | 55  |
| Figura 4.1 - Prevenção dos problemas de saúde associados à exposição a VCI (adaptado de Griffin, 1990). ....                                                                                                                                                                                                                                | 74  |
| Figura 4.2 – Possíveis localizações de sistemas de suspensão a considerar num veículo (adaptado de Donati, 2002). ....                                                                                                                                                                                                                      | 76  |
| Figura 7.1 – Assento instalado nos veículos analisados: a) panorâmica geral; b) detalhe das regulações de altura e inclinação do assento, de inclinação do encosto e da distância aos comandos do veículo; c) detalhe das regulações da suspensão. ....                                                                                     | 100 |
| Figura 7.2 – Acelerómetro triaxial, modelo 4322 (a) e acelerómetro uniaxial, modelo 4370 (b), ambos da Brüel & Kjær. ....                                                                                                                                                                                                                   | 104 |
| Figura 7.3 – Analisador de frequências de dois canais, em tempo real, modelo 2144, da Brüel & Kjær. ....                                                                                                                                                                                                                                    | 104 |
| Figura 7.4 - Planta da cidade de Lisboa e traçado dos percursos realizados pela frota da empresa (fonte: Carris de Ferro de Lisboa, S.A.). ....                                                                                                                                                                                             | 106 |
| Figura 8.1 – Comparação entre os valores máximos de aceleração ponderada ( $\text{m s}^{-2}$ ) e os correspondentes valores de aceleração ponderada ( $\text{m s}^{-2}$ ) obtidos para a direcção vertical (z). ....                                                                                                                        | 116 |
| Figura 8.2 – Comparação entre os valores de aceleração ponderada ( $\text{m s}^{-2}$ ) obtidos para a direcção mais severa e os correspondentes valores de aceleração total ponderada ( $\text{m s}^{-2}$ ), segundo o critério da saúde. ....                                                                                              | 117 |
| Figura 8.3 - Comparação entre os valores de aceleração ponderada ( $\text{m s}^{-2}$ ) obtidos para a direcção mais severa e os correspondentes valores de aceleração total ponderada ( $\text{m s}^{-2}$ ), segundo o critério do conforto. ....                                                                                           | 117 |
| Figura 8.4 – Comparação entre os valores de aceleração total ponderada ( $\text{m s}^{-2}$ ) obtidos segundo os critérios da saúde e do conforto. ....                                                                                                                                                                                      | 118 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                    |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 8.5 - Espectros de aceleração eficaz média obtidos em todos os veículos, para as direcções $x$ , $y$ e $z$ .....                                                                                                                                            | 119 |
| Figura 8.6 - Espectros de aceleração eficaz média obtidos no pavimento de asfalto recente (AR), em todos os veículos, para as direcções $x$ , $y$ e $z$ . ....                                                                                                     | 120 |
| Figura 8.7 - Espectros de aceleração eficaz média obtidos no pavimento de asfalto irregular (AI), em todos os veículos, para as direcções $x$ , $y$ e $z$ .....                                                                                                    | 121 |
| Figura 8.8 - Espectros de aceleração eficaz média obtidos no pavimento de paralelepípedos, em todos os veículos, para as direcções $x$ , $y$ e $z$ . ....                                                                                                          | 121 |
| Figura 8.9 – Valores médios e desvio padrão de aceleração ponderada, correspondentes às três direcções ortogonais, obtidos sobre o assento dos veículos analisados. ....                                                                                           | 123 |
| Figura 8.10 – Variação da aceleração ponderada média obtida para as direcções $x$ , $y$ e $z$ , em função do tipo de piso de circulação (AR - Asfalto recente; AI - Asfalto irregular; P - Paralelepípedos).....                                                   | 125 |
| Figura 8.11 – Diferenças entre veículos, no que respeita aos valores de aceleração total ponderada, segundo os critérios do conforto e da saúde. ....                                                                                                              | 129 |
| Figura 8.12 – Variação dos valores médios de aceleração total ponderada, segundo os critérios do conforto e da saúde, em função do tipo de piso de circulação (AR - Asfalto recente; AI - Asfalto irregular; P - Paralelepípedos).....                             | 130 |
| Figura 8.13 – Variação do valor do factor SEAT nos diferentes modelos de veículos, em função do tipo de pavimento de circulação (AR - Asfalto recente; AI - Asfalto irregular; P - Paralelepípedos).....                                                           | 134 |
| Figura 8.14 - Variação da transmissibilidade vibracional média, na direcção vertical, dos assentos montados nos veículos analisados nos três tipos de piso (AR - Asfalto recente; AI - Asfalto irregular; P – Paralelepípedos), por banda de terço de oitava. .... | 135 |
| Figura 8.15 - Variação da transmissibilidade vibracional média, na direcção vertical, dos assentos montados nos veículos analisados no piso de asfalto regular (AR), por banda de terço de oitava. ....                                                            | 135 |
| Figura 8.16 - Variação da transmissibilidade vibracional média, na direcção vertical, dos assentos montados nos veículos analisados no piso de asfalto irregular (AI), por banda de terço de oitava. ....                                                          | 136 |
| Figura 8.17 - Variação da transmissibilidade vibracional média, na direcção vertical, dos assentos montados nos veículos analisados no piso de paralelepípedos (P), por banda de terço de oitava. ....                                                             | 136 |
| Figura 9.1 – Comparação entre os valores de aceleração ( $m\ s^{-2}$ ) obtidos a partir da equação dos modelos obtidos e os valores medidos ( $m\ s^{-2}$ ), no piso de asfalto recente. ....                                                                      | 159 |

|                                                                                                                                                                                                                 |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 9.2 - Comparação entre os valores de aceleração ( $\text{m s}^{-2}$ ) obtidos a partir da equação dos modelos obtidos e os valores medidos ( $\text{m s}^{-2}$ ), no piso de asfalto irregular.<br>..... | 160 |
| Figura 9.3 - Comparação entre os valores de aceleração ( $\text{m s}^{-2}$ ) obtidos a partir da equação dos modelos obtidos e os valores medidos ( $\text{m s}^{-2}$ ), no piso de paralelepípedos.<br>.....   | 160 |



## ÍNDICE DE TABELAS

|                                                                                                                                                                                                        |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 1.1 - Ponderações propostas para o cálculo do valor da aceleração ponderada, a partir dos espectros por banda de terço de oitava. ....                                                          | 40  |
| Tabela 1.2 - Reacções típicas de indivíduos expostos a diferentes intensidades vibracionais em transportes públicos. ....                                                                              | 46  |
| Tabela 2.1 - Fontes de perturbação da segurança, da saúde, do bem-estar e do desempenho humanos na posição de sentado (adaptado de Eklund, 1999). ....                                                 | 50  |
| Tabela 2.2 – Frequências naturais de diferentes partes do corpo humano, na posição de sentado, segundo diversos autores. ....                                                                          | 51  |
| Tabela 3.1 - Fontes de variabilidade inter- e intra-individual (adaptado de Griffin, 1990). ....                                                                                                       | 58  |
| Tabela 3.2 – Resultados das medições dos níveis vibracionais em tractores por Muzammil et al. (2004). ....                                                                                             | 61  |
| Tabela 3.3 – Valores médios de aceleração total ponderada ( $\text{m s}^{-2}$ ) medidos em empilhadores por Joubert (2002). ....                                                                       | 64  |
| Tabela 4.1 – Características de uma vibração sinusoidal transmitida a um condutor de um veículo que circula a uma velocidade constante em três superfícies diferentes (Sayers & Karamihas, 1998). .... | 74  |
| Tabela 4.2 - Parâmetros relevantes para a selecção da suspensão dos assentos (adaptado de Donati, 2002). ....                                                                                          | 77  |
| Tabela 4.3 – Efeito do aumento da velocidade de circulação nas características de uma vibração sinusoidal (Sayers & Karamihas, 1998). ....                                                             | 80  |
| Tabela 6.1 – Factores de <i>stress</i> presentes na condução de autocarros, em ambiente urbano (adaptado de Evans et al., 1999 e Göbel et al., 1998). ....                                             | 94  |
| Tabela 7.1 - Caracterização da amostra de veículos (N=48). ....                                                                                                                                        | 100 |
| Tabela 7.2 - Caracterização da amostra de condutores (N=59). ....                                                                                                                                      | 101 |
| Tabela 7.3 – Variáveis independentes do estudo. ....                                                                                                                                                   | 102 |
| Tabela 7.4 - Caracterização dos percursos seleccionados para a recolha de dados e identificação dos veículos adstritos. ....                                                                           | 105 |
| Tabela 7.5 - Ponderações propostas para o cálculo do valor da aceleração ponderada, a partir dos espectros por banda de terço de oitava (ISO 2631, 1997). ....                                         | 109 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 8.1 - Frequências (em Hz) centrais das bandas de terço de oitava em que se registaram os picos de aceleração eficaz nas três direcções, nos três tipos de piso (AR - Asfalto recente; AI - Asfalto irregular; P - Paralelepípedos). .....                                | 122 |
| Tabela 8.2 - Gama de valores, média e desvio padrão de aceleração ponderada (rms) obtidos sobre o assento, nos diferentes veículos. ....                                                                                                                                        | 123 |
| Tabela 8.3 - Gama de valores, média e desvio padrão de aceleração ponderada (rms) obtidos sobre o assento de todos os veículos, nos diferentes tipos de piso (AR - Asfalto recente; AI - Asfalto irregular; P - Paralelepípedos). ....                                          | 124 |
| Tabela 8.4 - Resultados do teste <i>t</i> de comparação das médias dos valores de aceleração ponderada das três direcções, obtidos sobre o assento, nos diferentes tipos de piso (AR - Asfalto recente; AI - Asfalto irregular; P - Paralelepípedos). ....                      | 124 |
| Tabela 8.5 - Gama de valores, média e desvio padrão de aceleração ponderada (r.m.s.) das direcções x, y e z, obtidos sobre o assento dos diferentes veículos e nos diferentes tipos de piso (AR - Asfalto recente; AI - Asfalto irregular; P - Paralelepípedos). ....           | 126 |
| Tabela 8.6 - Veículos que apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os valores de aceleração ponderada da direcção vertical (z), obtidos sobre o assento, no piso de paralelepípedos (P). ....                                                              | 127 |
| Tabela 8.7 - Veículos que apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os valores de aceleração ponderada da direcção lateral (y), obtidos sobre o assento, no piso de asfalto recente (AR). ....                                                              | 127 |
| Tabela 8.8 - Veículos que apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os valores de aceleração ponderada das três direcções, obtidos sobre o assento, no piso de asfalto irregular (AI). ....                                                                 | 127 |
| Tabela 8.9 - Gama de valores, média e desvio padrão de aceleração total ponderada, obtidos sobre o assento dos diferentes veículos, segundo os critérios do conforto e da saúde. ....                                                                                           | 128 |
| Tabela 8.10 - Gama de valores, média e desvio padrão de aceleração total ponderada (rms), obtidos sobre o assento nos diferentes pisos (AR - Asfalto recente; AI - Asfalto irregular; P - Paralelepípedos), segundo os critérios de conforto e saúde. ....                      | 129 |
| Tabela 8.11 - Gama de valores, média e desvio padrão de aceleração total equivalente ( $m\ s^{-2}$ ), obtidos sobre o assento nos três tipos de pavimento (AR - Asfalto recente; AI - Asfalto irregular; P - Paralelepípedos), segundo os critérios do conforto e da saúde. ... | 131 |
| Tabela 8.12 - Veículos que apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os valores de aceleração total ponderada, calculados de acordo com os critérios do conforto e da saúde, no piso de paralelepípedos (P). ....                                           | 131 |
| Tabela 8.13 - Veículos que apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os valores de aceleração total ponderada, calculados de acordo com os critérios do conforto e da saúde, no piso de asfalto irregular (AI). ....                                        | 132 |

|                                                                                                                                                                                                                                                   |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 8.14 - Veículos que apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os valores de aceleração total ponderada, calculados de acordo com o critério da saúde, no piso de asfalto recente (AR).....                             | 133 |
| Tabela 8.15 - Gama de valores, média e desvio padrão do factor SEAT, obtidos para a direcção vertical (z), nos diferentes veículos, em circulação nos três tipos de piso (AR - Asfalto recente; AI - Asfalto irregular; P - Paralelepípedos)..... | 134 |
| Tabela 8.16 - Coeficientes de correlação de Pearson entre aceleração sobre o assento e idade do veículo e níveis de significância correspondentes (AR - Asfalto recente; AI - Asfalto irregular; P - Paralelepípedos).....                        | 138 |
| Tabela 8.17 - Coeficientes de correlação de Pearson entre aceleração e comprimento do veículo e níveis de significância correspondentes (AR - Asfalto recente; AI - Asfalto irregular; P - Paralelepípedos). ....                                 | 138 |
| Tabela 8.18 - Coeficientes de correlação de Pearson entre aceleração e peso do veículo e níveis de significância correspondentes (AR - Asfalto recente; AI - Asfalto irregular; P - Paralelepípedos).....                                         | 139 |
| Tabela 8.19 - Coeficientes de correlação de Pearson entre aceleração e experiência do condutor e níveis de significância correspondentes (AR - Asfalto recente; AI – Asfalto irregular; P - Paralelepípedos). ....                                | 139 |
| Tabela 8.20 - Coeficientes de correlação de Pearson entre aceleração e idade do condutor e níveis de significância correspondentes (AR - Asfalto recente; AI – Asfalto irregular; P - Paralelepípedos). ....                                      | 140 |
| Tabela 8.21 – Modelos de regressão linear múltipla obtidos para a aceleração ponderada das três direcções ortogonais, no pavimento de asfalto recente (N=52).....                                                                                 | 141 |
| Tabela 8.22 - Modelos de regressão linear múltipla obtidos para a aceleração ponderada das três direcções ortogonais, no pavimento de asfalto irregular (N=58). ....                                                                              | 141 |
| Tabela 8.23 - Modelos de regressão linear múltipla obtidos para a aceleração ponderada das três direcções ortogonais, no pavimento de paralelepípedos (N=33).....                                                                                 | 142 |
| Tabela 8.24 - Modelos de regressão linear múltipla obtidos para a aceleração total ponderada, segundo os critérios da saúde e do conforto, no pavimento de asfalto recente (N=52).....                                                            | 143 |
| Tabela 8.25 - Modelos de regressão linear múltipla obtidos para a aceleração total ponderada, segundo os critérios da saúde e do conforto, no pavimento de asfalto irregular (N=58).....                                                          | 143 |
| Tabela 8.26 - Modelos de regressão linear múltipla obtidos para a aceleração total ponderada, segundo os critérios da saúde e do conforto, no pavimento de paralelepípedos (N=33).....                                                            | 144 |
| Tabela 9.1– Comparação dos tempos de exposição necessários para se atingir o nível de acção diário, calculados com base nos três critérios recomendados pela norma ISO 2631-1(1997). ....                                                         | 146 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 9.2 – Comparação dos valores de aceleração ponderada obtidos para as três direcções, nos diferentes estudos. ....                                                                                                                                                    | 150 |
| Tabela 9.3 – Gama de valores, média e desvio padrão da aceleração ponderada obtidos para a direcção vertical (z), na base do assento dos diferentes veículos em circulação nos três tipos de piso (AR – Asfalto recente; AI – Asfalto irregular; P – Paralelepípedos). .... | 154 |
| Tabela 9.4 – Diferenças encontradas entre os resultados derivados da aplicação dos modelos obtidos e os resultados das medições realizadas em situação real de condução. ....                                                                                               | 161 |
| Tabela 9.5 – Coeficientes de correlação de Pearson e níveis de significância entre os valores estimados e os valores resultantes da medição. ....                                                                                                                           | 161 |

## **LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

AI – Asfalto Irregular

alt - Altura

ANOVA – Análise de Variância

AR – Asfalto Recente

comp – Comprimento

dp – Desvio Padrão

gl – Graus de Liberdade

larg – Largura

máx. – Máximo

min. – Mínimo

p – nível de significância

P – Paralelepípedos

rms – valor eficaz (root-mean-square)

SEAT – Seat Effective Amplitude Transmissibility

VCI – Vibrações de Corpo Inteiro



## INTRODUÇÃO

A par dos avanços tecnológicos, a Sociedade dos nossos dias vê-se confrontada com sérios problemas de degradação do ambiente. A imposição da mecanização, o aumento da potência dos motores, a difusão da utilização de sistemas miniaturizados e de construções mais leves, entre outros factores, têm contribuído para uma maior disponibilidade de energia, que se transmite ao Homem sob a forma de vibrações mecânicas. A designação vibração humana refere-se, regra geral, às oscilações experimentadas pelo Homem como resultado do contacto directo com superfícies vibrantes.

Os condutores da maior parte dos veículos motorizados estão sujeitos a vibrações, de maior ou menor intensidade, que se transmitem ao corpo inteiro durante a realização das tarefas que lhes estão cometidas, traduzindo-se em efeitos mais ou menos graves, que podem ir desde uma simples sensação de desconforto, até à interferência com a capacidade para executar essas tarefas, ou, inclusivamente, até ao aparecimento de diferentes problemas de saúde.

Como resultado de um estudo realizado, estima-se que existam cerca de 7,6 milhões de homens e 1,8 milhões de mulheres expostos a vibrações deste tipo, pelo menos uma vez por semana, no Reino Unido (Palmer, Coggon, Pannett, & Griffin, 1998; Palmer et al., 1999). Em França, um milhão e meio de pessoas estão sujeitas a vibrações desta natureza, numa base diária (Donati, 1996). Na Holanda, cerca 300 000 condutores profissionais (aproximadamente 5% da população activa) estão diariamente expostos a vibrações (Bongers, Boshuizen, Hulshof, & Koemeester, 1988; Hulshof, Braam, Verbeek, & Van Dijk, 1996), enquanto que nos Estados Unidos da América se estima que o número ascenda a cerca de sete milhões (Özkaya, Willems, & Goldsheyder, 1994; Wasserman et al., 1997).

Em Portugal não existem dados estatísticos publicados relativos à exposição ocupacional a este agente físico do ambiente de trabalho, nem relativamente às consequências que daí advêm, tanto para o bem-estar, como para o desempenho humano ou, inclusivamente, para a saúde e segurança dos trabalhadores. No entanto, é natural que o panorama nacional acompanhe a tendência verificada noutros países da

União Europeia. Na sequência da realização do 2º Inquérito sobre as Condições de Trabalho na União Europeia, em 1995, foi possível verificar que 11% da população activa (dos 15 Estados Membros) estava permanentemente exposta a vibrações e que em 24% dos casos a exposição ocorria durante, pelo menos, mais de um quarto do dia de trabalho (Paoli, 1997). Em 2000, a Fundação Europeia para a Melhoria das Condições de Vida e de Trabalho levou a cabo o 3º Inquérito Europeu sobre as Condições de Trabalho, tendo-se registado apenas uma diminuição para 10% na percentagem da população que está permanentemente exposta às vibrações ao longo do dia de trabalho (Paoli & Merllié, 2001). Como curiosidade, refira-se que estes valores não são assim tão díspares dos que dizem respeito à exposição ao ruído. Neste mesmo inquérito constatou-se que 11% da população da União Europeia está permanentemente sujeita a níveis sonoros que exigem, no mínimo, um aumento do tom de voz para os trabalhadores se fazerem ouvir, enquanto que, para 29%, tal sucede durante mais de um quarto da jornada de trabalho.

A partir da revisão bibliográfica realizada, pode afirmar-se que, apesar dos inúmeros estudos realizados no âmbito das vibrações, ainda não existe um domínio completo acerca das características dos estímulos vibracionais transmitidos ao Homem em situação de trabalho, nem dos factores que controlam essa transmissão e, consequentemente, dos respectivos efeitos. Sabe-se, contudo, que as consequências resultantes da exposição ocupacional a este factor ambiental, seja a nível do conforto, do desempenho ou da saúde, são função das respectivas características: intensidade, frequência, direcção, ponto de aplicação e duração. Por outro lado, a variabilidade manifestada por estes parâmetros tem uma origem multifactorial. A diversidade de fontes de exposição ocupacional existente é considerável, pelo que o número de indivíduos expostos também o será. Na condução de veículos motorizados têm sido identificadas diversas variáveis com capacidade de modificação das características vibracionais: o veículo propriamente dito, as suas dimensões, os respectivos sistemas de suspensão e amortecimento, o assento, as tarefas realizadas, a velocidade de circulação, o pavimento em que o veículo se desloca, a carga transportada, entre outros. O próprio condutor é fonte de variabilidade, nomeadamente, pelas suas características estáticas e dinâmicas, pela posição, orientação e postura que assume. Todavia, os estudos realizados até à data não permitem generalizar as conclusões relativas à acção destas variáveis sobre as características da vibração e, consequentemente, sobre os efeitos

manifestados junto do trabalhador, por serem, muitas vezes, contraditórias. Refira-se, a título de exemplo, que o aumento da carga transportada por camiões (Boulanger, Donati, Galmiche, Christ, & Kaulbars, 1992) resultou num aumento da vibração transmitida ao condutor e teve um efeito contrário junto dos condutores de empilhadores (Danière, Boulanger, Donati, & Galmiche, 1992; Malchaire, Piette, & Mullier, 1996).

Nesta perspectiva, têm particular interesse modelos matemáticos que permitam prever o nível vibracional a que os condutores estão sujeitos, a partir do conhecimento das variáveis que o determinam. Tal ferramenta não só permitiria ultrapassar o problema associado ao tempo que medições em situação real de trabalho implicam, mas também simular o efeito de alterações que se pretendessem implementar, com vista à redução das vibrações transmitidas ao condutor.

Neste sentido, podem definir-se a variabilidade da exposição ocupacional a vibrações do corpo inteiro e os factores que se encontram na sua génese como objecto central deste estudo.

O presente documento está organizado em três partes distintas: 1) enquadramento teórico e revisão bibliográfica; 2) estudo experimental propriamente dito; 3) resultados e conclusões.

A primeira parte inclui um conjunto de cinco capítulos que reflectem a revisão da literatura científica mais recente, considerada relevante para a problemática em análise.

Nesta óptica, no primeiro capítulo faz-se uma caracterização alargada das vibrações de corpo inteiro (VCI). Identificam-se as principais características das VCI, enumeram-se as diferentes fontes de exposição ocupacional, analisam-se os efeitos decorrentes da exposição a três níveis distintos (conforto, desempenho e saúde do ser humano), bem como o potencial das vibrações como agente terapêutico. Por fim, faz-se uma breve revisão da legislação em vigor e normalização recomendada.

No segundo capítulo são abordadas as implicações que a posição de sentado e, necessariamente, o assento têm na exposição ocupacional a vibrações desta natureza, na

medida em que os sujeitos considerados neste estudo se encontram naquela posição durante a execução das tarefas que lhes estão cometidas.

No capítulo seguinte faz-se uma revisão de estudos realizados neste mesmo âmbito, com particular destaque para as variáveis independentes que controlam os níveis vibracionais transmitidos ao Homem e para os próprios valores registados. Para o efeito são consideradas as variáveis inerentes ao próprio trabalhador, bem como aquelas que lhe são extrínsecas.

O capítulo quarto descreve, de forma sucinta, as principais formas de controlo da exposição ocupacional a VCI, hierarquizando-as segundo critérios de eficácia, abrangência e custos associados.

O quinto capítulo centra-se em duas categorias de modelos que têm vindo a ser desenvolvidos no domínio da exposição a VCI: modelos biomecânicos centrados nos efeitos destas vibrações sobre o Homem e modelos previsores, baseados nas variáveis que determinam o nível vibracional transmitido ao Homem.

A segunda parte, onde é apresentado o estudo realizado, consta de dois capítulos.

A definição do problema central deste estudo surge no capítulo seis e inclui a formulação do problema propriamente dito, uma breve descrição do contexto de trabalho analisado e a definição dos objectivos e das hipóteses do estudo.

As opções metodológicas feitas ao longo da realização do estudo são descritas e justificadas no capítulo sete. Começa-se por fazer uma descrição das amostras de condutores e de veículos. De seguida apresentam-se as variáveis do estudo e faz-se uma breve descrição do equipamento utilizado. Os percursos e respectivos tipos de pavimento são caracterizados antes de se descreverem os procedimentos. A explanação do tratamento de dados efectuado inclui as transformações operadas nos sinais vibratórios obtidos, bem como a análise estatística realizada.

A apresentação dos resultados, sua discussão e apresentação das conclusões alcançadas com este trabalho surgem na terceira parte.

No capítulo oito são apresentados os resultados mais relevantes do estudo, sendo os restantes remetidos para os anexos.

A sua discussão é realizada no capítulo nove, pela confrontação dos mesmos entre si e pela sua análise à luz dos resultados dos estudos apresentados na revisão da literatura e apenas estes.

Finalmente, no capítulo dez são reforçados os principais resultados e apresentadas as limitações do presente estudo, bem como algumas sugestões para futuras investigações.



**PARTE I - ENQUADRAMENTO TEÓRICO E REVISÃO  
BIBLIOGRÁFICA**



## 1. Vibrações de Corpo Inteiro

Toleradas, e por vezes ignoradas, no passado, as vibrações têm vindo a ser cada vez mais reconhecidas como um risco ocupacional para o conforto, o desempenho e a própria saúde do ser humano. A exposição a vibrações, em contexto ocupacional, deve-se, sobretudo, à utilização massiva de equipamentos de potência elevada e de dimensões e massa cada vez mais reduzidos. A par do aumento do nível de desempenho destes equipamentos, existe uma maior disponibilidade de energia mecânica que se transmite ao ser humano sob a forma de vibrações. Esta transmissão processa-se, fundamentalmente, de dois modos distintos: por via segmentar, ao sistema mão-braço, ou ao corpo inteiro. O primeiro ocorre em actividades que implicam a manipulação e/ou controlo manual de ferramentas portáteis ou semi-portáteis, ou quando se manuseiam materiais que estão a ser processados por uma máquina, enquanto que o segundo é mais frequente nos operadores de máquinas de porte elevado e/ou na condução dos mais variados tipos de veículo.

Segundo a Directiva 2002/44/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de Junho de 2002, “entende-se por vibrações transmitidas a todo o organismo, as vibrações mecânicas que, quando transmitidas a todo o organismo, implicam riscos para a saúde e para a segurança dos trabalhadores, em especial patologia da região lombar e lesões da coluna lombar”. Neste estudo, este tipo de vibração é designado por vibração de corpo inteiro (VCI).

Tão importante como o modo de transmissão da vibração, são outras características intrínsecas como a intensidade, a frequência, a direcção e a duração, assim como os factores que as condicionam, sejam eles inerentes ao próprio ser humano, ou ao equipamento que é fonte geradora do estímulo mecânico. Todos estes aspectos da vibração desempenham um papel crucial nas consequências que advêm da exposição, bem como nos mecanismos que se podem desenvolver no sentido de controlar os níveis vibracionais originados por esses equipamentos e a que o Homem acaba por estar sujeito.

Nesta óptica, neste capítulo começa-se por enunciar os aspectos relevantes para a caracterização da exposição ocupacional a VCI, aludindo aos diferentes tipos de

fontes vibracionais. Na sequência da exposição ocupacional a VCI pode ocorrer manifestação de efeitos ao nível do conforto, da realização de diversas tarefas e da saúde, pelo que a sua apresentação surge antes de se descreverem algumas potencialidades associadas a este tipo de vibração.

A concluir este capítulo faz-se uma revisão crítica da nova directiva europeia sobre vibrações e da norma ISO, cujas directrizes a primeira recomenda serem seguidas, no que concerne às VCI.

### ***1.1. Caracterização da vibração***

A descrição completa de uma vibração mecânica pressupõe, entre outros aspectos, o conhecimento da sua intensidade, da sua frequência, ou gama de frequências, da sua direcção, do respectivo ponto de aplicação e da sua duração, na medida em que a combinação destes factores condiciona os efeitos resultantes da exposição ocupacional (Mansfield, 2004).

A intensidade ou magnitude vibracional está relacionada com a extensão da oscilação e pode ser quantificada com recurso ao deslocamento induzido, à velocidade imprimida ou à aceleração transmitida. No entanto, esta última grandeza física parece traduzir mais fidedignamente a severidade da vibração em termos de intensidade, do que as duas primeiras. Regra geral, a aceleração é expressa em  $\text{m s}^{-2}$  ou em g, mas também se pode recorrer a uma escala logarítmica, com o decibel como unidade.

O corpo humano é muito sensível aos fenómenos vibratórios, sendo capaz de perceber movimentos com amplitudes da ordem de alguns micrómetros e acelerações próximas de  $0,01 \text{ m s}^{-2}$  (Gelé, 1998). No extremo oposto, vibrações com acelerações com uma ordem de grandeza próxima de  $10 \text{ m s}^{-2}$  podem ter um efeito bastante lesivo para o Homem. No entanto, na condução de veículos rodoviários e ferroviários a intensidade das VCI oscila, em média, entre 0,2 e  $1,0 \text{ m s}^{-2}$  (Griffin, 1990).

A taxa de repetição dos ciclos de uma oscilação determina a frequência da vibração e exprime-se em hertz (Hz). Uma frequência de 1 Hz significa, em termos

físicos, que ocorre um ciclo de oscilação por cada segundo. No que concerne às VCI, a gama de frequências de maior relevo situam-se, de um modo geral, no intervalo compreendido entre 0,5 e 100 Hz e, no caso particular dos veículos, abaixo de 20 Hz (Griffin, 1990).

Num movimento harmónico simples existe uma frequência única e característica, enquanto que, numa situação real, as vibrações não têm um comportamento sinusoidal. No entanto, neste último caso, as vibrações podem ser representadas como uma combinação de várias componentes sinusoidais, cada uma com a sua amplitude, frequência e constante de fase.

A importância relativa deste parâmetro na caracterização de uma vibração prende-se com dois aspectos distintos. Por um lado, qualquer sistema mecânico, quando submetido à acção de um estímulo vibracional, oscila de forma mais intensa a determinados valores de frequência, entrando em ressonância. No caso concreto do corpo humano, tal fenómeno pode ocorrer na gama de frequências compreendida entre 4 e 8 Hz, se o estímulo vibracional for vertical (Sanders & McCormick, 1993; Wasserman et al., 1997). Se a vibração transmitida for horizontal, a gama de frequências de ressonância desloca-se para valores mais baixos: 1-2 Hz (Griffin, 1990). Por outro lado, acima de 2 Hz, o corpo humano não vibra como se de uma massa única se tratasse, mas reage como um conjunto de massas interligadas, cada uma com a sua frequência (ou gama de frequências) de ressonância característica.

De qualquer forma, a resposta humana a vibrações não pode ser explicada com base numa única frequência de ressonância, dado que as várias partes do corpo humano apresentam diferentes frequências naturais e estas variam de pessoa para pessoa e em função da postura adoptada.

De um modo geral, considera-se que qualquer vibração transmitida ao corpo inteiro resulta de uma combinação de vibrações, cujas direcções são definidas por um sistema de três eixos ortogonais, com as seguintes orientações: direcção *x*: costas-peito, direcção *y*: direita-esquerda, direcção *z*: pés-cabeça (ISO 2631-1, 1997). As duas direcções horizontais também são designadas, respectivamente, por direcções antero-posteriores e laterais, enquanto que a última é referida como vertical. É de referir ainda

o facto de o referencial utilizado estar centrado no corpo humano, pelo que o acompanha quando este se movimenta.

As vibrações do corpo inteiro têm origem no movimento oscilatório das superfícies que suportam o corpo humano, transmitindo-se pelos pés, pelas nádegas e, eventualmente, pelas costas em indivíduos expostos na posição de sentado.

Parece ser legítimo considerar-se que os efeitos de uma vibração são tanto mais pronunciados quanto mais prolongada for a exposição ao estímulo vibracional. Contudo, em algumas situações, a duração da exposição pode não ser relevante, sendo a intensidade o factor determinante da reacção do corpo humano. Têm sido levadas a cabo algumas tentativas com o intuito de se estabelecer uma relação entre o tempo de exposição e os efeitos manifestados, não se tendo alcançado consenso relativamente aos resultados obtidos.

Existem, fundamentalmente, duas abordagens possíveis no estudo da resposta biomecânica humana a VCI: a quantificação da transmissibilidade ou da impedância. No primeiro caso estuda-se a transmissão da vibração através do corpo humano, enquanto que no segundo se analisam as forças aplicadas no corpo humano, nomeadamente, através da massa aparente. A massa aparente pode ser calculada pela razão entre a força aplicada e a aceleração, a uma dada frequência. No caso de uma estrutura rígida, a massa aparente é igual ao peso. No entanto, numa estrutura complexa, como o corpo humano, a massa aparente constitui um indicador das frequências às quais a estrutura entra em ressonância. Como a massa aparente é proporcional à massa estática da estrutura, é normalizada fazendo-se o quociente com esta última, no sentido de se poderem comparar resultados de testes realizados com indivíduos de pesos diferentes. Na posição de sentado, registou-se um pico de ressonância entre 4-5 Hz, em termos de massa aparente, mas estes valores são função da intensidade da vibração, apresentando um decréscimo à medida que esta aumenta (Mansfield & Maeda, 2005).

## ***1.2. Fontes de exposição ocupacional***

As VCI têm origem na interface do corpo humano com superfícies vibrantes, sendo uma realidade no dia-a-dia de trabalho de uma grande percentagem da população activa. As fontes vibracionais de origem ocupacional são muito diversas. Entre as

peessoas submetidas a VCI, durante períodos mais ou menos longos, na realização das tarefas afectas ao seu posto de trabalho encontram-se, sobretudo, os condutores de meios de transporte como motos e eléctricos (Griffin, 1990), camionetas e autocarros (Balbinot & Tamagna, 2001; Balbinot, Tamagna, & Bagesteiro, 2000; Bovenzi & Zadini, 1992; Magnusson, Pope, Wilder, & Areskoug, 1996; Melo, 1999; Melo & Miguel, 1999; Melo & Miguel, 2000; O'Reilly & Fallon, 1997; Paddan & Griffin, 2002a), comboios e metropolitano (Johanning, 1991; Johanning, Fischer, Christ, Göres, & Landsbergis, 2002; Johanning, Wilder, Landrigan, & Pope, 1991; Özkaya, Goldsheyder, & Willems, 1996; Özkaya et al., 1994; Özkaya, Willems, & Goldsheyder, 1996) barcos, *hovercrafts* e *hydrofoils* (Griffin, 1990), aviões e helicópteros (Bongers, Hulshof, Dijkstra, & Boshuizen, 1990; Boshuizen, Bongers, & Hulshof, 1990a; Oliveira, Simpson, & Nadal, 2001; Paddan & Griffin, 2002a; Sezgin & Birlik, 2001). A transmissão deste tipo de vibração também é relevante na condução de camiões (Boulanger et al., 1992; Burdorf & Swuste, 1993; Maeda & Morioka, 1998; Paddan & Griffin, 2002a, 2002b), de tractores agrícolas (Boshuizen, Bongers, & Hulshof, 1990b; Burdorf & Swuste, 1993; Fairley, 1995; Futatsuka et al., 1998; Kim, Park, Kim, Lee, & Kwon, 2003; Kumar, Mahajan, Mohan, & Varghese, 2001; Kumar et al., 1999; Mehta, Shyam, Singh, & Verma, 2000; Mehta & Tewari, 2000; Paddan & Griffin, 2002a; Sorainen, Penttinen, Kallio, Rytönen, & Taattola, 1998), de empilhadores (Boshuizen, Bongers, & Hulshof, 1992; Burdorf & Swuste, 1993; Danière et al., 1992; Donati & Patel, 1999; Hulshof et al., 1996; Jang & Kook, 2004; Malchaire et al., 1996; Paddan & Griffin, 2002a) e de gruas móveis (Piette & Malchaire, 1992a, 1992b). O uso de teleféricos, elevadores e escadas rolantes, bem como a simples presença no interior de edifícios e, inclusivamente, de plataformas petrolíferas em alto mar, também constituem situações de risco (Griffin, 1990).

### ***1.3. Consequências da exposição ocupacional***

Não é de esperar que a oscilação do corpo humano – estrutura complexa, dinâmica e inteligente – resulte numa consequência única, simples e previsível. A exposição humana a vibrações que se transmitem ao corpo inteiro pode proporcionar uma gama de sensações que vai desde o desconforto até à perturbação do desempenho

humano quando da realização de determinadas tarefas e pode, inclusivamente, provocar distúrbios fisiológicos, patológicos e psicológicos de intensidade variável.

Tem-se constatado alguma dificuldade na compreensão e explicação das consequências da exposição a vibrações, pois apesar de se conhecerem bem os mecanismos envolvidos em alguns destes fenómenos, na maior parte das situações, eles ocorrem simultaneamente, influenciando-se mutuamente.

Uma contribuição relevante para essa dificuldade advém do facto de o corpo humano não poder ser tratado como uma massa rígida, assumindo-se que todas as suas partes constituintes seguem o mesmo movimento. Pelo contrário, do ponto de vista mecânico, o corpo humano é um sistema de natureza relativamente complexa e os diferentes segmentos que o constituem podem oscilar de forma distinta, como se de massas autónomas se tratassem. Os órgãos internos parecem, inclusivamente, comportar-se de forma análoga. Por outro lado, e ao contrário do que sucede com a visão, a audição e o olfacto, que dispõem de sensores específicos, especialmente concebidos para processar imagens, sons e odores, não existe um órgão particularmente vocacionado para a percepção das vibrações que atingem o corpo humano. A forma como os diferentes tipos de vibração transmitidos ao corpo inteiro se fazem sentir não é totalmente conhecida, mas sabe-se que o movimento do corpo pode ser percepcionado por mais do que um sistema sensorial, sendo particularmente relevantes os sistemas visual, auditivo e vestibular. Na gama de frequências médias/altas, a informação associada às vibrações é captada, essencialmente, por receptores cutâneos, como os órgãos de *Pacini* e de *Meissner*, ainda que outros corpúsculos possam estar envolvidos. Para valores intermédios de frequência, a percepção do movimento deve-se, fundamentalmente, aos receptores músculo-esqueléticos, nomeadamente, aos fusos neuromusculares e aos órgãos tendinosos de *Golgi*. Para valores de frequência mais baixos, a visão e o sistema vestibular (canais semicirculares, utrículo e sáculo) assumem um papel preponderante no processo.

O movimento torna-se visualmente aparente quando se percepciona um movimento da própria imagem na retina, o que poderá verificar-se se houver deslocamento da cabeça, dos olhos, do objecto visualizado ou de ambos (objecto e observador). Mas esta forma de detecção só é eficiente próximo dos objectos

visualizados, uma vez que o movimento da imagem na retina diminui, proporcionalmente, em relação à distância de visualização.

O processo torna-se mais complexo na gama de frequências em que é possível perceber a vibração como um som antes de a sentir sob a forma de um movimento, uma vez que sons de baixa frequência podem ser percebidos como tal.

### **1.3.1. Efeitos sobre o conforto**

Uma das primeiras manifestações da acção das VCI sobre o Homem faz-se ao nível do conforto. Embora alguns movimentos possam proporcionar uma sensação de conforto ou serem tidos como fonte de prazer e/ou divertimento (por exemplo um balanço ou um carrossel), no caso concreto da exposição ocupacional, as vibrações são responsáveis pela insatisfação e pelo desconforto sentidos.

A direcção, a frequência, a intensidade e a duração da vibração, bem como o ponto de transmissão ao corpo humano, são as características vibracionais que mais influenciam a resposta humana ao nível do conforto (Mehta & Tewari, 2000).

Várias tentativas têm sido operadas com o intuito de se estabelecer uma relação entre as características da vibração e o desconforto, tendo-se obtido contornos de igual sensação para diferentes combinações de frequência e intensidade. Todavia, a sua aplicabilidade tem sido questionada, uma vez que têm sido utilizadas diferentes metodologias para a sua obtenção e os descritores semânticos utilizados nem sempre são coincidentes ou os mais apropriados (Griffin, 1990; Sanders & McCormick, 1993).

Outro problema que se coloca quando se pretende avaliar a sensação de conforto/desconforto de um indivíduo prende-se com a escala utilizada. A avaliação de seis escalas distintas na classificação do desconforto induzido pela pressão exercida pelo assento nas pernas do utilizador (em parte influenciada pelas vibrações transmitidas através do mesmo) foi realizada com uma amostra de 12 indivíduos e revelou diferenças significativas nos resultados (Shen & Parsons, 1997).

São vários os factores que se têm revelado ser de extrema importância na avaliação da sensação de conforto/desconforto sentida pelos condutores: a distribuição da pressão na interface Homem-assento, o controlo postural em condições estáticas e

dinâmicas, as vibrações transmitidas, o tempo de exposição e as tarefas realizadas (Andreoni, Santambrogio, Rabuffetti, & Pedotti, 2002; Mehta & Tewari, 2000; Wu, Rakheja, & Boileau, 1998, 1999a).

Um estudo recentemente realizado revelou que a sensação de desconforto induzida num condutor é proporcional ao tempo de permanência na posição de sentado, seja em assentos confortáveis ou desconfortáveis, seja na presença ou na ausência de vibrações (Falou et al., 2003).

É de realçar ainda que o facto de a transmissão vibracional na posição de sentado não se fazer apenas pelo assento tem repercussões ao nível da sensação de conforto do utilizador. No caso das vibrações verticais, verificou-se que quanto maior for a diferença de fase entre as vibrações transmitidas pelo assento às nádegas e tecidos adjacentes e as que são transmitidas aos pés, maior é a sensação de desconforto sentida. A sensibilidade humana a esta diferença de fase é mais acentuada para vibrações de baixa intensidade e baixa frequência (Jang & Griffin, 1999, 2000).

No caso específico dos veículos, a avaliação do desconforto depende das expectativas, da ansiedade e da experiência vivida pelo condutor, embora seja possível que a presença de outros factores ambientais também possa contribuir para o efeito (odores, fumo, temperatura, etc.). Neste sentido, deverão ser colocadas algumas reservas relativamente à transposição dos resultados obtidos em ensaios laboratoriais para situações reais, inclusivamente, porque os indivíduos que participam naqueles testes são, normalmente, voluntários e, conseqüentemente, estão mais receptivos/tolerantes ao desconforto produzido.

À parte das características da própria vibração, outros factores podem condicionar a sensação de desconforto. A variabilidade individual dos sujeitos expostos é, sem dúvida, um deles. Por um lado, há que ter em consideração as suas características físicas estáticas (peso e estatura) e dinâmicas (transmissibilidade e impedância), a sua idade e género sexual, para além da experiência e das expectativas individuais, já mencionadas. Por outro lado, o mesmo indivíduo pode modificar a sua orientação, posição ou postura, com conseqüências ao nível da transmissão vibracional e, conseqüentemente, ao nível do conforto.

### 1.3.2. Efeitos sobre o desempenho

A condução de qualquer tipo de veículo pressupõe um ajustamento sensório-motor permanente, envolvendo o processamento contínuo de informação, de proveniência diversa, perspectivando-se uma tomada de decisão e a consequente acção em tempo útil, segundo critérios de eficiência e segurança (Simões, 1997). O ajustamento sensório-motor referido está subjacente à dinâmica do ambiente em que a tarefa de condução se realiza e que se deve, entre outros factores, às vibrações transmitidas pelo veículo ao condutor.

Qualquer actividade desenvolvida pelo Homem implica a transferência e o processamento de informação. O sistema sensorial recebe informação que é processada periférica ou centralmente, de acordo com regras e/ou critérios inatos e/ou apreendidos, fazendo uso da memória e/ou da razão. Posteriormente, muitas das decisões são executadas pelo movimento de uma parte do corpo, ainda que a actividade mental, por si só, seja considerada uma resposta apropriada e suficiente em algumas situações. Na maior parte dos casos, a informação é recebida através dos órgãos da visão e da audição, enquanto que os principais *outputs* são canalizados para os membros e para a voz.

A exposição a VCI pode afectar o desempenho humano, de um modo geral, ou de um modo específico (Wertheim, 1998).

Os efeitos, a nível geral, podem ser de natureza motivacional, energética ou biomecânica. Os enjoos associados à exposição a VCI de baixa frequência, e que se descrevem na secção 1.3.3, são conhecidos por poderem reduzir a motivação dos trabalhadores para a realização das tarefas que lhes estão atribuídas. Por outro lado, a transmissão de vibrações ao corpo humano exige um esforço muscular contínuo para a manutenção do equilíbrio. As VCI podem afectar o controlo postural dos trabalhadores, interferindo quer com o seu desempenho, quer com a sua própria locomoção (Cornelius, Redfern, & Steiner, 1994; Wertheim, 1998). Este problema tem sido estudado, sobretudo em navios e em simuladores, apesar de poder verificar-se noutros ambientes, como aviões e comboios.

Os efeitos específicos referem-se à interferência com as próprias capacidades humanas, isto é, com funções cognitivas, sensoriais e motoras, nomeadamente, ao nível

da acuidade visual, bem como do controlo dos movimentos do sistema mão-braço, imprescindíveis à realização de diferentes tarefas, incluindo a condução (Kjellberg, 1990; McLeod & Griffin, 1990, 1995; Moseley & Griffin, 1986, 1987; Sanders & McCormick, 1993; Wertheim, 1998).

A intensidade da vibração assume um papel importante na redução do desempenho visual, provavelmente, devido ao movimento da própria imagem ao nível da retina (Sanders & McCormick, 1993). Relativamente ao efeito da direcção vibracional, um estudo recente revelou que a vibração vertical tem um efeito preponderante sobre o desempenho visual do Homem (Griefahn, Bröde, & Jaschinski, 2000).

No que se refere à importância da frequência da vibração, alguns autores (Sanders & McCormick, 1993) referem a gama entre 10 e 25 Hz como mais problemática para a visão, enquanto outros (Kjellberg, 1990) indicam o intervalo 2-20 Hz como mais crítico. Vários estudos revelaram que, abaixo de 3 Hz, a vibração do objecto visualizado exige maior tempo de observação e induz um aumento do número de erros cometidos na realização dessa tarefa, em relação ao que se verifica no caso de ser o leitor a vibrar. Nesta última situação, o leitor tem capacidade para estabilizar a imagem na retina com movimentos compensatórios da cabeça e dos olhos. Todavia, o efeito mais severo observa-se em torno da frequência de 5 Hz, sendo, praticamente, desprezável a acção das vibrações horizontais (Kjellberg, 1990; Sanders & McCormick, 1993).

No sentido de clarificar a importância relativa das duas direcções horizontais (lateral e antero-posterior) na tarefa de leitura, submeteram-se dezasseis indivíduos de ambos os sexos a vibrações aleatórias com frequências na gama de 0,5-10 Hz e intensidade compreendida entre 0,63 e 1,25 m s<sup>-2</sup> (Griffin & Hayward, 1994). A velocidade de leitura foi, significativamente, menor para frequências entre 1,25 e 6,3 Hz, com um mínimo a 4 Hz, e apesar de ambas as vibrações se traduzirem por efeitos semelhantes, a direcção antero-posterior resultou em valores mais baixos.

A premissa de que as VCI diminuem a resolução espacial da retina e o alinhamento ocular numa direcção paralela ao eixo da vibração levou uma equipa de investigadores a avaliar o impacto que têm a diferença de fase e a direcção da vibração

ao nível da visão (Griefahn et al., 2000). Para o efeito, simularam vibrações verticais e laterais, separadamente e em simultâneo, com e sem diferença de fase, tendo constatado que as vibrações verticais (isoladas ou em conjunto com as laterais) têm um efeito mais marcado, no desempenho visual. As vibrações laterais não tiveram qualquer efeito, quando isoladas, nem um efeito aditivo quando associadas às verticais.

As vibrações que atingem os músculos do pescoço têm capacidade para deteriorar a percepção visual do ser humano, no que concerne à orientação espacial (McKenna, Peng, & Zee, 2004).

Curiosamente, se a vibração envolver tanto o objecto como o leitor, o desempenho visual não é afectado de forma tão significativa (Moseley & Griffin, 1986). No entanto, para frequências superiores a 3 Hz, o desempenho é sempre afectado de forma negativa, independentemente de quem ou o que é que está em vibração. É de salientar que, mesmo assim, as características do material vibrante parecem ser relevantes para o processo de deterioração da capacidade visual (Moseley & Griffin, 1987).

Segundo Peli e Garcia-Pérez (2003), os movimentos da retina provocados por movimentos voluntários dos olhos, raramente, são interpretados como correspondendo a um movimento do objecto visualizado, o mesmo não sucedendo com os movimentos involuntários do globo ocular provocados pelas vibrações. Quando da exposição a vibrações de frequência mais elevada, este fenómeno não se verifica, uma vez que a imagem pode ser desfocada (Peli & García-Pérez, 2003).

Vários autores têm demonstrado que a exposição a VCI pode perturbar a realização de tarefas que exigem controlo manual contínuo, na medida em que pode ocorrer indução do movimento dos próprios membros superiores (Kjellberg, 1990; McLeod & Griffin, 1990). As vibrações verticais também parecem ter um efeito mais pronunciado a este nível do que as horizontais (Sanders & McCormick, 1993). A sua acção é mais intensa na gama de frequências entre 4 e 20 Hz e para valores de aceleração superiores a  $1,9 \text{ m s}^{-2}$ , podendo incrementar o número de erros cometidos em cerca de 40 %.

Falou e seus colaboradores (2003) demonstraram que a exposição a VCI na posição de sentado, com recurso a um assento considerado desconfortável, deteriora o

desempenho humano na realização de duas tarefas distintas. Na primeira, os sujeitos tinham de premir um botão que tinham na mão, imediatamente após a audição de um sinal sonoro que era emitido de forma aleatória, sendo o seu desempenho avaliado pelo tempo de resposta. A segunda tarefa consistia na manutenção do cursor no interior de uma circunferência em movimento num monitor. Neste caso o desempenho era avaliado pelo tempo durante o qual a tarefa era realizada com sucesso.

Aparentemente, o sistema nervoso central também pode sofrer perturbações funcionais durante e, imediatamente, após a exposição a VCI, afectando a realização de tarefas cognitivas (Kjellberg, 1990). Existem relatos de que a exposição a vibrações desta natureza aumenta o estado de vigília, beneficiando actividades longas e monótonas de controlo, sobretudo para frequências próximas de 5 Hz. No entanto, parece não haver consenso em torno desta matéria, encontrando-se relatos de reduções do estado de vigília ou, até mesmo, nenhum efeito. A realização de electroencefalogramas durante a exposição a vibrações sinusoidais indica que este tipo de estímulo poderá, inclusivamente, ter um efeito de adormecimento (Kjellberg, 1990).

Um estudo acerca da influência das VCI na performance cognitiva, independentemente da sua acção mecânica directa na visão e no controlo manual, revelou um efeito negativo, quantificado pelo aumento do número de erros associado a uma tarefa de memorização. Não foi, no entanto, detectado qualquer efeito de dependência contextual na memória, isto é, os conhecimentos apreendidos durante a exposição vibracional podem ser utilizados em qualquer outro ambiente (Sherwood & Griffin, 1990; Sherwood & Griffin, 1992). Pelo contrário, a exposição, simultânea e individual, a VCI verticais e a ruído, não perturbou o desempenho humano na resolução do paradigma visual de *Sternberg* (Ljungberg, Neely, & Lundström, 2004).

### **1.3.3. Efeitos sobre a saúde**

As primeiras suspeitas de que as exposições mais severas a VCI podiam constituir um risco para a saúde do Homem surgiram nos anos 50. Até 1984, os estudos referentes a este tipo de efeito consistiram na exposição de animais (ratos, cães, porcos e macacos) e homens a vibrações de frequência e intensidade variáveis, sobretudo, em laboratório. A duração das exposições era, regra geral, curta e as vibrações, quase

sempre, sinusoidais (Helmkamp, Talbott, & Marsh, 1984). Assim, muitos dos resultados eram inconsistentes e diferentes dos que se verificariam em condições reais, na medida em que as vibrações a que o Homem está exposto são, maioritariamente, aleatórias.

Mais recentemente começaram a realizar-se estudos em laboratório, com simulação de vibrações mais próximas da realidade, e em situação real (Burdorf & Swuste, 1993; Dupuis, Hartung, & Haverkamp, 1991; Haverkamp, 1990; Wilder, Magnusson, Fenwick, & Pope, 1994). O maior desafio que se coloca a este nível prende-se com a necessidade de se isolarem as vibrações de todos os outros factores ambientais susceptíveis de se manifestarem de forma semelhante, para que se possa clarificar o seu verdadeiro papel.

Para Griffin (1990), os efeitos específicos da exposição a vibrações podem ser classificados, de acordo com os sistemas afectados, em efeitos cardiovasculares, efeitos respiratórios, efeitos endócrinos, efeitos metabólicos, efeitos motores, efeitos sensoriais, efeitos músculo-esqueléticos e efeitos do sistema nervoso central. Numa revisão crítica da literatura (Seidel & Heide, 1986), foi proposta uma classificação semelhante: efeitos músculo-esqueléticos, efeitos do sistema nervoso periférico, efeitos do sistema digestivo, efeitos dos órgãos reprodutores femininos, efeitos do sistema vestibular, efeitos do sistema nervoso, efeitos do sistema circulatório e outros.

São poucos os estudos realizados no âmbito dos efeitos das VCI, tendo como ponto fulcral a influência do tempo de exposição. As consequências mais expectáveis resultam da influência mecânica da vibração e da possibilidade de induzir a compressão dos tecidos, impondo-lhes uma carga acrescida, cuja severidade depende grandemente da forma como a transmissão se operacionaliza e se o fenómeno da ressonância se verifica ou não.

Com relação aos efeitos sobre as funções circulatória e respiratória, têm-se realizado trabalhos envolvendo a investigação do comportamento das seguintes variáveis: frequência cardíaca, pressão sanguínea, consumo de oxigénio, ventilação pulmonar e frequência respiratória, entre outras (Kjellberg & Wikström, 1985).

A frequência cardíaca é um dos parâmetros mais monitorizados, sendo frequentemente referido um aumento associado à exposição a VCI, seguido de uma regressão aos valores de repouso, ou próximo destes (Griffin, 1990; Kjellberg &

Wikström, 1985; Sanders & McCormick, 1993). O baixo consumo energético associado à variação descrita sugere que o ser humano acaba por se adaptar à exposição à vibração, permitindo que o corpo se mova passivamente, não resistindo ao movimento que lhe é imposto exteriormente (Kjellberg & Wikström, 1985).

Um estudo recente permitiu confirmar estas constatações durante a condução de tractores na execução de diferentes tarefas agrícolas, em diferentes condições, tendo-se registado um aumento da frequência cardíaca à medida que aumentava o nível vibracional transmitido aos operadores (Muzammil, Siddiqui, & Hasan, 2004).

Segundo Griffin (1990), vibrações verticais de intensidade moderada, na gama de frequências entre 2 e 20 Hz, produzem respostas cardiovasculares semelhantes às que decorrem da realização de exercício físico moderado: aumento dos ritmos cardíaco e respiratório, da pressão arterial, da ventilação pulmonar e do consumo de oxigénio. Estes aumentos parecem ser mais significativos próximo da frequência natural do corpo humano, ou de partes do mesmo, e são tanto mais intensos quanto maior for a magnitude da vibração. As vibrações verticais de intensidade elevada podem ter efeitos mais pronunciados ao nível do sistema circulatório: se a vibração estiver em fase com o batimento cardíaco, o fluxo sanguíneo aumenta na maior parte das artérias; caso contrário, observa-se um efeito inverso. De facto, constata-se uma ligeira elevação na pressão sanguínea e um ligeiro abaixamento da resistência vascular periférica, pelo que se considera que a exposição a vibrações desta natureza impõe condições medianas de *stress* ao sistema cardiovascular, apesar dos mecanismos de tal fenómeno não serem ainda claros.

Existem também relatos de que as vibrações do corpo inteiro a que os condutores estão sujeitos apenas constituem mais um factor que, juntamente com a longa permanência na posição de sentado, contribui para a manifestação de varizes ao nível dos membros inferiores (Seidel & Heide, 1986).

Em oposição a todas estas constatações, Wikström e seus colaboradores (1994) afirmaram não existir razão para admitir que as VCI possam contribuir para o risco de doenças do sistema cardiovascular. Confirmando estas suposições, Sandover (1996) refere que os resultados de electrocardiogramas não sofrem alterações significativas durante a exposição a estas vibrações.

Os efeitos mais intensos das vibrações sobre o sistema respiratório verificam-se entre 4 e 5 Hz, podendo a hiper-ventilação resultar da acção mecânica da vibração sobre o diafragma e sobre o peito (Kjellberg & Wikström, 1985; Sanders & McCormick, 1993). Contudo, também podem observar-se efeitos a este nível para frequências no intervalo 1-4 Hz (Kroemer & Grandjean, 1997).

Deve, ainda, ter-se atenção à variação do consumo de oxigénio, uma vez que este pode aumentar devido à possibilidade de ocorrência de bombagem mecânica, falseando a interpretação do aumento da ventilação. A exposição a vibrações de intensidade constante, na gama de frequências entre 2 e 10 Hz, revelou efeitos mais pronunciados para as frequências mais elevadas, com a ocorrência de hiper-ventilação nos primeiros instantes. A primeira explicação avançada para o fenómeno sugeria que a dor induzia a hiper-ventilação, enquanto que a tensão muscular estava na origem do aumento do consumo de oxigénio. Mais recentemente, tem-se afirmado que a hiper-ventilação se deve, sobretudo, a movimentos passivos do diafragma e ao deslocamento da parede abdominal, em consequência da vibração das vísceras (Griffin, 1990).

A frequência natural do sistema gastrointestinal situa-se entre 4 e 6 Hz (Wikström, Kjellberg, & Landström, 1994). Nesta gama de valores, a exposição à vibração pode induzir grandes variações de pressão na cavidade abdominal, podendo traduzir-se num aumento da propensão para diferentes doenças do foro gastrointestinal. De qualquer forma, parece haver uma maior incidência de perturbações, a este nível, na sequência da exposição a VCI, entre 10 e 20 Hz de frequência (Kroemer & Grandjean, 1997).

Estudos epidemiológicos sugerem que exposições de longa duração a vibrações do corpo inteiro podem afectar a secreção do suco gástrico e a motilidade estomacal, apesar de não se terem realizado estudos acerca da importância do tempo de exposição, neste âmbito (Kjellberg & Wikström, 1985; Wikström et al., 1994). Nos casos em que se observou elevada frequência de problemas (condutores de camiões e de autocarros), não se estabeleceu qualquer tipo de relação entre as perturbações e o nível vibracional, nem se analisou a importância de outros factores. Estudos mais recentes revelaram uma redução da actividade mio-eléctrica a nível gástrico, após a exposição a VCI (Ishitake et al., 1998; Ishitake, Myazaki, Ando, & Matoba, 1999; Ishitake, Myazaki, Noguchi, Ando, & Matoba, 2002).

Foram igualmente encontrados relatos de ocorrência de úlceras gástricas e duodenais, gastrites, apendicites, colites e de algumas perturbações ao nível do ânus (Seidel & Heide, 1986). Por seu turno, Helmkamp e seus colaboradores (1984) referem uma taxa de incidência, estatisticamente significativa, de hemorróidas e úlceras pépticas, em condutores de autocarros e camiões.

Um estudo da actividade eléctrica do tracto gastrointestinal, com recurso a uma técnica pouco invasiva (E.G.C. - electrogastrograma) preconizou a medição dos efeitos gastrointestinais das VCI e a respectiva variação com a frequência da vibração e a duração da exposição (Kjellberg & Wikström, 1987). Embora pareça que os sinais obtidos têm origem nas camadas circulares dos músculos do estômago, a sua interpretação não é clara, na medida em que também se registou um aumento da actividade gástrica na sequência de alterações ambientais ao nível da iluminação e do ruído. A maior parte dos autores concorda com a possibilidade de as vibrações não constituírem o principal factor desencadeador destes sintomas, na medida em que é sabido que o consumo de álcool, o *stress*, o trabalho por turnos e os hábitos alimentares podem concorrer para a sua manifestação (Kjellberg & Wikström, 1985; Wikström et al., 1994). Por outro lado, o surgimento de alguns problemas gástricos, mesmo quando a exposição a vibrações é desprezável, parece corroborar com a afirmação anterior.

No que diz respeito ao sistema uro-genital, detectaram-se distúrbios ao nível do período menstrual e anomalias na posição do útero em mulheres expostas a VCI, tendo sido admitido pelos investigadores que tais efeitos se deviam, essencialmente, à acção mecânica sobre os órgãos lesionados (Seidel, 1993; Seidel & Heide, 1986; Wikström et al., 1994). Wikström e seus colaboradores (1994) referem um estudo canadiano em que se registou um ligeiro aumento da frequência de abortos espontâneos em mulheres que se submeteram a vibrações desta natureza. Nenhum dos estudos analisados revelou haver acção directa deste tipo de vibração sobre o feto. Seidel e Heide (1986) fazem ainda menção ao facto de, na maior parte dos estudos incidentes sobre o sistema uro-genital feminino, não se terem tido em conta factores como a idade das mulheres, nem as respectivas histórias clínicas, nomeadamente, no que se refere à ocorrência de perturbações ginecológicas.

Em relação aos indivíduos do sexo masculino, a próstata parece ser o órgão mais atingido, podendo ser afectada a produção de esperma. Note-se contudo, que tanto

Wikström e seus colaboradores (1994), como Seidel (1993), alertam para a falta de evidências concretas e consistentes de que estes sintomas resultem, de facto, da acção das vibrações.

Quanto à acção vibracional sobre o sistema nervoso, os primeiros estudos realizados incidiram sobre o equilíbrio e indicam que este é afectado durante e após a exposição a vibrações de baixas ( $< 1$  Hz) e altas ( $> 15$  Hz) frequências. No primeiro caso, é o sistema vestibular que é atingido, sendo o fenómeno influenciado pela duração da exposição e podendo levar à manifestação de sintomas de enjoo, caso as vibrações sejam de alta intensidade (Kjellberg & Wikström, 1985). Na gama de frequências elevadas, o fenómeno é mediado por outra parte do sistema postural, mas o mecanismo não é ainda claro. Para a gama de frequências de maior interesse para os condutores de veículos não há confirmação de que o equilíbrio seja afectado.

Investigadores russos defendem a existência de uma doença das vibrações, que se manifesta após 5 a 7 anos de exposição a VCI, caracterizada por perturbações vasculares periféricas e perturbações cerebrais (Parljuk, 1970; Wikström et al., 1994). No entanto, Seidel e Heide (1986) são da opinião de que os estudos russos não permitem tirar tais conclusões e, se é um facto que a ocorrência de perturbações ao nível do sistema nervoso prevalece nestes casos, o fenómeno deve ter uma origem multifactorial e o papel deste tipo de vibrações não está clarificado.

A maior parte dos sintomas, ao nível do sistema nervoso, parece manifestar-se na sequência da exposição a vibrações com frequências superiores a 20 Hz. Porém, os choques repetitivos e de baixa amplitude, que se fazem sentir em gruas móveis, induzem, em primeiro lugar, perturbações funcionais como dores de cabeça, aumento da irritabilidade e alterações da sensibilidade. Intensidades maiores e/ou exposições mais prolongadas estão na origem de efeitos mais pronunciados (Seidel & Heide, 1986).

Medições neurofisiológicas têm sido utilizadas como parâmetro de controlo dos efeitos sobre a carga mental. O aumento do fluxo de informação nos impulsos nervosos aferentes, a partir dos órgãos dos sentidos ao nível dos ligamentos, dos músculos, da pele e dos tendões durante a exposição a vibrações, provoca uma diminuição da atenção para outro tipo de estímulos, por parte do sujeito exposto. Esta hipótese é suportada pelo facto de, concomitantemente, ocorrer uma redução dos potenciais eléctricos, que é tanto

mais intensa, quanto maior for a duração da exposição. Por outro lado, este fenómeno também pode ser interpretado como manifestação de fadiga por parte do sujeito (Seidel, 1993).

As actividades simpática e parassimpática do sistema nervoso são influenciadas pela exposição a VCI de frequência igual a 6 Hz, enquanto que a frequências mais baixas (1,8 Hz) apenas as primeiras são afectadas (Jiao, Li, Chen, Wang, & Qi, 2004). De acordo com os autores, estes resultados poderão ser indicadores de que diferentes frequências vibracionais se traduzirão em diferentes níveis de *stress* mental e, consequentemente, em diferentes níveis de fadiga em condutores saudáveis.

Ao nível dos efeitos endócrinos e metabólicos, alterações na composição da urina e do sangue são largamente usados como indicadores de *stress* não específico. Na sequência da exposição a este tipo de vibrações, obtiveram-se resultados distintos e, por vezes, contraditórios (Griffin, 1990):

- alterações significativas do nível de esteróides, mas com valores aceitáveis, após curta exposição;
- concentração de catecolaminas no sangue e na urina, não indiciando qualquer tipo de efeito do tempo;
- nenhuma alteração, após 8 horas de exposição;
- nenhuma alteração no sedimento urinário, após 1 minuto de exposição;
- tendência para a hipoglicemia;
- baixo teor de ácido ascórbico no sangue.

Por seu turno, durante a avaliação da influência das vibrações verticais no *stress* de condutores, registaram-se variações significativas do nível de catecolaminas no sangue e na urina, em função da frequência vibracional e do tempo de exposição (Taguchi, Inagaki, Nagai, & Ishikawa, 1997). Noutro estudo, foram registados aumentos da concentração de testosterona e de hormona do crescimento no sangue, na sequência da realização de exercício vibracional, e diminuição da concentração de cortisol (Bosco et al., 2000). Um estudo semelhante, mas realizado com leitões, revelou os mesmos resultados em relação aos níveis de cortisol (Perremans, Randall, Rombouts, Decuyper, & Geers, 2001).

Mais recentemente, foi possível constatar que a exposição a VCI induz uma

redução nos níveis de glucose do plasma e um aumento nos de norepinefrina (Di Loreto et al., 2004). Não foi, no entanto, registada qualquer alteração nas concentrações de insulina, cortisol, testosterona e hormona do crescimento.

Investigações epidemiológicas levam a supor, acima de tudo, que a exposição a VCI constitui um risco para o desenvolvimento de lesões do sistema músculo-esquelético, apesar de ainda não se ter estabelecido uma relação quantitativa de causa-efeito (Bernard & Fine, 1997; Bongers et al., 1988; Bongers et al., 1990; Boshuizen et al., 1990a, 1990b; Bovenzi & Betta, 1994; Bovenzi & Hulshof, 1999b; Bovenzi & Zadini, 1992; Burdorf & Zondervan, 1990; Crutchfield & Sparks, 1991; Deursen, Lengsfeld, Snijders, Evers, & Goossens, 2000; Granata & Marras, 1999; Hildebrandt, 1995; Johanning et al., 1991; Kittusamy & Buchholz, 2004; Magnusson, Pope, Hulshof, & Bovenzi, 1998; Magnusson et al., 1996; Marras, 2000; Meyer, Flenghi, & Deschamp, 1998; Mital, Pennathur, & Kansal, 1999; Pope, Wilder, & Magnusson, 1996; Pope, Magnusson, & Wilder, 1999; Radwin, Marras, & Lavender, 2001; Ruppe & Muake, 1993; Seidel, 1993; Seidel, Blüthner, & Hinz, 1986; Seidel & Heide, 1986; Viikari-Juntura, 1997; Wilder, 1993; Wilder & Pope, 1996).

Registos electromiográficos revelaram que os músculos podem ser activados durante a exposição a uma vibração, começando a manifestar-se quase que em simultâneo com os primeiros estímulos (Blüthner, Hinz, Menzel, & Seidel, 1993; Oliveira et al., 2001; Verschueren, Swinnen, Desloovere, & Duysens, 2003). Tem sido sugerido que a actividade muscular resulta da combinação entre os movimentos de controlo, com vista à estabilização do corpo, e os chamados reflexos tónicos, gerados pelos movimentos passivos. Exposições periódicas a vibrações sinusoidais de baixa frequência são acompanhadas por actividade muscular de igual cadência, enquanto que no caso da vibração ser aleatória, se observa um comportamento estocástico por parte dos músculos (Kjellberg & Wikström, 1985). Choques e vibrações de baixa frequência, mas com componentes laterais de intensidade elevada, parecem ser acompanhados de activas e vigorosas contracções musculares, pelo que, nestas circunstâncias, é possível que se manifestem sintomas de *stress* e se fomente o aumento da actividade muscular (Kjellberg & Wikström, 1985). No entanto, ainda não se tem certeza de que a actividade muscular se altere durante exposições prolongadas.

Alterações patológicas da coluna vertebral, com especial incidência para

perturbações degenerativas e desvios da conformação normal da zona lombar, seguida da zona torácica, são frequentemente relatadas. As alterações verificadas a nível cervical parecem estar associadas à adoção forçada de posturas inadequadas e não à exposição, propriamente dita, às vibrações: alguns estudos revelaram um aumento das perturbações na parte superior da coluna na presença de estímulos vibratórios de menor intensidade (Seidel & Heide, 1986; Wilder, 1993).

O primeiro relato de que as VCI poderiam estar associadas a problemas ao nível da coluna vertebral foi feito por Müller, em 1939 (Johanning, 2000). Desde então, vários investigadores têm-se dedicado a estudar a relação entre a exposição, aguda e crónica, a VCI e a resposta da coluna. Um conjunto específico de anomalias e lesões tem-se revelado mais frequente nos condutores do que em qualquer outro grupo profissional, envolvendo exposição a VCI: dores a nível lombar, lumbago, lumbago-ciática, escoliose, espondilose, degenerescência e hérnia discal (Battié et al., 2002; Bovenzi & Hulshof, 1998, 1999a; Bovenzi, Pinto, & Stacchini, 2002; Crutchfield & Sparks, 1991; Helmkamp et al., 1984; Hoy et al., 2005; Johnson & Nève, 2001; Lings & Leboeuf-Yde, 2000; Ozguler, Leclerc, Landre, Pietri-Taleb, & Niedhammer, 2000; Ratti & Pilling, 1997; Seidel & Heide, 1986; Wikström et al., 1994). À excepção dos dois primeiros diagnósticos, todos os outros são confirmados por exames radiológicos.

Os distúrbios observados ao nível da coluna vertebral, na sequência da exposição a vibrações, integram a listagem de doenças profissionais na Bélgica, desde 1978, na Alemanha, desde 1993, na Holanda, desde 1997 e em França, desde 1999 (Boileau, 2002; Danjard, 1999; Hulshof, Van der Laan, Braam, & Verbeek, 2002; Magnusson et al., 1998). Contudo, a heterogeneidade dos critérios estabelecidos por aqueles quatro países é tal, que a sua aplicação a um estudo de caso revelou que a mesma situação teria fortes probabilidades de ser reconhecida como doença profissional na Bélgica e na Holanda, mas não na Alemanha nem em França (Hulshof et al., 2002).

A dor lombar é o sintoma mais citado na literatura, podendo ser devida a (Wikström et al., 1994):

- lesões ao nível dos ossos, ligamentos e tecidos moles;
- efeito secundário de processos de reparação, como a cicatrização;
- redução da altura dos discos intervertebrais;
- alterações das posições relativas das apófises vertebrais.

Num estudo acerca do efeito das vibrações na zona lombar da coluna vertebral realizado junto de agricultores do norte da Índia, registou-se maior incidência de queixas de dor naqueles que conduzem tractores do que nos que não conduzem (Kumar et al., 2001; Kumar et al., 1999). No entanto, a análise dos resultados obtidos após exame por ressonância magnética não demonstrou existirem diferenças significativas na degenerescência discal dos dois grupos.

A estatura do ser humano sofre uma redução de cerca de 1%, ao longo do dia, sobretudo devido à diminuição da altura dos discos intervertebrais por acção da força da gravidade (Hampel & Chang, 1999). Esta diminuição é mais rápida durante as primeiras horas do dia, apresentando um decaimento de tipo exponencial. A recuperação é, geralmente, conseguida à noite, durante o sono. Esta redução pode ser potenciada por factores como a sobrecarga estática da coluna vertebral, o manuseamento de cargas, a corrida e a posição de sentado. Este facto levou alguns investigadores a pesquisar se a diminuição de altura pode ser usada como medida da severidade das VCI. Os resultados obtidos são inconclusivos, uma vez que alguns estudos revelam uma diminuição da altura como resposta à exposição vibracional (Sullivan & McGill, 1990), outros reportam um aumento (Hampel & Chang, 1999) e outros referem a ausência de alterações (Drerup, Granitzka, Assheuer, & Zerlett, 1999).

A exposição a vibrações verticais, caracterizadas por frequências próximas da frequência natural da zona lombar da coluna (4-5 Hz), conduz a um aumento do movimento relativo das vértebras. A estrutura mais sensível a estes esforços é a superfície em contacto com o disco intervertebral, que pode, em última instância, sofrer fractura. Nesta situação observam-se dois efeitos biomecânicos macroscópicos: uma diminuição da altura dos discos intervertebrais e um aumento do respectivo raio (Sullivan & McGill, 1990; Wikström et al., 1994). De acordo com as experiências realizadas por Sullivan e McGill (1990), a VCI acelera a diminuição da altura da coluna, mas possibilita também uma recuperação mais rápida depois de terminada a exposição, visto desencadear um processo inflamatório. Face à contradição de resultados, pode colocar-se a hipótese de esta diminuição se dever à compressão dos tecidos moles das nádegas e não à diminuição da altura dos discos propriamente dita e ao facto de os sujeitos terem sido submetidos a vibrações de uma dada frequência e não a vibrações multifrequências, características da maior parte das situações ocupacionais.

O processo de aporte de nutrientes aos próprios discos intervertebrais pode ser comprometido e estes podem sofrer rupturas na sua estrutura superficial. A idade do indivíduo assume um papel relevante neste fenómeno, uma vez que a degenerescência dos discos intervertebrais é uma consequência natural do envelhecimento (Wikström et al., 1994).

Para além da exposição a VCI, há quem defenda que outros factores podem estar na génese das dores sentidas na zona lombar da coluna vertebral, confundindo e dificultando a interpretação do papel daquelas (Bernard & Fine, 1997; Bovenzi & Betta, 1994; Burdorf & Zondervan, 1990; Johanning, 2000; Kumar, 2001; Pope, Goh, & Magnusson, 2002; Pope, Wilder, & Magnusson, 1998; Wikström et al., 1994). A saber:

- longos períodos de permanência na posição de sentado;
- adopção de posturas inadequadas (flexão, extensão e/ou torção do tronco);
- levantamento e/ou manuseamento de cargas;
- idade e género sexual;
- história clínica com perturbações ao nível da coluna.

No entanto, parece que os dois primeiros factores conjugados com a exposição a VCI assumem a responsabilidade pelo risco acrescido para o desenvolvimento de lesões na coluna entre os condutores profissionais (Bovenzi & Betta, 1994). A posição de sentado contribui, a vários níveis, para o *stress* que se faz sentir nesta zona da coluna vertebral (Chaffin & Andersson, 1991; Wilder, 1993; Wilder & Pope, 1996):

- alteração da lordose lombar (o que provoca a ampliação das vibrações que lhe são transmitidas);
- aumento da altura dos discos intervertebrais;
- intensificação da pressão inter-discal, a nível lombar;
- enfraquecimento dos ligamentos laterais;
- aproximação da frequência de ressonância do corpo humano da frequência das vibrações produzidas pela maior parte dos veículos motorizados;
- fadiga mecânica, devida à concomitância de estímulos vibratórios.

Vibrações de amplitude elevada, caracterizadas por frequências inferiores a 0,5 Hz, podem estar na origem de um fenómeno, vulgarmente, designado por enjoo (*motion sickness*), que se manifesta por um conjunto de sinais e sintomas bem conhecido:

irregularidades na respiração, tonturas, sonolência, bocejos frequentes, palidez, suores frios, dores de cabeça, náuseas e, finalmente, vômitos (Griffin, 1990; Kjellberg & Wikström, 1985; Macedo, 1988; Miguel, 2005; Turner & Griffin, 1999a, 1999b). Pelo contrário, o mecanismo desencadeador destes sintomas não é tão bem conhecido, pressupondo-se o envolvimento do sistema vestibular, da visão e da susceptibilidade individual, assim como a ocorrência de um conflito sensorial. Este fenómeno pode estar na origem de uma redução da motivação do trabalhador, bem como da sua produtividade (Wertheim, 1998).

#### ***1.4. Aplicações das vibrações de corpo inteiro***

Enquanto que vibrações de frequência elevada têm efeitos negativos, tanto ao nível do fluxo sanguíneo como da força muscular, o recurso a vibrações de baixa frequência (na ordem dos 26 Hz), de forma controlada, parece aumentar a força muscular e não ter consequências negativas ao nível da circulação periférica (Kerschanschindl et al., 2001). Vibrações de frequência inferior a 20 Hz induzem um relaxamento muscular, em oposição às de frequência superior a 50 Hz, que podem dar origem a dores musculares intensas e hematomas (Rittweger, Mutschelknauss, & Felsenberg, 2003).

Nos últimos anos têm sido realizados diversos estudos que apontam no sentido de que exposições, de curta duração, a VCI podem ter efeitos benéficos para o ser humano, pelo facto de aumentarem a capacidade geradora de força ao nível das pernas e da zona lombar da coluna vertebral (Cardinale & Pope, 2003). Esta exposição, de curta duração, aumenta os níveis de testosterona e de hormona do crescimento no sangue, o que, conjugado com os efeitos verificados ao nível do sistema neuromuscular, parece constituir uma base consistente para uma abordagem terapêutica da osteoporose (Bruyere et al., 2003; Bruyere et al., 2005; Miyamoto et al., 2003).

A osteoporose é uma doença caracterizada pela perda de cálcio dos ossos que, por isso, se tornam mais frágeis, sofrendo fracturas com facilidade, após traumatismos de pequena intensidade, como quedas ocasionais. A sua importância e custo social têm vindo a aumentar exponencialmente com o alargamento progressivo da duração média de vida e consequente aumento da população idosa. Este factor, evidente também no

nosso país ao longo dos últimos anos, é acrescido por certas mudanças nos hábitos alimentares e de trabalho que concorrem para a diminuição do cálcio a nível ósseo.

Após a menopausa, as mulheres apresentam risco acrescido para a manifestação de sinais de osteoporose e, conseqüentemente, maior probabilidade de caírem e de fraturarem um osso, com dificuldades, igualmente acrescidas, no processo de recuperação. No entanto, verificou-se que a exposição a VCI (0,2 g de intensidade e 30 Hz de frequência), durante curtos períodos de tempo (<20 minutos), na posição de sentado, pode inibir o processo com eficácia, ao nível da coluna vertebral e do fêmur (Rubin et al., 2004). Esta eficácia é tanto maior quanto menor for a massa corporal do indivíduo. Por outro lado, a exposição a vibrações de intensidade superior (2,28-5,09 g) e frequência próxima (35-40 Hz) aumenta a força muscular (+15%, a nível isométrico e +16%, a nível dinâmico), assim como a densidade mineral da anca (+0,95%) (Verschueren et al., 2004). Contudo, noutro estudo verificou-se que o treino regular (bi-semanal) e com duração limitada (3x2 minutos) em plataformas vibrantes (frequência de 28 Hz) melhora a potência muscular (5%, em média), mas não altera, de forma significativa, as características ósseas de mulheres em fase pós-menopausa (Russo et al., 2003).

A exposição de indivíduos de pé, a vibrações de intensidade inferior a 1 g e frequência superior a 25 Hz, revelou uma transmissão efectiva da vibração à anca e à coluna vertebral (Rubin et al., 2003). Há fortes indícios de que aquele tipo de vibrações tem capacidade para induzir a formação óssea.

A doença de Parkinson afecta, hoje em dia, uma percentagem considerável da população mundial. Apesar de não ter sido encontrada cura para esta enfermidade, parece que o efeito combinado da exposição controlada a VCI, com um determinado conjunto de fármacos, tem potencial para melhorar a qualidade de vida daqueles que padecem desta doença (Haas, Turbanski, Kaiser, & Schimdtbleicher, 2004; Schimdtbleicher, Turbanski, & Haas, 2004).

A possibilidade de a vibração poder ser utilizada como técnica de melhoramento do desempenho muscular tem despertado o interesse de investigadores, fisioterapeutas, treinadores e atletas. O exercício vibracional (VE) é uma metodologia de treino neuromuscular aplicada a atletas de alta competição (Rittweger, Beller, & Felsenberg,

2000), bem como na prevenção e na terapia da osteoporose e da dor lombar crónica (Rittweger, Just, Kautzsch, Reeg, & Felsenberg, 2002). Basicamente, consiste na transmissão de uma vibração rotacional, de 26 Hz de frequência e amplitude igual a 6 mm, aos pés dos sujeitos (Rittweger, Ehrig et al., 2002). Deste modo obtém-se um incremento na formação óssea à custa de um aumento da força muscular. No entanto, este mesmo tipo de treino conduziu a resultados contraditórios ao nível da força dos músculos extensores do joelho: dois estudos não revelaram melhorias (de Ruitter, van Raak, Schilperoort, Hollander, & de Haan, 2003; de Ruitter, van der Linden, van der Zijden, Hollander, & de Haan, 2003) enquanto que noutro foi reportado um incremento de  $16,6 \pm 10,8\%$ , em termos isométricos, e  $9,0 \pm 3,2\%$  em termos dinâmicos (Delecluse, Roelants, & Verschueren, 2003). Nos casos em que se registou aumento da força muscular, foi relatada a ocorrência de eritema nos membros inferiores na sequência da realização deste tipo de treino/tratamento, sobretudo em indivíduos do sexo feminino. Contudo, este eritema apresenta tendência para desaparecer rapidamente com a realização de uma curta caminhada no final do treino/tratamento (Rittweger et al., 2000).

O papel das vibrações no aumento da força muscular é muitas vezes atribuído ao aumento da rigidez do complexo músculo-tendinoso. No entanto, a quantificação da rigidez não revelou haver alterações significativas após treino vibracional (Cronin, Oliver, & McNair, 2004). Face ao elevado potencial de lesão associado a este tipo de treino (registaram-se vários casos de dor ao nível da mandíbula, pescoço e zona terminal da coluna vertebral), estes mesmos autores recomendam a continuação deste tipo de estudo.

Existem também sinais de que este tipo de vibração poderá contribuir para a recuperação de indivíduos com lesões na medula espinal, mas as evidências actuais também requerem a realização de estudos mais aprofundados e conclusivos (Haas, Hoschsprung, Turbanski, Brand, & Schimdtbleicher, 2004).

### ***1.5. Legislação***

Até há bem pouco tempo existia um vazio legal, tanto a nível nacional como a nível europeu, no que diz respeito à prevenção e protecção contra os riscos decorrentes

da exposição ocupacional a vibrações. No entanto, em 2002, o Parlamento e o Conselho europeus estabeleceram, na directiva 2002/44/EC, de 25 de Junho, as prescrições mínimas em matéria de protecção dos trabalhadores contra os riscos para a sua segurança e saúde, resultantes ou susceptíveis de resultar da exposição a vibrações mecânicas. A fixação de prescrições mínimas dá aos Estados-Membros a possibilidade de manterem ou adoptarem disposições mais favoráveis para a protecção dos trabalhadores, nomeadamente no que se refere à fixação de valores inferiores para o valor diário que desencadeia a acção ou para o valor limite de exposição diária a vibrações.

A directiva limita-se a estabelecer os objectivos a atingir, os princípios a respeitar e os valores fundamentais a utilizar, a fim de poderem ser aplicadas as prescrições mínimas. Neste sentido, a redução da exposição a vibrações deverá concretizar-se mais eficazmente através da adopção de medidas preventivas, implementadas desde a fase de concepção dos postos e locais de trabalho, assim como pela selecção do equipamento, dos processos e dos métodos de trabalho, com vista a uma redução prioritária na origem.

Relativamente às VCI, a directiva assenta nos princípios básicos estabelecidos pela norma ISO 2631-1 (1997) e pode considerar-se que apresenta dois grandes pilares: a definição de dois valores de referência na avaliação da exposição ocupacional e a imposição da criação, por transposição e respectivas adaptações à realidade local, de regulamentação legal específica relativa a este agente físico do ambiente de trabalho.

Deste modo, a directiva estabelece um valor de exposição diária, que desencadeia a acção, fixado em  $0,5 \text{ m s}^{-2}$ , e um valor limite de exposição diária fixado em  $1,15 \text{ m s}^{-2}$ , ambos normalizados para um período de referência de 8 horas de exposição diária. Alternativamente, os Estados-Membros podem optar por fixar os valores anteriores sob a forma de valores de dose de vibração:  $9,1 \text{ m s}^{-1,75}$  e  $21 \text{ m s}^{-1,75}$ , respectivamente. Existem, fundamentalmente, duas diferenças técnicas entre as duas grandezas físicas: os valores de dose vibracional tendem a acentuar o efeito de valores extremos e são menos sensíveis à duração da exposição (Evans, 2005). Embora peritos britânicos afirmem que a dose vibracional constitui uma medida melhor do risco que a vibração representa para a saúde, a maior parte dos países europeus parece preferir o

valor de aceleração normalizado para 8 horas de exposição diária, sobretudo pela simplicidade da sua aplicação.

No âmbito das obrigações dos empregadores, incluem-se a avaliação dos riscos associados à exposição a vibrações mecânicas e a sua eliminação ou redução ao mínimo possível, bem como a informação e formação dos trabalhadores expostos. O empregador deverá avaliar e, se necessário, medir os níveis de vibrações mecânicas a que os trabalhadores estão submetidos. Esta avaliação pode ser realizada pela observação das práticas de trabalho específicas e com recurso a informação pertinente a respeito do nível provável de vibrações correspondente ao equipamento, ou ao tipo de equipamento, utilizado nas condições de trabalho em causa. Por seu turno, a medição deve reger-se pelas orientações da norma ISO 2631-1(1997), de acordo com o estipulado no Anexo B da directiva.

A avaliação dos riscos associados à exposição a vibrações mecânicas deve ser actualizada com regularidade, particularmente quando tiverem tido lugar alterações significativas que a possam desactualizar, ou quando os resultados da vigilância da saúde demonstrarem a sua necessidade.

Sempre que se verifiquem exposições diárias superiores ao valor que desencadeia a acção, o empregador deve estabelecer e implementar um programa de medidas técnicas e/ou organizacionais, com vista à redução da exposição a vibrações mecânicas a um mínimo, bem como dos riscos que dela resultam. Em nenhuma circunstância os trabalhadores podem estar sujeitos a exposições superiores ao valor limite de exposição.

A consulta e a participação dos trabalhadores e/ou dos seus representantes, relativamente à exposição a vibrações mecânicas e riscos associados, não podem ser descuradas.

Em função dos resultados da avaliação dos riscos associados, os Estados-Membros devem assegurar a vigilância da saúde dos trabalhadores, no sentido de se prevenir e diagnosticar precocemente qualquer afecção relacionada com a exposição a vibrações mecânicas.

Os Estados-Membros ficam obrigados a apresentar à Comissão Europeia, e com

uma periodicidade de cinco anos, um relatório sobre a aplicação prática das disposições desta directiva. Este relatório deverá conter uma descrição das melhores práticas na prevenção das vibrações prejudiciais para a saúde e de outras formas de organizar o trabalho, assim como dos esforços dos Estados-Membros no sentido de as divulgarem. Assim, as disposições legislativas, regulamentares e administrativas necessárias para dar cumprimento à directiva 2002/44/CE, de 25 de Junho de 2002, deveriam ter sido aprovadas pelos Estados-Membros até 6 de Julho de 2005. A adopção de qualquer um dos regimes transitórios previstos na directiva, por parte de qualquer Estado-Membro, deve ser devidamente justificada. No caso de serem utilizados equipamentos de trabalho que foram colocados à disposição dos trabalhadores antes de 6 de Julho de 2007 e que não permitam respeitar os valores limite de exposição, atendendo aos últimos progressos técnicos e/ou à implementação de medidas organizacionais, pode fazer-se uso de um período transitório máximo de 5 anos, a contar a partir de 6 de Julho de 2005. Se o equipamento em questão for utilizado nos sectores agrícola e/ou silvícola, o período transitório poderá ser prorrogado até mais quatro anos.

Em Portugal, até à data foi apenas publicado para apreciação pública, em separata do Boletim do Trabalho e do Emprego de 28 de Junho de 2005, o projecto de Decreto-Lei sobre as prescrições mínimas de protecção da saúde e segurança dos trabalhadores, em caso de exposição aos riscos devidos a vibrações mecânicas.

Na sequência da análise do conteúdo da directiva, alguns autores têm manifestado preocupação em relação a vários aspectos, nomeadamente face à inconsistência interna no que diz respeito a exposições a VCI de curta duração (Griffin, 2004). Griffin afirma que a fixação de valores limite com recurso a grandezas físicas distintas dá origem a resultados muito diferentes, pelo que qualquer acção decorrente da directiva deveria basear-se, exclusivamente, em orientações qualitativas.

### ***1.6. Normalização***

O termo normalização encerra em si próprio mais do que um significado, podendo, no contexto das vibrações, consistir na definição de procedimentos de avaliação de ambientes vibratórios, ou na definição de estados vibratórios considerados aceitáveis e, consequentemente, a preconizar. Todavia, a parca consolidação de

conhecimentos neste domínio reflecte-se muitas vezes na definição de procedimentos ambíguos e com limites de exposição demasiado rígidos, pelo que a normalização dos primeiros deverá constituir um pré-requisito para a normalização destes últimos. De qualquer modo, é importante que os limites possam ser ajustados de acordo com as circunstâncias, pois dificilmente se obterão valores que se possam aplicar a todas as situações. Paralelamente, o processo de normalização exige o consenso entre diferentes indivíduos e grupos, certamente com diferentes interesses e capacidades, sujeitos a diferentes pressões financeiras, comerciais, técnicas e políticas, e que pretendem aplicar a norma a situações, também elas distintas. Só que, na maior parte das vezes, este consenso é difícil de ser alcançado e nem sempre corresponde à melhor solução. Assim, no caso particular das vibrações, impõe-se que as respectivas normas sejam analisadas e até aplicadas com algum cepticismo.

Relativamente à normalização referente à exposição a VCI, existem, fundamentalmente, duas correntes em vigor na Europa, cada qual com as suas virtudes e lacunas. Por um lado, tem-se a *International Organization for Standardization* e por outro, a *British Standards Institution*. Algumas das normas emanadas desta última resultam da adaptação de normas publicadas inicialmente pela primeira. Apesar de, em alguns pontos, as normas britânicas serem mais adequadas do que as normas ISO, por uma questão de harmonização e homogeneização, parece haver uma tendência para se adoptarem, mesmo no Reino Unido, as normas ISO. Assim, pode afirmar-se que a série ISO 2631, publicada sob a designação de “Mechanical Vibration and Shock”, constitui uma referência neste domínio.

A filosofia subjacente às normas BS 6841 e ISO 2631 sempre foi diferente. A primeira procurou definir procedimentos de medição e avaliação das vibrações, enquanto que a segunda se centrava no estabelecimento de valores limite de exposição.

A norma ISO 2631-1 (1997) refere-se aos requisitos gerais para a avaliação da exposição humana a VCI. A sua preparação teve início em 1966 e a primeira publicação ocorreu em 1974, com o intuito de reunir valores numéricos para o limite de exposição a vibrações transmitidas ao corpo humano como um todo, a partir de superfícies sólidas, na gama de frequências entre 1 e 80 Hz (Griffin, 1998). Desde então, já foi alvo de várias revisões, no sentido de se eliminarem, ou substituírem, aspectos desnecessários e fortificar a informação considerada insuficiente. Em 1978, nova publicação visava a

correção dos erros de alguns gráficos e tabelas e a redução de alguma ambiguidade presente na versão anterior, tendo-se criado um aditamento. Na altura, outros aditamentos estavam previstos, no sentido de definir aplicações específicas e/ou extensões da norma a edifícios, aos enjos associados a diferentes tipos de transporte e à vibração em transportes aquáticos e ferroviários. Durante vários anos imperou a versão de 1985, tendo sido substituída em 1997 por uma versão que está mais de acordo com a filosofia subjacente à norma britânica.

A versão de 1997 define metodologias para a avaliação de vibrações do corpo inteiro, no que se refere à saúde, ao conforto, à percepção e à incidência do “mal dos transportes”.

Embora se tenham abandonado os valores limite de exposição da versão de 1985, são propostas metodologias de avaliação que poderão servir como ponto de partida para a sua redefinição e que podem ser aplicadas aos movimentos transmitidos ao corpo humano, como um todo, através das superfícies que o sustentam: pés, nádegas, costas e toda a área de suporte em indivíduos prostrados. Consequentemente, a aplicabilidade desta norma estende-se a todo o tipo de veículo, edifício e à vizinhança de máquinas em funcionamento.

A gama de frequências contemplada alargou-se para 0,5 - 80 Hz, no que diz respeito à saúde, ao conforto e à percepção, e para 0,1 - 80 Hz, em relação aos enjos com origem nos transportes.

As vibrações rotacionais, ou angulares, já são contempladas nesta nova versão, devendo a respectiva aceleração ser expressa em  $\text{rad s}^{-2}$  e mantendo-se o estabelecido previamente, com relação às vibrações translacionais, isto é, utilização de valores de aceleração eficaz (rms), expressos em  $\text{m s}^{-2}$  ou em g (Almeida, 2002).

Caso as vibrações se caracterizem por frequências muito baixas e/ou apresentem fraca intensidade, como sucede em edifícios e barcos, poderá optar-se por quantificar a magnitude vibracional em termos de velocidade, convertendo-a, posteriormente, no respectivo valor de aceleração.

As medições deverão ser realizadas de acordo com um sistema de eixos coordenados ortogonais, centrado no indivíduo exposto e no ponto de transferência da

vibração.

Caso não seja possível orientar de forma precisa os transdutores segundo estes eixos, é aceitável um desvio máximo de 15°. Todavia, os transdutores devem fixar-se perpendicularmente, entre si, e o mais próximo possível, uns dos outros. Esta fixação deverá efectuar-se na interface Homem - fonte vibracional, pelo que a medição deverá ter lugar entre o corpo e a superfície vibrante. Deste modo, as principais interfaces de medição em indivíduos sentados são: nádegas-assento, costas-encosto e pés-chão.

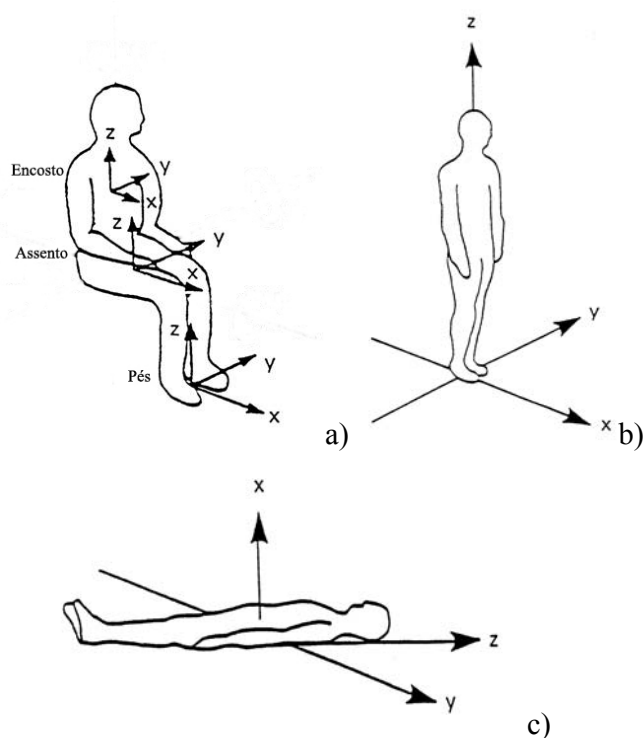


Figura 1.1 - Sistema de eixos coordenados de referência definido pela norma ISO 2631-1 (1997): a) sentado; b) de pé; c) prostrado.

A medição deve prolongar-se por tempo suficiente, de modo a assegurar a sua representatividade e significado estatísticos, devendo a respectiva duração, naturalmente, ser sempre referida. Quando uma exposição completa consistir de vários períodos com características diferentes, pode haver necessidade de se proceder a análises individualizadas.

Nesta compilação normativa encontram-se três metodologias alternativas para proceder à avaliação do ambiente vibratório em estudo, consoante as suas características. Pode, desde já, dizer-se que a complexidade dos métodos propostos

poderá comprometer a sua utilização futura por parte de quem realiza trabalhos desta natureza e que o primeiro método é aquele que está mais generalizado.

De qualquer modo, a base de toda a análise continua a ser o valor da aceleração eficaz (“root-mean-square”), por banda de terço de oitava, conforme a equação (1.1).

$$a_{\text{eficaz}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a^2(t) dt} \quad (1.1)$$

onde:

- $a(t)$  é a função temporal da aceleração, expressa em  $\text{m s}^{-2}$  ou em  $g$ ;
- $T$  é a duração da medição, expressa em segundos.

A aceleração ponderada obtém-se posteriormente, com base na equação (1.2), ou sua equivalente digitalizada.

$$a_w = \left[ \sum_i (w_i a_i)^2 \right]^{1/2} \quad (1.2)$$

onde:

- $a_w$  é a aceleração ponderada, expressa em  $\text{m s}^{-2}$ ;
- $w_i$  é o factor de ponderação, para a  $i$ -ésima banda de terço de oitava, que se encontra tabelado, em função do ponto de medição e da direcção da vibração a ser quantificada;
- $a_i$  é o valor da aceleração eficaz (r.m.s.) da  $i$ -ésima banda de terço de oitava.

Regra geral, os factores de ponderação  $w_i$  tomam designações e valores diferentes, em função da sua aplicação, como se pode verificar na tabela 1.1.

Tabela 1.1 - Ponderações propostas para o cálculo do valor da aceleração ponderada, a partir dos espectros por banda de terço de oitava.

| Ponderação | Situação                                                           |
|------------|--------------------------------------------------------------------|
| $w_k$      | Direcção $z$ e direcção vertical em indivíduos prostrados          |
| $w_d$      | Direcções $x$ e $y$ e direcção horizontal em indivíduos prostrados |
| $w_f$      | “Mal dos Transportes”                                              |
| $w_c$      | Vibrações transmitidas pelas costas                                |
| $w_e$      | Vibrações rotacionais                                              |
| $w_j$      | Medições sob a cabeça de indivíduos prostrados                     |

Quando a vibração se faz sentir em mais do que uma direcção, o valor da aceleração total ponderada é calculado a partir dos valores de aceleração ponderada correspondentes aos eixos coordenados envolvidos, do seguinte modo:

$$a_{eq} = \left( k_x^2 a_{wx}^2 + k_y^2 a_{wy}^2 + k_z^2 a_{wz}^2 \right)^{1/2} \quad (1.3)$$

onde:

- $a_{wx}$ ,  $a_{wy}$  e  $a_{wz}$  são valores de aceleração ponderada por banda de terço de oitava, nos eixos  $x$ ,  $y$  e  $z$ , respectivamente;
- $k_i$  são factores multiplicativos adimensionais.

Os factores de ponderação  $k_i$  são seleccionados de entre os propostos pela norma, em função da avaliação que se pretende realizar: no caso do conforto assumem todos valores unitários, enquanto que no caso da saúde os factores para as direcções  $x$  e  $y$  assumem o valor 1,4 e para a direcção  $z$ , valor unitário.

O cálculo do valor de aceleração total ponderada é recomendado para avaliação da influência da vibração no conforto e, desde que não haja nenhum eixo dominante em termos vibracionais, para a avaliação dos efeitos da vibração na saúde.

A norma encoraja ainda a medição da vibração transmitida pelas costas, na direcção antero-posterior ( $x$ ), recomendando para o efeito um valor de  $k$  igual a 0,8, apesar de não se utilizarem os valores obtidos para efeitos de avaliação, atendendo à falta de evidências que atestem, ou não, o seu papel sobre a saúde.

A aplicabilidade desta metodologia de avaliação da exposição às vibrações do corpo inteiro é condicionada, à partida, pelo valor do factor de crista. Este pode ser obtido pela razão entre o valor pico da aceleração e o valor de aceleração eficaz (rms). Regra geral, valores inferiores a 9 pressupõem que a metodologia descrita é suficiente para avaliar a severidade da vibração em questão. No entanto, vibrações que envolvam choques esporádicos, podem ser subestimadas por este método de avaliação, apesar do respectivo factor de crista ser inferior a 9. Esta questão coloca-se, sobretudo, com

relação aos efeitos sobre o conforto. Para estes casos, apresentam-se duas alternativas para completar a avaliação. Numa primeira abordagem, são considerados choques e vibrações transientes, recorrendo-se a uma constante de integração temporal,  $\tau$ . Em vez de se usar o valor de aceleração eficaz expresso pela equação (1.1), aplica-se a equação (1.4):

$$a_w(t_0) = \left[ \frac{1}{\tau} \int_{t_0 - \tau}^{t_0} a_w^2(t) dt \right] \quad (1.4)$$

onde:

- $a_w(t)$  – aceleração instantânea ponderada;
- $\tau$  - constante de integração temporal;
- $t$  – variável tempo;
- $t_0$  – tempo de observação (instantâneo).

O valor transiente máximo da vibração (MTVV), que corresponde então à intensidade da vibração, é definido como:

$$\text{MTVV} = \text{máx} [a_w(t_0)] \quad (1.5)$$

Para a determinação do valor de MTVV deve usar-se uma constante de integração temporal igual a 1 s.

Alternativamente, pode calcular-se o valor da dose vibracional (VDV), mais sensível aos picos de aceleração porque faz uso da quarta potência desta função:

$$\text{VDV} = \left[ \int_0^T a_w^4(t) dt \right]^{1/4} \quad (1.6)$$

onde:

- $a_w(t)$  é a aceleração instantânea ponderada;
- $T$  é o tempo de medição.

Caso a exposição consista em dois ou mais períodos de exposição a vibrações de intensidade diferente, o valor da dose da vibração total deve ser calculado por:

$$\text{VDV}_{\text{total}} = \left[ \sum_i \text{VDV}_i^4 \right]^{1/4} \quad (1.7)$$

onde  $\text{VDV}_i$  são os valores das doses correspondentes a cada período.

Convém referir que a aceleração eficaz deve ser sempre utilizada na avaliação da exposição vibracional e que estes dois métodos deverão ser usados complementarmente quando os seguintes factores forem ultrapassados:

$$\frac{\text{MTVV}}{a_w} = 1,5 \qquad \frac{\text{VDV}}{a_w T^{1/4}} = 1,75$$

A metodologia de avaliação proposta por esta versão da norma trata separadamente as questões relacionada com a saúde, o conforto e a percepção e, finalmente, os enjoos associados aos transportes.

No caso da saúde, a norma deverá aplicar-se, sobretudo, a pessoas sentadas, uma vez que os efeitos a este nível em indivíduos de pé e prostrados não são bem conhecidos.

Já no Anexo A da norma, são apresentadas linhas de orientação no sentido de se proceder à avaliação do efeito da exposição a VCI a nível da saúde. Refira-se o facto de estas orientações assentarem no resultado de investigações sobre a resposta humana de indivíduos sentados, a vibrações verticais ( direcção  $z$ ), pelo que se questiona a sua aplicação às outras direcções. É proposta uma figura que ilustra a combinação tempo de exposição *versus* intensidade da vibração (expressa em  $\text{m s}^{-2}$ ) que deve inspirar preocupação (tempo de exposição entre 4 e 8 horas para uma vibração com aceleração entre 0,5 e 1,25  $\text{m s}^{-2}$ ). Nesta gama de valores é provável que se verifique a ocorrência problemas de saúde. Abaixo daquela zona não há evidência de efeitos adversos para a saúde do Homem, enquanto que acima, os riscos constituem uma realidade. Exposições de mais curta duração devem ser analisadas com mais cuidado e pormenor. É ainda assumido por esta norma que o tipo de resposta a uma vibração está relacionado com o conteúdo energético transferido, pelo que se considera que duas exposições são equivalentes quando:

$$a_{w1} T_1^{1/2} = a_{w2} T_2^{1/2} \quad (1.8)$$

em que:

- $a_{w1}$  e  $T_1$  são, respectivamente, a aceleração eficaz ponderada da vibração e o tempo de exposição, para o primeiro caso;
- $a_{w2}$  e  $T_2$  são, respectivamente, a aceleração eficaz ponderada da vibração e o tempo de exposição, para o segundo caso.

Alguns estudos revelam uma relação diferente:

$$a_{w1} T_1^{1/4} = a_{w2} T_2^{1/4} \quad (1.9)$$

Quando a exposição consistir em dois ou mais períodos com intensidades e/ou durações diferentes, a intensidade equivalente da vibração que corresponde ao tempo total da exposição pode ser determinada pela equação seguinte.

$$a_{we} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (a_{wi}^2 T_i)}{\sum_{i=1}^n T_i} \right]^{1/2} \quad (1.10)$$

onde:

- $a_{we}$  é a aceleração eficaz equivalente, para o tempo  $T = \sum_{i=1}^n T_i$  ;
- $a_{wi}$  são os valores de aceleração eficaz ponderada, correspondentes aos tempos de exposição  $T_i$ .

É também utilizada com a mesma finalidade uma expressão equivalente, que se pode obter substituindo o quadrado da aceleração eficaz pela sua quarta potência e extraindo-se a raiz quarta ao quociente definido na equação (1.10).

Em alguns casos, não especificados, pode calcular-se ainda um valor estimado de dose de vibração, designado por eVDV e que se define por:

$$eVDV = 1,4 a_w T^{1/4} \quad (1.11)$$

Os valores de eVDV correspondentes aos limites inferior e superior da zona definida pelas equações (1.8) e (1.9) são, respectivamente, 8,5 e 17 m s<sup>-1,75</sup>.

No que se refere ao conforto, a aceleração eficaz ponderada deve ser obtida para cada eixo da vibração translacional, na superfície que suporta o sujeito. Em condições variáveis, o conforto pode ser avaliado com base em estatísticas derivadas das distribuições de valores ponderados de aceleração eficaz. As ponderações recomendadas nestes casos são as seguintes:  $w_c$ ,  $w_d$ ,  $w_e$ ,  $w_j$  e  $w_k$ . No Anexo B encontram-se algumas recomendações para o processo de avaliação dos efeitos sobre o conforto. Em alguns ambientes, nomeadamente nos transportes ferroviários, a ponderação  $w_b$  é considerada mais apropriada do que a  $w_k$ , sobretudo, para a direcção  $z$ .

A avaliação de vibrações multidireccionais deve contemplar todas as direcções e o valor total ponderado é calculado com recurso à equação (1.3) com factores multiplicativos unitários. Quando o conforto for afectado por vibrações em mais do que um ponto, um valor global deve ser calculado também pela raiz quadrada da soma dos quadrados dos respectivos valores. Qualquer valor ponderado que seja 25% inferior ao máximo obtido nesses mesmos pontos, pode ser desprezado. Uma vez que o conforto pode ser, significativamente, afectado pelas vibrações horizontais ao nível do encosto dos assentos dos veículos, estas deverão ser quantificadas ou, caso tal não seja possível, deve usar-se um factor multiplicativo de 1,4 para os valores correspondentes aos eixos  $x$  e  $y$ , sobre o assento.

No caso de a exposição ser uniforme ao longo do dia de trabalho, o valor de aceleração eficaz obtido pode ser comparado com os valores da tabela 1.2. Caso contrário deverá proceder-se a cálculos semelhantes aos que anteriormente se referiram para o caso da saúde, recorrendo à equação (1.10).

No que se refere à percepção das vibrações, a norma aconselha a utilização de apenas dois tipos de ponderação, sempre com factores multiplicativos unitários:  $w_k$  para vibrações verticais e  $w_d$  para vibrações horizontais.

Tabela 1.2 - Reacções típicas de indivíduos expostos a diferentes intensidades vibracionais em transportes públicos.

| <b>Aceleração eficaz (<math>\text{m s}^{-2}</math>)</b> | <b>Reacção</b>              |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------|
| < 0,315                                                 | Não desconfortável          |
| 0,315 – 0,63                                            | Pouco desconfortável        |
| 0,5 – 1                                                 | Medianamente desconfortável |
| 0,8 – 1,6                                               | Desconfortável              |
| 1,25 – 2,5                                              | Muito desconfortável        |
| > 2                                                     | Extremamente desconfortável |

No que se refere à percepção das vibrações, a norma aconselha a utilização de apenas dois tipos de ponderação, sempre com factores multiplicativos unitários:  $w_k$  para vibrações verticais e  $w_d$  para vibrações horizontais.

## 2. Vibrações e a Posição de Sentado

A posição e a postura assumidas durante a exposição a VCI condicionam fortemente a transmissão vibracional e, conseqüentemente, os efeitos decorrentes, na medida em que modificam a resposta biodinâmica do corpo humano. Na maior parte dos casos de exposição ocupacional de relevo, os trabalhadores encontram-se na posição de sentado, durante longos períodos de tempo. Durante a realização de qualquer tarefa, as posturas assumidas são influenciadas pelas respectivas exigências, pelo nível de concentração, interesse e envolvimento pessoais, pelo estado emocional, pelos hábitos individuais e pelo próprio ambiente. Em particular na posição de sentado, a postura assumida é condicionada pelo assento, pelo que este assume um papel relevante.

Nesta perspectiva, este capítulo aborda as implicações que a posição de sentado e, necessariamente, o assento têm na exposição ocupacional a VCI, na medida em que os condutores de autocarros urbanos se encontram naquela posição durante a execução das tarefas que lhes estão cometidas.

### *2.1. A posição de sentado*

Segundo Chaffin e Andersson (1991), a posição de sentado pode ser definida como sendo aquela em que o peso do corpo é transferido para uma superfície de suporte, sobretudo através das tuberosidades isquiáticas e tecidos moles adjacentes. Em função do tipo de assento e da postura adoptada, parte do peso pode ainda ser transferido para o chão e para o encosto e braços do assento.

De entre as vantagens da posição de sentado podem salientar-se as seguintes: proporciona a estabilidade requerida para a execução de tarefas com elevadas exigências visuais e de controlo motor, envolve menor dispêndio de energia do que a posição de pé, submete as articulações dos membros inferiores a menores níveis de *stress* e reduz a pressão sanguínea a este nível (Chaffin & Andersson, 1991; Pope et al., 2002).

Todavia, esta posição também apresenta algumas desvantagens, na medida em que representa uma sobrecarga para a coluna vertebral, um risco acrescido para

descalcificação óssea e induz uma diminuição da circulação sanguínea (Magnusson & Pope, 1998). Por outro lado, a inatividade associada a esta posição provoca uma acumulação de metabolitos, acelerando a degenerescência dos discos intervertebrais que, por sua vez, conduz ao aparecimento de hérnias discais (Magnusson & Pope, 1998; Pope et al., 2002).

Quando um indivíduo se encontra de pé, a coluna vertebral apresenta três curvaturas principais: uma lordose a nível cervical, uma cifose a nível torácico e uma lordose a nível lombar. Esta última é devida, sobretudo, à diferença de espessura apresentada pelos discos intervertebrais na direcção antero-posterior, necessária para compensar o facto de a superfície superior da zona sagrada apresentar uma inclinação anterior. A passagem para a posição de sentado faz com que se altere a conformação, dita normal, da coluna, e a lordose lombar tenda a desaparecer. Em média, regista-se uma redução de cerca de 38° na lordose lombar, sendo 28° devidos à rotação da pélvis, 6° provêm das duas primeiras articulações da zona lombar (L<sub>1</sub>-L<sub>2</sub> e L<sub>2</sub>-L<sub>3</sub>) e 4° da alteração do ângulo da articulação sacro-iliaca (Chaffin & Andersson, 1991). A ocorrência destas alterações conformacionais está ilustrada na figura 2.1 e é suportada por registos radiológicos. Estas alterações estão relacionadas com os ângulos de flexão da anca e do joelho, na medida em que os músculos envolvidos condicionam igualmente a curvatura da coluna vertebral.

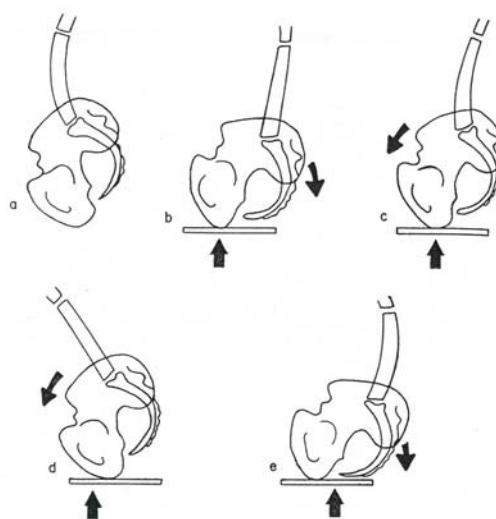


Figura 2.1 - Posição relativa da pélvis e da zona lombar da coluna vertebral: a) de pé; b) postura mediana, sentada, sem suporte e relaxada; c) postura mediana, sentada, sem suporte e erecta; d) postura anterior, sentada; e) postura posterior, sentada (adaptado de Chaffin & Andersson, 1991).

Chaffin e Adersson (1991) referem também que medições da pressão inter-discal *in vivo* revelaram uma redução de cerca de 35% nos valores, entre a posição de pé e a de sentado, sem recurso a encosto. Os valores mais baixos foram registados quando da adopção de uma postura erecta. Noutras posturas, a aplanção da zona lombar da coluna vertebral induz uma deformação dos próprios discos intervertebrais. A presença de encosto no assento influencia a pressão intra-discal, registando-se uma diminuição desta quando se aumenta a inclinação posterior do encosto, bem como o volume do apoio lombar. Por outro lado, a localização deste último parece ser mais favorável junto das 4ª e 5ª vértebras lombares do que junto das primeiras duas. Estes resultados podem ser atribuídos a quatro factores diferentes: (1) a inclinação posterior do encosto aumenta a transferência de carga mecânica para este, diminuindo a pressão intra-discal; (2) uma fracção do peso da parte superior do corpo é transferida para o suporte lombar, reduzindo a carga sobre a coluna vertebral; (3) o apoio lombar contribui para a reposição da lordose lombar, reduzindo a deformação da coluna e a pressão intra-discal; (4) a possibilidade de utilizar os braços do assento, suportando o respectivo peso, também contribui para a diminuição da pressão.

O recurso à electromiografia no estudo da posição de sentado revelou uma diminuição da actividade muscular entre a posição de pé e aquela. Este mesmo efeito é verificado quando na posição de sentado se adopta uma postura com flexão anterior, se apoiam os braços e se utiliza o encosto do assento (Chaffin & Andersson, 1991). Por seu turno, um incremento na inclinação posterior do encosto proporciona uma redução da actividade muscular, não só a nível lombar, mas também nas zonas torácica e cervical. Este fenómeno também se verifica quando se desloca o apoio da zona torácica para a zona lombar.

A variação da estatura do ser humano após a permanência na posição de sentado é uma realidade e tem sido atribuída a dois factores distintos: diminuição da altura dos discos intervertebrais, resultante da carga de compressão a que está sujeita, e deformação dos tecidos moles localizados abaixo da zona sagrada da coluna vertebral (Kanlayanaphotporn, Trott, Williams, & Fulton, 2001). A diminuição da altura da coluna vertebral é significativamente mais pronunciada nos adolescentes do que nos indivíduo em idade adulta (Kanlayanaphotporn, Lam, Williams, Trott, & Fulton, 2001). No entanto, se o ser humano for submetido a VCI enquanto permanece sentado,

verifica-se um aumento da altura da coluna vertebral (Bonney & Corlett, 2003; Hampel & Chang, 1999; van Deursen, Goossens, J.J.M., van der Helm, & van Deursen, 2000; van Dieën, De Looze, & Hermans, 2001)

Para além dos efeitos sobre a coluna vertebral, a posição de sentado provoca ainda uma diminuição do espaço existente nas cavidades torácica e abdominal, resultando num aumento da pressão exercida em órgãos como os pulmões e em todo o sistema digestivo (Eklund, 1999).

Tabela 2.1 - Fontes de perturbação da segurança, da saúde, do bem-estar e do desempenho humanos na posição de sentado (adaptado de Eklund, 1999).

- 
- Elevada ou prolongada carga sobre estruturas passivas (articulações ao nível da coluna, pescoço, braços e pulsos);
  - Actividade muscular estática ou de elevada intensidade (coluna, pescoço, ombros e braços);
  - Aumento da pressão sanguínea venosa (pés e perna);
  - Aumento da pressão nos órgãos internos (pulmões e sistema digestivo);
  - Pressão na superfície do assento (nádegas e zona poplíteia);
  - Propriedades térmicas (condução de calor e permeabilidade).
- 

Estudos realizados com cadáveres revelaram o efeito combinado das VCI e da posição de sentado, envolvendo quatro posturas diferentes: erecta, com inclinação posterior, com e sem apoio lombar, fixo junto da terceira vértebra lombar, de modo a induzir uma hiper-lordose (El-Khatib & Guillon, 2001). A aceleração foi medida no corpo das cinco vértebras lombares, tendo-se registado uma diminuição nos valores à medida que se aumentava a inclinação posterior do encosto. Um estudo anterior, igualmente com cadáveres, mas envolvendo apenas vibrações verticais, revelou a ocorrência do fenómeno de ressonância entre 4 e 9 Hz, conforme a postura adoptada (El-Khatib, Guillon, & Dômont, 1998). No caso de ensaios realizados *in vivo*, foram identificadas duas gamas de frequência de ressonância, dependentes da postura: a primeira associada ao corpo como um todo, entre 4 e 6 Hz, e a segunda associada à coluna vertebral, entre 8 e 12 Hz (Kitazaki & Griffin, 1998).

Tabela 2.2 – Frequências naturais de diferentes partes do corpo humano, na posição de sentado, segundo diversos autores.

| <b>Parte do Corpo</b> | Kroemer & Grandjean (1997) | Macedo (1988) | Sanders & McCormick (1993) | Wasserman (1987) |
|-----------------------|----------------------------|---------------|----------------------------|------------------|
| Cabeça                | 5-30                       | 25            | 20-30                      | 20-30            |
| Vértebras Cervicais   | 3-4                        | -             | 3-4                        | -                |
| Coluna Vertebral      | -                          | -             | -                          | 4-8              |
| Ombro                 | 5                          | 4-5           | 5                          | -                |
| Olhos                 | 20-70                      | 30-80         | 60-90                      | 60-80            |
| Coração               | 4-6                        | -             | -                          | -                |
| Pulmão                | 50                         | -             | -                          | -                |
| Abdômen               | 4-8                        | -             | -                          | -                |
| Estômago              | 3-6                        | -             | -                          | -                |
| Bexiga                | 10-18                      | -             | -                          | -                |

O estudo da resposta biodinâmica do corpo humano a vibrações verticais revelou que a transmissibilidade vibracional média às vértebras L<sub>3</sub> e L<sub>5</sub>, na posição de pé, era superior a 2,0, enquanto que na posição de sentado os valores eram inferiores a 1,5 (Matsumoto & Griffin, 2000). Isto significa que em ambas as situações ocorre ampliação das vibrações até atingirem a zona lombar da coluna, mas com maior intensidade na posição de pé. Os autores atribuem o fenómeno às diferenças que aquelas duas posições apresentam relativamente ao ângulo da pélvis, à curvatura da coluna vertebral, à tensão muscular e à via de propagação das vibrações (de pé, através das pernas; sentado, através das nádegas).

## **2.2. O assento**

Quando se pensa num assento têm de se considerar as suas propriedades estáticas e dinâmicas. O assento deverá acomodar o seu ocupante/utilizador numa postura adequada para a realização das tarefas que lhe estão cometidas. Esta postura deverá exigir um esforço muscular mínimo para a sua manutenção, de modo a minimizar-se a fadiga muscular. Neste sentido, o corpo humano deverá ser suportado pelo assento, pelo respectivo encosto e pelo chão, de modo a manter um conjunto de curvaturas e ângulos adequados. Mas como não existe nenhuma postura que o ser humano seja capaz de manter indefinidamente, sem que isso represente um esforço acrescido, o assento deverá permitir que o utilizador modifique a sua postura, dentro dos limites aceitáveis para a realização das tarefas de que está incumbido.

A concepção do assento óptimo deve atender a factores como as dimensões dos utilizadores (dados antropométricos), as actividades a desenvolver (ler, escrever, conduzir, comer, etc.), a sua própria manutenção (limpeza e mecanismos de controlo) e aspectos ambientais (propriedades térmicas e dinâmicas). Neste sentido, existem aspectos que não deverão ser esquecidos quando da sua concepção e incluem a forma, a inclinação, a função de suporte, a acessibilidade e, finalmente, a atenuação da transmissão de vibrações ao corpo humano.

Um assento moldável é mais macio, atinge temperaturas menos extremas ao toque, distribui a pressão em torno das tuberosidades isquiáticas, apresenta fricção suficiente na sua superfície para prevenir deslizamentos, pode atenuar a vibração transmitida, tem capacidade para se adaptar a diferentes formas e dimensões de utilizadores, é mais atraente e espera-se que seja mais confortável que um assento rígido.

Quando sentado num assento rígido e plano, existem poucos pontos de contacto do corpo humano com a superfície. No sentido de prevenir pressões excessivas nos principais pontos de suporte, as superfícies dos assentos apresentam contornos, são moldáveis, ou reúnem ambas as características. A superfície de um assento moldável tende a adoptar as formas do ocupante e tem capacidade para modificar a vibração transmitida ao corpo humano.

O assento pode ser complementado com um sistema de suspensão, passivo ou activo, que contribui para a atenuação da vibração que se propaga pela sua estrutura. Os sistemas passivos têm características que, em muitos casos, podem ser ajustadas de acordo com o peso do utilizador, mas que se mantêm face a qualquer tipo de estímulo mecânico. Alguns destes sistemas já se ajustam automaticamente ao peso dos utilizadores. Pelo contrário, os sistemas activos ajustam a sua resposta às características da vibração a que são submetidos e, conseqüentemente, a sua aquisição representa um investimento bem mais avultado do que a de um sistema passivo.

Tradicionalmente têm-se realizado dois tipos de estudos no âmbito do *design* de assentos de veículos: estudos acerca dos requisitos dimensionais e de alcance do assento e estudos do respectivo desempenho em termos de conforto. Os primeiros examinam os aspectos antropométricos e biomecânicos do assento, enquanto que os últimos avaliam

o nível de conforto, sobretudo recorrendo a procedimentos subjectivos. Durante algum tempo considerou-se que os requisitos de conforto eram exclusivos dos assentos para passageiros, ficando a concepção do assento do condutor restringida a critérios de alcance e visibilidade, ou seja, relacionados com as tarefas a realizar e com o espaço disponível.

A sensação de conforto proporcionada pelos assentos tem sido analisada por diversos autores em contextos diferenciados (Helander & Zhang, 1997; Kolich, 2003; Mehta & Tewari, 2000; Ng, Cassar, & Gross, 1995; Shen & Parsons, 1997; Tewari & Prasad, 2000; Vergara & Page, 2002). A necessidade de avaliar o conforto do assento, de forma objectiva na tarefa de condução, levou à realização de estudos relativos à postura (Park, Kim, Kim, & Lee, 2000), à distribuição de pressão ao nível das tuberosidades isquiáticas (Gyi & Porter, 1999; Gyi, Porter, & Robertson, 1998; Ng et al., 1995; Shen & Parsons, 1997; Tewari & Prasad, 2000; Wu et al., 1998, 1999a; Wu, Rakheja, & Boileau, 1999b) e às vibrações transmitidas (Wu et al., 1998, 1999a, 1999b).

Wu e a sua equipa (1998) verificaram que, na interface Homem-assento, a pressão aumenta com o aumento da intensidade das vibrações verticais, na gama de frequências compreendidas entre 1 e 10 Hz.

Na posição de sentado, a sensação de conforto é influenciada pelas características estáticas (rigidez, por exemplo) e dinâmicas (intensidade vibracional) do assento. Quando o nível vibracional é baixo, a avaliação do desconforto é dominada pelas características estáticas do assento. À medida que vai aumentando, a avaliação do desconforto vai sendo cada vez mais influenciada pelas vibrações (Dhingra, Tewari, & Singh, 2003; Ebe & Griffin, 2000).

A existência e a utilização do encosto alteram as forças transmitidas pelo assento quando submetido a VCI. Contudo, observam-se comportamentos distintos, em função da direcção da vibração: a) no caso de vibrações verticais, as forças transmitidas nas direcções vertical e lateral são menores, enquanto que na direcção antero-posterior, a resposta é condicionada pelo apoio, ou não, dos pés (Nawayseh & Griffin, 2004); b) se as vibrações se propagarem na direcção antero-posterior, verifica-se uma diminuição

das forças nas direcções vertical e antero-posterior, a baixas frequências, e um aumento, para frequências maiores (Nawayseh & Griffin, 2005).

Outro efeito curioso do assento reside no facto de a transmissibilidade vibracional na direcção antero-posterior, desde a base até ao assento e ao encosto, não ser apenas condicionada pelas características daquela vibração no chão, mas também pelas características da vibração vertical a este nível (Qiu & Griffin, 2003).

A quantificação da transmissibilidade vibracional desde o assento até à cabeça permitiu identificar a postura do corpo humano e a inclinação do encosto como dois factores determinantes do nível de conforto sentido pelos utilizadores (Demic, Lukic, & Milic, 2002).

A estabilidade postural, nomeadamente das pernas e do tronco, assume particular relevância na posição de sentado quando se têm de realizar tarefas como a condução. Para essa estabilidade contribuem a inclinação posterior do encosto do assento, o comprimento do próprio assento e respectivos apoios laterais, bem como do encosto (Eklund, 1999).

Segundo Johnson e Nève (2001), estudos recentes revelaram que, devido à estrutura actual dos assentos da maior parte dos veículos, se verifica a ocorrência de um movimento relativo entre o assento e o encosto durante a condução. Este movimento representa um esforço acrescido para a coluna vertebral do condutor e pode ser evitado modificando-se a estrutura do encosto, permitindo o seu deslocamento na direcção vertical.

Se se considerar um assento sem encosto (figura 2.2a), verifica-se que o corpo do condutor tende a afundar-se no assento, como resposta ao primeiro impacto em sentido ascendente, e o efeito inverso ocorre quando o estímulo vertical se faz no sentido descendente. No caso de um assento vulgar (figura 2.2b), com uma ligeira inclinação posterior do encosto, verifica-se um movimento análogo ao descrito na situação anterior, sobre o assento. Mas também é possível verificar, pelas setas a tracejado, que o encosto força as costas a realizar um movimento diferente, com potencial lesivo para a coluna vertebral. Para evitar este efeito, os autores propõem um assento com encosto móvel sobre rolamentos fixos na estrutura do banco (figura 2.2c). Deste modo, a coluna vertebral do condutor acompanha o movimento da pélvis com as

seguintes vantagens: o deslocamento relativo entre o assento e o encosto deixa de se verificar e a amplitude média dos deslocamentos do corpo do condutor diminuem (Johnson & Nève, 2001).

Uma análise da coluna vertebral de uma pessoa sentada no banco de um automóvel bem concebido revela que a zona dorsal e a parte superior da zona lombar estão comprimidas contra o encosto. Por outro lado, as restantes vértebras lombares estão livres, podendo ser submetidas a extensões e compressões.

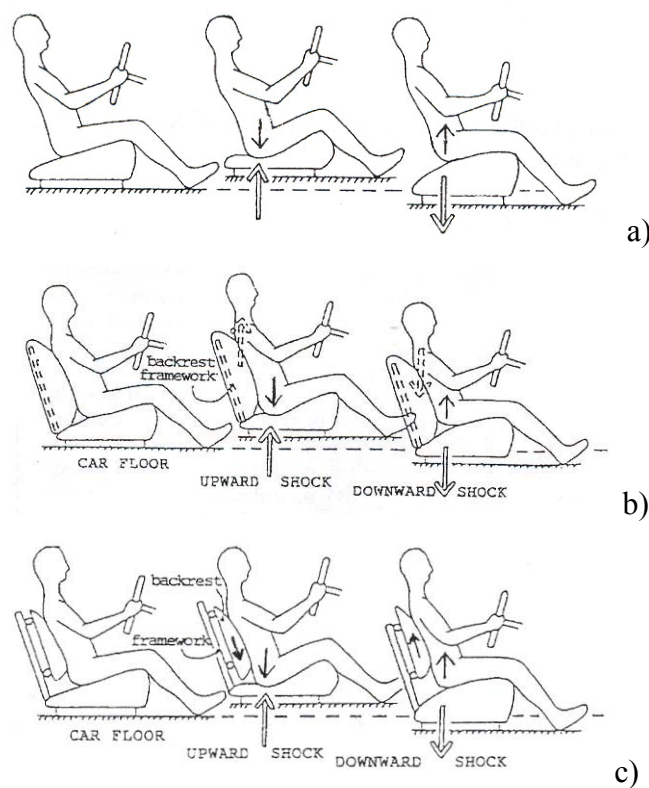


Figura 2.2 – Interação inicial entre o corpo do condutor e o assento de um automóvel quando o veículo é submetido a uma vibração vertical: a) um hipotético assento de automóvel sem encosto; b) um assento de automóvel típico, com o encosto fixo; c) um assento de automóvel com encosto móvel (adaptado de Johnson & Nève, 2001).

A utilização correcta dos controlos do assento, no sentido de ajustar a altura e inclinação do assento, a inclinação do encosto e a própria suspensão, condiciona a sensação de conforto produzida e pode ser melhorada através da formação dos utilizadores, com resultados positivos (Perkiö-Mäkelä & Riihimäki, 1997).



### **3. Variabilidade da Exposição Ocupacional**

Para além da diversidade de fontes de exposição ocupacional ser um dos factores primordiais da variabilidade registada na exposição a VCI, muitos outros, inerentes a cada tipo de fonte particular, são merecedores de atenção, na medida em que poderão ser analisados na perspectiva de serem trabalhados com vista ao controlo dessa mesma exposição. Concomitantemente, as características intra e inter-pessoais dos próprios operadores das fontes vibracionais contribuem para essa variabilidade. Em particular, na condução de um veículo existem, fundamentalmente, três fontes vibracionais: as irregularidades do pavimento, as características do veículo e o comportamento do próprio condutor (incluindo a velocidade adoptada). No presente capítulo são analisados os efeitos destas categorias de variáveis na exposição ocupacional a VCI.

#### ***3.1. Variáveis intrínsecas ao condutor***

A resposta humana às VCI, bem como os respectivos mecanismos, são condicionados pela variabilidade humana. De facto, observam-se respostas muito diferentes entre indivíduos (variabilidade inter-sujeitos), bem como para o mesmo indivíduo, em momentos distintos (variabilidade intra-sujeitos). A variabilidade inter-sujeito decorre das próprias diferenças entre indivíduos de qualquer população, as quais podem modificar a resposta dinâmica do organismo. Consequentemente, é expectável que a variabilidade da vibração transmitida se traduza em consequências distintas, tanto no tipo como na extensão.

Estas duas fontes de variabilidade exigem que qualquer conclusão que envolva opiniões pessoais acerca deste tipo de vibração se fundamente num tratamento estatístico relevante das mesmas.

No que se refere à acção das variáveis pessoais sobre a transmissibilidade vibracional ao corpo humano, há que analisar separadamente as que vulgarmente se designam por estáticas e as ditas dinâmicas. Numa perspectiva mecânica, é fácil

compreender que as dimensões corporais e a massa corporal exercem um papel de relevo na resposta à vibração. Regra geral, um aumento em qualquer uma delas resulta numa redução da oscilação do corpo humano, face a um mesmo estímulo vibratório. Estas duas características são susceptíveis de sofrerem alterações significativas num ser humano a curto prazo. Próximos delas estão o género sexual e, de certa forma, a idade, na medida em que crianças e adolescentes têm dimensões e massa corporais menores que os adultos e existem diferenças entre homens e mulheres a este nível.

Tabela 3.1 - Fontes de variabilidade inter- e intra-individual (adaptado de Griffin, 1990).

| Variabilidade inter-sujeitos                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Variabilidade intra-sujeitos                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Dinâmica corporal</li><li>▪ Dimensões corporais</li><li>▪ Massa corporal</li><li>▪ Postura corporal</li><li>▪ Idade</li><li>▪ Género sexual</li><li>▪ Estado de saúde</li><li>▪ Experiência e formação</li><li>▪ Atitude e motivação</li><li>▪ Sensibilidade e susceptibilidade</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Dinâmica corporal</li><li>▪ Postura corporal</li><li>▪ Idade</li><li>▪ Estado de saúde</li><li>▪ Experiência e formação</li><li>▪ Atitude e motivação</li><li>▪ Sensibilidade e susceptibilidade</li></ul> |

Já a postura corporal pode ser alterada frequentemente, de forma voluntária, ou não e, como já referido no capítulo 2, depende de variadíssimos factores e influencia a transmissão vibracional. Neste sentido, assume um carácter dinâmico.

O estado de saúde está intimamente relacionado com a sensibilidade e a susceptibilidade, na medida em que a debilidade associada a qualquer tipo de doença pode aumentar a sensibilidade e a susceptibilidade do ser humano às VCI.

Por seu turno, a experiência adquirida por exposição anterior a VCI, conjugada com a formação, nomeadamente no domínio da prevenção e controlo da exposição ocupacional, podem modificar a atitude do condutor e, inclusivamente, a sua própria motivação perante este agressor ambiental. Por exemplo, o conhecimento de um percurso permite que o condutor, antecipe atempadamente a passagem por um buraco, alterando a trajectória do veículo, e/ou reduzindo a velocidade de circulação. A formação acerca das regulações do assento do veículo e do papel que estas podem

desempenhar no controlo da transmissão das VCI à coluna vertebral, possibilita o ajustamento do assento e respectiva suspensão às características do utilizador, com efeitos benéficos na atenuação da vibração transmitida.

Finalmente, as expectativas pessoais também condicionam a resposta humana a VCI. À partida, um automóvel utilitário topo de gama deverá proporcionar uma viagem suave, sem transmissão de níveis vibracionais significativos aos seus ocupantes. No entanto, esta expectativa pode ser contrariada, se o veículo percorrer uma estrada que, supostamente, não deveria apresentar irregularidades no pavimento.

### ***3.2. Variáveis extrínsecas ao condutor***

O primeiro estudo acerca da exposição ocupacional a vibrações transmitidas ao corpo inteiro foi realizado por Mallock, em 1902, no metropolitano de Londres (Lovesey, 1970). Ao longo dos últimos anos, realizaram-se vários estudos com o propósito de caracterizar e avaliar o ambiente vibratório do posto de condução de diferentes veículos. Mas tão ou mais importante que a caracterização e avaliação das vibrações transmitidas é o conhecimento das variáveis de que estas dependem, bem como os mecanismos subjacentes ao respectivo controlo.

Entre outras instituições, o *Institut National de Recherche et de Sécurité* (I.N.R.S.), em França, levou a cabo diversos trabalhos, neste domínio. Em três dos estudos realizados, para além de se avaliar a eficácia de diferentes assentos na atenuação da transmissão das vibrações, analisou-se a importância do tipo de veículo, da carga transportada e do estado do pavimento de circulação (Boulanger, Donati, & Galmiche, 1996; Boulanger et al., 1992; Danière et al., 1987).

No estudo que Boulanger e seus colaboradores (1992) realizaram com camiões, constatou-se que, qualquer redução do nível vibracional que se pudesse obter na sequência da melhoria da qualidade do pavimento acabaria por se desvanecer devido ao incremento que, certamente, se iria verificar na velocidade de circulação. A vibração era, predominantemente, vertical e observou-se um aumento da sua intensidade com o aumento da carga transportada pelo camião. O tipo de atrelagem, bem como o

posicionamento da carga, têm influência na transmissão das vibrações, pelo que foi recomendado um cuidado especial aquando do carregamento do camião, relativamente à localização da carga e à respectiva massa. O carregamento na zona central do atrelado favorecia um forte nível vibracional na direcção antero-posterior, demasiado penoso para os condutores. Os espectros obtidos revelaram vibrações, essencialmente, de baixa frequência, tendo-se recomendado a selecção de uma suspensão, cuja frequência natural fosse inferior à dos estímulos a que está sujeita.

Não fugindo à regra, também foi possível confirmar o domínio das vibrações verticais em escavadoras, ultrapassando-se, na maior parte dos casos, o valor máximo de exposição recomendado pela norma francesa (Boulanger et al., 1996). Neste estudo são referidos valores de aceleração ponderada entre 0,1 e 0,8  $\text{m s}^{-2}$ , para as direcções horizontais, e entre 0,3 e 1,2  $\text{m s}^{-2}$ , para a direcção vertical. Contudo, já anteriormente se haviam registado valores mais elevados de intensidade vibracional nas direcções horizontais, quando da realização de tarefas como escavar e nivelar (Danière et al., 1987). A maior parte dos coeficientes de transmissibilidade determinados para a direcção vertical situam-se abaixo da unidade, revelando um certo poder de atenuação da vibração por parte dos assentos testados.

Um estudo recente (Kumar, 2003, 2004) envolvendo 14 homens e mulheres na condução de um conjunto de 4 camiões, utilizou veículos novos e antigos, com pesos diferentes (144 ton e 187 ton), durante a realização de tarefas distintas: carregamento, condução e descarga. A vibração foi quantificada ao nível do assento e das vértebras L<sub>3</sub> e C<sub>7</sub>, nas três direcções definidas pela norma ISO 2631-1 (1997). De entre as três tarefas analisadas, a descarga do veículo foi a que transmitiu vibrações de menor intensidade aos condutores. O autor atribui as diferenças encontradas entre os valores de aceleração ponderada no assento às irregularidades do pavimento, não controladas no estudo, e não às diferenças entre veículos. Não foram encontradas diferenças significativas entre os resultados obtidos para os homens e para as mulheres, mas sim entre sujeitos com massa corporal diferente. Os valores registados na direcção vertical, ao nível do assento, foram superiores e significativamente diferentes dos que se obtiveram, tanto ao nível da vértebra L<sub>3</sub>, como da C<sub>7</sub>. No entanto, os valores encontrados a nível cervical e a nível

lombar não apresentaram diferenças significativas. Os valores mais elevados foram obtidos com os veículos em circulação a velocidades mais elevadas e sem carga. Relativamente às frequências dominantes nos sinais registados, houve sobreposição com as gamas mais severas para o Homem, nas três direcções: 1-2 Hz para  $x$  e  $y$  e 4-8 Hz para  $z$ .

Relativamente a tractores, verificou-se que a velocidade de circulação dos veículos é relevante para a vibração vertical, e consequentemente para o valor de aceleração total ponderada (Muzammil et al., 2004). Por outro lado, registaram-se níveis vibracionais mais elevados em terrenos secos do que em terrenos molhados.

Tabela 3.2 – Resultados das medições dos níveis vibracionais em tractores por Muzammil et al. (2004).

| Terreno | Velocidade<br>(rpm) | $a_x$<br>( $m s^{-2}$ ) | $a_y$<br>( $m s^{-2}$ ) | $a_z$<br>( $m s^{-2}$ ) | $a_{saúde}$<br>( $m s^{-2}$ ) |
|---------|---------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| Seco    | 1000                | 1,0                     | 1,2                     | 1,9                     | 2,65                          |
|         | 1600                | 1,0                     | 1,4                     | 2,5                     | 3,22                          |
|         | 2000                | 0,99                    | 1,4                     | 5,0                     | 5,36                          |
| Molhado | 1000                | 1,3                     | 1,2                     | 1,3                     | 2,46                          |
|         | 1600                | 1,3                     | 1,5                     | 2,0                     | 3,08                          |
|         | 2000                | 1,3                     | 1,6                     | 5,0                     | 5,56                          |

No Canadá realizou-se um estudo acerca da exposição ocupacional a VCI de operadores de equipamento pesado na construção civil, i.e., escavadoras, compactadoras, carregadores, empilhadores, etc. (Cann, Salmoni, Vi, & Eger, 2003). Testaram-se 14 categorias de veículos, num total de 67, em diversos tipos de pavimento (rígido, macio, lamacento, betão e asfalto). Para a maioria dos equipamentos registaram-se níveis vibracionais mais elevados na direcção vertical, enquanto que a direcção antero-posterior foi dominante nas escavadoras e nos compactadores. A comparação entre veículos, relativamente à sua mobilidade, revelou que o equipamento móvel (compactadores, empilhadores, etc.) apresentou valores médios de aceleração ponderada (rms) superiores ( $1,02 \pm 0,42 m s^{-2}$ ) aos do equipamento estacionário (escavadoras e gruas) ( $0,46 \pm 0,32 m s^{-2}$ ). No que se refere aos sistemas de propulsão, verificou-se que aqueles que utilizam pneus apresentaram valores médios de aceleração total ponderada

(rms) maiores ( $1,04 \pm 0,50 \text{ m s}^{-2}$ ) do que os que têm um sistema de lagarta ( $0,98 \pm 0,18 \text{ m s}^{-2}$ ). Os valores apresentados foram calculados com os factores de ponderação propostos pela norma BS 6841 (1987), que coincidem com os propostos pela norma ISO 2631-1 (1997) para a avaliação do conforto. Em oito das 14 categorias de veículos obtiveram-se valores de dose vibracional de risco para a saúde dos respectivos operadores. A maior parte dos resultados deste estudo são concordantes com os alcançados pelas equipas de Danière (1987) e de Boulanger (1996).

A Unidade de Higiene e Fisiologia do Trabalho da Universidade Católica de Louvain, na Bélgica, desenvolveu estudos sobre vibrações transmitidas aos condutores de alguns veículos. Um deles analisou a importância relativa e os efeitos da envergadura, da carga transportada, da velocidade de deslocamento, do tipo de operação realizada, da posição da cabina do operador, do estado e do tipo de carris, bem como do tipo de assento, em gruas móveis (Piette & Malchaire, 1992a, 1992b). Entre outros aspectos, estes autores verificaram que a intensidade da vibração era directamente proporcional à envergadura e ao peso da grua e dependente do estado de conservação dos carris sobre os quais esta se desloca. A posição da cabina de controlo da grua condiciona, igualmente, o nível vibracional percebido pelo operador (maior intensidade quando a meio da grua). As vibrações mais intensas foram registadas na gama de frequências entre 4 e 8 Hz, que corresponde à zona de maior vulnerabilidade para o Homem. O deslocamento das gruas foi, sistematicamente, responsável por vibrações mais intensas do que a realização de manobras, propriamente ditas e, uma vez mais, a direcção vertical destacou-se, tendo-se registado intensidades menores nas direcções antero-posterior (cerca de 40% mais fracas) e lateral (70% menos intensas). A atenuação proporcionada pelos assentos testados no posto de controlo das gruas foi, em geral, inferior a 10% e considerado, praticamente, insignificante.

No que se refere a empilhadores, dois estudos analisaram o efeito de diferentes tipos de pneus e de assentos, testando os veículos em pavimentos distintos e simulando mais do que uma situação de carga (Danière et al., 1992; Malchaire et al., 1996). A carga transportada pelo veículo influenciava o nível vibracional na cabina de condução, sobretudo por reduzir a sua velocidade de circulação: a intensidade da vibração era

inversamente proporcional à carga transportada, ao contrário do que parece suceder em camiões (Boulanger et al., 1996). Danière e seus colaboradores (1992) verificaram ainda que a suspensão mecânica do assento não reduzia a transmissibilidade da vibração na direcção antero-posterior. De facto, a maior parte dos assentos testados nos empilhadores ampliava a vibração, em vez de a atenuar. Em termos de distribuição espectral, detectou-se a presença de um pico típico, cuja localização era dependente da capacidade de carga e do próprio veículo: quanto maior a capacidade de carga, menor era a frequência a que se encontrava o referido pico. Efeito análogo foi detectado com relação à transmissão da vibração na direcção vertical: nos empilhadores com maior capacidade de carga observou-se maior ampliação da vibração. Como resultado deste estudo recomendou-se o melhoramento do pavimento das zonas de circulação, maior cuidado na escolha dos pneus e manutenção da respectiva pressão, a adopção de uma velocidade de circulação adequada, a montagem dos assentos em superfícies rígidas, com possibilidade de regulação, nomeadamente, em função do peso dos condutores e, se possível, o provimento dos veículos com cabinas anti-vibráteis.

Os resultados de Malchaire e seus colaboradores (1996) foram, de um modo geral, concordantes com os da equipa de Danière (1992): observou-se um efeito mais pronunciado do tipo de pavimento, as vibrações verticais apresentaram maior intensidade e a aceleração associada à vibração era inversamente proporcional à carga transportada e directamente proporcional à velocidade de circulação do empilhador. No que se refere à transmissibilidade da vibração pelo assento, apenas se observou a ocorrência de atenuação para frequências superiores a 4 Hz e nenhum efeito nas direcções lateral e antero-posterior.

No porto de Durban, na África do Sul, foi levado a cabo um estudo sobre a exposição a VCI de condutores de empilhadores com capacidades entre 3 e 5 toneladas (Joubert, 2002). Testaram-se 9 veículos (dos quais 8 funcionavam a diesel e um a gás) em 4 cenários diferentes: pavimentos com características diferentes e assento devidamente regulado, ou não. O autor identificou o estado das superfícies de circulação ( $p=0,01$ ) e o ajustamento do assento ( $p>0,05$ ) como os dois factores que mais contribuíram para as diferenças encontradas.

Tabela 3.3 – Valores médios de aceleração total ponderada ( $\text{m s}^{-2}$ ) medidos em empilhadores por Joubert (2002).

| Condições                  | Média | dp   |
|----------------------------|-------|------|
| Superfície muito irregular | 1,4   | 0,63 |
| Superfície regular         | 0,92  | 0,43 |
| Assento ajustado           | 1,0   | 0,32 |
| Assento não ajustado       | 1,2   | 0,54 |

Mais recentemente, um estudo realizado numa fábrica de papel, no sentido de avaliar o risco para o desenvolvimento de dores na zona lombar da coluna vertebral de 23 condutores de empilhadores, revelou valores de aceleração ponderada médios de  $0,31 \text{ m s}^{-2}$  ( $\text{dp}=0,072$ ) para a direcção  $x$ ,  $0,29 \text{ m s}^{-2}$  ( $\text{dp}=0,082$ ) para a direcção  $y$  e  $0,57 \text{ m s}^{-2}$  ( $\text{dp}=0,124$ ) para a direcção  $z$  (Hoy et al., 2005). A medição das VCI realizou-se em 12 situações reais de trabalho diferentes, envolvendo três tipos de pavimentos (asfalto, betão e “grainy tarmac”-mistura granulada de alcatrão, muito usada em pistas de aeroportos) e a execução de tarefas distintas. Os condutores indicaram a passagem de um tipo de pavimento para outro como uma das principais fontes de vibração.

Outro estudo que incidiu sobre a importância dos pneus na transmissão de vibrações foi realizado com máquinas agrícolas/florestais utilizadas no abate de árvores (Sherwin, Owende, Kanali, Lyons, & Ward, 2004b). Na investigação desenvolvida testou-se o efeito de três valores diferentes de pressão de pneus (138, 345 e 414 kPa). Sherwin e seus colaboradores constataram que a vibração que se transmitia na direcção vertical era predominante e apresentava um valor máximo de aceleração eficaz de  $0,281 \text{ m s}^{-2}$  no assento do operador, a cerca de 3,2 Hz. A transmissibilidade da vibração através do assento e na direcção vertical atingiu o valor máximo entre 4 e 8 Hz, para uma pressão de 345 kPa. Os níveis vibracionais registados sofreram reduções significativas ao diminuir-se a pressão dos pneus.

Ainda num contexto agrícola/florestal, realizou-se um outro estudo com as mesmas máquinas do estudo anterior, centrado na análise das vibrações em função da forma da árvore (altura, diâmetro, densidade e dimensão dos ramos) e das tarefas realizadas: corte, processamento e transporte (Sherwin, Owende, Kanali, Lyons, &

Ward, 2004a). O transporte foi responsável pelos valores mais elevados de aceleração ponderada (rms) registados ao nível do assento, com picos de  $0,127 \text{ m s}^{-2}$ ,  $0,203 \text{ m s}^{-2}$  e  $0,136 \text{ m s}^{-2}$ , a 6,3, 5 e 2,5 Hz, respectivamente nos eixos  $x$ ,  $y$  e  $z$ . Todos os valores de aceleração total ponderada (rms) obtidos encontram-se abaixo de  $0,5 \text{ m s}^{-2}$ . Curiosamente, a comparação entre os valores de aceleração ponderada (rms) medidos no chão do veículo e no assento revelou uma amplificação da vibração por este último. No que concerne ao efeito das características das árvores, não foi encontrada qualquer correlação com a intensidade da vibração na direcção lateral ( $y$ ), enquanto que na direcção antero-posterior ( $x$ ) se observou uma constância de valores. Já na direcção vertical ( $z$ ) foi possível constatar um aumento da intensidade vibracional até 300%, durante o processamento da árvore, à medida que o diâmetro aumenta na gama de valores entre 0,25 e 0,35 m. Durante o abate da árvore o aumento registado ficou pelos 50%.

Nos Estados Unidos da América, fundamentalmente, duas equipas têm realizado trabalhos de investigação acerca da variabilidade vibracional em veículos que se deslocam sobre carris: a de Özkaya e a de Johanning. O tipo de carruagem, o estado de conservação dos carris, a velocidade de deslocamento e o número de passageiros transportados (carga) foram alvo de pesquisa no que diz respeito à transmissão vibracional aos condutores do metro de Nova Iorque (Johanning et al., 1991; Özkaya, Goldsheyder et al., 1996; Özkaya, Goldsheyder, & Willems, 1997; Özkaya et al., 1994; Özkaya, Willems et al., 1996). O número de passageiros pouco ou nada influencia o nível vibracional junto do condutor, o qual é directamente proporcional à velocidade de circulação. Por seu turno, a velocidade não é apontada como estando na origem da vibração, mas antes como um factor contribuindo para o seu agravamento. As principais fontes de vibração referidas prendem-se com características das próprias carruagens e dos carris. O estudo do efeito do tipo de carruagem revelou a superioridade do nível vibracional nas direcções  $y$  e  $z$  ( $0,21$  e  $0,22 \text{ m s}^{-2}$ ) em relação à direcção  $x$  ( $0,11 \text{ m s}^{-2}$ ) (Özkaya et al., 1997). A experiência anterior do condutor revelou-se, igualmente, como um factor relevante no controlo da intensidade da vibração transmitida, na medida em que ele desenvolve mecanismos de defesa. No caso particular da transmissibilidade vibracional proporcionada por três tipos distintos de assento, foram encontradas

diferenças pouco significativas (Özkaya, Goldsheyder et al., 1996).

Os valores médios de aceleração ponderada (rms) obtidos para a direcção *x* encontram-se perto do limite definido para 24 horas de exposição pela norma ISO 2631/1 (1985), segundo o critério da fadiga-eficiência, enquanto que os das direcções *y* e *z* ultrapassam o mesmo limite, mas definido para 8 horas de exposição (Johanning et al., 1991). O valor médio de aceleração total ponderada (rms), relativo à saúde, foi de  $0,55 \text{ m s}^{-2}$  ( $0,32 - 0,99 \text{ m s}^{-2}$ ).

Um estudo análogo, também ao nível dos operadores do metro, desta feita em Montreal, no Canadá, está actualmente em curso, não havendo ainda resultados finais publicados (Boileau, Boutin, & Marcotte, 2003).

A exposição dos operadores de locomotivas dos caminhos-de-ferro a VCI foi avaliada em dois estudos: um na Finlândia (Sorainen & Rytönen, 1999) e outro nos E.U.A. (Johanning et al., 2002).

Sorainen e Rytönen (1999) estudaram o efeito da velocidade de circulação de dois tipos de locomotivas (eléctricas e a *diesel*) no nível vibracional sobre o assento e no chão, tendo registado um aumento dos valores de aceleração ponderada (rms) na direcção *y*, à medida que a velocidade das locomotivas aumentava. Estes valores coincidiram com o limite estabelecido para 8 horas de exposição pela norma ISO 2631/1 (1985), segundo o critério da fadiga-eficiência, às velocidades máximas de 120 km/h e 140 km/h, respectivamente na locomotiva a *diesel* e na eléctrica.

Johanning e seus colaboradores (2002) analisaram 22 locomotivas, construídas entre 1959 e 2000, e avaliaram a capacidade de atenuação do nível vibracional dos assentos, realizando medições de longa duração (84-383 min). Os autores relataram a ocorrência de choques e frequentes irregularidades na vibração transmitida aos operadores, concordantes com os resultados dos estudos realizados no metro. Os valores médios de aceleração ponderada para as direcções *y* e *z* foram próximos ( $0,28$  e  $0,32 \text{ m s}^{-2}$ , respectivamente), enquanto que os da direcção *x* foram menores ( $0,18 \text{ m s}^{-2}$ ). Relativamente à aceleração total ponderada (rms), obteve-se um valor médio de  $0,59 \text{ m s}^{-2}$  (gama de valores:  $0,27-1,44 \text{ m s}^{-2}$ ). A comparação entre assentos montados no chão e

assentos montados na parede revelou valores de aceleração ponderada (rms) mais elevados para os primeiros, apenas na direcção  $z$  (0,35 e 0,28  $\text{m s}^{-2}$ , respectivamente). Independentemente da idade e do tipo de assento instalado, verificou-se que nenhum era eficaz na redução do nível vibracional que se transmite ao operador, revelando valores de transmissibilidade médios de 1,4, 1,2 e 1,0 para as direcções  $x$ ,  $y$  e  $z$ , respectivamente. Este efeito é mais notório na gama de frequências compreendida entre 0-8 Hz, que se sobrepõe à gama de ressonância da coluna vertebral.

Budorf e Swuste (1993) estudaram o efeito da suspensão do assento na transmissão da vibração vertical a condutores de três tipos de veículos: camiões, tractores e empilhadores. Os testes realizados em laboratório revelaram coeficientes de transmissibilidade entre 0,34 e 1,28, ocorrendo atenuação da vibração em 83% dos assentos testados (20 de 24). A atenuação revelou-se mais significativa no caso de condutores mais pesados e confirmou-se a existência de uma correlação forte entre a frequência natural do assento e o coeficiente de transmissibilidade correspondente. Por seu turno, a medição em situação real de trabalho traduziu-se em valores de transmissibilidade entre 0,60 e 1,45, havendo atenuação em 71% dos casos (17 de 24). Estes investigadores também realizaram uma série de ensaios laboratoriais, no sentido de quantificar a frequência de ressonância dos assentos em análise, tendo chegado ao seguinte intervalo de valores: 1,15-2,70 Hz.

No Japão, Maeda e Morioka (1998) estudaram a transmissão vibracional a condutores de camiões de recolha de resíduos sólidos urbanos. Para o efeito utilizaram três modelos diferentes de veículos, que circularam em dois tipos de pavimentos, com e sem carga. Analisaram também o efeito da descarga dos veículos e o do simples funcionamento do motor. De um modo geral, as vibrações transmitidas ao longo da direcção vertical revelaram-se superiores em relação às outras duas direcções ( $x$ -0,76  $\text{m s}^{-2}$ ;  $y$ -0,79  $\text{m s}^{-2}$ ;  $z$ -1,1  $\text{m s}^{-2}$ ). O transporte de resíduos atenuou a transmissão vibracional aos condutores dos camiões de menor capacidade, enquanto que se observou um efeito contrário no maior. A operação de descarga foi responsável por um incremento do nível vibracional nos três modelos analisados, ao contrário do que Kumar (2004) observou no seu estudo. Actualmente está em curso um estudo semelhante em Portugal, que envolve

um número superior de modelos e cujos resultados preliminares apontam no sentido de a operação de descarga não ter qualquer tipo de influência sobre o operador, na medida em que este tem de sair do posto de condução para accionar os comandos que se encontram na parte traseira dos veículos.

Os motoristas de táxis urbanos também têm sido alvo de estudos relacionados com a exposição a vibrações (Chen, 2002; Chen et al., 2003; Funakoshi, Taoda, Tsujimura, & Nishiyama, 2004; Paddan & Griffin, 2002b). A equipa de Chen (2002, 2003) levou a cabo um estudo com taxistas em Taiwan, numa amostra de 247 veículos de 4 marcas (Toyota, Nissan, Honda e Ford), representando cerca de 85% dos veículos utilizados nesta actividade. A análise efectuada restringiu-se à direcção vertical, por dois motivos distintos: a) por esta ser considerada dominante, com base num estudo preliminar realizado em Boston, nos E.U.A.; b) por os factores de ponderação usados no cálculo do vector soma para a avaliação da saúde se basearem em critérios de conforto e não de saúde. Os valores de aceleração (rms) obtidos para o eixo vertical (z) oscilaram entre 0,17-0,55  $\text{m s}^{-2}$  (média= 0,31  $\text{m s}^{-2}$ ), sendo na sua maioria (94%) inferiores a 0,5  $\text{m s}^{-2}$ . Provavelmente, o resultado mais surpreendente deste trabalho foi o estabelecimento de uma relação linear quadrática entre os valores de aceleração registados na direcção vertical e a velocidade de circulação dos veículos. No entanto, este resultado é questionável por não terem sido acautelados os efeitos do tipo de pavimento.

Funakoshi e colaboradores (2004) analisaram uma amostra de 12 veículos, todos do mesmo modelo da Nissan, mas com idades diferentes (contabilizadas pelo número de quilómetros efectuados até ao momento do estudo). Uma curiosidade deste estudo consistiu na realização de medições de longa duração (aproximadamente 4 horas) com recurso a equipamento concebido pelo grupo de trabalho, numa cidade japonesa, onde se realizam turnos diários de 18 horas, seguidos de folga com uma duração de 30 horas. Verificou-se que foi na direcção vertical que se transmitiram as vibrações mais severas para os condutores (média de 0,31  $\text{m s}^{-2}$  e gama de valores entre 0,26-0,34  $\text{m s}^{-2}$ ), à semelhança com o que sucede com muitos dos outros tipos de veículos. Apesar de algumas diferença registadas ao nível dos espectros por banda de terço de oitava obtidos para aquela direcção, o andamento é similar, bem como a ocorrência de picos entre 1 e 6

Hz, assim como a 10 Hz. A avaliação dos efeitos da exposição na saúde indicou que 10 dos 12 condutores se encontram na zona de risco potencial, sobretudo devido à duração das exposições diárias, que rondam, em média, quase as 13 horas. Perante o valor médio de  $0,44 \text{ m s}^{-2}$  de aceleração total ponderada, o tempo de exposição não deveria exceder as 10 horas diárias, de modo a preservar a saúde dos condutores. A segunda curiosidade do estudo reside no facto de se terem registado valores de aceleração maiores em veículos com menor número de quilómetros realizados. Os autores atribuem esta constatação a alterações ao nível do revestimento do assento do condutor, que reduzem o nível vibracional transmitido com a utilização.

A Unidade de Investigação em Factores Humanos do *Institute of Sound and Vibration Research* (ISVR), da Universidade de Southampton, é outra instituição que há vários anos se vem dedicando ao estudo da exposição humana a vibrações e foi responsável pela organização da primeira Conferência do Reino Unido sobre a Resposta Humana a Vibrações, em 1968. Esta conferência conta, habitualmente, com a presença de especialistas da área vindos de diversos países e atinge este ano a quadragésima edição.

Em 1998, um estudo envolvendo 9 tipos diferentes de veículos revelou a direcção vertical como sendo a mais severa para os condutores de autocarros em ambientes urbanos, com valores médios de aceleração ponderada de cerca de  $0,51 \text{ m s}^{-2}$  (Lewis & Griffin, 1998).

Paddan e Griffin (2002b) reportam os resultados de medições efectuadas num conjunto de 100 veículos de 14 categorias diferentes, incluindo 10 autocarros, de acordo com duas das principais normas em vigor: BS 6841 (1987) e ISO 2631-1 (1997). Para estes últimos veículos registaram-se valores médios de aceleração ponderada (rms) de  $0,56 \text{ m s}^{-2}$  ( $0,38\text{-}0,89 \text{ m s}^{-2}$ ) para a direcção mais severa, que coincidiu com a direcção vertical. Noutro estudo, com vista à avaliação da transmissibilidade vibracional dos assentos na direcção vertical, registaram-se valores de aceleração ponderada médios de  $0,48 \text{ m s}^{-2}$  ( $0,30\text{-}0,74 \text{ m s}^{-2}$ ) e  $0,44 \text{ m s}^{-2}$  ( $0,31\text{-}0,65 \text{ m s}^{-2}$ ), respectivamente no chão e sobre o assento de uma amostra de 10 autocarros (Paddan & Griffin, 2002a). Relativamente aos valores de transmissibilidade propriamente ditos, os autores

obtiveram, para aquele conjunto de veículos, valores médios de 0,959 (0,705-1,196). É de salientar que, para o conjunto total dos 100 veículos analisados, se registaram valores médios de transmissibilidade de 0,962 (0,418-2,512), nos que tinham um assento dito convencional, e de 0,892 (0,460-1,199), nos que possuíam um assento com suspensão.

Um estudo anterior (Bovenzi & Zadini, 1992) incidiu sobre uma amostra de três autocarros de marca Fiat (data de montagem entre 1968-73), um Inbus e dois Iveco (data de montagem entre 1987-90). Uma vez mais, constatou-se que a direcção vertical apresentava valores de aceleração ponderada (rms) mais elevados (0,18-0,65  $\text{m s}^{-2}$ ) do que as outras duas ( $x$ : 0,05-0,12  $\text{m s}^{-2}$ ;  $y$ : 0,05-0,16  $\text{m s}^{-2}$ ). Os veículos mais antigos apresentaram valores mais elevados do que os de marca Inbus e Iveco, para qualquer um dos três eixos considerados.

Balbinot (2001) realizou um estudo com vista à caracterização dos níveis de vibração em motoristas de autocarros, com enfoque no conforto e na saúde. A amostra incluiu 7 modelos, num total de 12 veículos fabricados entre 1991 e 1998, cujos pesos se encontravam no intervalo de 11 a 18 toneladas. Os ensaios foram realizados numa rota comercial de cerca de 18 km, na cidade de Porto Alegre, no Brasil, que compreendia três tipos de piso: asfalto, asfalto irregular e paralelepípedos. Para a recolha de dados contou-se com a colaboração de 2 motoristas e efectuou-se uma viagem com cada veículo, tendo-se realizado uma média de 50 ensaios por viagem. Os espectros de aceleração vertical obtidos revelaram valores mais elevados para a gama de frequências compreendida entre 4 e 8 Hz. No que concerne aos valores de transmissibilidade, a maioria dos veículos apresentou valores mais elevados no piso de paralelepípedos, oscilando entre cerca de 0,72 e 1,11. No piso de asfalto irregular os valores variaram entre 0,75 e 0,90, enquanto que no piso de asfalto os valores foram menores, oscilando entre 0,67 e 0,90. Uma análise mais detalhada da transmissibilidade do assento permite identificar o intervalo de 4 a 10 Hz como sendo aquele em que as vibrações verticais são mais ampliadas (Balbinot & Tamagna, 2002).

Também no Brasil, mas na cidade de São Paulo, foi realizado um estudo com seis autocarros urbanos, com o intuito de se avaliar a exposição simultânea dos condutores a VCI e a ruído (Silva & Mendes, 2005). Os valores de aceleração total

ponderada registados oscilaram entre 0,74 e 1,09  $\text{m s}^{-2}$ , com uma média de 0,85  $\text{m s}^{-2}$ , mas não são apresentadas justificações relativas às diferenças encontradas.

Por seu turno, na Lituânia quantificaram-se os níveis vibracionais transmitidos ao condutor de um conjunto de 25 autocarros de diferentes modelos, em percursos distintos (Maciulyte, 2000). Peculiarmente, o autor realizou medições por banda de oitava, o que dificulta a comparação dos resultados que obteve com os de qualquer outro estudo. No entanto, refere que os níveis de exposição se encontram abaixo dos limites impostos por normalização local.

Boileau e Rakheja (2000) levaram a cabo um estudo acerca do ambiente vibratório em três categorias de veículos: industriais, utilitários e de transporte urbano. No que diz respeito ao transporte urbano, foram analisados 6 autocarros do modelo GM New Look datados de 1977-82, 4 do modelo GM Classic, cujo ano de fabrico varia entre 1983-86, 8 do modelo MCI Classic, datados de 1990 e de 1994, e 2 veículos modelo Classic TDS de 1995 (Boileau & Rakheja, 2000). Os ensaios decorreram em dois percursos, contemplando circulação em auto-estrada e em zonas residenciais. A qualidade do pavimento foi classificada entre boa e aceitável (com alguns buracos). Os espectros obtidos por banda de terço de oitava apresentam as seguintes características:

- Direcção x: movimentos de baixa amplitude, frequência dominante próxima de 0,8-0,9 Hz, pico secundário em torno de 3 Hz, seguido de picos importantes a 8 e 12 Hz;
- Direcção y: movimentos de baixa amplitude, frequência dominante próxima de 0,7-0,9 Hz, pico importante entre 10 e 12 Hz;
- Direcção z: direcção dominante, com frequência dominante próxima de 1,5 Hz e picos secundários entre 9 e 12 Hz.

Relativamente aos valores de aceleração ponderada, os valores médios obtidos para as direcções *x*, *y* e *z* foram respectivamente 0,10, 0,10 e 0,46  $\text{m s}^{-2}$ .



## **4. Controlo da Exposição Ocupacional**

Segundo Griffin (1990), a condução de autocarros é uma das actividades em que os níveis de exposição a VCI exigem a implementação de medidas de controlo, no sentido de se assegurar o conforto, a segurança e a capacidade de trabalho dos condutores, bem como evitar a ocorrência de problemas de saúde. Nesta perspectiva, neste capítulo são apresentadas algumas medidas, com vista à diminuição da exposição ocupacional a VCI.

Os princípios subjacentes à prevenção dos problemas associados à exposição a VCI são análogos aos de qualquer outro factor de risco. A identificação e quantificação do problema constituem o primeiro passo. Neste sentido, pode recolher-se informação pertinente a partir do conhecimento ou da medição do nível vibracional no veículo e pelo levantamento dos efeitos manifestados nos operadores. A segunda questão prende-se com o respectivo controlo. Existem, fundamentalmente, quatro níveis de actuação possíveis, cuja eficácia diminui pela seguinte ordem: acção na fonte do perigo, acção no meio de propagação do perigo, afastamento do Homem e acção sobre o próprio Homem. No entanto, também é por esta ordem que os custos associados e a complexidade inerente diminuem, pelo que nem sempre é possível levar a cabo as medidas mais eficazes, optando-se, na maior parte das vezes, por conjugar medidas de nível inferior.

A eliminação da vibração na fonte seria a solução mais eficaz, mas no caso da condução de veículos rodoviários de transporte de passageiros é impraticável, pois isso passaria necessariamente por automatizar a tarefa ou pela sua supressão. A redução da vibração na fonte parece ser a opção possível a nível técnico e pode envolver os dois primeiros níveis de actuação referidos. Contudo, estas medidas são muitas vezes insuficientes, sendo necessário recorrer ao nível seguinte: isolar o corpo humano da fonte vibracional.

Embora as acções referidas possam ser implementadas independentemente, elas são de facto complementares, no que respeita aos resultados alcançados.

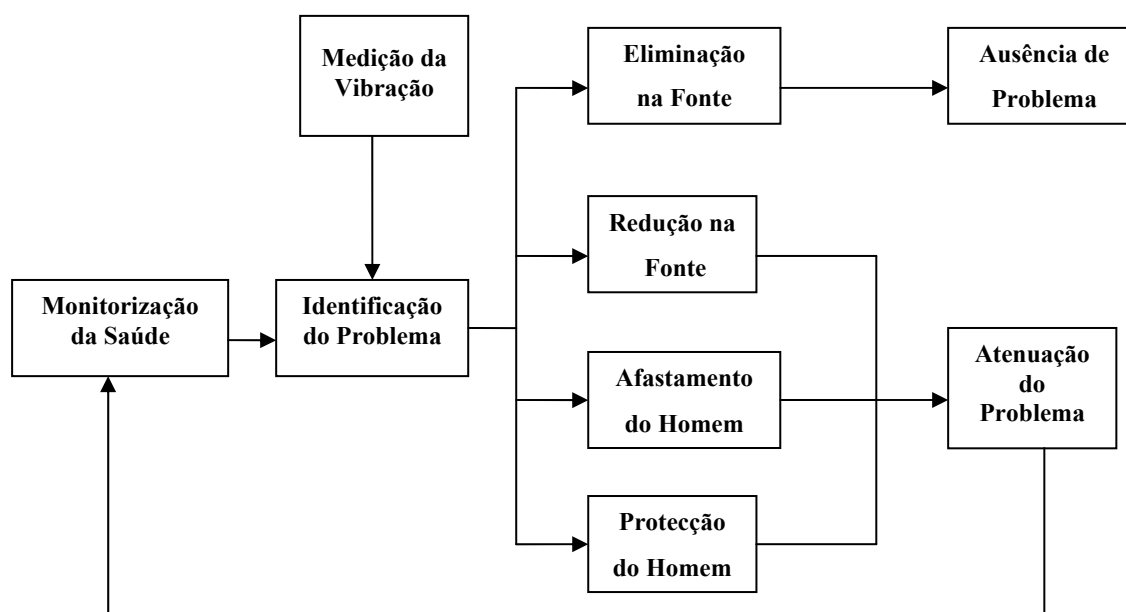


Figura 4.1 - Prevenção dos problemas de saúde associados à exposição a VCI (adaptado de Griffin, 1990).

#### 4.1. Medidas técnicas

As acções dirigidas à fonte vibracional deverão ser merecedoras da atenção em primeiro lugar, pela eficácia associada. A este nível podem ser consideradas a melhoria da qualidade da superfície em que os veículos circulam, uma selecção criteriosa dos veículos, cuidado na forma de acondicionar a carga transportada e a submissão dos veículos a um programa de manutenção adequado.

A manutenção do estado da via de circulação constitui um ponto fulcral na prevenção da transmissão de vibrações aos condutores de veículos rodoviários, na medida em que as irregularidades do pavimento constituem a principal fonte vibracional (Ahlin & Granlund, 2002).

Tabela 4.1 – Características de uma vibração sinusoidal transmitida a um condutor de um veículo que circula a uma velocidade constante em três superfícies diferentes (Sayers & Karamihas, 1998).

| Comprimento de onda (m) | Amplitude (mm) | Frequência (Hz) | Aceleração (g) |
|-------------------------|----------------|-----------------|----------------|
| 60                      | 20             | 0,5             | 0,02           |
| 15                      | 5              | 2,0             | 0,08           |
| 3                       | 1              | 10,0            | 0,40           |

O efeito de três pavimentos, com perfis diferentes, nas características da vibração sinusoidal transmitida ao condutor de um veículo que circula a uma velocidade de 108 km/h, analisado por Sayers e Karamihas (1998) é apresentado na tabela 4.1.

O conceito sueco do Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing permitiu a criação de um modelo geométrico de pavimento para optimização da manutenção das superfícies de circulação (Granlund & Lindström, 2004).

Em segundo lugar, os esforços com vista ao controlo da transmissão vibracional devem concentrar-se no meio de propagação da vibração, ou seja, no espaço compreendido entre a fonte vibracional e o corpo humano.

Uma contribuição importante para a redução da transmissão de VCI resulta da incorporação de sistemas de suspensão (pneus, suspensão do *chassis*, suspensão da cabina e suspensão do assento) entre o operador e a fonte. No entanto, a concepção de qualquer sistema de suspensão para um veículo requer o conhecimento da resposta humana a VCI e, conseqüentemente, o estabelecimento de alguns compromissos relativamente aos parâmetros da própria suspensão.

Os pneus têm capacidade para filtrar as pequenas irregularidades do pavimento, e, regra geral, são seleccionados em função da sua resistência à erosão provocada pela rodagem, da sua aderência ao pavimento, da estabilidade, do seu custo, da resistência ao choque, da aceitação pelo condutor, entre outros factores (Donati, 2002). Mas aspectos como a rigidez e a capacidade de amortecimento não devem ser negligenciados. Os pneus apresentam maior rigidez do que qualquer outro sistema de suspensão, mas se forem demasiado macios induzem movimentos de baixa frequência. Segundo Lines e seus colaboradores (1995), para se melhorar as propriedades dos pneus eles deveriam absorver entre 5 a 10 vezes mais energia vibracional, aumentar de dimensões e ser mais macios. Só que, com estas características, o pneu ofereceria muito maior resistência à rodagem e a energia absorvida reduziria o respectivo tempo de vida útil (Lines, Stiles, & Whyte, 1995). Por outro lado, o efeito da variação da pressão dos pneus sobre a vibração é complexo e dependente de características do veículo como as suas dimensões, a carga transportada, etc..

O deslocamento da suspensão deve evitar choques com os batentes e quanto menor for a frequência da vibração aplicada, maior deve ser o deslocamento realizado, pelo que a instalação de um sistema de suspensão requer algum espaço disponível. Para

evitar os referidos choques, reduzir o deslocamento induzido e proporcionar maior nível de conforto aos utilizadores do veículo, os fabricantes têm tendência para introduzir demasiado amortecimento na suspensão. Contudo, este procedimento acaba por ser prejudicial para o desempenho da própria suspensão (Donati, 2002). Alternativamente, podem usar-se batentes mais macios, com o inconveniente de requerem mais espaço disponível.

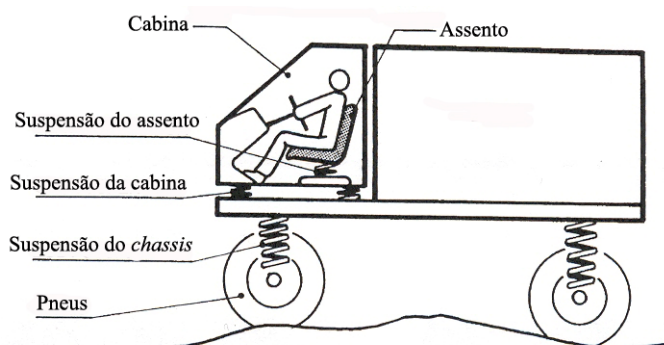


Figura 4.2 – Possíveis localizações de sistemas de suspensão a considerar num veículo (adaptado de Donati, 2002).

No que se refere ao isolamento da cabina, pode recorrer-se a blocos de borracha ou a suspensões mecânicas de 2 ou 4 pontos, embora estas últimas se apresentem como mais eficientes (Donati, 2002). Actualmente, grande parte dos camiões está equipada com este tipo de suspensão, que é eficaz, sobretudo, na direcção vertical (em média consegue-se atenuar o nível vibracional em cerca de 30%).

Finalmente, o assento constitui a última localização passível de incluir uma suspensão, antes da vibração atingir o operador do veículo. Por si só, a maior parte dos assentos não é eficaz na redução das vibrações, devido às irregularidades do pavimento, assegurando apenas o isolamento vertical. É importante seleccionar a suspensão do assento a partir do conhecimento das propriedades dinâmicas do veículo em que vai ser montada. Muitas vezes os fabricantes disponibilizam pouca, ou até mesmo nenhuma, informação técnica a este respeito e os compradores estar mal informados em relação aos critérios de selecção.

Quando se pretende isolar o corpo humano das VCI, o nível de amortecimento deve ser considerável, pois a maior parte dos ambientes vibratórios tem capacidade para

fazer com que os sistemas de suspensão entrem em ressonância, no caso de o amortecimento ser baixo (Griffin, 1990).

Tabela 4.2 - Parâmetros relevantes para a selecção da suspensão dos assentos (adaptado de Donati, 2002).

---

*Frequência natural do assento:* o assento só atenua vibrações de frequência superior a este valor e amplifica as de frequência menor.

*Amortecedores:* devem ser capazes de atenuar o efeito de ampliação das vibrações de frequência próxima da frequência de ressonância do assento e minimizar os choques da suspensão com os batentes.

*Deslocamento:* quanto menor a frequência de ressonância do assento, maior é o deslocamento da suspensão (variando desde 3 cm, acima de 3 Hz, até 15 cm a 1,5 Hz), o que pode interferir com a capacidade do condutor para accionar os comandos do veículo.

*Ajustamento ao peso:* a suspensão perde eficácia se não estiver ajustada ao peso do utilizador do assento. O ajustamento é menosprezado pelos condutores, mas faz com que a tensão da mola se altere e o assento se localize a meio da distância percorrida pela suspensão. Os assentos pneumáticos permitem o ajustamento automático.

*Batentes:* são imprescindíveis na prevenção do contacto entre metais quando a suspensão é submetida a choques de intensidade elevada.

---

De um modo geral, assentos com suspensão mecânica apenas conseguem atenuar vibrações de frequência superior a 2 Hz (Donati, 2002).

Mais recentemente, alguns assentos já são equipados, em simultâneo, com suspensões verticais e na direcção antero-posterior. Esta é, normalmente, montada por baixo da primeira e particularmente útil em veículos que puxam um atrelado. O deslocamento associado situa-se entre 2 e 4 cm, de modo a não interferir demasiado com a tarefa de condução. Contrariamente aos objectivos de atenuação do nível vibracional subjacentes à utilização das suspensões verticais, estas suspensões horizontais visam fazer com que o movimento do corpo do condutor esteja em fase com o do assento (Donati, 2002).

Finalmente, qualquer modificação ao nível da cabina e do próprio assento que permita melhorar a postura do condutor, contribuem para a atenuação dos efeitos que advêm da exposição a este tipo de vibração. A este nível são de considerar as dimensões do posto de condução, o alcance do condutor aos comandos e a visibilidade.

Assim, podem considerar-se duas abordagens distintas a este nível: uma envolve a redução da adopção de posturas inadequadas através da melhoria da visibilidade do posto de condução e de alterações na disposição dos comandos; a outra consiste na melhoria da postura providenciando um assento compatível com as características

antropométricas dos utilizadores, com as dimensões do posto de condução, com as tarefas a realizar e com o ambiente dinâmico.

De uma forma resumida, pode afirmar-se que os fabricantes de veículos, nomeadamente de autocarros, deverão medir e reportar os níveis vibracionais associados, desenhá-los de modo a reduzir a vibração, incorporar um sistema de suspensão e um assento que atenuem a vibração de modo eficaz, conceber o posto de condução, de modo a que não seja necessário adoptar posturas penosas como a torção e/ou flexão do tronco, e produzir orientações para a manutenção e utilização do veículo e do próprio assento. É importante que as condições em que os fabricantes realizam os ensaios sejam semelhantes àsquelas em que os veículos são usados no dia-a-dia.

A adopção de políticas de aquisição de veículos que transmitam baixos níveis vibracionais deverá ser implementada ao nível da administração empresarial.

#### ***4.2. Medidas organizacionais***

Muitas vezes, as medidas de natureza técnica são impraticáveis, quer por razões de ordem técnica, quer por razões de natureza económica, devendo então avançar-se para as acções de carácter organizacional. Estas também se afiguram pertinentes como complemento, quando as primeiras não são totalmente eficazes.

Duas medidas amplamente difundidas e aceites a este nível consistem no afastamento do trabalhador da fonte vibracional e na redução do tempo de exposição. Subjacente a qualquer um destes procedimentos está uma redução na transmissão de energia mecânica ao Homem. No caso específico da condução de veículos, a primeira medida é impraticável, salvo no caso de máquinas com alguma especificidade, que possam ser comandadas à distância. Todavia, esta hipótese é rejeitada na situação do transporte rodoviário de passageiros. Relativamente ao tempo de exposição, poderá proceder-se à identificação dos veículos e das situações a que correspondem maiores níveis vibracionais, estabelecendo-se de seguida um sistema de rotação, de modo a reduzir a duração da exposição nessas situações.

De um modo geral, as acções levadas a cabo a nível organizacional consistirão no controlo de algumas das medidas preconizadas a nível técnico. Assim deverá, nomeadamente:

- seleccionar-se o veículo de acordo com a qualidade das superfícies de circulação;
- verificar-se se o veículo está equipado com o tipo de pneus mais adequado e garantir-se a manutenção da pressão correcta;
- verificar-se se a suspensão do assento é adequada às características das vibrações a que é submetida e, caso não seja, averiguar-se a possibilidade de ser substituída;
- garantir-se que os veículos são objecto de manutenção adequada, particularmente no que se refere aos sistemas de suspensão;
- assegurar-se que o assento do condutor está em bom estado e proporciona um bom suporte da coluna vertebral, possibilitando o ajustamento postural;
- certificar-se de que a suspensão é ajustada de forma correcta ao peso do condutor (alguns sistemas fazem-no automaticamente).

Deve ser considerado o aconselhamento técnico e médico por parte de engenheiros e médicos com experiência neste domínio. A exposição regular a VCI deverá implicar uma vigilância programada da saúde dos trabalhadores: no momento de admissão e com carácter regular, enquanto a exposição se mantiver. Os trabalhadores devem ser encorajados a reportar precocemente problemas associados à coluna vertebral.

A formação pode ter resultados positivos na atitude dos utilizadores, relativamente à regulação do assento, e no conhecimento que detêm acerca dos controlos disponibilizados e do papel que os mesmos têm nas consequências da exposição a vibrações para o ser humano (Perkiö-Mäkelä & Riihimäki, 1997). Nesta perspectiva, os condutores expostos a VCI devem estar conscientes dos efeitos decorrentes dessa exposição e devem ter formação adequada com relação à utilização do veículo e respectivo equipamento (incluindo o assento e suas regulações), à adopção de condutas adequadas (nomeadamente no que se refere à velocidade de circulação, à manutenção da posição de sentado por longos períodos de tempo, sem qualquer tipo de alongamento, à manipulação de cargas após longos períodos de tempo naquela posição, à realização de torções e flexões frequentes do tronco e à participação de todas as anomalias que observem no veículo, de modo a poderem ser reparadas).

### 4.3. Medidas de protecção individual

Infelizmente, não existem equipamentos de protecção individual disponíveis para proteger o Homem de vibrações que se transmitem ao corpo inteiro. No entanto, existe um conjunto de acções que podem ser realizadas pelo próprio trabalhador no sentido de atenuar os efeitos da exposição.

Para além da manutenção do pavimento, que constitui a principal fonte vibracional para um veículo, outras medidas podem e devem ser equacionadas no sentido de se minimizar a transmissão de VCI aos condutores. É evidente que as irregularidades do pavimento não são geradoras de vibrações quando o veículo está parado, pelo que seria expectável que a velocidade de circulação do veículo assumisse um papel de relevo nesta interacção. De acordo com Ahlin e colaboradores (2002), a transmissão vibracional resulta da conjugação do comprimento de onda das irregularidades encontradas no pavimento (que determina a frequência das vibrações) com a respectiva amplitude (que determina o efeito da vibração a cada frequência). No entanto, quando se passa sobre uma determinada irregularidade, a frequência da vibração depende da velocidade de circulação. Quanto maior for a velocidade, maior será o peso que o comprimento de onda tem na vibração do veículo.

Se se analisar o efeito que a velocidade de circulação tem ao nível da frequência e da aceleração das vibrações sinusoidais transmitidas a partir de três pavimentos com perfis diferentes, verifica-se que ambas as grandezas sofrem alteração (Sayers & Karamihas, 1998).

Tabela 4.3 – Efeito do aumento da velocidade de circulação nas características de uma vibração sinusoidal (Sayers & Karamihas, 1998).

| Comprimento de onda (m) | Amplitude (mm) | v = 27 km/h     |                | v = 54 km/h     |                | v = 108 km/h    |                |
|-------------------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
|                         |                | Frequência (Hz) | Aceleração (g) | Frequência (Hz) | Aceleração (g) | Frequência (Hz) | Aceleração (g) |
| 60                      | 20             | 0,13            | 0,0013         | 0,25            | 0,005          | 0,50            | 0,02           |
| 15                      | 5              | 0,50            | 0,005          | 1,00            | 0,02           | 2,00            | 0,08           |
| 3                       | 1              | 2,50            | 0,025          | 5,00            | 0,10           | 10,00           | 0,40           |

Assim, o controlo da velocidade de circulação constitui uma medida preventiva que pode ser implementada pelo próprio condutor.

Uma alimentação cuidada, o consumo moderado de bebidas alcoólicas, ou até mesmo a sua abolição, e a restrição do consumo de tabaco, para além do efeito benéfico generalizado que têm, pode reduzir o potencial das VCI para desencadearem ou contribuírem para o agravamento de problemas a nível gastrointestinal.

Por outro lado, a realização regular de exercício físico favorece o fortalecimento da musculatura, que ajuda a atenuar o impacto das VCI ao nível da coluna vertebral.



## 5. Vibrações e Modelos

O desenvolvimento de modelos, em qualquer área do conhecimento, tem um conjunto de dificuldades e de limitações subjacente, que são largamente suplantadas pelas vantagens que advêm da sua utilização. No domínio da exposição a VCI existem, fundamentalmente, dois tipos de modelos com interesse: os modelos ditos biomecânicos, que abordam os efeitos biomecânicos da vibração sobre o Homem, e os modelos previsores do nível vibracional, a partir do conhecimento de algumas variáveis independentes que o condicionam. Neste capítulo descrevem-se, de forma muito sucinta, os modelos biomecânicos e analisam-se alguns modelos previsores do nível vibracional, no que se refere às variáveis que integram e à respectiva capacidade previsora.

### *5.1. Modelos biomecânicos*

A complexidade associada à transmissibilidade das vibrações ao corpo humano, bem como à sua percepção pelo Homem, têm sido responsáveis por só muito recentemente se terem começado a desenvolver modelos biomecânicos com vista à aplicação neste domínio. Grande parte destes modelos pretende explicar e prever os efeitos decorrentes da exposição ocupacional a vibrações em contextos diversos e centram-se, fundamentalmente, no desconforto produzido e na carga biomecânica induzida ao nível da coluna vertebral.

De entre os modelos descritos na literatura destacam-se alguns por terem sido percussores neste domínio, pela sua originalidade, pela sua aplicabilidade e pelos seus objectivos:

- estimação das forças de compressão induzidas na coluna por VCI, com base em dados antropométricos, electromiográficos e na aceleração do tronco (Seidel et al., 1986);
- estimativa das forças transmitidas à coluna vertebral durante a exposição a VCI (Fritz, 1996);

- análise tridimensional da carga biomecânica induzida no condutor de um tractor durante a operação dos comandos da cabina (Hansson & Öberg, 1996);
- estimativa da exposição a vibrações e choques em veículos, com modelo combinado da suspensão do assento e do condutor (Boileau, Rakheja, & Liu, 1997);
- modelo com 4 graus de liberdade, que simula a resposta de um condutor sentado, sem encosto, com os pés assentes numa plataforma vibrante (frequência: 0,75-10 Hz; intensidade:  $<4,0 \text{ m s}^{-2}$ ; direcção: vertical) e as mãos no volante (Boileau & Rakheja, 1998);
- modelo dinâmico de um Homem sentado (ajustável em função da altura, da massa corporal e da postura) para cálculo da intensidade das forças desenvolvidas internamente pelos discos intervertebrais, a nível lombar (Pankoke, Buck, & Woelfel, 1998);
- modelos da massa aparente do corpo humano na posição de sentado, sujeito a VCI verticais, e previsão da transmissibilidade do assento a partir da respectiva impedância (Wei & Griffin, 1998a, 1998b);
- modelos da massa aparente do corpo humano exposto a VCI horizontais, na posição de sentado (Mansfield & Lundström, 1999);
- modelo de resposta vibracional de um veículo (corpo, suspensão e pneus) (Lee, Thompson, Yoo, & Lee, 2000);
- modelo com 5 graus de liberdade que simula comportamentos de ressonância observados na população, como resposta humana a VCI (Smith, 2000);
- modelo que descreve a resposta mecânica da coluna vertebral a vibrações (van Deursen, Lengsfeld, Snijders, Evers, & Goossens, 2000);
- modelo com 9 graus de liberdade para avaliação do conforto de indivíduos sentados num assento com encosto (Cho & Yoon, 2001);
- manequim activo, concebido para testar assentos, que simula a resposta dinâmica de um indivíduo na posição de sentado, quando sujeito a VCI (Cullmann & Wölfel, 2001);

- modelo humano reproduzindo as relações entre as respostas física, fisiológica e psicológica a VCI verticais (Kubo, Terauchi, Aoki, & Matsuoka, 2001);
- 2 modelos, com 4 e 5 graus de liberdade, para descrever os mecanismos dinâmicos associados ao fenómeno de ressonância do corpo humano, na posição de sentado, quando submetido a VCI de acerca de 5 Hz, (Matsumoto & Griffin, 2001)
- modelo, adaptável à altura, ao peso e à postura assumida pelos sujeitos, para previsão da carga biomecânica induzida na coluna vertebral pelas VCI (Pankoke, Hofmann, & Wölfel, 2001);
- previsão das forças que actuam na zona lombar da coluna vertebral durante a exposição a VCI (Seidel, Blüthner, & Hinz, 2001);
- modelo bidimensional que estima as forças que actuam na coluna vertebral durante a exposição a VCI, num assento com suspensão (Hinz, Seidel, Menzel, & Blüthner, 2002);
- modelos dos sistemas de suspensão passiva de um veículo e do respectivo assento, e resposta do condutor a vibrações verticais (Liu & Wagner, 2002);
- modelo, com 12 graus de liberdade, de um veículo e respectivo condutor em ambiente vibratório (Rakheja, Wang, Baht, & Boileau, 2002);
- modelo bidimensional da resposta vibracional de manequins sentados em veículos (Kim, White, Bajaj, & Davies, 2003);
- modelo da parte superior do corpo humano (desde a cabeça à zona sagrada da coluna vertebral) para prever a resposta a vibrações sinusoidais verticais (Kong & Goel, 2003);
- modelos, com 1 e 2 graus de liberdade, da massa aparente de indivíduos expostos a vibrações verticais de corpo inteiro, na posição de pé (Matsumoto & Griffin, 2003);
- resposta do sistema corpo humano – assento, num ambiente vibratório (Rosen & Arcan, 2003);
- modelos numéricos do corpo humano e do assento para estimativa da carga biomecânica na coluna vertebral devido a vibrações verticais (Verver, van Hoof,

Oomens, van de Wouw, & Wismans, 2003);

- simulação das forças de compressão a que o corpo humano é submetido durante a transferência de vibrações, nas posições de pé e de sentado (Fritz, Fischer, & Bröde, 2005)

## ***5.2. Modelos previsores do nível vibracional***

Nos últimos anos têm sido realizados vários estudos, no sentido de se desenvolverem modelos matemáticos com capacidade de preverem os níveis vibracionais no posto de condução de diferentes veículos, a partir do conhecimento de alguns factores determinantes (Cann, Salmoni, & Eger, 2004; Chen, 2002; Chen et al., 2003, 2004; Malchaire et al., 1996; Özkaya et al., 1994). Se alguns destes factores se têm revelado importantes na previsão em alguns veículos, o mesmo não sucede noutros, pelo que o mesmo modelo não pode ser generalizado. No entanto, o desenvolvimento de modelos para os diferentes tipos de veículos existentes parece ser de grande importância, nomeadamente, porque muitas vezes não é possível proceder a medições em situação real de trabalho, por razões de natureza técnica, económica, temporal, ou outras. Nestes casos, a obtenção de uma estimativa do nível vibracional torna-se uma mais valia, não só porque viabiliza a avaliação da exposição ocupacional (ainda que de um modo indirecto), mas também porque permite a identificação de alvos apropriados para a implementação de medidas de controlo da exposição. Concomitantemente, os modelos matemáticos permitem a simulação do efeito que determinada medida de controlo poderá ter, sem necessidade de a implementar na realidade, com os investimentos económicos que lhe são inerentes. A recolha de informação detalhada e precisa acerca dos factores determinantes, com potencial para poderem integrar os modelos, pode ser realizada através de questionários ou entrevistas dirigidas, entre outros.

Em diversos estudos encontrados desenvolveram-se modelos de regressão linear múltipla, envolvendo um número diferente de factores, por vezes coincidentes, recorrendo ao método estatístico *Stepwise*. Este método permite adicionar, progressivamente, ao modelo as variáveis independentes que, do ponto de vista estatístico, são relevantes para a variável dependente em estudo. Simultaneamente, vão sendo eliminadas aquelas que o tornam menos preciso. Deste modo é possível obter um

modelo refinado, baseado apenas nas variáveis que contribuem para a variabilidade do nível vibracional, de forma estatisticamente significativa.

Özkaya, Willems e Goldsheyder (1994) realizaram um estudo no metropolitano da cidade de Nova Iorque considerando como variáveis independentes a velocidade de circulação, o tipo de carruagem, o tipo de manutenção, a carga, o tipo de carril, as condições de conservação/manutenção da linha e características do próprio operador (por exemplo, anos de experiência e peso). Foi identificada uma forte associação entre a velocidade de circulação e o nível vibracional transmitido aos operadores do metropolitano, mas nenhuma relação entre estes valores e a carga transportada, isto é, o número de passageiros. Os autores salientam que a velocidade não deve ser considerada como fonte vibracional, mas antes como um factor agravante. A experiência do condutor resultou como tendo alguma influência no nível vibracional: quanto mais experiente, menor o nível vibracional associado. Foi possível constatar que as linhas contínuas e as que foram unidas por um processo de soldadura são aquelas que contribuem menos para a transmissão da vibração. Infelizmente, os autores não apresentam nem as equações obtidas, nem o respectivo nível de significância.

Malchaire, Piette e Mullier (1996) consideraram relevantes para a previsão vibracional no posto de condução de empilhadores o tipo de pavimento, a carga transportada, o tipo de assento instalado, o tipo de combustível utilizado, o tipo de pneus, o peso do condutor e a velocidade de deslocamento do veículo. O seu estudo restringiu-se aos valores de aceleração transmitidos na direcção z, tanto na base como no topo do assento, bem como a uma única marca de veículos. Foram deduzidos dois modelos matemáticos para cada uma das variáveis dependentes: o primeiro, considerando apenas o efeito isolado de cada uma das variáveis independentes e o segundo, considerando também as interacções entre pares de variáveis independentes, excluindo o peso e a velocidade. Os modelos obtidos no segundo caso revelaram-se melhores, explicando 71,2% da variabilidade verificada ao nível do assento e 77,2% no piso dos empilhadores. Quando consideradas apenas as variáveis independentes, o nível de significância dos modelos baixou, respectivamente, para 68,2% e 75,0%, pelo que os modelos que contemplam apenas as variáveis de forma isolada podem, perfeitamente, ser utilizados, sem prejuízos de maior. O peso do condutor teve um efeito conjugado com a velocidade de circulação: a aceleração foi mais elevada no caso de condutores

menos pesados e que circulavam a uma velocidade elevada. Relativamente à carga transportada e à velocidade de circulação, também se constatou uma associação: a ausência de carga e a condução a velocidade elevada traduziram-se em acelerações mais elevadas. O efeito do tipo de pavimento foi o mais notório, enquanto que o tipo de veículo não parece ter tido qualquer tipo de influência no nível vibracional registado na direcção vertical. A acção dos pneus fez-se sentir, particularmente, no deslocamento das bandas de terço de oitava em que se registaram valores de aceleração mais elevados. Registou-se também um efeito de interacção entre o tipo de pneu e o tipo de assento.

À semelhança da equipa do Professor Malchaire, num estudo mais recente, Chen e a sua equipa (2003) desenvolveram modelos matemáticos para prever os valores de aceleração vertical transmitida aos condutores de táxis. O estudo incidiu nas 4 marcas mais utilizadas em Taiwan (Toyota, Nissan, Honda e Ford), o que corresponde a cerca de 85% dos veículos usados na actividade, e envolveu 247 sujeitos. Relativamente aos veículos, consideraram-se os seguintes factores: a velocidade de circulação, a marca, a idade, a cilindrada do motor, a largura dos pneus e a distância entre eixos. No que se refere aos condutores foram considerados a massa corporal e a idade. A intensidade do tráfego foi também considerada como factor ambiental. Nos veículos de maior cilindrada, maior distância entre eixos e pneus mais largos registaram-se valores de aceleração mais elevados.

No modelo de base, a velocidade de circulação, a marca e o ano de fabrico do veículo, bem como a cilindrada do motor revelaram-se como factores previsores do nível vibracional, significativos do ponto de vista estatístico. Com a introdução dos restantes seis factores no modelo, apenas dois não apresentaram significado estatístico: a largura dos pneus e a distância entre eixos. Neste sentido, foram excluídos do modelo final, que prevê a intensidade vibracional no posto de condução dos táxis a partir de oito variáveis, com um erro estimado de cerca de  $0,001 \text{ m s}^{-2}$ . Uma das limitações do estudo prende-se com o facto de não ter sido controlada a qualidade e o tipo de pavimento em que os veículos circularam durante as medições, o que certamente terá tido influência, tanto no nível vibracional, como na própria velocidade de circulação.

Um estudo afim foi desenvolvido por Cann, Salmoni e Eger (2004), com uma amostra de 52 camiões. Neste caso desenvolveram-se modelos matemáticos para prever os níveis vibracionais nas três direcções ortogonais definidas pela norma ISO 2631-1

(1997) e o valor conjugado, designado por vector soma ou aceleração total ponderada. Com o intuito de isolar o efeito das variáveis em estudo, controlaram-se a velocidade de circulação (80-93 km/h, quer por imposição legal, quer por imposição da empresa onde o estudo se realizou), a manutenção dos veículos, o volume da carga transportada (>85% da capacidade total) e a estação do ano (entre Maio e Novembro). Os factores analisados incluíram o pavimento, o tipo de veículo, o tipo de assento, a experiência do condutor e a idade do veículo, quantificada pelo número de quilómetros percorridos até à data. Apenas o primeiro se revelou estatisticamente significativo na previsão de valores de aceleração relativos às três direcções e ao valor conjugado. O tipo de veículo apenas se revelou significativo na previsão de valores correspondentes à direcção z e à aceleração total ponderada. Os autores obtiveram modelos que explicam 31% da variabilidade da aceleração na direcção x, 29% na direcção y, 44% na direcção z e 53% no valor conjugado, isto é, na aceleração total ponderada.



## **PARTE II - ESTUDO EXPERIMENTAL**



## **6. Definição do Problema**

### ***6.1. Formulação do Problema***

Na revisão bibliográfica realizada foi possível constatar que a transmissão de VCI em situação de trabalho é uma temática que se reveste da maior actualidade, quer pelo número de publicações editadas, quer pelas questões levantadas pelas mesmas. Pode afirmar-se que, apesar dos inúmeros estudos realizados neste âmbito, ainda não existe um domínio completo acerca das características dos estímulos vibracionais transmitidos ao Homem em situação de trabalho, nem dos factores que controlam essa transmissão e, consequentemente, dos efeitos decorrentes da mesma.

Contudo, sabe-se que as consequências resultantes da exposição ocupacional a este factor ambiental, seja a nível do conforto, do desempenho ou da saúde, são função das respectivas características: intensidade, frequência, direcção, ponto de aplicação e duração. Por outro lado, a variabilidade manifestada por estes parâmetros tem uma origem multifactorial. A diversidade de fontes de exposição ocupacional é considerável, pelo que o número de indivíduos expostos também o é. Na condução de veículos motorizados têm sido identificadas diversas variáveis com capacidade de modificação das características vibracionais: o veículo propriamente dito, as suas dimensões, os respectivos sistemas de suspensão e amortecimento, o assento, as tarefas realizadas, a velocidade de circulação, o pavimento em que o veículo se desloca, a carga transportada, entre outros. O próprio condutor é fonte de variabilidade, nomeadamente, pelas suas características estáticas e dinâmicas, pela posição, orientação e postura que assume.

Todavia, os estudos realizados até à data não permitem generalizar as conclusões relativas à acção destas variáveis sobre as características da vibração e, consequentemente, sobre os efeitos manifestados junto do trabalhador, por serem, muitas vezes, contraditórias. Refira-se, a título de exemplo, que o aumento da carga transportada por camiões (Boulanger et al., 1992) resultou num aumento da vibração transmitida ao condutor e teve um efeito contrário junto dos condutores de empilhadores (Danière et al., 1992; Malchaire et al., 1996).

A condução de autocarros, de um modo geral, submete os condutores a factores de *stress* relacionados com a própria tarefa de condução, com o ambiente no interior do veículo e com os próprios utilizadores (Evans, Johansson, & Rydstedt, 1999; Göbel, Springer, & Scherff, 1998; Sluiter, van der Beek, & Frings-Dresen, 1999).

Tabela 6.1 – Factores de *stress* presentes na condução de autocarros, em ambiente urbano (adaptado de Evans et al., 1999 e Göbel et al., 1998).

| Condução                           | Outras Tarefas                                                                                                                     | Ambiente             |
|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| Congestionamentos de tráfego       | Supervisão do interior                                                                                                             | Visão e iluminação   |
| Veículos mal estacionados          | Supervisão do veículo e controlo                                                                                                   | Vibrações            |
| Obras na via de circulação         | Cumprimento do horário                                                                                                             | Condições climáticas |
| Comportamento de outros condutores | Serviço nas paragens                                                                                                               | Ruído                |
| Comportamento dos peões            | Venda e controlo de títulos de viagem                                                                                              |                      |
| Semáforos                          | Aconselhamento de passageiros                                                                                                      |                      |
|                                    | Relacionamento com os passageiros (comportamentos agressivos e/ou provocatórios, lentidão no embarque/desembarque, veículo lotado) |                      |
|                                    | Comunicação com a central de tráfego                                                                                               |                      |

No caso particular do transporte de passageiros em ambiente urbano, aqueles factores intensificam-se, nomeadamente, devido à intensidade do tráfego rodoviário e às paragens obrigatórias para embarque e desembarque de passageiros. Nesta situação, a actividade dos condutores caracteriza-se pela realização frequente e simultânea de diversas tarefas, muitas vezes assumindo posturas inadequadas, na presença de ruído e vibrações (Göbel et al., 1998). Paralelamente, os condutores queixam-se de *stress* psicológico resultante da responsabilidade que têm em relação à segurança dos passageiros e do veículo, bem como ao cumprimento dos horários estabelecidos. Os problemas de saúde que se registam entre estes trabalhadores são intensificados pelo facto de realizarem trabalho por turnos, contribuindo para as elevadas taxas de absentismo e de pedidos de reforma antecipada que se vêm registando (Göbel et al., 1998).

A melhor forma de controlar os riscos associados a qualquer tipo de actividade consiste numa actuação directa sobre o próprio problema e não simplesmente afastando o Homem, em termos espaciais e/ou temporais ou dotando-o de equipamentos de protecção individual. Mas para se eliminar ou reduzir um risco é necessário, antes de mais, conhece-lo. O ponto de partida para a resolução desta questão deve passar pela

identificação e quantificação do problema, pelo que uma caracterização exaustiva do ambiente vibratório que pode constituir um risco para os trabalhadores, bem como o levantamento das variáveis que o controlam e dos respectivos mecanismos, devem ser prioritários em relação ao estabelecimento de quaisquer limites de exposição.

No entanto, todos os esforços realizados terão limitações se não for implementado um estudo numa perspectiva ergonómica, ou seja, se não se analisar a transmissão vibracional em situação real de trabalho, com base em critérios de conforto, eficiência, segurança e saúde. A maioria dos estudos acerca da transmissão vibracional ao Homem tem sido realizada em laboratório, onde se simulam estímulos mecânicos sinusoidais, unidireccionais e de frequência característica, longe de representarem a realidade vivida pelos condutores. Complementarmente, utilizam-se os veículos reais, mas operando em recintos especificamente concebidos para a realização dos estudos, simulando-se igualmente as tarefas realizadas. Deste modo, a aplicação dos resultados obtidos torna-se pouco fidedigna e é questionada por diversos autores (Burdorf & Swuste, 1993; Wilder et al., 1994).

Neste sentido, pode definir-se a variabilidade da exposição ocupacional a VCI e a sua relação com os factores que a condicionam na condução de autocarros de transporte urbano de passageiros como problema central deste estudo.

Nesta perspectiva, crê-se que os resultados e as conclusões alcançadas no estudo realizado constituirão uma mais valia a dois níveis distintos. Por um lado, possibilitarão uma intervenção no domínio da Ergonomia de Produção, com vista à optimização das condições de trabalho dos condutores, nomeadamente através da re-concepção dos postos de trabalho ou de novas formas de organização do trabalho e de realização das tarefas. Por outro, fornecerá dados relevantes para a acção no âmbito da Ergonomia do Produto, nomeadamente, ao nível da concepção de veículos e de infra-estruturas rodoviárias.

## ***6.2. Objectivos do Estudo***

Numa abordagem generalista, o presente estudo visa contribuir, tanto para o desenvolvimento, como para a consolidação do conhecimento acerca da transmissão vibracional ao Homem e dos factores que a regulam. Nesta perspectiva, podem definir-

se como objectivos específicos do trabalho:

- a validação de uma metodologia de avaliação da exposição a VCI preconizada pela norma ISO 2631-1 (1997);
- a caracterização da exposição ocupacional do Homem a vibrações transmitidas ao corpo inteiro, com base na norma ISO 2631-1 (1997);
- a identificação de factores relevantes que controlam essa transmissão;
- a compreensão do efeito da variação desses factores na transmissão vibracional;
- o desenvolvimento de modelos matemáticos explicativos da variabilidade vibracional registada.

No plano prático, a difusão e a aplicação dos conhecimentos resultantes do estudo permitirão contribuir para:

- a definição de estratégias com vista à melhoria das condições de trabalho e à redução dos riscos associados à exposição a VCI, a curto prazo;
- a construção/montagem de veículos de menor risco associado, a mais longo prazo;
- a simulação do efeito da implementação de medidas de controlo;
- a estimativa da exposição ocupacional a VCI, a partir do conhecimento de factores que condicionam a transmissibilidade vibracional ao ser humano.

Com este propósito, procurou-se dar resposta às seguintes questões, testando as hipóteses que se lhes seguem:

1. Será que as metodologias de avaliação da exposição ocupacional a VCI que se baseiam no valor da aceleração eficaz (rms), preconizadas pela norma ISO 2631-1 (1997), são equivalentes?

*Hipótese:* Existem diferenças significativas nos resultados obtidos pela aplicação das metodologias de avaliação da exposição a VCI, a partir dos valores de aceleração eficaz (rms), propostas pela norma ISO 2631-1 (1997).

2. Que relação de grandeza existirá entre a intensidade das vibrações que se

transmitem ao condutor de autocarros urbanos, nas três direcções ortogonais definidas pela norma ISO 2631-1 (1997)?

*Hipótese:* A intensidade da vibração vertical é superior à registada nas direcções antero-posterior e lateral.

3. Que efeito terão as irregularidades do pavimento das superfícies onde circulam os autocarros no nível vibracional transmitido aos condutores?

*Hipótese:* O nível vibracional transmitido aos condutores apresenta diferenças significativas entre superfícies recentemente asfaltadas, de asfalto irregular e pavimentadas com paralelepípedos.

4. De que modo varia o comportamento dinâmico do assento do posto de condução de autocarros, em ambiente urbano?

*Hipótese:* A transmissibilidade vibracional do assento dos autocarros urbanos é influenciada pelas características do veículo e do pavimento das superfícies de circulação.

5. Será que os níveis de aceleração sobre o assento do posto de condução de autocarros urbanos podem ser explicados por factores intrínsecos ao condutor?

*Hipótese:* Os níveis vibracionais sobre o assento de autocarros urbanos são explicados pela idade, pela altura, pelo peso e pela experiência profissional do condutor.

6. Será que os níveis de aceleração sobre o assento do posto de condução de autocarros urbanos podem ser explicados por factores extrínsecos ao condutor?

*Hipótese:* Os níveis vibracionais sobre o assento de autocarros urbanos são explicados pela idade, pelo peso e pelo comprimento do veículo, assim como pela rugosidade do pavimento de circulação.



## 7. Metodologia

### 7.1. Amostra

Face às características particulares deste estudo, foram constituídos dois tipos de amostras: uma de veículos e outra de sujeitos. Para o efeito contou-se com a colaboração de uma empresa pública, criada em 1872, que disponibilizou todos os meios técnicos e humanos para a sua realização. No momento da recolha de dados a empresa tinha uma frota composta por cerca de 840 veículos, adstritos a quatro estações principais de recolha e manutenção, servindo um total de cerca de 101 percursos diferentes na zona urbana de Lisboa, cobrindo cerca de 720 km. O número de motoristas efectivos rondava os 1850. Actualmente a frota da empresa conta com 813 autocarros e um efectivo de 1731 condutores. A frota tem vindo a ser alvo de um processo de renovação, com o intuito de, no ano de 2006, se atingir uma média da idade dos veículos de cerca de 6 anos. Esta renovação tem dois grandes objectivos subjacentes: a redução da emissão de poluentes para a atmosfera, com vista à melhoria da qualidade do ambiente da cidade de Lisboa, e o aumento da segurança e do conforto no seu interior, pela introdução de inovações técnicas que terão repercussões positivas ao nível da operacionalidade e dos custos de manutenção.

#### 7.1.1. Veículos

Relativamente aos veículos em estudo, a amostra foi condicionada pela frota ao serviço da empresa no momento da recolha dos dados, pela disponibilidade dos veículos e por alguns constrangimentos de natureza espacial e operacional, que condicionaram a montagem do aparato experimental.

Deste modo, constituiu-se uma amostra de 48 autocarros urbanos de quatro fabricantes distintos, num total de 10 modelos diferentes, cujas características principais estão resumidas na tabela 7.1.

Todos os veículos estavam equipados com assentos de marca *Esteban*, modelo FA 416 E2. Este assento dispõe de uma suspensão mecânica regulável em função do peso do condutor, até cerca de 130 kg, e apresenta um deslocamento máximo de 80 mm.

A possibilidade de se fazer um ajustamento horizontal até 150 mm, um ajustamento da altura e inclinação do assento até 65 mm e um ajustamento da inclinação do encosto máximo de  $\pm 45^\circ$ , são outras características do assento.

Tabela 7.1 - Caracterização da amostra de veículos (N=48).

| Veículo | N | Marca (modelo)  | Média da Idade (anos) | Dimensões (Comp x Alt x Larg) (mxmxm) | Peso Médio (kg) | Capacidade Média (passageiros) |
|---------|---|-----------------|-----------------------|---------------------------------------|-----------------|--------------------------------|
| A       | 3 | Volvo (B59)     | 23,67                 | 11,5x3,1x2,5                          | 15430           | 73-92                          |
| B       | 5 | Volvo (B10R)    | 19,39                 | 11,6x3,1x2,5                          | 16000           | 69-87                          |
| C       | 4 | MAN (10150)     | 11,50                 | 8,6x3,0x2,4                           | 11500           | 67                             |
| D       | 8 | Volvo (B10M)    | 11,71                 | 18,0x3,2x2,5                          | 24335           | 153-158                        |
| E       | 6 | Renault (B120)  | 7,83                  | 7,1x3,0x2,5                           | 6560            | 28-34                          |
| F       | 1 | Volvo (B10M)    | 7,00                  | 18,0x3,2x2,5                          | 28000           | 153-158                        |
| G       | 7 | Mercedes (O405) | 4,74                  | 11,9x3,1x2,5                          | 18000           | 84                             |
| H       | 4 | Mercedes (O530) | 2,25                  | 12,0x3,0x2,6                          | 18930           | 86                             |
| I       | 5 | Volvo (B7L)     | 1,80                  | 12,0x3,0x2,5                          | 18900           | 85                             |
| J       | 5 | Volvo (B10L)    | 1,00                  | 11,9x3,2x2,5                          | 18900           | 88                             |



Figura 7.1 – Assento instalado nos veículos analisados: a) panorâmica geral; b) detalhe das regulações de altura e inclinação do assento, de inclinação do encosto e da distância aos comandos do veículo; c) detalhe das regulações da suspensão.

### 7.1.2. Sujeitos

Na amostra de condutores de autocarros incluíram-se sujeitos com exposição ocupacional diária a VCI, na posição de sentado, e sem outras exigências posturais consideráveis.

Estabeleceram-se os seguintes pré-requisitos para a constituição da amostra de condutores:

- inclusão de sujeitos com experiência profissional neste tipo de actividade;
- inclusão de sujeitos do sexo feminino, uma vez que a presença da mulher nesta função se tem vindo a tornar uma realidade crescente a nível nacional;
- inclusão de sujeitos com massas corporais distintas, cobrindo a gama de valores dos condutores no activo;
- inclusão de sujeitos com idades distintas, de modo a cobrir a faixa etária dos condutores no activo.

O único requisito que não se conseguiu preencher foi o da igual representatividade de ambos os géneros sexuais, não tendo sido possível incluir indivíduos do sexo feminino. Deste modo conseguiram reunir-se 59 condutores do sexo masculino, cujas características principais se encontram resumidas na tabela 7.2.

Tabela 7.2 - Caracterização da amostra de condutores (N=59).

| Estatísticas | Idade/anos  | Altura/cm | Peso/kg   | Experiência/anos |
|--------------|-------------|-----------|-----------|------------------|
| Média (dp)   | 38,5 (10,5) | 172 (7)   | 81 (11,6) | 10,5 (8,8)       |
| Mínimo       | 23          | 155       | 58        | 0,8              |
| Máximo       | 63          | 192       | 115       | 28               |

## 7.2. Definição das variáveis

No sentido de se validarem as hipóteses estabelecidas, definiram-se como variáveis dependentes deste estudo, a aceleração ponderada nas direcções x, y e z, a aceleração total ponderada, de acordo com os critérios da saúde e do conforto, e a transmissibilidade vibracional do assento.

Para o estudo da variação destas variáveis consideraram-se variáveis intrínsecas aos condutores, variáveis relativas às vias de circulação e variáveis intrínsecas aos veículos, conforme a tabela 7.3.

Relativamente ao condutor, consideraram-se variáveis que pudessem condicionar a transmissibilidade vibracional, do ponto de vista biodinâmico, logo subjacentes às suas próprias dimensões: altura e peso. Por outro lado, incluíram-se duas variáveis que podem condicionar a atitude do condutor, no sentido da adopção de comportamentos preventivos ou de defesa, perante o envolvimento dinâmico em que realiza as tarefas que lhe estão cometidas: idade e experiência na condução deste tipo de veículos. Esta informação foi recolhida junto dos próprios, no momento da realização das medições.

Tabela 7.3 – Variáveis independentes do estudo.

|                 |                                                         |
|-----------------|---------------------------------------------------------|
| <b>Condutor</b> | Altura<br>Experiência<br>Idade<br>Peso                  |
| <b>Piso</b>     | Asfalto Recente<br>Asfalto Irregular<br>Paralelepípedos |
| <b>Veículo</b>  | Comprimento<br>Idade<br>Peso                            |

No que se refere ao pavimento das vias de circulação, consideraram-se três tipos distintos de piso, típicos em meio urbano português: asfalto recente, asfalto irregular e paralelepípedos. Antes de se proceder à realização de medições, analisaram-se os trajectos seleccionados, no sentido de serem identificados troços com pavimentos de perfil semelhante.

Finalmente, consideraram-se apenas as variáveis relativas aos veículos que marcavam a diferença entre eles. Do ponto de vista mecânico, há que pensar nas respectivas dimensões e no peso. Assim, no que se refere às dimensões, as diferenças ao nível da largura e da altura não eram significativas, retendo-se apenas o comprimento para a análise efectuada. Por outro lado, seria interessante incluir uma variável que contemplasse o estado de conservação e a tecnologia empregue na construção dos veículos, pelo que se considerou a sua idade.

### 7.3. Instrumentos

No sentido de se instrumentalizarem os veículos, para medição e posterior análise e avaliação da exposição ocupacional a VCI no posto de condução, recorreu-se a dois tipos distintos de transdutores e a um analisador com capacidade de integração e registo.

No que se refere aos transdutores vibracionais utilizados, optou-se por acelerómetros piezoeléctricos em detrimento dos acelerómetros piezoresistivos e outro tipo de sondas, pelas vantagens que os primeiros apresentam (Serridge & Licht, 1987):

- Cobrem uma vasta gama de frequências;
- Apresentam uma resposta linear numa vasta gama dinâmica;
- O sinal da aceleração pode ser integrado electronicamente, de modo a originar os correspondentes valores de velocidade e deslocamento;
- Possibilidade de serem utilizados em condições ambientais variadas, mantendo as suas características;
- Não requerem fonte de alimentação de energia;
- Não têm partes móveis, pelo que a sua durabilidade é grande;
- São extremamente compactos, apresentando uma elevada razão sensibilidade/massa.

Deste modo, a intensidade das vibrações foi medida sobre o assento do posto de condução do autocarro com um “acelerómetro” triaxial, tipo 4322, da Brüel & Kjær, com uma sensibilidade de carga de  $1 \text{ pC}/(\text{ms}^{-2}) \pm 2\%$  e uma sensibilidade de voltagem de aproximadamente  $0,8 \text{ mV}/(\text{ms}^{-2})$ , em conformidade com a norma ISO 7096 (2000). O “acelerómetro” pesa 350 g e na zona central contém três acelerómetros montados no interior de um dispositivo de metal e borracha, conforme se pode observar na figura 7.2. Este dispositivo tem cerca de 205 mm de diâmetro e uma altura que varia entre 12 mm, no centro, e 3 mm na periferia.

Ao nível do piso dos veículos, utilizou-se um acelerómetro uniaxial, tipo 4370, da Brüel & Kjær, com 54 g de peso,  $10 \text{ pC}/(\text{ms}^{-2}) \pm 2\%$  de sensibilidade de carga e aproximadamente  $8 \text{ mV}/(\text{ms}^{-2})$  de sensibilidade de voltagem.

O acelerómetro triaxial foi fixo sobre o assento com recurso a cintas, enquanto que para a fixação do segundo se colou um disco de perno roscado no piso do veículo, junto à base do assento, ao qual o acelerómetro foi posteriormente enroscado. Ambos os acelerómetros são de construção Delta Shear® e sensibilidade Uni-Gain®.

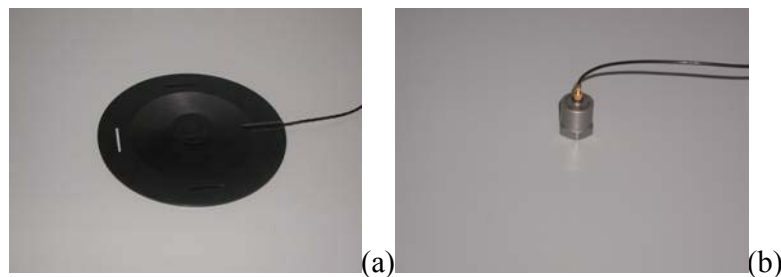


Figura 7.2 – Acelerómetro triaxial, modelo 4322 (a) e acelerómetro uniaxial, modelo 4370 (b), ambos da Brüel & Kjær.

Os acelerómetros foram orientados e fixos de acordo com as recomendações da norma ISO 2631-1 (1997), de forma a quantificar a aceleração nas direcções antero-posterior ( $x$ ), lateral ( $y$ ) e vertical ( $z$ ), sobre o assento, e apenas na direcção vertical ( $z$ ), na base do mesmo. Esta última opção advém dos seguintes factos: um estudo anterior revelou a direcção vertical como mais severa num modelo de autocarro da frota da empresa que colaborou no estudo (Melo, 2004; Melo & Miguel, 1999) e, como referido no capítulo 4, a maior parte dos assentos está equipada com suspensões verticais, não contemplando as outras duas direcções.

Para o registo e análise recorreu-se a um analisador de frequências de dois canais, tipo 2144, da Brüel & Kjær.



Figura 7.3 – Analisador de frequências de dois canais, em tempo real, modelo 2144, da Brüel & Kjær.

A calibração de todo o equipamento realizou-se com um excitador tipo 4294, também da Brüel & Kjær, com um peso de 70 g. Este tem capacidade para produzir vibrações de magnitude igual  $10 \text{ m s}^{-2}$  e frequência igual a 159,2 Hz.

#### 7.4. Percursos e pavimentos

Todas as medições foram realizadas em situação real de trabalho, com os veículos a efectuar os percursos a que estão afectos, cumprindo os horários estabelecidos pela empresa e transportando passageiros. Deste modo, realizaram-se medições em oito percursos diferentes na cidade de Lisboa, os quais estão caracterizados de forma sumária na tabela 7.4. A descrição detalhada dos percursos pode ser consultada no Anexo I.

A selecção dos percursos para a realização das medições teve como ponto de partida as sugestões feitas pela Administração da empresa, baseadas nas irregularidades do pavimento, na respectiva extensão, nas queixas dos condutores e nos veículos que aí são utilizados. Para a escolha final contou-se com a opinião dos Directores das estações da empresa a que cada veículo estava afecto e atendeu-se às condições de acesso aos terminais dos referidos percursos, no sentido de montar o equipamento, perturbando o menos possível o serviço.

Tabela 7.4 - Caracterização dos percursos seleccionados para a recolha de dados e identificação dos veículos adstritos.

| Percurso | Extensão/m | Terminais                        | Veículos               |
|----------|------------|----------------------------------|------------------------|
| 23       | 26290      | Algés - Desterro                 | Volvo B59<br>Volvo B7L |
| 29       | 35890      | Algés - Benfca                   | Volvo B10R             |
| 30       | 12470      | Picoas - Picheleira              | MAN 10.150             |
| 44       | 28590      | Cais do Sodré - Moscavide        | Mercedes O530          |
| 50       | 40480      | Algés - Estação do Oriente       | Volvo B10M             |
| 58       | 19440      | Cais do Sodré - Portas de Benfca | Mercedes O405          |
| 74       | 8560       | C. Ourique - Gomes Freire        | Renault B120           |
| 91       | 20010      | Cais do Sodré - Aeroporto        | Volvo B10L             |

Cada um dos percursos foi analisado *a priori*, no sentido de se identificarem troços com pavimento de características idênticas e se poderem fazer comparações entre os resultados. Assim, foram identificados três tipos principais de pisos: 1) asfalto recente, sem irregularidades (AR); 2) asfalto com irregularidades, incluindo linhas de eléctrico (AI); 3) paralelepídeos (P).



Figura 7.4 - Planta da cidade de Lisboa e traçado dos percursos realizados pela frota da empresa (fonte: Carris de Ferro de Lisboa, S.A.).

## 7.5. Procedimentos

O trabalho decorreu, fundamentalmente, em três etapas.

Na 1ª etapa recolheu-se e analisou-se informação relativa às características dos condutores e às respectivas condições de trabalho, junto da empresa, com vista à definição das situações que iriam ser objecto deste estudo. Deste modo, as pesquisas iniciais foram orientadas para o levantamento das características dos veículos conduzidos (marca, modelo, dimensões, capacidade, etc.), dos assentos instalados

(suspensão, mecanismos de controlo, apoio lombar, etc.) e do ambiente (pavimento de circulação). A partir desta análise definiram-se as variáveis independentes que iriam ser controladas no estudo.

Na 2ª etapa procedeu-se à caracterização da exposição ocupacional às vibrações e respectiva variabilidade devido à acção das variáveis definidas na etapa anterior. As medições foram realizadas em situação real de trabalho, isto é, com os veículos a realizarem os percursos habituais, transportando passageiros e parando sempre que necessário para embarque/desembarque, ou em virtude dos constrangimentos de tráfego existentes no momento. Os horários definidos pela empresa foram cumpridos.

Apesar de obtida autorização da empresa para a realização do estudo e esta ter previamente informado todos os condutores a este respeito, nenhuma medição foi realizada sem o respectivo acordo. Neste sentido, antes de montar o aparato experimental no interior de cada veículo, foi feita uma breve explicação acerca do estudo e da implicação de cada condutor no mesmo. Após o consentimento do condutor, procedeu-se à montagem do equipamento, no menor espaço de tempo possível, de modo a não perturbar a actividade do condutor e a não interferir nos horários estabelecidos.

Os acelerómetros foram fixos em dois pontos distintos, de acordo com a descrição feita em 7.3: um sobre o assento e outro na base do mesmo.

De modo a obter uma amostra significativa da exposição a VCI e face à natureza não estacionária dos sinais vibratórios, realizaram-se várias medições ao longo de cada uma das viagens (min.-5; máx.-15; média-8,8; dp-2,3). A diferença no número de medições entre trajectos deveu-se sobretudo às distâncias entre paragens obrigatórias para entrada e saída de passageiros, à distribuição de semáforos ao longo dos percursos e à intensidade do tráfego rodoviário. No total efectuaram-se seiscentas medições, cada uma com uma duração de cerca de 30 s.

Terminadas as medições, o equipamento era desmontado e, sempre que possível, mudava-se para um segundo veículo, onde o processo se repetia.

A recolha de dados decorreu entre Junho e Novembro de 2002, no período compreendido entre as 10h00 e as 16h00, de modo a não se registarem diferenças significativas em variáveis não controladas como o trânsito e o número de passageiros

transportados. Das 65 viagens efectuadas, apenas se teve sucesso na recolha de dados em 59, na medida em que numa delas o condutor foi, inesperadamente, substituído a meio do percurso e as baterias do equipamento falharam cinco vezes. A troca de turno entre condutores, imprevista e, muitas vezes, sem conhecimento dos seus superiores hierárquicos, impediu a recolha de dados em muitas situações.

Na terceira etapa, realizada em laboratório, os dados eram descarregados para um computador para serem tratados e analisados.

### ***7.6. Tratamento dos sinais vibratórios***

As medições efectuadas deram origem a valores de aceleração eficaz (rms) por banda de terço de oitava, definida segundo a equação (1.1).

$$a_{\text{eficaz}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a^2(t) dt} \quad (1.1)$$

onde:

- $a(t)$  é a função temporal da aceleração ponderada, em  $\text{m s}^{-2}$  ou em  $g$ ;
- $T$  é a duração da medição, em segundos.

Ao conjunto de valores de aceleração eficaz obtidos para cada banda de terço de oitava, compreendida entre 0,5 e 80 Hz, dá-se a designação de espectro de aceleração eficaz. Em cada medição obtiveram-se três espectros por banda de terço de oitava (0,5-80 Hz): um para cada uma das três direcções  $x$ ,  $y$  e  $z$ . Após aplicação da equação (1.2), obtiveram-se os correspondentes valores de aceleração ponderada.

$$a_w = \left[ \sum_i (w_i a_i)^2 \right]^{1/2} \quad (1.2)$$

onde:

- $a_w$  é a aceleração ponderada, expressa em  $\text{m s}^{-2}$ ;
- $w_i$  é o factor de ponderação, para a  $i$ -ésima banda de um terço de oitava, que se encontra tabelado, em função do ponto de medição e da direcção da vibração a ser quantificada;

- $a_i$  é o valor da aceleração eficaz (r.m.s.) da  $i$ -ésima banda de um terço de oitava.

Regra geral, os factores de ponderação  $w_i$  tomam designações e valores diferentes, em função da situação para que são indicados.

Tabela 7.5 - Ponderações propostas para o cálculo do valor da aceleração ponderada, a partir dos espectros por banda de terço de oitava (ISO 2631, 1997).

| Ponderação | Situação                                                           |
|------------|--------------------------------------------------------------------|
| $w_k$      | Direcção $z$ e direcção vertical em indivíduos prostrados          |
| $w_d$      | Direcções $x$ e $y$ e direcção horizontal em indivíduos prostrados |
| $w_f$      | “Mal dos Transportes”                                              |
| $w_c$      | Vibrações transmitidas pelas costas                                |
| $w_e$      | Vibrações rotacionais                                              |
| $w_j$      | Medições sob a cabeça de indivíduos prostrados                     |

Por seu turno, a combinação dos valores de aceleração ponderada obtidos para as três direcções ortogonais, por aplicação da equação (1.3), dá origem ao valor de aceleração total ponderado, também designado por vector soma.

$$a_{eq} = \left( k_x^2 a_{wx}^2 + k_y^2 a_{wy}^2 + k_z^2 a_{wz}^2 \right)^{1/2} \quad (1.3)$$

onde:

- $a_{wx}$ ,  $a_{wy}$  e  $a_{wz}$  são valores de aceleração ponderados por banda de terço de oitava, nos eixos  $x$ ,  $y$  e  $z$ , respectivamente;
- $k_i$  são factores multiplicativos adimensionais.

Os factores de ponderação  $k_i$  são seleccionados de entre os propostos pela norma ISO 2631-1 (1997), em função da avaliação que se pretende realizar: no caso do conforto assumem todos valores unitários, enquanto que no caso da saúde, para as direcções  $x$  e  $y$  assumem o valor 1,4 e o da direcção  $z$ , valor unitário.

No sentido de avaliar o comportamento dinâmico do assento foi implementado o estudo da transmissibilidade. Assim, para avaliar a eficácia do assento na redução da transmissão da vibração ao condutor, calculou-se o factor SEAT (*Seat Effective Amplitude Transmissibility*) pela razão entre os valores de aceleração ponderada obtidos

para a direcção  $z$ , respectivamente, sobre o assento e no chão do veículo, junto à base daquele (Paddan & Griffin, 2002a).

$$SEAT = \frac{a_{wz-\text{assento}}}{a_{wz-\text{base}}} \quad (7.1)$$

Todavia, este factor parece não ser totalmente fidedigno, na medida em que não traduz completamente o papel do assento na transmissão das vibrações ao condutor. Este problema foi ultrapassado, procedendo-se a uma avaliação da transmissibilidade por banda de terço de oitava, de modo a poder correlacionar o resultado com frequências de interesse, nomeadamente no que se refere ao fenómeno de ressonância de algumas partes do corpo humano. Por conseguinte, para cada banda de terço de oitava, determinou-se a razão entre os respectivos valores de aceleração eficaz obtidos sobre o assento e no piso do veículo, junto à base do assento.

### ***7.7. Tratamento estatístico***

O tratamento estatístico dos resultados foi realizado com o *software* de análise estatística *SPSS (Statistical Package for the Social Sciences)*, versão 13.0.

Para a caracterização das amostras e apresentação sumária dos principais resultados recorreu-se à Estatística Descritiva mais comum, enquanto que a Estatística Inferencial foi utilizada para a verificação das hipóteses deste estudo.

Para cada viagem realizada, calcularam-se as médias correspondentes às medições efectuadas em cada tipo de pavimento. Assim, as seiscentas medições deram origem a um total de 142 casos: 51 para o piso de asfalto recente (AR), 58 para o piso de asfalto irregular (AI) e 33 referentes ao piso de paralelepípedos (P).

A aplicação da análise de variância (ANOVA) para comparar médias de grupos pressupõe que, em cada grupo, os dados tenham uma distribuição normal, as observações sejam independentes e haja homocedasticidade. Todavia, quando o número de dados dos diferentes grupos não é igual ou semelhante (dimensão maior/dimensão menor  $< 1,5$ ) e há violação dos requisitos da normalidade e da homocedasticidade, põe-

se em risco as conclusões da ANOVA, devendo optar-se por transformar os dados de modo a alcançar a simetria ou utilizar testes alternativos não paramétricos (Pestana & Gageiro, 2003). Neste sentido, compararam-se os resultados obtidos recorrendo a testes não paramétricos: testes de *Kruskal-Wallis* e *Mann-Whitney*, no caso de amostras independentes e teste de *Friedman*, no caso de amostras dependentes. Como o teste *t* de comparação de médias entre duas amostras dependentes prescinde do requisito da normalidade no caso de a dimensão ser superior a 30, utilizou-se este teste em detrimento dos testes não paramétricos do Sinal e de *Wilcoxon* nestas situações (Pestana & Gageiro, 2003).

No sentido de avaliar a existência de associações significativas entre os níveis vibracionais sobre o assento e potenciais factores condicionantes, calcularam-se os respectivos coeficientes de correlação *R* de *Pearson*. A sua aplicação exige a existência de uma relação linear entre cada par de variáveis e que os respectivos dados sejam oriundos de uma distribuição normal. Contudo, a violação do requisito da normalidade afecta pouco os erros de tipo I e a potência do teste, para um nível de significância de 0,05 e uma amostra de dimensão maior que 30 (Pestana & Gageiro, 2003).

Para o desenvolvimento de modelos matemáticos com capacidade de prever os valores de aceleração ponderada para cada uma das três direcções definidas na norma ISO 2631-1 (1997), bem como os valores de aceleração total ponderada, recorreu-se ao modelo de regressão linear múltipla.

Os modelos de regressão linear múltipla relacionam a variável aleatória *Y*, com *k* variáveis independentes ( $X_1, X_2, \dots, X_k$ ), e exprimem-se sob a forma apresentada na equação (7.2).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon \quad (7.2)$$

onde:

- *Y* – variável dependente, condicionada pelos valores de  $X_i$ ;
- $X_i$  – variáveis independentes, com capacidade explicativa;
- $\beta_i$  – coeficientes parciais do modelo;
- $\varepsilon$  – erro aleatório, devido a variáveis desconhecidas.

Os coeficientes parciais devem ser estandardizados sempre que o modelo inclua duas ou mais variáveis explicativas e estas não sejam expressas nas mesmas unidades.

O método de estimação usado foi o *Stepwise*, no qual as variáveis independentes vão sendo introduzidas no modelo por ordem decrescente do módulo do respectivo coeficiente de correlação com a variável dependente. Neste método, sempre que uma variável independente é adicionada ao modelo, é analisada a significância de todas as que já foram incluídas, e eliminam-se aquelas que não têm uma capacidade explicativa significativa da variável dependente. O processo repete-se até ao momento em que todas as variáveis não introduzidas no modelo não tenham capacidade de explicação significativa e todas as que fazem parte do modelo tenham (Pestana & Gageiro, 2003). Consequentemente, o modelo final será o que tem maior capacidade explicativa e menor erro associado. Como critério de entrada duma variável no modelo, utilizou-se o nível de significância de 0,05 e, para o critério de remoção, o nível de significância de 0,10.

A aplicabilidade deste modelo está, todavia, limitada a fenómenos lineares, em que as variáveis explicativas são independentes, isto é, se não se verificar a sua multicolinearidade. Simultaneamente tem de se verificar o seguinte conjunto de hipóteses para os erros aleatórios do respectivo modelo (Pestana & Gageiro, 2003):

- devem apresentar uma distribuição normal, geralmente, ao nível de significância de 0,05;
- devem apresentar homocedasticidade, isto é, a sua variância deve ser constante;
- não deverão apresentar autocorrelação.

A hipótese da não colinearidade é fundamental, na medida em que pode dificultar a distinção entre os efeitos das variáveis independentes consideradas, sobre a variável dependente (Makridakis, Wheelwright, & Hyndman, 1998; Tabachnick & Fidell, 1996), enquanto que a homocedasticidade dos erros apenas assume importância quando as observações se distribuem ao longo do tempo, que não é o caso do presente estudo (Pestana & Gageiro, 2003).

### **PARTE III - RESULTADOS E CONCLUSÕES**



## 8. Resultados

O estudo efectuado conduziu a uma abordagem dos resultados obtidos sob quatro perspectivas distintas: 1) do ponto de vista metodológico, analisar-se-á e discutir-se-á a forma de avaliar a exposição ocupacional a VCI em autocarros urbanos, com base nos valores de aceleração eficaz, proposta pela norma ISO 2631-1 (1997); 2) numa óptica ocupacional, avaliar-se-á a exposição a VCI em autocarros urbanos, atendendo às variáveis que a condicionam e à legislação em vigor; 3) tendo em vista a prevenção dos efeitos da exposição, será avaliada a capacidade de atenuação da vibração transmitida pelos assentos instalados nos veículos; 4) perspectivando-se a simulação e o controlo desta exposição, apresentar-se-ão e discutir-se-ão modelos previsores do nível vibracional sobre o assento do posto de condução de autocarros urbanos.

### *8.1. Metodologia de avaliação da exposição*

Uma interpretação possível da norma ISO 2631-1(1997), relativamente à avaliação de vibrações que se transmitem pelo assento, simultaneamente, segundo mais do que uma direcção, consiste em considerar as três direcções para o cálculo da aceleração total ponderada, desde que não haja diferenças significativas entre os respectivos valores de aceleração ponderada. Caso uma das direcções apresente valores de aceleração ponderada, significativamente, superiores aos das outras duas direcções, a avaliação deve basear-se, exclusivamente, naqueles. Deste modo, não só se desprezam as outras duas direcções, como também as vibrações que se transmitem na direcção  $x$ , através do encosto do assento, e cuja medição é encorajada por aquela mesma norma. Apesar de a direcção mais severa ser determinada por um único valor, é necessário proceder à quantificação da vibração transmitida nas três direcções para que aquela seja identificada. A norma britânica BS 6841 (1987) utiliza os quatro valores referidos para obter o valor de aceleração total ponderada, com base no qual faz a avaliação da exposição vibracional.

Das seiscentas medições realizadas, verificou-se que, em 86,8% dos casos, a direcção para a qual foram registados os valores mais elevados de aceleração ponderada coincide com a vertical ( $z$ ). As excepções ocorreram nas situações em que a magnitude

vibracional foi inferior a cerca de  $0,5 \text{ m s}^{-2}$ , como se pode constatar pela figura 8.1, na qual a maior parte dos pontos se situa sobre a diagonal.

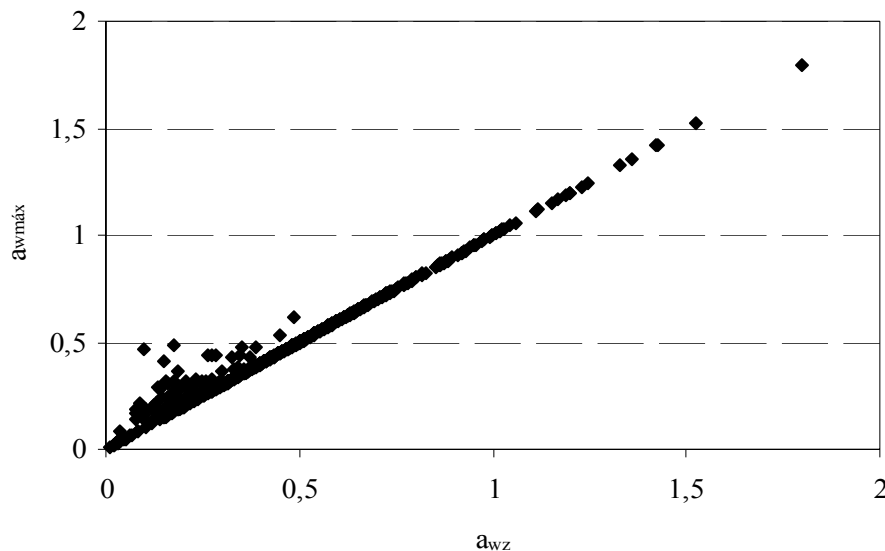


Figura 8.1 – Comparação entre os valores máximos de aceleração ponderada ( $\text{m s}^{-2}$ ) e os correspondentes valores de aceleração ponderada ( $\text{m s}^{-2}$ ) obtidos para a direcção vertical ( $z$ ).

Do ponto de vista estatístico, isto significa que esta é a direcção mais severa, na medida em que:

- não se registaram diferenças significativas entre aqueles dois conjuntos de valores ( $t=-7,025$ ;  $gl=599$ ;  $p>0,05$ );
- a direcção  $z$  apresentou valores de aceleração ponderada significativamente superiores aos das direcções  $x$  ( $t=-26,295$ ;  $gl=599$ ;  $p<0,001$ ) e  $y$  ( $t=-25,928$ ;  $gl=599$ ;  $p<0,001$ );
- não se registaram diferenças significativas entre os valores de aceleração ponderada obtidos para as duas direcções horizontais ( $t=1,011$ ;  $gl=599$ ;  $p=0,312$ ).

Assim, a avaliação deveria realizar-se, exclusivamente, com base nos valores obtidos para a direcção mais severa, neste caso, a direcção  $z$ . Contudo, determinaram-se os valores de aceleração total ponderada, de acordo com os critérios do conforto e da

saúde, a partir dos valores de aceleração ponderada obtidos para as três direcções e compararam-se os resultados com os valores mais elevados de aceleração ponderada que lhes deram origem.

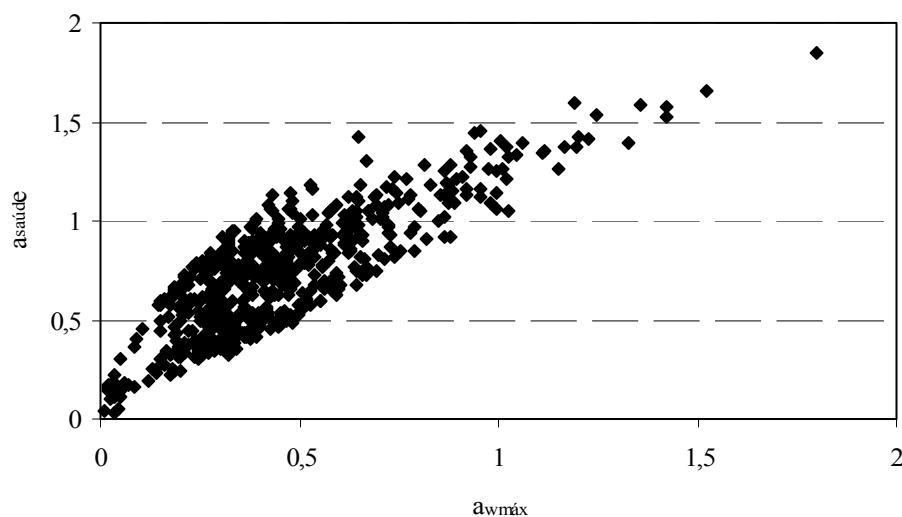


Figura 8.2 – Comparação entre os valores de aceleração ponderada ( $\text{m s}^{-2}$ ) obtidos para a direcção mais severa e os correspondentes valores de aceleração total ponderada ( $\text{m s}^{-2}$ ), segundo o critério da saúde.

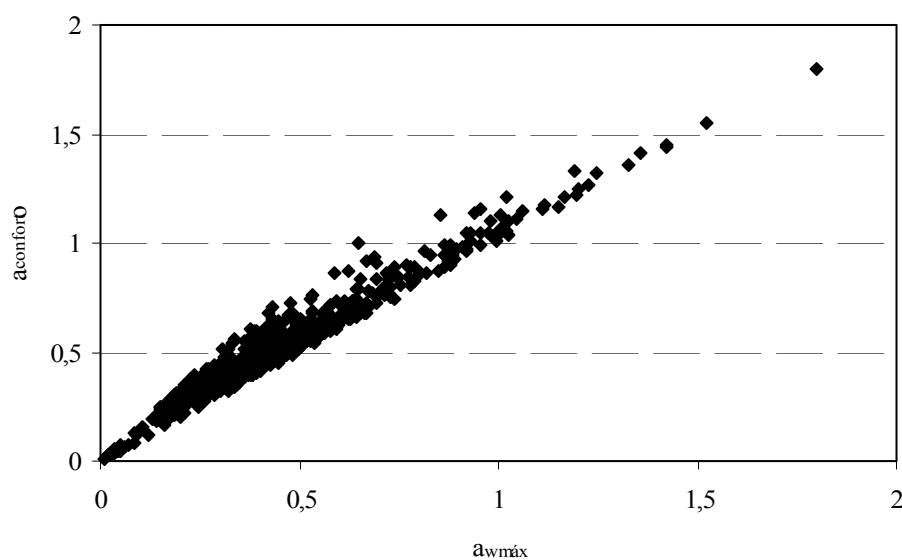


Figura 8.3 - Comparação entre os valores de aceleração ponderada ( $\text{m s}^{-2}$ ) obtidos para a direcção mais severa e os correspondentes valores de aceleração total ponderada ( $\text{m s}^{-2}$ ), segundo o critério do conforto.

Os valores de aceleração total ponderada obtidos de acordo com o critério da saúde, são significativamente mais elevados que os valores de aceleração ponderada da direcção mais severa ( $t=-42,851$ ;  $gl=599$ ;  $p<0,001$ ). Em média, os últimos representam entre 11,4% e 99,4% do valor de aceleração total ponderada (60,7%, em média).

Relativamente ao critério do conforto, encontraram-se diferenças significativas entre os correspondentes valores de aceleração total ponderada e os valores máximos de aceleração ponderada ( $t=-35,950$ ;  $gl=599$ ;  $p<0,001$ ) e verificou-se que estes representam entre 59,4% e 99,8% dos primeiros (83,6% em média). Como se pode observar na figura 8.3, o afastamento dos pontos em relação à diagonal não é tão acentuado como no caso da figura 8.2.

Outra questão que se coloca com relação às directrizes da norma ISO 2631-1 (1997) prende-se com os factores de ponderação atribuídos às três direcções no cálculo do valor da aceleração total ponderada. A norma propõe um conjunto de ponderações para a avaliação do impacto que a vibração tem sobre o conforto e outro para a saúde. No último caso as ponderações diferem entre as direcções, assumindo o valor de 1,4 para as direcções horizontais e o valor 1 para a direcção vertical.

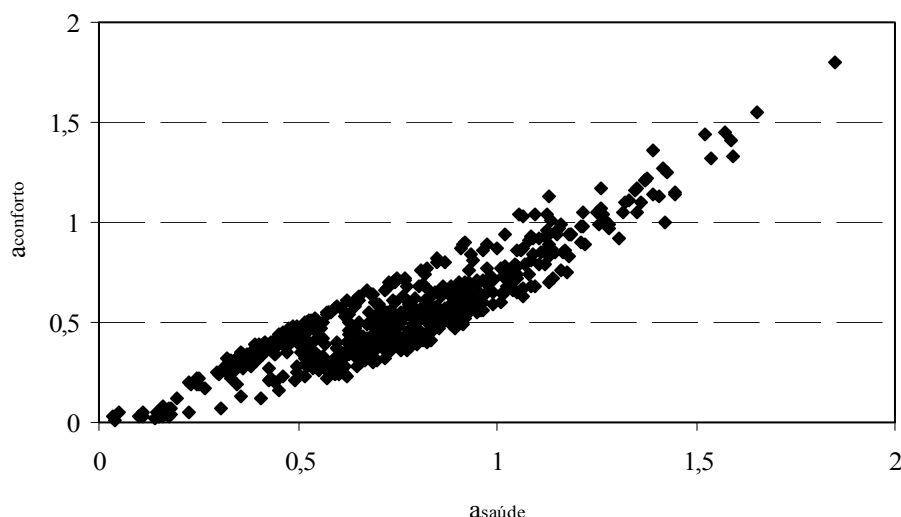


Figura 8.4 – Comparação entre os valores de aceleração total ponderada ( $m s^{-2}$ ) obtidos segundo os critérios da saúde e do conforto.

Na figura 8.4 é possível verificar um afastamento dos pontos da diagonal em

direcção ao eixo das abcissas, o que revela a superioridade dos valores obtidos segundo o critério da saúde, em relação aos que resultam da aplicação do critério do conforto ( $t=-42,851$ ;  $gl=559$ ;  $p<0,001$ ). Neste caso, as diferenças oscilam entre 0,3% e 83,8% do valor calculado de acordo com o critério da saúde (28,6%, em média).

## 8.2. *Exposição ocupacional a vibrações*

No que concerne à vibração transmitida ao condutor, três tipos de resultados podem ser explorados: 1) os espectros de aceleração eficaz não ponderada, por banda de terço de oitava, entre 0,5 e 80 Hz; 2) os valores de aceleração ponderada; 3) os valores de aceleração total ponderada, derivados dos anteriores. Face à importância relativa de todos, optou-se por fazer a sua apresentação em separado e seguindo a ordem pela qual foram obtidos.

### 8.2.1. Espectros por banda de terço de oitava

Os espectros de aceleração eficaz (rms) constituem o primeiro resultado que se obteve a partir das medições das vibrações transmitidas ao corpo inteiro no posto de condução dos autocarros urbanos.

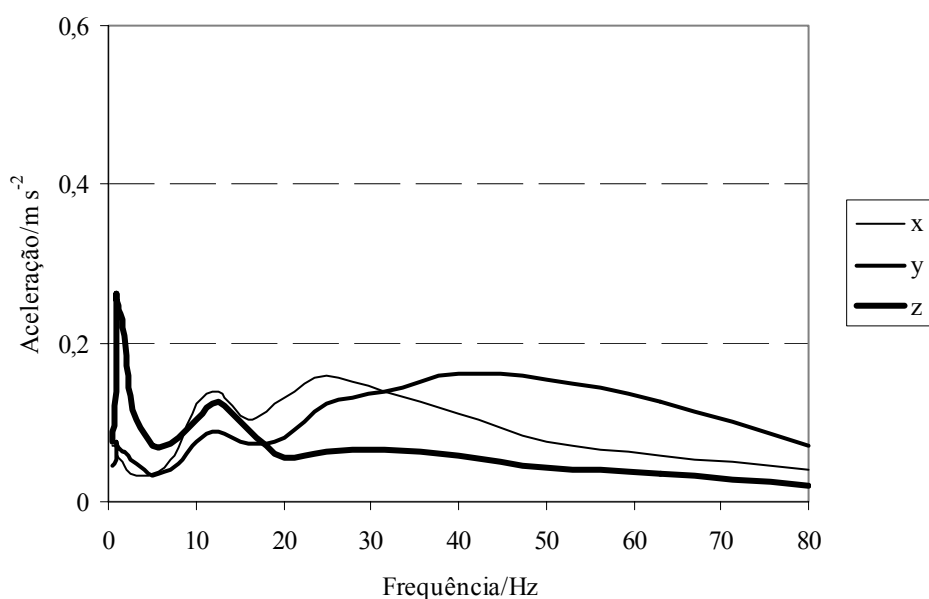


Figura 8.5 - Espectros de aceleração eficaz média obtidos em todos os veículos, para as direcções  $x$ ,  $y$  e  $z$ .

A figura 8.5 apresenta os espectros de aceleração eficaz média por banda de terço de oitava, obtidos para o conjunto de veículos analisados, relativos às três direcções ortogonais definidas pela ISO 2631-1 (1997). Nas figuras 8.6 a 8.8 apresentam-se os espectros médios obtidos em todos os modelos de autocarros analisados, para cada tipo de pavimento.

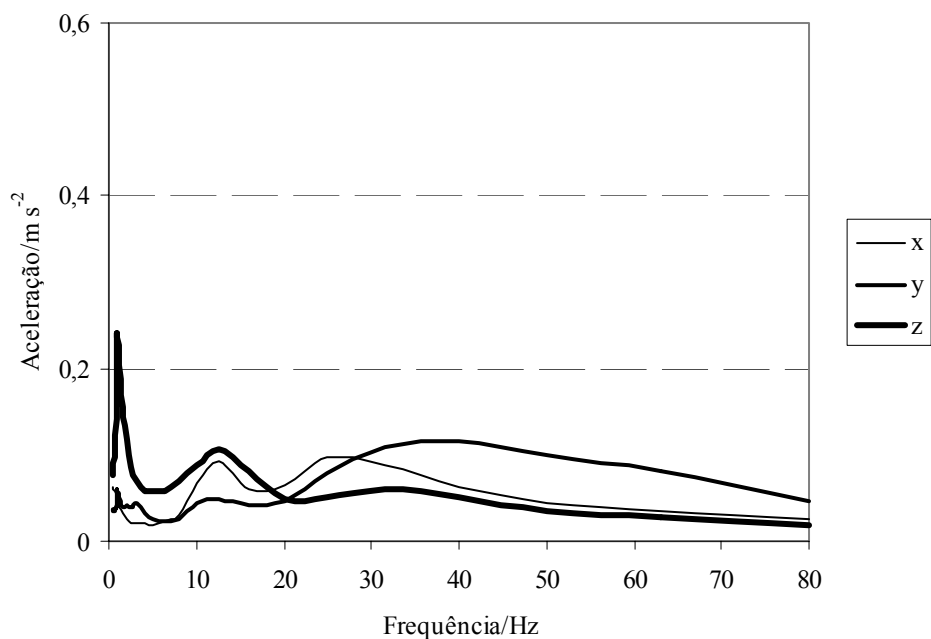


Figura 8.6 - Espectros de aceleração eficaz média obtidos no pavimento de asfalto recente (AR), em todos os veículos, para as direcções  $x$ ,  $y$  e  $z$ .

É de salientar que os espectros apresentam, aproximadamente, o mesmo andamento nos três tipos de pavimento em que os veículos foram testados. Na gama de frequências mais baixa, verificou-se o domínio das vibrações que se transmitem ao condutor na direcção vertical ( $z$ ), enquanto que para valores de frequência mais elevados se observa uma inversão, passando a direcção lateral ( $y$ ) a ser dominante, seguida pela direcção antero-posterior ( $x$ ). A superioridade da direcção vertical ocorreu até à banda de terço de oitava centrada em 16 Hz, no caso do pavimento de asfalto recente (AR), 8 Hz, no piso de asfalto irregular (AI) e 6,3 Hz, no de paralelepípedos (P).

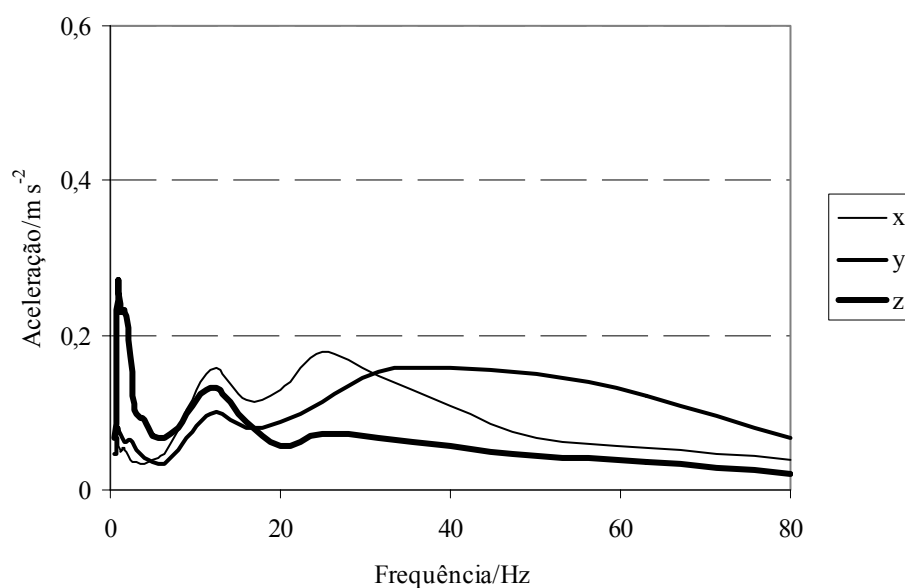


Figura 8.7 - Espectros de aceleração eficaz média obtidos no pavimento de asfalto irregular (AI), em todos os veículos, para as direcções  $x$ ,  $y$  e  $z$ .

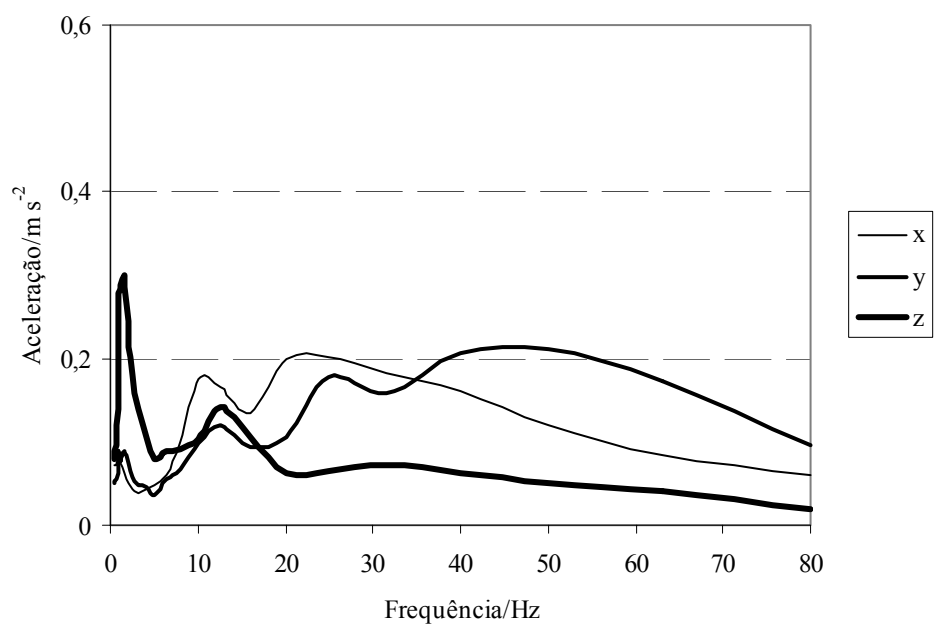


Figura 8.8 - Espectros de aceleração eficaz média obtidos no pavimento de paralelepípedos, em todos os veículos, para as direcções  $x$ ,  $y$  e  $z$ .

Tabela 8.1 - Frequências (em Hz) centrais das bandas de terço de oitava em que se registaram os picos de aceleração eficaz nas três direcções, nos três tipos de piso (AR - Asfalto recente; AI - Asfalto irregular; P - Paralelepípedos).

| Direcção | AR   | AI   | P    |
|----------|------|------|------|
| <i>x</i> | 0,5  | 0,63 | 0,8  |
|          | 12,5 | 12,5 | 10   |
|          | 25   | 25   | 25   |
| <i>y</i> | 1,0  | 1,0  | 1,0  |
|          | 12,5 | 12,5 | 12,5 |
|          | 40   | 40   | 25   |
|          | -    | -    | 50   |
| <i>z</i> | 1,0  | 1,0  | 1,6  |
|          | 12,5 | 12,5 | 12,5 |

De entre a informação disponibilizada pelos espectros obtidos, assumem particular interesse os picos de aceleração registados nas três direcções ortogonais e cujas frequências centrais das correspondentes bandas de terço de oitava estão identificadas na tabela 8.1.

Para uma análise mais detalhada do conjunto de espectros obtidos para as três direcções ortogonais nos diferentes veículos em andamento nos três tipos de pavimento, pode consultar-se o Anexo II.

### 8.2.2. Aceleração ponderada

Na tabela 8.2 apresentam-se os valores de aceleração ponderada para as três direcções ortogonais definidas na norma ISO 2631-1 (1997), obtidos sobre o assento dos 10 modelos de veículos analisados. São de realçar, em todos os veículos, a proximidade entre os valores registados nas duas direcções horizontais (*x* e *y*) e a superioridade dos valores correspondentes à direcção vertical (*z*), como ilustra a figura 8.9.

Tabela 8.2 - Gama de valores, média e desvio padrão de aceleração ponderada (rms) obtidos sobre o assento, nos diferentes veículos.

| Veículo | $a_{wx} / m s^{-2}$ |       |      | $a_{wy} / m s^{-2}$ |       |      | $a_{wz} / m s^{-2}$ |       |      |
|---------|---------------------|-------|------|---------------------|-------|------|---------------------|-------|------|
|         | Min-Máx             | Média | d.p. | Min-Máx             | Média | d.p. | Min-Máx             | Média | d.p. |
| A       | 0,05-0,34           | 0,15  | 0,07 | 0,04-0,29           | 0,16  | 0,07 | 0,11-0,66           | 0,39  | 0,14 |
| B       | 0,05-0,46           | 0,22  | 0,08 | 0,06-0,46           | 0,21  | 0,09 | 0,10-1,52           | 0,60  | 0,31 |
| C       | 0,09-0,44           | 0,21  | 0,07 | 0,09-0,53           | 0,23  | 0,07 | 0,12-1,36           | 0,54  | 0,28 |
| D       | 0,02-0,27           | 0,15  | 0,05 | 0,05-0,32           | 0,13  | 0,05 | 0,08-0,86           | 0,41  | 0,17 |
| E       | 0,01-0,44           | 0,24  | 0,08 | 0,01-0,41           | 0,19  | 0,07 | 0,15-0,50           | 0,33  | 0,08 |
| F       | 0,00-0,29           | 0,10  | 0,12 | 0,00-0,16           | 0,08  | 0,07 | 0,03-0,33           | 0,22  | 0,13 |
| G       | 0,04-0,48           | 0,20  | 0,09 | 0,03-0,58           | 0,21  | 0,11 | 0,15-1,80           | 0,51  | 0,27 |
| H       | 0,04-0,43           | 0,17  | 0,09 | 0,04-0,27           | 0,13  | 0,06 | 0,14-1,03           | 0,42  | 0,21 |
| I       | 0,07-0,48           | 0,17  | 0,09 | 0,07-0,42           | 0,18  | 0,08 | 0,08-1,42           | 0,38  | 0,23 |
| J       | 0,06-0,50           | 0,18  | 0,09 | 0,06-0,64           | 0,26  | 0,15 | 0,10-1,33           | 0,42  | 0,25 |

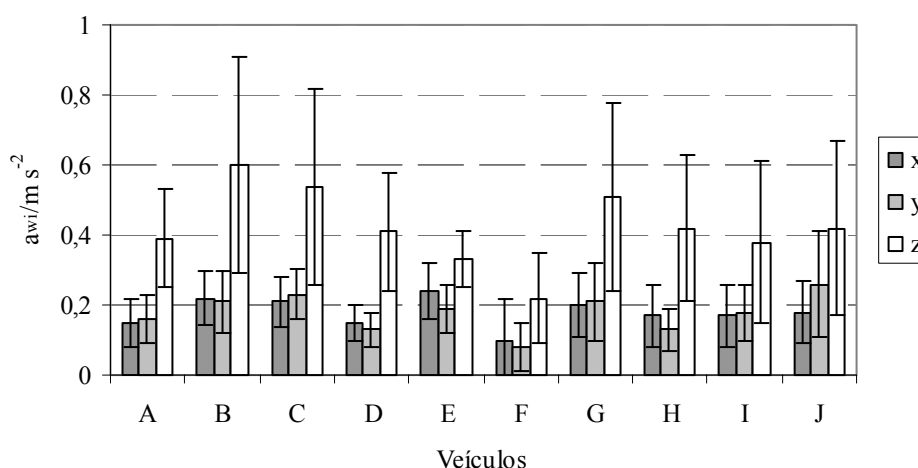


Figura 8.9 – Valores médios e desvio padrão de aceleração ponderada, correspondentes às três direcções ortogonais, obtidos sobre o assento dos veículos analisados.

A tabela 8.3 diz respeito aos valores de aceleração ponderada das três direcções definidas, obtidos nos três tipos de pavimento em que os veículos circularam. O teste de *Friedman* revelou a existência de diferenças significativas entre as três direcções, em qualquer um dos três tipos de pavimento (AR:  $N=51$ ;  $\chi^2=64,980$ ;  $gl=2$ ;  $p<0,001$ ; AI:  $N=58$ ;  $\chi^2=84,448$ ;  $gl=2$ ;  $p<0,001$ ; P:  $N=33$ ;  $\chi^2=41,455$ ;  $gl=2$ ;  $p<0,001$ ).

Tabela 8.3 - Gama de valores, média e desvio padrão de aceleração ponderada (rms) obtidos sobre o assento de todos os veículos, nos diferentes tipos de piso (AR - Asfalto recente; AI - Asfalto irregular; P - Paralelepípedos).

| Piso | N  | $a_{wx} / m s^{-2}$ |       |      | $a_{wy} / m s^{-2}$ |       |      | $a_{wz} / m s^{-2}$ |       |      |
|------|----|---------------------|-------|------|---------------------|-------|------|---------------------|-------|------|
|      |    | Min-Máx             | Média | d.p. | Min-Máx             | Média | d.p. | Min-Máx             | Média | d.p. |
| AR   | 51 | 0,01-0,20           | 0,13  | 0,04 | 0,01-0,32           | 0,14  | 0,06 | 0,15-0,83           | 0,36  | 0,13 |
| AI   | 58 | 0,08-0,30           | 0,20  | 0,05 | 0,09-0,54           | 0,20  | 0,08 | 0,25-0,85           | 0,46  | 0,14 |
| P    | 33 | 0,06-0,35           | 0,22  | 0,06 | 0,06-0,42           | 0,23  | 0,08 | 0,18-0,98           | 0,51  | 0,19 |

Uma análise mais cuidada confirmou a superioridade da direcção  $z$  em relação às direcções  $x$  e  $y$  e a inexistência de diferenças significativas entre os valores obtidos para estas duas últimas direcções, como se pode confirmar pela leitura da tabela 8.4.

Tabela 8.4 - Resultados do teste  $t$  de comparação das médias dos valores de aceleração ponderada das três direcções, obtidos sobre o assento, nos diferentes tipos de piso (AR - Asfalto recente; AI - Asfalto irregular; P - Paralelepípedos).

| Piso | Direcções | $t$     | gl | p      |
|------|-----------|---------|----|--------|
| AR   | x $y^a$   | -1,344  | 50 | 0,185  |
|      | x $z^b$   | -12,484 | 50 | <0,001 |
|      | y $z^b$   | -10,229 | 50 | <0,001 |
| AI   | x $y^a$   | 0,173   | 57 | 0,863  |
|      | x $z^b$   | -13,215 | 57 | <0,001 |
|      | y $z^b$   | -13,736 | 57 | <0,001 |
| P    | x $y^a$   | -0,405  | 32 | 0,688  |
|      | x $z^b$   | -8,345  | 32 | <0,001 |
|      | y $z^b$   | -7,713  | 32 | <0,001 |

<sup>a</sup> diferença não significativa

<sup>b</sup> diferença significativa para um nível de 0,01

A intensidade vibracional registou um aumento, nas três direcções, ao passar-se do piso de asfalto recente para o de asfalto irregular, e deste para o de paralelepípedos. Para uma melhor visualização deste efeito, representaram-se os valores da tabela 8.3 sob a forma gráfica na figura 8.10.

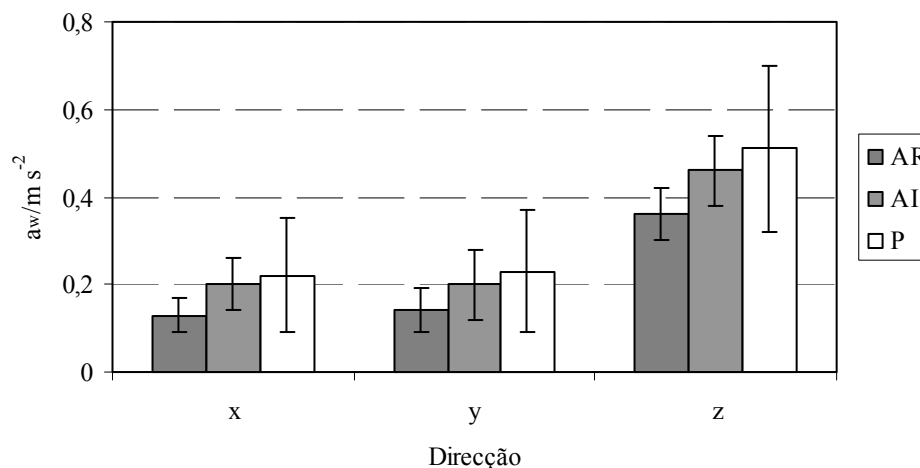


Figura 8.10 – Variação da aceleração ponderada média obtida para as direcções  $x$ ,  $y$  e  $z$ , em função do tipo de piso de circulação (AR - Asfalto recente; AI - Asfalto irregular; P - Paralelepípedos).

As diferenças encontradas entre os valores obtidos nos diferentes veículos analisados, nos diferentes tipos de piso, encontram-se compiladas na tabela 8.5. O teste de *Kruskal-Wallis* revelou haver diferenças, estatisticamente significativas, entre os veículos, no que respeita aos valores de aceleração ponderada correspondentes à direcção vertical ( $z$ ), no piso de paralelepípedos ( $N=33$ ;  $\chi^2=16,789$ ;  $gl=5$ ;  $p=0,005$ ), à direcção lateral ( $y$ ), no piso de asfalto recente ( $N=51$ ;  $\chi^2=16,459$ ;  $gl=8$ ;  $p=0,031$ ) e às três direcções ( $x$ ,  $y$  e  $z$ ), no piso de asfalto irregular ( $x$ :  $N=58$ ;  $\chi^2=33,392$ ;  $gl=9$ ;  $p<0,001$ ;  $y$ :  $N=58$ ;  $\chi^2=27,720$ ;  $gl=9$ ;  $p=0,001$ ;  $z$ :  $N=58$ ;  $\chi^2=33,446$ ;  $gl=9$ ;  $p<0,001$ ).

Por seu turno, o teste de *Mann-Whitney* permitiu identificar os veículos que estão na origem daquelas diferenças. No que se refere ao piso de paralelepípedos (P), no qual foram analisados 6 dos 10 modelos de autocarros em estudo, apenas se registaram diferenças significativas relativamente aos valores de aceleração ponderada na direcção vertical ( $z$ ), conforme atesta a informação da tabela 8.6. No pavimento de asfalto recente (AR), as diferenças restringiram-se à direcção lateral ( $y$ ), como se pode verificar pela leitura da tabela 8.7. Apenas no piso de asfalto irregular (AI) se verificou haverem diferenças significativas entre os veículos, no que diz respeito aos valores de aceleração ponderada das três direcções (tabela 8.8).

Tabela 8.5 - Gama de valores, média e desvio padrão de aceleração ponderada (r.m.s.) das direcções x, y e z, obtidos sobre o assento dos diferentes veículos e nos diferentes tipos de piso (AR - Asfalto recente; AI - Asfalto irregular; P - Paralelepípedos).

| Veículo | Piso | $a_{wx} / m s^{-2}$ |       |      | $a_{wy} / m s^{-2}$ |       |      | $a_{wz} / m s^{-2}$ |       |      |
|---------|------|---------------------|-------|------|---------------------|-------|------|---------------------|-------|------|
|         |      | Min-Máx             | Média | d.p. | Min-Máx             | Média | d.p. | Min-Máx             | Média | d.p. |
| A       | AR   | 0,09-0,14           | 0,12  | 0,02 | 0,06-0,26           | 0,12  | 0,07 | 0,27-0,56           | 0,43  | 0,09 |
|         | AI   | 0,05-0,34           | 0,13  | 0,06 | 0,04-0,29           | 0,16  | 0,08 | 0,11-0,66           | 0,36  | 0,16 |
|         | P    | 0,18-0,32           | 0,24  | 0,49 | 0,16-0,23           | 0,20  | 0,03 | 0,31-0,64           | 0,47  | 0,10 |
| B       | AR   | 0,05-0,31           | 0,16  | 0,06 | 0,06-0,32           | 0,16  | 0,06 | 0,10-0,73           | 0,39  | 0,16 |
|         | AI   | 0,10-0,46           | 0,24  | 0,08 | 0,07-0,46           | 0,24  | 0,11 | 0,13-1,52           | 0,67  | 0,34 |
|         | P    | 0,21-0,39           | 0,28  | 0,05 | 0,15-0,34           | 0,25  | 0,06 | 0,37-1,42           | 0,78  | 0,26 |
| C       | AR   | 0,09-0,31           | 0,17  | 0,07 | 0,11-0,53           | 0,22  | 0,10 | 0,12-0,57           | 0,38  | 0,14 |
|         | AI   | 0,15-0,24           | 0,21  | 0,03 | 0,17-0,30           | 0,23  | 0,04 | 0,32-0,99           | 0,60  | 0,23 |
|         | P    | 0,11-0,44           | 0,23  | 0,07 | 0,09-0,44           | 0,23  | 0,06 | 0,14-1,36           | 0,59  | 0,30 |
| D       | AR   | 0,02-0,27           | 0,15  | 0,06 | 0,05-0,24           | 0,13  | 0,05 | 0,08-0,75           | 0,38  | 0,18 |
|         | AI   | 0,06-0,25           | 0,15  | 0,04 | 0,05-0,32           | 0,13  | 0,05 | 0,15-0,86           | 0,43  | 0,16 |
| E       | AI   | 0,01-0,44           | 0,24  | 0,08 | 0,01-0,41           | 0,19  | 0,07 | 0,16-0,50           | 0,33  | 0,08 |
| F       | AR   | 0,01-0,02           | 0,01  | 0,01 | 0,00-0,02           | 0,01  | 0,01 | 0,03-0,32           | 0,18  | 0,20 |
|         | AI   | 0,06-0,29           | 0,16  | 0,12 | 0,08-0,16           | 0,13  | 0,04 | 0,14-0,33           | 0,25  | 0,10 |
| G       | AR   | 0,09-0,20           | 0,14  | 0,04 | 0,03-0,20           | 0,12  | 0,06 | 0,15-0,67           | 0,32  | 0,16 |
|         | AI   | 0,04-0,48           | 0,21  | 0,09 | 0,03-0,5            | 0,22  | 0,11 | 0,15-1,80           | 0,53  | 0,28 |
|         | P    | 0,06-0,29           | 0,21  | 0,09 | 0,06-0,42           | 0,23  | 0,13 | 0,40-0,74           | 0,56  | 0,16 |
| H       | AR   | 0,04-0,22           | 0,12  | 0,04 | 0,04-0,19           | 0,11  | 0,05 | 0,24-0,82           | 0,39  | 0,13 |
|         | AI   | 0,12-0,43           | 0,24  | 0,08 | 0,05-0,27           | 0,16  | 0,07 | 0,14-1,03           | 0,46  | 0,27 |
| I       | AR   | 0,08-0,16           | 0,12  | 0,03 | 0,08-0,19           | 0,14  | 0,04 | 0,08-1,42           | 0,39  | 0,34 |
|         | AI   | 0,07-0,48           | 0,18  | 0,09 | 0,07-0,32           | 0,16  | 0,07 | 0,10-0,98           | 0,36  | 0,20 |
|         | P    | 0,12-0,36           | 0,23  | 0,08 | 0,16-0,42           | 0,26  | 0,08 | 0,18-0,88           | 0,42  | 0,19 |
| J       | AR   | 0,06-0,18           | 0,12  | 0,03 | 0,06-0,46           | 0,21  | 0,12 | 0,10-0,48           | 0,30  | 0,13 |
|         | AI   | 0,10-0,38           | 0,20  | 0,08 | 0,07-0,64           | 0,29  | 0,16 | 0,14-1,33           | 0,52  | 0,29 |
|         | P    | 0,12-0,50           | 0,21  | 0,12 | 0,08-0,44           | 0,23  | 0,12 | 0,18-0,58           | 0,34  | 0,14 |

Tabela 8.6 - Veículos que apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os valores de aceleração ponderada da direcção vertical (z), obtidos sobre os assento, no piso de paralelepípedos (P).

| <b>Veículos</b>    | <b>Z</b> | <b>p</b> |
|--------------------|----------|----------|
| B e I <sup>a</sup> | -2,373   | 0,048    |
| B e J <sup>b</sup> | -2,842   | 0,004    |
| C e J <sup>a</sup> | -2,517   | 0,012    |
| G e J <sup>a</sup> | -2,143   | 0,032    |

<sup>a</sup> diferença significativa para um nível de 0,05<sup>b</sup> diferença significativa para um nível de 0,01

Tabela 8.7 - Veículos que apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os valores de aceleração ponderada da direcção lateral (y), obtidos sobre os assento, no piso de asfalto recente (AR).

| <b>Veículos</b>    | <b>Z</b> | <b>p</b> |
|--------------------|----------|----------|
| C e D <sup>a</sup> | -2,342   | 0,019    |
| C e G <sup>a</sup> | -2,049   | 0,040    |
| C e H <sup>a</sup> | -2,739   | 0,006    |
| C e I <sup>a</sup> | -2,008   | 0,045    |
| H e J <sup>a</sup> | -2,324   | 0,020    |

<sup>a</sup> diferença significativa para um nível de 0,05<sup>b</sup> diferença significativa para um nível de 0,01

Tabela 8.8 - Veículos que apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os valores de aceleração ponderada das três direcções, obtidos sobre os assento, no piso de asfalto irregular (AI).

| <b>Direcção x</b>  |          |          | <b>Direcção y</b>  |          |          | <b>Direcção z</b>  |          |          |
|--------------------|----------|----------|--------------------|----------|----------|--------------------|----------|----------|
| <b>Veículos</b>    | <b>Z</b> | <b>p</b> | <b>Veículos</b>    | <b>Z</b> | <b>p</b> | <b>Veículos</b>    | <b>Z</b> | <b>p</b> |
| A e B <sup>a</sup> | -2,449   | 0,014    | A e B <sup>a</sup> | -2,205   | 0,027    | A e B <sup>a</sup> | -2,449   | 0,014    |
| A e C <sup>a</sup> | -2,309   | 0,021    | A e C <sup>a</sup> | -2,021   | 0,043    | A e G <sup>b</sup> | -2,717   | 0,007    |
| A e E <sup>b</sup> | -2,717   | 0,007    | A e J <sup>a</sup> | -2,038   | 0,042    | A e J <sup>b</sup> | -2,717   | 0,007    |
| A e G <sup>a</sup> | -2,038   | 0,042    | B e D <sup>b</sup> | -2,781   | 0,005    | B e D <sup>b</sup> | -2,635   | 0,008    |
| A e H <sup>a</sup> | -2,558   | 0,011    | B e H <sup>a</sup> | -2,008   | 0,045    | B e E <sup>b</sup> | -2,928   | 0,003    |
| A e I <sup>a</sup> | -2,558   | 0,011    | B e I <sup>a</sup> | -2,191   | 0,028    | B e I <sup>b</sup> | -2,739   | 0,006    |
| A e J <sup>b</sup> | -2,77    | 0,007    | C e D <sup>a</sup> | -2,548   | 0,011    | D e E <sup>b</sup> | -2,731   | 0,006    |
| B e D <sup>b</sup> | -2,928   | 0,003    | D e E <sup>b</sup> | -3,046   | 0,002    | D e G <sup>a</sup> | -1,995   | 0,046    |
| B e I <sup>a</sup> | -2,191   | 0,028    | D e G <sup>a</sup> | -2,310   | 0,021    | E e G <sup>b</sup> | -3,361   | 0,001    |
| C e D <sup>b</sup> | -2,717   | 0,007    | D e I <sup>a</sup> | -2,195   | 0,028    | E e J <sup>b</sup> | -3,361   | 0,001    |
| D e E <sup>b</sup> | -3,361   | 0,001    | D e J <sup>b</sup> | -2,941   | 0,003    | G e I <sup>b</sup> | -2,969   | 0,003    |
| D e G <sup>a</sup> | -2,521   | 0,012    | H e J <sup>a</sup> | -2,453   | 0,014    | I e J <sup>b</sup> | -2,582   | 0,010    |
| D e H <sup>b</sup> | -3,098   | 0,002    | I e J <sup>a</sup> | -2,066   | 0,039    |                    |          |          |
| D e J <sup>b</sup> | -3,046   | 0,002    |                    |          |          |                    |          |          |
| E e I <sup>a</sup> | -2,453   | 0,014    |                    |          |          |                    |          |          |
| H e I <sup>a</sup> | -2,402   | 0,016    |                    |          |          |                    |          |          |
| H e J <sup>a</sup> | -2,066   | 0,039    |                    |          |          |                    |          |          |

<sup>a</sup> diferença significativa para um nível de 0,05<sup>b</sup> diferença significativa para um nível de 0,01

### 8.2.3. Aceleração total ponderada

Como já referido em 8.1, segundo a norma ISO 2631-1 (1997), são possíveis duas abordagens perante o conjunto de três valores de aceleração ponderada obtidos para as diferentes direcções ortogonais: ou se faz a avaliação considerando apenas a direcção que revela valores mais elevados, ou se combinam os três valores obtidos de modo a obter um valor único de aceleração total ponderada, também designada por soma vectorial. No presente caso optou-se pela última via por duas razões principais: 1) tendo-se realizado as medições nas três direcções para determinar qual a mais severa, utilizam-se os três valores disponíveis, obtendo-se valores mais rigorosos, em vez de desperdiçar o trabalho realizado; 2) a comparação dos resultados obtidos pelas duas vias são, na maior parte das vezes, discordantes e apresentam diferenças que se consideram significativas, sobretudo do ponto de vista das consequências que podem advir para os condutores expostos.

Na tabela 8.9 encontram-se os valores médios de aceleração total ponderada, segundo os critérios do conforto e da saúde, obtidos para os diferentes modelos de veículos analisados, e a correspondente representação gráfica é apresentada na figura 8.11.

Tabela 8.9 - Gama de valores, média e desvio padrão de aceleração total ponderada, obtidos sobre o assento dos diferentes veículos, segundo os critérios do conforto e da saúde.

| Veículo | $a_{\text{conforto}} / \text{m s}^{-2}$ |       |      | $a_{\text{saúde}} / \text{m s}^{-2}$ |       |      |
|---------|-----------------------------------------|-------|------|--------------------------------------|-------|------|
|         | Min-Máx                                 | Média | d.p. | Min-Máx                              | Média | d.p. |
| A       | 0,16-0,79                               | 0,46  | 0,15 | 0,34-1,10                            | 0,71  | 0,17 |
| B       | 0,22-1,55                               | 0,69  | 0,30 | 0,43-1,65                            | 0,95  | 0,28 |
| C       | 0,24-1,41                               | 0,64  | 0,26 | 0,54-1,59                            | 0,93  | 0,21 |
| D       | 0,20-0,89                               | 0,47  | 0,16 | 0,22-0,92                            | 0,51  | 0,16 |
| E       | 0,20-0,68                               | 0,46  | 0,10 | 0,24-1,08                            | 0,78  | 0,14 |
| F       | 0,03-0,37                               | 0,28  | 0,14 | 0,04-0,47                            | 0,32  | 0,17 |
| G       | 0,25-1,80                               | 0,61  | 0,26 | 0,41-1,85                            | 0,88  | 0,26 |
| H       | 0,19-1,04                               | 0,49  | 0,20 | 0,23-1,12                            | 0,54  | 0,20 |
| I       | 0,20-1,44                               | 0,47  | 0,23 | 0,44-1,52                            | 0,76  | 0,22 |
| J       | 0,19-1,36                               | 0,55  | 0,25 | 0,25-1,39                            | 0,64  | 0,27 |

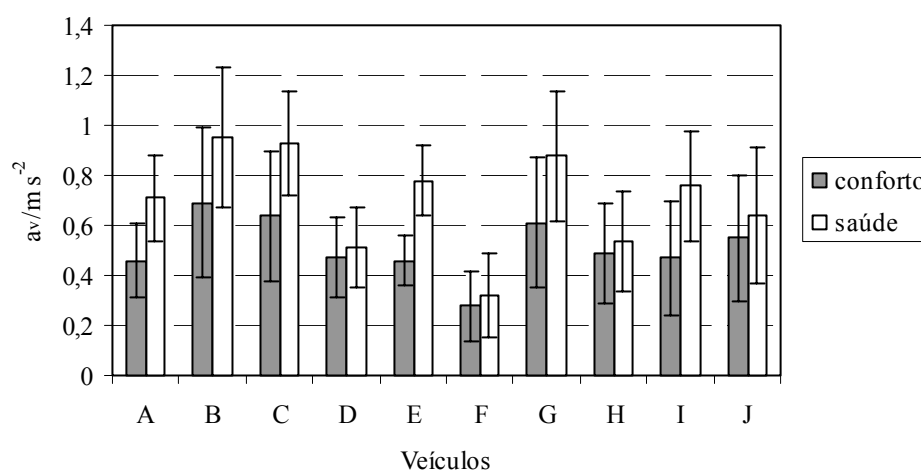


Figura 8.11 – Diferenças entre veículos, no que respeita aos valores de aceleração total ponderada, segundo os critérios do conforto e da saúde.

Os valores de aceleração total ponderada, calculados de acordo com ambos os critérios, revelam um efeito do pavimento, análogo ao constatado para a aceleração ponderada nas três direcções ortogonais: os valores aumentam ao passar-se do pavimento de asfalto recente para o de asfalto irregular, e deste para o de paralelepípedos, como se pode verificar na tabela 8.10 e na figura 8.12.

Tabela 8.10 - Gama de valores, média e desvio padrão de aceleração total ponderada (rms), obtidos sobre o assento nos diferentes pisos (AR - Asfalto recente; AI - Asfalto irregular; P – Paralelepípedos), segundo os critérios de conforto e saúde.

| Piso | N  | $a_{\text{conforto}} / \text{m s}^{-2}$ |       |      | $a_{\text{saúde}} / \text{m s}^{-2}$ |       |      |
|------|----|-----------------------------------------|-------|------|--------------------------------------|-------|------|
|      |    | Min-Máx                                 | Média | D.P. | Min-Máx                              | Média | D.P. |
| AR   | 51 | 0,18-0,85                               | 0,43  | 0,11 | 0,17-0,99                            | 0,59  | 0,15 |
| AI   | 58 | 0,35-0,92                               | 0,56  | 0,14 | 0,41-1,20                            | 0,76  | 0,17 |
| P    | 33 | 0,31-1,03                               | 0,62  | 0,18 | 0,40-1,22                            | 0,86  | 0,22 |

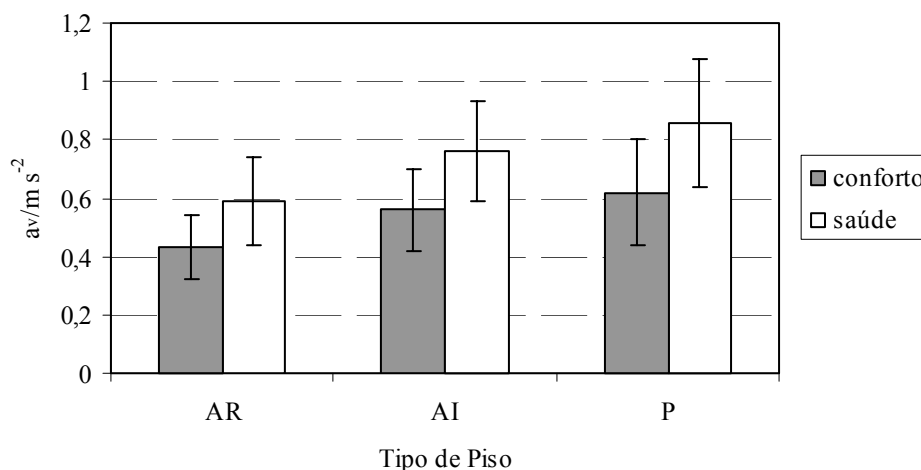


Figura 8.12 – Variação dos valores médios de aceleração total ponderada, segundo os critérios do conforto e da saúde, em função do tipo de piso de circulação (AR - Asfalto recente; AI - Asfalto irregular; P - Paralelepípedos).

Na tabela 8.11 podem observar-se os valores médios de aceleração total ponderada, determinados segundo os dois critérios, e respectivas variações, para cada modelo de veículo, nos três tipos de piso analisados.

O teste de *Kruskal-Wallis* revelou haver diferenças, estatisticamente significativas, entre os veículos no que respeita aos valores de aceleração total ponderada correspondentes ao critério do conforto ( $N=33$ ;  $\chi^2=17,049$ ;  $gl=5$ ;  $p=0,004$ ) e ao critério da saúde ( $N=33$ ;  $\chi^2=18,912$ ;  $gl=5$ ;  $p=0,002$ ), no piso de paralelepípedos. No piso de asfalto recente, apenas se registaram diferenças significativas entre os veículos relativamente à aceleração total ponderada para a saúde ( $N=51$ ;  $\chi^2=36,294$ ;  $gl=8$ ;  $p<0,001$ ), enquanto que no piso de asfalto irregular as diferenças foram significativas para ambos os critérios (saúde:  $N=58$ ;  $\chi^2=42,437$ ;  $gl=9$ ;  $p<0,001$ ; conforto:  $N=58$ ;  $\chi^2=38,607$ ;  $gl=9$ ;  $p<0,001$ ).

À semelhança do que se fez para os valores de aceleração ponderada, o teste de *Mann-Whitney* permitiu identificar os veículos que estão na origem dessas diferenças. As tabelas 8.12 a 8.14 revelam os veículos que apresentaram diferenças significativas entre os valores de aceleração total ponderada, respectivamente nos pisos de paralelepípedos, asfalto irregular e asfalto recente.

Tabela 8.11 - Gama de valores, média e desvio padrão de aceleração total equivalente ( $m s^{-2}$ ), obtidos sobre o assento nos três tipos de pavimento (AR - Asfalto recente; AI - Asfalto irregular; P - Paralelepípedos), segundo os critérios do conforto e da saúde.

| Veículo | Piso | Conforto  |       |      | Saúde     |       |      |
|---------|------|-----------|-------|------|-----------|-------|------|
|         |      | Min-Máx   | Média | d.p. | Min-Máx   | Média | d.p. |
| A       | AR   | 0,32-0,58 | 0,46  | 0,09 | 0,53-0,85 | 0,66  | 0,11 |
|         | AI   | 0,16-0,79 | 0,43  | 0,16 | 0,34-1,10 | 0,69  | 0,18 |
|         | P    | 0,45-0,71 | 0,56  | 0,08 | 0,74-0,97 | 0,85  | 0,08 |
| B       | AR   | 0,24-0,76 | 0,46  | 0,14 | 0,50-0,93 | 0,72  | 0,13 |
|         | AI   | 0,22-1,55 | 0,77  | 0,32 | 0,43-1,65 | 1,03  | 0,30 |
|         | P    | 0,53-1,45 | 0,88  | 0,22 | 0,86-1,57 | 1,12  | 0,18 |
| C       | AR   | 0,49-1,05 | 0,69  | 0,20 | 0,54-1,18 | 0,69  | 0,16 |
|         | AI   | 0,24-0,75 | 0,48  | 0,15 | 0,83-1,25 | 0,96  | 0,14 |
|         | P    | 0,25-1,41 | 0,70  | 0,28 | 0,58-1,59 | 0,97  | 0,22 |
| D       | AR   | 0,20-0,80 | 0,44  | 0,16 | 0,22-0,87 | 0,49  | 0,16 |
|         | AI   | 0,28-0,89 | 0,48  | 0,15 | 0,32-0,92 | 0,53  | 0,15 |
| E       | AI   | 0,20-0,68 | 0,46  | 0,10 | 0,24-1,08 | 0,78  | 0,14 |
| F       | AR   | 0,03-0,32 | 0,18  | 0,20 | 0,04-0,32 | 0,18  | 0,20 |
|         | AI   | 0,32-0,47 | 0,41  | 0,06 | 0,28-1,80 | 0,63  | 0,27 |
| G       | AR   | 0,25-0,67 | 0,39  | 0,13 | 0,53-0,72 | 0,63  | 0,07 |
|         | AI   | 0,28-1,80 | 0,63  | 0,27 | 0,41-1,85 | 0,91  | 0,26 |
|         | P    | 0,53-0,89 | 0,66  | 0,14 | 0,80-1,22 | 0,93  | 0,15 |
| H       | AR   | 0,30-0,87 | 0,43  | 0,13 | 0,33-0,91 | 0,47  | 0,13 |
|         | AI   | 0,19-1,04 | 0,57  | 0,25 | 0,23-1,12 | 0,64  | 0,24 |
| I       | AR   | 0,20-1,44 | 0,45  | 0,31 | 0,44-1,52 | 0,71  | 0,25 |
|         | AI   | 0,21-1,10 | 0,45  | 0,20 | 0,46-1,36 | 0,73  | 0,21 |
|         | P    | 0,38-0,92 | 0,56  | 0,15 | 0,74-1,10 | 0,90  | 0,12 |
| J       | AR   | 0,19-0,58 | 0,41  | 0,11 | 0,25-0,71 | 0,48  | 0,13 |
|         | AI   | 0,24-1,36 | 0,66  | 0,28 | 0,30-1,39 | 0,76  | 0,30 |
|         | P    | 0,31-0,87 | 0,48  | 0,18 | 0,40-1,07 | 0,58  | 0,22 |

Tabela 8.12 - Veículos que apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os valores de aceleração total ponderada, calculados de acordo com os critérios do conforto e da saúde, no piso de paralelepípedos (P).

| Conforto           |        |       | Saúde              |        |       |
|--------------------|--------|-------|--------------------|--------|-------|
| Veículos           | Z      | p     | Veículos           | Z      | p     |
| A e B <sup>a</sup> | -2,449 | 0,014 | A e B <sup>a</sup> | -2,449 | 0,014 |
| B e G <sup>a</sup> | -2,008 | 0,045 | A e J <sup>a</sup> | -2,268 | 0,023 |
| C e J <sup>a</sup> | -2,355 | 0,019 | B e C <sup>a</sup> | -1,984 | 0,047 |
| G e J <sup>a</sup> | -2,286 | 0,022 | C e J <sup>a</sup> | -2,517 | 0,012 |
|                    |        |       | G e J <sup>b</sup> | -2,571 | 0,010 |
|                    |        |       | I e J <sup>b</sup> | -2,571 | 0,010 |

<sup>a</sup> diferença significativa para um nível de 0,05

<sup>b</sup> diferença significativa para um nível de 0,01

Tabela 8.13 - Veículos que apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os valores de aceleração total ponderada, calculados de acordo com os critérios do conforto e da saúde, no piso de asfalto irregular (AI).

| Conforto           |        |       | Saúde              |        |       |
|--------------------|--------|-------|--------------------|--------|-------|
| Veículos           | Z      | p     | Veículos           | Z      | p     |
| A e B <sup>a</sup> | -2,449 | 0,014 | A e B <sup>a</sup> | -2,449 | 0,014 |
| A e C <sup>a</sup> | -2,309 | 0,021 | A e C <sup>a</sup> | -2,309 | 0,021 |
| A e G <sup>b</sup> | -2,717 | 0,007 | A e D <sup>b</sup> | -2,717 | 0,007 |
| A e J <sup>b</sup> | -2,717 | 0,007 | A e E <sup>a</sup> | -2,208 | 0,027 |
| B e C <sup>a</sup> | -2,449 | 0,014 | A e G <sup>b</sup> | -2,717 | 0,007 |
| B e D <sup>b</sup> | -2,928 | 0,003 | B e D <sup>b</sup> | -2,928 | 0,003 |
| B e E <sup>b</sup> | -2,928 | 0,003 | B e E <sup>b</sup> | -2,928 | 0,003 |
| B e I <sup>b</sup> | -2,739 | 0,006 | B e H <sup>b</sup> | -2,739 | 0,006 |
| C e E <sup>a</sup> | -2,208 | 0,027 | B e I <sup>b</sup> | -2,739 | 0,006 |
| D e G <sup>b</sup> | -2,836 | 0,005 | B e J <sup>a</sup> | -2,342 | 0,019 |
| D e J <sup>b</sup> | -2,941 | 0,003 | C e D <sup>b</sup> | -2,717 | 0,007 |
| E e G <sup>b</sup> | -3,361 | 0,001 | C e E <sup>a</sup> | -2,378 | 0,017 |
| E e J <sup>b</sup> | -3,361 | 0,001 | C e H <sup>a</sup> | -2,345 | 0,019 |
| G e I <sup>b</sup> | -3,098 | 0,002 | C e I <sup>a</sup> | -2,345 | 0,019 |
| I e J <sup>b</sup> | -2,969 | 0,003 | D e E <sup>b</sup> | -3,361 | 0,001 |
|                    |        |       | D e G <sup>b</sup> | -3,361 | 0,001 |
|                    |        |       | D e H <sup>a</sup> | -2,195 | 0,028 |
|                    |        |       | D e I <sup>b</sup> | -3,098 | 0,002 |
|                    |        |       | D e J <sup>b</sup> | -3,256 | 0,001 |
|                    |        |       | E e G <sup>b</sup> | -2,731 | 0,006 |
|                    |        |       | G e H <sup>b</sup> | -2,840 | 0,005 |
|                    |        |       | G e I <sup>b</sup> | -2,711 | 0,007 |
|                    |        |       | G e J <sup>a</sup> | -2,205 | 0,027 |

<sup>a</sup> diferença significativa para um nível de 0,05

<sup>b</sup> diferença significativa para um nível de 0,01

Tabela 8.14 - Veículos que apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os valores de aceleração total ponderada, calculados de acordo com o critério da saúde, no piso de asfalto recente (AR).

| Veículos           | Z      | p     |
|--------------------|--------|-------|
| A e C <sup>a</sup> | -1,715 | 0,086 |
| A e D <sup>a</sup> | -2,378 | 0,017 |
| A e H <sup>a</sup> | -2,558 | 0,011 |
| A e J <sup>b</sup> | -2,717 | 0,007 |
| B e D <sup>b</sup> | -2,781 | 0,005 |
| B e H <sup>b</sup> | -2,739 | 0,006 |
| B e J <sup>b</sup> | -2,928 | 0,003 |
| C e D <sup>b</sup> | -2,928 | 0,003 |
| C e G <sup>a</sup> | -2,489 | 0,013 |
| C e H <sup>b</sup> | -2,739 | 0,006 |
| C e J <sup>b</sup> | -2,928 | 0,003 |
| D e G <sup>a</sup> | -2,415 | 0,016 |
| D e I <sup>a</sup> | -2,324 | 0,020 |
| G e H <sup>b</sup> | -3,098 | 0,002 |
| G e J <sup>b</sup> | -2,731 | 0,006 |
| H e I <sup>b</sup> | -2,882 | 0,004 |
| I e J <sup>b</sup> | -2,840 | 0,005 |

<sup>a</sup> diferença significativa para um nível de 0,05

<sup>b</sup> diferença significativa para um nível de 0,01

#### 8.2.4. Transmissibilidade

Em relação à transmissibilidade vibracional do assento, na direcção vertical (z), apresentam-se os valores do factor SEAT obtidos nos diferentes veículos, em circulação nos diferentes tipos de pavimento, bem como a sua variação por banda de terço de oitava.

Por questões técnicas, não foi possível quantificar a transmissibilidade vibracional do assento no modelo Mercedes O405 (veículo G). A tabela 8.15 resume os resultados referentes ao factor SEAT, cuja representação gráfica é apresentada na figura 8.13. Em algumas situações foi possível registar valores superiores à unidade, que traduzem uma ampliação da vibração por parte dos assentos na transmissão ao condutor. Os valores médios mais baixos foram da ordem de 0,67, o que revela uma capacidade máxima dos assentos para atenuar a vibração da ordem dos 33%.

Tabela 8.15 - Gama de valores, média e desvio padrão do factor SEAT, obtidos para a direcção vertical (z), nos diferentes veículos, em circulação nos três tipos de piso (AR - Asfalto recente; AI - Asfalto irregular; P - Paralelepípedos).

| Veículo | AR          |       |       | AI          |       |       | P           |       |       |
|---------|-------------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------------|-------|-------|
|         | Min-Máx     | Média | d.p.  | Min-Máx     | Média | d.p.  | Min-Máx     | Média | d.p.  |
| A       | 0,944-1,126 | 1,035 | 0,129 | 1,026-1,092 | 1,059 | 0,046 | 0,948-1,073 | 1,011 | 0,088 |
| B       | 0,757-0,967 | 0,878 | 0,109 | 0,785-0,908 | 0,857 | 0,064 | 0,802-0,900 | 0,840 | 0,053 |
| C       | 0,590-1,375 | 0,985 | 0,298 | 0,721-1,050 | 0,872 | 0,166 | 0,564-1,689 | 0,920 | 0,272 |
| D       | 0,981-1,126 | 1,053 | 0,102 | 0,909-1,080 | 0,994 | 0,121 | -           | -     | -     |
| E       | -           | -     | -     | 0,974-1,184 | 1,122 | 0,100 | -           | -     | -     |
| F       | 0,584-1,041 | 0,812 | 0,323 | 0,715-1,008 | 0,836 | 0,153 | -           | -     | -     |
| H       | 0,860-0,951 | 0,906 | 0,065 | 0,861-0,914 | 0,887 | 0,037 | -           | 0,850 | -     |
| I       | 0,934-1,122 | 1,019 | 0,095 | 0,882-1,008 | 0,933 | 0,066 | 0,667-0,982 | 0,862 | 0,171 |
| J       | 0,733-1,012 | 0,873 | 0,198 | 0,748-0,827 | 0,788 | 0,056 | 0,720-0,756 | 0,738 | 0,025 |

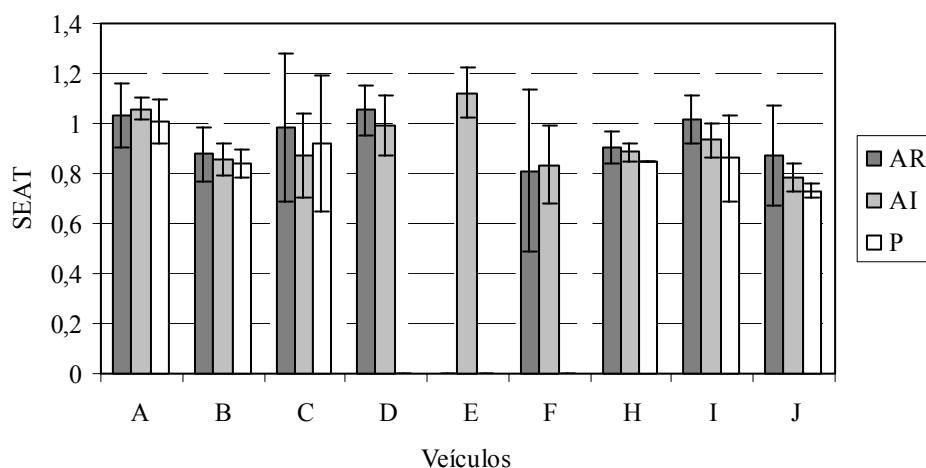


Figura 8.13 – Variação do valor do factor SEAT nos diferentes modelos de veículos, em função do tipo de pavimento de circulação (AR - Asfalto recente; AI - Asfalto irregular; P - Paralelepípedos).

O factor SEAT nem sempre é o melhor indicador das capacidades de um assento, relativamente à atenuação da vibração transmitida, pelo que é conveniente analisar a transmissão vibracional por banda de terço de oitava. Na figura 8.14 está representada a variação da transmissibilidade média por banda de terço de oitava dos modelos de veículos analisados, nos três tipos de piso. É possível constatar uma grande variabilidade na gama de frequências compreendida entre 0,5 e 80 Hz e a ocorrência de valores máximo próximos de 2 e, no extremo oposto, próximos de 0,2.

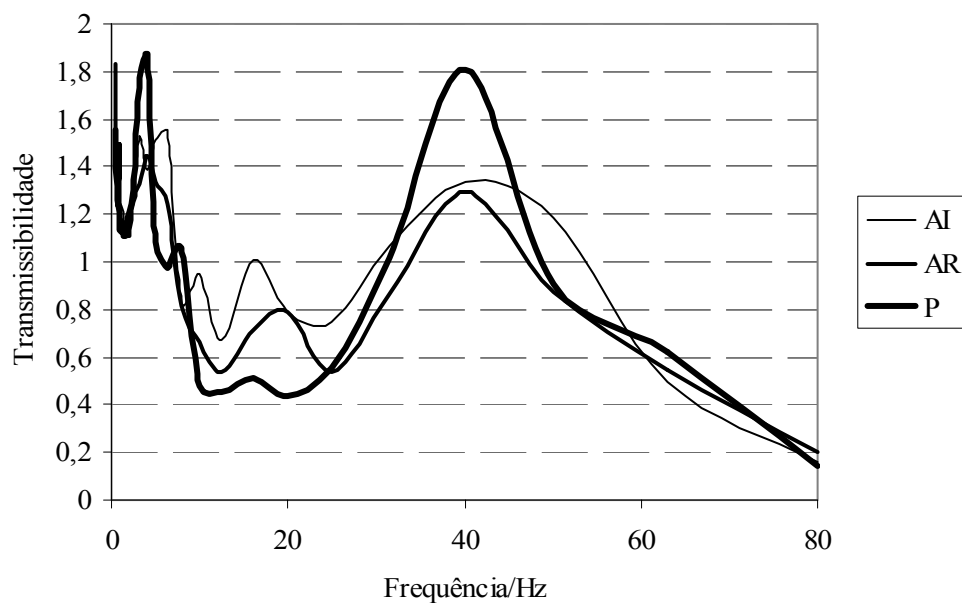


Figura 8.14 - Variação da transmissibilidade vibracional média, na direcção vertical, dos assentos montados nos veículos analisados nos três tipos de piso (AR - Asfalto recente; AI - Asfalto irregular; P – Paralelepípedos), por banda de terço de oitava.

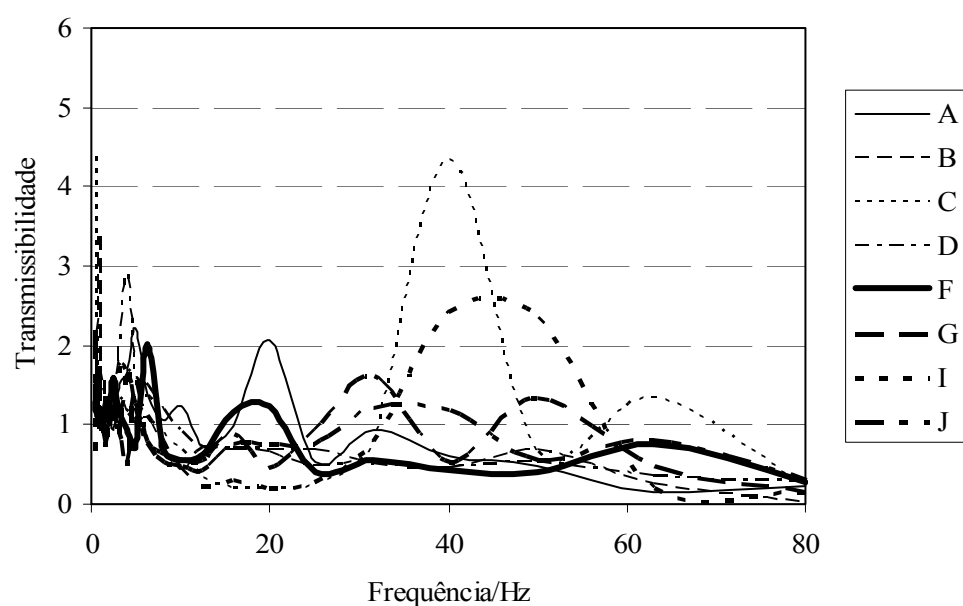


Figura 8.15 - Variação da transmissibilidade vibracional média, na direcção vertical, dos assentos montados nos veículos analisados no piso de asfalto regular (AR), por banda de terço de oitava.

Nas figuras 8.15, 8.16 e 8.17 é possível observar as diferenças de comportamento do mesmo tipo de assento, nos diferentes modelos de veículos,

respectivamente no piso de asfalto recente (AR), asfalto irregular (AI) e paralelepídeos (P).

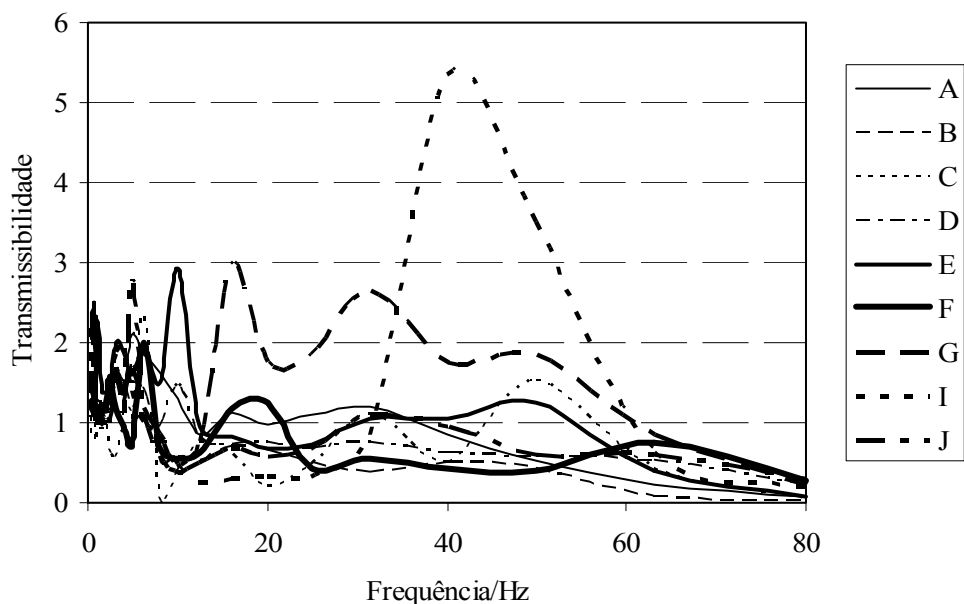


Figura 8.16 - Variação da transmissibilidade vibracional média, na direcção vertical, dos assentos montados nos veículos analisados no piso de asfalto irregular (AI), por banda de terço de oitava.

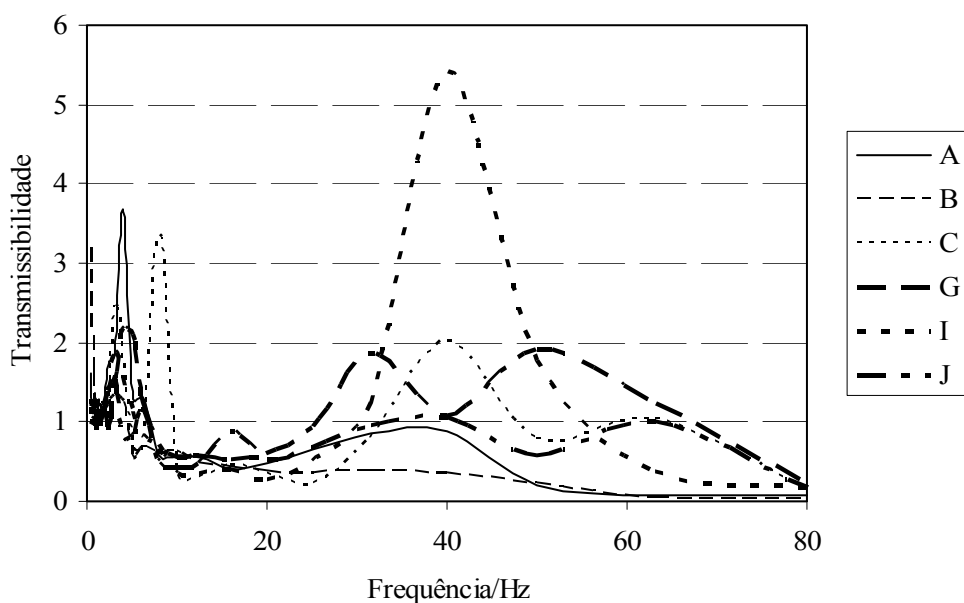


Figura 8.17 - Variação da transmissibilidade vibracional média, na direcção vertical, dos assentos montados nos veículos analisados no piso de paralelepídeos (P), por banda de terço de oitava.

A análise individualizada dos três tipos de pavimento permite constatar que os valores de transmissibilidade, em algumas bandas de terço de oitava e em alguns veículos, atingem níveis muito superiores à unidade, revelando uma elevada incapacidade de atenuação das vibrações por parte do assento.

As representações individualizadas da variação da transmissibilidade por banda de terço de oitava para cada veículo encontram-se compiladas no Anexo III.

### ***8.3. Previsão do nível vibracional***

O estudo dos factores que condicionam a transmissibilidade vibracional ao condutor de autocarros urbanos realizou-se em três fases. Em primeiro lugar, avaliou-se a existência de associações significativas entre aqueles factores e os níveis vibracionais sobre o assento. Numa segunda fase, tentou-se obter modelos de regressão linear múltipla, que permitissem estimar o nível vibracional sobre o assento, a partir do conhecimento daqueles factores. Por fim, validaram-se os modelos obtidos, aplicando-os aos veículos estudados. Introduziram-se os valores das variáveis independentes correspondentes aos veículos e compararam-se os resultados obtidos por esta via com os que se obtiveram pelas medições realizadas. Os resultados da validação são apresentados na discussão dos resultados, em 9.3.1.

#### **8.3.1. Factores condicionantes do nível vibracional**

Avaliou-se a existência de associações entre os níveis vibracionais sobre o assento e sete potenciais factores condicionantes: quatro factores intrínsecos ao condutor (a idade, a altura, o peso e a experiência profissional) e três relacionados com os veículos (a idade, o peso e o comprimento). Os três tipos de pavimento de circulação foram tratados separadamente.

Começando pelos factores associados ao veículo, verificou-se que, no piso de paralelepípedos, apenas existe correlação entre a idade e a aceleração ponderada obtida para direcção  $z$  e com a aceleração total ponderada, tanto com base no critério do conforto como no da saúde. No pavimento recentemente asfaltado, apenas se obteve uma correlação significativa com a aceleração total ponderada, segundo o critério da

saúde, enquanto que no pavimento do asfalto irregular não se registou qualquer tipo de correlação com significado estatístico. Como se pode verificar na tabela 8.16, as correlações obtidas apresentam coeficientes positivos, o que revela que os níveis de aceleração mais elevados, sobre o assento, estão associados aos veículos mais antigos.

Tabela 8.16 - Coeficientes de correlação de Pearson entre aceleração sobre o assento e idade do veículo e níveis de significância correspondentes (AR - Asfalto recente; AI - Asfalto irregular; P - Paralelepípedos).

| Piso | Variável Dependente | Coefficiente de Pearson | p     |
|------|---------------------|-------------------------|-------|
| AR   | $a_{saúde}$         | 0,352 <sup>b</sup>      | 0,010 |
|      | $a_{wz}$            | 0,468 <sup>b</sup>      | 0,006 |
| P    | $a_{saúde}$         | 0,466 <sup>b</sup>      | 0,006 |
|      | $a_{conforto}$      | 0,437 <sup>a</sup>      | 0,011 |

<sup>a</sup> correlação significativa para um nível de 0,05

<sup>b</sup> correlação significativa para um nível de 0,01

Quanto às associações entre a aceleração e o comprimento do veículo, obtiveram-se correlações com significado estatístico de coeficiente negativo, o que significa que o nível vibracional medido sobre o assento diminui à medida que aumenta o comprimento do veículo. No piso de paralelepípedos não se registou nenhuma correlação com significado estatístico.

Tabela 8.17 - Coeficientes de correlação de Pearson entre aceleração e comprimento do veículo e níveis de significância correspondentes (AR - Asfalto recente; AI - Asfalto irregular; P - Paralelepípedos).

| Piso | Variável Dependente | Coefficiente de Pearson | p      |
|------|---------------------|-------------------------|--------|
| AR   | $a_{wy}$            | -0,299 <sup>a</sup>     | 0,033  |
|      | $a_{saúde}$         | -0,508 <sup>b</sup>     | <0,001 |
| AI   | $a_{wx}$            | -0,535 <sup>b</sup>     | <0,001 |
|      | $a_{wy}$            | -0,283 <sup>a</sup>     | 0,031  |
|      | $a_{saúde}$         | -0,522 <sup>b</sup>     | <0,001 |

<sup>a</sup> correlação significativa para um nível de 0,05

<sup>b</sup> correlação significativa para um nível de 0,01

Os resultados referentes às correlações obtidas entre a aceleração e o peso do veículo estão compilados na tabela 8.18. Neste caso, as correlações obtidas com

significado estatístico apresentam coeficientes negativos, o que revela que o nível vibracional sobre o assento diminui à medida que o peso do veículo aumenta.

Tabela 8.18 - Coeficientes de correlação de Pearson entre aceleração e peso do veículo e níveis de significância correspondentes (AR - Asfalto recente; AI - Asfalto irregular; P - Paralelepípedos).

| Piso | Variável Dependente | Coefficiente de Pearson | p      |
|------|---------------------|-------------------------|--------|
| AR   | $a_{wy}$            | -0,341 <sup>a</sup>     | 0,014  |
|      | $a_{saúde}$         | -0,629 <sup>b</sup>     | <0,001 |
| AI   | $a_{wx}$            | -0,511 <sup>b</sup>     | <0,001 |
|      | $a_{saúde}$         | -0,447 <sup>b</sup>     | <0,001 |
| P    | $a_{wz}$            | -0,419 <sup>a</sup>     | 0,015  |
|      | $a_{saúde}$         | -0,364 <sup>a</sup>     | 0,037  |
|      | $a_{conforto}$      | -0,391 <sup>a</sup>     | 0,024  |

<sup>a</sup> correlação significativa para um nível de 0,05

<sup>b</sup> correlação significativa para um nível de 0,01

No que respeita aos factores individuais, ou seja, às características dos condutores, não se verificou qualquer tipo de correlação, estatisticamente significativa, dos níveis vibracionais, nem com a altura nem com o peso. No entanto, quando se considerou a experiência profissional do condutor, verificou-se que este factor tem um efeito negativo ao nível da direcção  $y$ , no pavimento recentemente asfaltado (tabela 8.19). Já no que se refere à direcção vertical e aos valores de aceleração total ponderada, obtiveram-se coeficientes de correlação positivos, indiciando um aumento do nível vibracional há medida que os condutores têm mais experiência.

Tabela 8.19 - Coeficientes de correlação de Pearson entre aceleração e experiência do condutor e níveis de significância correspondentes (AR - Asfalto recente; AI – Asfalto irregular; P - Paralelepípedos).

| Piso | Variável Dependente | Coefficiente de Pearson | p     |
|------|---------------------|-------------------------|-------|
| AR   | $a_{wy}$            | -0,302 <sup>a</sup>     | 0,031 |
| AI   | $a_{wz}$            | 0,402 <sup>b</sup>      | 0,002 |
|      | $a_{conforto}$      | 0,308 <sup>a</sup>      | 0,019 |
| P    | $a_{wz}$            | 0,529 <sup>b</sup>      | 0,002 |
|      | $a_{saúde}$         | 0,428 <sup>a</sup>      | 0,013 |
|      | $a_{conforto}$      | 0,497 <sup>b</sup>      | 0,003 |

<sup>a</sup> correlação significativa para um nível de 0,05

<sup>b</sup> correlação significativa para um nível de 0,01

Finalmente, ao considerar-se a idade do condutor, apenas se obtiveram correlações significativas, do ponto de vista estatístico, e positivas, nos pisos de asfalto irregular e de paralelepípedos.

Tabela 8.20 - Coeficientes de correlação de Pearson entre aceleração e idade do condutor e níveis de significância correspondentes (AR - Asfalto recente; AI – Asfalto irregular; P - Paralelepípedos).

| Piso | Variável Dependente | Coeficiente de Pearson | p     |
|------|---------------------|------------------------|-------|
| AI   | $a_{wz}$            | 0,262 <sup>a</sup>     | 0,047 |
|      | $a_{wz}$            | 0,486 <sup>b</sup>     | 0,004 |
| P    | $a_{saúde}$         | 0,413 <sup>a</sup>     | 0,017 |
|      | $a_{conforto}$      | 0,443 <sup>b</sup>     | 0,010 |

<sup>a</sup> correlação significativa para um nível de 0,05

<sup>b</sup> correlação significativa para um nível de 0,01

### 8.3.2. Modelos previsores do nível vibracional

Nos modelos previsores do nível vibracional desenvolvidos, as variáveis dependentes são a aceleração ponderada sobre o assento, nas direcções  $x$ ,  $y$  e  $z$ , e a aceleração total ponderada, segundo os critérios do conforto e da saúde.

Para o desenvolvimento dos modelos, apenas se consideraram variáveis de rácio com potencial explicativo dos níveis de aceleração sobre o assento. Assim avaliou-se a capacidade explicativa de quatro factores relacionados com o condutor (a idade, a altura, o peso e a experiência profissional) e de três relacionados com os veículos (a idade, o peso e o comprimento). Os três tipos de pavimento de circulação foram tratados separadamente.

Optou-se por apresentar, simultaneamente, os coeficientes parciais estandardizados e não estandardizados dos modelos de regressão obtidos, uma vez que os últimos são mais adequados nas situações em que os factores explicativos não estão expressos nas mesmas unidades.

Para o piso de asfalto recente (AR) apenas se obteve um modelo de regressão linear múltipla, com significado estatístico ( $F_{(2, 48)}=6,690$ ;  $p<0,001$ ), para a direcção  $y$ , baseado na experiência do condutor e no peso do veículo, como se pode verificar na tabela 8.21. A variabilidade destes factores tem uma capacidade explicativa de apenas 21,8% da variabilidade da aceleração ponderada nesta direcção, como se pode confirmar pelo valor do coeficiente de determinação do modelo.

Tabela 8.21 – Modelos de regressão linear múltipla obtidos para a aceleração ponderada das três direcções ortogonais, no pavimento de asfalto recente (N=52).

| Factores                              | Direcção x |         | Direcção y                                                          |         | Direcção z |         |
|---------------------------------------|------------|---------|---------------------------------------------------------------------|---------|------------|---------|
|                                       | b          | $\beta$ | b                                                                   | $\beta$ | b          | $\beta$ |
| Peso do veículo                       | -          | -       | $-6,03 \times 10^{-6}^a$                                            | -0,357  | -          | -       |
| Experiência do condutor               | -          | -       | -0,002 <sup>b</sup>                                                 | -0,319  | -          | -       |
| Constante                             | -          | -       | 0,283 <sup>a</sup>                                                  | -       | -          | -       |
| $\varepsilon$                         | -          | -       | 0,0547                                                              | -       | -          | -       |
| R                                     | -          | -       | 0,467                                                               | -       | -          | -       |
| R <sup>2</sup>                        | -          | -       | 0,218                                                               | -       | -          | -       |
| R <sup>2</sup> <sub>aj</sub>          | -          | -       | 0,185                                                               | -       | -          | -       |
| b – coeficientes não standardizados   |            |         | R <sup>2</sup> – coeficiente de determinação                        |         |            |         |
| $\beta$ – coeficientes standardizados |            |         | R <sup>2</sup> <sub>aj</sub> - coeficiente de determinação ajustado |         |            |         |
| $\varepsilon$ – erro aleatório        |            |         | <sup>a</sup> – Significativo para um nível de 0,01                  |         |            |         |
| R – coeficiente de correlação linear  |            |         | <sup>b</sup> – Significativo para um nível de 0,05                  |         |            |         |

No pavimento de asfalto irregular obtiveram-se modelos, estatisticamente significativos, para as três direcções:  $x$  ( $F_{(1, 56)}=22,474$ ;  $p<0,001$ ),  $y$  ( $F_{(1, 56)}=4,880$ ;  $p<0,05$ ) e  $z$  ( $F_{(1, 56)}=10,787$ ;  $p<0,01$ ). No caso das direcções horizontais, baseados apenas no comprimento do veículo, e para a direcção vertical, apenas na experiência profissional do condutor. Pela observação da tabela 8.22 é possível verificar que cerca de 28,6% da variação da aceleração ponderada na direcção  $x$  é explicada pela variação do comprimento do veículo, enquanto que no caso da direcção  $y$ , este valor passa para apenas 8%. Relativamente à direcção  $z$ , o modelo baseado na experiência do condutor explica cerca de 16,2% da variabilidade da aceleração ponderada.

Tabela 8.22 - Modelos de regressão linear múltipla obtidos para a aceleração ponderada das três direcções ortogonais, no pavimento de asfalto irregular (N=58).

| Factores                              | Direcção x          |         | Direcção y                                                          |         | Direcção z         |         |
|---------------------------------------|---------------------|---------|---------------------------------------------------------------------|---------|--------------------|---------|
|                                       | b                   | $\beta$ | b                                                                   | $\beta$ | b                  | $\beta$ |
| Comprimento do veículo                | -0,008 <sup>a</sup> | -0,535  | -0,007 <sup>b</sup>                                                 | -0,283  | -                  | -       |
| Experiência do condutor               | -                   | -       | -                                                                   | -       | 0,006 <sup>a</sup> | 0,402   |
| Constante                             | 0,301 <sup>a</sup>  | -       | 0,285 <sup>a</sup>                                                  | -       | 0,391 <sup>a</sup> | -       |
| $\varepsilon$                         | 0,0417              | -       | 0,0764                                                              | -       | 0,1281             | -       |
| R                                     | 0,535               | -       | 0,283                                                               | -       | 0,402              | -       |
| R <sup>2</sup>                        | 0,286               | -       | 0,080                                                               | -       | 0,162              | -       |
| R <sup>2</sup> <sub>aj</sub>          | 0,274               | -       | 0,064                                                               | -       | 0,147              | -       |
| b – coeficientes não standardizados   |                     |         | R <sup>2</sup> – coeficiente de determinação                        |         |                    |         |
| $\beta$ – coeficientes standardizados |                     |         | R <sup>2</sup> <sub>aj</sub> - coeficiente de determinação ajustado |         |                    |         |
| $\varepsilon$ – erro aleatório        |                     |         | <sup>a</sup> – Significativo para um nível de 0,01                  |         |                    |         |
| R – coeficiente de correlação linear  |                     |         | <sup>b</sup> – Significativo para um nível de 0,05                  |         |                    |         |

No que concerne ao piso de paralelepípedos, apenas se obteve um modelo, estatisticamente significativo ( $F_{(2, 30)}=15,532$ ;  $p<0,001$ ), para a direcção  $z$ , baseado exclusivamente em factores associados ao veículo: comprimento e peso. Os factores integrados no modelo têm capacidade para explicar cerca de 50,9% da variabilidade da aceleração ponderada naquela direcção.

Tabela 8.23 - Modelos de regressão linear múltipla obtidos para a aceleração ponderada das três direcções ortogonais, no pavimento de paralelepípedos (N=33).

| Factores                               | Direcção $x$ |         | Direcção $y$                                       |         | Direcção $z$        |         |
|----------------------------------------|--------------|---------|----------------------------------------------------|---------|---------------------|---------|
|                                        | $b$          | $\beta$ | $b$                                                | $\beta$ | $b$                 | $\beta$ |
| Comprimento do veículo                 | -            | -       | -                                                  | -       | 0,322 <sup>a</sup>  | 1,999   |
| Peso do veículo                        | -            | -       | -                                                  | -       | 0,000 <sup>a</sup>  | -2,333  |
| Constante                              | -            | -       | -                                                  | -       | -0,217 <sup>c</sup> |         |
| $\varepsilon$                          | -            | -       | -                                                  | -       | 0,1400              |         |
| $R$                                    | -            | -       | -                                                  | -       | 0,713               |         |
| $R^2$                                  | -            | -       | -                                                  | -       | 0,509               |         |
| $R^2_{aj}$                             | -            | -       | -                                                  | -       | 0,476               |         |
| b – coeficientes não estandardizados   |              |         | $R^2$ – coeficiente de determinação                |         |                     |         |
| $\beta$ – coeficientes estandardizados |              |         | $R^2_{aj}$ – coeficiente de determinação ajustado  |         |                     |         |
| $\varepsilon$ – erro aleatório         |              |         | <sup>a</sup> – Significativo para um nível de 0,01 |         |                     |         |
| $R$ – coeficiente de correlação linear |              |         | <sup>c</sup> – Não significativo                   |         |                     |         |

No que se refere aos modelos obtidos para previsão dos valores de aceleração total ponderada, segundo os critérios da saúde e do conforto, apresentam-se os resultados obtidos para os três tipos de piso nas tabelas 8.24 a 8.26.

No piso de asfalto recente, 46,9% da variabilidade da aceleração total ponderada, segundo o critério da saúde, é explicada, simultaneamente, pela idade e pelo peso do autocarro ( $F_{(2, 48)}=21,191$ ;  $p<0,001$ ). Não se obteve um modelo estatisticamente significativo, segundo o critério do conforto.

De acordo com a tabela 8.25, a experiência do condutor tem uma capacidade explicativa de apenas 9,5% da variabilidade da aceleração total ponderada, de acordo com o critério do conforto, no piso de asfalto irregular ( $F_{(1, 56)}=5,877$ ;  $p<0,05$ ). Segundo o critério da saúde, 42,6% da variabilidade da aceleração total ponderada é explicada por três factores ( $F_{(3, 54)}=13,350$ ;  $p<0,001$ ): o comprimento do veículo e a altura e a experiência do condutor.

Tabela 8.24 - Modelos de regressão linear múltipla obtidos para a aceleração total ponderada, segundo os critérios da saúde e do conforto, no pavimento de asfalto recente (N=52).

| Factores                                                            | Conforto |         | Saúde                               |         |
|---------------------------------------------------------------------|----------|---------|-------------------------------------|---------|
|                                                                     | b        | $\beta$ | b                                   | $\beta$ |
| Idade do veículo                                                    | -        | -       | 0,006 <sup>a</sup>                  | 0,275   |
| Peso do veículo                                                     | -        | -       | -2,45x10 <sup>-5</sup> <sup>b</sup> | -0,590  |
| Constante                                                           | -        |         | 1,007 <sup>a</sup>                  |         |
| $\epsilon$                                                          | -        |         | 0,1107                              |         |
| R                                                                   | -        |         | 0,685                               |         |
| R <sup>2</sup>                                                      | -        |         | 0,469                               |         |
| R <sup>2</sup> <sub>aj</sub>                                        | -        |         | 0,447                               |         |
| b – coeficientes não estandardizados                                |          |         |                                     |         |
| $\beta$ – coeficientes estandardizados                              |          |         |                                     |         |
| $\epsilon$ – erro aleatório                                         |          |         |                                     |         |
| R – coeficiente de correlação linear                                |          |         |                                     |         |
| R <sup>2</sup> – coeficiente de determinação                        |          |         |                                     |         |
| R <sup>2</sup> <sub>aj</sub> – coeficiente de determinação ajustado |          |         |                                     |         |
| <sup>a</sup> – Significativo para um nível de 0,01                  |          |         |                                     |         |
| <sup>b</sup> – Significativo para um nível de 0,05                  |          |         |                                     |         |

Tabela 8.25 - Modelos de regressão linear múltipla obtidos para a aceleração total ponderada, segundo os critérios da saúde e do conforto, no pavimento de asfalto irregular (N=58).

| Factores                                                            | Conforto           |       | Saúde               |         |
|---------------------------------------------------------------------|--------------------|-------|---------------------|---------|
|                                                                     | b                  | B     | b                   | $\beta$ |
| Comprimento do veículo                                              | -                  | -     | -0,034 <sup>a</sup> | -0,621  |
| Altura do condutor                                                  | -                  | -     | 0,625 <sup>b</sup>  | 0,242   |
| Experiência do condutor                                             | 0,005 <sup>b</sup> | 0,308 | 0,008 <sup>a</sup>  | 0,429   |
| Constante                                                           | 0,507 <sup>a</sup> |       | 0,004 <sup>c</sup>  |         |
| $\epsilon$                                                          | 0,1322             |       | 0,1335              |         |
| R                                                                   | 0,308              |       | 0,653               |         |
| R <sup>2</sup>                                                      | 0,095              |       | 0,426               |         |
| R <sup>2</sup> <sub>aj</sub>                                        | 0,079              |       | 0,394               |         |
| b – coeficientes não estandardizados                                |                    |       |                     |         |
| $\beta$ – coeficientes estandardizados                              |                    |       |                     |         |
| $\epsilon$ – erro aleatório                                         |                    |       |                     |         |
| R – coeficiente de correlação linear                                |                    |       |                     |         |
| R <sup>2</sup> – coeficiente de determinação                        |                    |       |                     |         |
| R <sup>2</sup> <sub>aj</sub> – coeficiente de determinação ajustado |                    |       |                     |         |
| <sup>a</sup> – Significativo para um nível de 0,01                  |                    |       |                     |         |
| <sup>b</sup> – Significativo para um nível de 0,05                  |                    |       |                     |         |
| <sup>c</sup> – Não significativo                                    |                    |       |                     |         |

A capacidade explicativa da variabilidade da aceleração total ponderada no piso de paralelepípedos restringiu-se aos factores associados ao veículo. O comprimento e o peso do veículo explicam cerca de 51,7% da variabilidade daqueles valores, segundo o critério do conforto ( $F_{(2, 30)}=16,029$ ;  $p<0,001$ ). Relativamente à saúde, a idade do veículo tem uma capacidade explicativa daquela variabilidade que se restringe a 21,7% ( $F_{(1, 31)}=8,582$ ;  $p<0,01$ ).

Tabela 8.26 - Modelos de regressão linear múltipla obtidos para a aceleração total ponderada, segundo os critérios da saúde e do conforto, no pavimento de paralelepípedos (N=33).

| Factores                               | Conforto                                                            |         | Saúde              |         |
|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------|--------------------|---------|
|                                        | b                                                                   | $\beta$ | b                  | $\beta$ |
| Idade do veículo                       | -                                                                   | -       | 0,012 <sup>a</sup> | 0,466   |
| Comprimento do veículo                 | 0,307 <sup>a</sup>                                                  | 2,089   | -                  | -       |
| Peso do veículo                        | 0,000 <sup>a</sup>                                                  | -2,391  | -                  | -       |
| Constante                              | -0,127 <sup>c</sup>                                                 |         | 0,751 <sup>a</sup> |         |
| $\varepsilon$                          | 0,1270                                                              |         | 0,2005             |         |
| R                                      | 0,719                                                               |         | 0,466              |         |
| R <sup>2</sup>                         | 0,517                                                               |         | 0,217              |         |
| R <sup>2</sup> <sub>aj</sub>           | 0,484                                                               |         | 0,192              |         |
| b – coeficientes não estandardizados   | R <sup>2</sup> – coeficiente de determinação                        |         |                    |         |
| $\beta$ – coeficientes estandardizados | R <sup>2</sup> <sub>aj</sub> – coeficiente de determinação ajustado |         |                    |         |
| $\varepsilon$ – erro aleatório         | <sup>a</sup> – Significativo para um nível de 0,01                  |         |                    |         |
| R – coeficiente de correlação linear   | <sup>c</sup> – Não significativo                                    |         |                    |         |

## 9. Discussão dos Resultados

A discussão dos resultados segue as mesmas linhas que orientaram a sua apresentação. Assim, começa-se por analisar as diferenças encontradas entre as metodologias de avaliação da exposição ocupacional a VCI baseadas na aceleração eficaz e definidas na norma ISO 2631-1 (1997). De seguida examinam-se os valores de aceleração ponderada para as três direcções ortogonais e os valores de aceleração total ponderada, calculados de acordo com os critérios do conforto e da saúde. Segue-se a comparação dos valores obtidos para o factor SEAT e dos “espectros” de transmissibilidade. E por fim, a confrontação dos modelos previsores do nível vibracional e discussão acerca dos factores que integram. Esta discussão assenta na comparação dos resultados obtidos, entre si, e na sua confrontação com os resultados apresentados na revisão bibliográfica que integra a parte I deste trabalho.

### *9.1. Metodologia de avaliação da exposição*

De acordo com os resultados de estudos realizados por diversos autores (Balbinot, 2001; Bovenzi & Zadini, 1992; Lewis & Griffin, 1998; Paddan & Griffin, 2002b), a direcção segundo a qual se transmitem as vibrações mais intensas pelo assento dos condutores de autocarros é a vertical (z). Os resultados do presente estudo vêm reforçar aqueles, uma vez que aquela tendência se verificou em 86,8% das 600 medições efectuadas.

Se se considerarem, de facto, os valores mais elevados de aceleração ponderada obtidos sobre o assento, verifica-se que o valor médio das 600 medições efectuadas é de cerca de  $0,46 \text{ m s}^{-2}$  ( $0,01\text{-}1,80 \text{ m s}^{-2}$ ). Uma avaliação da exposição ocupacional a VCI baseada exclusivamente nestes valores, como propõe a norma ISO 2631-1 (1997), parece apresentar, fundamentalmente, três desvantagens: 1) são desprezados os valores obtidos sobre o assento para as outras duas direcções, quando tiveram de ser determinados, de modo a poder ser identificada a direcção mais severa e a avaliar-se o significado estatístico das diferenças entre eles; 2) a avaliação da exposição será suportada por valores menos rigorosos e, certamente, mais baixos, subestimando o risco associado; 3) a partir dessa avaliação serão toleradas exposições de maior duração,

aumentando o risco para o conforto, o desempenho, a saúde e, eventualmente, a própria segurança dos condutores. Neste sentido, tem interesse confrontar estes valores com os que resultam da aplicação dos critérios do conforto e da saúde no cálculo da aceleração total ponderada.

A comparação dos valores de aceleração ponderada correspondentes à direcção mais severa com os de aceleração total ponderada, tanto em relação ao critério do conforto, como ao da saúde, revelou que os últimos são significativamente mais elevados. Em relação ao conforto obteve-se um valor médio de  $0,53 \text{ m s}^{-2}$  (gama de valores:  $0,01\text{-}1,80 \text{ m s}^{-2}$ ) e no caso da saúde,  $0,74 \text{ m s}^{-2}$  (intervalo de valores:  $0,03\text{-}1,85 \text{ m s}^{-2}$ ).

Os valores de aceleração ponderada mais elevados, não só subestimam o risco associado à exposição ocupacional real dos trabalhadores a VCI, como ainda permitem que estes se exponham a um risco acrescido, consentindo um prolongamento do tempo de exposição. Tal facto pode ser confirmado pelo cálculo do tempo de exposição necessário para se atingir o valor de exposição diária normalizada (8 horas) que desencadeia a acção, estabelecido pela directiva comunitária 44/2002/CE, de 25 de Junho de 2002.

Tabela 9.1– Comparação dos tempos de exposição necessários para se atingir o nível de acção diário, calculados com base nos três critérios recomendados pela norma ISO 2631-1(1997).

| Aceleração   | $a_{wm\acute{a}x}$ |         |       | $a_{conforto}$ |         |       | $a_{sa\acute{u}de}$ |         |       |
|--------------|--------------------|---------|-------|----------------|---------|-------|---------------------|---------|-------|
|              | min.               | média   | máx.  | min.           | média   | máx.  | min.                | média   | máx.  |
| <b>Tempo</b> | >24h               | 9h27min | 37min | >24h           | 7h07min | 37min | >24h                | 3h39min | 35min |

De facto, pela leitura da tabela 9.1, verifica-se que os três critérios conduzem a tempos de exposição médios permitidos muito diferentes, com consequências graves para o condutor.

Outra questão relevante, no que concerne à avaliação da exposição ocupacional a VCI, prende-se com as ponderações atribuídas aos valores de aceleração ponderada das três direcções ortogonais, no cálculo da aceleração total ponderada. Verificou-se que a mesma vibração dá origem a valores de aceleração total ponderada mais elevados se se seguirem as recomendações para avaliar o respectivo impacto na saúde. As

diferenças encontradas, relativamente ao critério do conforto, são significativas, rondando, em média, 28,5 % do valor obtido para o caso da saúde, e a sua origem reside nos factores de ponderação de valor igual a 1,4, aplicados às direcções horizontais (x e y). As discrepâncias entre os critérios de avaliação dos riscos para a saúde e para o conforto traduzem o efeito de modificações introduzidas pelos fabricantes nos veículos, no sentido de optimizarem o conforto, e as consequentes repercussões ao nível da saúde (Griffin, 1998). Depreende-se então que a mesma vibração representa maior risco para a saúde do condutor do que para o seu conforto. Deste modo, afigura-se-nos oportuno colocar as seguintes questões:

- Será que estas modificações foram introduzidas em todos os tipos de veículos?
- Será que ao serem introduzidas, estas modificações têm o mesmo impacto nos diferentes tipos de veículos?
- Sendo afirmativas as respostas às questões anteriores, por que razão aqueles coeficientes de ponderação não foram igualmente adoptados pela norma BS 6841 (1987)?

As diferenças encontradas na aplicação dos três métodos de avaliação da exposição ocupacional a VCI na condução de autocarros propostos pela norma ISO 2631-1 (1997) estão de acordo com as que foram apresentadas por diversos autores, quando da sua aplicação a um conjunto mais vasto de veículos (Griffin, 1998; Lewis & Griffin, 1998; McPhee, Foster, & Long, 1998; Paddan & Griffin, 2002b). Perante tais discrepâncias, não se compreende a razão subjacente à escolha da norma ISO 2631-1 (1997) como referência da directiva europeia sobre vibrações, por parte do Parlamento e Conselho europeus.

As duas principais fontes de incerteza presentes nas avaliações, que resultam da aplicação das recomendações da norma ISO 2631-1 (1997), residem nas dúvidas quanto à apreciação das vibrações, sob uma perspectiva unidireccional ou multidireccional, e ao uso de coeficientes de ponderação diferentes para cada uma das três direcções.

Com base no exposto, pode afirmar-se que a hipótese definida em 6.2, de que existem diferenças significativas nos resultados obtidos pela aplicação das metodologias

de avaliação da exposição a VCI, a partir dos valores de aceleração eficaz (rms), propostas pela norma ISO 2631-1 (1997), foi confirmada.

## ***9.2. Exposição ocupacional a vibrações***

Pelas razões enunciadas em 8.1, relativamente à apresentação dos resultados, seguir-se-á a mesma sequência na discussão dos mesmos.

### **9.2.1. Espectros de banda de terço de oitava**

Os veículos com dois eixos apresentam três frequências naturais para as vibrações verticais: uma relacionada com o movimento da carroçaria sobre a sua própria suspensão, outra tem que ver com a interacção entre os eixos propriamente ditos e os pneus e a última tem origem no assento (Ahlin, Granlund, & Lundström, 2000; Sayers & Karamihas, 1998). A frequência natural associada à carroçaria situa-se em torno de 1,0 Hz e vibrações com frequência próxima deste valor são ampliadas de um factor compreendido entre 1,5 e 3. No que se refere à interacção eixos-pneus, a respectiva frequência natural situa-se entre 10 e 15 Hz, o que significa que a estas frequências eles tendem a vibrar mais do que seria esperado. Segundo Burdorf e Swuste (1993), a frequência natural do assento deve situar-se abaixo de 2 Hz.

Os espectros de aceleração eficaz por banda de terço de oitava que se obtiveram confirmam a ocorrência de picos de aceleração em torno de 1 Hz e entre 10 e 15 Hz, nas três direcções ortogonais. Particularmente no que se refere à direcção antero-posterior, verificou-se que a localização do primeiro pico sofreu um deslocamento para frequências superiores ao passar-se do piso de asfalto recente, para o de asfalto irregular, e deste para o de paralelepípedos ( $0,5 < 0,63 < 0,8$  Hz). Nas duas direcções horizontais registou-se ainda a ocorrência de um terceiro pico centrado na banda de terço de oitava de 25 Hz, provavelmente devido ao funcionamento do motor do veículo, tal como sucedeu numa investigação anterior realizada com o modelo C contemplado no presente estudo (Melo, 1999; Melo, 2004). Estas constatações vão ao encontro dos espectros resultantes do estudo realizado por Boileau e Rakheja (2000), descritos no capítulo 3.

Paralelamente, verificou-se que a superioridade dos níveis vibracionais registados na direcção vertical se estendeu até frequências mais elevadas no piso de asfalto recente. Um aumento na irregularidade do perfil do pavimento (expressa por uma diminuição da amplitude e do comprimento de onda) traduziu-se num decréscimo do valor da frequência a que as vibrações horizontais passam a ser dominantes. Relativamente à direcção vertical, a gama de valores de frequência em que ocorrem os níveis vibracionais mais elevados sobrepõe-se ao intervalo em que a susceptibilidade humana é maior (4-9 Hz), constituindo um risco acrescido para os condutores (El-Khatib et al., 1998; Sanders & McCormick, 1993; Wasserman et al., 1997). Balbinot (2001) registou os picos mais intensos para a direcção vertical no intervalo de frequências entre 4 e 8 Hz. Como a maior vulnerabilidade humana face às vibrações horizontais se situa na gama de frequências de 1 a 2 Hz (Griffin, 1990), e estas assumem valores máximos (mas pouco significativos) acima de 6,3 Hz, não se crê que constituam um risco para os trabalhadores em questão.

Analisando o efeito do tipo de piso de circulação nos espectros de aceleração eficaz por banda de terço de oitava, verifica-se que os picos registados se intensificam ao passar do piso de asfalto recente para o de asfalto irregular, e deste para o de paralelepípedos, confirmando que uma diminuição do comprimento de onda associado às irregularidades do pavimento aumenta a intensidade das vibrações que se transmitem aos condutores, nas três direcções ortogonais (Paddan & Griffin, 2002b). Na direcção *z*, este efeito foi mais pronunciado no pico registado a 1,0 Hz, o que pode indiciar alguma ineficácia da suspensão do *chassis* do veículo.

Dos estudos publicados, Balbinot (2001) apenas apresenta os espectros por banda de terço de oitava que obteve para a direcção *z*, em autocarros utilizados no transporte de passageiros. Curiosamente, os espectros obtidos no presente estudo apresentam um andamento semelhante aos do investigador brasileiro. Contudo, os valores de aceleração registados por Balbinot são superiores. As diferenças observadas podem ter que ver com a localização do motor dos veículos (no nosso estudo estava implantado na parte de trás do veículo, enquanto que no estudo brasileiro, a maior parte dos veículos tinha o motor à frente ou a meio) e com o tipo de assento instalado no posto de condução.

### 9.2.2. Aceleração ponderada

Tal como referido em 9.1, a direcção vertical revelou valores superiores, relativamente às duas direcções horizontais, reforçando os resultados de estudos com outro tipo de veículos (Boulanger et al., 1996; Boulanger et al., 1992; Cann et al., 2004; Cann et al., 2003; Chen et al., 2003; Danière et al., 1992; Funakoshi et al., 2004; Hoy et al., 2005; Kumar, 2003, 2004; Maeda & Morioka, 1998; Malchaire et al., 1996; Muzammil et al., 2004; Piette & Malchaire, 1992a, 1992b; Sherwin et al., 2004a) e com autocarros (Boileau & Rakheja, 2000; Bovenzi & Zadini, 1992; Lewis & Griffin, 1998; Melo, 1999; Melo, 2004; Melo & Miguel, 1999; Paddan & Griffin, 2002b).

Na tabela 9.2 é possível verificar que o nosso estudo revelou valores médios de aceleração ponderada, para as direcções horizontais, mais elevados do que os estudos de Bovenzi e Zadini (1992) e de Boileau e Rakheja (2000). Já no que se refere à direcção vertical, os valores registados estão de acordo com os dos outros autores.

Tabela 9.2 – Comparação dos valores de aceleração ponderada obtidos para as três direcções, nos diferentes estudos.

|                                     | $a_{wx} \text{ (m s}^{-2}\text{)}$ | $a_{wy} \text{ (m s}^{-2}\text{)}$ | $a_{wz} \text{ (m s}^{-2}\text{)}$ |
|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| <b>Presente Estudo (2005)</b>       | 0,18<br>(0,01-0,35)                | 0,19<br>(0,01-0,54)                | 0,44<br>(0,15-0,98)                |
| <b>Bovenzi &amp; Zadini (1992)</b>  | 0,09<br>(0,05-0,12)                | 0,10<br>(0,05-0,16)                | 0,39<br>(0,18-0,65)                |
| <b>Lewis &amp; Griffin (1998)</b>   | -<br>-                             | -<br>-                             | 0,51<br>-                          |
| <b>Boileau &amp; Rakheja (2000)</b> | 0,10<br>(0,06-0,15)                | 0,10<br>(0,06-0,16)                | 0,46<br>(0,28-0,76)                |
| <b>Paddan &amp; Griffin (2002a)</b> | -<br>-                             | -<br>-                             | 0,56<br>(0,38-0,89)                |
| <b>Paddan &amp; Griffin (2002b)</b> | -<br>-                             | -<br>-                             | 0,44<br>(0,31-0,65)                |

A passagem do piso de asfalto recente para o de asfalto irregular, e deste para o de paralelepípedos, resultou num aumento da intensidade vibracional média nas três direcções ortogonais, embora de forma mais acentuada no caso da vertical. Esta mudança de pavimento tem associados, não só o surgimento de irregularidades, como também uma diminuição do comprimento de onda associado às mesmas. Segundo Paddan e Griffin (2002b), é expectável que se registem níveis vibracionais mais

elevados em veículos mais antigos e em veículos que se deslocam sobre superfícies mais irregulares.

Ao centrar a atenção na variabilidade dos valores de aceleração ponderada entre veículos, verificou-se que no piso de paralelepípedos, apenas se registaram diferenças significativas na direcção vertical, e no piso de asfalto recente, na direcção lateral. Só no piso de asfalto irregular se verificaram diferenças significativas para as três direcções, provavelmente por o perfil dos troços classificados como AI não serem exactamente iguais, apresentado amplitudes e comprimentos de onda variáveis.

De entre os veículos analisados, verificou-se que, tanto a nível geral, como nos diferentes tipos de piso em que foi testado, o modelo F apresentou menores níveis vibracionais, juntamente com o modelo D. De toda a frota, o primeiro é o que apresenta maior peso (28 ton) e ambos apresentam o maior comprimento (18 m). No piso de paralelepípedos, como não foram testados os modelos D e F, foi o modelo J (mais recente) que revelou melhor desempenho. No extremo oposto, isto é, os veículos em que se registaram maiores níveis de vibração incluíram os modelos A, B, C e E, que são, respectivamente, os mais antigos e os mais pequenos (em comprimento e peso) da frota. Enquanto que o peso do veículo aparenta ser o factor preponderante na redução do nível vibracional transmitido ao condutor, a intensidade daquelas vibrações aumenta, umas vezes, devido à redução das dimensões do veículo, outras devido à antiguidade. Quando não é a Lei de Newton que prevalece, parece ser uma combinação entre a tecnologia utilizada na construção dos veículos, o programa de manutenção a que são submetidos e o desgaste resultante do seu uso a determinar o nível vibracional.

### **9.2.3. Aceleração total ponderada**

A superioridade dos valores de aceleração total ponderada calculados segundo o critério da saúde, face aos do conforto, era expectável, na medida em que na primeira situação se atribuem factores de ponderação de 1,4 às acelerações ponderadas correspondentes às direcções horizontais ( $x$  e  $y$ ), em oposição às ponderações unitárias do segundo critério.

No que diz respeito, particularmente, ao critério do conforto, os valores médios obtidos oscilaram entre 0,28 e 0,69  $\text{m s}^{-2}$ , o que segundo a norma ISO 2631-1 (1997)

induz no condutor uma sensação, que vai desde a ausência de desconforto até um desconforto mediano. Esta comparação assume apenas um carácter indicativo e é feita a título de curiosidade, na medida em que as correspondências entre os níveis vibracionais e as sensações de desconforto produzidas se devem aplicar a passageiros que realizem actividades durante a exposição às VCI e não aos próprios condutores.

Já os valores médios de aceleração total ponderada para avaliação do impacto vibracional ao nível da saúde podem ser comparados com os valores de referência estabelecidos pela directiva europeia sobre vibrações. Os valores médios registados oscilaram entre 0,32 e 0,95  $\text{m s}^{-2}$ , permitindo que os condutores estejam expostos diariamente entre 2h13min e 4h25min, até a exposição atingir o nível que desencadeia a acção (0,5  $\text{m s}^{-2}$ , para um período de referência de 8 horas diárias). Procedendo a cálculos semelhantes, pode verificar-se que até se atingir o limite de exposição diário (1,15  $\text{m s}^{-2}$ ) imposto por aquela mesma directiva, os condutores poderão estar expostos entre 3h25min e 10h10min. É fácil constatar que o primeiro valor de referência é largamente ultrapassado por todos os condutores e o limite de exposição atingido por muitos deles. Mais uma vez se constata que, não só o risco incorrido pelos condutores é diferente, como a possibilidade de se sujeitarem a um nível de risco ainda maior (quantificado pelo tempo de exposição necessário para se atingir um dos valores de referência estabelecidos pela directiva europeia) também é.

A título comparativo, refira-se que Silva e Mendes (2005) registaram um valor de aceleração total ponderada, segundo o critério da saúde, de 0,85  $\text{m s}^{-2}$ , oscilando entre 0,74 e 1,09  $\text{m s}^{-2}$ . Não é possível analisar a diferença em relação aos resultados do nosso estudo, na medida em que os autores não referem nem as características dos veículos que estudaram, nem as condições em que foram realizadas as medições.

Face à diversidade de níveis de risco a que os condutores estão sujeitos, a identificação dos veículos que submetem os condutores a níveis vibracionais mais intensos assume particular importância. Encontram-se nesta situação os modelos B e C, ou seja, um dos veículos mais antigos e um dos veículos mais pequenos. Como se viu, e de acordo com Paddan e Griffin (2002b), é expectável que se registem níveis vibracionais mais elevados em veículos mais antigos, quer pela tecnologia utilizada na sua construção, quer pelo desgaste sofrido ao longo da sua existência. Por outro lado, verificou-se que os menores níveis vibracionais eram transmitidos no modelo F, o mais

pesado. Os valores de aceleração registados nos modelos C e F estão em consonância com a Lei de Newton, que estabelece que perante uma mesma força aplicada a um sistema, a aceleração imprimida é inversamente proporcional à respectiva massa. À semelhança daquilo que se verificou para a aceleração ponderada, foi o modelo mais novo (J) que melhor se comportou no piso de paralelepípedos.

#### **9.2.4. Transmissibilidade**

A quantificação da transmissibilidade através do factor SEAT revelou alguma incapacidade do assento testado em atenuar a vibração transmitida ao condutor, na medida em que se obtiveram valores superiores à unidade, em algumas situações.

Com excepção dos dois modelos mais recentes (I e J), o assento apresentou um comportamento dinâmico médio semelhante nos diferentes tipos de piso. Este facto leva-nos a afirmar que as características do veículo são mais relevantes para o comportamento dinâmico do assento do que as características da superfície de circulação. Ainda assim, e com diferenças pequenas entre os três tipos de piso, foi possível verificar que, de um modo geral, este modelo de assento se comporta melhor em superfícies pavimentadas com paralelepípedos.

A gama de valores obtida para o factor SEAT situou-se entre 0,584 e 1,375, no piso de asfalto recente, entre 0,715 e 1,184, no piso de asfalto irregular e entre 0,564 e 1,689, no piso de paralelepípedos. Por seu turno, Balbinot e Tamagna (2002) registaram valores entre 0,67 e 0,90, entre 0,75 e 0,90 e entre 0,72 e 1,11, respectivamente para aqueles mesmos tipos de pisos. A gama de valores, registada nos três tipos de pavimento no nosso estudo, estendeu-se para além da do estudo brasileiro, o que indicia uma menor uniformidade no comportamento do assento que utilizámos.

Nos modelos de autocarros analisados por Paddan e Griffin (2002b), registou-se um valor médio do factor SEAT de 0,959 (gama de valores: 0,705-1,196), não se fazendo distinção entre condições de medição. Contudo, sabe-se que os veículos foram testados em piso de *Tarmac* e de betão e os assentos apresentavam características diferentes entre si. Separando os resultados por tipo de assento, verificou-se uma melhoria do desempenho ao substituírem-se assentos convencionais (sem suspensão e com enchimento de espuma) por assentos com suspensão: valores médios de 0,962

(gama de valores: 0,418-2,512) e de 0,892 (gama de valores: 0,460-1,199), respectivamente.

Ao analisar o comportamento do assento nos diferentes veículos e nos diferentes pisos, é possível verificar também que o melhor desempenho foi registado no modelo F (o mais comprido e pesado) e no modelo J (o mais recente). Em oposição, o pior desempenho verificou-se no modelo A (o mais antigo de toda a frota), de um modo geral, e também no modelo E (o mais pequeno e menos pesado), no piso de asfalto irregular. Estes resultados vêm corroborar com as considerações feitas a respeito dos valores de aceleração total ponderada. Por outro lado, parece que os “baixos” valores apresentados por esta variável se devem ao comportamento dinâmico do assento e não às características do veículo, propriamente dito. No entanto, a análise da tabela 9.3 permite verificar que o veículo J apresentou valores de aceleração ponderada na base do assento que se encontram entre os mais elevados e, por seu turno, o veículo A apresentou valores muito baixos. Estas observações levam-nos a afirmar que o assento apresenta um bom desempenho no modelo J e um mau desempenho no modelo A.

Tabela 9.3 – Gama de valores, média e desvio padrão da aceleração ponderada obtidos para a direcção vertical (z), na base do assento dos diferentes veículos em circulação nos três tipos de piso (AR – Asfalto recente; AI – Asfalto irregular; P – Paralelepípedos).

| Veículo | AR          |       |       | AI          |       |       | P           |       |       |
|---------|-------------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------------|-------|-------|
|         | Min-Máx     | Média | d.p.  | Min-Máx     | Média | d.p.  | Min-Máx     | Média | d.p.  |
| A       | 0,366-0,384 | 0,374 | 0,009 | 0,282-0,352 | 0,317 | 0,034 | 0,316-0,486 | 0,401 | 0,085 |
| B       | 0,401-0,573 | 0,485 | 0,050 | 0,650-1,072 | 0,916 | 0,134 | 0,746-1,079 | 0,915 | 0,096 |
| C       | 0,145-0,848 | 0,442 | 0,120 | 0,555-1,379 | 0,873 | 0,256 | 0,108-1,611 | 0,724 | 0,102 |
| D       | 0,291-0,490 | 0,390 | 0,099 | 0,375-0,523 | 0,449 | 0,074 | -           | -     | -     |
| E       | -           | -     | -     | 0,281-0,418 | 0,322 | 0,032 | -           | -     | -     |
| F       | 0,058-0,307 | 0,183 | 0,125 | 0,135-0,456 | 0,318 | 0,096 | -           | -     | -     |
| H       | 0,287-0,421 | 0,354 | 0,067 | 0,505-0,603 | 0,554 | 0,049 | -           | 0,497 | -     |
| I       | 0,155-0,389 | 0,285 | 0,069 | 0,333-0,559 | 0,461 | 0,067 | 0,364-0,706 | 0,588 | 0,112 |
| J       | 0,168-0,639 | 0,404 | 0,235 | 0,804-0,826 | 0,815 | 0,011 | 0,606-0,683 | 0,645 | 0,039 |

O factor SEAT, muito utilizado para caracterizar a transmissibilidade vibracional de um assento, parece não traduzir fidedignamente o respectivo comportamento dinâmico, na medida em que é um valor global. A avaliação do

desempenho de qualquer assento, no que diz respeito à sua capacidade de atenuar as vibrações transmitidas ao seu utilizador, deve ser feita por banda de terço de oitava.

Em termos gerais, obtiveram-se valores de transmissibilidade superiores à unidade, entre 0,5 e 6 Hz, voltando a registar-se um pico na banda de terço de oitava centrada na frequência de 40 Hz. Neste sentido, este assento não se revela adequado como meio de protecção do condutor, uma vez que amplia a intensidade das vibrações verticais numa parte da gama de frequências em que a susceptibilidade humana é maior: 4-8 Hz. Balbinot (2001) obteve resultados semelhantes, tendo registado os valores mais elevados de transmissibilidade no intervalo compreendido entre 4 e 9 Hz.

A análise realizada desta forma confirma o melhor desempenho do assento no modelo F, em ambos os pisos de asfalto.

### ***9.3. Previsão do nível vibracional***

Apenas sete factores foram considerados como tendo potencial para serem utilizados na previsão do nível vibracional sobre o assento dos autocarros analisados: três associados ao veículo (comprimento, idade e peso) e quatro associados ao condutor (altura, experiência, idade e peso). A inclusão de factores de natureza qualitativa nominal, apesar de possível pela criação de variáveis artificiais, requer um número de casos muito superior ao conseguido, inviabilizando a aplicação do modelo estatístico de regressão linear (Pestana & Gageiro, 2003). Por este motivo e pelo modo como os testes foram organizados, em vez de se incluir o factor piso nos modelos, tentou-se obter modelos independentes, para cada tipo de piso.

De entre os factores considerados, dois revelaram não estar associados de forma significativa com os valores de aceleração quantificados ao nível do assento dos autocarros analisados: a altura e o peso dos condutores. A razão subjacente a este facto pode ter que ver com a dimensão da amostra de sujeitos e com o próprio *design* experimental, uma vez que os sujeitos podem não ser representativos daquelas duas grandezas e os mesmos condutores foram utilizados para se realizarem medições em mais do que uma condição experimental.

A confirmar as observações feitas relativamente aos valores de aceleração ponderada e de aceleração total ponderada, todos os factores intrínsecos aos veículos considerados revelaram estar associados aos valores de aceleração sobre o assento. Os coeficientes de correlação obtidos também corroboram com os comentários já emitidos, a respeito da variabilidade registada no nível vibracional entre veículos. Nos casos do comprimento e do peso do veículo, obtiveram-se coeficientes negativos, que revelam que o nível vibracional diminui, quando os respectivos valores aumentam, de acordo com a 2ª Lei de Newton. Para a idade do veículo, os coeficientes de correlação apresentaram sinais positivos, indicando que, quanto mais velhos são os autocarros, maiores são os níveis vibracionais transmitidos, pelo desgaste que sofreram, pela tecnologia usada na sua construção e, eventualmente, por uma manutenção deficiente prolongada no tempo.

No que respeita aos factores intrínsecos aos condutores (idade e experiência profissional), os coeficientes de correlação revelaram-se positivos em quase todas as associações verificadas. Este facto contraria a teoria que esteve subjacente à sua selecção para integrarem o rol de factores que seriam testados como tendo potencial explicativo da variação dos níveis vibracionais. Esperava-se que com o envelhecimento e, conseqüentemente, com a experiência profissional, os condutores adoptassem comportamentos preventivos, que lhes permitissem estar expostos a menores intensidades vibracionais, como por exemplo, reduzindo a velocidade de circulação em algumas situações, ou desviando-se de alguns buracos presentes no pavimento. Todavia, estes resultados apontam mais no sentido de a idade e a experiência se traduzirem num excesso de confiança dos condutores, no menosprezo de alguns factores de risco e, eventualmente, numa certa habituação, que leva ao aumento da tolerância.

Independentemente do sinal dos coeficientes de correlação, as associações observadas são consideradas de nível baixo e moderado, de acordo com a classificação apresentada por Pestana e Gageiro (2003).

Para os modelos de regressão linear múltipla, todos os factores intrínsecos ao veículo considerados se revelaram significativos, mas não de um modo concertado. No máximo, dois deles revelaram ter capacidade para explicar a variabilidade da aceleração em conjunto. Já no que se refere aos factores intrínsecos ao condutor, apenas a altura e a experiência se revelaram significativas para a explicação da variabilidade da aceleração.

Curiosamente, não se identificou nenhum tipo de associação entre a altura do condutor e os diferentes valores de aceleração considerados. Assim, os modelos resultantes deste estudo incluem entre um e três factores explicativos.

Nos modelos em que a experiência profissional do condutor se revelou uma variável significativa e com capacidade explicativa da variabilidade da aceleração, os coeficientes correspondentes foram quase todos positivos, indo ao encontro da teoria, já referida, e que serviu de suporte à selecção das variáveis a considerar.

Os modelos apresentados pela equipa de Malchaire (1996) e pela equipa de Chen (2003) basearam-se num número maior de casos do que os da equipa de Cann (2004): 528, 381 e 68-103, respectivamente. O número de variáveis explicativas também foi diferente: 5 no primeiro e no último, e 10 no estudo realizado por Chen e colaboradores (2003). Nos três estudos foram integradas variáveis qualitativas categorizadas, como o tipo de pavimento, o tipo de assento, a marca do veículo e o tipo de pneus, expressas através de variáveis artificiais.

O procedimento de introdução de variáveis qualitativas no modelo de regressão linear múltipla tem o inconveniente de impor a criação de variáveis artificiais em número igual ao número de categorias associadas à variável qualitativa considerada, subtraído de uma unidade. Como a dimensão mínima da amostra requerida para o desenvolvimento do modelo é proporcional ao número de variáveis explicativas que se introduzem no modelo, o número de casos requerido é ainda maior pelo facto de se introduzirem variáveis qualitativas (Pestana & Gageiro, 2003; Tabachnick & Fidell, 1996). Pelo exposto, é legítimo questionar a validade de alguns dos modelos encontrados na bibliografia analisada.

Nos modelos apresentados por Cann et al. (2004), as cinco variáveis independentes integradas explicam a variabilidade da aceleração ponderada nas direcções x, y e z, respectivamente, em 31%, 29% e 44%. No caso da aceleração total ponderada, aquelas mesmas variáveis têm uma capacidade explicativa de 53% da variabilidade. No caso do estudo de Chen et al. (2003) não são referidas as capacidades explicativas dos modelos e Malchaire et al. (1996) obtiveram modelos que explicam entre 68,2 e 71,2% da variabilidade da aceleração ponderada na direcção z, sobre o assento.

A capacidade explicativa dos níveis vibracionais proporcionada pelos nossos modelos varia entre 8 e 51,7%, e tem um valor médio de 29,8%. O piso de circulação dos veículos parece ser um factor relevante, na medida em que não se conseguiram obter modelos para todas as variáveis dependentes nos três tipos de pavimento. Nos casos em que a mesma variável consegue ser explicada em mais do que um dos pisos considerados, os coeficientes correspondentes diferem entre si.

No nosso caso, dois factores importantes não foram considerados, nem controlados: a velocidade de circulação e o número de passageiros transportados. Como é óbvio, numa situação real de transporte de passageiros em ambiente urbano, é impossível controlar estas variáveis. Mas vários estudos revelaram-nas como importantes para o nível vibracional transmitido ao condutor de veículos (Cann et al., 2004; Chen et al., 2003; Malchaire et al., 1996), pelo que poderiam ter aumentado o poder explicativo dos nossos modelos, se tivessem sido incluídas. Por outro lado, os nossos modelos são específicos de cada tipo de piso, enquanto que nos três estudos considerados o tipo de piso era uma das variáveis explicativas dos modelos. A terminar, a forma como as variáveis foram integradas nos modelos pode ter contribuído para as diferenças encontradas, com relação às respectivas capacidades explicativas. Cann et al. (2004) introduziram as cinco variáveis consideradas pelo método *forward*, pelo que todas elas constam do modelo final, enquanto que Chen et al. (2003) e Malchaire et al. (1996) não especificam a metodologia seguida. Neste trabalho usou-se o método *stepwise*, descrito em 7.7, no qual, sempre que uma variável independente é adicionada ao modelo, é analisada a significância de todas as que já foram incluídas, eliminando-se aquelas que não têm uma capacidade explicativa significativa da variável dependente. O processo repete-se até ao momento em que todas as variáveis não introduzidas no modelo não tenham capacidade de explicação significativa e todas as que fazem parte do modelo tenham. Nesta óptica, verificou-se que algumas variáveis têm capacidade explicativa da variabilidade de algumas variáveis dependentes em determinados tipos de piso, mas não noutras condições.

Independentemente da capacidade explicativa das variáveis incluídas no modelo, procedeu-se à validação dos modelos obtidos, determinando as diferenças entre os valores estimados e os níveis reais de vibração no posto de condução.

### 9.3.1. Validação dos modelos previsores dos níveis vibracionais

Para validar os modelos obtidos, aplicaram-se as correspondentes equações aos pares veículo-condutor que integraram o nosso estudo e, posteriormente, compararam-se os valores estimados com os que resultaram das medições efectuadas em situação real de trabalho.

Nas figuras 9.1, 9.2 e 9.3 estão representados os valores obtidos pelas duas vias, nos pisos de asfalto recente, asfalto irregular e paralelepípedos, respectivamente.

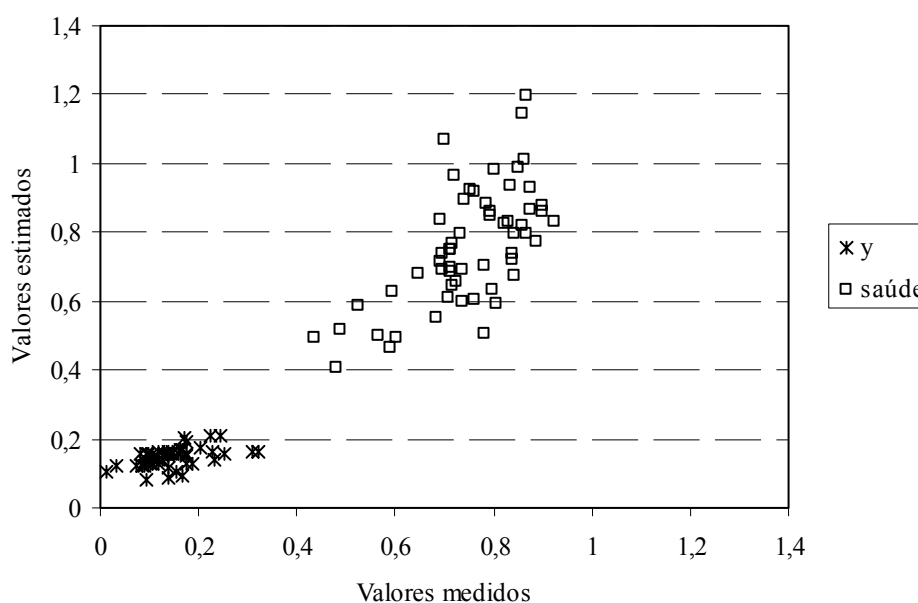


Figura 9.1 – Comparação entre os valores de aceleração ( $\text{m s}^{-2}$ ) obtidos a partir da equação dos modelos obtidos e os valores medidos ( $\text{m s}^{-2}$ ), no piso de asfalto recente.

De um modo geral, os pontos representados nas três figuras não se afastam muito da diagonal, pelo que se pode considerar não existirem grandes diferenças entre valores estimados e valores medidos. No entanto, um olhar mais atento e uma análise estatística dos mesmos revela que em algumas situações as diferenças registadas são significativas.

No caso do piso de paralelepípedos, os pontos relativos aos valores de aceleração ponderada na direcção  $z$  e de aceleração total ponderada, de acordo com o

critério do conforto, estão muito próximos do eixo das ordenadas, revelando diferenças, aparentemente, significativas. As diferenças médias entre as duas categorias de valores estão compiladas na tabela 9.4, bem como o nível de significância correspondente, para cada um dos modelos obtidos.

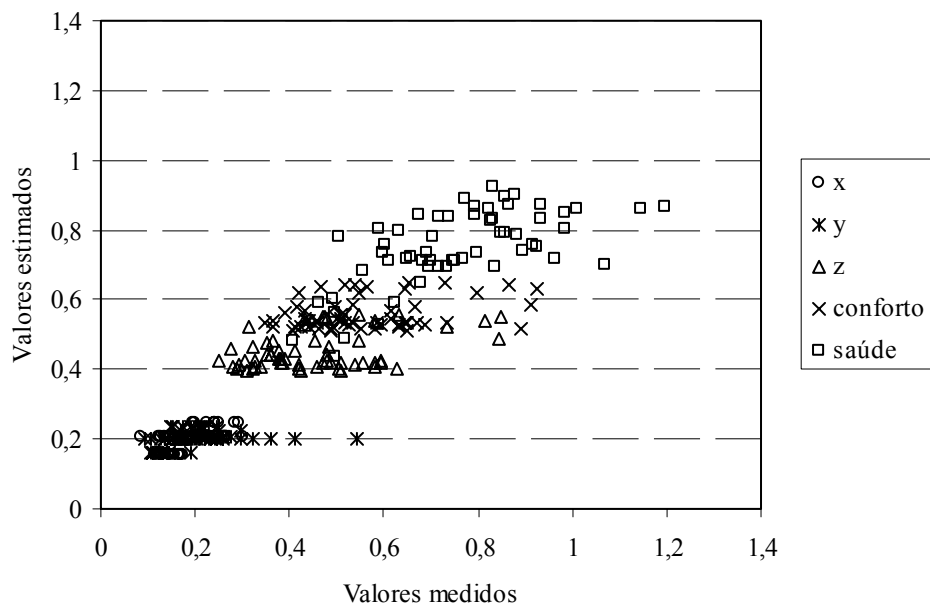


Figura 9.2 - Comparação entre os valores de aceleração ( $\text{m s}^{-2}$ ) obtidos a partir da equação dos modelos obtidos e os valores medidos ( $\text{m s}^{-2}$ ), no piso de asfalto irregular.

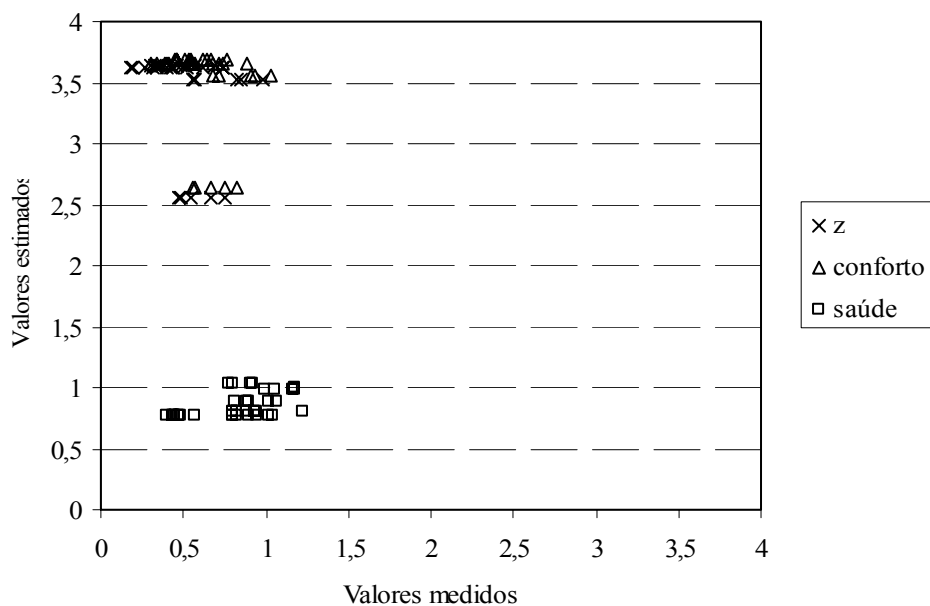


Figura 9.3 - Comparação entre os valores de aceleração ( $\text{m s}^{-2}$ ) obtidos a partir da equação dos modelos obtidos e os valores medidos ( $\text{m s}^{-2}$ ), no piso de paralelepípedos.

Como se pode verificar, apenas a aplicação dos dois modelos atrás referidos resultou em diferenças significativas.

Tabela 9.4 – Diferenças encontradas entre os resultados derivados da aplicação dos modelos obtidos e os resultados das medições realizadas em situação real de condução.

| Piso | Variável dependente | Diferença média | t       | gl | p      |
|------|---------------------|-----------------|---------|----|--------|
| AR   | $a_{wy}^b$          | 0,0020          | -0,261  | 50 | 0,795  |
|      | $a_{saúde}^b$       | 0,0036          | -0,235  | 50 | 0,816  |
| AI   | $a_{wx}^b$          | 0,0040          | -0,743  | 57 | 0,469  |
|      | $a_{wy}^b$          | 0,0016          | -0,160  | 57 | 0,874  |
|      | $a_{wz}^b$          | 0,0038          | 0,228   | 57 | 0,820  |
|      | $a_{conforto}^b$    | 0,0014          | -0,080  | 57 | 0,937  |
|      | $a_{saúde}^b$       | 0,0087          | 0,508   | 57 | 0,613  |
|      | $a_{wz}^a$          | 2,9430          | 35,848  | 32 | <0,001 |
| P    | $a_{conforto}^a$    | 2,8771          | -37,561 | 32 | <0,001 |
|      | $a_{saúde}^b$       | 0,0020          | 0,059   | 32 | 0,953  |

<sup>a</sup> diferença significativa para um nível de 0,01

<sup>b</sup> diferença não significativa

Na sequência destes resultados, avaliou-se a existência de associações entre os valores estimados pelos modelos e os valores resultantes da medição, nos casos em que as diferenças não foram significativas.

De acordo com a classificação proposta por Pestana e Gageiro (2003), as associações identificadas na tabela 9.5 são baixas a moderadas.

Tabela 9.5 – Coeficientes de correlação de Pearson e níveis de significância entre os valores estimados e os valores resultantes da medição.

| Piso | Variável Dependente | Coefficiente de Pearson | p      |
|------|---------------------|-------------------------|--------|
| AR   | $a_{wy}^b$          | 0,467                   | 0,001  |
|      | $a_{saúde}^b$       | 0,685                   | <0,001 |
| AI   | $a_{wx}^b$          | 0,535                   | <0,001 |
|      | $a_{wy}^a$          | 0,283                   | 0,031  |
|      | $a_{wz}^b$          | 0,402                   | 0,002  |
|      | $a_{conforto}^a$    | 0,308                   | 0,019  |
|      | $a_{saúde}^b$       | 0,652                   | <0,001 |
| P    | $a_{saúde}^b$       | 0,466                   | 0,006  |

<sup>a</sup> correlação significativa para um nível de 0,05

<sup>b</sup> correlação significativa para um nível de 0,01

Pelo exposto, considera-se que apenas os dois modelos referidos não se revelaram como válidos, apesar dos restantes terem uma capacidade explicativa limitada dos níveis vibracionais sobre os assentos de autocarros de transporte de passageiro em ambiente urbano.

## **10. Considerações Finais**

Para encerrar, apresentam-se as principais conclusões deste trabalho, reforçando-se os resultados mais relevantes. Por fim, a partir das limitações do estudo realizado, são traçadas algumas perspectivas de continuidade da investigação neste domínio.

### ***10.1. Conclusões***

Este trabalho permitiu estudar a exposição ocupacional a VCI durante a condução de autocarros de transporte de passageiros em ambiente urbano e alguns dos factores que determinam o nível vibracional sobre o assento do posto de condução. Uma das mais valias do estudo reside no facto de ter possibilitado a criação de conhecimento pertinente a este respeito, na medida em que os dados referentes a situações reais de exposição ainda são escassos na literatura específica da área.

Nesta perspectiva, pode afirmar-se que se fez uma caracterização da exposição ocupacional dos condutores de autocarros urbanos a VCI, confrontando metodologias de avaliação diferentes, baseadas no valor de aceleração eficaz. Ficou demonstrado que tais metodologias estão na origem de avaliações diferentes, que, em alguns casos, resultam numa subestimação do risco incorrido pelos condutores e, inclusivamente, permitem exposições mais prolongadas, agravando a situação. A norma ISO 2631-1 (1997) necessita de ser revista e a sua utilização requer precaução.

De qualquer forma, ficou demonstrado que a maior parte dos condutores de autocarros urbanos estão expostos a níveis vibracionais que exigem o desencadeamento de acções de controlo, e alguns deles podem, inclusivamente, ultrapassar o limite de exposição diário estabelecido pela directiva 44/2002/CE, de 25 de Junho de 2002.

Os espectros de aceleração eficaz permitiram identificar, para as três direcções ortogonais, picos característicos da vibração em trono de 1 Hz, devidos à suspensão do *chassis*, e entre 10 e 15 Hz, relativos aos próprios pneus. Por outro lado, ao passar-se do piso de asfalto recente, para o de asfalto irregular, e deste para o de paralelepípedos,

registou-se um estreitamento da gama de frequências em que a intensidade vibracional na direcção  $z$  é superior à das outras duas.

Para a maior parte das situações contempladas, a direcção vertical apresentou-se como a mais severa para o condutor deste tipo de veículo. Consequentemente, o valor de aceleração total ponderada sobre o assento foi dominado pelo valor de aceleração ponderada correspondente a esta direcção.

De um modo geral, verificou-se que a intensidade das vibrações transmitidas pelo assento aumenta ao passar-se de uma estrada recentemente asfaltada para uma de asfalto irregular, e desta para uma pavimentada com paralelepípedos, pelo que se pode concluir que o tipo de irregularidade do pavimento (amplitude e comprimento de onda) tem um papel relevante no controlo do nível vibracional a que os condutores dos autocarros urbanos são submetidos.

Relativamente ao comportamento dos veículos, foi nos modelos de maiores dimensões, mais pesados e mais recentes que se registaram menores níveis vibracionais sobre o assento do posto de condução. Pelo contrário, os modelos mais leves, de menores dimensões e mais antigos proporcionaram níveis de exposição vibracional mais elevados aos condutores.

O factor SEAT revelou não ser, muitas vezes, o melhor parâmetro para avaliar a capacidade do assento para atenuar a vibração transmitida ao respectivo utilizador, visto tratar-se de uma grandeza global que não diferencia as gamas de frequência que potencialmente são prejudiciais para o Homem. Parece-nos mais adequado avaliar o desempenho de um assento em ambiente dinâmico pela variação da transmissibilidade em função da frequência (por banda de terço de oitava). Neste sentido, foi possível verificar que, nas situações analisadas, a transmissibilidade vertical é superior à unidade (o que reflecte uma ampliação vibracional por parte do assento) entre 0,5 e 6 Hz, pondo em risco o condutor, na medida em que este intervalo se sobrepõe à gama de frequências de maior susceptibilidade para o ser humano. De um modo geral, o assento apresentou um aumento da capacidade de atenuação da vibração ao passar-se do piso de asfalto recente para o de asfalto irregular, e deste para o de paralelepípedos.

Foram identificadas duas categorias de factores com capacidade explicativa da variabilidade dos valores de aceleração sobre o assento do posto de condução dos

autocarros urbanos: factores intrínsecos e extrínsecos ao condutor. Do primeiro grupo, apenas se revelaram significativos a altura e a experiência do condutor, ficando de fora o peso e a idade. Relativamente ao segundo grupo, o comprimento, a idade e o peso do veículo, juntamente com o tipo de piso de circulação, foram identificados como sendo significativos. Com estes factores conseguiram obter-se modelos de regressão linear múltipla válidos e com capacidade explicativa da variabilidade dos níveis vibracionais entre 8 e 51,7%.

A diversidade de valores de aceleração registados sugere que a exposição ocupacional a VCI na condução de autocarros em ambiente rodoviário urbano pode ser minimizada pela selecção criteriosa do veículo e controlo das condições de operação, nomeadamente, ao nível do perfil do pavimento.

### ***10.2. Limitações do estudo e perspectivas de continuidade***

Partindo da análise das limitações encontradas no presente estudo, é possível perspectivar a continuidade desta investigação, no sentido de aprofundar algumas das questões colocadas quando da formulação do problema, e de responder a outras que foram surgindo ao longo da sua realização, com o intuito de se adquirir conhecimento com vista à melhoria das condições de trabalho dos condutores deste e de outro tipo de veículo e à concepção de veículos potencialmente menos perigosos para os utilizadores.

Uma questão fundamental prende-se com a dimensão da amostra, tanto de condutores como de veículos, e por duas razões principais: por um lado, pela necessidade de um número de casos relativamente elevado imposta pelo modelo de regressão linear múltipla, por outro, pelas limitações que a dimensão da amostra tem no desenho experimental. Deste modo, conseguir-se-iam incluir veículos de outras marcas, na medida em que apenas quatro foram contempladas no nosso estudo, e outros modelos (a Volvo esteve bem representada, ao contrário das outras marcas). A eliminação da necessidade de repetir medições com os mesmos sujeitos e veículos, nos diferentes tipos de pavimento, possibilitaria a inclusão desta variável nos modelos, em vez de se determinarem modelos individualizados para cada tipo de piso de circulação. Concomitantemente, seria viável abarcar outras variáveis de natureza qualitativa, pelos motivos já referidos na discussão dos resultados. A título de exemplo podem citar-se o

tipo de pneu e o tipo de suspensão do assento. Neste sentido, seria aconselhável testar vários tipos de assento e de pneus nos diferentes modelos de veículos. Contudo, este procedimento pode ser impraticável em situação real de trabalho e/ou onerar a investigação, correndo-se o risco de ser inviabilizada.

Vários autores referiram o facto de a velocidade de circulação ser um factor de relevo no controlo do nível vibracional transmitido ao condutor de um veículo, pelo que deveria vir a ser considerada e controlada em estudos futuros. O mesmo pode ser dito com relação ao número de passageiros transportados e à sua própria localização no interior do veículo. Mas, uma vez mais, o controlo destas variáveis em situação real de transporte de passageiros é impraticável. A questão poderá ser ultrapassada realizando-se, em paralelo, simulações do transporte de passageiros, em recintos concebidos para o efeito.

Ainda com relação às variáveis a serem controladas, parece-nos que a idade do veículo se traduz mais fidedignamente pelo número de quilómetros percorridos até ao momento da avaliação, do que pela data de entrada ao serviço da empresa.

Estando provada a relação existente entre o nível de desconforto sentido pelo utilizador de um assento e a distribuição de pressões ao nível das nádegas e tecidos adjacentes, teria interesse estudar a relação entre a variação das características vibracionais naquele ponto e as variações registadas na distribuição de pressão. Foram já realizados alguns ensaios com resultados interessantes, mas que necessitam ser estendidos a outro tipo de veículos e a uma amostra de maiores dimensões.

Uma vez que aquilo que está subjacente a este tipo de estudo é a optimização das condições de trabalho dos condutores, segundo critérios de conforto, eficácia, saúde e segurança, assume particular importância a continuação de estudos acerca da relação entre a exposição a VCI e a manifestação de sinais e sintomas de natureza músculo-esquelética, nomeadamente ao nível da coluna vertebral.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**



## Referências Bibliográficas

- Ahlin, K., Granlund, J., & Lundström, R. (2000). *Whole-body vibration when riding on rough roads*. (Report n. 31E). Borlange, Sweden: Swedish National Road Administration.
- Ahlin, K., & Granlund, N. O. J. (2002). Relating Road Roughness and Vehicle Speeds to Human Whole Body Vibration and Exposure Limits. *International Journal of Pavement Engineering*, 3(4), 207-216.
- Almeida, G. (2002). *Sistema internacional de unidades (SI) - Grandezas e unidades físicas: terminologia, símbolos e recomendações*. (3ª ed.). Lisboa: Plátano Editora, S.A.
- Andreoni, G., Santambrogio, G. C., Rabuffetti, M., & Pedotti, A. (2002). Method for the analysis of posture and interface pressure of car drivers. *Applied Ergonomics*, 33(6), 511-522.
- Balbinot, A. (2001). *Caracterização dos níveis de vibração em motoristas de ônibus: um enfoque no conforto e na saúde*. Unpublished PhD Thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.
- Balbinot, A., & Tamagna, A. (2001). *Caracterização dos níveis de vibração em ônibus urbanos*. Paper presented at the X Congresso e Exposição Internacionais da Tecnologia da Mobilidade, São Paulo, Brazil.
- Balbinot, A., & Tamagna, A. (2002). Avaliação da transmissibilidade da vibração em bancos de motoristas de ônibus urbanos: um enfoque no conforto e na saúde. *Revista Brasileira de Engenharia Biomédica*, 18(1), 31-38.
- Balbinot, A., Tamagna, A., & Bagesteiro, L. B. (2000). *A study of the vibration levels on urban buses in Porto Alegre - Brazil*. Paper presented at the 2nd International Conference on Whole-body Vibration Injuries, Siena, Italy.
- Battié, M. C., Videman, T., Gibbons, L. E., Manninen, H., Gill, K., Pope, M., & Kaprio, J. (2002). Occupational driving and lumbar disc degeneration: a case-control study. *The Lancet*, 360(9343), 1369-1374.
- Bernard, B. P., & Fine, L. J. (Eds.). (1997). *Musculoskeletal disorders and workplace factors: a critical review of epidemiologic evidence for work-related musculoskeletal disorders of the neck, upper extremity, and low back*. Cincinnati (OH) USA: U.S. Department of Health and Human Services - Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH).
- Blüthner, R., Hinz, B., Menzel, G., & Seidel, H. (1993). Back muscle response to transient whole-body vibration. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 12(1-2), 49-59.
- Boileau, P.-É. (2002). L'exposition à des vibrations globales du corps et son rôle dans l'étiologie des maux de dos. *Travail et Santé*, 18(1), 31-35.

- Boileau, P.-É., Boutin, J., & Marcotte, P. (2003, 25-26 Octobre). *Caractérisation de l'exposition à des vibrations globales du corps dans les loges des opérateurs du métro de Montréal*. Paper presented at the 2<sup>ème</sup> Congrès National de l'Association Canadienne de Recherche en Santé au Travail, Montréal, Canada.
- Boileau, P.-É., & Rakheja, S. (1998). Whole-body vertical biodynamic response characteristics of the seated vehicle driver: measurement and model development. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 22(6), 449-472.
- Boileau, P.-É., & Rakheja, S. (2000). *Caractérisation de l'environnement vibratoire dans différentes catégories de véhicules: industriels, utilitaires et de transport urbain*. (R-242). Montréal: Institut de Recherche en Santé et en Sécurité du Travail du Québec.
- Boileau, P.-É., Rakheja, S., & Liu, P. J. (1997). A combined suspension seat-vehicle driver model for estimating the exposure to whole-body vehicular vibration and shock. *Heavy Vehicle Systems, International Journal of Vehicle Design*, 4(2-4), 244-265.
- Bongers, P. M., Boshuizen, H. C., Hulshof, C. T. J., & Koemeester, A. P. (1988). Back disorders in crane operators exposed to whole-body vibration. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 60(2), 129-137.
- Bongers, P. M., Hulshof, C. T. J., Dijkstra, L., & Boshuizen, H. C. (1990). Back pain and exposure to whole-body vibration in helicopter pilots. *Ergonomics*, 33(8), 1007-1026.
- Bonney, R. A., & Corlett, E. N. (2003). Vibration and spinal lengthening in simulated vehicle driving. *Applied Ergonomics*, 34(2), 195-200.
- Bosco, C., Iacovelli, M., Tsarpela, O., Cardinale, M., Bonifazi, M., Tihanyi, J., Viru, M., De-Lorenzo, A., & Viru, A. (2000). Hormonal responses to whole-body vibration in men. *European Journal of Applied Physiology*, 81(6), 449-454.
- Boshuizen, H. C., Bongers, P. M., & Hulshof, C. T. J. (1990a). Back disorders and occupational exposure to whole-body vibration. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 6(1), 55-59.
- Boshuizen, H. C., Bongers, P. M., & Hulshof, C. T. J. (1990b). Self-reported back pain in tractor drivers exposed to whole-body vibration. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 62, 109-115.
- Boshuizen, H. C., Bongers, P. M., & Hulshof, C. T. J. (1992). Self-reported back pain in fork-lift and freight-container tractor drivers exposed to whole-body vibration. *Spine*, 17(1), 59-65.
- Boulanger, P., Donati, P., & Galmiche, J. P. (1996). L'environnement vibratoire aux postes de conduite des mini-engins de chantier. *Cahiers de Notes Documentaires - Sécurité et Hygiène du Travail*, 162, 33-39.
- Boulanger, P., Donati, P., Galmiche, J. P., Christ, E., & Kaulbars, U. (1992). L'environnement vibratoire au poste de conduite des camions. *Cahiers de Notes Documentaires - Sécurité et Hygiène du Travail*, 146, 35-42.

- Bovenzi, M., & Betta, A. (1994). Low-back disorders in agricultural tractor drivers exposed to whole-body vibration and postural stress. *Applied Ergonomics*, 25(4), 231-241.
- Bovenzi, M., & Hulshof, C. T. J. (1998). An update review of epidemiologic studies on the relationship between exposure to whole-body vibration and low back pain. *Journal of Sound and Vibration*, 215(4), 595-611.
- Bovenzi, M., & Hulshof, C. T. J. (1999a). An updated review of epidemiologic studies on the relationship between exposure to whole-body vibration and low back pain (1986-1997). *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 72(6), 351-365.
- Bovenzi, M., & Hulshof, C. T. J. (1999b). An updated review of epidemiologic studies on the relationship between exposure to whole-body vibration and low back pain. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 72(6), 351-365.
- Bovenzi, M., Pinto, I., & Stacchini, N. (2002). Low back pain in port machinery operators. *Journal of Sound and Vibration*, 253(1), 3-20.
- Bovenzi, M., & Zadini, A. (1992). Self-reported low back symptoms in urban bus drivers exposed to whole-body vibration. *Spine*, 17(9), 1048-1059.
- Bruyere, O., Wuidart, M. A., di Palma, E., Gourlay, M., Etghen, O., Richy, F., & Reginster, J. Y. (2003). Controlled whole body vibration to decrease fall risk and improve health related quality of life in elderly patients. *Osteoporosis International*, 14(Suppl. 7), S63-S63.
- Bruyere, O., Wuidart, M. A., di Palma, E., Gourlay, M., Ethgen, O., Richy, F., & Reginster, J.-Y. (2005). Controlled whole body vibration to decrease fall risk and improve health-related quality of life of nursing home residents. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 86(2), 303-307.
- Burdorf, A., & Swuste, P. (1993). The effect of seat suspension on exposure to whole-body vibration of professional drivers. *The Annals of Occupational Hygiene*, 37(1), 45-55.
- Burdorf, A., & Zondervan, H. (1990). An epidemiological study of low-back pain in crane operators. *Ergonomics*, 33(8), 981-987.
- Cann, A. P., Salmoni, A. W., & Eger, T. R. (2004). Predictors of whole-body vibration exposure experienced by highway transport truck operators. *Ergonomics*, 47(13), 1432-1453.
- Cann, A. P., Salmoni, A. W., Vi, P., & Eger, T. R. (2003). An exploratory study of whole-body vibration exposure and dose while operating heavy equipment in the construction industry. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, 18(12), 999-1005.
- Cardinale, M., & Pope, M. H. (2003). The effects of whole body vibration on humans: dangerous or advantageous? *Acta of Physiology Hung.*, 90(3), 195-206.

- Chaffin, D. B., & Andersson, G. B. J. (1991). *Occupational Biomechanics*. (2nd ed.). New York: John Wiley & Sons.
- Chen, J. C. (2002). *Whole body vibration and musculoskeletal disorders in urban taxi drivers*. Unpublished PhD Thesis, Harvard College, Boston, USA.
- Chen, J. C., Chang, W. R., Shih, T. S., Chen, C. J., Chang, W. P., Dennerlein, J. T., Ryan, L. M., & Christiani, D. C. (2003). Predictors of whole-body vibration levels among urban taxi drivers. *Ergonomics*, 46(11), 1075 - 1090.
- Chen, J. C., Chang, W. R., Shih, T. S., Chen, C. J., Chang, W. P., Dennerlein, J. T., Ryan, L. M., & Christiani, D. C. (2004). Using "exposure prediction rules" for exposure assessment - An example on whole-body vibration in taxi drivers. *Epidemiology*, 15(3), 293-299.
- Cho, Y., & Yoon, Y.-S. (2001). Biomechanical model of human on seat with backrest for evaluating ride quality. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 27(5), 331-345.
- Cornelius, K. M., Redfern, M. S., & Steiner, L. J. (1994). Postural stability after whole-body vibration exposure. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 13(4), 343-351.
- Cronin, J. B., Oliver, M., & McNair, P. J. (2004). Muscle stiffness and injury effects of whole body vibration. *Physical Therapy in Sport*, 5(2), 68-74.
- Crutchfield, C. D., & Sparks, S. T. (1991). Effects of noise and vibration on farm workers. *Occupational Medicine*, 6(3), 355-369.
- Cullmann, A., & Wölfel, H. P. (2001). Design of an active vibration dummy of sitting man. *Clinical Biomechanics*, 16(Suppl 1), S64-S72.
- Danière, P., Boulanger, P., Donati, P., & Galmiche, J. P. (1992). Environnement acoustique et vibratoire aux postes de conduite des chariots élévateurs. *Cahiers de Notes Documentaires - Sécurité et Hygiène du Travail*, 148, 345-358.
- Danière, P., Robinet, D., Sueur, J., Boulanger, P., Donati, P., Galmiche, J. P., & Roure, L. (1987). L'environnement acoustique et vibratoire aux postes de conduite des engins de terrassement. *Cahiers de Notes Documentaires - Sécurité et Hygiène du Travail*, 126, 63-73.
- Danjard, E. (1999). Affection professionnelles du rachis: les nouveaux tableaux 97 et 98. *Préventique - Sécurité*, 44, 48-51.
- de Ruitter, C. J., van Raak, S. M., Schilperoort, J. V., Hollander, A. P., & de Haan, A. (2003). The effects of 11 weeks whole body vibration training on jump height, contractile properties and activation of human knee extensors. *European Journal of Applied Physiology*, 90(5-6), 595-600.
- de Ruitter, C. J., van der Linden, R. M., van der Zijden, M. J. A., Hollander, A. P., & de Haan, A. (2003). Short-term effects of whole-body vibration on maximal isometric knee

extensor force and rate of force rise. *European Journal of Applied Physiology*, 88(4-5), 472-475.

Delecluse, C., Roelants, M., & Verschueren, S. (2003). Strength increase after whole-body vibration compared with resistance training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 35(6), 1033-1041.

Demic, M., Lukic, J., & Milic, Z. (2002). Some aspects of the investigation of random vibration influence on ride comfort. *Journal of Sound and Vibration*, 253(1), 109-128.

Deursen, D. L., Lengsfeld, M., Snijders, C. J., Evers, J. J. M., & Goossens, R. H. M. (2000). Mechanical effects of continuous passive motion on the lumbar spine in seating. *Journal of Biomechanics*, 33(6), 695-699.

Dhingra, H., Tewari, V., & Singh, S. (2003). Discomfort, pressure distribution and safety in operator's seat - a critical review. *Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development*, 5, Invited article no.10.

Di Loreto, C., Ranchelli, A., Lucidi, P., Murdolo, G., Parlanti, N., De Cicco, A., Tsarpela, O., Annino, G., Bosco, C., Santeusano, F., Bolli, G. B., & De Feo, P. (2004). Effects of whole-body vibration exercise on the endocrine system of healthy men. *Journal of Endocrinological Investigation*, 27(4), 323-327.

Donati, P. (1996). Evaluation et prévention des vibrations mécaniques transmises à l'ensemble du corps ou aux membres supérieurs. *Encyclopédie Médico-chirurgicale, Toxicologie-Pathologie Professionnelle*, 112(16-518-A-10).

Donati, P. (2002). Survey of technical preventive measures to reduce whole-body vibration effects when designing mobile machinery. *Journal of Sound and Vibration*, 253(1), 169-183.

Donati, P., & Patel, J. A. (1999). Subjective assessment of fork-lift truck seats under laboratory conditions. *Applied Ergonomics*, 30(4), 295-309.

Drerup, B., Granitzka, M., Assheuer, J., & Zerlett, G. (1999). Assessment of disc injury in subjects exposed to long-term whole-body vibration. *European Spine Journal*, 8(6), 458-467.

Dupuis, H., Hartung, E., & Haverkamp, M. (1991). Acute effects of transient vertical whole-body vibration. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 63(4), 261-265.

Ebe, K., & Griffin, M. J. (2000). Qualitative models of seat discomfort including static and dynamic factors. *Ergonomics*, 43(6), 771-790.

Eklund, J. (1999). Biomechanical aspects of seating. In S. Kumar (Ed.), *Biomechanics in Ergonomics*. (pp. 325-334). London: Taylor & Francis.

El-Khatib, A., & Guillon, F. (2001). Lumbar intradiscal pressure and whole-body vibration: first results. *Clinical Biomechanics*, 16(Suppl. 1), S127-S134.

- El-Khatib, A., Guillon, F., & Dômont, A. (1998). Vertical vibration transmission through the lumbar spine of the seated subject - first results. *Journal of Sound and Vibration*, 215(4), 763-773.
- Evans, G. W., Johansson, G., & Rydstedt, L. (1999). Hassles on the job: a study of a job intervention with urban bus drivers. *Journal of Organizational Behavior*, 20(2), 199-208.
- Evans, J. (2005). *Assessment of the impact of the EU physical agents directive: vibration*. (RSSB/04/R&D/1062). London, United Kingdom: Rail Safety & Standards Board.
- Fairley, T. E. (1995). Predicting the discomfort caused by tractor vibration. *Ergonomics*, 38(10), 2091-2106.
- Falou, W. E., Duchêne, J., Grabisch, M., Hewson, D., Langeron, Y., & Lino, F. (2003). Evaluation of driver discomfort during long-duration car driving. *Applied Ergonomics*, 34(3), 249-255.
- Fritz, M. (1996). Assessment of forces transmitted in the spine and whole-body vibration by means of biomechanical models. In G. Salvendy (Ed.), *Advances in Applied Ergonomics* (pp. 904-908): USA Publishing Corporation.
- Fritz, M., Fischer, S., & Bröde, P. (2005). Vibration induced low back disorders—comparison of the vibration evaluation according to ISO 2631 with a force-related evaluation. *Applied Ergonomics*, 36(4), 481-488.
- Funakoshi, M., Taoda, K., Tsujimura, H., & Nishiyama, K. (2004). Measurement of whole-body vibration in taxi drivers. *Journal of Occupational Health*, 46(2), 119-124.
- Futatsuka, M., Maeda, S., Inaoka, T., Nagano, M., Shono, M., & Miyakita, T. (1998). Whole-body vibration and health effects in the agricultural machinery drivers. *Industrial Health*, 36(2), 127-132.
- Gelé, C. (1998). Plates-formes antivibratiles pour les finisseurs routiers. *Travail et Sécurité*, 568, 28-34.
- Göbel, M., Springer, J., & Scherff, J. (1998). Stress and strain of short haul bus drivers: psychophysiology as a design oriented method for analysis. *Ergonomics*, 41(5), 563-580.
- Granata, K. P., & Marras, W. S. (1999). Relation between spinal load factors and the high-risk probability of occupational low-back disorder. *Ergonomics*, 42(9), 1187-1199.
- Granlund, N. O. J., & Lindström, F. (2004). Reducing whole-body vibration by geometric repair of pavements. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 23(2), 103-114.
- Griefahn, B., Bröde, P., & Jaschinski, W. (2000). Contrast thresholds and fixation disparity during 5-Hz sinusoidal single- and dual-axis (vertical and lateral) whole-body vibration. *Ergonomics*, 43(3), 317-332.

- Griffin, M. J. (1990). *Handbook of human vibration*. London: Academic Press.
- Griffin, M. J. (1998). A comparison of standardized methods for predicting the hazards of whole-body vibration and repeated shocks. *Journal of Sound and Vibration*, 215(4), 883-914.
- Griffin, M. J. (2004). Minimum health and safety requirements for workers exposed to hand-transmitted vibration and whole-body vibration in the European Union; a review. *Occupational and Environmental Medicine*, 61(5), 387-397.
- Griffin, M. J., & Hayward, R. A. (1994). Effects of horizontal whole-body vibration on reading. *Applied Ergonomics*, 25(3), 165-169.
- Gyi, D. E., & Porter, J. M. (1999). Interface pressure and the prediction of car seat discomfort. *Applied Ergonomics*, 30(2), 99-107.
- Gyi, D. E., Porter, J. M., & Robertson, N. K. B. (1998). Seat pressure measurement technologies: consideration for their evaluation. *Applied Ergonomics*, 27(2), 85-91.
- Haas, C. T., Hoschsprung, A., Turbanski, S., Brand, S., & Schimdtbleicher, D. (2004). Effects of whole-body vibration in rehabilitation of spinal cord injury patients. *Journal of Neurology*, 251(Suppl. 3), 114-114.
- Haas, C. T., Turbanski, S., Kaiser, I., & Schimdtbleicher, D. (2004). Influences of whole-body vibration on symptom structure in Parkinson's disease. *Journal of Neurology*, 251(Suppl. 3), 18-18.
- Hempel, G. A., & Chang, W.-R. (1999). Body height change from motor vehicle vibration. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 23(5-6), 489-498.
- Hansson, P.-A., & Öberg, K. E. T. (1996). A method for computerized three-dimensional analysis of biomechanical load on a seated tractor driver. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 18(4), 261-268.
- Haverkamp, M. (1990). Effets "à court terme" des vibrations verticales transmises à l'ensemble du corps de sujets assis lorsque ces vibrations comportent des transitoires. *Cahiers de Notes Documentaires - Hygiène et Sécurité*, 140, 531-537.
- Helander, M. G., & Zhang, L. (1997). Field studies of comfort and discomfort in sitting. *Ergonomics*, 40(9), 895-915.
- Helmkamp, J. C., Talbott, E. O., & Marsh, G. M. (1984). Whole-body vibration - a critical review. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 45(3), 162-167.
- Hildebrandt, V. H. (1995). Back pain in the working population: prevalence rates in Dutch trades and professions. *Ergonomics*, 38(6), 1283-1298.
- Hinz, B., Seidel, H., Menzel, G., & Blüthner, R. (2002). Effects related to random whole-body vibration and posture on a suspended seat with and without backrest. *Journal of Sound and Vibration*, 253(1), 265-282.

Hoy, J., Mubarak, N., Nelson, S., Sweerts de Landas, M., Magnusson, M., Okunribido, O., & Pope, M. (2005). Whole body vibration and posture as risk factors for low back pain among forklift truck drivers. *Journal of Sound and Vibration*, 284(3-5), 933-946.

Hulshof, C., Braam, I., Verbeek, J., & Van Dijk, F. (1996). Whole-body vibration in fork-lift truck drivers: effects of a prevention program by Occupational Health services: study design and baseline data. In G. Slavendy (Ed.), *Advances in Applied Ergonomics* (pp. 707-712): USA Publishing Corporation.

Hulshof, C. T. J., Van der Laan, G., Braam, I. T. J., & Verbeek, J. H. A. M. (2002). The fate of Mrs. Robinson: criteria for recognition of whole-body vibration injury as an occupational disease. *Journal of Sound and Vibration*, 253(1), 185-194.

Ishitake, T., Kano, M., Miyazaki, Y., Ando, H., Tsutsumi, A., & Matoba, T. (1998). Whole-body vibration suppresses gastric motility in healthy men. *Industrial Health*, 36(2), 93-97.

Ishitake, T., Myazaki, Y., Ando, H., & Matoba, T. (1999). Suppressive mechanism of gastric motility to whole-body vibration. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 72(7), 469-474.

Ishitake, T., Myazaki, Y., Noguchi, R., Ando, H., & Matoba, T. (2002). Evaluation of frequency weighting (ISO 2631-1) for acute effects of whole-body vibration on gastric motility. *Journal of Sound and Vibration*, 253(1), 31-36.

Jang, H.-K., & Griffin, M. J. (1999). The effect of phase of differential vertical vibration at the seat and feet on discomfort. *Journal of Sound and Vibration*, 223(5), 785-794.

Jang, H.-K., & Griffin, M. J. (2000). Effect of phase, frequency, magnitude and posture on discomfort associated with differential vertical vibration at the seat and feet. *Journal of Sound and Vibration*, 229(2), 273-286.

Jang, H.-K., & Kook, D.-Y. (2004). Objective measurement of the start-motion quality of a forklift truck. *Applied Ergonomics*, 35(5), 467-473.

Jiao, K., Li, Z., Chen, M., Wang, C., & Qi, S. (2004). Effect of different vibration frequencies on heart rate variability and driving fatigue in healthy driver. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 77(3), 205-212.

Johanning, E. (1991). Back disorders and health problems among subway train operators exposed to whole-body vibration. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 17(6), 414-419.

Johanning, E. (2000). Evaluation and management of occupational low back disorders. *American Journal of Industrial Medicine*, 37(1), 94-111.

Johanning, E., Fischer, S., Christ, E., Göres, B., & Landsbergis, P. (2002). Whole-body vibration exposure study in U.S. railroad locomotives - an ergonomic risk assessment. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 63(4), 439-446.

- Johanning, E., Wilder, D. G., Landrigan, P. J., & Pope, M. H. (1991). Whole-body vibration exposure in subway cars and review of adverse health effects. *Journal of Occupational Medicine*, 33(5), 605-612.
- Johnson, D. A., & Nève, M. (2001). Analysis of possible lower lumbar strains caused by the structural properties of automobile seats: A review of some recent technical literature. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 24(9), 582-588.
- Joubert, D. (2002). *Whole-body vibration exposures in a developinig country: a pilot study in South Africa amongst forklift drivers at the port of Durban*. Paper presented at the CybErg 2002: The Third International Cyberspace Conference on Ergonomics, World Wide Web.
- Kanlayanaphotporn, R., Lam, L., Williams, M., Trott, P., & Fulton, I. (2001). Adolescent versus adult responses to vertical spinal loading. *Ergonomics*, 44(15), 1384-1391.
- Kanlayanaphotporn, R., Trott, P., Williams, M., & Fulton, I. (2001). Contribution of soft tissue deformation below the sacrum to the measurement of total height loss in sitting. *Ergonomics*, 44(7), 685-695.
- Kersch-Schindl, K., Grampp, S., Henk, C., Resch, H., Preisinger, E., Fialka-Moser, V., & Imhof, H. (2001). Whole-body vibration exercise leads to alterations in muscle blood volume. *Clinical Physiology*, 21(3), 377-382.
- Kim, S. K., White, S. W., Bajaj, A. K., & Davies, P. (2003). Simplified models of the vibration of mannequins in car seats. *Journal of Sound and Vibration*, 264(1), 49-90.
- Kim, S. W., Park, S. J., Kim, C. J., Lee, Y. S., & Kwon, K. S. (2003, August 24-29). *Development of vibration reducing tractor seat by evaluation of dynamic ride quality*. Paper presented at the XVth Triennial Congress of the International Ergonomics Association and the 7th Joint Conference of Ergonomics Society of Korea/Japan Ergonomics Society: Ergonomics in the Digital Age, Seoul, Korea.
- Kitazaki, S., & Griffin, M. J. (1998). Resonance behaviour of the seated human body and effects of posture. *Journal of Biomechanics*, 31(2), 143-149.
- Kittusamy, N. K., & Buchholz, B. (2004). Whole-body vibration and postural stress among operators of construction equipment: A literature review. *Journal of Safety Research*, 35(3), 255-261.
- Kjellberg, A. (1990). Psychological aspects of occupational vibration. *Scandinavian Journal of work and Environmental Health*, 16(1), 39-43.
- Kjellberg, A., & Wikström, B.-O. (1985). Whole-body vibration: exposure time and acute effects - a review. *Ergonomics*, 28(3), 535-544.
- Kjellberg, A., & Wikström, B.-O. (1987). Acute effects of whole-body vibration: stabilography and electrogastrography. *Scandinavian Journal of Work and Environmental Health*, 13(3), 243-246.

- Kolich, M. (2003). Automobile seat comfort: occupant preferences vs. anthropometric accommodation. *Applied Ergonomics*, 34(2), 177-184.
- Kong, W. Z., & Goel, V. K. (2003). Ability of the finite element models to predict response of the human spine to sinusoidal vertical vibration. *Spine*, 28(17), 1961-1967.
- Kroemer, K. H. E., & Grandjean, E. (1997). *Fitting the task to the human: a textbook of occupational ergonomics*. (5th ed.). London: Taylor & Francis.
- Kubo, M., Terauchi, F., Aoki, H., & Matsuoka, Y. (2001). An investigation into a synthetic vibration model for humans: an investigation into a mechanical vibration human model constructed according to the relations between the physical, psychological and physiological reactions of humans exposed to vibration. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 27(4), 219-232.
- Kumar, A., Mahajan, P., Mohan, D., & Varghese, M. (2001). Tractor vibration severity and driver health: a study from rural India. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 80(4), 313-328.
- Kumar, A., Varghese, M., Mohan, D., Mahajan, P., Gulati, P., & Kale, S. (1999). Effect of whole-body vibration on the low back: a study of tractor-driving farmers in north India. *Spine*, 24(23), 2506-2515.
- Kumar, S. (2001). Theories of musculoskeletal injury causation. *Ergonomics*, 44(1), 17-47.
- Kumar, S. (2003, August 24-29). *Vibration exposure in heavy haul trucking in overburden mining*. Paper presented at the XVth Triennial Congress of the International Ergonomics Association and the 7th Joint Conference of Ergonomics Society of Korea/Japan Ergonomics Society: Ergonomics in the Digital Age, Seoul, Korea.
- Kumar, S. (2004). Vibration in operating heavy haul trucks in overburden mining. *Applied Ergonomics*, 35(6), 509-520.
- Lee, J., Thompson, D. J., Yoo, H. H., & Lee, J. M. (2000). Vibration analysis of a vehicle body and suspension system using a substructure synthesis method. *International Journal of Vehicle Design*, 24(4), 360-371.
- Lewis, C. H., & Griffin, M. J. (1998). A comparison of evaluations and assessments obtained using alternative standards for predicting the hazards of whole-body vibration and shocks. *Journal of Sound and Vibration*, 215(4), 915-926.
- Lines, J., Stiles, M., & Whyte, R. (1995). Whole body vibration during tractor driving. *Journal of Low Frequency Noise and Vibration*, 14(2), 87-104.
- Lings, S., & Leboeuf-Yde, C. (2000). Whole-body vibration and low back pain: a systematic, critical review of the epidemiological literature 1992-1999. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 73(5), 290-297.
- Liu, X., & Wagner, J. (2002). Design of a vibration isolation actuator for automotive seating systems - Part I: Modelling and passive isolator performance. *International Journal of Vehicle Design*, 29(4), 335-356.

- Ljungberg, J., Neely, G., & Lundström, R. (2004). Cognitive performance and subjective experience during combined exposures to whole-body vibration and noise. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 77(3), 217-221.
- Lovesey, E. J. (1970). The multi-axis vibration environment and man. *Applied Ergonomics*, 1(5), 258-261.
- Macedo, R. (1988). *Manual de Higiene do Trabalho na Indústria*. (1ª ed.). Coimbra: Fundação Calouste Gulbenkian.
- Maciulyte, N. (2000, October, 4-7). *Bus drivers' health and conditions of work*. Paper presented at the ECOHSE 2000 Symposium, Kaunas, Lithuania.
- Maeda, S., & Morioka, M. (1998). Measurement of whole-body vibration exposure from garbage trucks. *Journal of Sound and Vibration*, 215(4), 959-964.
- Magnusson, M. L., & Pope, M. H. (1998). A review of the biomechanics and epidemiology of working postures (It isn't always vibration which is to blame!). *Journal of Sound and Vibration*, 215(4), 965-976.
- Magnusson, M. L., Pope, M. H., Hulshof, C. T. J., & Bovenzi, M. (1998). Development of a protocol for epidemiological studies of whole-body vibration and musculoskeletal disorders of the lower back. *Journal of Sound and Vibration*, 215(4), 643-651.
- Magnusson, M. L., Pope, M. H., Wilder, D. G., & Areskoug, B. (1996). Are occupational drivers at an increased risk for developing musculoskeletal disorders? *Spine*, 21(6), 710-717.
- Makridakis, S., Wheelwright, S. C., & Hyndman, R. J. (1998). *Forecasting: Methods and Applications*. (3rd. ed.). New York: John Wiley & Sons.
- Malchaire, J., Piette, A., & Mullier, I. (1996). Vibration exposure on fork-lift trucks. *The Annals of Occupational Hygiene*, 40(1), 79-91.
- Mansfield, N. J. (2004). *Human response to vibration*. Boca Raton: CRC Press.
- Mansfield, N. J., & Lundström, R. (1999). Models of the apparent mass of the seated human body exposed to horizontal whole-body vibration. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 70(12), 1166-1172.
- Mansfield, N. J., & Maeda, S. (2005). Comparison of the apparent mass of the seated human measured using random and sinusoidal vibration. *Industrial Health*, 43(1), 233-240.
- Marras, W. S. (2000). Occupational low back disorder causation and control. *Ergonomics*, 43(7), 880-902.
- Matsumoto, Y., & Griffin, M. J. (2000). Comparison of biodynamic responses in standing and seated human bodies. *Journal of Sound and Vibration*, 238(4), 691-704.

Matsumoto, Y., & Griffin, M. J. (2001). Modelling the dynamic mechanisms associated with the principal resonance of the seated human body. *Clinical Biomechanics*, 16(Suppl 1), S31-S44.

Matsumoto, Y., & Griffin, M. J. (2003). Mathematical models for the apparent masses of standing subjects exposed to vertical whole-body vibration. *Journal of Sound and Vibration*, 260(3), 431-451.

McKenna, G. J., Peng, G. C. Y., & Zee, D. S. (2004). Neck muscle vibration alters visually perceived roll in normals. *Journal of the Association for Research in Otolaryngology*, 5(1), 25-31.

McLeod, R. W., & Griffin, M. J. (1990). Effects of whole-body vibration waveform and display collimation on the performance of a complex manual control task. *Space, Aviation and Environmental Medicine*, 61(3), 1211-1219.

McLeod, R. W., & Griffin, M. J. (1995). Mechanisms of vibration-induced interference with manual control performance. *Ergonomics*, 38(7), 1431-1444.

McPhee, B., Foster, G., & Long, A. (1998, October, 5-7). *A comparison of rides on different vehicles using three current standards for whole-body vibration (WBV) exposures. Implementing change: The role of standards*. Paper presented at the 34th Annual Conference of the Ergonomics Society of Australia, Melbourne, Victoria, Australia.

Mehta, C. R., Shyam, M., Singh, P., & Verma, R. N. (2000). Ride vibration on tractor-implement system. *Applied Ergonomics*, 31(3), 323-328.

Mehta, C. R., & Tewari, V. K. (2000). Seating discomfort for tractor operators - a critical review. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 25(6), 661-674.

Melo, R. B. (1999). *Caracterização de ambientes vibratórios: o posto de condução de autocarros urbanos*. Unpublished MSc Thesis, Universidade do Minho, Guimarães.

Melo, R. B. (2004). Caracterização de ambientes vibratórios: o posto de condução de autocarros urbanos. In M. Barrosos, A.S. Miguel e P. Arezes (Eds.), *Engenharia Humana, 10 Anos de Contributo Científico*. (pp. 33-37). Guimarães: Escola de engenharia, Universidade do Minho.

Melo, R. B., & Miguel, A. S. (1999). Exposição de motoristas a vibrações do corpo inteiro. *Revista Portuguesa de Ergonomia*, 4, 7-18.

Melo, R. B., & Miguel, A. S. (2000, July 29 - August 4). *Occupational exposure to whole-body vibration among bus drivers*. Paper presented at the XIVth Triennial Congress of the International Ergonomics Association/44th Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society, San Diego, USA.

Meyer, J.-P., Flenghi, D., & Deschamp, J.-P. (1998). Effects of manual handling, posture, and whole-body vibrations on low-back pain. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 4(4), 449-470.

- Miguel, A. S. S. R. (2005). *Manual de Higiene e Segurança do Trabalho* (8ª. ed.). Porto: Porto Editora.
- Mital, A., Pennathur, A., & Kansal, A. (1999). Nonfatal occupational injuries in the United States, Part II - back injuries. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 25(2), 131-150.
- Miyamoto, K., Mori, S., Tsuji, S., Tanaka, S., Kawamo, M., Mashiba, T., Komatsubara, S., Akiyama, T., & Kawanishi, J. (2003). Whole-body vibration exercise in the elderly people. *Bone*, 32(5 Suppl.S), S213-S214.
- Moseley, M. J., & Griffin, M. J. (1986). Effects of display vibration and whole-body vibration on visual performance. *Ergonomics*, 29(8), 977-983.
- Moseley, M. J., & Griffin, M. J. (1987). Whole-body vibration and visual performance: an examination of spatial filtering and time.dependency. *Ergonomics*, 30(4), 613-626.
- Muzammil, M., Siddiqui, S. S., & Hasan, F. (2004). Physiological effect of vibrations on tractor drivers under variable ploughing conditions. *Journal of Occupational Health*, 46(5), 403-409.
- Nawayseh, N., & Griffin, M. J. (2004). Tri-axial forces at the seat and backrest during whole-body vertical vibration. *Journal of Sound and Vibration*, 277(1-2), 309-326.
- Nawayseh, N., & Griffin, M. J. (2005). Tri-axial forces at the seat and backrest during whole-body fore-and-aft vibration. *Journal of Sound and Vibration*, 281(3-5), 921-942.
- Ng, D., Cassar, T., & Gross, C. M. (1995). Evaluation of an intelligent seat system. *Applied Ergonomics*, 26(2), 109-116.
- Oliveira, C. G., Simpson, D. M., & Nadal, J. (2001). Lumbar back muscle activity of helicopter pilots and whole-body vibration. *Journal of Biomechanics*, 34(10), 1309-1315.
- O'Reilly, C., & Fallon, E. F. (1997, June29 - July 4). *An investigation into the effects of vibration exposure and seating on ride comfort in buses on Irish roads*. Paper presented at the XIIIth Triennial Congress of the International Ergonomics Association, Tampere, Finland.
- Ozguler, A., Leclerc, A., Landre, M.-F., Pietri-Taleb, F., & Niedhammer, I. (2000). Individual and occupational determinants of low back pain according to various definitions of low back pain. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 54(3), 215-220.
- Özkaya, N., Goldsheyder, D., & Willems, B. (1996). Effect of operator seat design on vibration exposure. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 57(9), 837-842.
- Özkaya, N., Goldsheyder, D., & Willems, B. (1997). Effect of subway car design on vibration exposure. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 19(5), 377-385.

- Özkaya, N., Willems, B., & Goldsheyder, D. (1994). Whole-body vibration exposure: a comprehensive field study. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 55(12), 1164-1171.
- Özkaya, N., Willems, B., & Goldsheyder, D. (1996). Whole-body vibration exposure studies on train operators. In G. Slavendy (Ed.), *Advances in Applied Ergonomics* (pp. 695-700): USA Publishing Corporation.
- Paddan, G. S., & Griffin, M. J. (2002a). Effect of seating on exposures to whole-body vibration in vehicles. *Journal of Sound and Vibration*, 253(1), 215-241.
- Paddan, G. S., & Griffin, M. J. (2002b). Evaluation of whole-body vibration in vehicles. *Journal of Sound and Vibration*, 253(1), 195-213.
- Palmer, K., Coggon, D., Pannett, B., & Griffin, M. (1998). The development of a self-administered questionnaire to assess exposures to hand-transmitted and whole-body vibration and their health effects. *Journal of Sound and Vibration*, 215(4), 653-686.
- Palmer, K. T., Coggon, D., Bendall, H. E., Pannett, B., Griffin, M. J., & Haward, B. M. (1999). *Whole-body vibration: occupational exposures and their health effects in Great Britain*. (CRR 233/1999). Sudbury, Suffolk, U.K.: Health and Safety Executive.
- Pankoke, S., Buck, B., & Woelfel, H. P. (1998). Dynamic FE model of sitting man adjustable to body height, body mass and posture used for calculating internal forces in the lumbar vertebral disks. *Journal of Sound and Vibration*, 215(4), 827-839.
- Pankoke, S., Hofmann, J., & Wölfel, H. P. (2001). Determination of vibration-related spinal loads by numerical simulation. *Clinical Biomechanics*, 16(Supplement 1), S45-S56.
- Paoli, P. (1997). *Working Conditions in the European Union (Summary)*. Dublin, Ireland: European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions.
- Paoli, P., & Merllié, D. (2001). *Third European Survey on Working Conditions 2000*. Dublin, Ireland: European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions.
- Park, S. J., Kim, C.-B., Kim, C. J., & Lee, J. W. (2000). Comfortable driving postures for Koreans. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 26(4), 489-497.
- Parljuk, A. F. (1970). The state of the nervous system in workers on bridgecranes of the machine building industry. *Gigiena Truda i Professional'nye Zabolevaniya*, 6, 193-198.
- Peli, E., & García-Pérez, M. A. (2003). Motion perception during involuntary eye vibration. *Experimental Brain Research*, 149, 431-438.
- Perkiö-Mäkelä, M., & Riihimäki, H. (1997). Intervention on seat adjustment among drivers of forest tractors. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 19(3), 231-237.

- Perremans, S., Randall, J. M., Rombouts, G., Decuyper, E., & Geers, R. (2001). Effect of whole-body vibration in the vertical axis on cortisol and adrenocorticotrophic hormone levels in piglets. *Journal of Animal Science*, 79(4), 975-981.
- Pestana, M. H., & Gageiro, J. N. (2003). *Análise de dados para ciências sociais: a complementaridade do SPSS*. (3ª ed.). Lisboa: Edições Sílabo.
- Piette, A., & Malchaire, J. (1992a). Exposition aux vibrations dans les ponts roulants. *Cahiers de Notes Documentaires - Sécurité et Hygiène du Travail*, 149, 497-504.
- Piette, A., & Malchaire, J. (1992b). Technical characteristics of overhead cranes influencing the vibration exposure of the operators. *Applied Ergonomics*, 23(2), 121-127.
- Pope, M., Wilder, D., & Magnusson, M. (1996). Whole-body vibration and low back pain. In G. Salvendy (Ed.), *Advances in Applied Ergonomics* (pp. 717-719): USA Publishing Corporation.
- Pope, M. H., Goh, K. L., & Magnusson, M. L. (2002). Spine ergonomics. *Annual Review of Biomedical Engineering*, 4, 49-68.
- Pope, M. H., Magnusson, M., & Wilder, D. G. (1999). Low back pain and whole-body vibration. In S. Kumar (Ed.), *Biomechanics in Ergonomics* (pp. 233-241). London: Taylor & Francis.
- Pope, M. H., Wilder, D. G., & Magnusson, M. (1998). Possible mechanisms of low back pain due to whole-body vibration. *Journal of Sound and Vibration*, 215(4), 687-697.
- Qiu, Y., & Griffin, M. J. (2003). Transmission of fore-aft vibration to a car seat using field tests and laboratory simulation. *Journal of Sound and Vibration*, 264(1), 135-155.
- Radwin, R. G., Marras, W. S., & Lavender, S. A. (2001). Biomechanical aspects of work-related musculoskeletal disorders. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 2(2), 153-217.
- Rakheja, S., Wang, K., Baht, R., & Boileau, P.-É. (2002). Enhancement of ride vibration environment of tracked sidewalk snowploughs: vehicle modelling and analysis. *International Journal of Vehicle Design*, 30(3), 193-222.
- Ratti, N., & Pilling, K. (1997). Back pain in the workplace. *British Journal of Rheumatology*, 36(2), 260-264.
- Rittweger, J., Beller, G., & Felsenberg, D. (2000). Acute physiological effects of exhaustive whole-body vibration exercise in man. *Clinical Physiology*, 20(2), 134-142.
- Rittweger, J., Ehrig, J., Just, K., Mutschelknauss, M., Kirsch, K., & Felsenberg, D. (2002). Oxygen uptake in whole-body vibration exercise: influence of vibration frequency, amplitude, and external load. *International Journal of Sports Medicine*, 23(6), 428-432.

- Rittweger, J., Just, K., Kautzsch, K., Reeg, P., & Felsenberg, D. (2002). Treatment of chronic lower back pain with lumbar extension and whole-body vibration exercise: a randomized controlled trial. *Spine*, 27(17), 1829-1834.
- Rittweger, J., Mutschelknauss, M., & Felsenberg, D. (2003). Acute changes in neuromuscular excitability after exhaustive whole body vibration exercise as compared to exhaustion by squatting exercise. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 23(2), 81-86.
- Rosen, J., & Arcan, M. (2003). Modeling the human body/seat system in a vibration environment. *Journal of Biomechanical Engineering*, 125(2), 223-231.
- Rubin, C., Pope, M., Fritton, J. C., Magnusson, M., Hansson, T., & McLeod, K. (2003). Transmissibility of 15-Hertz to 35-Hertz vibrations to the human hip and lumbar spine: Determining the physiologic feasibility of delivering low-level anabolic mechanical stimuli to skeletal regions at greatest risk of fracture because of osteoporosis. *Spine*, 28(23), 2621-2627.
- Rubin, C., Recker, R., Cullen, D., Ryaby, J., McCabe, J., & McLeod, K. (2004). Prevention of postmenopausal bone loss by a low-magnitude, high-frequency mechanical stimuli: A clinical trial assessing compliance, efficacy, and safety. *Journal of Bone and Mineral Research*, 19(3), 343-351.
- Ruppe, K., & Muake, R. (1993). Functional disorders at the spine after longlasting whole-body vibration. In K. Jorgensen (Ed.), *Advances in Industrial Ergonomics and Safety V* (pp. 483-486). London: Taylor & Francis.
- Russo, C. R., Lauretani, F., Bandnelli, S., Bartali, B., Cavazzini, C., Guralnik, J. M., & Ferrucci, L. (2003). High-frequency vibration training increases muscle power in postmenopausal women. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 84(12), 1854-1857.
- Sanders, M. S., & McCormick, E. J. (1993). *Human factors in engineering and design*. (7th ed.). New York: McGraw-Hill Inc.
- Sayers, M. W., & Karamihas, S. M. (1998, September 1998). *The little book of profiling: Basic information about measuring and interpreting road profiles*. The Regent of the University of Michigan. Retrieved January, 2005, from the World Wide Web: [http://www.umtri.umich.edu/erd/roughness/lit\\_book.pdf](http://www.umtri.umich.edu/erd/roughness/lit_book.pdf)
- Schmidtbleicher, D., Turbanski, S., & Haas, C. T. (2004). Effects of whole-body vibration on postural control in Parkinson's disease. *Movement Disorders*, 19(Suppl. 9), S185-S185 P518.
- Seidel, H. (1993). Selected health risks caused by long-term whole-body vibration. *American Journal of Industrial Medicine*, 23, 589-604.
- Seidel, H., Blüthner, R., & Hinz, B. (1986). Effects of sinusoidal whole-body vibration on the lumbar spine: the stress-strain relationship. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 57(3), 207-223.

- Seidel, H., Blüthner, R., & Hinz, B. (2001). Application of finite-element models to predict forces acting on the lumbar spine during whole-body vibration. *Clinical Biomechanics*, 16(Suppl 1), S57-S63.
- Seidel, H., & Heide, R. (1986). Long-term effects of whole-body vibration: a critical survey of the literature. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 58(1), 1-26.
- Serridge, M., & Licht, T. R. (1987). *Piezoelectric accelerometers and vibration preamplifiers: Theory and application handbook*. Nærum, Denmark: Brüel & Kjær.
- Sezgin, O. C., & Birlik, G. (2001, July, 2-6). *Musculoskeletal complaints of helicopter pilots still continue*. Paper presented at the 8th International Congress on Sound and Vibration, Hong-Kong, China.
- Shen, W., & Parsons, K. C. (1997). Validity and reliability of rating scales for seated pressure discomfort. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 20(6), 441-461.
- Sherwin, L. M., Owende, P. M. O., Kanali, C. L., Lyons, J., & Ward, S. M. (2004a). Influence of forest machine function on operator exposure to whole-body vibration in a cut-to-length timber harvester. *Ergonomics*, 47(11), 1145-1159.
- Sherwin, L. M., Owende, P. M. O., Kanali, C. L., Lyons, J., & Ward, S. M. (2004b). Influence of tyre inflation pressure on whole-body vibrations transmitted to the operator in a cut-to-length timber harvester. *Applied Ergonomics*, 35(3), 253-261.
- Sherwood, N., & Griffin, M. J. (1990). Effects of whole-body vibration on short-term memory. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 61(12), 1092-1097.
- Sherwood, N., & Griffin, M. J. (1992). Evidence of impaired learning during whole-body vibration. *Journal of Sound and Vibration*, 152(2), 219-225.
- Silva, L. F., & Mendes, R. (2005). Exposição combinada entre ruído e vibração e seus efeitos sobre a audição de trabalhadores. *Revista de Saúde Pública*, 39(1), 9-17.
- Simões, A. (1997). Ergonomia dos transportes. *Revista Portuguesa de Ergonomia*(1), 21-36.
- Sluiter, J. K., van der Beek, A. J., & Frings-Dresen, M. H. W. (1999). The influence of work characteristics on the need for recovery and experienced health: a study on coach drivers. *Ergonomics*, 42(4), 573-583.
- Smith, S. D. (2000). Modeling differences in the vibration response characteristics of the human body. *Journal of Biomechanics*, 33(11), 1513-1516.
- Sorainen, E., Penttinen, J., Kallio, M., Rytönen, E., & Taattola, K. (1998). Whole-body vibration of tractor drivers during harrowing. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 59(9), 642-644.
- Sorainen, E., & Rytönen, E. (1999). Whole-body vibration of locomotive engineers. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 60(3), 409-411.

- Sullivan, A., & McGill, S. M. (1990). Changes in spine length during and after seated whole-body vibration. *Spine*, 15(12), 1257-1260.
- Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (1996). *Using Multivariate Statistics*. (3rd. ed.). New York: HaperCollins College Publishers.
- Taguchi, T., Inagaki, H., Nagai, T., & Ishikawa, H. (1997, June 29 - July 4). *Influence of vertical vibration on driver stress assessed by stress hormones*. Paper presented at the XIIIth Triennial Congress of the International Ergonomics Association, Tampere, Finland.
- Tewari, V. K., & Prasad, N. (2000). Optimum seat pan and back-rest parameters for a comfortable tractor seat. *Ergonomics*, 43(2), 167-186.
- Turner, M., & Griffin, M. J. (1999a). Motion sickness in public road transport: passanger behaviour and susceptibility. *Ergonomics*, 42(3), 444-461.
- Turner, M., & Griffin, M. J. (1999b). Motion sickness in public road transport: the effect of driver, route and vehicle. *Ergonomics*, 42(12), 1646-1664.
- van Deursen, D. L., Goossens, R. H. M., J.J.M., E., van der Helm, F. C. T., & van Deursen, L. L. J. M. (2000). Length of the spine while sitting on a new concept for an office chair. *Applied Ergonomics*, 31(1), 95-98.
- van Deursen, D. L., Lengsfeld, M., Snijders, C. J., Evers, J. J. M., & Goossens, R. H. M. (2000). Mechanical effects of continuous passive motion on the lumbar spine in seating. *Journal of Biomechanics*, 33(6), 695-699.
- van Dieën, J. H., De Looze, M. P., & Hermans, V. (2001). Effects of dynamic office chairs on trunk kinematics, trunk extensor EMG and spinal shrinkage. *Ergonomics*, 44(7), 739 - 750.
- Vergara, M., & Page, Á. (2002). Relationship between comfort and back posture and mobility in sitting-posture. *Applied Ergonomics*, 33(1), 1-8.
- Verschueren, S. M. P., Roelants, M., Delecluse, C., Swinnen, S., Vanderschueren, D., & Boonen, S. (2004). Effect of 6-month whole body vibration training on hip density, muscle strength, and postural control in postmenopausal women: A randomized controlled pilot study. *Journal of Bone and Mineral Research*, 19(3), 352-359.
- Verschueren, S. M. P., Swinnen, S. P., Desloovere, K., & Duysens, J. (2003). Vibration-induced changes in EMG during human locomotion. *Journal of Neurophysiology*, 89(3), 1299-1307.
- Verver, M. M., van Hoof, J., Oomens, C. W. J., van de Wouw, N., & Wismans, J. S. H. M. (2003). Estimation of spinal loading in vertical vibrations by numerical simulation. *Clinical Biomechanics*, 18(9), 800-811.
- Viikari-Juntura, E. R. A. (1997). The scientific basis for making guidelines and standards to prevent work-related musculoskeletal disorders. *Ergonomics*, 40(10), 1097-1117.

- Wasserman, D. E., Wilder, D. G., Pope, M. H., Magnusson, M., Aleksiev, A. R., & Wasserman, J. F. (1997). Whole-body vibration exposure and occupational work-hardening. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 39(5), 403-407.
- Wei, L., & Griffin, M. J. (1998a). Mathematical models for the apparent mass of seated human body exposed to vertical vibration. *Journal of Sound and Vibration*, 212(5), 855-874.
- Wei, L., & Griffin, M. J. (1998b). The prediction of seat transmissibility from measures of seat impedance. *Journal of Sound and Vibration*, 214(1), 121-137.
- Wertheim, A. H. (1998). Working in a moving environment. *Ergonomics*, 41(12), 1845-1858.
- Wikström, B.-O., Kjellberg, A., & Landström, U. (1994). Health effects of long-term occupational exposure to whole-body vibration: a review. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 14(4), 273-292.
- Wilder, D., Magnusson, M. L., Fenwick, J., & Pope, M. (1994). The effect of posture and seat suspension design on discomfort and back muscle fatigue during simulated truck driving. *Applied Ergonomics*, 25(2), 66-76.
- Wilder, D. G. (1993). The biomechanics of vibration and low back pain. *American Journal of Industrial Medicine*, 23(4), 577-588.
- Wilder, D. G., & Pope, M. H. (1996). Epidemiological and aetiological aspects of low back pain in vibration environments - an update. *Clinical Biomechanics*, 11(2), 61-73.
- Wu, X., Rakheja, S., & Boileau, P. E. (1998). Study of human-seat interface pressure distribution under vertical vibration. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 21(6), 433-449.
- Wu, X., Rakheja, S., & Boileau, P. E. (1999a). Distribution of human-seat interface pressure on a soft automotive seat under vertical vibration. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 24(5), 545-557.
- Wu, X., Rakheja, S., & Boileau, P. E. (1999b). Study of human-seat interactions for dynamic seating comfort analysis. In S. o. A. Engineers (Ed.), *Factors in Audio Interior Systems, Driving, and Vehicle Seating*. (pp. 137-149). Hitchin, Hertfordshire: American Technical Publishers.



## **ANEXO I**

### **Descrição Detalhada dos Percursos**



**Percurso 44****Cais Sodré**

P. Comércio  
**3** Rossio  
**4** Restauradores  
**5** Av. Liberdade  
**6** Marquês Pombal  
  
**7** Av. Fontes P. Melo  
  
**8** Picoas  
**9** Saldanha  
  
**10** Av. República  
**11** Campo Pequeno - Av. República  
**12** Estação Entrecampos  
**13** Entrecampos (Av. E.U.A.)  
**14** Av. Rio Janeiro (Av. E.U.A.)  
**15** Estádio 1º Maio  
**16** L. Frei Heitor Pinto  
**17** Bombeiros Alvalade  
Esc. Padre António Vieira  
R. Reinaldo Ferreira  
Pote Água  
**19** P. Aeroporto  
**20** Aeroporto  
**21** Av. Berlim - Aeroporto  
**22** Encarnação (Bombeiros)  
**23** Av. Berlim – Viveiros  
**24** Piscina Olivais  
**25** Av. Berlim (Av. Cidade Luanda)  
**26** Av. Berlim – Trav. Courelas  
**27** Pavilhão Multiusos (Est. Oriente)  
**28** Edifício Administrativo  
**29** Av. Boa Esperança  
Moscavide (R. João P. Ribeiro)  
E. Moscavide

**Moscavide (Qta. Laranjeiras)**

**Distância entre paragens:**  
1021,1±436,1 m  
Min: 330 m; Max: 2020 m

**Percurso 50****Estação Oriente**

**37** Av. Infante D. Henrique/Av. Berlim  
**36** Av. Infante D. Henrique/Av. Pádua  
**35** Av. Infante D. Henrique/Centieira  
**34** Rot. Cabo Ruivo  
**33** Av. Mar. Gomes Costa/Universidade  
**32** Av. Mar. Gomes Costa/Est. Cabo Ruivo  
**31** Av. Mar. Gomes Costa /Poço Cortes  
**30** Av. Mar. Gomes Costa/Qta. Teresinhas  
**29** P. Aeroporto  
**28** Pote Água  
**27** L.N.E.C.  
**26** Av. Brasil – Hospital  
**25** Campo Grande/Av. Brasil  
**24** Campo Grande Norte  
**23** Hipódromo  
**22** Az. Galhardas  
**21** Viaduto Luz  
**20** Estádio Luz  
**19** Av. Norton Matos – Metro Calhariz  
**16** Esc. Pedro Santarém  
**15** Av. Gomes Pereira  
**14** R. Morais Sarmento  
**13** Estação Benfica  
**12** R. Venezuela  
**11** Buraca  
**10** E. Buraca  
**9** Bº Boavista  
**8** Qta. Torres  
**7** Parque Campismo  
Bº Alto Moinho  
Miraflores  
Esc. Prep. Miraflores  
**4** Av. Bombeiros V. Algés  
**3** Av. Bombeiros V. Algés – Cinema  
**2** R. Latino Coelho  
**1** Algés - Mercado

**Algés**

**Distância entre paragens:**  
1556,9±1303,1 m  
Min: 410 m; Max: 6060 m

**Percurso 91****Cais Sodré**

**1** P. Comércio  
**2** Rossio  
**3** Restauradores  
**4** Av. Liberdade  
**5** Marquês Pombal  
  
**6** Av. Fontes P. Melo  
  
**7** Picoas  
**8** Saldanha  
  
**9** Av. República  
**10** Campo Pequeno  
**11** Estação Entrecampos  
**12**

**Aeroporto**

**Distância entre paragens:**  
1252,5±805,1 m  
Min: 560 m; Max: 3130 m

## Percurso 29

### Algés

- 1 R. Damião Góis
- 2 Pedrouços
- 3 L. Princesa
- 4 Centro Cultural Belém
- 5 Mosteiro Jerónimos  
Belém  
Belém (C. Ajuda)  
Museu Ultramar  
R. General João Almeida
- 6 Igreja Memória
- 7 Esc. Paula Vicente
- 8 C. Galvão – G.N.R.
- 9 Cemitério Ajuda
- 10 Ajuda
- 11 B° Ajuda – Escola
- 12 E. Marcos – U.T.L.
- 13 Universidade Técnica (Ajuda)
- 14 Montes Claros
- 15 Alto Moinhos
- 16 Cruz Oliveiras
- 17 Base Paraquedistas
- 18 Monsanto
- 19 Tribunal Monsanto
- 20 B° Monsanto
- 21 Luneta Quartéis
- 22 Pina Manique  
B° Calhariz – Benfica  
R. Carolina Michaelis
- 23 Estação Benfica
- 24 R. Parque
- 25 R. Garridas
- 26 Benfica (Av. Grão Vasco)
- 27 E. Benfca
- 28 Portas Benfica
- 29 E. Militar – Venda Nova
- 30 C. Tojal (Cemitério Benfica)
- 31 Talude – E. Militar
- 32 E. Correia
- 33 Pontinha – Metro
- 34 Pontinha
- 35 Mal Penteada
- 36 E. Militar – Escorpiões  
Serra Luz  
R. Rio Tejo

### B° Padre Cruz

**Distância entre paragens:**  
1200±599,9 m  
Min: 150 m; Max: 2270 m

## Percurso 30

### Picoas

- P. José Fontana
- 1 R. Luciano Cordeiro
- 2 R. Bernardim Ribeiro
- 3 Hosp. Capuchos
- 4 Campo Mártires Pátria  
Paço Rainha  
R. José Estevão  
Av. Alm. Reis/R. Angola
- 5 R. Forno Tijolo
- 6 Sapadores
- 7 Triângulo Vermelho
- 8 P. António Sardinha
- 9 Esc. Nuno Gonçalves
- 10 P. Paiva Couceiro
- 11 R. Barão Sabrosa  
Alto Pina  
C. Picheleira  
R. Frei Boaventura  
P. Sócrates Costa  
Esc. N° 28

### Picheleira (R. Carlos Botelho)

**Distância entre paragens:**  
8907,7±350,8 m  
Min: 210 m; Max: 1320 m

## Percurso 58

### Cais Sodré

- 2 R. S. Paulo (R. Alecrim)
- 3 P. Luís Camões
- 4 L. Trindade Coelho  
Elevador Glória
- 5 Príncipe Real
- 6 R. Escola Politécnica  
Rato  
R. Custódio Vieira  
R. D. João V
- 7 Amoreiras
- 8 R. Cons. Fernando Sousa
- 9 Campolide
- 10 R. Campolide
- 11 R. Campolide - Escola  
Tarugo  
Av. José Malhoa  
Estação Sete Rios
- 12 Sete Rios
- 13 E. Benfica - Furnas
- 14 R. Duarte Galvão
- 15 B° Novo
- 16 S. Domingos Benfica
- 17 Pupilos Exército
- 18 R. Reinaldo Santos
- 19 Calhariz
- 20 Esc. Pedro Santarém
- 21 Av. Gomes Pereira
- 22 Igreja Benfca
- 23 E. Benfca

### Portas Benfica

**Distância entre paragens:**  
1215±491,6 m  
Min: 480 m; Max: 2050 m

## Percurso 23

### Algés

- 1 R. Jerónimo Osório
- 2 R. Alto Duque
- 3 Av. D. Vasco Gama
- 4 R. Constantino Bragança
- 5 Restelo (Av. Descobertas)  
R. Gregório Lopes  
Fonte Caselas  
Caselas  
E. Queluz  
Caramão – Ajuda  
Bº Ajuda – Escola  
E. Marcos – U.T.L.  
ISCSP – U.T.L.  
Universidade Técnica (Ajuda)
- 6 Montes Claros
- 7 Alto Moinhos
- 8 Cruz Oliveiras
- 9 Viaduto Duarte Pacheco
- 10 Amoreiras
- 11 R. Joaquim António Aguiar
- 12 Marquês Pombal (R. Joaquim A. Aguiar)
- 13 Marquês Pombal (Av. Duque Loulé)
- 14 R. Luciano Cordeiro
- 15 R. Bernardim Ribeiro
- 16 Hospital Capuchos  
Campo Mártires Pátria

### Desterro

#### Distância entre paragens:

1314,5±809,4 m  
Min: 300 m; Max: 2860 m

## Percurso 74

### Campo Ourique (Prazeres)

- 1 Esc. Manuel Maia
- 2 R. Francisco Metrass
- 3 R. 4 Infantaria  
R. Campo Ourique  
Centro Com. Amoreiras
- 4 Amoreiras
- 5 Jardim Amoreiras  
Rato
- 6 Marquês Pombal (R. Alex. Herculano)
- 7 R. Sta. Marta
- 8 R. Conde Redondo
- 9 R. Joaquim Bonifácio

### Gomes Freire

#### Distância entre paragens:

1070±505,8 m  
Min: 630 m; Max: 1920 m



## **ANEXO II**

### **Espectros por banda de terço de oitava**



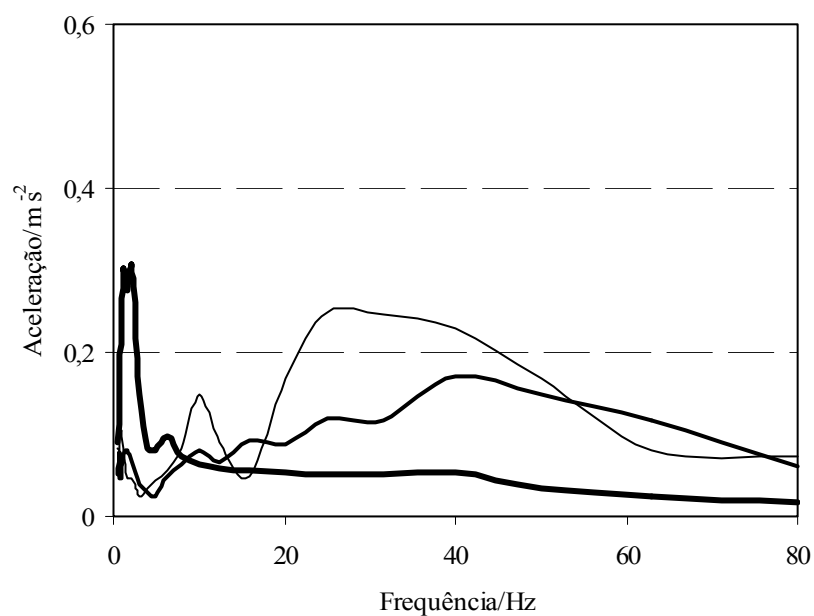


Figura A2.1 - Espectros de aceleração eficaz média obtidos para o modelo Volvo B59 (A), nas direcções x, y e z, no piso de paralelepípedos (P).

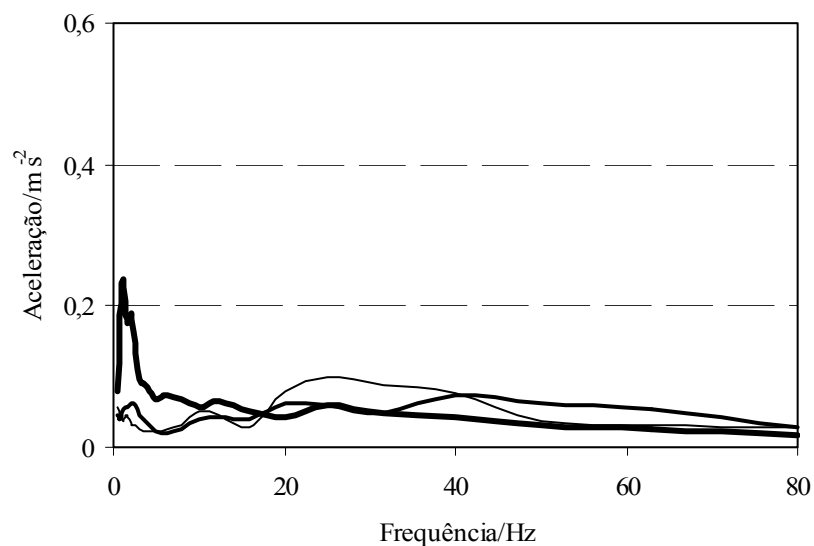


Figura A2.2 - Espectros de aceleração eficaz média obtidos para o modelo Volvo B59 (A), nas direcções x, y e z, no piso de asfalto irregular (AI).

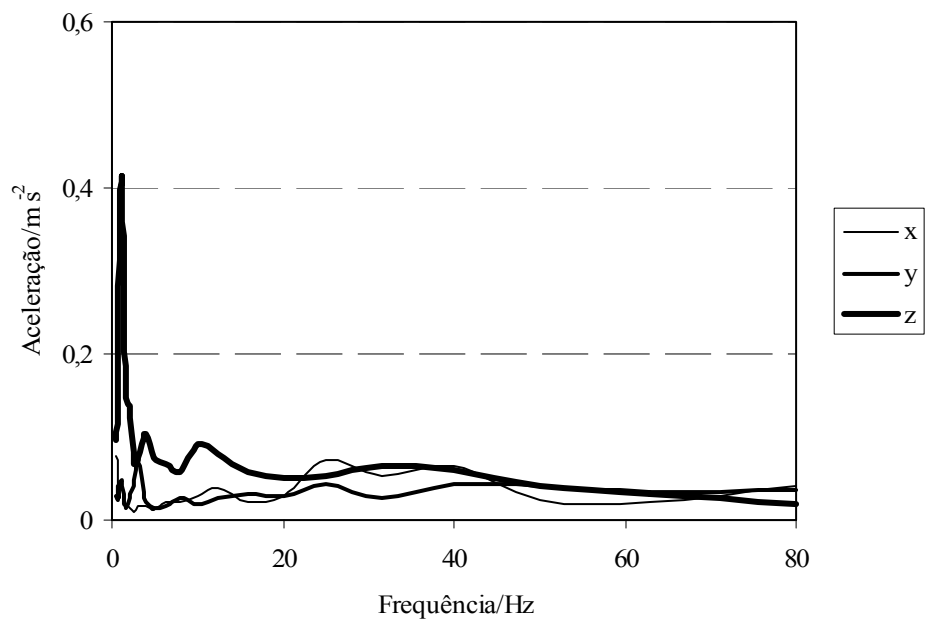


Figura A2.3 - Espectros de aceleração eficaz média obtidos para o modelo Volvo B59 (A), nas direcções x, y e z, no piso de asfalto recente (AR).

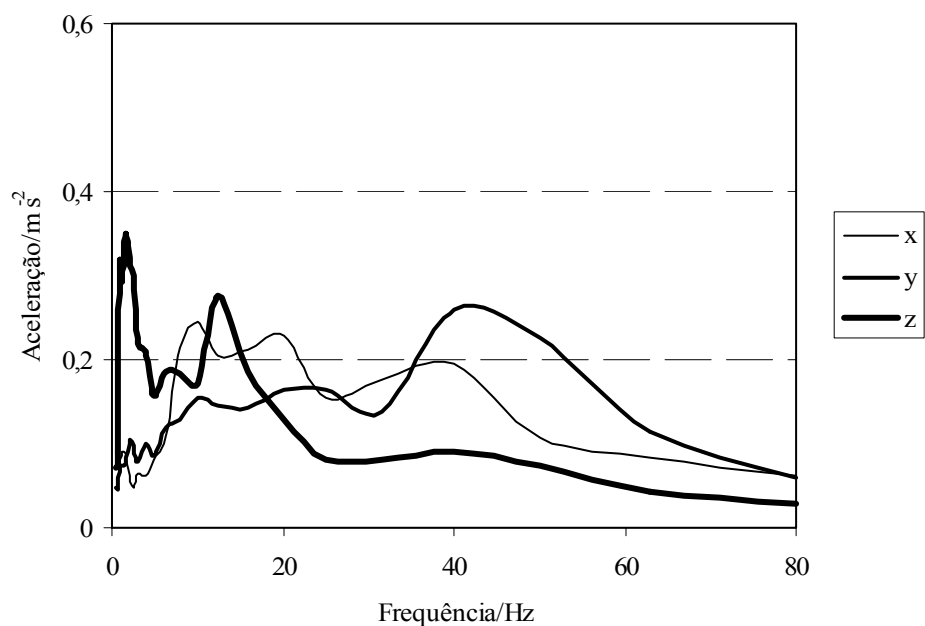


Figura A2.4 - Espectros de aceleração eficaz média obtidos para o modelo Volvo B10R (B) nas direcções x, y e z, no piso de paralelepípedos (P).

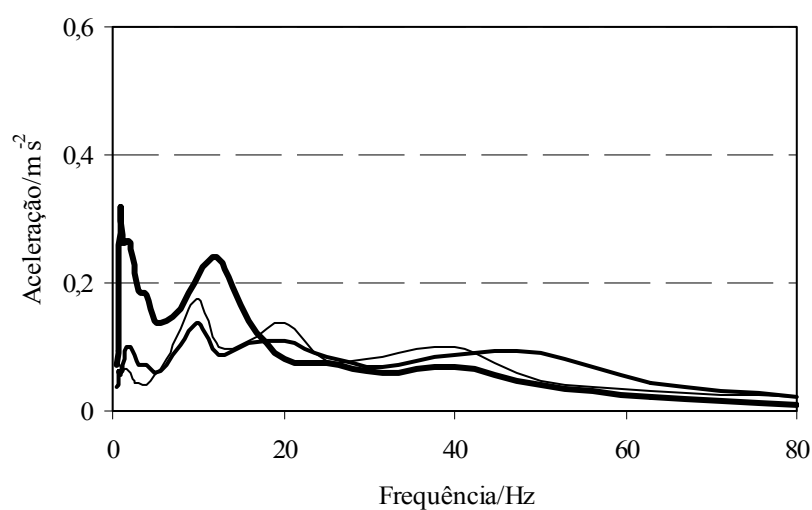


Figura A2.5 - Espectros de aceleração eficaz média obtidos para o modelo Volvo B10R (B) nas direcções x, y e z, no piso de asfalto irregular (AI).

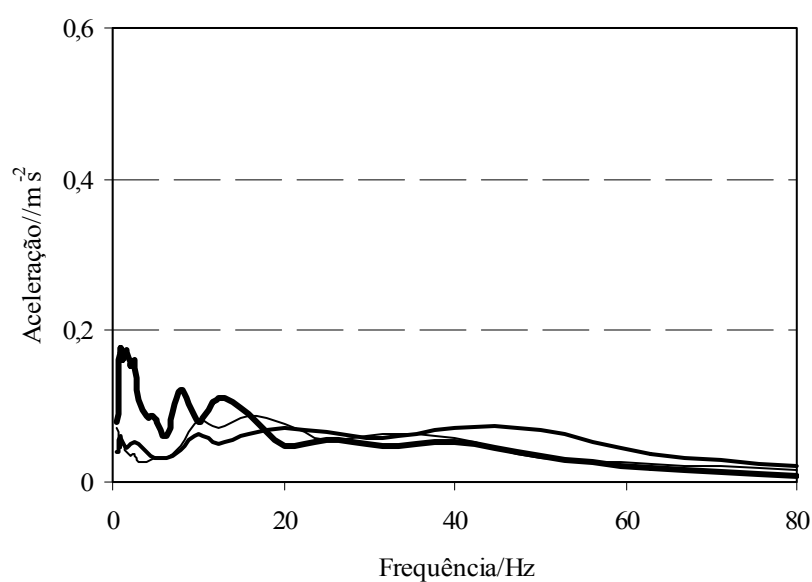


Figura A2.6 - Espectros de aceleração eficaz média obtidos para o modelo Volvo B10R (B) nas direcções x, y e z, no piso de asfalto recente (AR).

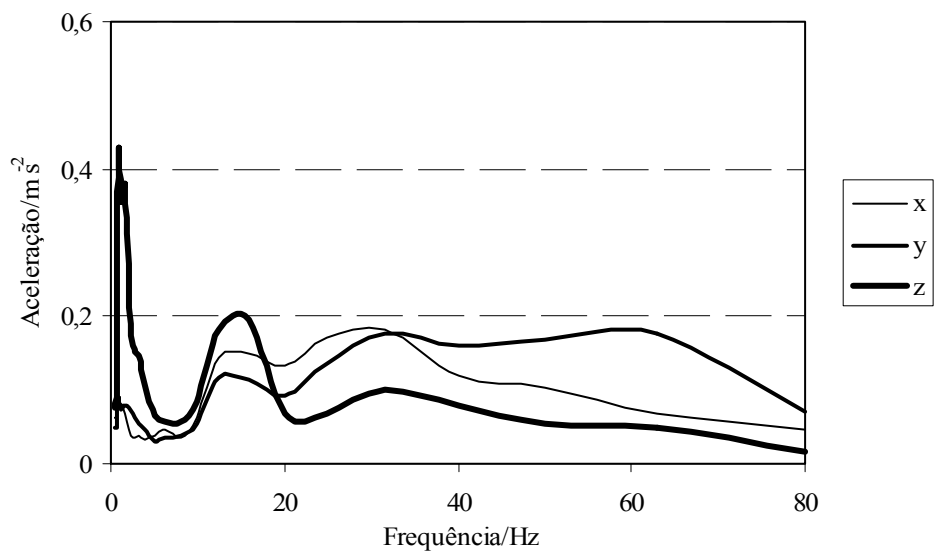


Figura A2.7 - Espectros de aceleração eficaz média obtidos para o modelo MAN 10150 (C) nas direcções x, y e z, no piso de paralelepípedos (P).

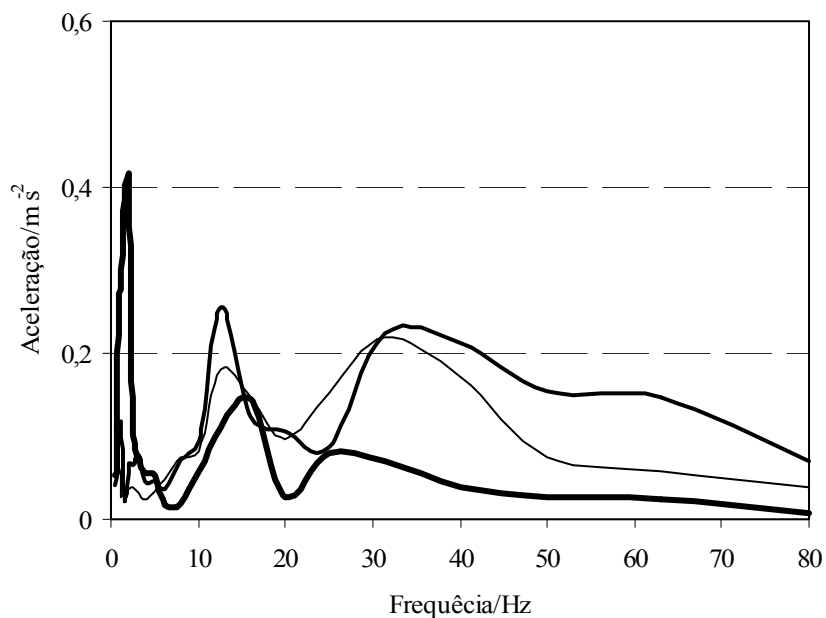


Figura A2.8 - Espectros de aceleração eficaz média obtidos para o modelo MAN 10150 (C) nas direcções x, y e z, no piso de asfalto irregular (AI).

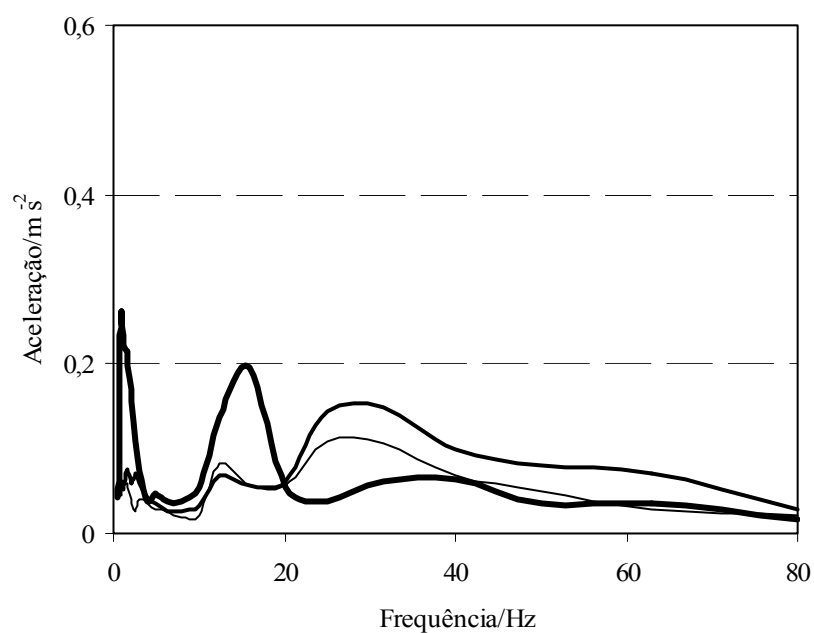


Figura A2.9 - Espectros de aceleração eficaz média obtidos para o modelo MAN 10150 (C) nas direcções x, y e z, no piso de asfalto recente (AR).

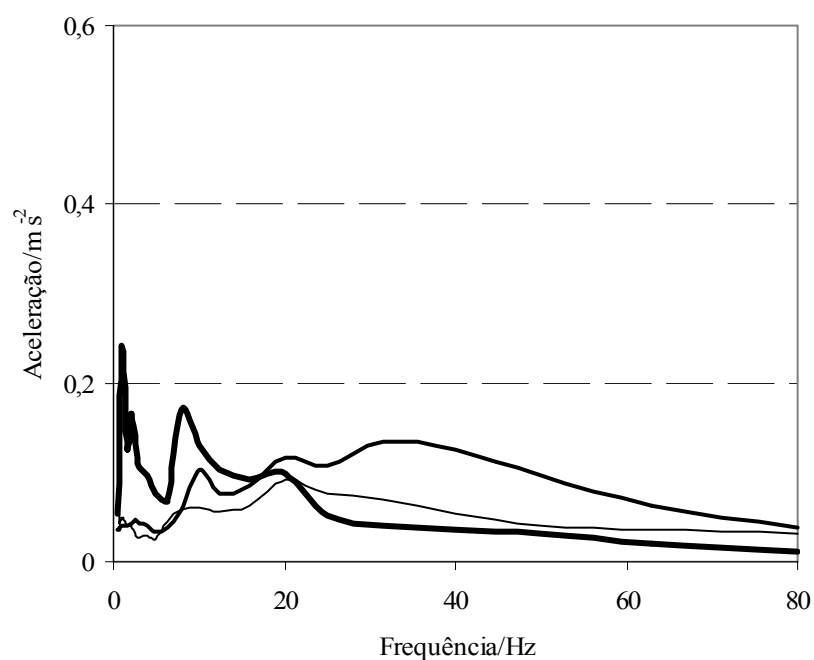


Figura A2.10 - Espectros de aceleração eficaz média obtidos para o modelo Volvo B10M (24 toneladas, D) nas direcções x, y e z, no piso de asfalto irregular (AI).

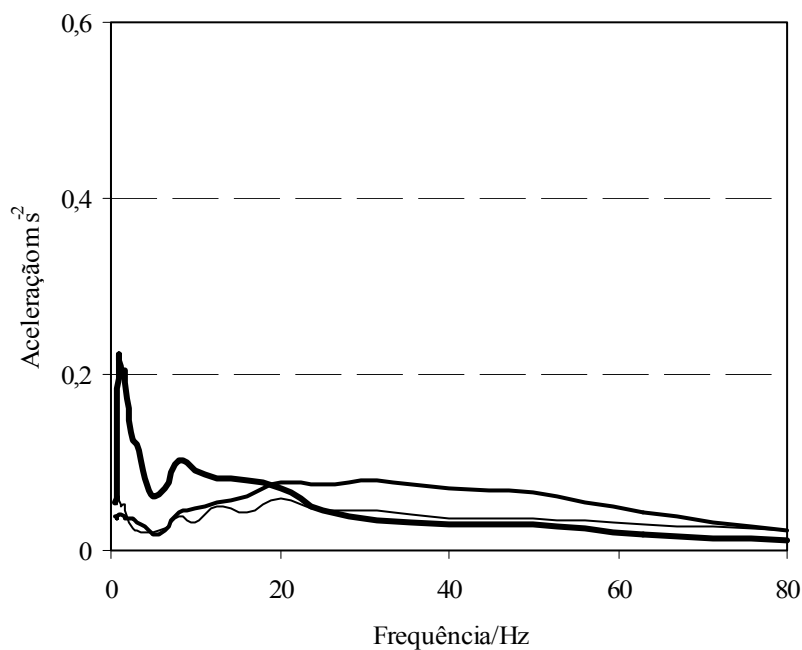


Figura A2.11 - Espectros de aceleração eficaz média obtidos para o modelo Volvo B10M (24 toneladas, D) nas direcções x, y e z, no piso de asfalto recente (AR).

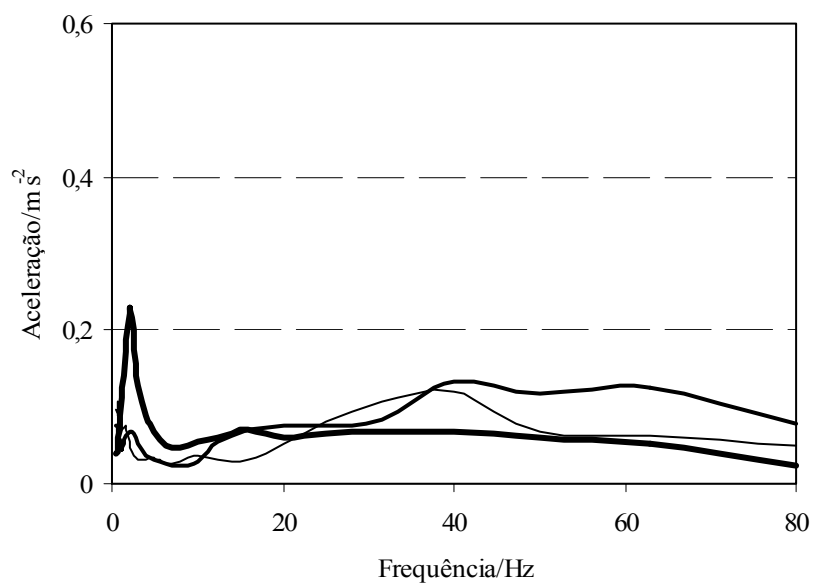


Figura A2.12 - Espectros de aceleração eficaz média obtidos para o modelo Renault (E) nas direcções x, y e z, no piso de asfalto irregular (AI).

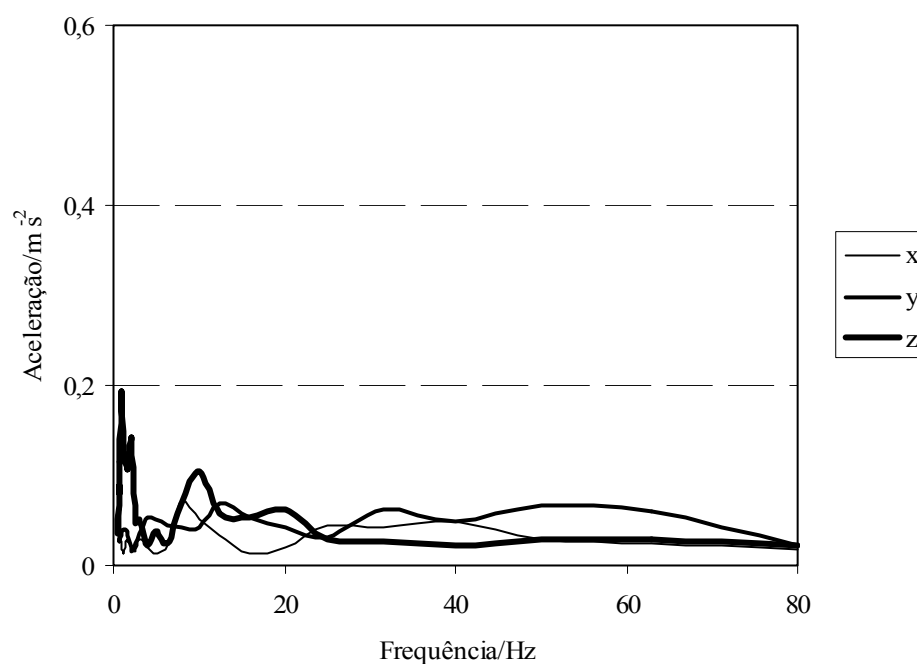


Figura A2.13 - Espectros de aceleração eficaz média obtidos para o modelo B10M (28 toneladas, F) nas direcções x, y e z, no piso de asfalto irregular (AI).

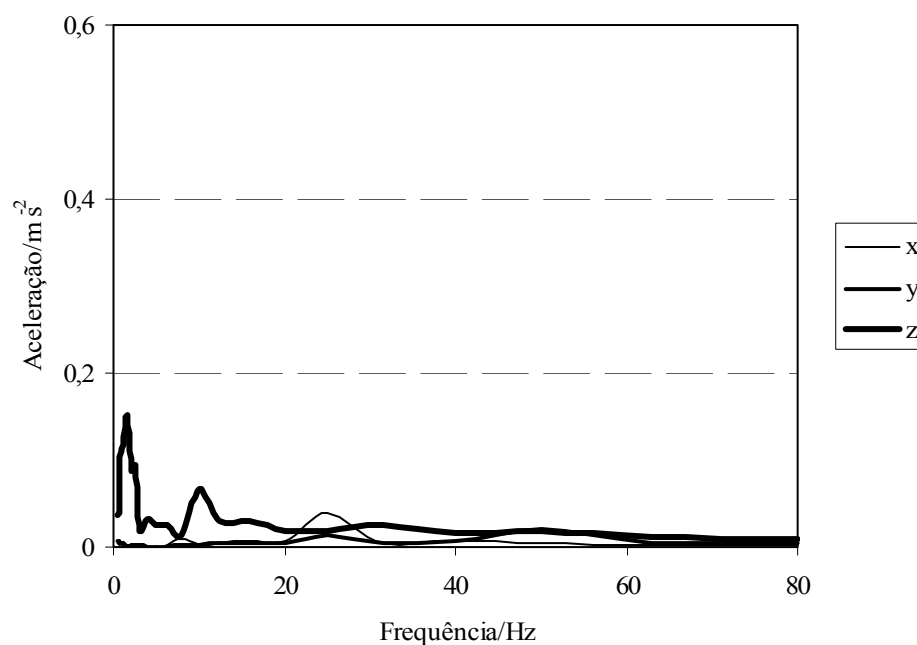


Figura A2.14 - Espectros de aceleração eficaz média obtidos para o modelo B10M (28 toneladas, F) nas direcções x, y e z, no piso de asfalto recente (AR).

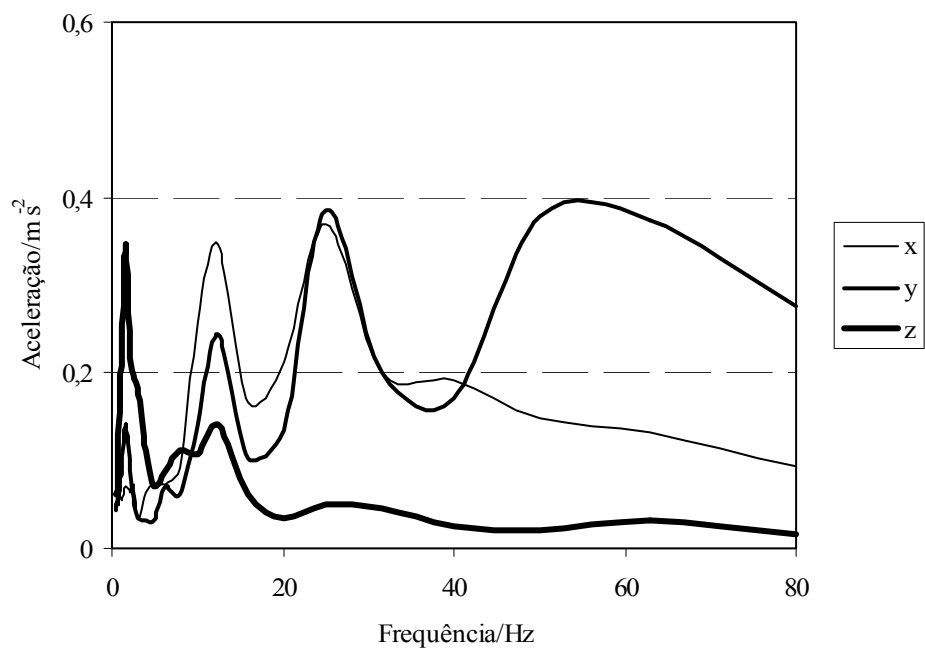


Figura A2.15 - Espectros de aceleração eficaz média obtidos para o modelo Mercedes O405 (G) nas direcções x, y e z, no piso de paralelepípedos (P).

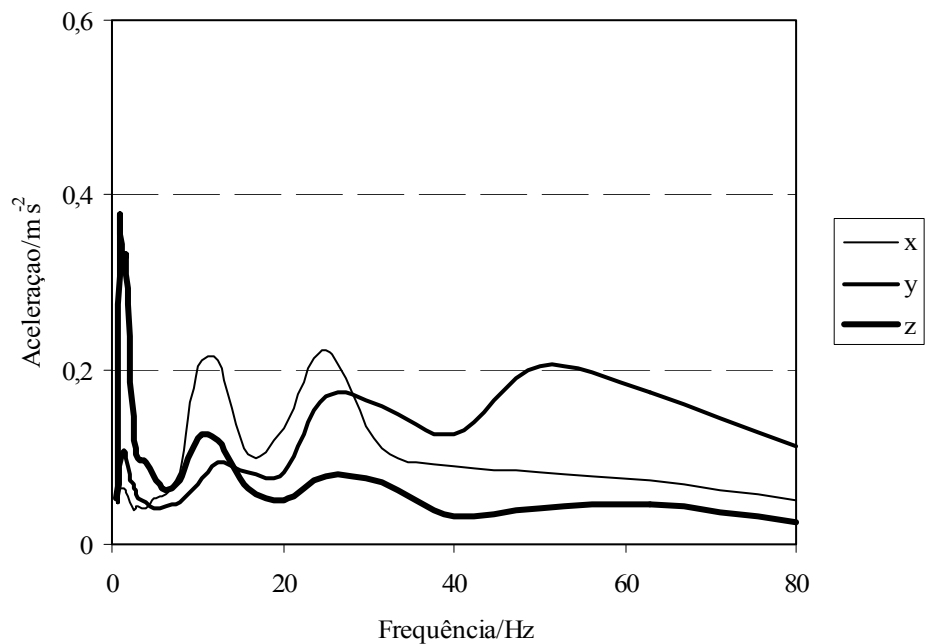


Figura A2.16 - Espectros de aceleração eficaz média obtidos para o modelo Mercedes O405 (G) nas direcções x, y e z, no piso de asfalto irregular (AI).

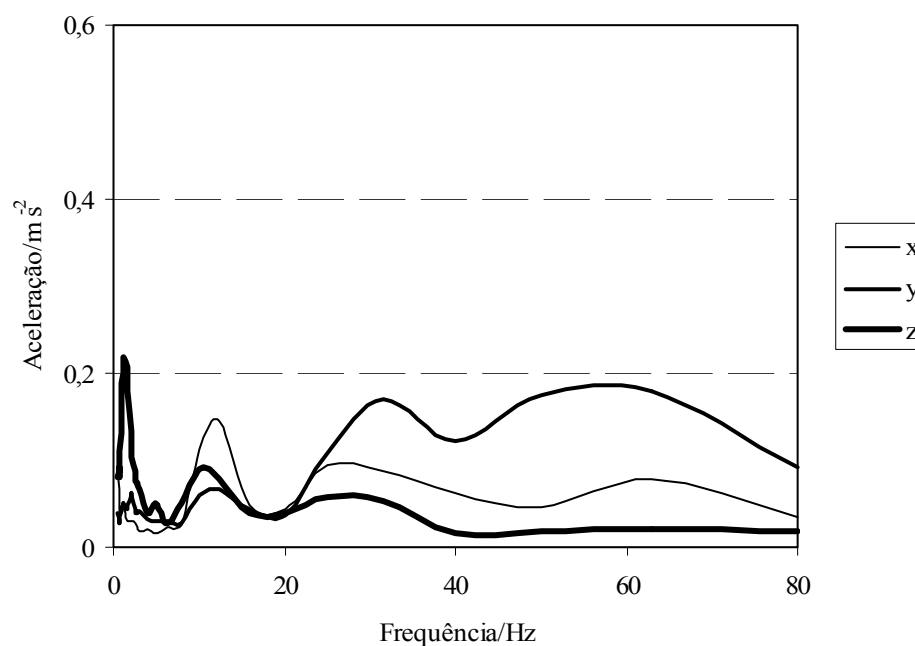


Figura A2.17 - Espectros de aceleração eficaz média obtidos para o modelo Mercedes O405 (G) nas direcções x, y e z, no piso de asfalto recente (AR).

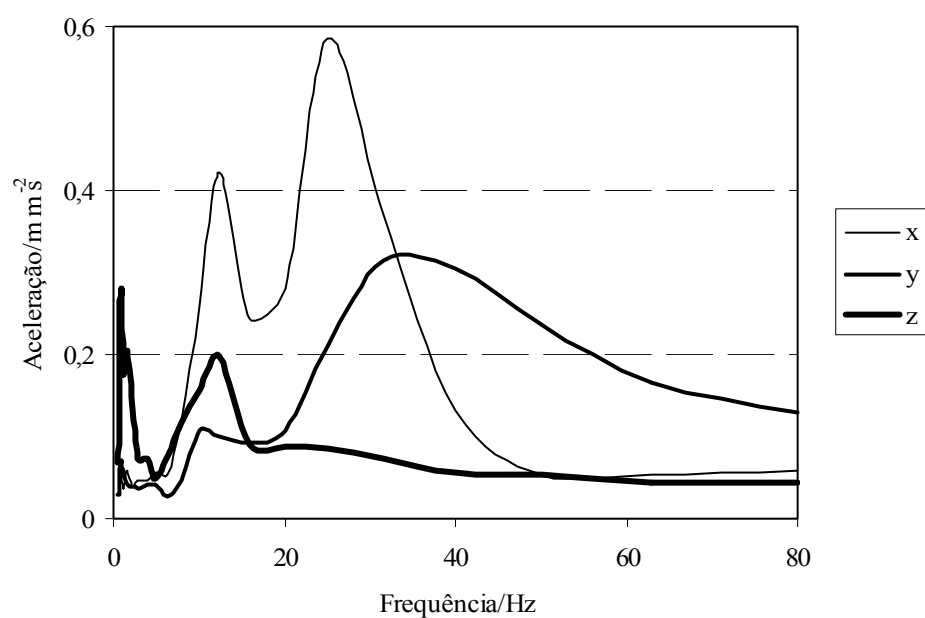


Figura A2.18 - Espectros de aceleração eficaz média obtidos para o modelo Mercedes O530 (H) nas direcções x, y e z, no piso de asfalto irregular (AI).

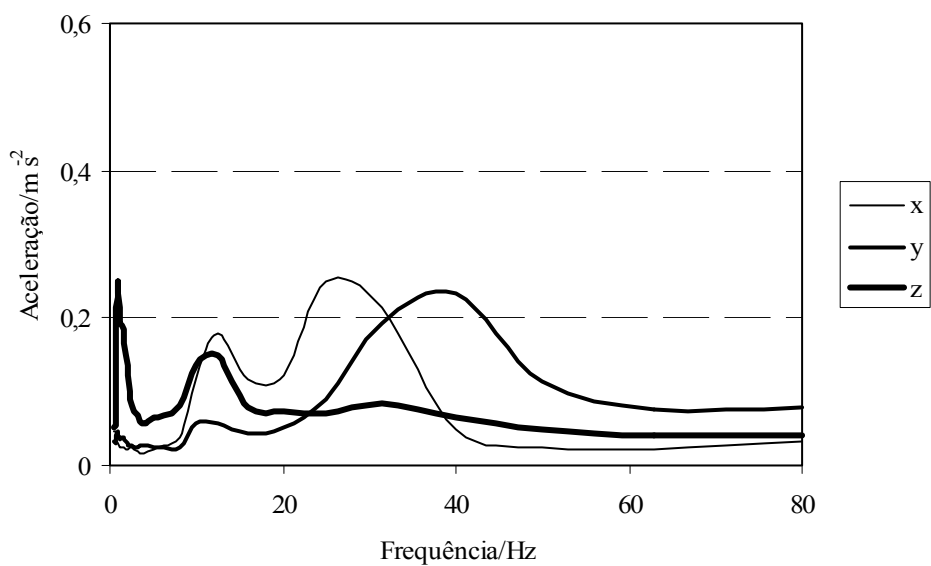


Figura A2.19 - Espectros de aceleração eficaz média obtidos para o modelo Mercedes O530 (H) nas direcções x, y e z, no piso de asfalto recente (AR).

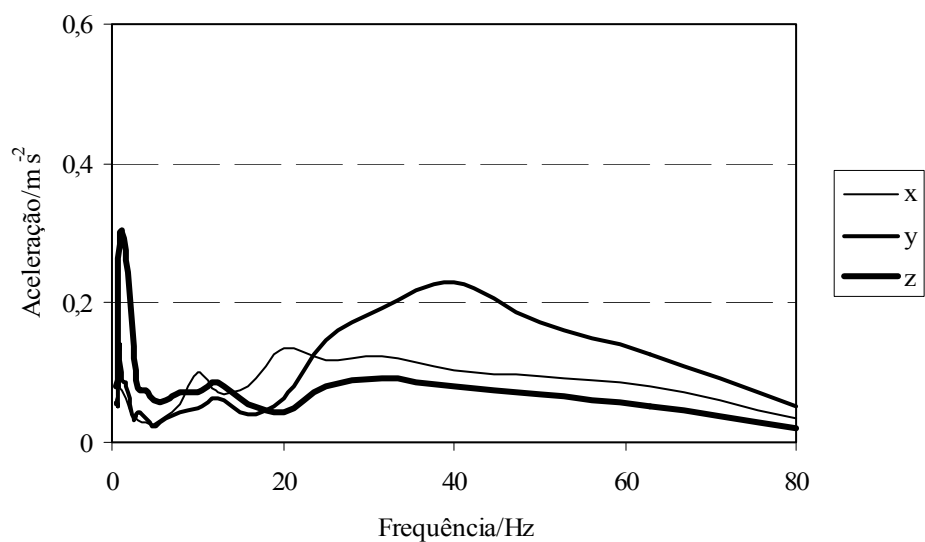


Figura A2.20 - Espectros de aceleração eficaz média obtidos para o modelo Volvo B7L (I) nas direcções x, y e z, no piso de paralelepípedos (P).

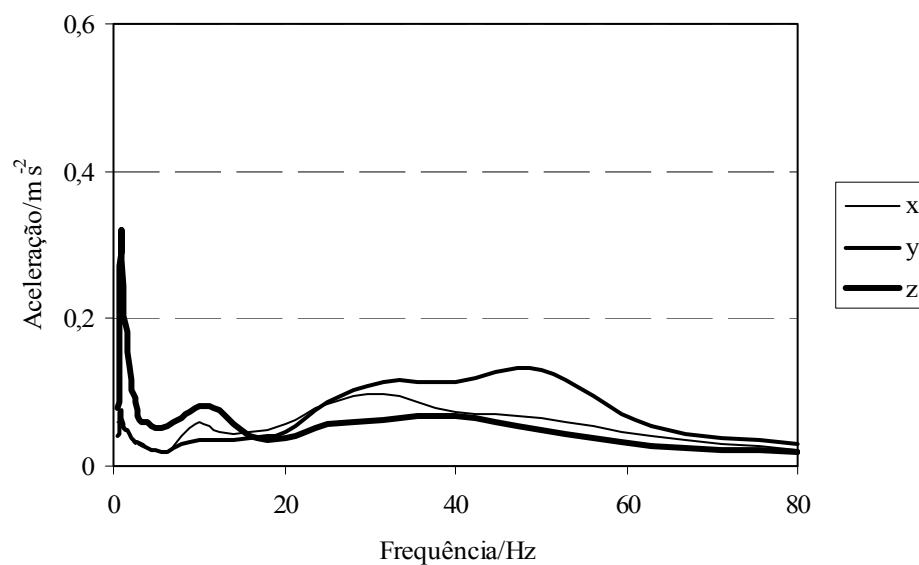


Figura A2.21 - Espectros de aceleração eficaz média obtidos para o modelo Volvo B7L (I) nas direcções x, y e z, no piso de asfalto irregular (AI).

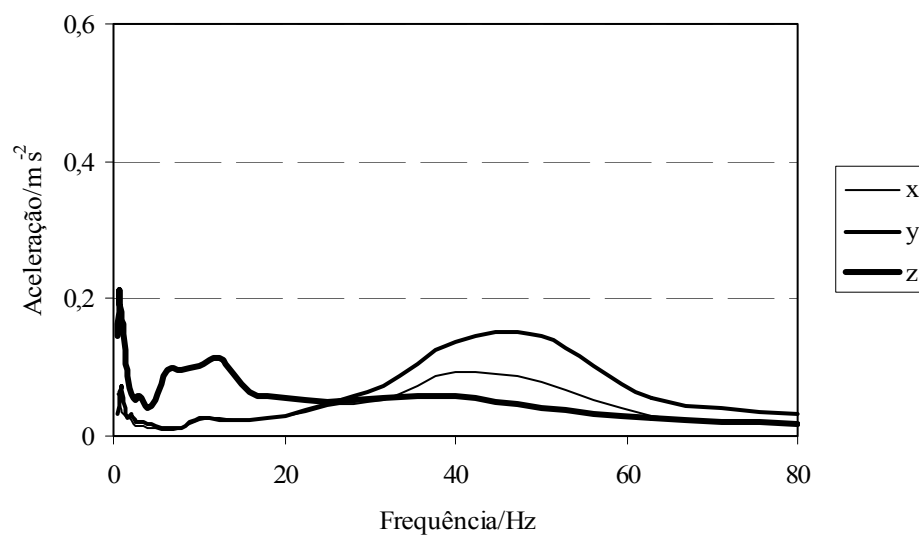


Figura A2.22 - Espectros de aceleração eficaz média obtidos para o modelo Volvo B7L (I) nas direcções x, y e z, no piso de asfalto recente (AR).

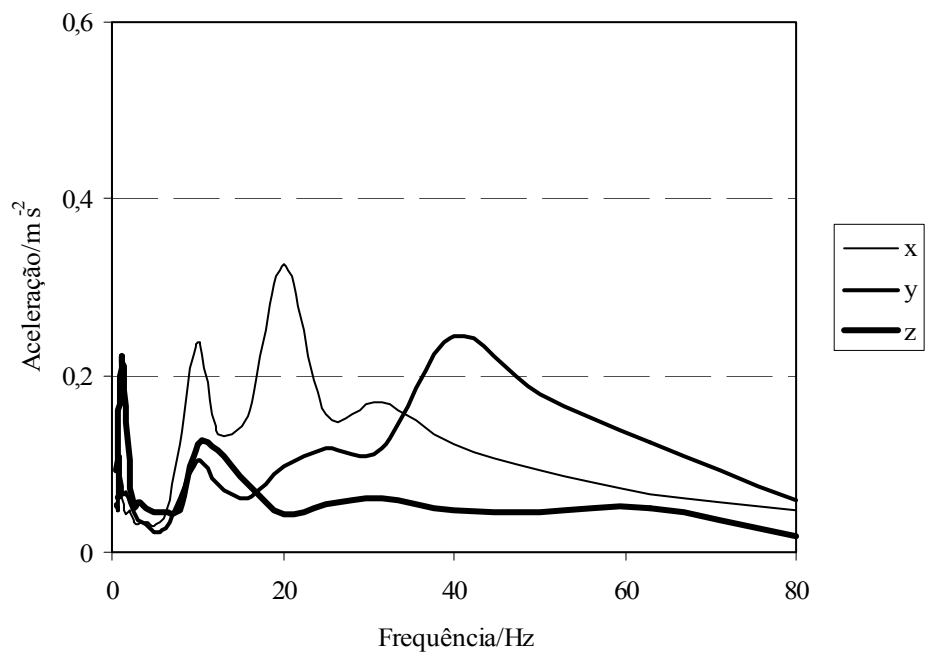


Figura A2.23 - Espectros de aceleração eficaz média obtidos para o modelo Volvo B10L (J) nas direcções x, y e z, no piso de paralelepípedos (P).

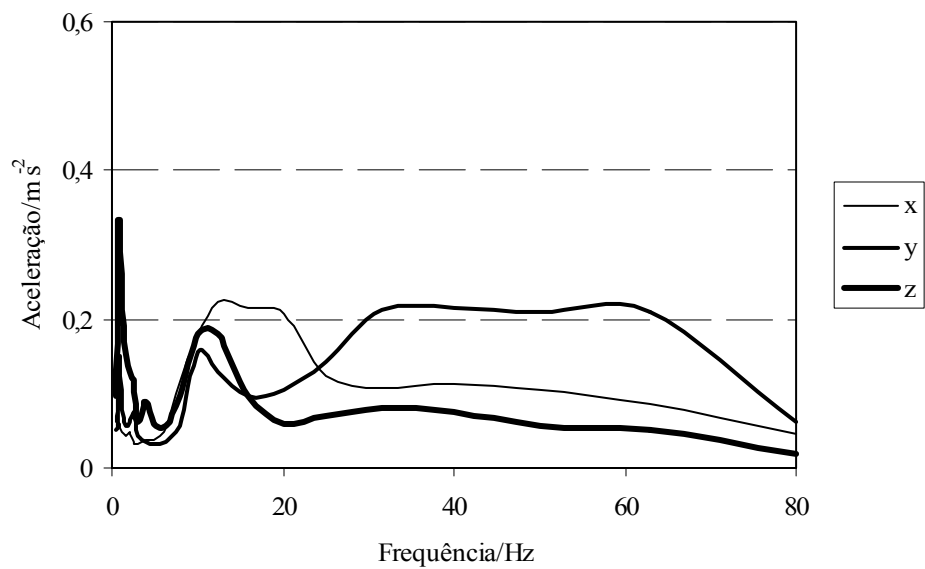


Figura A2.24 - Espectros de aceleração eficaz média obtidos para o modelo Volvo B10L (J) nas direcções x, y e z, no piso de asfalto irregular (AI).

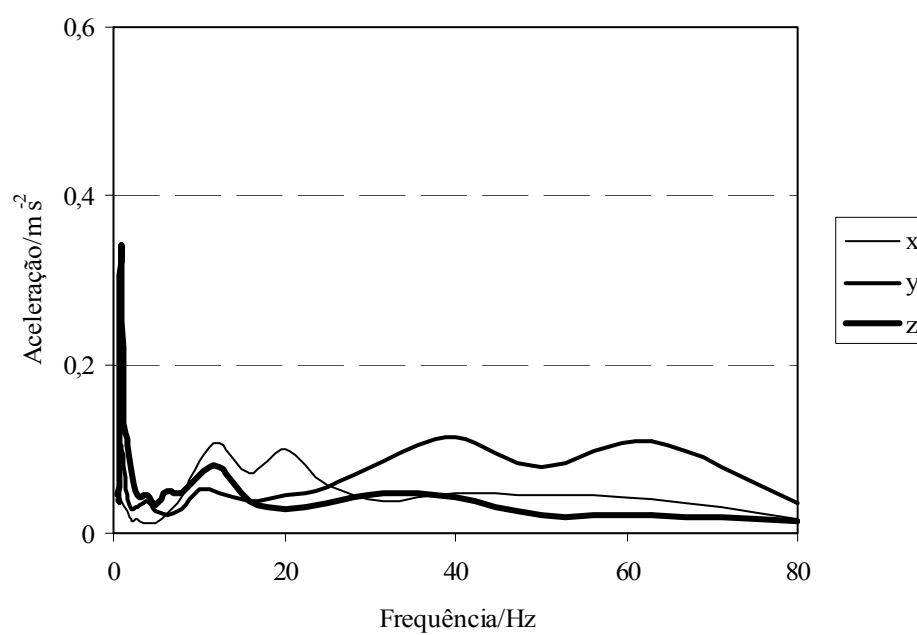


Figura A2.25 - Espectros de aceleração eficaz média obtidos para o modelo Volvo B10L (J) nas direcções x, y e z, no piso de asfalto recente (AR).



## **ANEXO III**

**Distribuição da transmissibilidade do assento na direcção  
vertical, por banda de terço de oitava**



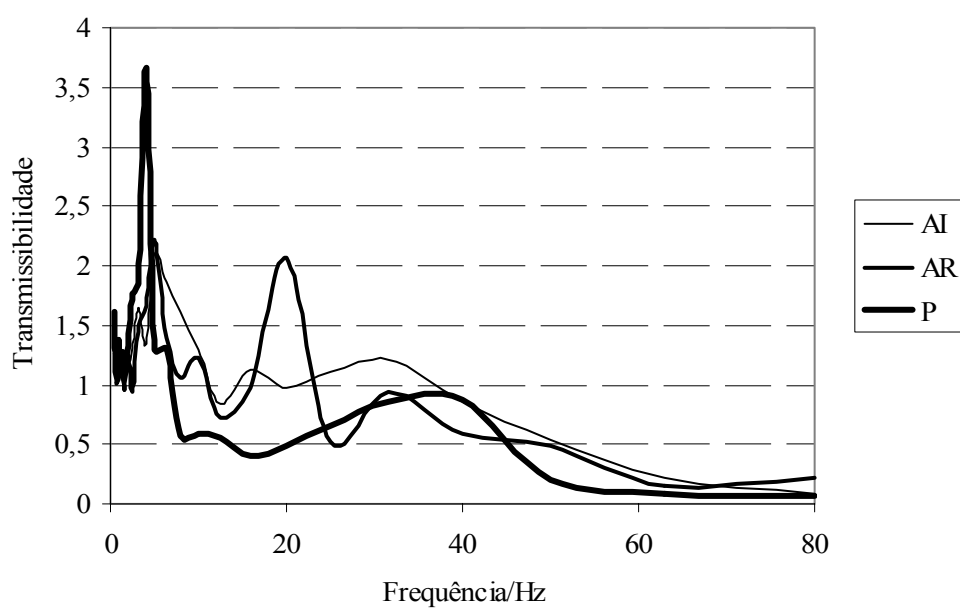


Figura A3.1 - Variação da transmissibilidade vibracional do assento, na direcção vertical, por banda de terço de oitava, no modelo Volvo B59 (A), nos três tipos de pavimento

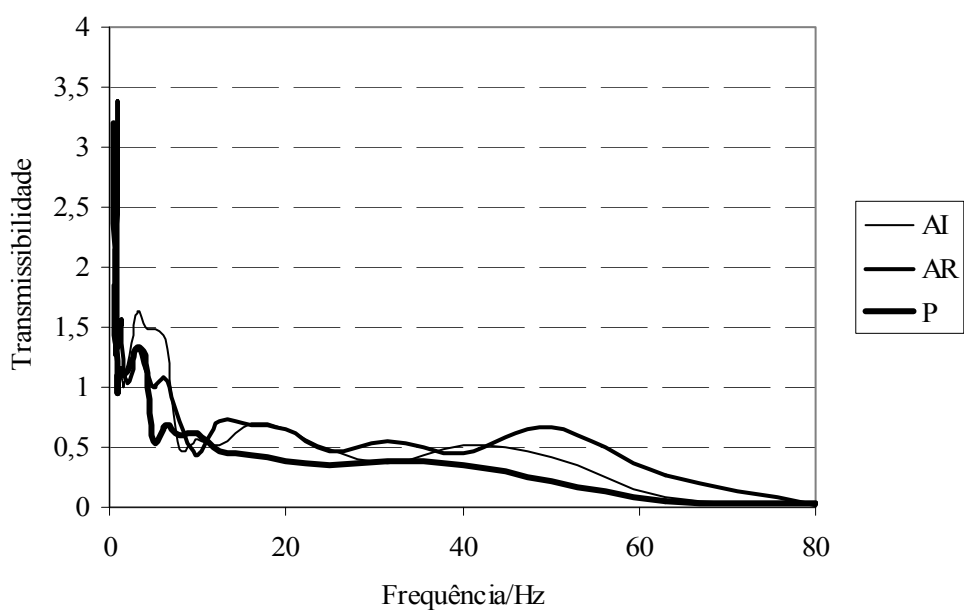


Figura A3.2 - Variação da transmissibilidade vibracional do assento, na direcção vertical, por banda de terço de oitava, no modelo Volvo B10R (B), nos três tipos de pavimento.

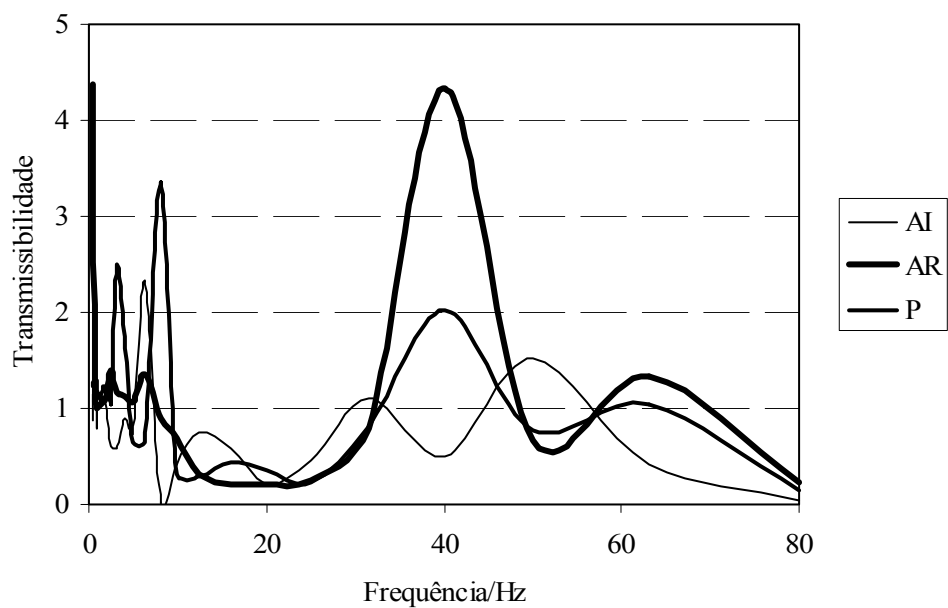


Figura A3.3 - Variação da transmissibilidade vibracional do assento, na direcção vertical, por banda de terço de oitava, no modelo MAN 10150 (C), nos três tipos de pavimento.

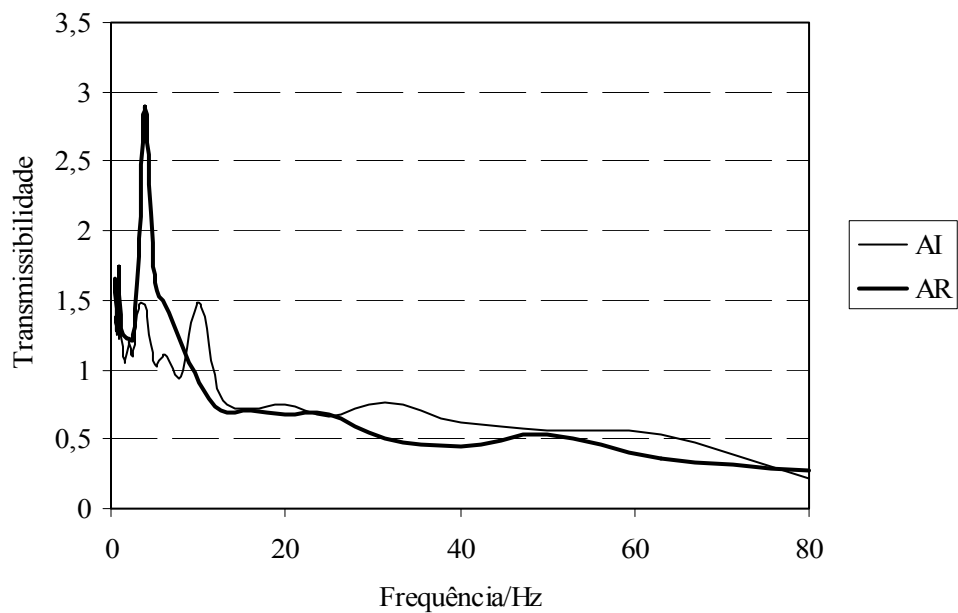


Figura A3.4 - Variação da transmissibilidade vibracional do assento, na direcção vertical, por banda de terço de oitava, no modelo Volvo B10M (24 toneladas, D), nos pavimentos de asfalto irregular (AI) e asfalto recente (AR).

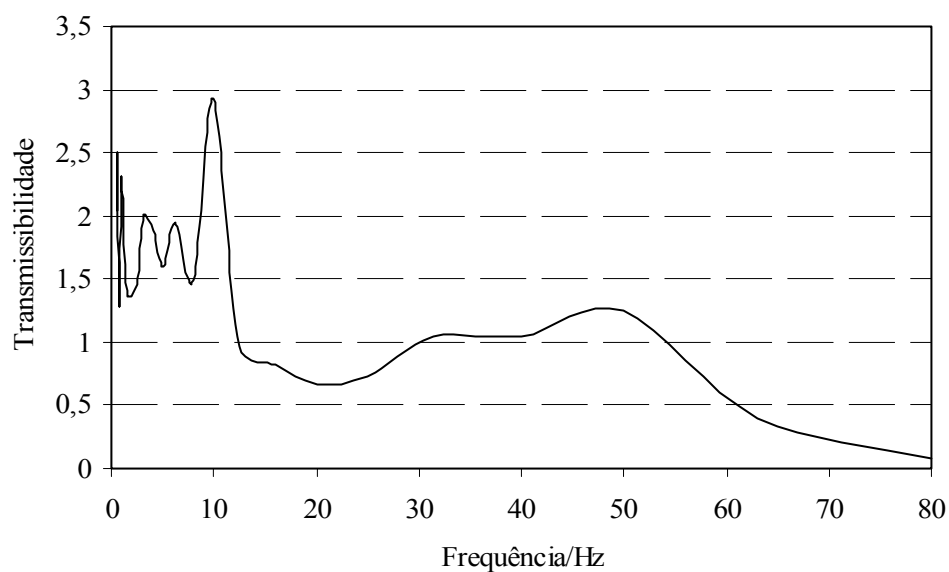


Figura A3.5 - Variação da transmissibilidade vibracional do assento, na direção vertical, por banda de terço de oitava, no modelo Renault (E) no pavimento de Asfalto Irregular (AI).

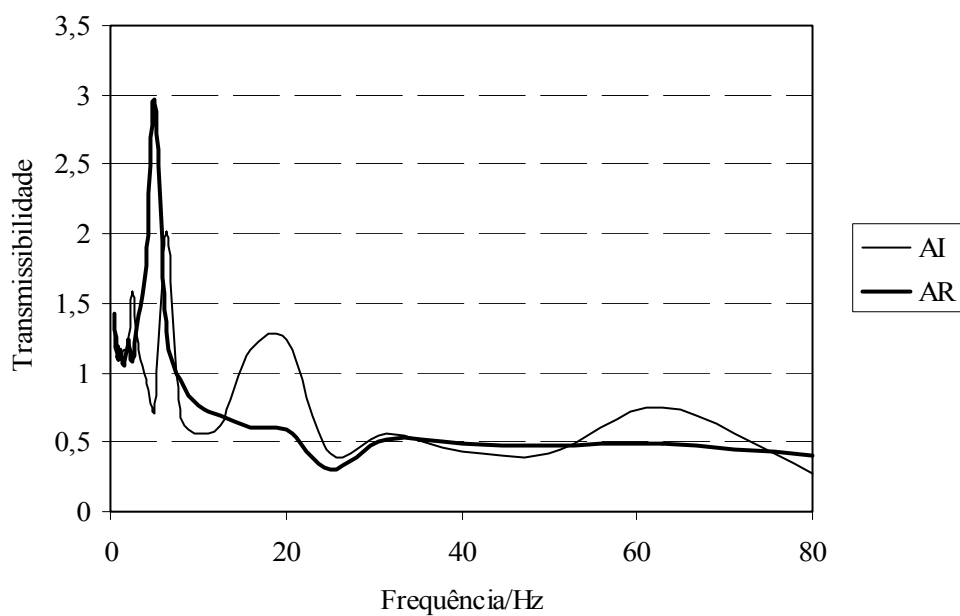


Figura A3.6 - Variação da transmissibilidade vibracional do assento, na direção vertical, por banda de terço de oitava, no modelo Volvo B10M (28 toneladas, F), nos pavimentos de asfalto irregular (AI) e asfalto recente (AR).

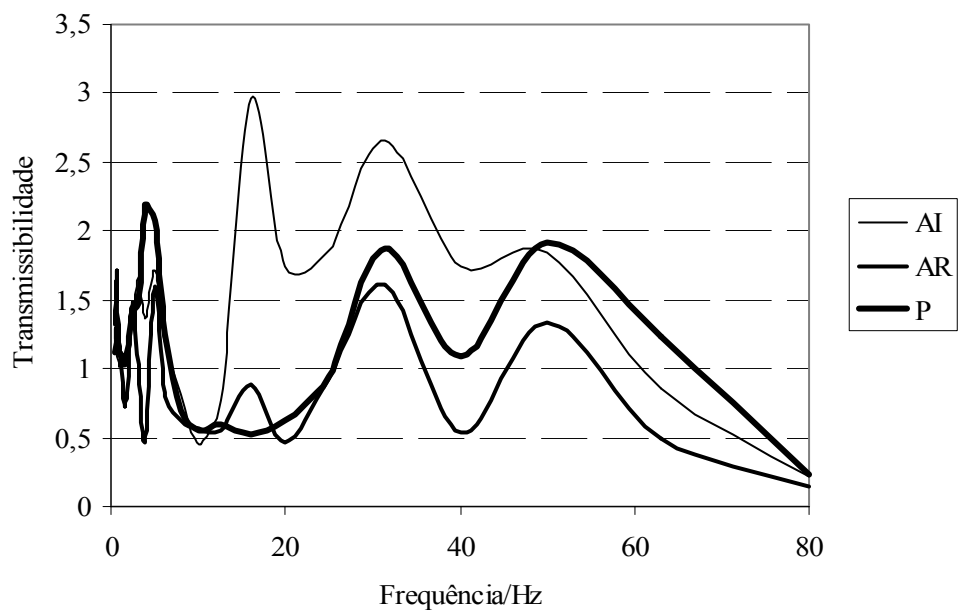


Figura A3.7 - Variação da transmissibilidade vibracional do assento, na direcção vertical, por banda de terço de oitava, no modelo Mercedes O405 (G), nos três tipos de pavimento.

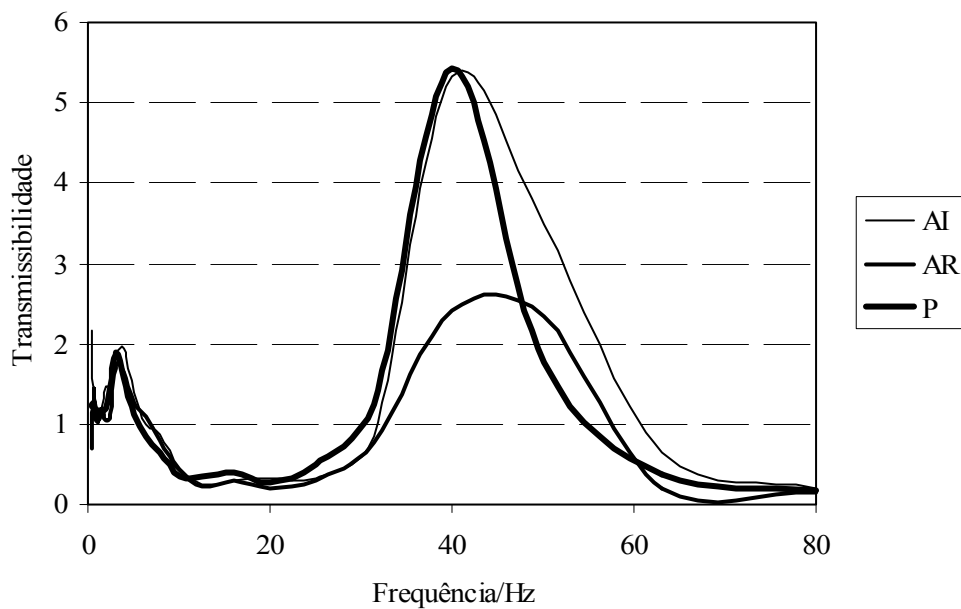


Figura A3.8 - Variação da transmissibilidade vibracional do assento, na direcção vertical, por banda de terço de oitava, no modelo Volvo B7L (I), nos três tipos de pavimento.

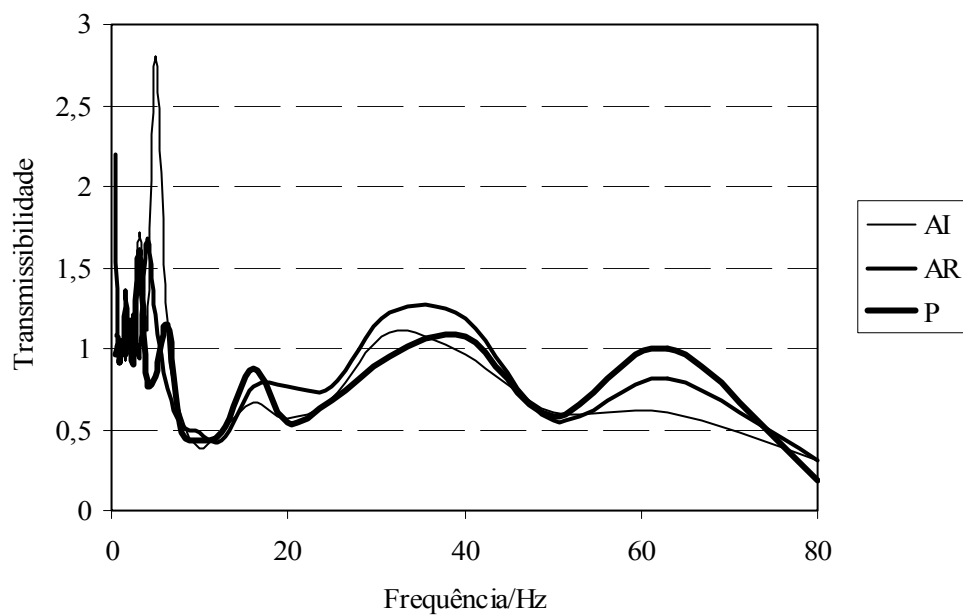


Figura A3.9 - Variação da transmissibilidade vibracional do assento, na direcção vertical, por banda de terço de oitava, no modelo Volvo B10L (J), nos três tipos de pavimento.



## **ANEXO IV**

### **Resultados das medições efectuadas**



| Condutor | Peso_C | Veículo | Peso_V | Antiguidade | Piso | awx     | awy     | awz     | awmáx   | asaúde  | aconforto | awzbase | transm. |
|----------|--------|---------|--------|-------------|------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|---------|
| 1        | 88     | F       | 28000  | 1995        |      | 0,15396 | 0,22199 | 0,30042 | 0,30042 | 0,48301 | 0,40402   | 0,34787 | 0,86358 |
| 1        | 88     | F       | 28000  | 1995        | AI   | 0,06402 | 0,15959 | 0,32631 | 0,32631 | 0,4055  | 0,36885   | 0,45608 | 0,71547 |
| 1        | 88     | F       | 28000  | 1995        | AR   | 0,00568 | 0,00402 | 0,03393 | 0,03393 | 0,0353  | 0,03464   | 0,05812 | 0,58377 |
| 1        | 88     | F       | 28000  | 1995        |      | 0,09593 | 0,14057 | 0,07531 | 0,14057 | 0,24988 | 0,18611   | 0,06972 | 1,08014 |
| 1        | 88     | F       | 28000  | 1995        | AI   | 0,11334 | 0,08469 | 0,28575 | 0,28575 | 0,34769 | 0,31886   | 0,3644  | 0,78418 |
| 1        | 88     | F       | 28000  | 1995        | AR   | 0,01523 | 0,0212  | 0,32006 | 0,32006 | 0,32214 | 0,32112   | 0,30745 | 1,04101 |
| 1        | 88     | F       | 28000  | 1995        | AI   | 0,28888 | 0,14593 | 0,13596 | 0,28888 | 0,47306 | 0,35104   | 0,13483 | 1,00836 |
| 2        | 82     | D       | 24335  | 1993        | AI   | 0,11532 | 0,10454 | 0,55526 | 0,55526 | 0,59649 | 0,57666   | 0,61793 | 0,89858 |
| 2        | 82     | D       | 24335  | 1993        | AR   | 0,23383 | 0,24414 | 0,72778 | 0,72778 | 0,86813 | 0,80246   | 0,5648  | 1,28856 |
| 2        | 82     | D       | 24335  | 1993        | AR   | 0,19368 | 0,16973 | 0,41858 | 0,41858 | 0,55245 | 0,49146   | 0,4144  | 1,0101  |
| 2        | 82     | D       | 24335  | 1993        |      | 0,21668 | 0,10901 | 0,39756 | 0,39756 | 0,52285 | 0,46571   | 0,82616 | 0,48121 |
| 2        | 82     | D       | 24335  | 1993        | AI   | 0,15217 | 0,10316 | 0,51851 | 0,51851 | 0,57887 | 0,55014   | 0,46175 | 1,12292 |
| 2        | 82     | D       | 24335  | 1993        | AI   | 0,14481 | 0,23138 | 0,66835 | 0,66835 | 0,76988 | 0,72194   | 0,75509 | 0,88512 |
| 2        | 82     | D       | 24335  | 1993        | AR   | 0,1132  | 0,11682 | 0,52773 | 0,52773 | 0,57477 | 0,55223   | 0,48939 | 1,07834 |
| 2        | 82     | D       | 24335  | 1993        | AI   | 0,2367  | 0,12006 | 0,64404 | 0,64404 | 0,74355 | 0,69659   | 0,48053 | 1,34028 |
| 2        | 82     | D       | 24335  | 1993        | AI   | 0,11798 | 0,08101 | 0,64404 | 0,64404 | 0,67449 | 0,65975   | 0,48053 | 1,34028 |
| 2        | 82     | D       | 24335  | 1993        | AI   | 0,1124  | 0,1296  | 0,30429 | 0,30429 | 0,38764 | 0,34931   | 0,34102 | 0,89227 |
| 3        | 65,5   | D       | 24335  | 1991        | AI   | 0,14002 | 0,13913 | 0,4263  | 0,4263  | 0,50803 | 0,46978   | 0,44213 | 0,96418 |
| 3        | 65,5   | D       | 24335  | 1991        | AR   | 0,15605 | 0,07392 | 0,32166 | 0,32166 | 0,40237 | 0,36508   | 0,29227 | 1,10057 |
| 3        | 65,5   | D       | 24335  | 1991        | AI   | 0,10064 | 0,09564 | 0,59411 | 0,59411 | 0,6251  | 0,61012   | 0,50437 | 1,17792 |
| 3        | 65,5   | D       | 24335  | 1991        | AR   | 0,18968 | 0,13912 | 0,07967 | 0,18968 | 0,33882 | 0,24836   | 0,09247 | 0,86162 |
| 3        | 65,5   | D       | 24335  | 1991        | AR   | 0,02533 | 0,05162 | 0,48    | 0,48    | 0,48671 | 0,48343   | 0,48906 | 0,98148 |
| 3        | 65,5   | D       | 24335  | 1991        | AI   | 0,13337 | 0,16832 | 0,19563 | 0,19563 | 0,3587  | 0,2905    | 0,19857 | 0,98517 |
| 3        | 65,5   | D       | 24335  | 1991        | AI   | 0,1511  | 0,16164 | 0,86242 | 0,86242 | 0,91636 | 0,89035   | 0,66028 | 1,30614 |
| 3        | 65,5   | D       | 24335  | 1991        | AI   | 0,13471 | 0,15515 | 0,45202 | 0,45202 | 0,53579 | 0,49653   | 0,44358 | 1,01904 |
| 4        | 79     | D       | 24335  | 1991        | AI   | 0,162   | 0,07577 | 0,35907 | 0,35907 | 0,43775 | 0,40115   |         |         |
| 4        | 79     | D       | 24335  | 1991        | AR   | 0,17744 | 0,15139 | 0,37645 | 0,37645 | 0,49834 | 0,44285   |         |         |
| 4        | 79     | D       | 24335  | 1991        | AR   | 0,1567  | 0,15447 | 0,27467 | 0,27467 | 0,41272 | 0,35193   |         |         |
| 4        | 79     | D       | 24335  | 1991        | AR   | 0,12298 | 0,1433  | 0,42897 | 0,42897 | 0,50389 | 0,4687    |         |         |
| 4        | 79     | D       | 24335  | 1991        | AR   | 0,27003 | 0,14062 | 0,63947 | 0,63947 | 0,76851 | 0,70825   |         |         |
| 4        | 79     | D       | 24335  | 1991        | AI   | 0,12588 | 0,1415  | 0,29679 | 0,29679 | 0,39798 | 0,35207   |         |         |
| 4        | 79     | D       | 24335  | 1991        | AR   | 0,14587 | 0,2003  | 0,27723 | 0,27723 | 0,44407 | 0,37182   |         |         |

| Condutor | Peso_C | Veículo | Peso_V | Antiguidade | Piso | awx     | awy     | awz     | awmáx   | asaúde  | aconforto | awzbase | transm. |
|----------|--------|---------|--------|-------------|------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|---------|
| 4        | 79     | D       | 24335  | 1991        | AR   | 0,16023 | 0,21072 | 0,08555 | 0,21072 | 0,38035 | 0,2782    |         |         |
| 4        | 79     | D       | 24335  | 1991        | AI   | 0,14293 | 0,16001 | 0,27342 | 0,27342 | 0,40618 | 0,34755   |         |         |
| 4        | 79     | D       | 24335  | 1991        | AI   | 0,249   | 0,28891 | 0,55852 | 0,55852 | 0,7727  | 0,67632   |         |         |
| 4        | 79     | D       | 24335  | 1991        | AI   | 0,22209 | 0,317   | 0,15301 | 0,317   | 0,56307 | 0,4162    |         |         |
| 4        | 79     | D       | 24335  | 1991        | AI   | 0,12068 | 0,15095 | 0,25234 | 0,25234 | 0,36997 | 0,31784   |         |         |
| 5        | 82     | D       | 24335  | 1992        | AI   | 0,14412 | 0,06542 | 0,29345 | 0,29345 | 0,36771 | 0,33341   |         |         |
| 5        | 82     | D       | 24335  | 1992        | AR   | 0,07975 | 0,05743 | 0,17797 | 0,17797 | 0,22495 | 0,2033    |         |         |
| 5        | 82     | D       | 24335  | 1992        | AI   | 0,14269 | 0,13742 | 0,4011  | 0,4011  | 0,48764 | 0,44735   |         |         |
| 5        | 82     | D       | 24335  | 1992        | AR   | 0,1711  | 0,19228 | 0,39792 | 0,39792 | 0,53683 | 0,47391   |         |         |
| 5        | 82     | D       | 24335  | 1992        | AR   | 0,24185 | 0,12406 | 0,35202 | 0,35202 | 0,51839 | 0,44474   |         |         |
| 5        | 82     | D       | 24335  | 1992        | AR   | 0,19326 | 0,11915 | 0,67118 | 0,67118 | 0,74264 | 0,70854   |         |         |
| 5        | 82     | D       | 24335  | 1992        | AR   | 0,13561 | 0,09656 | 0,33422 | 0,33422 | 0,40746 | 0,37339   |         |         |
| 5        | 82     | D       | 24335  | 1992        | AI   | 0,16952 | 0,15349 | 0,60096 | 0,60096 | 0,68092 | 0,643     |         |         |
| 5        | 82     | D       | 24335  | 1992        | AI   | 0,09582 | 0,0913  | 0,49566 | 0,49566 | 0,52916 | 0,51302   |         |         |
| 5        | 82     | D       | 24335  | 1992        | AI   | 0,07435 | 0,11034 | 0,49721 | 0,49721 | 0,53096 | 0,5147    |         |         |
| 6        | 80     | D       | 24335  | 1991        | AI   | 0,19554 | 0,05653 | 0,32795 | 0,32795 | 0,43446 | 0,38598   |         |         |
| 6        | 80     | D       | 24335  | 1991        | AR   | 0,11968 | 0,0939  | 0,44136 | 0,44136 | 0,49006 | 0,46684   |         |         |
| 6        | 80     | D       | 24335  | 1991        | AI   | 0,18131 | 0,09451 | 0,38621 | 0,38621 | 0,48073 | 0,437     |         |         |
| 6        | 80     | D       | 24335  | 1991        | AR   | 0,19663 | 0,10689 | 0,51959 | 0,51959 | 0,60675 | 0,56574   |         |         |
| 6        | 80     | D       | 24335  | 1991        | AI   | 0,08207 | 0,12486 | 0,23598 | 0,23598 | 0,31535 | 0,2793    |         |         |
| 6        | 80     | D       | 24335  | 1991        | AI   | 0,18941 | 0,15842 | 0,65192 | 0,65192 | 0,73791 | 0,69712   |         |         |
| 6        | 80     | D       | 24335  | 1991        | AI   | 0,16596 | 0,08702 | 0,59828 | 0,59828 | 0,65327 | 0,62694   |         |         |
| 6        | 80     | D       | 24335  | 1991        | AI   | 0,23515 | 0,09559 | 0,16085 | 0,23515 | 0,39007 | 0,39007   |         |         |
| 6        | 80     | D       | 24335  | 1991        | AI   | 0,17675 | 0,13889 | 0,33641 | 0,33641 | 0,46066 | 0,4046    |         |         |
| 7        | 92     | D       | 24335  | 1993        | AI   | 0,13941 | 0,04785 | 0,25462 | 0,25462 | 0,32774 | 0,2942    |         |         |
| 7        | 92     | D       | 24335  | 1993        | AR   | 0,08094 | 0,09463 | 0,18241 | 0,18241 | 0,25232 | 0,22086   |         |         |
| 7        | 92     | D       | 24335  | 1993        | AR   | 0,13586 | 0,11276 | 0,19439 | 0,19439 | 0,31447 | 0,26261   |         |         |
| 7        | 92     | D       | 24335  | 1993        | AR   | 0,06861 | 0,09475 | 0,18416 | 0,18416 | 0,24645 | 0,21818   |         |         |
| 7        | 92     | D       | 24335  | 1993        | AR   | 0,13941 | 0,04785 | 0,35934 | 0,35934 | 0,41437 | 0,38839   |         |         |
| 7        | 92     | D       | 24335  | 1993        | AI   | 0,1555  | 0,11751 | 0,58237 | 0,58237 | 0,64313 | 0,61412   |         |         |
| 7        | 92     | D       | 24335  | 1993        | AR   | 0,10745 | 0,11537 | 0,55193 | 0,55193 | 0,59443 | 0,57401   |         |         |
| 7        | 92     | D       | 24335  | 1993        | AI   | 0,16549 | 0,15012 | 0,65835 | 0,65835 | 0,72889 | 0,69523   |         |         |

| Condutor | Peso_C | Veículo | Peso_V | Antiguidade | Piso | awx     | awy     | awz     | awmáx   | asaúde  | aconforto | awzbase | transm. |
|----------|--------|---------|--------|-------------|------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|---------|
| 7        | 92     | D       | 24335  | 1993        | AI   | 0,20836 | 0,11812 | 0,39465 | 0,39465 | 0,51787 | 0,46164   |         |         |
| 8        | 90     | D       | 24335  | 1991        | AI   | 0,13683 | 0,11304 | 0,30719 | 0,30719 | 0,3951  | 0,35477   |         |         |
| 8        | 90     | D       | 24335  | 1991        | AI   | 0,1527  | 0,14755 | 0,33966 | 0,33966 | 0,45138 | 0,40057   |         |         |
| 8        | 90     | D       | 24335  | 1991        | AR   | 0,17592 | 0,09114 | 0,25856 | 0,25856 | 0,3792  | 0,32574   |         |         |
| 8        | 90     | D       | 24335  | 1991        | AR   | 0,21184 | 0,22035 | 0,27379 | 0,27379 | 0,50802 | 0,41036   |         |         |
| 8        | 90     | D       | 24335  | 1991        | AI   | 0,19693 | 0,17843 | 0,52639 | 0,52639 | 0,64459 | 0,58966   |         |         |
| 8        | 90     | D       | 24335  | 1991        | AI   | 0,17762 | 0,12377 | 0,4152  | 0,4152  | 0,51405 | 0,46825   |         |         |
| 8        | 90     | D       | 24335  | 1991        | AI   | 0,11647 | 0,10963 | 0,25502 | 0,25502 | 0,33939 | 0,30103   |         |         |
| 8        | 90     | D       | 24335  | 1991        | AI   | 0,07512 | 0,18298 | 0,33598 | 0,33598 | 0,4354  | 0,38988   |         |         |
| 9        | 65     | D       | 24335  | 1992        | AI   | 0,06531 | 0,0787  | 0,45455 | 0,45455 | 0,47657 | 0,46591   |         |         |
| 9        | 65     | D       | 24335  | 1992        | AR   | 0,10173 | 0,11815 | 0,44815 | 0,44815 | 0,49849 | 0,4745    |         |         |
| 9        | 65     | D       | 24335  | 1992        | AR   | 0,25834 | 0,10952 | 0,75378 | 0,75378 | 0,85    | 0,80432   |         |         |
| 9        | 65     | D       | 24335  | 1992        | AI   | 0,08727 | 0,12095 | 0,28374 | 0,28374 | 0,35229 | 0,32055   |         |         |
| 9        | 65     | D       | 24335  | 1992        | AR   | 0,10259 | 0,18557 | 0,31146 | 0,31146 | 0,43027 | 0,37679   |         |         |
| 9        | 65     | D       | 24335  | 1992        | AI   | 0,20774 | 0,17554 | 0,71473 | 0,71473 | 0,80983 | 0,76473   |         |         |
| 9        | 65     | D       | 24335  | 1992        | AI   | 0,13095 | 0,10676 | 0,3616  | 0,3616  | 0,43209 | 0,39913   |         |         |
| 9        | 65     | D       | 24335  | 1992        | AI   | 0,07988 | 0,10601 | 0,30784 | 0,30784 | 0,35958 | 0,33524   |         |         |
| 9        | 65     | D       | 24335  | 1992        | AI   | 0,12014 | 0,17263 | 0,46455 | 0,46455 | 0,55    | 0,50994   |         |         |
| 10       | 65     | J       | 18900  | 2001        | P    | 0,49986 | 0,39543 | 0,58581 | 0,58581 | 1,06742 | 0,86568   | 0,60174 | 0,97352 |
| 10       | 65     | J       | 18900  | 2001        | P    | 0,19741 | 0,4394  | 0,28491 | 0,4394  | 0,7321  | 0,55965   | 0,61041 | 0,46674 |
| 10       | 65     | J       | 18900  | 2001        | AI   | 0,3122  | 0,50219 | 0,69444 | 0,69444 | 1,08055 | 0,91209   | 1,04439 | 0,66493 |
| 10       | 65     | J       | 18900  | 2001        | AI   | 0,12794 | 0,64163 | 1,01907 | 1,01907 | 1,37022 | 1,21102   | 1,2613  | 0,80795 |
| 10       | 65     | J       | 18900  | 2001        | AI   | 0,214   | 0,48137 | 0,17453 | 0,48137 | 0,75788 | 0,55495   | 0,17304 | 1,0086  |
| 10       | 65     | J       | 18900  | 2001        | AR   | 0,10871 | 0,46354 | 0,09698 | 0,46354 | 0,67358 | 0,48589   | 0,09612 | 1,009   |
| 10       | 65     | J       | 18900  | 2001        | AR   | 0,06914 | 0,15447 | 0,24487 | 0,24487 | 0,34073 | 0,29766   | 0,24103 | 1,01591 |
| 11       | 72     | J       | 18900  | 2001        | P    | 0,15582 | 0,23493 | 0,2676  | 0,2676  | 0,47684 | 0,38869   |         |         |
| 11       | 72     | J       | 18900  | 2001        | AI   | 0,31565 | 0,37597 | 0,35444 | 0,37597 | 0,77328 | 0,60549   |         |         |
| 11       | 72     | J       | 18900  | 2001        | AI   | 0,10914 | 0,39287 | 0,78862 | 0,78862 | 0,97355 | 0,8878    |         |         |
| 11       | 72     | J       | 18900  | 2001        | AI   | 0,19693 | 0,39568 | 0,53106 | 0,53106 | 0,81541 | 0,69091   |         |         |
| 11       | 72     | J       | 18900  | 2001        | AI   | 0,16221 | 0,2722  | 0,24811 | 0,2722  | 0,50828 | 0,40245   |         |         |
| 11       | 72     | J       | 18900  | 2001        | AR   | 0,16059 | 0,12949 | 0,31529 | 0,31529 | 0,42758 | 0,37678   |         |         |
| 12       | 94     | J       | 18900  | 2001        | P    | 0,1634  | 0,07875 | 0,51648 | 0,51648 | 0,57553 | 0,5474    | 0,68337 | 0,75577 |

| Condutor | Peso_C | Veículo | Peso_V | Antiguidade | Piso | awx     | awy     | awz     | awmáx   | asaúde  | aconforto | awzbase | transm. |
|----------|--------|---------|--------|-------------|------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|---------|
| 12       | 94     | J       | 18900  | 2001        | AI   | 0,26355 | 0,32839 | 0,72531 | 0,72531 | 0,93465 | 0,83867   | 1,22639 | 0,59142 |
| 12       | 94     | J       | 18900  | 2001        | AI   | 0,18219 | 0,21696 | 0,59672 | 0,59672 | 0,71652 | 0,66056   | 1,0533  | 0,56653 |
| 12       | 94     | J       | 18900  | 2001        | AI   | 0,10367 | 0,17821 | 0,1454  | 0,17821 | 0,32319 | 0,25228   | 0,13393 | 1,08562 |
| 12       | 94     | J       | 18900  | 2001        | AR   | 0,12953 | 0,19118 | 0,42457 | 0,42457 | 0,53365 | 0,48331   | 0,74605 | 0,56909 |
| 12       | 94     | J       | 18900  | 2001        | AR   | 0,11969 | 0,10039 | 0,4772  | 0,4772  | 0,52493 | 0,50212   | 0,53225 | 0,89656 |
| 13       | 91,5   | J       | 18900  | 2001        | P    | 0,17773 | 0,19434 | 0,31982 | 0,31982 | 0,48808 | 0,4143    |         |         |
| 13       | 91,5   | J       | 18900  | 2001        | AI   | 0,1959  | 0,1785  | 0,99743 | 0,99743 | 1,06421 | 1,03204   |         |         |
| 13       | 91,5   | J       | 18900  | 2001        | AI   | 0,15394 | 0,1136  | 0,8774  | 0,8774  | 0,91737 | 0,89801   |         |         |
| 13       | 91,5   | J       | 18900  | 2001        | AI   | 0,18262 | 0,40958 | 0,15048 | 0,40958 | 0,64561 | 0,47302   |         |         |
| 13       | 91,5   | J       | 18900  | 2001        | AI   | 0,09866 | 0,12075 | 0,30305 | 0,30305 | 0,37349 | 0,34081   |         |         |
| 13       | 91,5   | J       | 18900  | 2001        | AR   | 0,1794  | 0,30422 | 0,16029 | 0,30422 | 0,51979 | 0,38785   |         |         |
| 13       | 91,5   | J       | 18900  | 2001        | AR   | 0,11366 | 0,15563 | 0,33346 | 0,33346 | 0,42893 | 0,38514   |         |         |
| 14       | 80,5   | J       | 18900  | 2001        | P    | 0,16542 | 0,19227 | 0,17635 | 0,19227 | 0,39647 | 0,30892   |         |         |
| 14       | 80,5   | J       | 18900  | 2001        | AI   | 0,23045 | 0,17879 | 1,32893 | 1,32893 | 1,39025 | 1,36056   |         |         |
| 14       | 80,5   | J       | 18900  | 2001        | AI   | 0,11632 | 0,07343 | 0,33499 | 0,33499 | 0,38641 | 0,36214   |         |         |
| 14       | 80,5   | J       | 18900  | 2001        | AI   | 0,21937 | 0,14903 | 0,37047 | 0,37047 | 0,5245  | 0,45561   |         |         |
| 14       | 80,5   | J       | 18900  | 2001        | AI   | 0,2097  | 0,11117 | 0,33725 | 0,33725 | 0,47345 | 0,4124    |         |         |
| 14       | 80,5   | J       | 18900  | 2001        | AR   | 0,09193 | 0,13206 | 0,10427 | 0,13206 | 0,24822 | 0,19173   |         |         |
| 14       | 80,5   | J       | 18900  | 2001        | AR   | 0,11869 | 0,06291 | 0,4845  | 0,4845  | 0,51972 | 0,50278   |         |         |
| 15       | 97     | J       | 18900  | 2001        | P    | 0,1161  | 0,16281 | 0,34297 | 0,34297 | 0,44272 | 0,39701   |         |         |
| 15       | 97     | J       | 18900  | 2001        | AI   | 0,37984 | 0,50668 | 0,68719 | 0,68719 | 1,12169 | 0,93447   |         |         |
| 15       | 97     | J       | 18900  | 2001        | AI   | 0,37074 | 0,62136 | 0,4873  | 0,62136 | 1,12409 | 0,87235   |         |         |
| 15       | 97     | J       | 18900  | 2001        | AI   | 0,1517  | 0,10521 | 0,34823 | 0,34823 | 0,43367 | 0,39414   |         |         |
| 15       | 97     | J       | 18900  | 2001        | AR   | 0,11912 | 0,38929 | 0,40922 | 0,40922 | 0,70165 | 0,57723   |         |         |
| 15       | 97     | J       | 18900  | 2001        | AR   | 0,11379 | 0,22051 | 0,4142  | 0,4142  | 0,54059 | 0,48284   |         |         |
| 15       | 97     | J       | 18900  | 2001        | AR   | 0,08257 | 0,15092 | 0,3962  | 0,3962  | 0,46366 | 0,43194   |         |         |
| 16       | 85     | J       | 18900  | 2001        | AI   | 0,2247  | 0,38578 | 0,34219 | 0,38578 | 0,71257 | 0,5625    |         |         |
| 16       | 85     | J       | 18900  | 2001        | AI   | 0,30243 | 0,32465 | 0,41084 | 0,41084 | 0,74474 | 0,60469   |         |         |
| 16       | 85     | J       | 18900  | 2001        | AI   | 0,11785 | 0,25306 | 0,50791 | 0,50791 | 0,64087 | 0,57957   |         |         |
| 16       | 85     | J       | 18900  | 2001        | AR   | 0,05928 | 0,0834  | 0,39089 | 0,39089 | 0,41631 | 0,40406   |         |         |
| 16       | 85     | J       | 18900  | 2001        | AR   | 0,13197 | 0,20583 | 0,12183 | 0,20583 | 0,36334 | 0,27318   |         |         |
| 16       | 85     | J       | 18900  | 2001        | AR   | 0,10683 | 0,13084 | 0,19977 | 0,19977 | 0,30957 | 0,26162   |         |         |

| Condutor | Peso_C | Veículo | Peso_V | Antiguidade | Piso | awx     | awy     | awz     | awmáx   | asaúde  | aconforto | awzbase | transm. |
|----------|--------|---------|--------|-------------|------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|---------|
| 17       | 86     | J       | 18900  | 2001        | P    | 0,22094 | 0,17556 | 0,19353 | 0,22094 | 0,43993 | 0,34218   |         |         |
| 17       | 86     | J       | 18900  | 2001        | AI   | 0,21071 | 0,38544 | 0,45505 | 0,45505 | 0,76503 | 0,63248   |         |         |
| 17       | 86     | J       | 18900  | 2001        | AI   | 0,26625 | 0,16101 | 0,6999  | 0,6999  | 0,82439 | 0,76595   |         |         |
| 17       | 86     | J       | 18900  | 2001        | AI   | 0,23553 | 0,18253 | 0,36668 | 0,36668 | 0,55542 | 0,47249   |         |         |
| 17       | 86     | J       | 18900  | 2001        | AI   | 0,10532 | 0,15155 | 0,15277 | 0,15277 | 0,30015 | 0,23958   |         |         |
| 17       | 86     | J       | 18900  | 2001        | AR   | 0,17845 | 0,43503 | 0,26419 | 0,43503 | 0,70932 | 0,53934   |         |         |
| 17       | 86     | J       | 18900  | 2001        | AR   | 0,13264 | 0,2117  | 0,33278 | 0,33278 | 0,48277 | 0,41612   |         |         |
| 18       | 75     | G       | 18930  | 2000        | AI   | 0,43043 | 0,12076 | 0,32326 | 0,43043 | 0,70442 | 0,55168   |         |         |
| 18       | 75     | G       | 18930  | 2000        | AI   | 0,12471 | 0,04721 | 0,13901 | 0,13901 | 0,23275 | 0,19263   |         |         |
| 18       | 75     | G       | 18930  | 2000        | AI   | 0,17291 | 0,10616 | 0,50925 | 0,50925 | 0,58312 | 0,54818   |         |         |
| 18       | 75     | G       | 18930  | 2000        | AR   | 0,1472  | 0,18619 | 0,56325 | 0,56325 | 0,65396 | 0,61121   |         |         |
| 18       | 75     | G       | 18930  | 2000        | AR   | 0,10982 | 0,08415 | 0,50473 | 0,50473 | 0,54061 | 0,52334   |         |         |
| 18       | 75     | G       | 18930  | 2000        | AR   | 0,1024  | 0,05535 | 0,4678  | 0,4678  | 0,49537 | 0,48206   |         |         |
| 18       | 75     | G       | 18930  | 2000        | AR   | 0,13241 | 0,11963 | 0,26221 | 0,26221 | 0,36217 | 0,31717   |         |         |
| 19       | 66,5   | G       | 18930  | 2000        | AI   | 0,14431 | 0,09392 | 1,02667 | 1,02667 | 1,05459 | 1,04101   |         |         |
| 19       | 66,5   | G       | 18930  | 2000        | AI   | 0,33274 | 0,26603 | 0,9527  | 0,9527  | 1,12399 | 1,04361   |         |         |
| 19       | 66,5   | G       | 18930  | 2000        | AI   | 0,14725 | 0,15414 | 0,21912 | 0,21912 | 0,37025 | 0,30571   |         |         |
| 19       | 66,5   | G       | 18930  | 2000        | AR   | 0,04836 | 0,04576 | 0,34343 | 0,34343 | 0,35585 | 0,34982   |         |         |
| 19       | 66,5   | G       | 18930  | 2000        | AR   | 0,14504 | 0,13644 | 0,24043 | 0,24043 | 0,36814 | 0,31218   |         |         |
| 19       | 66,5   | G       | 18930  | 2000        | AR   | 0,08068 | 0,05375 | 0,42963 | 0,42963 | 0,45056 | 0,44043   |         |         |
| 19       | 66,5   | G       | 18930  | 2000        | AR   | 0,18188 | 0,11603 | 0,25542 | 0,25542 | 0,39555 | 0,33434   |         |         |
| 19       | 66,5   | G       | 18930  | 2000        | AR   | 0,08133 | 0,09582 | 0,44808 | 0,44808 | 0,48139 | 0,46537   |         |         |
| 20       | 73     | G       | 18930  | 2000        | AI   | 0,38977 | 0,23733 | 0,72366 | 0,72366 | 0,96532 | 0,85553   |         |         |
| 20       | 73     | G       | 18930  | 2000        | AI   | 0,2103  | 0,08592 | 0,23871 | 0,23871 | 0,39767 | 0,32953   |         |         |
| 20       | 73     | G       | 18930  | 2000        | AI   | 0,17623 | 0,22989 | 0,17632 | 0,22989 | 0,4422  | 0,33911   |         |         |
| 20       | 73     | G       | 18930  | 2000        | AR   | 0,16925 | 0,19166 | 0,29447 | 0,29447 | 0,46353 | 0,38999   |         |         |
| 20       | 73     | G       | 18930  | 2000        | AR   | 0,13393 | 0,1336  | 0,38858 | 0,38858 | 0,47025 | 0,43218   |         |         |
| 20       | 73     | G       | 18930  | 2000        | AR   | 0,12942 | 0,06106 | 0,3654  | 0,3654  | 0,41672 | 0,39242   |         |         |
| 20       | 73     | G       | 18930  | 2000        | AR   | 0,03991 | 0,1182  | 0,44658 | 0,44658 | 0,47952 | 0,46368   |         |         |
| 21       | 75     | G       | 18930  | 2000        | AI   | 0,29704 | 0,24665 | 0,86245 | 0,86245 | 1,01785 | 0,94493   |         |         |
| 21       | 75     | G       | 18930  | 2000        | AI   | 0,28546 | 0,14299 | 0,42806 | 0,42806 | 0,6189  | 0,53402   |         |         |
| 21       | 75     | G       | 18930  | 2000        | AI   | 0,15705 | 0,12479 | 0,49697 | 0,49697 | 0,57083 | 0,53593   |         |         |

| Condutor | Peso_C | Veículo | Peso_V | Antiguidade | Piso | awx     | awy     | awz     | awmáx   | asaúde  | aconforto | awzbase | transm. |
|----------|--------|---------|--------|-------------|------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|---------|
| 21       | 75     | G       | 18930  | 2000        | AR   | 0,16709 | 0,15521 | 0,26239 | 0,26239 | 0,41326 | 0,34764   |         |         |
| 21       | 75     | G       | 18930  | 2000        | AR   | 0,07491 | 0,14789 | 0,33391 | 0,33391 | 0,40665 | 0,3728    |         |         |
| 21       | 75     | G       | 18930  | 2000        | AR   | 0,12084 | 0,06055 | 0,27345 | 0,27345 | 0,33254 | 0,30503   |         |         |
| 21       | 75     | G       | 18930  | 2000        | AR   | 0,21582 | 0,18217 | 0,81821 | 0,81821 | 0,90874 | 0,86558   |         |         |
| 22       | 115    | G       | 18930  | 2000        | AI   | 0,22782 | 0,22779 | 0,43479 | 0,43479 | 0,62648 | 0,54114   |         |         |
| 22       | 115    | G       | 18930  | 2000        | AI   | 0,31468 | 0,12483 | 0,17458 | 0,31468 | 0,50508 | 0,3809    |         |         |
| 22       | 115    | G       | 18930  | 2000        | AI   | 0,23776 | 0,2672  | 0,21844 | 0,2672  | 0,5463  | 0,41909   |         |         |
| 22       | 115    | G       | 18930  | 2000        | AI   | 0,18645 | 0,18334 | 0,58187 | 0,58187 | 0,68745 | 0,63793   |         |         |
| 22       | 115    | G       | 18930  | 2000        | AR   | 0,13685 | 0,10242 | 0,37291 | 0,37291 | 0,44309 | 0,41022   |         |         |
| 22       | 115    | G       | 18930  | 2000        | AR   | 0,12415 | 0,16559 | 0,69246 | 0,69246 | 0,75063 | 0,72272   |         |         |
| 22       | 115    | G       | 18930  | 2000        | AR   | 0,08267 | 0,03895 | 0,37915 | 0,37915 | 0,40015 | 0,39001   |         |         |
| 22       | 115    | G       | 18930  | 2000        | AR   | 0,135   | 0,19061 | 0,39339 | 0,39339 | 0,51155 | 0,45751   |         |         |
| 22       | 115    | G       | 18930  | 2000        | AR   | 0,08747 | 0,09841 | 0,30098 | 0,30098 | 0,35294 | 0,32852   |         |         |
| 23       | 65     | G       | 18930  | 2000        | AI   | 0,22938 | 0,19623 | 0,26755 | 0,26755 | 0,50019 | 0,40337   |         |         |
| 23       | 65     | G       | 18930  | 2000        | AI   | 0,18513 | 0,12668 | 0,78999 | 0,78999 | 0,85012 | 0,82122   |         |         |
| 23       | 65     | G       | 18930  | 2000        | AI   | 0,21767 | 0,11825 | 0,33802 | 0,33802 | 0,48428 | 0,41907   |         |         |
| 23       | 65     | G       | 18930  | 2000        | AI   | 0,25379 | 0,09782 | 0,41716 | 0,41716 | 0,56482 | 0,498     |         |         |
| 23       | 65     | G       | 18930  | 2000        | AR   | 0,19552 | 0,13228 | 0,32841 | 0,32841 | 0,46592 | 0,40445   |         |         |
| 23       | 65     | G       | 18930  | 2000        | AR   | 0,06922 | 0,08179 | 0,31623 | 0,31623 | 0,35    | 0,33389   |         |         |
| 23       | 65     | G       | 18930  | 2000        | AR   | 0,06407 | 0,05245 | 0,44532 | 0,44532 | 0,46017 | 0,45296   |         |         |
| 23       | 65     | G       | 18930  | 2000        | AR   | 0,13517 | 0,09083 | 0,4043  | 0,4043  | 0,46415 | 0,43586   |         |         |
| 23       | 65     | G       | 18930  | 2000        | AR   | 0,0913  | 0,16323 | 0,25233 | 0,25233 | 0,36364 | 0,31409   |         |         |
| 24       | 70     | B       | 16000  | 1982        | P    | 0,23045 | 0,26644 | 0,97832 | 0,97832 | 1,0956  | 1,03981   |         |         |
| 24       | 70     | B       | 16000  | 1982        | P    | 0,22609 | 0,17831 | 1,42269 | 1,42269 | 1,57281 | 1,45154   |         |         |
| 24       | 70     | B       | 16000  | 1982        | P    | 0,22616 | 0,14863 | 0,88776 | 0,88776 | 1,08613 | 0,92809   |         |         |
| 24       | 70     | B       | 16000  | 1982        | P    | 0,20998 | 0,16911 | 0,65056 | 0,65056 | 0,91711 | 0,70421   |         |         |
| 24       | 70     | B       | 16000  | 1982        | AI   | 0,09719 | 0,06636 | 0,19031 | 0,19031 | 0,42988 | 0,22375   |         |         |
| 24       | 70     | B       | 16000  | 1982        | AR   | 0,0507  | 0,16926 | 0,30425 | 0,30425 | 0,65525 | 0,35183   |         |         |
| 24       | 70     | B       | 16000  | 1982        | AR   | 0,1009  | 0,08568 | 0,31611 | 0,31611 | 0,53648 | 0,34271   |         |         |
| 24       | 70     | B       | 16000  | 1982        | AR   | 0,07753 | 0,08876 | 0,25266 | 0,25266 | 0,4996  | 0,27879   |         |         |
| 24       | 70     | B       | 16000  | 1982        | AR   | 0,11619 | 0,15447 | 0,73069 | 0,73069 | 0,92905 | 0,75583   |         |         |
| 24       | 70     | B       | 16000  | 1982        | AI   | 0,13535 | 0,15936 | 0,35858 | 0,35858 | 0,69053 | 0,41509   |         |         |

| Condutor | Peso_C | Veículo | Peso_V | Antiguidade | Piso | awx     | awy     | awz     | awmáx   | asaúde  | aconforto | awzbase | transm. |
|----------|--------|---------|--------|-------------|------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|---------|
| 24       | 70     | B       | 16000  | 1982        | AI   | 0,28416 | 0,15832 | 0,55247 | 0,55247 | 0,87966 | 0,64112   |         |         |
| 24       | 70     | B       | 16000  | 1982        | AI   | 0,27065 | 0,25082 | 0,64359 | 0,64359 | 1,0244  | 0,74187   |         |         |
| 24       | 70     | B       | 16000  | 1982        | AI   | 0,26262 | 0,19676 | 1,16679 | 1,16679 | 1,37194 | 1,21205   |         |         |
| 25       | 92     | B       | 16000  | 1982        | P    | 0,21064 | 0,30246 | 0,64378 | 0,64378 | 1,04605 | 0,74182   | 0,93461 | 0,68882 |
| 25       | 92     | B       | 16000  | 1982        | P    | 0,31958 | 0,23226 | 0,67256 | 0,67256 | 1,05249 | 0,78001   | 0,95142 | 0,7069  |
| 25       | 92     | B       | 16000  | 1982        | P    | 0,27608 | 0,25625 | 0,37095 | 0,37095 | 0,8884  | 0,52867   | 0,3511  | 1,05652 |
| 25       | 92     | B       | 16000  | 1982        | AR   | 0,08816 | 0,0913  | 0,59469 | 0,59469 | 0,74016 | 0,60808   | 1,0079  | 0,59003 |
| 25       | 92     | B       | 16000  | 1982        | AR   | 0,15064 | 0,1489  | 0,28376 | 0,28376 | 0,64563 | 0,3541    | 0,42848 | 0,66224 |
| 25       | 92     | B       | 16000  | 1982        | AR   | 0,11034 | 0,13353 | 0,24829 | 0,24829 | 0,58926 | 0,30274   | 0,34066 | 0,72885 |
| 25       | 92     | B       | 16000  | 1982        | AR   | 0,20847 | 0,1865  | 0,43873 | 0,43873 | 0,802   | 0,52031   | 0,52079 | 0,84243 |
| 25       | 92     | B       | 16000  | 1982        | AI   | 0,13211 | 0,1249  | 0,85031 | 0,85031 | 1,00101 | 0,86952   | 1,03103 | 0,82471 |
| 25       | 92     | B       | 16000  | 1982        | AI   | 0,26964 | 0,2419  | 0,60555 | 0,60555 | 0,99163 | 0,70563   | 0,83206 | 0,72778 |
| 25       | 92     | B       | 16000  | 1982        | AI   | 0,20648 | 0,29306 | 0,86725 | 0,86725 | 1,18747 | 0,93843   | 1,20309 | 0,72086 |
| 25       | 92     | B       | 16000  | 1982        | AR   | 0,15966 | 0,15632 | 0,09764 | 0,15966 | 0,60488 | 0,24384   | 0,10176 | 0,95948 |
| 25       | 92     | B       | 16000  | 1982        | AI   | 0,2242  | 0,36924 | 1,05815 | 1,05815 | 1,39352 | 1,14293   | 1,22244 | 0,86561 |
| 27       | 80     | B       | 16000  | 1982        | P    | 0,31251 | 0,25565 | 0,6152  | 0,6152  | 1,03487 | 0,73586   | 0,63438 | 0,96975 |
| 27       | 80     | B       | 16000  | 1982        | P    | 0,21847 | 0,24693 | 1,1104  | 1,1104  | 1,34555 | 1,15831   | 1,20989 | 0,91777 |
| 27       | 80     | B       | 16000  | 1982        | AR   | 0,14361 | 0,20162 | 0,65607 | 0,65607 | 0,9306  | 0,70121   | 0,68352 | 0,95984 |
| 27       | 80     | B       | 16000  | 1982        | P    | 0,23747 | 0,33273 | 0,74217 | 0,74217 | 1,14608 | 0,8473    | 0,91181 | 0,81395 |
| 27       | 80     | B       | 16000  | 1982        | AI   | 0,15885 | 0,14265 | 0,16957 | 0,16957 | 0,59817 | 0,27265   | 0,14953 | 1,13407 |
| 27       | 80     | B       | 16000  | 1982        | AR   | 0,22066 | 0,17661 | 0,31854 | 0,31854 | 0,73692 | 0,42585   | 0,32429 | 0,98227 |
| 27       | 80     | B       | 16000  | 1982        | AR   | 0,20199 | 0,2626  | 0,40964 | 0,40964 | 0,8732  | 0,52685   | 0,44351 | 0,92365 |
| 27       | 80     | B       | 16000  | 1982        | AR   | 0,19379 | 0,18905 | 0,25023 | 0,25023 | 0,71187 | 0,36866   | 0,26002 | 0,96234 |
| 27       | 80     | B       | 16000  | 1982        | AR   | 0,20583 | 0,32154 | 0,29323 | 0,32154 | 0,89401 | 0,48139   | 0,29185 | 1,00473 |
| 27       | 80     | B       | 16000  | 1982        | AI   | 0,28246 | 0,26713 | 1,04393 | 1,04393 | 1,33032 | 1,11397   | 1,44757 | 0,72116 |
| 27       | 80     | B       | 16000  | 1982        | AI   | 0,31595 | 0,28853 | 0,57761 | 0,57761 | 1,04633 | 0,71883   | 0,48938 | 1,18031 |
| 27       | 80     | B       | 16000  | 1982        | AI   | 0,31995 | 0,25441 | 1,0235  | 1,0235  | 1,32167 | 1,1021    | 1,52755 | 0,67003 |
| 27       | 80     | B       | 16000  | 1982        | AI   | 0,26014 | 0,14252 | 1,52386 | 1,52386 | 1,65352 | 1,55246   | 2,1487  | 0,7092  |
| 27       | 80     | B       | 16000  | 1982        | AI   | 0,28701 | 0,46402 | 0,4771  | 0,4771  | 1,13954 | 0,72478   | 0,46029 | 1,03652 |
| 27       | 80     | B       | 16000  | 1982        | AI   | 0,25306 | 0,3833  | 0,87835 | 0,87835 | 1,28385 | 0,99119   | 0,97005 | 0,90547 |
| 28       | 82     | B       | 16000  | 1982        | P    | 0,30203 | 0,25024 | 0,89381 | 0,89381 | 1,21168 | 0,97608   | 1,24289 | 0,71914 |
| 28       | 82     | B       | 16000  | 1982        | P    | 0,31098 | 0,19707 | 1,00919 | 1,00919 | 1,26264 | 1,07425   | 1,37857 | 0,73206 |

| Condutor | Peso_C | Veículo | Peso_V | Antiguidade | Piso   | awx     | awy     | awz     | awmáx   | asaúde  | aconforto | awzbase | transm. |
|----------|--------|---------|--------|-------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|---------|
| 28       | 82     | B       | 16000  | 1982        | P      | 0,26637 | 0,25133 | 0,62983 | 0,62983 | 1,01408 | 0,72856   | 0,71446 | 0,88154 |
| 28       | 82     | B       | 16000  | 1982        | P      | 0,25635 | 0,16668 | 0,80326 | 0,80326 | 1,04915 | 0,85949   | 1,04472 | 0,76887 |
| 28       | 82     | B       | 16000  | 1982        | AR     | 0,21104 | 0,11048 | 0,57316 | 0,57316 | 0,7952  | 0,62069   | 0,74082 | 0,77368 |
| 28       | 82     | B       | 16000  | 1982        | P      | 0,36833 | 0,31308 | 0,9273  | 0,9273  | 1,31887 | 1,04574   | 1,01933 | 0,90971 |
| 28       | 82     | B       | 16000  | 1982        | AI     | 0,10953 | 0,10645 | 0,29185 | 0,29185 | 0,56332 | 0,3294    | 0,29987 | 0,97327 |
| 28       | 82     | B       | 16000  | 1982        | AR     | 0,15763 | 0,06478 | 0,47075 | 0,47075 | 0,6303  | 0,50065   | 0,48014 | 0,98045 |
| 28       | 82     | B       | 16000  | 1982        | AR     | 0,14663 | 0,14004 | 0,48994 | 0,48994 | 0,7461  | 0,53024   | 0,49913 | 0,98159 |
| 28       | 82     | B       | 16000  | 1982        | AI     | 0,20888 | 0,21258 | 0,12871 | 0,21258 | 0,72023 | 0,32463   | 0,12926 | 0,99573 |
| 28       | 82     | B       | 16000  | 1982        | AI     | 0,27743 | 0,21888 | 0,50361 | 0,50361 | 0,91295 | 0,61522   | 0,69055 | 0,72929 |
| 28       | 82     | B       | 16000  | 1982        | AI     | 0,18944 | 0,10298 | 0,77906 | 0,77906 | 0,93761 | 0,80835   | 0,98516 | 0,7908  |
| 28       | 82     | B       | 16000  | 1982        | AI     | 0,30303 | 0,29994 | 0,57975 | 0,57975 | 1,0507  | 0,71965   | 0,64134 | 0,90396 |
| 28       | 82     | B       | 16000  | 1982        | AI     | 0,39274 | 0,33828 | 1,00683 | 1,00683 | 1,4068  | 1,13243   | 1,15087 | 0,87484 |
| 26       | 68     | B       | 16000  | 1982        | P      | 0,38627 | 0,34485 | 0,65452 | 0,65452 | 1,18184 | 0,83458   |         |         |
| 26       | 68     | B       | 16000  | 1982        | P      | 0,30434 | 0,20248 | 0,39496 | 0,39496 | 0,85697 | 0,53816   |         |         |
| 26       | 68     | B       | 16000  | 1982        | AR     | 0,30649 | 0,22223 | 0,49304 | 0,49304 | 0,92886 | 0,62162   |         |         |
| 26       | 68     | B       | 16000  | 1982        | P      | 0,30707 | 0,33701 | 0,64233 | 0,64233 | 1,12158 | 0,78769   |         |         |
| 26       | 68     | B       | 16000  | 1982        | AI     | 0,12618 | 0,11365 | 0,45883 | 0,45883 | 0,68154 | 0,48925   |         |         |
| 26       | 68     | B       | 16000  | 1982        | AR     | 0,1547  | 0,16686 | 0,45053 | 0,45053 | 0,75956 | 0,50473   |         |         |
| 26       | 68     | B       | 16000  | 1982        | AR     | 0,12613 | 0,19166 | 0,31647 | 0,31647 | 0,71203 | 0,39089   |         |         |
| 26       | 68     | B       | 16000  | 1982        | AR     | 0,16586 | 0,12249 | 0,22596 | 0,22596 | 0,58741 | 0,3059    |         |         |
| 26       | 68     | B       | 16000  | 1982        | AR     | 0,20769 | 0,12589 | 0,52504 | 0,52504 | 0,77907 | 0,57849   |         |         |
| 26       | 68     | B       | 16000  | 1982        | AI     | 0,25337 | 0,18708 | 0,60573 | 0,60573 | 0,92705 | 0,68272   |         |         |
| 26       | 68     | B       | 16000  | 1982        | AI     | 0,20939 | 0,29558 | 0,45176 | 0,45176 | 0,93239 | 0,57905   |         |         |
| 26       | 68     | B       | 16000  | 1982        | AI     | 0,4552  | 0,43575 | 0,66613 | 0,66613 | 1,30535 | 0,91696   |         |         |
| 26       | 68     | B       | 16000  | 1982        | AR     | 0,20862 | 0,12743 | 0,16871 | 0,20862 | 0,60293 | 0,29702   |         |         |
| 29       | 75     | E       | 6560   | 1994        | AI     | 0,18467 | 0,19853 | 0,50123 | 0,50123 | 0,84095 | 0,56987   |         |         |
| 29       | 75     | E       | 6560   | 1994        | Parado | 0,00642 | 0,0134  | 0,06935 | 0,06935 | 0,17648 | 0,07092   |         |         |
| 29       | 75     | E       | 6560   | 1994        | AI     | 0,25232 | 0,25647 | 0,36146 | 0,36146 | 0,87071 | 0,51      |         |         |
| 29       | 75     | E       | 6560   | 1994        | AI     | 0,18556 | 0,25407 | 0,31414 | 0,31414 | 0,81495 | 0,4446    |         |         |
| 29       | 75     | E       | 6560   | 1994        | AI     | 0,32949 | 0,23427 | 0,23289 | 0,32949 | 0,85216 | 0,46656   |         |         |
| 29       | 75     | E       | 6560   | 1994        | AI     | 0,29422 | 0,31597 | 0,33301 | 0,33301 | 0,94861 | 0,54525   |         |         |
| 29       | 75     | E       | 6560   | 1994        | AI     | 0,19791 | 0,21708 | 0,41139 | 0,41139 | 0,81945 | 0,50551   |         |         |

| Condutor | Peso_C | Veículo | Peso_V | Antiguidade | Piso   | awx     | awy     | awz     | awmáx   | asaúde  | aconforto | awzbase | transm. |
|----------|--------|---------|--------|-------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|---------|
| 30       | 74     | E       | 6560   | 1994        | Parado | 0,01463 | 0,00923 | 0,05016 | 0,05016 | 0,14503 | 0,05306   | 0,05144 | 0,97514 |
| 30       | 74     | E       | 6560   | 1994        | AI     | 0,1788  | 0,13417 | 0,41181 | 0,41181 | 0,70372 | 0,46857   | 0,33198 | 1,24047 |
| 30       | 74     | E       | 6560   | 1994        | AI     | 0,23858 | 0,17063 | 0,33063 | 0,33063 | 0,7452  | 0,44198   | 0,32971 | 1,00277 |
| 30       | 74     | E       | 6560   | 1994        | AI     | 0,25402 | 0,10769 | 0,21091 | 0,25402 | 0,61809 | 0,34729   | 0,15943 | 1,32295 |
| 30       | 74     | E       | 6560   | 1994        | AI     | 0,24179 | 0,20129 | 0,31548 | 0,31548 | 0,78015 | 0,44554   | 0,28591 | 1,10345 |
| 30       | 74     | E       | 6560   | 1994        | AI     | 0,20659 | 0,25512 | 0,3724  | 0,3724  | 0,84992 | 0,49643   | 0,29719 | 1,25304 |
| 31       | 78     | E       | 6560   | 1994        | Parado | 0,043   | 0,02189 | 0,15916 | 0,15916 | 0,26807 | 0,16631   |         |         |
| 31       | 78     | E       | 6560   | 1994        | AI     | 0,42068 | 0,33222 | 0,4204  | 0,42068 | 1,08386 | 0,68123   |         |         |
| 31       | 78     | E       | 6560   | 1994        | AI     | 0,17695 | 0,15164 | 0,15885 | 0,17695 | 0,61953 | 0,28203   |         |         |
| 31       | 78     | E       | 6560   | 1994        | AI     | 0,43853 | 0,23458 | 0,27329 | 0,43853 | 0,95467 | 0,56748   |         |         |
| 31       | 78     | E       | 6560   | 1994        | AI     | 0,15389 | 0,12603 | 0,38207 | 0,38207 | 0,66288 | 0,43074   |         |         |
| 31       | 78     | E       | 6560   | 1994        | AI     | 0,36816 | 0,13489 | 0,30153 | 0,36816 | 0,78801 | 0,49463   |         |         |
| 31       | 78     | E       | 6560   | 1994        | AI     | 0,20161 | 0,15716 | 0,18783 | 0,20161 | 0,65037 | 0,31721   |         |         |
| 32       | 70     | E       | 6560   | 1994        | Parado | 0,00891 | 0,00939 | 0,08322 | 0,08322 | 0,15966 | 0,08422   |         |         |
| 32       | 70     | E       | 6560   | 1994        | AI     | 0,23614 | 0,22878 | 0,38231 | 0,38231 | 0,83897 | 0,50425   |         |         |
| 32       | 70     | E       | 6560   | 1994        | AI     | 0,20171 | 0,16533 | 0,40704 | 0,40704 | 0,75464 | 0,48343   |         |         |
| 32       | 70     | E       | 6560   | 1994        | AI     | 0,00891 | 0,00939 | 0,19943 | 0,19943 | 0,24154 | 0,19985   |         |         |
| 32       | 70     | E       | 6560   | 1994        | AI     | 0,22845 | 0,18021 | 0,32722 | 0,32722 | 0,75005 | 0,43788   |         |         |
| 32       | 70     | E       | 6560   | 1994        | AI     | 0,28335 | 0,12487 | 0,35796 | 0,35796 | 0,72818 | 0,4733    |         |         |
| 32       | 70     | E       | 6560   | 1994        | AI     | 0,20696 | 0,21068 | 0,19129 | 0,21068 | 0,7304  | 0,35187   |         |         |
| 33       | 64     | E       | 6560   | 1994        | Parado | 0,01762 | 0,01466 | 0,06193 | 0,06193 | 0,18215 | 0,06604   | 0,14924 | 0,415   |
| 33       | 64     | E       | 6560   | 1994        | AI     | 0,28845 | 0,22652 | 0,36625 | 0,36625 | 0,86092 | 0,51832   | 0,28347 | 1,29202 |
| 33       | 64     | E       | 6560   | 1994        | AI     | 0,24605 | 0,22546 | 0,28588 | 0,28588 | 0,80142 | 0,43943   | 0,25202 | 1,13434 |
| 33       | 64     | E       | 6560   | 1994        | AI     | 0,19633 | 0,18633 | 0,43324 | 0,43324 | 0,79275 | 0,51084   | 0,38068 | 1,13805 |
| 33       | 64     | E       | 6560   | 1994        | AI     | 0,31733 | 0,25088 | 0,43324 | 0,43324 | 0,93637 | 0,59273   | 0,38068 | 1,13805 |
| 33       | 64     | E       | 6560   | 1994        | AI     | 0,30638 | 0,12254 | 0,23388 | 0,30638 | 0,692   | 0,40446   | 0,20847 | 1,12191 |
| 33       | 64     | E       | 6560   | 1994        | AI     | 0,33838 | 0,23109 | 0,36321 | 0,36321 | 0,8996  | 0,54756   | 0,30398 | 1,19485 |
| 34       | 71     | E       | 6560   | 1994        | Parado | 0,00588 | 0,01215 | 0,11974 | 0,11974 | 0,1955  | 0,1205    | 0,0568  | 2,10801 |
| 34       | 71     | E       | 6560   | 1994        | AI     | 0,12015 | 0,10985 | 0,33414 | 0,33414 | 0,59603 | 0,37169   | 0,34741 | 0,96181 |
| 34       | 71     | E       | 6560   | 1994        | AI     | 0,24233 | 0,14505 | 0,38985 | 0,38985 | 0,74256 | 0,4814    | 0,58797 | 0,66306 |
| 34       | 71     | E       | 6560   | 1994        | AI     | 0,22465 | 0,41158 | 0,47363 | 0,47363 | 1,06299 | 0,66648   | 0,56016 | 0,84551 |
| 34       | 71     | E       | 6560   | 1994        | AI     | 0,38062 | 0,20026 | 0,3966  | 0,3966  | 0,9131  | 0,58504   | 0,36721 | 1,08005 |

| Condutor | Peso_C | Veículo | Peso_V | Antiguidade | Piso   | awx     | awy     | awz     | awmáx   | asaúde  | aconforto | awzbase | transm. |
|----------|--------|---------|--------|-------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|---------|
| 34       | 71     | E       | 6560   | 1994        | AI     | 0,31777 | 0,21838 | 0,26077 | 0,31777 | 0,83303 | 0,46547   | 0,19833 | 1,31479 |
| 34       | 71     | E       | 6560   | 1994        | AI     | 0,21382 | 0,19139 | 0,43813 | 0,43813 | 0,81036 | 0,52374   | 0,44869 | 0,97645 |
| 35       | 82     | E       | 6560   | 1994        | Parado | 0,03238 | 0,03169 | 0,21138 | 0,21138 | 0,32993 | 0,21618   | 0,15655 | 1,35023 |
| 35       | 82     | E       | 6560   | 1994        | AI     | 0,16262 | 0,16641 | 0,35996 | 0,35996 | 0,71243 | 0,42861   | 0,31548 | 1,14098 |
| 35       | 82     | E       | 6560   | 1994        | AI     | 0,16245 | 0,13197 | 0,28701 | 0,28701 | 0,62671 | 0,35522   | 0,24128 | 1,18955 |
| 35       | 82     | E       | 6560   | 1994        | AI     | 0,3266  | 0,10627 | 0,27491 | 0,3266  | 0,70209 | 0,43993   | 0,21707 | 1,26644 |
| 35       | 82     | E       | 6560   | 1994        | AI     | 0,27952 | 0,22383 | 0,41714 | 0,41714 | 0,87513 | 0,54976   | 0,39338 | 1,06039 |
| 35       | 82     | E       | 6560   | 1994        | AI     | 0,27248 | 0,11081 | 0,30143 | 0,30143 | 0,67348 | 0,42117   | 0,26209 | 1,15008 |
| 36       | 85     | E       | 6560   | 1994        | Parado | 0,03257 | 0,04545 | 0,04786 | 0,04786 | 0,30569 | 0,0736    |         |         |
| 36       | 85     | E       | 6560   | 1994        | AI     | 0,13106 | 0,1913  | 0,32391 | 0,32391 | 0,71661 | 0,39836   |         |         |
| 36       | 85     | E       | 6560   | 1994        | AI     | 0,16721 | 0,17372 | 0,36418 | 0,36418 | 0,72658 | 0,43676   |         |         |
| 36       | 85     | E       | 6560   | 1994        | AI     | 0,12688 | 0,17554 | 0,30097 | 0,30097 | 0,68279 | 0,37081   |         |         |
| 36       | 85     | E       | 6560   | 1994        | AI     | 0,24151 | 0,24354 | 0,15945 | 0,24354 | 0,78555 | 0,37824   |         |         |
| 36       | 85     | E       | 6560   | 1994        | AI     | 0,31347 | 0,32406 | 0,38458 | 0,38458 | 0,98776 | 0,59261   |         |         |
| 36       | 85     | E       | 6560   | 1994        | AI     | 0,22693 | 0,188   | 0,22697 | 0,22697 | 0,72176 | 0,37196   |         |         |
| 37       | 85     | I       | 18900  | 2001        | Parado | 0,08863 | 0,07653 | 0,03498 | 0,08863 | 0,40819 | 0,12221   |         |         |
| 37       | 85     | I       | 18900  | 2001        | AI     | 0,06646 | 0,08636 | 0,30222 | 0,30222 | 0,51889 | 0,32126   |         |         |
| 37       | 85     | I       | 18900  | 2001        | AR     | 0,08498 | 0,15736 | 0,45197 | 0,45197 | 0,72585 | 0,48606   |         |         |
| 37       | 85     | I       | 18900  | 2001        | AI     | 0,13005 | 0,08416 | 0,31134 | 0,31134 | 0,54318 | 0,34775   |         |         |
| 37       | 85     | I       | 18900  | 2001        | AR     | 0,11304 | 0,07534 | 0,15031 | 0,15031 | 0,44194 | 0,2026    |         |         |
| 37       | 85     | I       | 18900  | 2001        | AI     | 0,10477 | 0,09521 | 0,20054 | 0,20054 | 0,49833 | 0,24547   |         |         |
| 37       | 85     | I       | 18900  | 2001        | AI     | 0,09579 | 0,10023 | 0,30381 | 0,30381 | 0,55383 | 0,33395   |         |         |
| 37       | 85     | I       | 18900  | 2001        | AI     | 0,48066 | 0,32177 | 0,34929 | 0,48066 | 1,09795 | 0,6757    |         |         |
| 37       | 85     | I       | 18900  | 2001        | AI     | 0,11918 | 0,1444  | 0,12285 | 0,1444  | 0,57093 | 0,22394   |         |         |
| 37       | 85     | I       | 18900  | 2001        | AI     | 0,15451 | 0,11755 | 0,3711  | 0,3711  | 0,64413 | 0,41882   |         |         |
| 37       | 85     | I       | 18900  | 2001        | P      | 0,15355 | 0,22179 | 0,26822 | 0,26822 | 0,74356 | 0,38041   |         |         |
| 37       | 85     | I       | 18900  | 2001        | P      | 0,12499 | 0,25615 | 0,46758 | 0,46758 | 0,86678 | 0,5476    |         |         |
| 38       | 58     | I       | 18900  | 2001        | Parado | 0,01863 | 0,01604 | 0,02943 | 0,02943 | 0,18162 | 0,03835   | 0,0437  | 0,67346 |
| 38       | 58     | I       | 18900  | 2001        | AI     | 0,09018 | 0,12624 | 0,20747 | 0,20747 | 0,55354 | 0,25906   | 0,21856 | 0,94927 |
| 38       | 58     | I       | 18900  | 2001        | AR     | 0,15043 | 0,12117 | 0,19706 | 0,19706 | 0,56629 | 0,27594   | 0,18049 | 1,0918  |
| 38       | 58     | I       | 18900  | 2001        | AR     | 0,13157 | 0,17455 | 0,40066 | 0,40066 | 0,73252 | 0,45641   | 0,44006 | 0,91047 |
| 38       | 58     | I       | 18900  | 2001        | AI     | 0,09527 | 0,06707 | 0,32575 | 0,32575 | 0,50533 | 0,34596   | 0,31672 | 1,02852 |

| Condutor | Peso_C | Veículo | Peso_V | Antiguidade | Piso   | awx     | awy     | awz     | awmáx   | asaúde  | aconforto | awzbase | transm. |
|----------|--------|---------|--------|-------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|---------|
| 38       | 58     | I       | 18900  | 2001        | AI     | 0,15578 | 0,11523 | 0,20197 | 0,20197 | 0,56054 | 0,27988   | 0,22153 | 0,91171 |
| 38       | 58     | I       | 18900  | 2001        | AI     | 0,21938 | 0,25501 | 0,51099 | 0,51099 | 0,9248  | 0,61178   | 0,46603 | 1,09649 |
| 38       | 58     | I       | 18900  | 2001        | AI     | 0,16261 | 0,13706 | 0,27435 | 0,27435 | 0,62907 | 0,34712   | 0,25541 | 1,07416 |
| 38       | 58     | I       | 18900  | 2001        | AI     | 0,27511 | 0,20391 | 0,51155 | 0,51155 | 0,89982 | 0,61558   | 0,51748 | 0,98854 |
| 38       | 58     | I       | 18900  | 2001        | P      | 0,15582 | 0,20058 | 0,88298 | 0,88298 | 1,10471 | 0,91879   | 0,87299 | 1,01144 |
| 38       | 58     | I       | 18900  | 2001        | P      | 0,26719 | 0,23941 | 0,48714 | 0,48714 | 0,92003 | 0,60499   | 0,51169 | 0,95202 |
| 39       | 87     | I       | 18900  | 2001        | Parado | 0,01085 | 0,00953 | 0,01818 | 0,01818 | 0,13871 | 0,02322   |         |         |
| 39       | 87     | I       | 18900  | 2001        | AI     | 0,10037 | 0,08133 | 0,18545 | 0,18545 | 0,4621  | 0,22601   |         |         |
| 39       | 87     | I       | 18900  | 2001        | AR     | 0,16488 | 0,12473 | 1,42414 | 1,42414 | 1,52511 | 1,43907   |         |         |
| 39       | 87     | I       | 18900  | 2001        | AR     | 0,11759 | 0,09882 | 0,4173  | 0,4173  | 0,62843 | 0,44467   |         |         |
| 39       | 87     | I       | 18900  | 2001        | AR     | 0,09382 | 0,09849 | 0,66271 | 0,66271 | 0,8059  | 0,67653   |         |         |
| 39       | 87     | I       | 18900  | 2001        | AI     | 0,17021 | 0,14129 | 0,31311 | 0,31311 | 0,65709 | 0,38338   |         |         |
| 39       | 87     | I       | 18900  | 2001        | AI     | 0,30376 | 0,24202 | 0,38023 | 0,38023 | 0,89431 | 0,54353   |         |         |
| 39       | 87     | I       | 18900  | 2001        | AI     | 0,26149 | 0,19755 | 0,23198 | 0,26149 | 0,75831 | 0,40152   |         |         |
| 39       | 87     | I       | 18900  | 2001        | P      | 0,33404 | 0,35722 | 0,43436 | 0,43436 | 1,05239 | 0,65411   |         |         |
| 39       | 87     | I       | 18900  | 2001        | P      | 0,25946 | 0,32538 | 0,53158 | 0,53158 | 1,0258  | 0,6751    |         |         |
| 40       | 103    | I       | 18900  | 2001        | Parado | 0,01833 | 0,01414 | 0,03776 | 0,03776 | 0,17259 | 0,04429   |         |         |
| 40       | 103    | I       | 18900  | 2001        | AI     | 0,0896  | 0,18543 | 0,10328 | 0,18543 | 0,62438 | 0,23039   |         |         |
| 40       | 103    | I       | 18900  | 2001        | AR     | 0,16153 | 0,18374 | 0,18541 | 0,18541 | 0,66757 | 0,30697   |         |         |
| 40       | 103    | I       | 18900  | 2001        | AI     | 0,08513 | 0,14283 | 0,46191 | 0,46191 | 0,7124  | 0,49092   |         |         |
| 40       | 103    | I       | 18900  | 2001        | AR     | 0,13719 | 0,15292 | 0,1383  | 0,15292 | 0,59644 | 0,24765   |         |         |
| 40       | 103    | I       | 18900  | 2001        | AI     | 0,1095  | 0,09985 | 0,1502  | 0,1502  | 0,49169 | 0,211     |         |         |
| 40       | 103    | I       | 18900  | 2001        | AI     | 0,12877 | 0,10886 | 0,41414 | 0,41414 | 0,64605 | 0,44715   |         |         |
| 40       | 103    | I       | 18900  | 2001        | AI     | 0,25327 | 0,15446 | 0,91801 | 0,91801 | 1,12748 | 0,96475   |         |         |
| 40       | 103    | I       | 18900  | 2001        | AI     | 0,11534 | 0,14445 | 0,62452 | 0,62452 | 0,8362  | 0,65131   |         |         |
| 40       | 103    | I       | 18900  | 2001        | AI     | 0,21756 | 0,22902 | 0,29392 | 0,29392 | 0,79249 | 0,43147   |         |         |
| 40       | 103    | I       | 18900  | 2001        | P      | 0,25402 | 0,22944 | 0,17939 | 0,25402 | 0,77997 | 0,38646   |         |         |
| 40       | 103    | I       | 18900  | 2001        | P      | 0,18494 | 0,21042 | 0,43293 | 0,43293 | 0,81663 | 0,51566   |         |         |
| 41       | 85     | I       | 18900  | 2001        | Parado | 0,01422 | 0,01504 | 0,01977 | 0,01977 | 0,17395 | 0,02862   | 0,03218 | 0,61424 |
| 41       | 85     | I       | 18900  | 2001        | AR     | 0,11574 | 0,10608 | 0,24839 | 0,24839 | 0,54394 | 0,29384   | 0,24638 | 1,00814 |
| 41       | 85     | I       | 18900  | 2001        | AI     | 0,09518 | 0,11295 | 0,17268 | 0,17268 | 0,51861 | 0,22724   | 0,18425 | 0,93724 |
| 41       | 85     | I       | 18900  | 2001        | AR     | 0,16415 | 0,15088 | 0,07774 | 0,16415 | 0,59547 | 0,23613   | 0,06293 | 1,23532 |

| Condutor | Peso_C | Veículo | Peso_V | Antiguidade | Piso   | awx     | awy     | awz     | awmáx   | asaúde  | aconforto | awzbase | transm. |
|----------|--------|---------|--------|-------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|---------|
| 41       | 85     | I       | 18900  | 2001        | AI     | 0,12472 | 0,18389 | 0,28296 | 0,28296 | 0,68628 | 0,35977   | 0,32208 | 0,87855 |
| 41       | 85     | I       | 18900  | 2001        | AI     | 0,16165 | 0,13208 | 0,23446 | 0,23446 | 0,60421 | 0,31392   | 0,25687 | 0,91274 |
| 41       | 85     | I       | 18900  | 2001        | AI     | 0,39558 | 0,3034  | 0,97741 | 0,97741 | 1,36261 | 1,09721   | 1,55982 | 0,62662 |
| 41       | 85     | I       | 18900  | 2001        | AI     | 0,26675 | 0,27575 | 0,14076 | 0,27575 | 0,83651 | 0,40866   | 0,13579 | 1,03664 |
| 41       | 85     | I       | 18900  | 2001        | AI     | 0,31845 | 0,31992 | 0,44791 | 0,44791 | 1,01314 | 0,63592   | 0,49569 | 0,90361 |
| 41       | 85     | I       | 18900  | 2001        | P      | 0,36378 | 0,21017 | 0,18672 | 0,36378 | 0,84034 | 0,45975   | 0,18571 | 1,00543 |
| 41       | 85     | I       | 18900  | 2001        | P      | 0,26527 | 0,15505 | 0,47349 | 0,47349 | 0,8161  | 0,56444   | 0,54271 | 0,87245 |
| 42       | 78     | I       | 18900  | 2001        | Parado | 0,01032 | 0,01276 | 0,02    | 0,02    | 0,16006 | 0,02587   | 0,02596 | 0,7704  |
| 42       | 78     | I       | 18900  | 2001        | AR     | 0,12567 | 0,16973 | 0,38535 | 0,38535 | 0,71562 | 0,43942   | 0,38316 | 1,0057  |
| 42       | 78     | I       | 18900  | 2001        | AR     | 0,09431 | 0,16749 | 0,28317 | 0,28317 | 0,65262 | 0,34225   | 0,28009 | 1,01102 |
| 42       | 78     | I       | 18900  | 2001        | AI     | 0,1084  | 0,185   | 0,30329 | 0,30329 | 0,6911  | 0,37143   | 0,29817 | 1,01718 |
| 42       | 78     | I       | 18900  | 2001        | AR     | 0,08117 | 0,19208 | 0,39577 | 0,39577 | 0,73894 | 0,44735   | 0,50434 | 0,78473 |
| 42       | 78     | I       | 18900  | 2001        | AI     | 0,13    | 0,08523 | 0,4753  | 0,4753  | 0,65275 | 0,50007   | 0,47913 | 0,992   |
| 42       | 78     | I       | 18900  | 2001        | AI     | 0,14665 | 0,23279 | 0,28797 | 0,28797 | 0,76246 | 0,39828   | 0,27704 | 1,03947 |
| 42       | 78     | I       | 18900  | 2001        | AI     | 0,1614  | 0,17541 | 0,62337 | 0,62337 | 0,88512 | 0,66739   | 0,77202 | 0,80746 |
| 42       | 78     | I       | 18900  | 2001        | AI     | 0,21316 | 0,25467 | 0,55037 | 0,55037 | 0,94399 | 0,64281   | 0,55225 | 0,99661 |
| 42       | 78     | I       | 18900  | 2001        | AI     | 0,23104 | 0,13258 | 0,58119 | 0,58119 | 0,83801 | 0,63933   | 0,9754  | 0,59585 |
| 42       | 78     | I       | 18900  | 2001        | P      | 0,16933 | 0,29409 | 0,21623 | 0,29409 | 0,82424 | 0,40239   | 0,23266 | 0,92938 |
| 42       | 78     | I       | 18900  | 2001        | P      | 0,18516 | 0,4211  | 0,47782 | 0,47782 | 1,0587  | 0,66326   | 1,18031 | 0,40483 |
| 43       | 90     | A       | 15430  | 1979        | AI     | 0,05318 | 0,0966  | 0,2852  | 0,2852  | 0,52557 | 0,30578   |         |         |
| 43       | 90     | A       | 15430  | 1979        | AR     | 0,0889  | 0,09273 | 0,44496 | 0,44496 | 0,62867 | 0,46313   |         |         |
| 43       | 90     | A       | 15430  | 1979        | AI     | 0,10061 | 0,1294  | 0,27578 | 0,27578 | 0,5912  | 0,32081   |         |         |
| 43       | 90     | A       | 15430  | 1979        | AI     | 0,06672 | 0,12313 | 0,37304 | 0,37304 | 0,62388 | 0,39846   |         |         |
| 43       | 90     | A       | 15430  | 1979        | AI     | 0,16211 | 0,28352 | 0,25992 | 0,28352 | 0,82144 | 0,4174    |         |         |
| 43       | 90     | A       | 15430  | 1979        | AI     | 0,11735 | 0,1102  | 0,65555 | 0,65555 | 0,82019 | 0,67502   |         |         |
| 43       | 90     | A       | 15430  | 1979        | AI     | 0,18511 | 0,17286 | 0,16932 | 0,18511 | 0,65927 | 0,30466   |         |         |
| 43       | 90     | A       | 15430  | 1979        | AI     | 0,18948 | 0,12546 | 0,46802 | 0,46802 | 0,73165 | 0,52027   |         |         |
| 43       | 90     | A       | 15430  | 1979        | P      | 0,17652 | 0,23118 | 0,49063 | 0,49063 | 0,86885 | 0,57037   |         |         |
| 43       | 90     | A       | 15430  | 1979        | P      | 0,19544 | 0,22927 | 0,63867 | 0,63867 | 0,96548 | 0,70616   |         |         |
| 43       | 90     | A       | 15430  | 1979        | AI     | 0,1479  | 0,05321 | 0,57716 | 0,57716 | 0,69301 | 0,59818   |         |         |
| 44       | 77     | A       | 15430  | 1979        | Parado | 0,01749 | 0,01117 | 0,03263 | 0,03263 | 0,15346 | 0,03867   | 0,03155 | 1,03408 |
| 44       | 77     | A       | 15430  | 1979        | AI     | 0,07018 | 0,10853 | 0,2803  | 0,2803  | 0,54858 | 0,30866   | 0,25701 | 1,09061 |

| Condutor | Peso_C | Veículo | Peso_V | Antiguidade | Piso   | awx     | awy     | awz     | awmáx   | asaúde  | aconforto | awzbase | transm. |
|----------|--------|---------|--------|-------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|---------|
| 44       | 77     | A       | 15430  | 1979        | AR     | 0,1329  | 0,10377 | 0,48598 | 0,48598 | 0,68861 | 0,5144    | 0,43206 | 1,12481 |
| 44       | 77     | A       | 15430  | 1979        | AR     | 0,10451 | 0,0575  | 0,37979 | 0,37979 | 0,52759 | 0,39808   | 0,33668 | 1,12805 |
| 44       | 77     | A       | 15430  | 1979        | AI     | 0,11908 | 0,17787 | 0,32418 | 0,32418 | 0,69391 | 0,38847   | 0,29812 | 1,08743 |
| 44       | 77     | A       | 15430  | 1979        | AI     | 0,07147 | 0,09259 | 0,10542 | 0,10542 | 0,45011 | 0,15746   | 0,09828 | 1,07262 |
| 44       | 77     | A       | 15430  | 1979        | AI     | 0,16766 | 0,2069  | 0,38078 | 0,38078 | 0,77822 | 0,46467   | 0,37558 | 1,01384 |
| 44       | 77     | A       | 15430  | 1979        | AI     | 0,16106 | 0,09044 | 0,20751 | 0,20751 | 0,52073 | 0,27781   | 0,17397 | 1,1928  |
| 44       | 77     | A       | 15430  | 1979        | AI     | 0,14799 | 0,23689 | 0,53515 | 0,53515 | 0,89085 | 0,60366   | 0,49004 | 1,09205 |
| 44       | 77     | A       | 15430  | 1979        | P      | 0,28501 | 0,1582  | 0,44395 | 0,44395 | 0,81632 | 0,55077   | 0,42697 | 1,03977 |
| 44       | 77     | A       | 15430  | 1979        | P      | 0,2094  | 0,16535 | 0,46788 | 0,46788 | 0,79305 | 0,53861   | 0,54595 | 0,85699 |
| 45       | 81     | A       | 15430  | 1979        | Parado | 0,0064  | 0,0055  | 0,03334 | 0,03334 | 0,10939 | 0,0344    | 0,02553 | 1,30605 |
| 45       | 81     | A       | 15430  | 1979        | AI     | 0,06767 | 0,07026 | 0,18784 | 0,18784 | 0,42658 | 0,21166   | 0,17847 | 1,0525  |
| 45       | 81     | A       | 15430  | 1979        | AR     | 0,12039 | 0,25954 | 0,42654 | 0,42654 | 0,84796 | 0,51361   | 0,40423 | 1,05521 |
| 45       | 81     | A       | 15430  | 1979        | AR     | 0,14449 | 0,09088 | 0,2726  | 0,2726  | 0,54162 | 0,32163   | 0,32695 | 0,83379 |
| 45       | 81     | A       | 15430  | 1979        | AI     | 0,06366 | 0,05309 | 0,26193 | 0,26193 | 0,42497 | 0,27473   | 0,24367 | 1,07492 |
| 45       | 81     | A       | 15430  | 1979        | AI     | 0,05395 | 0,0685  | 0,38119 | 0,38119 | 0,53412 | 0,39104   | 0,36563 | 1,04255 |
| 45       | 81     | A       | 15430  | 1979        | AI     | 0,15553 | 0,27189 | 0,41376 | 0,41376 | 0,8669  | 0,51895   | 0,42778 | 0,96725 |
| 45       | 81     | A       | 15430  | 1979        | AI     | 0,33665 | 0,29417 | 0,65025 | 0,65025 | 1,10522 | 0,7891    | 0,58663 | 1,10844 |
| 45       | 81     | A       | 15430  | 1979        | AI     | 0,13335 | 0,24573 | 0,3068  | 0,3068  | 0,78141 | 0,41508   | 0,31268 | 0,9812  |
| 45       | 81     | A       | 15430  | 1979        | AI     | 0,13335 | 0,24573 | 0,33074 | 0,33074 | 0,79112 | 0,43307   | 0,34628 | 0,95511 |
| 45       | 81     | A       | 15430  | 1979        | P      | 0,26682 | 0,21146 | 0,30756 | 0,30756 | 0,80535 | 0,45881   | 0,27652 | 1,11228 |
| 45       | 81     | A       | 15430  | 1979        | P      | 0,20825 | 0,16598 | 0,36694 | 0,36694 | 0,73822 | 0,45339   | 0,35505 | 1,03348 |
| 46       | 79     | A       | 15430  | 1979        | Parado | 0,00705 | 0,0047  | 0,04928 | 0,04928 | 0,10832 | 0,05001   |         |         |
| 46       | 79     | A       | 15430  | 1979        | AI     | 0,09164 | 0,03869 | 0,16463 | 0,16463 | 0,34555 | 0,19235   |         |         |
| 46       | 79     | A       | 15430  | 1979        | AR     | 0,13534 | 0,14004 | 0,41066 | 0,41066 | 0,69211 | 0,4545    |         |         |
| 46       | 79     | A       | 15430  | 1979        | AR     | 0,14306 | 0,06855 | 0,56334 | 0,56334 | 0,70129 | 0,58524   |         |         |
| 46       | 79     | A       | 15430  | 1979        | AI     | 0,10492 | 0,17958 | 0,35646 | 0,35646 | 0,70755 | 0,4127    |         |         |
| 46       | 79     | A       | 15430  | 1979        | AI     | 0,09937 | 0,1175  | 0,38232 | 0,38232 | 0,62914 | 0,41213   |         |         |
| 46       | 79     | A       | 15430  | 1979        | AI     | 0,11894 | 0,19121 | 0,63313 | 0,63313 | 0,89629 | 0,67198   |         |         |
| 46       | 79     | A       | 15430  | 1979        | AI     | 0,23246 | 0,22773 | 0,19134 | 0,23246 | 0,76738 | 0,3775    |         |         |
| 46       | 79     | A       | 15430  | 1979        | AI     | 0,20867 | 0,2176  | 0,62554 | 0,62554 | 0,95034 | 0,6944    |         |         |
| 46       | 79     | A       | 15430  | 1979        | P      | 0,31745 | 0,19475 | 0,52164 | 0,52164 | 0,92269 | 0,64095   |         |         |
| 46       | 79     | A       | 15430  | 1979        | P      | 0,24904 | 0,21462 | 0,49993 | 0,49993 | 0,89003 | 0,59834   |         |         |

| Condutor | Peso_C | Veículo | Peso_V | Antiguidade | Piso | awx     | awy     | awz     | awmáx   | asaúde  | aconforto | awzbase | transm. |
|----------|--------|---------|--------|-------------|------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|---------|
| 47       | 102    | C       | 11500  | 1991        | AI   | 0,24482 | 0,1858  | 0,7998  | 0,7998  | 1,05892 | 0,85682   |         |         |
| 47       | 102    | C       | 11500  | 1991        | P    | 0,26554 | 0,23657 | 1,19895 | 1,19895 | 1,42806 | 1,25058   |         |         |
| 47       | 102    | C       | 11500  | 1991        | AR   | 0,30629 | 0,2962  | 0,29036 | 0,30629 | 0,92127 | 0,51561   |         |         |
| 47       | 102    | C       | 11500  | 1991        | P    | 0,32023 | 0,28236 | 0,20655 | 0,32023 | 0,8928  | 0,47428   |         |         |
| 47       | 102    | C       | 11500  | 1991        | AR   | 0,10671 | 0,27153 | 0,4818  | 0,4818  | 0,88693 | 0,56325   |         |         |
| 47       | 102    | C       | 11500  | 1991        | P    | 0,26953 | 0,17392 | 0,25411 | 0,26953 | 0,74017 | 0,40923   |         |         |
| 47       | 102    | C       | 11500  | 1991        | P    | 0,33812 | 0,29145 | 0,33872 | 0,33872 | 0,95396 | 0,56035   |         |         |
| 48       | 101    | C       | 11500  | 1991        | P    | 0,1844  | 0,30478 | 0,41222 | 0,41222 | 0,9132  | 0,54481   | 0,70201 | 0,5872  |
| 48       | 101    | C       | 11500  | 1991        | P    | 0,22912 | 0,24435 | 0,14249 | 0,24435 | 0,77596 | 0,36401   | 0,14158 | 1,00644 |
| 48       | 101    | C       | 11500  | 1991        | AI   | 0,22141 | 0,24302 | 0,99419 | 0,99419 | 1,24933 | 1,04714   | 1,37902 | 0,72094 |
| 48       | 101    | C       | 11500  | 1991        | P    | 0,30896 | 0,23303 | 0,67523 | 0,67523 | 1,0487  | 0,77826   | 0,8716  | 0,77469 |
| 48       | 101    | C       | 11500  | 1991        | P    | 0,40337 | 0,23414 | 0,44718 | 0,44718 | 0,98884 | 0,64614   | 0,4366  | 1,02423 |
| 48       | 101    | C       | 11500  | 1991        | AR   | 0,15709 | 0,18402 | 0,2724  | 0,2724  | 0,69516 | 0,36434   | 0,19813 | 1,37484 |
| 48       | 101    | C       | 11500  | 1991        | P    | 0,44263 | 0,17697 | 0,34417 | 0,44263 | 0,92158 | 0,58796   | 0,25963 | 1,3256  |
| 48       | 101    | C       | 11500  | 1991        | P    | 0,20273 | 0,23753 | 0,18277 | 0,23753 | 0,76127 | 0,36184   | 0,10819 | 1,68931 |
| 49       | 83     | C       | 11500  | 1991        | P    | 0,1751  | 0,32877 | 0,63539 | 0,63539 | 1,05271 | 0,73653   |         |         |
| 49       | 83     | C       | 11500  | 1991        | P    | 0,24648 | 0,26148 | 0,31302 | 0,31302 | 0,85415 | 0,47656   |         |         |
| 49       | 83     | C       | 11500  | 1991        | AI   | 0,21333 | 0,24993 | 0,53976 | 0,53976 | 0,93295 | 0,63191   |         |         |
| 49       | 83     | C       | 11500  | 1991        | P    | 0,23925 | 0,19882 | 1,22829 | 1,22829 | 1,41795 | 1,26707   |         |         |
| 49       | 83     | C       | 11500  | 1991        | AR   | 0,25077 | 0,12486 | 0,42234 | 0,42234 | 0,73915 | 0,5068    |         |         |
| 49       | 83     | C       | 11500  | 1991        | P    | 0,17182 | 0,19707 | 0,46548 | 0,46548 | 0,81289 | 0,53389   |         |         |
| 49       | 83     | C       | 11500  | 1991        | AR   | 0,13726 | 0,21416 | 0,17544 | 0,21416 | 0,69818 | 0,309     |         |         |
| 49       | 83     | C       | 11500  | 1991        | P    | 0,20226 | 0,18079 | 0,95425 | 0,95425 | 1,1598  | 0,99206   |         |         |
| 49       | 83     | C       | 11500  | 1991        | P    | 0,23157 | 0,21974 | 0,41133 | 0,41133 | 0,83963 | 0,52067   |         |         |
| 50       | 75     | C       | 11500  | 1991        | AR   | 0,20939 | 0,20927 | 0,25921 | 0,25921 | 0,75053 | 0,39349   |         |         |
| 50       | 75     | C       | 11500  | 1991        | AR   | 0,13019 | 0,14149 | 0,28414 | 0,28414 | 0,62553 | 0,34309   |         |         |
| 50       | 75     | C       | 11500  | 1991        | P    | 0,23207 | 0,19656 | 0,61489 | 0,61489 | 0,93215 | 0,68599   |         |         |
| 50       | 75     | C       | 11500  | 1991        | AR   | 0,13347 | 0,13411 | 0,55795 | 0,55795 | 0,78043 | 0,58915   |         |         |
| 50       | 75     | C       | 11500  | 1991        | P    | 0,26993 | 0,12247 | 0,53761 | 0,53761 | 0,81969 | 0,61391   |         |         |
| 50       | 75     | C       | 11500  | 1991        | P    | 0,13785 | 0,16047 | 0,31296 | 0,31296 | 0,67061 | 0,37775   |         |         |
| 51       | 78     | C       | 11500  | 1991        | P    | 0,17628 | 0,27652 | 0,25218 | 0,27652 | 0,81639 | 0,41368   |         |         |
| 51       | 78     | C       | 11500  | 1991        | P    | 0,13747 | 0,17482 | 0,66062 | 0,66062 | 0,90339 | 0,69705   |         |         |

| Condutor | Peso_C | Veículo | Peso_V | Antiguidade | Piso | awx     | awy     | awz     | awmáx   | asaúde  | aconforto | awzbase | transm. |
|----------|--------|---------|--------|-------------|------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|---------|
| 51       | 78     | C       | 11500  | 1991        | AI   | 0,23123 | 0,21388 | 0,41053 | 0,41053 | 0,83219 | 0,51744   |         |         |
| 51       | 78     | C       | 11500  | 1991        | P    | 0,26629 | 0,29986 | 0,32232 | 0,32232 | 0,91137 | 0,51451   |         |         |
| 51       | 78     | C       | 11500  | 1991        | AR   | 0,14676 | 0,2339  | 0,55298 | 0,55298 | 0,89802 | 0,61809   |         |         |
| 51       | 78     | C       | 11500  | 1991        | P    | 0,231   | 0,21748 | 0,70192 | 0,70192 | 1,0117  | 0,77029   |         |         |
| 51       | 78     | C       | 11500  | 1991        | AR   | 0,09584 | 0,11423 | 0,21924 | 0,21924 | 0,53849 | 0,26515   |         |         |
| 51       | 78     | C       | 11500  | 1991        | P    | 0,20169 | 0,28154 | 0,71418 | 0,71418 | 1,06846 | 0,79372   |         |         |
| 51       | 78     | C       | 11500  | 1991        | P    | 0,10518 | 0,14461 | 0,17439 | 0,17439 | 0,57925 | 0,24977   |         |         |
| 52       | 75     | C       | 11500  | 1991        | P    | 0,24664 | 0,44468 | 0,91734 | 0,91734 | 1,35363 | 1,04885   |         |         |
| 52       | 75     | C       | 11500  | 1991        | AI   | 0,22216 | 0,29532 | 0,32144 | 0,32144 | 0,88254 | 0,48979   |         |         |
| 52       | 75     | C       | 11500  | 1991        | P    | 0,29657 | 0,20561 | 1,11791 | 1,11791 | 1,35097 | 1,17472   |         |         |
| 52       | 75     | C       | 11500  | 1991        | AR   | 0,09577 | 0,23919 | 0,31274 | 0,31274 | 0,76459 | 0,4052    |         |         |
| 52       | 75     | C       | 11500  | 1991        | P    | 0,23533 | 0,21875 | 0,70972 | 0,70972 | 1,02029 | 0,77906   |         |         |
| 52       | 75     | C       | 11500  | 1991        | AR   | 0,10279 | 0,21253 | 0,53505 | 0,53505 | 0,85062 | 0,58482   |         |         |
| 52       | 75     | C       | 11500  | 1991        | P    | 0,24247 | 0,17192 | 0,50269 | 0,50269 | 0,83957 | 0,58399   |         |         |
| 52       | 75     | C       | 11500  | 1991        | P    | 0,13302 | 0,16363 | 0,49738 | 0,49738 | 0,7764  | 0,54024   |         |         |
| 53       | 92     | C       | 11500  | 1991        | P    | 0,20439 | 0,34501 | 0,92888 | 0,92888 | 1,27315 | 1,01174   | 0,88572 | 1,04872 |
| 53       | 92     | C       | 11500  | 1991        | P    | 0,16592 | 0,17961 | 0,62393 | 0,62393 | 0,89178 | 0,67013   | 0,71035 | 0,87834 |
| 53       | 92     | C       | 11500  | 1991        | AI   | 0,14632 | 0,2475  | 0,58299 | 0,58299 | 0,9311  | 0,65003   | 0,55519 | 1,05006 |
| 53       | 92     | C       | 11500  | 1991        | P    | 0,29164 | 0,26428 | 1,35725 | 1,35725 | 1,5896  | 1,41316   | 1,57493 | 0,86178 |
| 53       | 92     | C       | 11500  | 1991        | AR   | 0,27055 | 0,5298  | 0,45111 | 0,5298  | 1,17702 | 0,74658   | 0,38481 | 1,17227 |
| 53       | 92     | C       | 11500  | 1991        | AR   | 0,29368 | 0,20612 | 0,37232 | 0,37232 | 0,8436  | 0,51706   | 0,3203  | 1,1624  |
| 53       | 92     | C       | 11500  | 1991        | P    | 0,15552 | 0,19241 | 0,72546 | 0,72546 | 0,9751  | 0,76648   | 0,7548  | 0,96112 |
| 53       | 92     | C       | 11500  | 1991        | AR   | 0,09287 | 0,17762 | 0,12398 | 0,17762 | 0,61678 | 0,23568   | 0,14465 | 0,85708 |
| 53       | 92     | C       | 11500  | 1991        | P    | 0,25635 | 0,26936 | 0,90923 | 0,90923 | 1,21797 | 0,98233   | 1,61055 | 0,56455 |
| 53       | 92     | C       | 11500  | 1991        | P    | 0,20564 | 0,23575 | 0,64745 | 0,64745 | 0,98192 | 0,71907   | 0,83087 | 0,77925 |
| 54       | 65     | C       | 11500  | 1991        | P    | 0,19808 | 0,24055 | 0,85535 | 0,85535 | 1,13137 | 1,13137   | 0,97501 | 0,87728 |
| 54       | 65     | C       | 11500  | 1991        | P    | 0,20424 | 0,28992 | 0,72363 | 0,72363 | 1,08335 | 0,80586   | 1,20125 | 0,60239 |
| 54       | 65     | C       | 11500  | 1991        | AI   | 0,18573 | 0,16939 | 0,57976 | 0,57976 | 0,85775 | 0,63191   | 0,68565 | 0,84556 |
| 54       | 65     | C       | 11500  | 1991        | P    | 0,22001 | 0,20484 | 0,30908 | 0,30908 | 0,76935 | 0,43116   | 0,297   | 1,04067 |
| 54       | 65     | C       | 11500  | 1991        | AR   | 0,24022 | 0,32825 | 0,57387 | 0,57387 | 1,04202 | 0,70341   | 0,75832 | 0,75677 |
| 54       | 65     | C       | 11500  | 1991        | P    | 0,16229 | 0,202   | 0,62317 | 0,62317 | 0,91426 | 0,67489   | 0,73955 | 0,84263 |
| 54       | 65     | C       | 11500  | 1991        | AR   | 0,12954 | 0,16319 | 0,50017 | 0,50017 | 0,77648 | 0,54184   | 0,8483  | 0,58962 |

| Condutor | Peso_C | Veículo | Peso_V | Antiguidade | Piso   | awx     | awy     | awz     | awmáx   | asaúde  | aconforto | awzbase | transm. |
|----------|--------|---------|--------|-------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|---------|
| 54       | 65     | C       | 11500  | 1991        | P      | 0,22222 | 0,27821 | 0,42155 | 0,42155 | 0,90542 | 0,55181   | 0,42029 | 1,003   |
| 54       | 65     | C       | 11500  | 1991        | P      | 0,1539  | 0,0946  | 0,35501 | 0,35501 | 0,59822 | 0,39833   | 0,51886 | 0,68421 |
| 55       | 105    | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,13341 | 0,18543 | 0,15415 | 0,18543 | 0,64969 | 0,27558   |         |         |
| 55       | 105    | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,1134  | 0,14552 | 0,36278 | 0,36278 | 0,66486 | 0,407     |         |         |
| 55       | 105    | H       | 18000  | 1998        | P      | 0,2942  | 0,28089 | 0,4035  | 0,4035  | 0,93968 | 0,57295   |         |         |
| 55       | 105    | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,16217 | 0,21595 | 0,3655  | 0,3655  | 0,77999 | 0,45445   |         |         |
| 55       | 105    | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,24064 | 0,33743 | 0,50406 | 0,50406 | 1,01437 | 0,65257   |         |         |
| 55       | 105    | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,28381 | 0,33473 | 1,24691 | 1,24691 | 1,53906 | 1,32188   |         |         |
| 55       | 105    | H       | 18000  | 1998        | AR     | 0,15733 | 0,20454 | 0,15963 | 0,20454 | 0,68913 | 0,30344   |         |         |
| 55       | 105    | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,4833  | 0,58364 | 0,64809 | 0,64809 | 1,42189 | 0,99712   |         |         |
| 55       | 105    | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,28242 | 0,42659 | 0,37149 | 0,42659 | 1,06322 | 0,63225   |         |         |
| 55       | 105    | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,15216 | 0,23856 | 0,57578 | 0,57578 | 0,91896 | 0,64155   |         |         |
| 55       | 105    | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,21754 | 0,20863 | 0,36539 | 0,36539 | 0,79697 | 0,47366   |         |         |
| 56       | 68     | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,14541 | 0,13607 | 0,26685 | 0,26685 | 0,6159  | 0,33296   |         |         |
| 56       | 68     | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,14268 | 0,1663  | 0,34655 | 0,34655 | 0,6971  | 0,41001   |         |         |
| 56       | 68     | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,17951 | 0,27377 | 0,56126 | 0,56126 | 0,95643 | 0,64976   |         |         |
| 56       | 68     | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,18094 | 0,24825 | 0,4824  | 0,4824  | 0,88512 | 0,5719    |         |         |
| 56       | 68     | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,2182  | 0,14619 | 0,44785 | 0,44785 | 0,76186 | 0,51919   |         |         |
| 56       | 68     | H       | 18000  | 1998        | AR     | 0,09399 | 0,07346 | 0,34459 | 0,34459 | 0,52918 | 0,36465   |         |         |
| 56       | 68     | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,12499 | 0,1348  | 0,37418 | 0,37418 | 0,65942 | 0,41689   |         |         |
| 56       | 68     | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,24534 | 0,24084 | 0,46039 | 0,46039 | 0,89554 | 0,57459   |         |         |
| 56       | 68     | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,25267 | 0,1881  | 0,91958 | 0,91958 | 1,15734 | 0,97203   |         |         |
| 56       | 68     | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,09332 | 0,04276 | 0,40153 | 0,40153 | 0,51196 | 0,41444   |         |         |
| 57       | 76     | H       | 18000  | 1998        | Parado | 0,01861 | 0,0137  | 0,24816 | 0,24816 | 0,29852 | 0,24923   |         |         |
| 57       | 76     | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,27745 | 0,11419 | 0,18202 | 0,27745 | 0,6386  | 0,35092   |         |         |
| 57       | 76     | H       | 18000  | 1998        | P      | 0,25579 | 0,14298 | 0,61379 | 0,61379 | 0,88612 | 0,68015   |         |         |
| 57       | 76     | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,15649 | 0,11433 | 0,37445 | 0,37445 | 0,64211 | 0,42163   |         |         |
| 57       | 76     | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,20524 | 0,27621 | 0,51392 | 0,51392 | 0,94236 | 0,61849   |         |         |
| 57       | 76     | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,21904 | 0,22219 | 0,54756 | 0,54756 | 0,91068 | 0,63021   |         |         |
| 57       | 76     | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,3067  | 0,35299 | 0,76916 | 0,76916 | 1,21154 | 0,90015   |         |         |
| 57       | 76     | H       | 18000  | 1998        | AR     | 0,20452 | 0,13038 | 0,28782 | 0,28782 | 0,64836 | 0,37639   |         |         |
| 57       | 76     | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,34963 | 0,31271 | 0,71847 | 0,71847 | 1,16991 | 0,85803   |         |         |

| Condutor | Peso_C | Veículo | Peso_V | Antiguidade | Piso   | awx     | awy     | awz     | awmáx   | asaúde  | aconforto | awzbase | transm. |
|----------|--------|---------|--------|-------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|---------|
| 57       | 76     | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,30557 | 0,25871 | 0,49605 | 0,49605 | 0,96755 | 0,63747   |         |         |
| 57       | 76     | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,27529 | 0,32156 | 0,24816 | 0,32156 | 0,91672 | 0,49068   |         |         |
| 58       | 112    | H       | 18000  | 1998        | Parado | 0,03556 | 0,02436 | 0,03187 | 0,03556 | 0,22636 | 0,05361   |         |         |
| 58       | 112    | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,14012 | 0,11795 | 0,20639 | 0,20639 | 0,55881 | 0,27595   |         |         |
| 58       | 112    | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,13915 | 0,11991 | 0,21253 | 0,21253 | 0,56404 | 0,28091   |         |         |
| 58       | 112    | H       | 18000  | 1998        | P      | 0,25328 | 0,42222 | 0,73699 | 0,73699 | 1,22329 | 0,88633   |         |         |
| 58       | 112    | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,21775 | 0,16088 | 0,22053 | 0,22053 | 0,67594 | 0,34919   |         |         |
| 58       | 112    | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,31169 | 0,44578 | 0,53147 | 0,53147 | 1,16043 | 0,76048   |         |         |
| 58       | 112    | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,19155 | 0,28421 | 0,47712 | 0,47712 | 0,92553 | 0,58746   |         |         |
| 58       | 112    | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,19633 | 0,28456 | 0,77145 | 0,77145 | 1,10834 | 0,84537   |         |         |
| 58       | 112    | H       | 18000  | 1998        | AR     | 0,12076 | 0,18709 | 0,33517 | 0,33517 | 0,71248 | 0,4024    |         |         |
| 58       | 112    | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,25954 | 0,30199 | 0,45422 | 0,45422 | 0,96449 | 0,60404   |         |         |
| 58       | 112    | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,22173 | 0,13088 | 0,62667 | 0,62667 | 0,86348 | 0,6775    |         |         |
| 58       | 112    | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,19059 | 0,3594  | 0,38164 | 0,38164 | 0,95983 | 0,5578    |         |         |
| 59       | 74     | H       | 18000  | 1998        | Parado | 0,00847 | 0,0075  | 0,04602 | 0,04602 | 0,04867 | 0,04739   | 0,04255 | 1,08163 |
| 59       | 74     | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,19665 | 0,1642  | 0,61118 | 0,61118 | 0,87816 | 0,6627    | 0,62525 | 0,9775  |
| 59       | 74     | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,30186 | 0,2127  | 0,1861  | 0,30186 | 0,7938  | 0,41352   | 0,17347 | 1,07282 |
| 59       | 74     | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,26708 | 0,13936 | 0,51045 | 0,51045 | 0,82067 | 0,59271   | 0,527   | 0,96858 |
| 59       | 74     | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,1838  | 0,18034 | 0,52436 | 0,52436 | 0,83345 | 0,58418   | 0,5303  | 0,9888  |
| 59       | 74     | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,2764  | 0,20792 | 0,68441 | 0,68441 | 1,01276 | 0,76684   | 0,64521 | 1,06076 |
| 59       | 74     | H       | 18000  | 1998        | AR     | 0,15117 | 0,13961 | 0,27291 | 0,27291 | 0,62682 | 0,3418    | 0,28684 | 0,95145 |
| 59       | 74     | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,35881 | 0,42983 | 0,42519 | 0,42983 | 1,12942 | 0,70305   | 0,39433 | 1,07825 |
| 59       | 74     | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,25433 | 0,21515 | 0,39992 | 0,39992 | 0,84166 | 0,52049   | 0,3583  | 1,11617 |
| 59       | 74     | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,23907 | 0,34582 | 0,37702 | 0,37702 | 0,96539 | 0,5647    | 0,37024 | 1,0183  |
| 59       | 74     | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,3129  | 0,19148 | 0,63142 | 0,63142 | 0,98279 | 0,73025   | 0,73864 | 0,85484 |
| 60       | 85     | H       | 18000  | 1998        | Parado | 0,00073 | 0,00083 | 0,00933 | 0,00933 | 0,04138 | 0,0094    |         |         |
| 60       | 85     | H       | 18000  | 1998        | P      | 0,06104 | 0,06206 | 0,73643 | 0,73643 | 0,81931 | 0,74156   |         |         |
| 60       | 85     | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,0468  | 0,02725 | 0,33668 | 0,33668 | 0,4136  | 0,34101   |         |         |
| 60       | 85     | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,19932 | 0,14248 | 0,58601 | 0,58601 | 0,83698 | 0,63516   |         |         |
| 60       | 85     | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,06352 | 0,15038 | 0,99534 | 0,99534 | 1,13726 | 1,00864   |         |         |
| 60       | 85     | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,07234 | 0,08832 | 1,79804 | 1,79804 | 1,84833 | 1,80166   |         |         |
| 60       | 85     | H       | 18000  | 1998        | AR     | 0,09949 | 0,03247 | 0,66633 | 0,66633 | 0,72596 | 0,67449   |         |         |

| Condutor | Peso_C | Veículo | Peso_V | Antiguidade | Piso   | awx     | awy     | awz     | awmáx   | asaúde  | aconforto | awzbase | transm. |
|----------|--------|---------|--------|-------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|---------|
| 60       | 85     | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,03746 | 0,08404 | 0,53801 | 0,53801 | 0,67596 | 0,54582   |         |         |
| 60       | 85     | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,05035 | 0,11675 | 0,53803 | 0,53803 | 0,72337 | 0,55285   |         |         |
| 60       | 85     | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,11717 | 0,12326 | 1,15261 | 1,15261 | 1,26373 | 1,16509   |         |         |
| 61       | 72     | H       | 18000  | 1998        | Parado | 0,01184 | 0,0113  | 0,01975 | 0,01975 | 0,15101 | 0,02565   |         |         |
| 61       | 72     | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,14406 | 0,09591 | 0,43335 | 0,43335 | 0,64533 | 0,46663   |         |         |
| 61       | 72     | H       | 18000  | 1998        | P      | 0,14816 | 0,33069 | 0,43092 | 0,43092 | 0,93642 | 0,56303   |         |         |
| 61       | 72     | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,2619  | 0,20989 | 0,88298 | 0,88298 | 1,15129 | 0,94461   |         |         |
| 61       | 72     | H       | 18000  | 1998        | AR     | 0,14348 | 0,13802 | 0,15006 | 0,15006 | 0,5774  | 0,24931   |         |         |
| 61       | 72     | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,19545 | 0,18282 | 0,34536 | 0,34536 | 0,74329 | 0,43692   |         |         |
| 61       | 72     | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,19855 | 0,28832 | 0,87303 | 0,87303 | 1,18514 | 0,94061   |         |         |
| 61       | 72     | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,25602 | 0,26555 | 0,97397 | 0,97397 | 1,26395 | 1,04148   |         |         |
| 61       | 72     | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,24349 | 0,39091 | 0,37689 | 0,39091 | 1,01214 | 0,5951    |         |         |
| 61       | 72     | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,22798 | 0,274   | 0,43273 | 0,43273 | 0,90894 | 0,56063   |         |         |
| 61       | 72     | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,26101 | 0,34966 | 0,73355 | 0,73355 | 1,16489 | 0,85352   |         |         |
| 62       | 78     | H       | 18000  | 1998        | Parado | 0,0105  | 0,00487 | 0,02643 | 0,02643 | 0,10226 | 0,02885   | 0,03374 | 0,78338 |
| 62       | 78     | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,10864 | 0,09298 | 0,25269 | 0,25269 | 0,51887 | 0,29034   | 0,27918 | 0,90509 |
| 62       | 78     | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,21764 | 0,13449 | 0,28049 | 0,28049 | 0,65964 | 0,37964   | 0,38766 | 0,72355 |
| 62       | 78     | H       | 18000  | 1998        | P      | 0,27407 | 0,16242 | 0,4226  | 0,4226  | 0,80259 | 0,52923   | 0,49741 | 0,84961 |
| 62       | 78     | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,16932 | 0,10421 | 0,30904 | 0,30904 | 0,59661 | 0,36747   | 0,30934 | 0,99901 |
| 62       | 78     | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,319   | 0,12226 | 0,44466 | 0,44466 | 0,798   | 0,56074   | 0,66626 | 0,66739 |
| 62       | 78     | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,14633 | 0,22058 | 0,47428 | 0,47428 | 0,83621 | 0,54315   | 0,44788 | 1,05895 |
| 62       | 78     | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,31124 | 0,22584 | 0,56808 | 0,56808 | 0,97736 | 0,686     | 0,58562 | 0,97006 |
| 62       | 78     | H       | 18000  | 1998        | AR     | 0,1093  | 0,08501 | 0,3622  | 0,3622  | 0,56676 | 0,38776   | 0,4212  | 0,85991 |
| 62       | 78     | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,07996 | 0,07457 | 0,34449 | 0,34449 | 0,52665 | 0,36142   | 0,34513 | 0,99815 |
| 62       | 78     | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,3713  | 0,36428 | 0,81446 | 0,81446 | 1,28357 | 0,96639   | 1,09893 | 0,74114 |
| 62       | 78     | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,40589 | 0,19796 | 0,82679 | 0,82679 | 1,18088 | 0,94208   | 1,4333  | 0,57684 |
| 62       | 78     | H       | 18000  | 1998        | AI     | 0,20209 | 0,20498 | 0,46788 | 0,46788 | 0,83709 | 0,54934   | 0,48081 | 0,97311 |
| 63       | 79     | L       | 15690  | 1980        | Parado | 0,0877  | 0,05453 | 0,08162 | 0,0877  | 0,35865 | 0,13164   | 0,08619 | 0,94702 |
| 63       | 79     | L       | 15690  | 1980        | AR     | 0,25866 | 0,2343  | 0,70634 | 0,70634 | 1,04368 | 0,78785   | 0,67338 | 1,04895 |
| 63       | 79     | L       | 15690  | 1980        | AR     | 0,11495 | 0,2234  | 1,19642 | 1,19642 | 1,37666 | 1,22252   | 1,04761 | 1,14205 |
| 63       | 79     | L       | 15690  | 1980        | AI     | 0,17599 | 0,19173 | 1,01819 | 1,01819 | 1,21376 | 1,05093   | 0,99675 | 1,02151 |
| 63       | 79     | L       | 15690  | 1980        | AI     | 0,1156  | 0,15031 | 0,6258  | 0,6258  | 0,84405 | 0,6539    | 0,5105  | 1,22585 |

| Condutor | Peso_C | Veículo | Peso_V | Antiguidade | Piso   | awx     | awy     | awz     | awmáx   | asaúde  | aconforto | awzbase | transm. |
|----------|--------|---------|--------|-------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|---------|
| 63       | 79     | L       | 15690  | 1980        | AI     | 0,43029 | 0,23792 | 0,8647  | 0,8647  | 1,25576 | 0,99472   | 0,77997 | 1,10863 |
| 63       | 79     | L       | 15690  | 1980        | P      | 0,32677 | 0,21205 | 0,74869 | 0,74869 | 1,08878 | 0,84396   | 0,60235 | 1,24294 |
| 63       | 79     | L       | 15690  | 1980        | AR     | 0,39832 | 0,18671 | 0,77652 | 0,77652 | 1,13133 | 0,89247   | 0,79658 | 0,97482 |
| 63       | 79     | L       | 15690  | 1980        | AI     | 0,27955 | 0,3361  | 0,59466 | 0,59466 | 1,07961 | 0,73806   | 0,51149 | 1,16261 |
| 63       | 79     | L       | 15690  | 1980        | AI     | 0,58242 | 0,27473 | 0,94139 | 0,94139 | 1,44552 | 1,14057   | 0,8948  | 1,05208 |
| 63       | 79     | L       | 15690  | 1980        | AI     | 0,27382 | 0,19085 | 0,57619 | 0,57619 | 0,92359 | 0,66588   | 0,48675 | 1,18374 |
| 63       | 79     | L       | 15690  | 1980        | AR     | 0,20859 | 0,20661 | 0,34787 | 0,34787 | 0,78183 | 0,45521   | 0,27481 | 1,26584 |
| 63       | 79     | L       | 15690  | 1980        | AR     | 0,22879 | 0,16312 | 0,87269 | 0,87269 | 1,08807 | 0,91681   | 0,69005 | 1,26467 |
| 63       | 79     | L       | 15690  | 1980        | AI     | 0,48054 | 0,24656 | 0,38623 | 0,48054 | 1,04165 | 0,66399   | 0,34365 | 1,12388 |
| 63       | 79     | L       | 15690  | 1980        | AI     | 0,46582 | 0,35212 | 1,19032 | 1,19032 | 1,59132 | 1,32583   | 1,2794  | 0,93038 |
| 63       | 79     | L       | 15690  | 1980        | AR     | 0,35794 | 0,17471 | 0,50954 | 0,50954 | 0,92367 | 0,64674   | 0,41609 | 1,22459 |
| 64       | 92     | M       | 15690  | 1984        | Parado | 0,01819 | 0,01126 | 0,02528 | 0,02528 | 0,15285 | 0,03312   | 0,03886 | 0,65056 |
| 64       | 92     | M       | 15690  | 1984        | AR     | 0,22005 | 0,23617 | 0,27049 | 0,27049 | 0,79433 | 0,42114   | 0,23734 | 1,13967 |
| 64       | 92     | M       | 15690  | 1984        | AR     | 0,14017 | 0,14256 | 0,22385 | 0,22385 | 0,60666 | 0,30014   | 0,19478 | 1,14928 |
| 64       | 92     | M       | 15690  | 1984        | AI     | 0,18352 | 0,25311 | 0,48042 | 0,48042 | 0,89046 | 0,57319   | 0,43454 | 1,10557 |
| 64       | 92     | M       | 15690  | 1984        | AI     | 0,09186 | 0,11902 | 0,48246 | 0,48246 | 0,69469 | 0,50535   | 0,43513 | 1,10878 |
| 64       | 92     | M       | 15690  | 1984        | AI     | 0,60177 | 0,24734 | 0,95239 | 0,95239 | 1,44969 | 1,15341   | 1,35919 | 0,7007  |
| 64       | 92     | M       | 15690  | 1984        | P      | 0,37299 | 0,20451 | 0,33289 | 0,37299 | 0,88563 | 0,54015   | 0,28962 | 1,14941 |
| 64       | 92     | M       | 15690  | 1984        | AR     | 0,27808 | 0,18857 | 0,62042 | 0,62042 | 0,95189 | 0,70556   | 0,6347  | 0,97751 |
| 64       | 92     | M       | 15690  | 1984        | AI     | 0,3525  | 0,14728 | 0,86345 | 0,86345 | 1,13038 | 0,94419   | 1,68082 | 0,51371 |
| 64       | 92     | M       | 15690  | 1984        | AI     | 0,37401 | 0,26974 | 0,69222 | 0,69222 | 1,13227 | 0,83175   | 0,69618 | 0,99431 |
| 64       | 92     | M       | 15690  | 1984        | AR     | 0,15674 | 0,15762 | 0,51377 | 0,51377 | 0,78806 | 0,55979   | 0,46763 | 1,09865 |
| 64       | 92     | M       | 15690  | 1984        | AR     | 0,2304  | 0,25835 | 0,1688  | 0,25835 | 0,79932 | 0,38513   | 0,27609 | 0,61139 |
| 64       | 92     | M       | 15690  | 1984        | AI     | 0,27739 | 0,11056 | 0,18947 | 0,27739 | 0,63514 | 0,35365   | 0,19855 | 0,95425 |