

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ANÁLISE DO CONFORTO EM EMBARCAÇÕES DO MODAL AQUAVIÁRIO NO  
TRANSPORTE COLETIVO DE PASSAGEIROS EM PORTO ALEGRE

por

Cássio Magalhães dos Reis

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, novembro de 2015

ANÁLISE DO CONFORTO EM EMBARCAÇÕES DO MODAL AQUAVIÁRIO NO  
TRANSPORTE COLETIVO DE PASSAGEIROS EM PORTO ALEGRE

por

Cássio Magalhães dos Reis

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS  
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
**ENGENHEIRO MECÂNICO**  
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Alcy Rodolfo dos Santos Carrara  
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: **Mecânica dos Sólidos**

Orientador: Prof. Herbert Martins Gomes

Comissão de Avaliação:

Prof. Jakson Manfredini Vassoler

Prof. Ignácio Iturrioz

Prof. Leticia Fleck Fadel Miguel

Porto Alegre, novembro de 2015.

*Dedico este trabalho a Deus, a meus pais, a minha namorada,  
a meu irmão e cunhada, e a meus amigos  
que me acompanharam, auxiliaram e incentivaram  
no decorrer do curso.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, primeiramente, por me dar a capacidade intelectual e emocional para cursar e concluir esse curso.

Também agradeço ao prof. Herbert Martins Gomes pela orientação no trabalho de conclusão do curso.

A meus pais, que me deram apoio, estrutura, uma boa educação e a possibilidade de fazer esse curso; a meu irmão, pela ajuda no decorrer do curso; à minha namorada, por me apoiar e auxiliar em momentos difíceis do curso.

Aos professores, por transmitirem o conhecimento deles, aprimorando assim, o crescimento, e aprendizado dos alunos.

Ao GMAP da UFRGS por disponibilizar o instrumento de medição, extremamente necessário para a conclusão deste trabalho.

A todos os funcionários da UFRGS, que proporcionaram o bom funcionamento necessário da universidade para o aprendizado dos alunos.

À Federação, por disponibilizar uma universidade de alta qualidade, com bons professores e com boa estrutura para o aprendizado.

REIS, C. M. **Análise do conforto em embarcações do modal aquaviário no transporte coletivo de passageiros em Porto Alegre**. 2015. 15f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

## RESUMO

Com a diversificação do transporte público e a crescente necessidade de aumento e melhoria deste setor em Porto Alegre, é importante avaliar os meios de transporte quanto à disponibilidade, conforto, capacidade, poluição e viabilidade econômica. Neste trabalho, será avaliado o conforto dos passageiros nas embarcações do modal aquaviário de Porto Alegre. A embarcação avaliada é o Catamarã, cujo trajeto é de Porto Alegre a Guaíba. A medição de conforto foi feita conforme normas internacionais, no assento e no piso de apoio junto aos pés do passageiro. Foram medidos valores de aceleração *RMS* com equipamento específico para este fim (VI 400 PRO Quest Technologies) e devidamente calibrado. A embarcação se mostrou confortável em todas as medições feitas comparando com as normas internacionais e estudos sobre conforto, com níveis de vibração variando entre 0,06 m/s<sup>2</sup> e 0,14 m/s<sup>2</sup>.

**PALAVRAS-CHAVE:** vibração de corpo inteiro, catamarã, ISO 2631, conforto de passageiros.

REIS, C. M. **Vibration Comfort analysis in waterway modal vessels of the mass transit system in Porto Alegre**. 2015. 15f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

#### ABSTRACT

With the diversification of public transport and the growing need for increased and improved services in this sector in Porto Alegre, it is important to evaluate this modal system concerning availability, comfort, carrying capacity, ambient pollution and economic viability. This work assesses passenger's vibration comfort on ships of the waterway modal of the mass transit in Porto Alegre. The assessed vessel is a catamaran, whose waterway is from Porto Alegre to the nearby city Guaíba. The comfort was measured according to international standards, on the seat and on the floor near the passenger's feet. Acceleration *RMS* values were measured using standardized specific calibrated equipment (VI 400 PRO Quest Technologies). The results for all measurements show that the vessel is comfortable when compared to international standards and described reports on comfort with the vibration levels from 0,06 m/s<sup>2</sup> to 0,14 m/s<sup>2</sup>.

**KEYWORDS:** whole body vibration, catamaran, ISO 2631, passenger comfort.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Eixos e orientações de medição para posição sentada. ....	4
Figura 3.1 – Catamarã analisado e suas dimensões. ....	8
Figura 3.2 - <i>Seat pad</i> e localização das medições para assento e apoio dos pés. ....	9
Figura 3.3 - Controlador do instrumento e interface gráfica do software QuestSuite Professional II. ....	9
Figura 4.1 - Valor de aceleração <i>RMS</i> para assento de passageiro (ISO 2631-1, 1997). .....	10
Figura 4.2 - Valor de aceleração <i>RMS</i> para apoio dos pés passageiro (ISO 2631-1, 1997). ....	11
Figura 4.3 – Valor de aceleração <i>RMS</i> para assento de passageiro (ISO 6954, 2000). .....	11
Figura 4.4 - Valor de aceleração <i>RMS</i> para apoio dos pés do passageiro (ISO 6954, 2000). ....	12
Figura 4.5 – Medições da aceleração <i>RMS</i> ponderada nas situações analisadas e critérios de conforto (1) Fothergrill (1972), (2) Jones e Saunders (1974), (3) Osborne e Clarke (1974), Fothergrill e Griffin (1977). ....	13
Figura 4.6 – Medições da aceleração <i>RMS</i> ponderada nas situações analisadas e critérios de conforto para normas estudadas. ....	14
Figura A-1 - Certificado de calibração do acelerômetro utilizado nas medições. ....	16
Figura A-2 - Guia para as zonas de alerta e perigo da vibração quanto à saúde. .... (Adptado da ISO 2631-1, 1997). ....	17
Figura A-3 - Gráficos de Valor de Pico (Lpk), Aceleração ponderada ( <i>RMS</i> ) e Valor de Dose de Vibração (VDV). ....	19

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Métodos de avaliação da vibração quanto ao conforto. ....	3
Tabela 2.2 - Valores limite especificados pela ISO 6954, 2000, para valores de pico medidos. ....	3
Tabela 2.3 - Valores limite especificados pela ISO 6954, 2000, para valores <i>RMS</i> medidos. ....	4
Tabela 2.4 - Curvas de ponderação em frequência e correspondentes fatores multiplicativos (ISO 2631-1, 1997). ....	6
Tabela 2.5 - Valores de aceleração para conforto (ISO 2631-1, 1997). ....	6
Tabela 3.1 – Resumo das medições. ....	9
Tabela 4.1- Média dos valores <i>RMS</i> , <i>VDV</i> e <i>Lpk</i> para três eixos (ISO 2631-1, 1997). ....	10
Tabela 4.2 - Média dos valores <i>RMS</i> , <i>VDV</i> e <i>Lpk</i> para três eixos (ISO 2631-1, 1997). ....	11
Tabela 4.3 - Média dos valores <i>RMS</i> , <i>VDV</i> e <i>Lpk</i> para três eixos (Assento de passageiro, ISO 6954, 2000). ....	12
Tabela 4.4 - Média dos valores <i>RMS</i> , <i>VDV</i> e <i>Lpk</i> para três eixos (Piso apoio dos pés do passageiro, ISO 6954, 2000). ....	12
Tabela 4.5 - Resultados dos valores de aceleração ponderada <i>RMS</i> para as medições experimentais (ISO 2631, 1997 e ISO 6954, 2000). ....	13
Tabela A-2 - Valores medidos e seus equivalentes em 8 horas. ....	18
Tabela A-3 - Valores de <i>RMS</i> para o período apresentado. ....	19

## ÍNDICE

	Pág.
RESUMO .....	ii
ABSTRACT.....	iii
LISTA DE FIGURAS.....	iv
LISTA DE TABELAS.....	v
ÍNDICE.....	vi
1 INTRODUÇÃO .....	1
1.1 Motivação.....	2
1.2 Objetivos específicos .....	2
2 REFERENCIAL TEÓRICO E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
2.1 Efeitos da vibração no corpo humano.....	2
2.2 Normatização existente.....	3
2.3 ISO 2631-1 <i>Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration.</i> .....	4
2.3.1 Método básico usando aceleração <i>RMS</i> ponderada .....	5
2.3.2 Método adicional de aceleração <i>RMS.</i> .....	5
2.3.3 Método do valor de dose de vibração.....	5
2.4 ISO 6954 – <i>Mechanical Vibration.</i> .....	6
2.5 DIRECTIVE 2002/44/EC .....	7
2.6 Germanischer Lloyd – <i>Rules for Classification and Construction</i> .....	7
2.7 DNV - <i>Rules for Classification of Ships – Comfort Class</i> .....	7
2.8 Outras Normas e estudos .....	8
3 METODOLOGIA .....	8
4 RESULTADO DAS MEDIÇÕES.....	9
4.1 Assento – Curvas $W_d$ nos eixos ‘x’ e ‘y’ e $W_k$ no eixo ‘z’ .....	9
4.2 Piso de apoios dos pés – Curva $W_k$ nos três eixos.....	10
4.3 Assento – Curva $W_m$ nos três eixos .....	11
4.4 Piso apoio dos pés – Curva $W_m$ nos três eixos.....	12
4.5 Comparação dos resultados com as normas e outros estudos .....	12
5 CONCLUSÕES .....	14
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	14
ANEXO I .....	16
APÊNDICE I .....	17
APÊNDICE II .....	19

## 1 INTRODUÇÃO

Ruído e vibração a bordo de navios tem sido uma grande preocupação para os armadores e estaleiros por muitos anos. O tamanho e potência crescentes dos navios fazem com que problemas de ruído e vibração sejam cada vez mais frequentes. Ao mesmo tempo, por um lado, os passageiros exigem padrões mais elevados de conforto e por outro, as condições de trabalho da tripulação são cada vez mais rigidamente regulamentadas. Isso levou à necessidade da elaboração de um conjunto de normas de ruído e vibração para os navios assim como a definição das formas e procedimentos de cálculo e medição dos níveis de ruído e vibração nas embarcações. Como exemplo, o *Bureau Veritas* desenvolveu a classe *Comfort* e tem continuamente refinado procedimentos junto com normas internacionais que lidam com o ruído e vibrações de forma que em certos pontos podem-se chegar a ser mais criteriosas. O conjunto de normas existentes atualmente visam estritamente à garantia de ambiente confortável a bordo para qualquer tipo de embarcação ou atividades desenvolvidas nos mesmos.

Avaliar o conforto em uma embarcação não é uma tarefa fácil visto que envolve, na maioria das vezes, avaliações de isolamento acústico em cabine, ruído de impacto, nível de vibração em cruzeiro, temperatura média ao longo do dia, etc. Alguns destes fatores podem se relacionar entre si, que podem, em alguns casos, potencializar o efeito de um fator sobre o outro (por exemplo, a temperatura no enjoo). Muito tem se discutido a respeito dos efeitos nocivos da vibração no corpo humano, inclusive com a geração de normativas e procedimentos no Brasil [NHO09, 2013, NR-15, 2015], entretanto, no quesito conforto quanto à vibração, poucas são as normas que tratam especificamente para o conforto humano [NBR8800, 2013].

O modo como a vibração afeta o conforto, a saúde, a percepção e o enjoo depende da frequência de vibração [ISO 2631-1, 1997; Griffin, 1990]. Há muitas frequências que causam variados efeitos no corpo devido ao fenômeno da ressonância. As vibrações podem ser medidas em relação ao sistema mão-braço, quando a mão e o braço são as regiões mais afetadas pela vibração, como ocorre com ferramentas pneumáticas; ou em relação ao corpo inteiro, quando o corpo como um todo sofre a influência das vibrações, como ocorre, por exemplo, em veículos automotores, embarcações e prédios.

Para avaliar especificamente o conforto quanto à vibração, há diversas normas existentes e a aplicação delas dependerá da classe de navio e país em que irá operar. No caso da vibração, grande parte das vezes as medições estão focadas em avaliar o conforto quanto ao enjoo assim como conforto quanto a vibrações em geral, nas condições de passageiros sentados, deitados (durante à noite) ou mesmo em pé. Muito pouco das normas foca a avaliação de vibrações localizadas nos braços ou mãos como fontes de desconforto, mas sim nas vibrações especificamente que ocorrem na cabeça como local potencial deste desconforto.

No caso de vibrações, o formato do casco, velocidade de cruzeiro, flutuabilidade do navio, tipo de propulsão, maior comprimento do navio assim como tipos de águas em que irão operar (baías, mar aberto, rios, lagos, etc.), todos estes fatores influenciam as vibrações originadas e eventualmente sentidas pelos seus ocupantes.

O conforto, portanto, é um fator subjetivo de avaliação da boa qualidade de equipamentos ou meios de transporte. No caso de uma embarcação, por exemplo, pode ser considerada confortável para uma pessoa e não ser confortável para outra, na mesma viagem, porque cada pessoa sente as vibrações e o ruído de forma diferente. Um modo de medir o conforto em uma embarcação é fazer uma pesquisa entre os passageiros e tripulantes, definindo valores para confortável, muito ou pouco confortável, ou desconfortável, o que gera um resultado muito subjetivo, mas que reflete a opinião dos usuários. Outra maneira é fazer medições quantitativas de vibração e ruído e comparar os resultados com normas, porém os resultados carecem da subjetividade de cada pessoa, relacionando apenas um ou dois fatores (ruído e

vibração, por exemplo) e não há uma junção entre os fatores que influenciam no conforto [Biot et.al, 2007].

Medições em navios de carga com tripulantes a bordo foram feitas por Quintas, 2009, em praças de máquinas e camarotes. Percebeu-se que valores de aceleração vertical da ordem de  $30 \text{ mm/s}^2$  dependendo da localização do cômodo analisado foram frequentes, estando sempre associados a valores de nível de pressão sonora também elevados e acima dos definidos nas normativas ISO e DNV.

Especificamente no caso do catamarã operado pela CATSUL, 2015, trata-se de um barco de operação em velocidade relativamente rápida (para transporte de passageiros e não de carga) que é construído em dois cascos. Isto permite uma estabilidade a vibração lateral muito maior que aquelas embarcações de casco único.

## 1.1 Motivação

Devido ao aumento da quantidade de veículos e do conseqüente aumento do trânsito na cidade, fica mais evidenciada a necessidade do aumento, desenvolvimento e melhoria do transporte coletivo na região. Com o desenvolvimento e o surgimento de novas opções de meios de transporte, é necessário verificar a qualidade dos serviços prestados, portanto é importante saber a condição de conforto dos passageiros ao utilizar os meios de transporte disponíveis garantindo desta forma que a preferência por este tipo de transporte não seja perdida e que não haja perda de atratividade no transporte.

## 1.2 Objetivos específicos

O trabalho pretende medir quantitativamente o conforto, com relação à vibração em embarcações do modal aquaviário no transporte coletivo de passageiros em Porto Alegre que opera com embarcações catamarã. Especificamente se avaliará os modelos Cat V e II, operado pela empresa CATSUL, 2015, do grupo Outro e Prata. Ao final pretende-se traçar comparativos com indicações normativas internacionais assim como recomendações de normas existentes. O estudo será baseado no único trajeto atualmente existente do modal que é de ida e volta de Porto Alegre até a cidade de Guaíba, seguindo o caminho aquaviário pelo Rio Guaíba.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Efeitos da vibração no corpo humano

As vibrações transmitidas ao corpo humano são classificadas em vibração de corpo inteiro e vibração de extremidades [Griffin, 1990]. O primeiro tipo é quando a vibração é transmitida ao corpo como um todo, são de baixa frequência e amplitude, com frequências que variam de 1 a 80 Hz. O segundo tipo é relacionado à vibração que atinge certa parte do corpo, como a mão, o braço. Neste tipo, as frequências variam entre 6,3 e 1250 Hz, e existe normatização, como a ISO 5349, 2001, que define os parâmetros para as medições e limites de exposição com respeito à saúde (uma breve análise sobre a saúde referente a VCI (NR-15, 2015) está descrita no Apêndice I).

As vibrações de corpo inteiro, dependendo se sua intensidade, podem gerar danos físicos permanentes, danos na região espinhal, danos aos sistemas circulatório, urológico e nervoso. Os sintomas desse tipo de vibração são comuns em meios de transportes e são eles: náuseas, enjoo, palidez, suor, calor, salivação, dor de cabeça, dor nas costas, tontura apenas para citar alguns.

As vibrações de extremidades podem gerar danos vasculares, neurológicos, ósteo-articulares e musculares. A doença mais comum é a Doença de Raynaud, que provoca formigamento, queimadura, cianose e gangrena e está associada a atividades laborais onde os níveis de vibração são bastante intensos [Griffin, 1990].

Referente à percepção e conforto ainda são controversos os limites que definem precisamente regiões, sendo ainda campo para intenso debate. Mas o que de fato é conclusivo é que a vibração pode afetar a concentração, gerar enjoo, predispor pessoas a acidentes, gerar insônia, irritabilidade, falta de atenção entre outros sintomas.

## 2.2 Normatização existente

Existem diversos métodos para a análise da magnitude da vibração. Em todos os métodos, utiliza-se a vibração filtrada por curvas de ponderação com vistas a refletir as diferentes sensibilidades que o ser humano possui às vibrações dependendo da sua direção e conteúdo de frequência. O parâmetro primário para avaliação é o valor *RMS* (*Root Mean Square*), mas para vibrações transientes este fator pode subestimar a intensidade, sendo recomendável o uso do VDV (valor de dose de vibração, que é a raiz quarta média multiplicada pela raiz quarta do tempo de medição). Para a avaliação da vibração em eventos isolados, o valor máximo de pico ( $L_{pk}$ ) pode também ser utilizado como parâmetro definidor do conforto. A Tabela 2.1 apresenta algumas normas e parâmetros utilizados para as suas aplicações.

Tabela 2.1 - Métodos de avaliação da vibração quanto ao conforto.

Método	Exemplo	Norma
Método baseado em picos	Valor repetitivo máximo Aceleração de pico	ISO 6954 (2000) DNV, BV, ABS, RINA
Métodos baseados na segunda potência	- <i>RMS</i> ( <i>root-mean-square</i> ) -Média <i>RMS</i> -MTVV ( <i>maximum transient vibration value</i> )	ISO 2631-1, BS 6841, ISO 6954
Métodos baseados na quarta potência	-RMQ( <i>root-mean-quad</i> ), -VDV( <i>vibration dose value</i> )	ISO 2631-1 e 2631-2, BS 6841

Especificamente a ISO 6954, 2000, fornece valores admissíveis expressos pelos valores máximos de picos como mostrados na Tabela 2.2 e Tabela 2.3, onde os limites são especificados para serem aplicados apenas na região de acomodação da tripulação.

Tabela 2.2 - Valores limite especificados pela ISO 6954, 2000, para valores de pico medidos.

Curvas	Limites de Frequência	
	1 a 5 Hz	5 a 80 Hz
Valores acima dos quais comentários adversos <b>são</b> prováveis acerca da vibração sentida	Aceleração de 285 mm/s <sup>2</sup>	Velocidade de 9 mm/s
Valores abaixo dos quais comentários adversos <b>não são</b> prováveis acerca da vibração sentida	Aceleração de 126 mm/s <sup>2</sup>	Velocidade de 4 mm/s

Ultimamente, as chamadas classes “de conforto” (que é uma notação e classificação voluntárias das empresas que fabricam os seus navios quanto ao conforto que oferecem), têm especificado valores limites de vibração com requerimentos de conforto bem mais restritivos dependentes da área da embarcação onde estas vibrações ocorrem.

As definições sobre as curvas de ponderação a serem utilizadas nas medições especificadas nas ISO 6954, 2000, para o conforto são as mesmas especificadas na ISO 2631-2, 1997, no caso de prédios, ou seja, o uso das curvas de ponderação  $W_m$  independente da direção de medição da vibração que leva em conta faixas de frequências que vão de 1 a 80Hz. A seguir são feitas algumas considerações sobre as normas aqui avaliadas.

Tabela 2.3 - Valores limite especificados pela ISO 6954, 2000, para valores *RMS* medidos.

Curva	Classificação da área					
	A cabines de passageiros		B acomodação da tripulação		C áreas de trabalho	
	mm/s <sup>2</sup>	mm/s	mm/s <sup>2</sup>	mm/s	mm/s <sup>2</sup>	mm/s
Valores acima dos quais comentários adversos <b>são</b> prováveis acerca da vibração sentida	143	4	214	6	286	8
Valores abaixo dos quais comentários adversos <b>não são</b> prováveis acerca da vibração sentida	71.5	2	107	3	143	4

### 2.3 ISO 2631-1 *Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration.*

Tem o objetivo de definir métodos para quantificar a vibração de corpo inteiro, relacionando com a saúde e o conforto, a percepção e a incidência de enjoo e de padronizar e simplificar o relatório, a comparação e a avaliação das condições de vibração. Falando sobre a vibração no corpo inteiro, ela define as frequências que devem ser consideradas nas medições: (a) 0,5 a 80 Hz para saúde, conforto e percepção. (b) 0,1 a 0,5 Hz para enjoo. O aparelho de medições deve estar alinhado com o sistema de coordenadas mostrado na Figura 2.1.

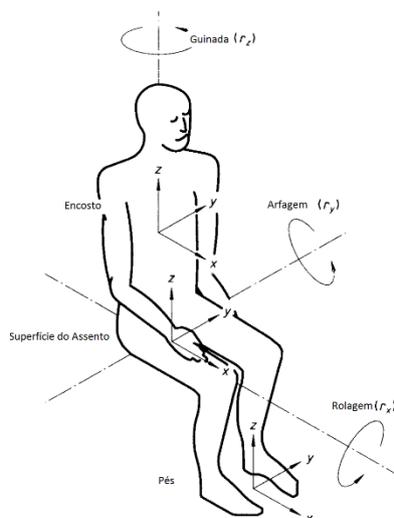


Figura 2.1 - Eixos e orientações de medição para posição sentada.  
(Fonte: Adaptado de ISO-2631-1, 1997).

Há também indicação das posições em pé e deitado. Mas como está sendo avaliado apenas o conforto de passageiros no catamarã da CatSul, e eles só podem viajar sentados, é suficiente apenas medições nesta posição. A magnitude de vibração é medida em aceleração *RMS* ( $m/s^2$ ). Caso as frequências e as magnitudes de vibrações sejam muito baixas, a medição pode ser feita em velocidades de vibração ( $m/s$ ) e depois transformada em aceleração. Os aparelhos de medição devem ser colocados na interface entre o corpo humano e a fonte de vibração. Para pessoas sentadas, há três principais áreas de contato a serem medidas: o suporte do assento, o encosto do assento e o piso de apoio dos pés. Se a superfície de contato for não

rígida ou com material resiliente, o sensor deve ser colocado entre a pessoa e a superfície de contato. Essa mesma norma descreve alguns métodos de avaliação.

### 2.3.1 Método básico usando aceleração *RMS* ponderada

A aceleração *RMS* é dada em  $m/s^2$  para vibrações translacionais e em  $rad/s^2$  para vibrações rotacionais. A Eq. (2.1) fornece a equação para cálculo:

$$a_w = \left[ \frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.1)$$

onde  $a_w$  é a aceleração *RMS* como uma função do tempo e  $T$  é a duração da medição, em segundos.

### 2.3.2 Método adicional de aceleração *RMS*.

Utiliza a Eq. (2.1), alterando os limites do integral para  $\int_{t_0-\tau}^{t_0} dt$ . A magnitude de vibração é definida como o máximo valor de vibração transiente (MTVV), dado pela Eq. (2.2):

$$MTVV = \max[a_w(t_0)] \quad (2.2)$$

O MTVV é o máximo valor de vibração medido durante o período de tempo.

### 2.3.3 Método do valor de dose de vibração.

Esse método é mais sensível a picos do que o método básico, por usar um expoente na quarta. A equação que rege esse método é a Eq. (2.3), cuja unidade de medida é  $m/s^{1,75}$  ou  $rad/s^{1,75}$ :

$$VDV = \left\{ \int_0^T [a_w(t)]^4 dt \right\}^{\frac{1}{4}} \quad (2.3)$$

O uso dos métodos adicionais é importante para vibrações medidas e que excedam os valores das seguintes relações:  $\frac{VDV}{a_w T^{1/4}} = 1,75$  ou  $\frac{MTVV}{a_w} = 1,5$ .

Para cada tipo de frequência e sentido da vibração, deve-se usar uma curva de ponderação diferente, essas curvas dão maior importância para as frequências que mais afetam o corpo humano, dependendo da direção do movimento, relacionando com as frequências de ressonância do corpo humano. Elas dão um peso  $w_n$  para cada banda de frequência, ponderando maiores valores para frequências mais importantes e menores valores para frequências menos importantes. A conversão da aceleração *RMS* em banda de um terço de oitava para a aceleração ponderada correspondente, utilizada nas equações (2.1), (2.2) e (2.3), é dada pela Eq. (2.4):

$$a_w = \left[ \sum_n (w_n a_n)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.4)$$

Como a aceleração é medida em cada eixo, tem-se valores individuais por eixo. Para a avaliação quanto à saúde e também conforto, havendo valores de mesma ordem de magnitude em cada eixo, a soma vetorial nas três direções é recomendada, caso contrário o valor individual máximo deve ser adotado como indicado pela Eq. (2.5):

$$a_t = (k_x^2 a_{wx}^2 + k_y^2 a_{wy}^2 + k_z^2 a_{wz}^2)^{\frac{1}{2}} \quad (2.5)$$

onde os  $k_i$  ( $i=x, y$  e  $z$ ) são os fatores multiplicativos para cada eixo.

A norma descreve o modo de medição para saúde, conforto, percepção e enjoo. Neste estudo se fará necessário apenas descrever o modo de medição de conforto. A vibração que afeta o conforto é a que se situa entre 0,5 e 80 Hz. Para conforto de pessoas sentadas, medindo no assento, a vibração pode ser avaliada em 6 eixos (3 translacionais e 3 rotacionais) e para pessoas em pé, ou sentadas com medição no encosto ou nos pés, a vibração pode ser medida em 3 eixos (3 translacionais). As vibrações translacionais são mais importantes e indicadas no caso de passageiros em sistemas de transporte sobre trilhos. Os pesos e as curvas de ponderação para cada situação são listados na Tabela 2.4. Os limites para conforto estão listados na Tabela 2.5.

Tabela 2.4 - Curvas de ponderação em frequência e correspondentes fatores multiplicativos (ISO 2631-1, 1997).

Ponderações em Frequências	Análise quanto ao conforto	k	Análise quanto ao Enjoo	k
$W_k$	Eixo z, superfície do assento	1,0	-	-
	Eixo z, em pé	1,0		
	Deitado na vertical (exceto cabeça)	1,0		
	Eixo x, y, superfície apoio pé (sentado)	0,25		
	Eixo z superfície apoio pé (sentado)	0,40		
$W_d$	Eixo x, superfície do assento	1,0	-	-
	Eixo y, superfície do assento	1,0		
	Eixo x,y em pé	1,0		
	Deitado na horizontal	1,0		
	Eixos y encosto do assento	0,5		
	Eixos z encosto do assento	0,4		
$W_f$	-	-	Vertical	1,0
$W_c$	Eixo x, encosto do assento	0,8	-	-
$W_e$	$r_x$ , superfície do assento	0,63 m/rad	-	-
	$r_y$ , superfície do assento	0,40 m/rad		
	$r_z$ superfície do assento	0,20 m/rad		
$W_j$	Deitado na vertical (cabeça)	1,0	-	-

(Fonte: Adaptado de ISO 2631-1, 1997)

Tabela 2.5 - Valores de aceleração para conforto (ISO 2631-1, 1997).

0,01 a 0,02 m/s <sup>2</sup>	Perceptível
Menor que 0,315 m/s <sup>2</sup>	Não desconfortável
0,315 m/s <sup>2</sup> a 0,63 m/s <sup>2</sup>	Pouco desconfortável
0,5 m/s <sup>2</sup> a 1 m/s <sup>2</sup>	Consideravelmente desconfortável
0,8 m/s <sup>2</sup> a 1,6 m/s <sup>2</sup>	Desconfortável
1,2 m/s <sup>2</sup> a 2,5 m/s <sup>2</sup>	Muito desconfortável
Maior que 2 m/s <sup>2</sup>	Extremamente desconfortável

(Fonte: Adaptado de ISO 2631-1, 1997)

#### 2.4 ISO 6954 – Mechanical Vibration.

Especificamente, esta norma (*Guideline for the measurement, reporting and evaluation of vibration with regard to habitability on passenger and merchant ships*) não cobre a vibração que pode resultar em enjoo. Ela especifica que o medidor deve estar localizado no piso de apoio dos pés nos locais ocupados por pessoas, com uma quantidade suficiente para conseguir caracterizar a vibração na embarcação. A orientação do medidor deve corresponder com os três eixos do navio: longitudinal, vertical e transversal.

Deve-se seguir alguns procedimentos para a medição: (i) A medição deve ser feita em 3 direções e em no mínimo 2 locais para cada piso. (ii) A curva de

ponderação deve ser aplicada para todas as medições, em cada direção. (iii) A faixa de frequência deve ser entre 1 e 80 Hz. (iv) A duração da medição deve ser de no mínimo 1 min. (v) O resultado de cada medição deve ser a média da frequência ponderada *RMS* definida em aceleração na ISO 2631-1, 1997.

O valor de pico deve ser então usado na avaliação de habitabilidade a qual é feita usando a Tabela 2.2. A classificação é feita em diversas áreas: A: cabines de passageiros, B: acomodação da tripulação, C: áreas de serviço. Os valores são *RMS* e são obtidos utilizando a curva de ponderação dada na ISO 2631-2, que é a  $W_m$ . Por fim, a norma detalha o que um relatório de medição de conforto de passageiros em navios deve conter.

## 2.5 DIRECTIVE 2002/44/EC

A diretiva Europeia (*Directive 2002/44/EC of the European parliament and of the council of 25 June 2002 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents*) estabelece requisitos mínimos de vibração para trabalhadores a fim de protegê-los dos riscos a sua saúde e segurança. Os valores de limite e de aviso são os seguintes: (a) limite diário de exposição para um período de 8 horas: 1,15 m/s<sup>2</sup> ou VDV de 21,0 m/s<sup>1,75</sup>. (b) Valor de alerta de exposição diária para um período de 8 horas: 0,5 m/s<sup>2</sup> ou VDV de 9,1 m/s<sup>1,75</sup>

O nível de vibração é baseado no cálculo de exposição diária A(8), calculado como o maior valor (*RMS*) ou o maior valor de dose de vibração (VDV) da aceleração ponderada, determinada em 3 eixos ortogonais, como especificado na ISO 2631-1, 1997. No caso de navios, as frequências consideradas serão acima de 1 Hz. Especificamente a diretiva não indica limites de conforto, mas tem sido usado em alguns casos o limite de alerta de exposição como um bom indicativo para comparações de conforto.

## 2.6 Germanischer Lloyd – Rules for Classification and Construction

Nesta norma (*Ship Technology – Seagoing Ships – Harmony Class – Rules on Rating Noise and Vibration for Comfort, Cruise Ships (v ≤ 25 kn)*) a vibração é tratada nas frequências que vão entre 1 e 80 Hz sem considerar as frequências causadoras de enjoo (0,1 a 1 Hz). Os limites dessa norma são aplicados a embarcações que tenham velocidade máxima de 25 nós (46,3 km/h) e que tenham o comprimento entre perpendiculares maior que 120 m (os catamarãs da CatSul não se enquadrariam aqui).

A norma criou 5 categorias de conforto: E – excelente, 1 – muito alto, 2 – alto, 3 – moderado, 4 – aceitável. Os valores são verificados com relação aos passageiros e à tripulação. Os limites com relação à vibração são dados em velocidade de vibração, mm/s, e são listados para diferentes áreas da embarcação. As condições de medição são as dadas pela ISO 6954 (2000) (estado do mar 3, profundidade da água pelo menos 5 vezes a altura do casco inundado, etc).

## 2.7 DNV - Rules for Classification of Ships – Comfort Class

A norma estabelece requisitos para ruído, vibração e climatização interna do navio. A avaliação da vibração se dá entre as frequências de 5 a 100 Hz. Os valores de vibração são também medidos em termos de velocidade de vibração (mm/s), ou por seu valor de pico, conforme Tabelas que especificam valores de limite para cada uma das classes de conforto: 1, 2 e 3.

## 2.8 Outras Normas e estudos

Existe a ISO 20283-2 - *Mechanical Vibration - Measurement of vibration on ships - Part. 2: Measurement of Structural Vibration*, que se refere à medição da vibração em estruturas de navios, excitada pelo motor. A mesma norma faz menção à ISO 6954, 2000, com referência a vibrações do ponto de vista da habitabilidade.

Na série de normas ISO 2631, especificamente a parte 2 - *Mechanical Vibration and Shock - Evaluation of human exposure to whole body vibration: Vibration in Buildings (1 Hz to 80 Hz)*, cita a norma 2631-1, 1997 quanto a procedimentos e limites de desconforto. Recomenda utilizar a curva  $W_m$  como a curva de ponderação em todas as direções de medição juntamente com fatores multiplicativos de 1,0.

Existe também a norma BS 6841, 1987 *apud* Griffin, 1990, que classifica os níveis de vibração em extremamente desconfortável, muito desconfortável, desconfortável, levemente desconfortável, um pouco desconfortável e não desconfortável para valores de vibração entre 0,25 a 3,15  $m/s^2$ . Estas classificações se sobrepõem de forma que não há divisão fixa entre elas.

Griffin, em seu livro *Handbook of Human Vibration (1990)*, listou quatro trabalhos anteriores à norma ISO 2631-1 e 6954, que estabeleceram, através de estudos em laboratório e pesquisas em campo, limites de vibração com relação ao conforto. Os quatro trabalhos foram coordenados, respectivamente, por Fothergrill (1972), Jones e Saunders (1974), Osborne e Clarke (1974) e Fothergrill e Griffin (1977). Griffin, 1990, também cita exemplos de medições feitas em diversos meios de transporte, inclusive de embarcações como *hovercraft*, aerobarcos e navios. Aqui neste trabalho serão também incluídas comparações com estes autores.

## 3 METODOLOGIA

A medição foi feita nos catamarãs da Catsul. Os barcos possuem sistema de navegação por GPS e que podem alcançar a velocidade de 24 nós (45 Km/h), permitindo a travessia, entre Porto Alegre e Guaíba em torno de 20 minutos. A Figura 3.1 indica uma foto de uma das embarcações e a disposição dos bancos de passageiros internos. Os pontos em vermelho foram os locais das medições, escolhidos de forma a captar as vibrações na mesma região da embarcação, no centro e na parte de frente, disponíveis durante o trajeto e operação normal.

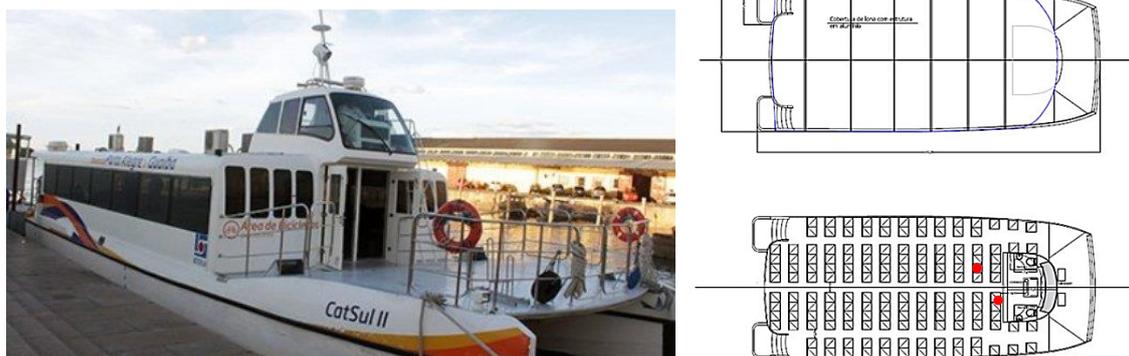


Figura 3.1 – Catamarã analisado e suas dimensões.

As medições foram feitas em duas posições diferentes de contato do barco com o corpo humano (superfície do assento e superfície em contato com os pés) e com base em duas normas ISO 2631-1 e 6954. Foram adquiridos dados de Picos de aceleração (Lpk), aceleração *RMS* e Valor de Dose de Vibração (VDV). Na Tabela 3.1 indicam-se os trajetos e posições onde se fizeram as medições no catamarã.

Tabela 3.1 – Resumo das medições.

Trajeto	Posição do sensor	Posição no barco	Curva de Ponderação		
			X	Y	Z
POA-Guaíba	Assento	3º fileira de banco	$W_d$	$W_d$	$W_k$
POA-Guaíba	Pés	4º fileira de banco	$W_k$	$W_k$	$W_k$
Guaíba-POA	Assento	4º fileira de banco	$W_m$	$W_m$	$W_m$
Guaíba-POA	Pés	3º fileira de banco	$W_m$	$W_m$	$W_m$

A Figura 3.2 mostra o medidor posicionado e com os eixos orientados conforme a ISO 2631-1, 1997.



Figura 3.2 - *Seat pad* e localização das medições para assento e apoio dos pés.

O instrumento de medição utilizado foi um acelerômetro da marca *Quest Technologies* (empresa do grupo 3M). Ele conta com um dosímetro (*logger*) (Figura 3.3), que capta os dados obtidos no acelerômetro, os grava e os analisa, podendo ser configurados diversos fatores, como as curvas de ponderação e os coeficientes 'k' para cada eixo. O dosímetro é conectado com o acelerômetro (*Seat pad* da Figura 3.2), que tem uma sensibilidade calibrada para cada eixo. A empresa também fornece um software para configuração do dosímetro e posterior análise dos dados medidos, o *QuestSuite Professional II*. O certificado de calibração do instrumento está no ANEXO I.

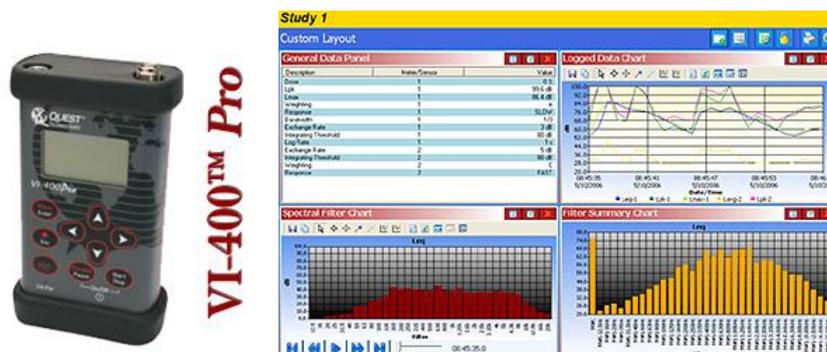


Figura 3.3 - Controlador do instrumento e interface gráfica do software *QuestSuite Professional II*.

## 4 RESULTADO DAS MEDIÇÕES

### 4.1 Assento – Curvas $W_d$ nos eixos 'x' e 'y' e $W_k$ no eixo 'z'

Conforme a ISO 2631-1, as medições no assento devem ser feitas com a curva de ponderação  $W_d$  nos eixos 'x' e 'y' e  $W_k$  no eixo 'z'. Os fatores multiplicativos são  $k = 1,0$ . Os resultados obtidos formam o gráfico da Figura 4.1, que mostra apenas os valores em *RMS*. A medição iniciou-se com a embarcação atracada e recebendo a entrada de passageiros e finalizou no outro cais, em Guaíba, com a embarcação atracada e desembarcando passageiros.

É possível notar que, após cerca de 1 minuto, há uma diminuição na vibração vertical, (de 0,15 m/s<sup>2</sup> para 0,08 m/s<sup>2</sup>) isso se deve ao fato de a embarcação estar parada no cais e, a partir de 1 minuto, ela ter acelerado para manobrar para desatracar do cais. Percebeu-se que devido ao fato da embarcação acelerar, os níveis de vibração tornavam-se menores indicando alguma ressonância da embarcação com frequências baixas do motor. Aos 13 minutos, aproximadamente, ocorre um aumento grande de vibração (0,25 m/s<sup>2</sup>), pelo fato de a embarcação passar por ondas mais altas enquanto o barco mantinha a velocidade de cruzeiro. A vibração se manteve numa média durante boa parte do trajeto (0,1 m/s<sup>2</sup>). Quando a embarcação desacelerou para atracar no cais, a vibração diminuiu e quando ele atracou e ficou parada, a vibração aumentou novamente para próximo de 0,3 m/s<sup>2</sup>. A vibração lateral 'y' e longitudinal 'x' permaneceram baixas, sendo que a lateral 'y' acompanhou os aumentos vistos na aceleração vertical 'z'.

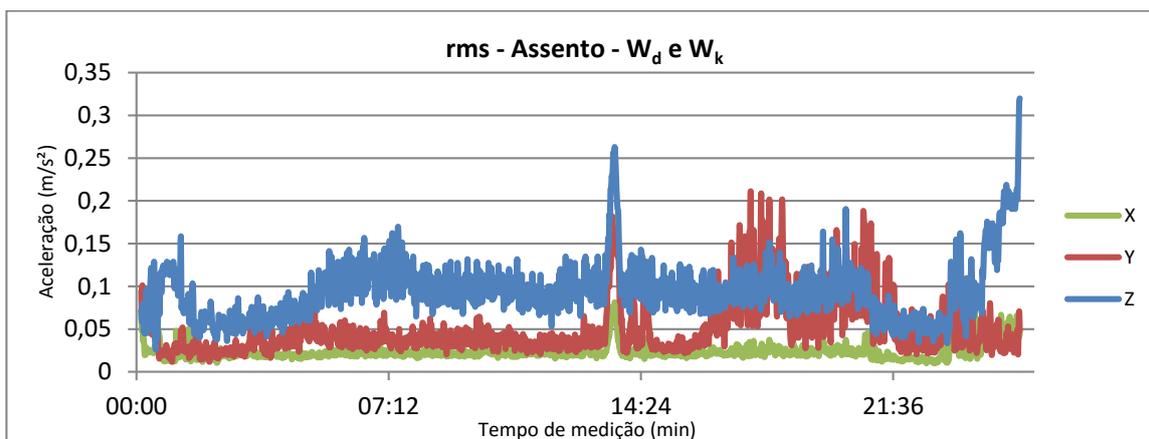


Figura 4.1 - Valor de aceleração *RMS* para assento de passageiro (ISO 2631-1, 1997).

Interessante notar um aumento na vibração em lateral (eixo y) entre 15 e 21 minutos. Isso se deve ao fato de a embarcação estar fazendo curvas para ajustar o trajeto até o cais de desembarque, originando essa aceleração lateral na embarcação. A análise sobre o risco à saúde referente a VCI (NR-15, 2015) está descrita no Apêndice I.

Pode-se obter o valor *RMS*, *VDV* e *Lpk* para todo o trajeto, os valores são os seguintes, indicados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1- Média dos valores *RMS*, *VDV* e *Lpk* para três eixos (ISO 2631-1, 1997).

	Eixo X	Eixo Y	Eixo Z	Equivalente
<i>RMS</i> (m/s <sup>2</sup> )	0,0396	0,0717	0,1016	0,1305
<i>VDV</i> (m/s <sup>1,75</sup> )	0,8646	1,1368	0,8936	1,3012
<i>Lpk</i> (m/s <sup>2</sup> )	0,9016	1,1482	0,6095	-

#### 4.2 Piso de apoios dos pés – Curva *W<sub>k</sub>* nos três eixos

Para a medição nos pés de uma pessoa sentada, a ISO 2631-1 indica que deve-se usar a curva *W<sub>k</sub>* nos três eixos, com o fator  $k = 0,25$  nos eixos 'x' e 'y' e  $k = 0,40$  no eixo 'z'. Na Figura 4.2 está o gráfico de *RMS* de todo o período da medição.

A grande vibração observada no início e no fim da medição é devida à embarcação estar saindo do cais e atracando fazendo manobras com motor em baixa rotação, 0,4 m/s<sup>2</sup> (uma análise mais detalhada do trecho inicial está descrita no Apêndice II). No início, houve bastante vibração, notada na hora da medição, após, no decorrer do trajeto, a vibração diminuiu (0,1 m/s<sup>2</sup>) até o momento da desaceleração para atracar. Notadamente percebe-se os instantes em que a embarcação está

atracando e fazendo manobras (cais do Porto, Guaíba). Nesta medição a embarcação não atracou no cais do Barra Shopping. Na Tabela 4.2, encontram-se resumidas as medições.

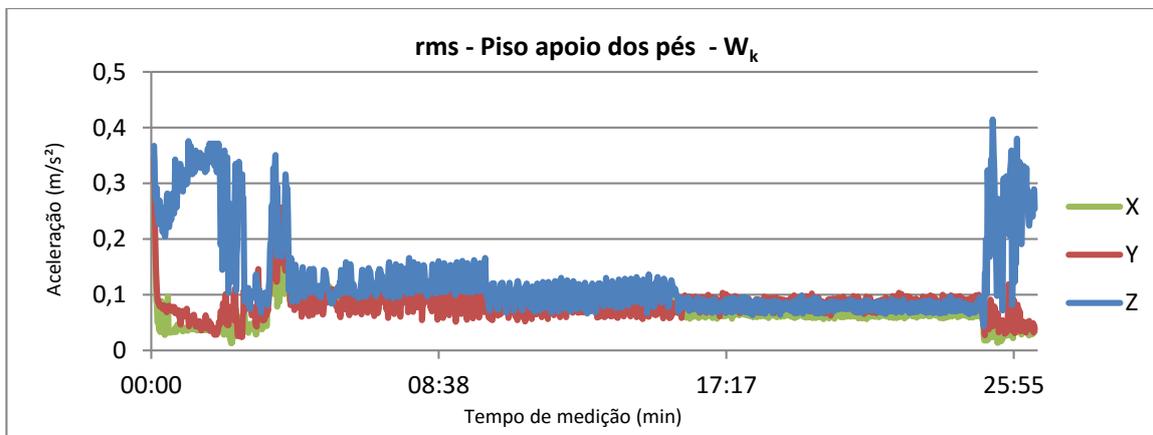


Figura 4.2 - Valor de aceleração *RMS* para apoio dos pés passageiro (ISO 2631-1, 1997).

Tabela 4.2 - Média dos valores *RMS*, *VDV* e *Lpk* para três eixos (ISO 2631-1, 1997).

	Eixo X	Eixo Y	Eixo Z	Equivalente
<i>RMS</i> (m/s <sup>2</sup> )	0,0836	0,0841	0,1307	0,0601
<i>VDV</i> (m/s <sup>1,75</sup> )	0,8605	1,4984	1,4849	1,7980
<i>Lpk</i> (m/s <sup>2</sup> )	1,1614	2,3442	1,5448	-

#### 4.3 Assento – Curva $W_m$ nos três eixos

A ISO 6954 indica que as medições devem ser feitas utilizando a curva  $W_m$  nos três eixos, com  $k = 1,0$ . Na Figura 4.3 está o gráfico de aceleração *RMS* da medição.

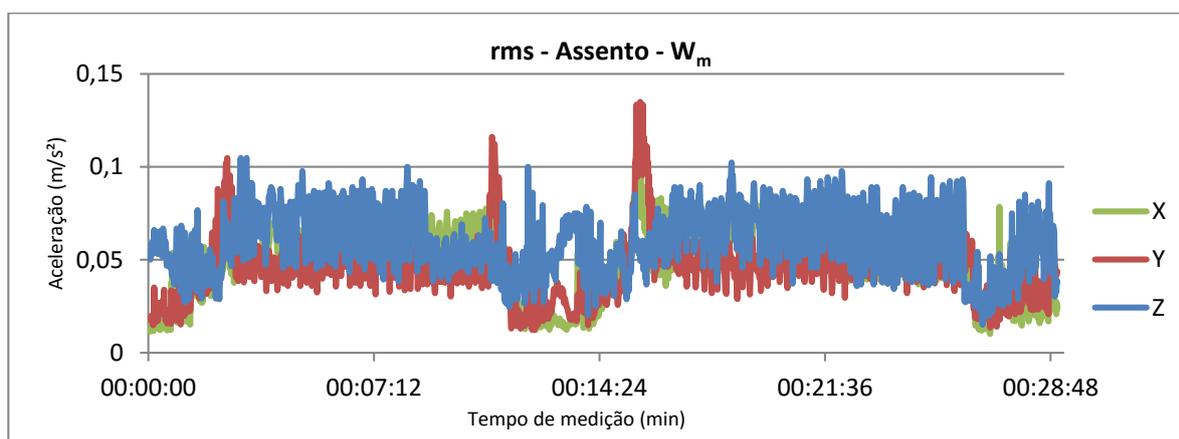


Figura 4.3 – Valor de aceleração *RMS* para assento de passageiro (ISO 6954, 2000).

A vibração nos períodos de parada e início de viagem nessa medição ficaram abaixo da vibração medida nos períodos de movimento. No meio da medição, dos 11 aos 15 minutos, a embarcação parou no Píer Barra Shopping Sul. Nota-se dois picos de aceleração em 'y' nessa região, isso é sugestivo que seja devido à curva que o barco faz para atracar e desatracar no píer. Os valores nos três eixos ficaram em torno de 0,07 m/s<sup>2</sup>. A Tabela 4.3 indica os valores *RMS*, *VDV* e pico das acelerações medidas nos três eixos.

Tabela 4.3 - Média dos valores *RMS*, *VDV* e *Lpk* para três eixos (Assento de passageiro, ISO 6954, 2000).

	Eixo X	Eixo Y	Eixo Z	Equivalente
<i>RMS</i> (m/s <sup>2</sup> )	0,0498	0,0465	0,0598	0,0907
<i>VDV</i> (m/s <sup>1,75</sup> )	0,4577	0,4503	0,5209	0,6311
<i>Lpk</i> (m/s <sup>2</sup> )	0,2399	0,3311	0,3055	-

#### 4.4 Piso apoio dos pés – Curva $W_m$ nos três eixos

A ISO 6954 não diferencia a medição em assento ou piso de apoio dos pés, apenas indica que deve ser feita a medição com a curva  $W_m$ , com  $k = 1,0$ . Na Figura 4.4 está o gráfico de *RMS* da medição.

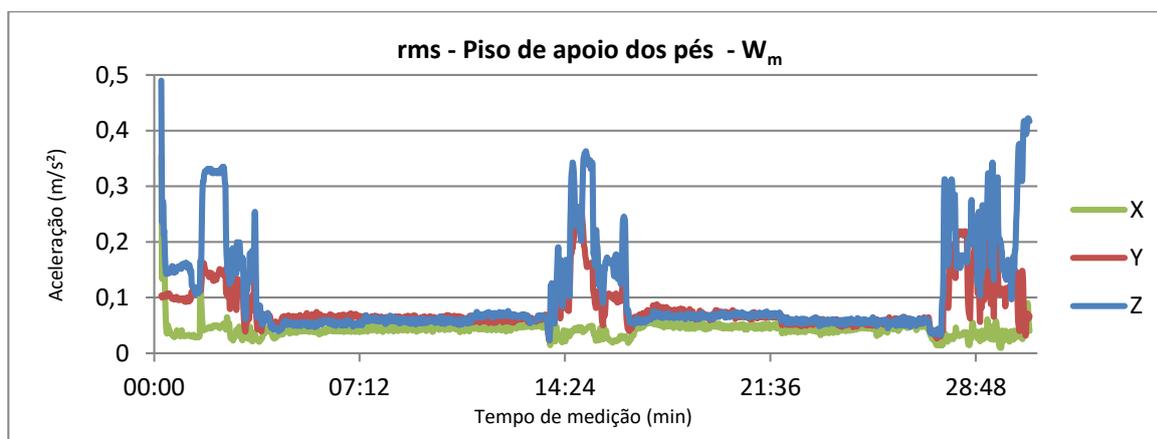


Figura 4.4 - Valor de aceleração *RMS* para apoio dos pés do passageiro (ISO 6954, 2000).

Ao contrário da embarcação em que foi feita a medição no assento (com a curva  $W_m$ ), a medição feita no piso de apoio dos pés apresentou alta vibração vertical nos períodos de baixa aceleração e parada (início, 14 minutos e fim em torno de 0,35 m/s<sup>2</sup> para o eixo 'z') e pouca vibração nos períodos de movimento de alta velocidade. Notadamente, percebem-se os instantes em que a embarcação está atracando e fazendo manobras (cais do Porto, Barra Shopping, Guaíba). Na Tabela 4.4 indicam-se os valores *RMS*, *VDV* e pico das acelerações medidas neste caso.

Tabela 4.4 - Média dos valores *RMS*, *VDV* e *Lpk* para três eixos (Piso apoio dos pés do passageiro, ISO 6954, 2000).

	Eixo X	Eixo Y	Eixo Z	Equivalente
<i>RMS</i> (m/s <sup>2</sup> )	0,0438	0,0809	0,1057	0,1401
<i>VDV</i> (m/s <sup>1,75</sup> )	0,5801	0,7055	1,1943	1,2441
<i>Lpk</i> (m/s <sup>2</sup> )	0,9772	0,3890	1,6406	--

#### 4.5 Comparação dos resultados com as normas e outros estudos

Os resultados de *RMS* obtidos nas quatro medições estão listados na Tabela 4.5, junto com as normas ISO 2631-1 e 6954, para comparação dos valores medidos com os tabelados das normas e verificação do conforto na embarcação.

O valor de 0,315 m/s<sup>2</sup> tabelado para a ISO 2631-1, 1997, indica, segundo a própria norma, que abaixo dele, a embarcação é não desconfortável. O valor de 0,0715 m/s<sup>2</sup> para a ISO 6954, 2000, indica que valores abaixo desse podem gerar

comentários desfavoráveis sobre o conforto. Nota-se que as medições feitas geraram valores que definem a embarcação como não desconfortável e que não é provável que haja comentários desfavoráveis sobre o conforto da mesma.

Tabela 4.5 - Resultados dos valores de aceleração ponderada *RMS* para as medições experimentais (ISO 2631, 1197 e ISO 6954, 2000).

Medições e Critérios	Aceleração ponderada <i>RMS</i> (m/s <sup>2</sup> )
Medição 1 (ISO 2631, 1997)	0,1120
Medição 2 (ISO 2631, 1997)	0,0601
Medição 3 (ISO 6954, 2000)	0,0907
Medição 4 (ISO 6954, 2000)	0,1401
Critério superior ISO 2631, 1997	0,3150
Critério superior ISO 6954, 2000	0,1430

onde: Medição 1: assento - curvas *Wd* nos eixos 'x' e 'y' e *Wk* no eixo 'z'. Medição 2: piso de apoios dos pés - curva *Wk* nos três eixos. Medição 3: assento - curva *Wm* nos três eixos. Medição 4: piso apoio dos pés - curva *Wm* nos três eixos

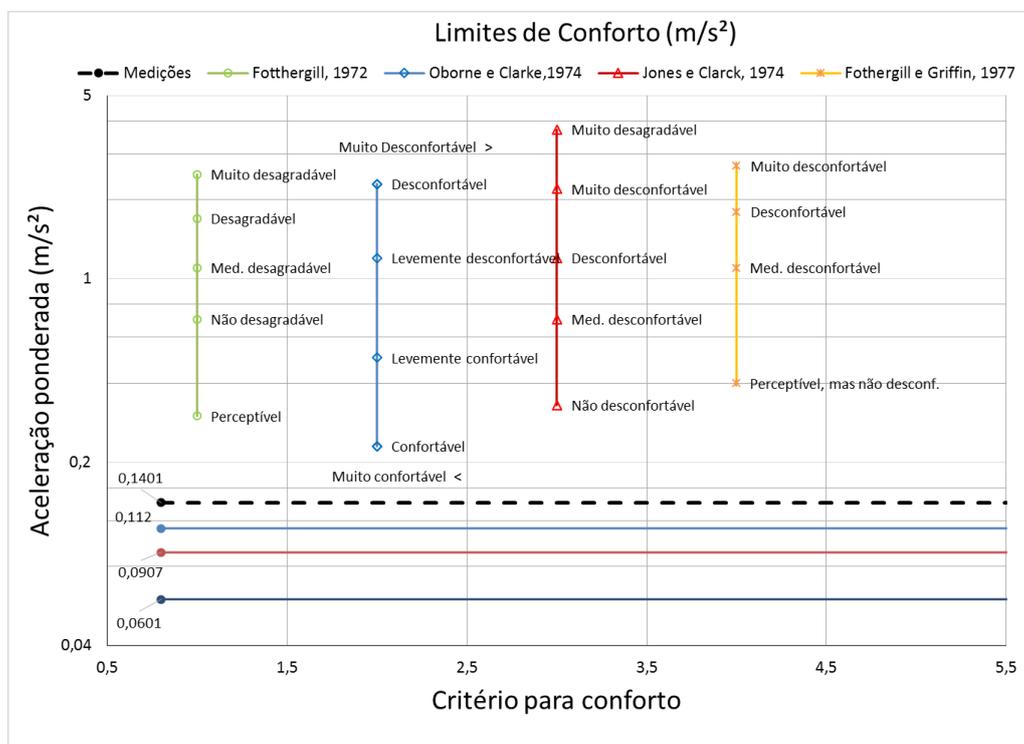


Figura 4.5 – Medições da aceleração *RMS* ponderada nas situações analisadas e critérios de conforto (1) Fothergill (1972), (2) Jones e Saunders (1974), (3) Osborne e Clarke (1974), Fothergill e Griffin (1977).

A Figura 4.5 e a Figura 4.6 mostram um comparativo dos valores obtidos nas medições dos catamarãs com os limites citados nos trabalhos apresentados por Griffin, 1990, em seu livro e normas.

É possível notar em ambos os gráficos que todas as medições realizadas geraram resultados com valores abaixo dos valores que caracterizam e classificam uma embarcação como confortável ou não desconfortável, dependendo do estudo ou norma. A classificação da norma ISO 6954, 2000, cita valores limites para definir se pode ou não ser provável que haja comentários desfavoráveis com relação ao conforto da embarcação. Neste trabalho, os resultados das medições ficaram na faixa onde não é provável que haja comentários desfavoráveis (Figura 4.6).

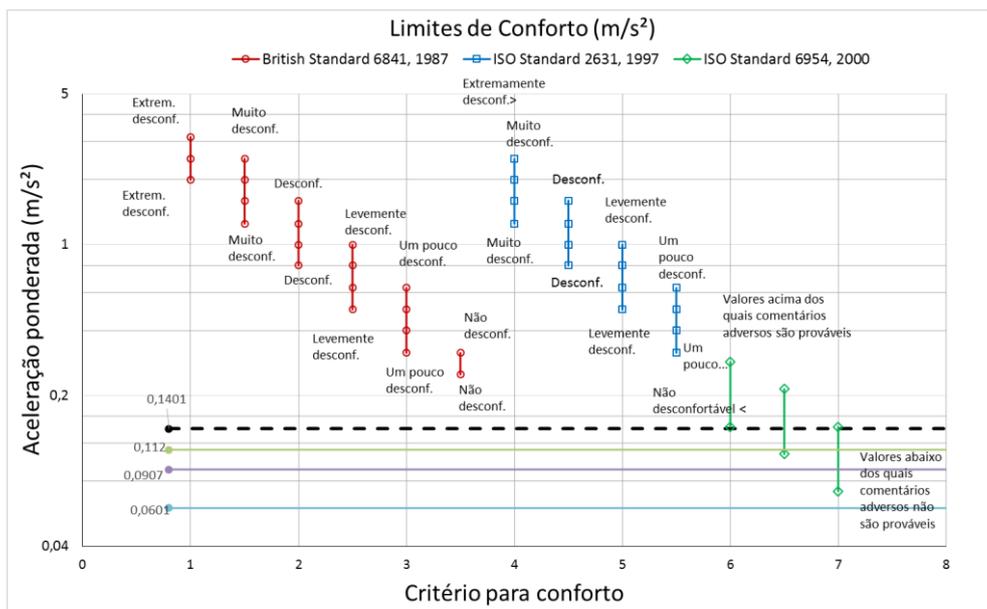


Figura 4.6 – Medições da aceleração *RMS* ponderada nas situações analisadas e critérios de conforto para normas estudadas.

## 5 CONCLUSÕES

A estabilidade de uma embarcação com dois cascos em paralelo foi constatada pelos baixos níveis de vibração lateral (eixo *y* em todas as medições), comparando também com valores de medições em outras embarcações de casco único (Griffin, 1990).

Os níveis de vibração foram baixos na média. Isso não significa que eles tiveram essa característica em toda a viagem. Na maioria do tempo, os níveis foram baixos, resultando numa média baixa, mas houve momentos em que foram percebidos níveis mais elevados de vibração, especialmente em momentos de manobra, como no atracamento da embarcação no píer e nas curvas para posicionamento.

O trabalho realizado abordou apenas o conforto em relação à vibração da embarcação e em apenas um aspecto, o do passageiro. Para trabalhos futuros, seria interessante avaliar não apenas a vibração, mas também o ruído e a temperatura ambiente. Também podem ser feitos trabalhos em outras situações, como outros tipos de embarcação e velocidades, ou até em outras posições do barco avaliado nesse trabalho.

O catamarã se mostrou bastante confortável, no geral, principalmente quando se compara os valores medidos nesse trabalho (0,1 m/s<sup>2</sup> de aceleração *RMS*) com valores medidos em trajetos de transporte de ônibus urbano (0,8~1,0 m/s<sup>2</sup> de aceleração *RMS* (Balbinot, 2001). Os níveis de vibração no catamarã são tão significativamente baixos que é possível se chegar a essa conclusão apenas ao utilizar este meio de transporte.

Desta forma, como conclusão final tem-se que a embarcação avaliada se encontra numa condição confortável, quanto à vibração, para todos os critérios aqui descritos e avaliados. Conforme se pode observar nas Figuras 4.5.1 e 4.5.2, todos os valores medidos encontram-se bem abaixo dos valores de limite das normas e/ou estudos de referência.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. “**NBR 8800 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**”. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

Balbinot, A. **“Caracterização dos níveis de vibração em motoristas de ônibus: um enfoque no conforto e na saúde”**. Tese de Doutorado, Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, UFRGS, Porto Alegre, 2001.

Biot, M., de Lorenzo, F. **“Noise and Vibration on Board Cruise Ships: are new standards effective?”**, 2<sup>nd</sup> International Conference on Marine Research and Transportation, Ischia, Italy, 07, June, 2007.

Directive 2002/44/EC. **“On the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents”**. The European Parliament and the Council of the European Union. Official Journal of the European Communities, L177/13-19, 2002.

DNV. **“Rules for Classification of Ships - Part 6 - Chapter 15 - New buildings - Vibration Class”**. Det Norske Veritas. 2004.

DNV. **“Rules for Classification of Ships - Part 5 - Chapter 12 - Comfort Class”**. Det Norske Veritas. 2011.

Griffin, M. J. **“Handbook of Human Vibration”**. Academic Press, London, 1990, ISBN: 0-12-303040-4.

Germanischer Lloyd. **“Rules for classification and Construction Ship Technology-Seagoing Ships-Harmony Class-Rules on Rating Noise and Vibration for Comfort, Cruise Ships ( $v \leq 25$  kn)”**. Edition 2003, Germanischer Lloyd, Hamburg, 2003.

ISO 6954. **“Mechanical vibration - Guidelines for the measurement, reporting and evaluation of vibration with regard to habitability on passenger and merchant ships”**. International Organization for Standardization, 2000.

ISO 5349-1. **“Mechanical vibration - Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration - Part 1: General requirements”**. International Organization for Standardization, 2001.

ISO 2631-1. **“Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body – Part 1 – General requirements”**. International Organization for Standardization. 1997.

ISO 2631-2. **“Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body – Part 2 – Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz)”**.

NHO-09. **“Normas de higiene ocupacional. Procedimento Técnico - Avaliação da Exposição Ocupacional a Vibração de Corpo Inteiro”**. Fundacentro. <http://www.fundacentro.gov.br/> acessado em julho de 2015. 64p. 2013.

NR-15. **“Norma Regulamentadora No.15. Atividades e operações insalubres”** - Anexo N<sup>o</sup> 8, Vibrações. [http://www.mte.gov.br/legislacao/normas\\_regulamentadoras/nr\\_15.pdf](http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_15.pdf). 2015. Acessado em 08/10/2015.

Quest Technology. **“Real-time vibration Analyzers”**, VI-400PRO, Preliminary owner’s manual. 2005.

Quintas, J. P. R. **“Metodologia para avaliação de ruído e vibração no corpo humano em navios de transporte de cargas perigosas”**, Tese de Doutorado, Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, UFRGS, Porto Alegre, 2009.

Soeiro, N. S. **“Vibrações e o Corpo Humano: uma avaliação ocupacional”**. I Workshop de Vibração e Acústica da Região Norte. Tucuruí, PA. Agosto de 2011.

CATSUL. Catsul, Guaíba Transportes hidroviários Ltda. **“Catamarãs do Sul”**. <http://www.travessiapoaguaiba.com.br/site/default.asp>. Acessado em 01/09/2015.

## ANEXO I

**almont**  
BRASIL

## CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO

2973-2013

**Solicitante do Serviço:**

Nome: Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
 Endereço: Av. Paulo Gama, 110  
 Bairro: Farroupilha  
 Cidade: Porto Alegre  
 CEP: 90.040-060

UF: RS

---

**Identificação do Item:**

Item: Monitor de Vibração  
 Fabricante: Quest Technologies / 3M  
 Modelo: VI-400 Pro  
 N.º de Série: 12430  
 Identificação: Não Informado

B.P.: 427059

---

**Dados da calibração:**

Data da Calibração: 14-jun-13  
 N.º do Processo: 1003  
 Procedimento de Calibração: PC-11 REV. 3

Item: 1

**Condições Ambientais:**

Temperatura: 20,8 °C  
 Umidade Relativa: 78 %

**Método de Medição:**

Os valores são obtidos através da excitação do Piezo por um Calibrador Padrão.

**Padrões e Instrumentação Utilizados:**

Padrão	Código	Certificado n°	Emite	Validade
Calibrador de Acelerometro	P-018	CRB1300277	Brüel & Kjaer - RBC	fevereiro-16

---

Especializada na comercialização e operação  
de instrumentos de avaliação

Rua Horácio de Castilho, 284  
02125-030 Vila Maria Alta - São Paulo - SP - Brasil  
PABX (55 11) 3486-9300  
www.almont.com.br

mp. 022 Rev. 02 (08-2012) 1/3

Figura A-1 - Certificado de calibração do acelerômetro utilizado nas medições.

## APÊNDICE I

### Análise de uma medição quanto à saúde (VCI)

Pode-se analisar a vibração quanto à saúde do trabalhador, medindo os níveis de vibração durante todo o período de trabalho (8 horas), ou apenas durante um período, utilizando uma das equações abaixo para chegar a uma aceleração equivalente, que deve ser comparada com os valores de limite das normas, Eq. (A.1) ou Eq. (A.2).

$$a_{w1} \cdot T_1^{\frac{1}{2}} = a_{w2} \cdot T_2^{\frac{1}{2}} \quad (\text{A.1})$$

$$a_{w1} \cdot T_1^{\frac{1}{4}} = a_{w2} \cdot T_2^{\frac{1}{4}} \quad (\text{A.2})$$

onde  $a_{w1}$  e  $a_{w2}$  são os valores das acelerações *RMS* ponderadas da primeira e segunda exposição e  $T_1$  e  $T_2$  são as durações correspondentes das exposições.

Essas equações geram a Figura A-2 (ISO 2631-1, 1997), onde é possível observar que para os períodos de 4 a 8 horas, elas geram valores de aceleração limites de ordem semelhante. Também estão indicados os valores para 8h de exposição segundo a NHO-09, 2015 e Diretiva Europeia, 2002 com o valor da medição em questão.

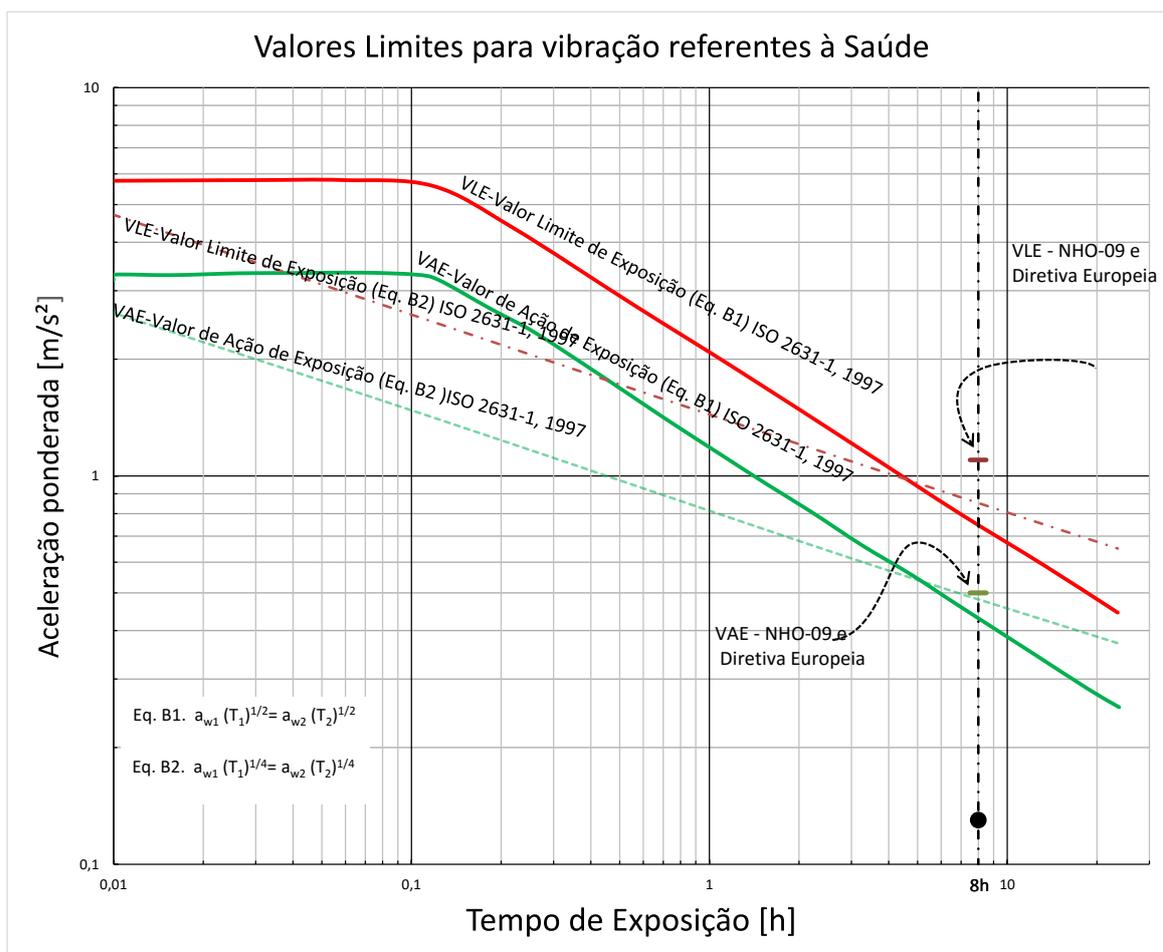


Figura A-2 - Guia para as zonas de alerta e perigo da vibração quanto à saúde.

(Adaptado da ISO 2631-1, 1997)

Abaixo está a Tabela A-2 indicando se os valores medidos (primeira medição apresentada: seção 3.2.1 - Assento – Curvas Wd nos eixos 'x' e 'y' e Wk no eixo 'z') seriam aceitáveis ou não quanto à saúde.

Tabela A-2 - Valores medidos e seus equivalentes em 8 horas.

<b>TEMPO DE MEDIÇÃO</b>	0,42	horas			
<b>EIXOS</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	Soma	Unidade
<b>Lpk</b>	0,9016	1,1482	0,6095	-	m/s <sup>2</sup>
<b>RMS</b>	0,0396	0,0718	0,1018	0,1307	m/s <sup>2</sup>
<b>VDV</b>	0,8605	1,1207	0,743	1,2485	m/s <sup>1,75</sup>
<b>CRF</b>	22,777	15,995	5,989	-	
<b>Fator multiplicativo K</b>	1,0	1,0	1,0	-	
<b>Máximo RMS</b>			0,1018		m/s <sup>2</sup>
<b>A(8), Max RMS</b>			0,0300		m/s <sup>2</sup>
<b>Máximo VDV</b>			1,1207		m/s <sup>1,75</sup>
<b>TEMPO DE EXPOSIÇÃO</b>	<b>8,00</b>	horas			
	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	Soma	
<b>Tempo para atingir VAE=</b>	1276,55	388,13	193,10	117,12	horas
<b>Tempo para atingir VLE=</b>	6752,93	2053,22	1021,48	619,54	horas
<b>A(8) Equivalente</b>	0,04	0,07	0,10	0,13	m/s <sup>2</sup>
<b>TEMPO DE EXPOSIÇÃO</b>	<b>0,42</b>	horas		<b>=TEMPO MEDIÇÃO</b>	
	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	Soma	
<b>Tempo para atingir VAE=</b>	3037,39	923,51	459,45	278,66	horas
<b>Tempo para atingir VLE=</b>	16067,78	4885,38	2430,48	1474,12	horas

Na Tabela A-2, é possível observar que com o tempo de medição de 0,42 horas (25,2 minutos) calculou-se os tempos para atingir os valores de aviso de exposição (VAE) e os tempos de limite de exposição (VLE), esse não pode ser ultrapassado em nenhuma situação que caracterizará a insalubridade.

Analisou-se duas situações, na primeira foi admitido que o trabalhador seria exposto à vibração medida durante o período de 8 horas. O nível de vibração equivalente foi de 0,13 m/s<sup>2</sup>, e o tempo que levaria para a vibração chegar ao valor de aviso é de 117,12 horas e o tempo de limite é de 619,54 horas diárias. Ou seja, se o trabalhador ficar exposto a essa vibração durante um dia inteiro, ele não terá problemas de saúde.

Na segunda situação foi admitido que a pessoa seria exposta ao nível de vibração medido durante apenas 25 minutos, ou uma viagem no catamarã por dia. Nesse caso, o tempo que levaria para atingir os valores de aviso é de 278,66 horas e o tempo de limite é de 1474,12. A pessoa exposta a essa vibração também não terá problemas de saúde. Em qualquer situação, esta exposição está longe de gerar problemas de saúde.

## APÊNDICE II

**Análise detalhada de um trecho com níveis mais elevados de vibração**

Na Figura A-3 estão apresentados três gráficos, das acelerações medidas no início (0-2 minutos) da medição, apresentada na seção 3.3.2 (piso de apoios dos pés – curva Wk nos três eixos e fatores  $k=0,25$  nos eixos 'x' e 'y' e  $k=0,40$  no eixo 'z'). Esse período de tempo corresponde ao tempo em que a embarcação ficou atracada no *pier* para o embarque dos passageiros, momento em que foram observados níveis mais elevados de vibração, por volta de  $0,3 \text{ m/s}^2$  na aceleração ponderada *RMS* para o eixo z, valor mais elevado do que a média observada em todo o período ( $0,1307 \text{ m/s}^2$ ).

Porém, mesmo com essa elevação dos níveis de vibração, ele ainda fica abaixo dos valores de início do desconforto, segundo as normas e estudos apresentados, conforme a Tabela A-3.

Tabela A-3 - Valores de *RMS* para o período apresentado.

	Eixo x	Eixo y	Eixo z	Equivalente
Aceleração RMS ( $\text{m/s}^2$ )	0,0416	0,0608	0,3053	0,0933

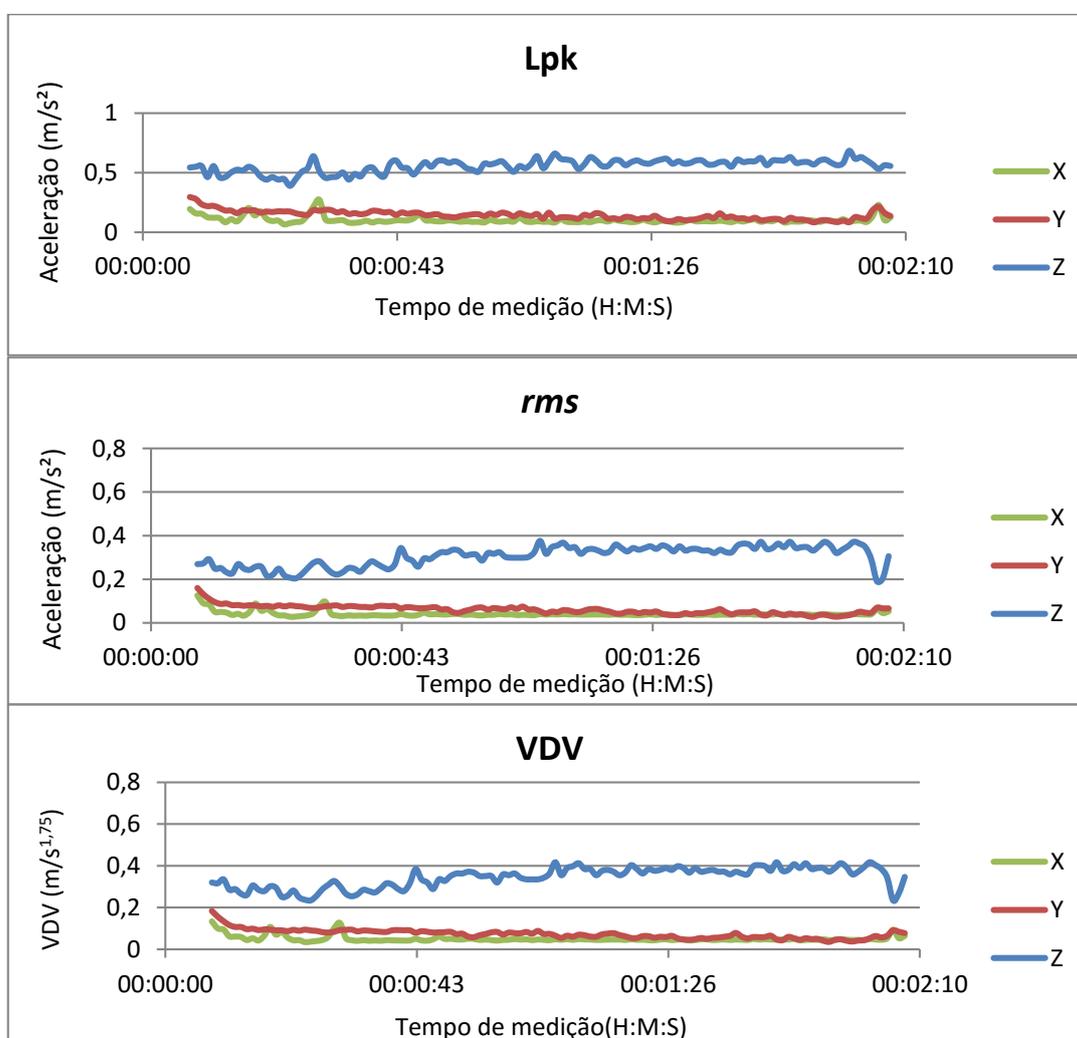


Figura A-3 - Gráficos de Valor de Pico (Lpk), Aceleração ponderada (*RMS*) e Valor de Dose de Vibração (VDV).