

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DE RUÍDO E VIBRAÇÃO NO CORPO
HUMANO EM NAVIOS DE TRANSPORTE DE CARGAS PERIGOSAS**

por

Juan Pablo Raggio Quintas

Tese para obtenção do Título de
Doutor em Engenharia

Porto Alegre, outubro de 2009

METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DE RUÍDO E VIBRAÇÃO NO CORPO
HUMANO EM NAVIOS DE TRANSPORTE DE NAVEGAÇÃO INTERIOR

por

Juan Pablo Raggio Quintas

Mestre em Engenharia

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de

Doutor em Engenharia

Área de concentração: Mecânica dos sólidos

Orientador: Prof. Dr. Alberto Tamagna

Comissão de avaliação:

Prof. Dr. Acir Mércio Loredo Souza - CPGEC / UFRGS

Prof. Dr. Ignácio Iturrioz - PROMEC / UFRGS

Prof. Dr. Tiago Becker - ULBRA

Prof. Dr. Horácio Antônio Vielmo
Coordenador do PROMEC

Porto Alegre, 28 de outubro de 2009

Dedico este trabalho a meus pais, minha esposa, minha filha e
meu irmão que sempre me acompanharam e
me incentivaram na realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Alberto Tamagna, pela orientação, incentivo e dedicação nesses anos de trabalho;

Aos professores da banca, pelas alterações que contribuíram no resultado final do trabalho;

Ao Professor Jun Fonseca pela revisão do resumo;

À Empresa Navegação GUARITA, por disponibilizar o barco, materiais e pessoas para a realização do trabalho;

À FINEP, pelo financiamento do projeto CT-AQUA o que possibilitou a compra dos equipamentos para realizar as medições;

Ao PROMEC, pela oportunidade de realizar o doutorado em um dos melhores Programas de Pós-Graduação desta Universidade;

A todas as pessoas que direta ou indiretamente ajudaram na conclusão deste trabalho;

À tripulação do navio NT GUARITA que me acompanhou nas viagens, pela amizade e companheirismo, sempre disposta a ajudar e resolver problemas;

Ao Tiago Becker e Rodrigo Rodrigues de Barros, pela ajuda durante as medições no navio;

Aos meus pais, pela coragem de possibilitar um futuro melhor para seus filhos; a minha esposa por estar sempre junto comigo me incentivando, a minha filha, por me ajudar à sua maneira, a meu irmão por me acompanhar de longe.

RESUMO

Este trabalho apresenta a medição e avaliação dos níveis de ruído e vibração que a tripulação de um navio, que transporta cargas perigosas na bacia do sul, está submetida e propor soluções para diminuir essa exposição. Levando em conta que a tripulação está exposta durante toda a viagem do navio a redução dos níveis de ruído e vibração é de suma importância para melhorar o conforto e a prevenção de moléstias e ou doenças decorrentes dessa exposição. Foram realizadas medições do nível de pressão sonora e aceleração nas três direções em camarotes e na praça de máquinas do navio em estudo. Foram comparadas com normas que regem os níveis de ruído e vibração adequados para embarcações marítimas. Através da análise do espectro de frequência e do espectro cruzado das medições realizadas foram definidos caminhos de propagação das ondas sonoras e vibratórias e identificadas as frequências que são transmitidas por eles. De posse desses dados são apresentadas propostas de soluções para a diminuição dos níveis de pressão sonora e vibração no navio.

Palavras-chave: Ruído e vibração em navios. Normas ruído. Vibração no corpo humano.

ABSTRACT

This work presents the measurement and assessment a ships crew exposition to noise and vibration. The ship hauls hazardous cargo in the brazilian southern basin. Considering that the crew is exposed throughout the ship's journey reducing the levels of noise and vibration is critical for improved comfort and prevention of exposure aggravated diseases. Sound pressure levels and three dimensional acceleration measurements were performed on the studied vessel's cabins and engine room. The levels of noise and vibration were compared with standards suitable for marine vessels. Propagation paths of sound waves and vibration were defined by analyzing the frequency spectrum and cross spectrum of the measurements as well as their transmitted frequencies. Proposals for based on the data gathered of sound pressure level and vibration reduction are presented.

Keywords: Noise and vibration in ships. Noise standards. Vibration in the human body.

INDICE

| | |
|---|----|
| CAPÍTULO 1 – Introdução | 1 |
| CAPÍTULO 2 – Vibrações no corpo humano | 5 |
| 2.1 – Introdução..... | 5 |
| 2.2 – Critérios para medição e avaliação de ruído e vibrações no corpo humano..... | 7 |
| 2.2.1 - Normas Regulamentadoras do Ministério do Trabalho | 8 |
| 2.2.2 – Norma de Higiene Ocupacional – Avaliação da Exposição Ocupacional ao Ruído – NHO 01 da FUNDACENTRO do Ministério do Trabalho..... | 10 |
| 2.2.2.1 - Definições importantes: | 11 |
| 2.2.2.2 – Critérios de Avaliação da Exposição Ocupacional ao Ruído Contínuo ou Intermitente..... | 11 |
| 2.2.3 – Curvas de avaliação de ruído (NC) e (NR) da NBR 10152:1987 – “Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento” da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e ISO 1996-2:2003 – “Description, measurement and assessment of environmental noise - Part 2 – Determination of environmental noise levels” | 13 |
| 2.2.4 - Code on Noise Levels on Board Ships – Resolution A.468(XII) – 1981 da International Maritime Organization (IMO)..... | 17 |
| 2.2.4.1 - Limites de níveis sonoros..... | 18 |
| 2.2.4.2 - Limites de exposição sonora | 19 |
| 2.2.4.3 - Limites de exposição da tripulação a elevados níveis de ruído..... | 19 |
| 2.2.4.4 - Definições da norma: | 21 |
| 2.2.5 - COMFORT CLASS – Parte 5 – Capítulo 12 da Det Norske Veritas | 22 |
| 2.2.5.1 - Critérios para ruído | 22 |
| 2.2.5.2 - Critérios para vibração | 23 |
| 2.2.6 - ISO 6954, 2000 – Mechanical vibration – Guidelines for the measurement, reporting and evaluation of vibration with regard to habitability on passenger and merchant ships.... | 24 |
| 2.3 – Ruído e vibrações no corpo humano e efeitos de exposição | 27 |
| CAPÍTULO 3 - Ruído e vibrações em navios..... | 29 |
| 3.1 – Introdução..... | 29 |
| 3.2 – Ruído em motores diesel | 31 |

| | |
|--|----|
| 3.3 - Ruído na Combustão | 33 |
| 3.4 - Redução de ruído na combustão..... | 35 |
| 3.5 - Fontes de Ruído Mecânicas | 35 |
| 3.6 – Previsão e prevenção de ruído em navios..... | 36 |
| 3.7 – Estudo das frequências geradas pelos equipamentos que se encontram no interior do navio | 38 |
| 3.7.1 – Frequências geradas pelo sistema de propulsão | 38 |
| 3.7.2 – Frequências geradas pela explosão nos cilindros | 39 |
| 3.7.3 – Cálculo das frequências geradas pelos equipamentos que se encontram no interior do navio | 39 |
| | |
| CAPÍTULO 4 – O Navio GUARITA..... | 41 |
| 4.1 – Descrição do Navio GUARITA | 41 |
| 4.2 – Descrição do trajeto realizado | 46 |
| 4.3 – Descrição da tripulação do navio | 47 |
| | |
| CAPÍTULO 5 - Medidas Realizadas | 48 |
| 5.1 – Introdução..... | 48 |
| 5.2 – Metodologia das medições | 48 |
| 5.3 – Descrição dos pontos de medição..... | 49 |
| 5.4 – Instrumentos utilizados para realizar as medidas | 56 |
| 5.5 – Fixação dos instrumentos de medida..... | 58 |
| 5.6 – Sistema de referência utilizado..... | 59 |
| 5.7 – Descrição dos canais utilizados no sistema de aquisição | 60 |
| | |
| CAPÍTULO 6 - Avaliação de Normas de Ruído e Vibração no Corpo Humano e no Navio | 61 |
| 6.1 – Introdução..... | 61 |
| 6.2 – Resultados e análise das medições de ruído | 61 |
| 6.2.1 – Medidas obtidas nos níveis de pressão sonora | 61 |
| 6.2.2 – Comparação das medidas com a norma Code on Noise Levels on Board Ships – Resolution A.468(XII) – 1981 da International Maritime Organization (IMO) | 62 |
| 6.2.3 – Comparação das medidas com a norma COMFORT CLASS – Parte 5 – Capítulo 12 da Det Norske Veritas..... | 63 |

| | |
|---|----|
| 6.2.4 – Comparação das medidas com as Curvas de avaliação de ruído (NC) e (NR) da NBR 10152:1987 – “Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento” da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e ISO 1996-2:2003 – “Description, measurement and assessment of environmental noise - Part 2 – Determination of environmental noise levels” | 64 |
| 6.2.5 – Comparação das medidas com a norma NR-15 – Atividades e Operações Insalubres – Anexo 1 e com a Norma de Higiene Ocupacional – Avaliação da Exposição Ocupacional ao Ruído (NHO 01) | 72 |
| 6.2.5 – Alterações do sono | 73 |
| 6.3– Resultados e análise das medições de vibração..... | 74 |
| 6.3.1 – Comparação dos valores globais da aceleração medidos com a Norma ISO 6954:2000 – Mechanical vibration – Guidelines for the measurement, reporting and evaluation of vibration with regard to ability on passenger and Merchant ships..... | 75 |
| 6.3.2 – Comparação dos valores globais da aceleração medidos com a Norma COMFORT CLASS – Parte 5 – Capítulo 12 da Det Norske Veritas | 77 |
| | |
| CAPÍTULO 7 – Determinação dos caminhos de propagação do ruído | 78 |
| 7.1 – Introdução..... | 78 |
| 7.2 – Análise dos caminhos de propagação no Camarote do Armador..... | 79 |
| 7.2.1 – Identificação dos picos mais significativos (valores mais altos para o nível de pressão sonora e para a aceleração na direção Z) das frequências no auto espectro do nível de pressão sonora e da aceleração na direção Z para a Praça de Máquinas e para o Camarote do Armador..... | 79 |
| 7.2.2 – Definição dos caminhos de propagação para a realização dos espectros cruzados..... | 83 |
| 7.2.2.1) Caminho: Estrutura (Praça de Máquinas) – Ar (Camarote Armador) | 84 |
| 7.2.2.2) Caminho: Ar (Praça de Máquinas) – Ar (Camarote Armador)..... | 84 |
| 7.2.2.3) Caminho: Estrutura (Praça de Máquinas) – Ar (Praça de Máquinas)..... | 85 |
| 7.2.2.4) Caminho: Estrutura (Praça de Máquinas) – Estrutura (Camarote Armador)..... | 86 |
| 7.2.2.5) Caminho: Estrutura (Camarote Armador) – Ar (Camarote Armador)..... | 86 |
| 7.2.3 – Retirada dos valores das amplitudes das frequências significativas dos espectros cruzados..... | 87 |
| 7.2.4 – Identificação dos caminhos de propagação das ondas sonoras e vibratórias | 90 |
| 7.3 – Análise dos caminhos de propagação no Camarote do Cozinheiro..... | 93 |

| | |
|--|-----|
| 7.3.1 – Identificação dos picos mais significativos (valores mais altos para o nível de pressão sonora e para a aceleração na direção Z).das frequências no auto espectro do nível de pressão sonora e da aceleração na direção Z para o Camarote do Cozinheiro..... | 93 |
| 7.3.2 – Retirada dos valores das amplitudes das frequências significativas dos espectros cruzados..... | 94 |
| 7.3.3 – Identificação dos caminhos de propagação das ondas sonoras e vibratórias | 97 |
| 7.4 – Análise dos caminhos de propagação para o Camarote do Armador..... | 100 |
| 7.5 – Análise dos caminhos de propagação para o Camarote do Cozinheiro..... | 101 |
| | |
| CAPITULO 8 – Propostas para redução de ruído..... | 103 |
| 8.1. – Introdução..... | 103 |
| 8.2. – Possíveis abordagens para controle de ruído: em navios | 103 |
| 8.3 – Propostas de tratamento acústico para diminuir o nível de pressão sonora do navio...109 | |
| 8.3.1 – Tratamento acústico na Praça de Máquinas | 109 |
| 8.3.2 – Tratamento acústico no Camarote do Cozinheiro | 111 |
| 8.3.3 – Tratamento acústico no Camarote do Armador..... | 111 |
| | |
| 9. – CONCLUSÕES | 113 |
| | |
| 10. – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 114 |
| | |
| ANEXO I – Memorial descritivo do GUARITA | 118 |
| ANEXO II - Plantas do GUARITA..... | 127 |
| ANEXO III - Definição de Espectro Cruzado..... | 129 |
| | |
| Apêndice A..... | 132 |
| Apêndice B | 134 |
| Apêndice C..... | 137 |
| Apêndice D..... | 143 |
| Apêndice E | 146 |

INDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1 – Introdução

| | |
|---|---|
| Figura 1.1 – Vista do navio GUARITA. | 2 |
| Figura 1.2 – Bacia do Sul | 3 |

CAPÍTULO 2 - Vibrações no Corpo Humano

| | |
|---|----|
| Figura 2.1 – Possíveis efeitos do ruído no organismo humano. | 7 |
| Figura 2.2 – Curvas de avaliação de ruído (NC) (Fonte: NBR 10152 – Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento)..... | 15 |
| Figura 2.3 – Curvas de avaliação de ruído (NR) (Fonte: ISO 1996-2:2003 – “Description, measurement and assessment of environmental noise - Part 2 – Determination of environmental noise levels”) | 17 |
| Figura 2.4 - Zonas de exposição ao ruído diárias admissíveis. | 20 |
| Figura 2.5 – Protetor auricular tipo concha. | 21 |
| Figura 2.6 – Protetor auricular tipo “plug”..... | 21 |
| Figura 2.5 – Curva de ponderação da frequência de acordo com a ISO 2631-2 Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part1: General requirements..... | 25 |

CAPÍTULO 3 – Ruído e vibrações em navios

| | |
|---|----|
| Figura 3.1 – Propagação do ruído em navios.. | 29 |
| Figura 3.2 - Diagrama de blocos do modelo de geração de ruído do motor. | 32 |
| Figura 3.3 – Gráfico típico da pressão do cilindro de um motor diesel para a pressão de alimentação do motor baixa..... | 33 |
| Figura 3.4 - Espectros do nível de pressão do cilindro de motores diesel..... | 34 |
| Figura 3.5 – Componentes de máquinas e fontes de ruído em navios propulsionados por motores diesel..... | 37 |
| Figura 3.6 – Esquema do sistema de propulsão do navio..... | 38 |

CAPÍTULO 4 – O Navio GUARITA

| | |
|--|----|
| Figura 4.1 – Vista traseira do GUARITA. | 41 |
| Figura 4.2 – Vista dos tanques de carga desde a sala de comando..... | 41 |
| Figura 4.3 – Distribuição dos equipamentos na praça de máquinas..... | 43 |
| Figura 4.4 – Corte do navio mostrando a praça de máquinas e a superestrutura. | 44 |
| Figura 4.5 – Distribuição das acomodações no convés principal..... | 44 |
| Figura 4.6 – Distribuição das acomodações no convés superior. | 45 |
| Figura 4.7 – Distribuição das acomodações no convés do passadiço. | 45 |
| Figura 4.8 – Trajeto realizado pelo GUARITA entre o Terminal Santa Clara (Triunfo) e o Porto de Rio Grande. | 46 |

CAPÍTULO 5 - Medidas Realizadas

| | |
|--|----|
| Figura 5.1 - Localização dos pontos de medição no Camarote do Cozinheiro (Q2), na Cozinha (C) e no Refeitório (R) no Convés Principal. | 50 |
| Figura 5.2 – Localização dos pontos de medição no Camarote do Armador (Q1) no Convés Superior. | 51 |
| Figura 5.3 – Localização dos pontos de medição no Motor Central (MC), no Motor Esquerdo (ME), no Motor Direito (MD), no Gerador Esquerdo (GE), no Gerador Direito (GD) na Praça de Máquinas, a letra “A” indica a colocação de um acelerômetro a letra “M” indica a colocação de um microfone..... | 52 |
| Figura 5.4 – Pontos de medição do convés principal no Refeitório - R (foto da esquerda) e na Cozinha – C (foto da direita). | 53 |
| Figura 5.5 – Ponto de medição do convés principal no Camarote do Cozinheiro – Q2..... | 53 |
| Figura 5.6 – Ponto de medição do convés superior no Camarote do Armador – Q1..... | 54 |
| Figura 5.7 – Ponto de medição na praça de máquinas no Motor Central - MC. | 54 |
| Figura 5.8 – Ponto de medição na praça de máquinas no Motor Direito - MD. | 55 |
| Figura 5.9 – Ponto de medição na praça de máquinas no Motor Esquerdo - ME. | 55 |
| Figura 5.10 – Ponto de medição na praça de máquinas no Gerador Direito - GD..... | 56 |
| Figura 5.11 – Ponto de medição na praça de máquinas no Gerador Esquerdo - GE..... | 56 |
| Figura 5.12 - Microfones Type 4189-A-021, Marca Brüel & Kjaer..... | 57 |
| Figura 5.13 - Acelerômetros triaxiais Model 65-10, Marca Isotron..... | 58 |
| Figura 5.14 - Sistema de aquisição e análise PULSE Type 3560 com doze canais..... | 58 |

Figura 5.15 – Descrição do sistema de referência utilizado nas medidas.59

CAPÍTULO 6 - Resultados obtidos e análise parcial dos mesmos

Figura 6.1 – Espectro do nível de pressão sonora em bandas de oitava do Camarote do Armador sobreposto nas Curvas de avaliação de ruído (NC) da NBR 10152:1987.66

Figura 6.2 – Espectro do nível de pressão sonora em bandas de oitava do Camarote do Cozinheiro sobreposto nas Curvas de avaliação de ruído (NC) da NBR 10152:1987.....66

Figura 6.3 – Espectro do nível de pressão sonora em bandas de oitava da Cozinha sobreposto nas Curvas de avaliação de ruído (NC) da NBR 10152:1987.....67

Figura 6.4 – Espectro do nível de pressão sonora em bandas de oitava do Refeitório sobreposto nas Curvas de avaliação de ruído (NC) da NBR 10152:1987.....67

Figura 6.5 – Espectro do nível de pressão sonora em bandas de oitava da Praça de Máquinas sobreposto nas Curvas de avaliação de ruído (NC) da NBR 10152:1987.....68

Figura 6.6 – Espectro do nível de pressão sonora em bandas de oitava do Camarote do Armador sobreposto nas Curvas de avaliação de ruído (NR) da ISO 1996-1:2003.....69

Figura 6.7 – Espectro do nível de pressão sonora em bandas de oitava do Camarote do Cozinheiro sobreposto nas Curvas de avaliação de ruído (NR) da ISO 1996-1:2003.70

Figura 6.8 – Espectro do nível de pressão sonora em bandas de oitava da Cozinha sobreposto nas Curvas de avaliação de ruído (NR) da ISO 1996-1:2003.....70

Figura 6.9 – Espectro do nível de pressão sonora em bandas de oitava do Refeitório sobreposto nas Curvas de avaliação de ruído (NR) da ISO 1996-1:2003.71

Figura 6.10 – Espectro do nível de pressão sonora em bandas de oitava da Praça de Máquinas sobreposto nas Curvas de avaliação de ruído (NR) da ISO 1996-1:2003.71

CAPÍTULO 7 – Determinação dos caminhos de propagação do ruído

Figura 7.1 – Espectro do nível de pressão sonora no Camarote do Armador em dB(A). .79

Figura 7.2 – Espectro do nível de pressão sonora no Camarote do Armador em dB(A) até 1.000 Hz.80

Figura 7.3 – Espectro do nível de pressão sonora no Camarote do Armador em dB(A) até 500 Hz.80

Figura 7.4 – Espectro do nível de pressão sonora em dB(A) na Praça de Máquinas até 500 Hz.81

| | |
|--|-----|
| Figura 7.5 – Espectro da aceleração na direção Z em m/s^2 no Camarote do Armador até 500 Hz. | 82 |
| Figura 7.6 – Espectro da aceleração na direção Z em m/s^2 na Praça de Máquinas até 500 Hz. | 82 |
| Figura 7.7 – Espectro cruzado entre a aceleração na direção Z na Praça de Máquinas (Signal 8) e o nível de pressão sonora no Camarote do Armador (Signal 4)..... | 84 |
| Figura 7.8 – Espectro cruzado entre o nível de pressão sonora na Praça de Máquinas (Signal 9) e o nível de pressão sonora no Camarote do Armador (Signal 4)..... | 85 |
| Figura 7.9 – Espectro cruzado entre a aceleração na direção Z na Praça de Máquinas (Signal 8) e o nível de pressão sonora na Praça de Máquinas (Signal 9)..... | 85 |
| Figura 7.10 – Espectro cruzado entre a aceleração na direção Z na Praça de Máquinas (Signal 8) e a aceleração na direção Z no Camarote do Armador (Signal 3)..... | 86 |
| Figura 7.11 – Espectro cruzado entre a aceleração na direção Z no Camarote do Armador (Signal 3) e o nível de pressão sonora no Camarote do Armador (Signal 4). | 87 |
| Figura 7.12 – Nível de pressão sonora em dB(A) em 1/3 de bandas de oitava no Camarote do Armador..... | 101 |
| Figura 7.13 – Nível de pressão sonora em dB(A) em 1/3 de bandas de oitava no Camarote do Cozinheiro. | 102 |

CAPITULO 8 – Propostas para redução de ruído

| | |
|---|-----|
| Figura 8.1 – Esquema de um material de absorção sonora para ser utilizado em ambientes contaminados com água e/ou óleo..... | 105 |
| Figura 8.2 – Exemplos de suportes elásticos, almofadas de borracha e conexões flexíveis. | 106 |
| Figura 8.3 – Exemplos de aplicação de suportes elásticos, almofadas de borracha e conexões flexíveis numa praça de máquinas de um navio. | 106 |
| Figura 8.4 – Esquema de uma acomodação flutuante, em detalhe mostra-se a união entre o anteparo e o piso. | 108 |
| Figura 8.5 – Esquema de como pode-se colocar uma janela num camarote do navio. | 109 |
| Figura 8.6 – Nível de pressão sonora em dB(A) em 1/3 de bandas de oitava na Praça de Máquinas. | 110 |
| Figura 8.7 – Comparação do nível de pressão sonora em dB(A) em 1/3 de bandas de oitava no Camarote do Armador e no Camarote do Cozinheiro. | 112 |

ANEXO II – Plantas do GUARITA

| | |
|---|-----|
| Figura A.2.1 – Plantas do navio GUARITA | 128 |
|---|-----|

APÊNDICE B

| | |
|---|-----|
| Figura B.1 – Espectro do nível de pressão sonora em dB(A) na Praça de Máquinas. | 134 |
| Figura B.2 – Espectro do nível de pressão sonora em dB(A) na Praça de Máquinas até 1.000 Hz. | 134 |
| Figura B.3 – Espectro da aceleração na direção Z em m/s^2 no Camarote do Armador. | 135 |
| Figura B.4 – Espectro da aceleração na direção Z em m/s^2 no Camarote do Armador até 1.000 Hz. | 134 |
| Figura B.5 – Espectro da aceleração na direção Z em m/s^2 na Praça de Máquinas. | 135 |
| Figura B.6 – Espectro da aceleração na direção Z em m/s^2 na Praça de Máquinas até 1.000 Hz. | 136 |

APÊNDICE C

| | |
|--|-----|
| Figura C.1 – Espectro do nível de pressão sonora no Camarote do Cozinheiro em dB(A). .. | 137 |
| Figura C.2 – Espectro do nível de pressão sonora no Camarote do Cozinheiro em dB(A) até 1.000 Hz. | 137 |
| Figura C.3 – Espectro do nível de pressão sonora no Camarote do Cozinheiro em dB(A) até 500 Hz. | 138 |
| Figura C.4 – Espectro do nível de pressão sonora em dB(A) na Praça de Máquinas até 500 Hz. | 138 |
| Figura C.5 – Espectro da aceleração na direção Z em m/s^2 no Camarote do Cozinheiro até 500 Hz. | 139 |
| Figura C.6 – Espectro da aceleração na direção Z em m/s^2 na Praça de Máquinas até 500 Hz. | 139 |
| Figura C.7 – Espectro cruzado entre a aceleração na direção Z na Praça de Máquinas (Signal 8) e o nível de pressão sonora no Camarote do Cozinheiro (Signal 4). | 140 |
| Figura C.8 – Espectro cruzado entre o nível de pressão sonora na Praça de Máquinas (Signal 9) e o nível de pressão sonora no Camarote do Cozinheiro (Signal 4). | 140 |

| | |
|---|-----|
| Figura C.9 – Espectro cruzado entre a aceleração na direção Z na Praça de Máquinas (Signal 8) e o nível de pressão sonora na Praça de Máquinas (Signal 9)..... | 141 |
| Figura C.10 – Espectro cruzado entre a aceleração na direção Z na Praça de Máquinas (Signal 8) e a aceleração na direção Z no Camarote do Cozinheiro (Signal 3). | 141 |
| Figura C.11 – Espectro cruzado entre a aceleração na direção Z no Camarote do Cozinheiro (Signal 3) e o nível de pressão sonora no Camarote do Cozinheiro (Signal 4)..... | 142 |

INDICE DE TABELAS

CAPÍTULO 2 - Vibrações no Corpo Humano

| | |
|---|----|
| Tabela 2.1 – Sensibilidade do corpo humano às vibrações | 6 |
| Tabela 2.2 – Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente | 8 |
| Tabela 2.3 - Tempo máximo diário de exposição permissível em função do nível de ruído. | 12 |
| Tabela 2.4 – Valores dB(A) e NC. (Fonte: NBR 10152 - Acústica, Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento) | 14 |
| Tabela 2.5 – Valores NR. (ISO 1996-2:2003 – “Description, measurement and assessment of environmental noise - Part 2 – Determination of environmental noise levels”) | 16 |
| Tabela 2.6 – Limites dos níveis de ruído para diversos espaços nos navios. | 18 |
| Tabela 2.7 – Navios de Carga ¹⁾ – Acomodações da tripulação – Níveis de ruído em dB(A) | 22 |
| Tabela 2.8 – Navios de Carga – Acomodações da tripulação e áreas de trabalho – Níveis de vibração em mm/s pico para componentes de frequência entre 5 e 100 Hz ¹⁾ | 23 |
| Tabela 2.9 – Guia para aplicação de ponderações (Fonte norma ISO 2631-1 Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part1: General requirements). | 26 |
| Tabela 2.10 – Compensações (fatores de compensação: W_k e W_d) em um terço de oitava. (Fonte norma ISO 2631-1 Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part1: General requirements). | 26 |
| Tabela 2.11 - Valores globais (r.m.s.) de aceleração e velocidade na frequência ponderada no intervalo de 1 Hz a 80 Hz como orientações para a habitabilidade de diferentes áreas em um navio | 27 |

CAPÍTULO 4 – O Navio GUARITA

| | |
|--|----|
| Tabela 4.1 – Resumo das Características do GUARITA. | 42 |
| Tabela 4.2 – Descrição e características da tripulação. | 47 |

CAPÍTULO 5 - Medidas Realizadas

Tabela 5.1 – Descrição dos pontos de medidas50

Tabela 5.2 – Descrição dos canais utilizados.60

CAPÍTULO 6 - Resultados obtidos e análise parcial dos mesmos

Tabela 6.1 – Valores globais do nível de pressão sonora em dB e dB(A).61

Tabela 6.2 – Comparação dos valores globais do nível de pressão sonora em dB(A) com a norma IMO.62

Tabela 6.3 – Diferença entre os valores globais do nível de pressão sonora em dB(A) com a norma IMO.63

Tabela 6.4 – Comparação dos valores globais do nível de pressão sonora em dB(A) com a norma COMFORT CLASS.64

Tabela 6.5 - Comparação do ruído medido nos diversos ambientes do navio com os valores recomendado pela NBR 10152.....65

Tabela 6.6 – Valores NR corrigidos pela Norma IMO.....69

Tabela 6.7 - Valores globais do nível de pressão sonora em dB e dB(A) e comparação com as normas NR-15 e NHO 01.73

Tabela 6.8 – Valores globais e compensados da aceleração nas três direções no Camarote do Armador calculados para a Norma ISO 6954:2000 – Mechanical vibration – Guidelines for the measurement, reporting and evaluation of vibration with regard to habilitiy on passenger and Merchant ships; valores limites da mesma norma.75

Tabela 6.9 – Valores globais e compensados da aceleração nas três direções no Camarote do Cozinheiro calculados para a Norma ISO 6954:2000 – Mechanical vibration – Guidelines for the measurement, reporting and evaluation of vibration with regard to habilitiy on passenger and Merchant ships; valores limites da mesma norma.76

Tabela 6.10 – Valores globais e compensados da aceleração nas três direções na Cozinha calculados para a Norma ISO 6954:2000 – Mechanical vibration – Guidelines for the measurement, reporting and evaluation of vibration with regard to habilitiy on passenger and Merchant ships; valores limites da mesma norma.....76

Tabela 6.11 - Valores globais e compensados da aceleração nas três direções no Refeitório calculados para a Norma ISO 6954:2000 – Mechanical vibration – Guidelines for the

measurement, reporting and evaluation of vibration with regard to hability on passenger and Merchant ships; valores limites da mesma norma.....76

CAPÍTULO 7 – Determinação dos caminhos de propagação do ruído

| | |
|--|----|
| Tabela 7.1 – Nomenclatura dos canais utilizados no sistema Pulse..... | 78 |
| Tabela 7.2 – Frequências e amplitudes mais significativas dos níveis de pressão sonora e da aceleração na direção Z no Camarote do Armador e na Praça de Máquinas. | 83 |
| Tabela 7.3 – Valores das amplitudes dos espectros cruzados nas frequências significativas referentes ao Camarote do Armador..... | 88 |
| Tabela 7.4 - Valores da amplitude da aceleração em m/s^2 na direção Z para o Camarote do Armador (Signal 3) e para a Praça de Máquinas (Signal 8). | 89 |
| Tabela 7.5 – Resumo das frequências significativas (em Hz) nos diversos caminhos analisados para o Camarote do Armador. | 90 |
| Tabela 7.6 – Frequências que se destacam no caminho estrutura–ar na Praça de Máquinas e ar-Praça de Máquinas até ar-Camarote Armador. | 91 |
| Tabela 7.7 – Frequências que se destacam no caminho estrutura-Praça de Máquinas até estrutura-Camarote do Armador e estrutura-Camarote Armador até ar-Camarote Armador. | 91 |
| Tabela 7.8 – Frequências que se destacam no caminho estrutura-Praça de Máquinas até ar-Camarote Armador. | 92 |
| Tabela 7.9 – Frequências e amplitudes mais significativas dos níveis de pressão sonora e da aceleração na direção Z no Camarote do Cozinheiro e na Praça de Máquinas. | 93 |
| Tabela 7.10 – Valores das amplitudes dos espectros cruzados analisados referentes ao Camarote do Cozinheiro..... | 95 |
| Tabela 7.11 – Resumo das frequências significativas nos diversos caminhos analisados para o Camarote do Cozinheiro..... | 96 |
| Tabela 7.12 – Frequências que se destacam no caminho estrutura–ar na Praça de Máquinas e ar-Praça de Máquinas até ar-Camarote Cozinheiro..... | 97 |
| Tabela 7.13 – Frequências que se destacam no caminho estrutura-Praça de Máquinas até estrutura-Camarote do Cozinheiro e estrutura-Camarote Cozinheiro até ar-Camarote Cozinheiro. | 98 |

| | |
|--|----|
| Tabela 7.14 – Frequências que se destacam no caminho estrutura-Praça de Máquinas até ar-Camarote Cozinheiro..... | 99 |
|--|----|

APÊNDICE A

| | |
|--|-----|
| Tabela A1.1 – Valores de pico para a velocidade da vibração em mm/s nas três direções dos arquivos correspondentes ao Camarote do Armador..... | 132 |
| Tabela A1.2 – Valores de pico para a velocidade da vibração em mm/s nas três direções dos arquivos correspondentes ao Camarote do Cozinheiro. | 132 |
| Tabela A1.3 – Valores de pico para a velocidade da vibração em mm/s nas três direções dos arquivos correspondentes à Cozinha. | 133 |
| Tabela A1.4 – Valores de pico para a velocidade da vibração em mm/s nas três direções dos arquivos correspondentes ao Refeitório. | 133 |

APÊNDICE D

| | |
|--|-----|
| Tabela D.1 – Harmônicos das frequências relativas ao motor diesel de propulsão com rotação de 1.500 RPM, oito cilindros e motor de quatro tempos..... | 143 |
| Tabela D.2 – Harmônicos das frequências relativas à caixa de redução de relação 4,9:1. 144 | |
| Tabela D.3 – Harmônicos das frequências relativas às quatro pás da hélices de propulsão .145 | |
| Tabela D.4 – Harmônicos das frequências relativas às explosões dos cilindros do motor diesel de propulsão com rotação de 1.500 RPM, oito cilindros e motor de quatro tempos..... | 145 |

APÊNDICE E

| | |
|--|-----|
| Tabela E.1 – Resumo dos critérios das normas utilizadas no trabalho..... | 146 |
|--|-----|

LISTA DE SÍMBOLOS

dB(A) – decibel na escala compensada “A”

C_n - o tempo total que o trabalhador fica exposto a um nível de ruído específico

T_n – máxima exposição diária permissível a este nível

T – duração medição [s]

L_{Aeq} – nível de pressão sonora equivalente em decibéis ponderados na escala “A” [dB(A)]

$p_a(t)$ – pressão sonora instantânea ponderada em escala A [Pa]

p_0 – pressão sonora de referência [Pa]

\log_{10} – logaritmo na base 10

a_w – aceleração compensada [m/s^2]

W_i – fator de ponderação

a_i – aceleração r.m.s.

r.m.s. – root mean square

W_d – Fator de compensação

W_k – Fator de compensação

$R_{xy}(\tau)$ – correlação cruzada

$x(t)$ – registro de um sinal no tempo

$y(t)$ – registro de um sinal no tempo

$C(t)$ – convolução de dois sinais no tempo

* - representação simbólica da convolução

$\mathfrak{F}\{R_{xy}(\tau)\}$ - transformada de Fourier da correlação cruzada

$S_{xy}(f)$ - espectro cruzado

$Y(f)$ – transformada de Fourier do sinal do tempo $y(t)$

$X(-f)$ – complexo conjugado do espectro de Fourier do sinal do tempo $x(t)$

CAPÍTULO 1 – Introdução

Este trabalho pretende dar sequência a uma linha de pesquisa desenvolvida no Grupo de Mecânica Aplicada (GMAp) voltada para a avaliação dos problemas relacionados à exposição dos seres humanos a ruído e vibrações procurando levantar dados para encontrar soluções para problemas relacionados com o conforto e a saúde das pessoas levando em conta fatores importantes da realidade local em que elas se encontram.

Entre os trabalhos desenvolvidos nesta área no GMAp podem-se citar: o de Balbinot (2001) onde foi avaliada a exposição de motoristas de ônibus urbanos à vibração ocupacional; Anflor (2002) deu início ao processo de desenvolvimento de um modelo englobando o corpo humano e um assento de motorista de ônibus utilizado pela indústria nacional, Becker (2006) desenvolveu uma mesa vibratória para estudos sobre vibração no corpo humano e realizou medidas em uma população de motoristas de ônibus ajustando um modelo biodinâmico para o grupo, Walber (2009) fez uma avaliação dos níveis de vibração existentes em passageiros de ônibus rodoviários propondo modificações de projeto nas carrocerias de ônibus.

O ruído ambiente é um problema significativo e crescente para um grande número de pessoas nos locais em que se encontram durante o seu cotidiano. Na atualidade, milhões de pessoas no mundo estão empregadas em trabalhos que podem causar problemas relacionados à saúde. A exposição a ruído, vibrações e choques mecânicos pode causar desconforto e alterações fisiológicas no corpo humano.

Como quantificar o período e também as faixas de frequência e magnitude da vibração ou nível de pressão sonora a que o indivíduo pode ficar exposto sem que ocorram danos à saúde? Em um navio em operação a tripulação fica exposta ao ruído e vibração, durante todo o percurso, gerados, principalmente, pela praça de máquinas. Este percurso pode ser muito prolongado, podendo chegar a semanas ou meses, dependendo da função do navio.

Segundo Fischer e Collier (2007), em 1999, a compensação monetária de ações trabalhistas referentes à audição pagos aos aposentados totalizaram 291,7 milhões dólares, e em 2004 esse número aumentou para 633,8 milhões dólares. A U. S. Navy and Marine Corps pagou 63,5 milhões dólares em 1999 e 158,4 milhões dólares em 2004. Este aumento exponencial neste tipo de gasto é evitável reunindo o trabalho da engenharia, segurança e as

comunidades médicas, num trabalho de prevenção, controle e tratamento acústico dos ambientes.

No ano de 2006, o Grupo de Mecânica Aplicada (GMAp) do Departamento de Engenharia Mecânica desta Universidade foi contemplado com o projeto FINEP 01.06.0813-00 – CT - AQUA, que junto com a empresa Navegação Guarita vem desenvolvendo o projeto “Critérios de Determinação da Idade Equivalente de Embarcações de Navegação Interior Regional com Ênfase às que Transportam Produtos Perigosos”.

Neste projeto foram realizados diversos tipos de medições no navio GUARITA, que transporta produtos petroquímicos. A Figura 1.1 mostra o navio.



Figura 1.1 – Vista do navio GUARITA.

É sem dúvida de grande importância para o Brasil a função que cumpre a frota mercante na sustentação da sua economia. Existe a necessidade do transporte de cargas, empregando embarcações com maior capacidade, que incorporam características especiais para atender às normas de segurança, como as relativas aos produtos perigosos.

Na Região Sul do país há uma significativa movimentação de cargas perigosas através da navegação interior, utilizando a Bacia do Sul, ver a Figura 1.2, a qual possui grande importância para a economia do Estado e conseqüentemente do País.

Ela constitui a única bacia hidrográfica estadual ligada a um importante porto marítimo nacional (Rio Grande), além da proximidade que tem com os portos da Argentina e do Uruguai (portos internacionais). A Bacia do Sul é composta pelos rios Jacuí e Taquari e pelas Lagoas Mirim e dos Patos, possui 1.300 km de extensão e apresenta movimentação de mais de 700 milhões de toneladas de carga por ano.



Figura 1.2 – Bacia do Sul

A estrutura da demanda regional por transporte, das cargas que se dirigem ao Porto de Rio Grande, ou que nele se originam, caracteriza-se pelos seguintes segmentos:

- Combustíveis derivados de petróleo (carga perigosa)
- Granéis sólidos

- Óleos vegetais
- Produtos petroquímicos (carga perigosa)
- Carga geral unitizada (“containers”, por exemplo)

Pode-se enumerar entre as cargas perigosas transportadas em esta bacia: Benzeno, Tolueno, Xileno, Etil-Benzeno, Metanol, MTBE, MEK, Estireno, Nafta e Gasolina A.

Pretende-se neste trabalho comparar as medições de nível de pressão sonora e aceleração da vibração realizadas em acomodações do navio com normas regulamentadoras nacionais e internacionais referentes a ruído e vibração para descobrir se o navio encontra-se dentro de critérios aceitáveis em termos de ruído e vibração.

Utilizando essas mesmas medições serão definidos caminhos de propagação das ondas sonoras e vibratórias desde o local da origem dessas ondas (Praça de Máquinas), até o Camarote do Armador e do Cozinheiro, locais onde a tripulação descansa.

Com a identificação dos caminhos de propagação e das frequências que são propagadas apresentam-se possíveis tratamentos acústicos que podem ser adotados para diminuir os níveis de ruído e vibração dentro do navio para que o mesmo possa atender aos limites das normas que venham a ser excedidos.

O trabalho encontra-se organizado da seguinte forma: no Capítulo 2 são apresentadas as normas nacionais e internacionais referentes a ruído e vibração que serão analisadas para ver se o navio apresenta níveis elevados em termos dessas grandezas físicas. No Capítulo 3 descrevem-se as principais fontes de ruído e vibração que ocorrem em navios. No Capítulo 4 realizou-se uma descrição detalhada do navio em estudo. No Capítulo 5 explica-se como foram realizadas as medidas de ruído e vibração no interior do navio. No Capítulo 6 mostram-se os resultados obtidos na comparação das medidas realizadas com os valores limites das normas. No Capítulo 7 definem-se quais são os caminhos de propagação das ondas sonoras e vibratórias e definem-se quais são as frequências que se propagam por esses caminhos. No Capítulo 8 apresentam-se os possíveis tratamentos acústicos que poderiam realizar-se para diminuir os níveis de ruído e vibração nas acomodações do navio. No Capítulo 9 apresentam-se as conclusões do trabalho.

CAPÍTULO 2 – Ruído e Vibrações no Corpo Humano

Neste capítulo são apresentados diversos assuntos com relação ao efeito da exposição do corpo humano ao ruído e vibrações provocados por meio de transportes, mais especificamente em navios.

2.1 - Introdução

A vibração no corpo humano é definida como toda a vibração produzida por um evento externo, atuando no corpo humano. Por exemplo, quando o corpo está sobre uma superfície que está vibrando: em pé num ônibus, ou em pé na praça de máquinas de um navio. Pode-se dizer que todo meio de transporte, tanto de carga como de pessoas, em menor ou maior escala, geram vibrações que são absorvidas pelo corpo humano.

No caso de um navio a Praça de Máquinas, que possui o sistema de propulsão (motores diesel, caixa de redução, eixo e hélice) e todo o maquinário auxiliar (motor e gerador de energia elétrica, bombas, etc.) para mantê-lo em operação, produz a vibração e o ruído que se propaga por todo o navio. O tipo de embarcação em estudo é a ré, ou seja, toda a superestrutura do navio (local onde ficam os camarotes, banheiros, cozinha, refeitório e sala de comando) encontra-se acima da Praça de Máquinas. Isso significa que a fonte de ruído e vibração está muito próxima das pessoas.

A repetição diária das exposições a vibrações no local de trabalho pode levar a modificações fisiológicas das partes do corpo atingidas. As oscilações verticais, que penetram no corpo que está sentado ou de pé sobre bases vibratórias (veículos), levam predominantemente a manifestações de desgaste na coluna vertebral.

As consequências das vibrações mecânicas transmitidas a todo o corpo refletem-se, sobretudo ao nível da coluna vertebral com o aparecimento de hérnias, lombalgias, etc. e podem ser classificadas em duas categorias correspondentes a duas classes de frequências vibratórias:

a) As vibrações de muito baixas frequências (inferiores a 1 Hz) o mecanismo de ação destas vibrações centra-se nas variações de aceleração provocadas no aparelho vestibular do ouvido, que se manifesta por náuseas e por vômitos.

b) As vibrações de baixas e médias frequências (de alguns Hertz a algumas dezenas de Hertz) correspondem perturbações de tipos diferentes:

- Patologias diversas ao nível da coluna vertebral;
- Alterações do aparelho digestivo: hemorróidas, dores abdominais, constipação;
- Perturbação de visão, da função respiratória e, mais raramente, da função cardiovascular;
- Inibição de reflexos.

O corpo humano é uma complexa estrutura biomecânica, e, a sensibilidade à vibração, pode envolver diversos fatores, tais como, postura, tensão muscular, frequência, amplitude e direção da vibração, além da duração e a dose da exposição. A Tabela 2.1 apresenta uma comparação de regiões sensíveis às vibrações e suas principais fontes geradoras.

Tabela 2.1 – Sensibilidade do corpo humano às vibrações

| Frequência (Hz) | Sensibilidade | Fontes de vibração |
|-----------------|------------------------------------|---------------------------------|
| 0 a 2 | Sistema vestibular (equilíbrio) | Barcos, veículos, aeronaves |
| 2 a 30 | Biomecânica,; ressonância do corpo | Veículos, aeronaves, guindastes |
| > 20 | Músculos, tendões e pele | Ferramentas e máquinas |

Fonte – Chaffin ET AL., 1999.

O ruído afeta o organismo humano de várias maneiras, causa prejuízos não só ao funcionamento do sistema auditivo como o comprometimento da atividade física, fisiológica e mental do indivíduo a ele exposto. São conhecidos sérios efeitos tais como: aceleração da pulsação, aumento da pressão sanguínea e estreitamento dos vasos sanguíneos.

Um longo tempo de exposição a ruído alto pode causar sobrecarga do coração causando secreções anormais de hormônios e tensões musculares, conforme mostra a Figura

2.1. O efeito destas alterações aparece em forma de mudanças de comportamento, tais como: nervosismo, fadiga mental, frustração, prejuízo no desempenho no trabalho, provocando também altas taxas de ausência no trabalho. Existem queixas de dificuldades mentais e emocionais que aparecem como irritabilidade, fadiga e mau-ajustamento em situações diferentes e conflitos sociais entre operários expostos ao ruído (Gerges, 1992).

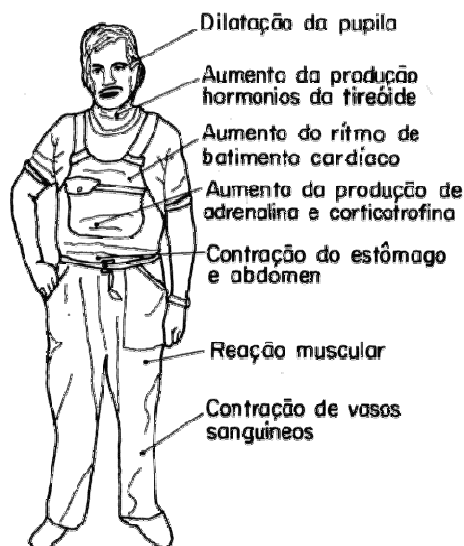


Figura 2.1 – Possíveis efeitos do ruído no organismo humano (Gerges, 1992).

2.2 – Critérios para medição e avaliação de ruído e vibrações no corpo humano.

Uma norma é um documento estabelecido por consenso e aprovado por um organismo reconhecido, que fornece regras, linhas, diretrizes ou características, para atividades ou seus resultados, garantindo um nível de ordem ótimo num dado contexto.

Para o foco de este trabalho serão utilizadas normas que regulamentam e fornecem orientações sobre procedimentos obrigatórios relacionados à medicina e segurança no trabalho.

As normas nacionais utilizadas neste estudo serão a NR-15 – Atividades e operações insalubres - Norma regulamentadora do Ministério do Trabalho, Norma de Higiene Ocupacional – Avaliação da Exposição Ocupacional ao Ruído da FUNDACENTRO (NHO 01), Curvas de avaliação de ruído (NC) da NBR 10152:1987 – “Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento” da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e as normas internacionais serão o Code on Noise

Levels on Board Ships – Resolution A.468(XII) – 1981 da International Maritime Organization (IMO), a norma COMFORT CLASS – Parte 5 – Capítulo 12 da Det Norske Veritas, Curvas de avaliação de ruído (NR) da ISO 1996-2:2003 – “Description, measurement and assessment of environmental noise - Part 2 – Determination of environmental noise levels” e a Norma ISO 6954:2000 – Mechanical vibration – Guidelines for the measurement, reporting and evaluation of vibration with regard to hability on passenger and Merchant ships.

2.2.1 - Normas Regulamentadoras do Ministério do Trabalho

As Normas Regulamentadoras, também conhecidas como NRs, regulamentam e fornecem orientações sobre procedimentos obrigatórios relacionados à medicina e segurança no trabalho no Brasil.

As NRs que estão relacionadas direta ou indiretamente com o trabalhador marítimo são:

- NR-15 – Atividades e operações insalubres,
- NR 20 - Líquidos combustíveis e inflamáveis,
- NR-29 – Norma regulamentadora de segurança e saúde no trabalho portuário,
- NR-30 – Norma regulamentadora de segurança e saúde no trabalho aquaviário.

Neste trabalho utilizaremos a NR-15 – Atividades e operações insalubres, e mais especificamente o Anexo 1 – Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente e o Anexo 8 – Vibrações.

A NR-15 apresenta no Anexo 1 uma tabela com os limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente, como mostra a Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente

| Nível de ruído dB(A) | Máxima exposição diária permissível |
|-----------------------------|--|
| 85 | 8 horas |
| 86 | 7 horas |
| 87 | 6 horas |
| 88 | 5 horas |

| Nível de ruído dB(A) | Máxima exposição diária permissível |
|-----------------------------|--|
| 89 | 4 horas e 30 minutos |
| 90 | 4 horas |
| 91 | 3 horas e 30 minutos |
| 92 | 3 horas |
| 93 | 2 horas e 40 minutos |
| 94 | 2 horas e 15 minutos |
| 95 | 2 horas |
| 96 | 1 hora e 45 minutos |
| 98 | 1 hora e 15 minutos |
| 100 | 1 hora |
| 102 | 45 minutos |
| 104 | 35 minutos |
| 105 | 30 minutos |
| 106 | 25 minutos |
| 108 | 20 minutos |
| 110 | 15 minutos |
| 112 | 10 minutos |
| 114 | 8 minutos |
| 115 | 7 minutos |

O anexo 1 da NR-15 trás também as seguintes considerações:

Entende-se por ruído contínuo ou intermitente, o ruído que não seja ruído de impacto.

Os níveis de ruído contínuo ou intermitente devem ser medidos em decibéis (dB) com instrumento de nível de pressão sonora operando no circuito de compensação “A” e circuito de resposta lenta (“*slow*”). As leituras devem ser feitas próximas ao ouvido do trabalhador. Não é permitida exposição a níveis de ruído acima de 115dB(A) para indivíduos que não estejam adequadamente protegidos.

As atividades ou operações que exponham os trabalhadores a níveis de ruído, contínuo ou intermitente, superiores a 115dB(A), sem proteção adequada, oferecerão risco grave e iminente.

Se durante a jornada de trabalho ocorrerem dois ou mais períodos de exposição a ruído de diferentes níveis, devem ser considerados os seus efeitos combinados, de forma que, se a soma das seguintes frações:

$$\frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \frac{C_3}{T_3} + \dots + \frac{C_n}{T_n} \quad (2.1)$$

exceder a unidade, a exposição estará acima do limite de tolerância.

C_n indica o tempo total que o trabalhador fica exposto a um nível de ruído específico, e T_n indica a máxima exposição diária permissível a este nível, segundo a Tabela 2.2 anterior.

No Anexo 8 a norma prevê que as atividades e operações que exponham os trabalhadores, sem a proteção adequada, às vibrações localizadas ou de corpo inteiro, serão caracterizadas como insalubres, através de perícia realizada no local de trabalho.

A perícia, visando a comprovação ou não da exposição, deve tomar por base os limites de tolerância definidos pela Organização Internacional para a Normalização - ISO, em suas normas ISO 2631 - Guia para avaliação da exposição humana à vibrações de corpo inteiro e ISO/DIS 5349 - Guia para medição e avaliação da exposição humana à vibrações transmitida à mão ou suas substitutas

2.2.2 – Norma de Higiene Ocupacional – Avaliação da Exposição Ocupacional ao Ruído – NHO 01 da FUNDACENTRO do Ministério do Trabalho

Esta norma técnica tem por objetivo estabelecer critérios e procedimentos para a avaliação da exposição ocupacional ao ruído, que implique risco potencial de surdez ocupacional.

A norma aplica-se à exposição ocupacional a ruído contínuo ou intermitente e a ruído de impacto, em quaisquer situações de trabalho, contudo não está voltada para a caracterização das condições de conforto acústico.

2.2.2.1 - Definições importantes:

- Ciclo de Exposição: conjunto de situações acústicas ao qual é submetido o trabalhador, em sequência definida, e que se repete de forma contínua no decorrer da jornada de trabalho.

- Dose: parâmetro utilizado para a caracterização da exposição ocupacional ao ruído, expresso em porcentagem de energia sonora, tendo por referência o valor máximo da energia sonora diária admitida, definida com base em parâmetros preestabelecidos.

- Dose Diária: dose referente à jornada diária de trabalho.

- Incremento de Duplicação de Dose (q): incremento em decibéis que, quando adicionado a um determinado nível, implica a duplicação da dose de exposição ou redução para a metade do tempo máximo permitido.

- Limite de Exposição: parâmetro de exposição ocupacional que representa condições sob as quais se acredita que a maioria dos trabalhadores possa estar exposta, repetidamente, sem sofrer efeitos adversos à sua capacidade de ouvir e entender uma conversação normal.

- Ruído Contínuo ou Intermitente: todo e qualquer ruído que não está classificado como ruído de impacto ou impulsivo.

- Ruído de Impacto ou Impulsivo: ruído que apresenta picos de energia acústica de duração inferior a 1 (um) segundo, a intervalos superiores a 1 (um) segundo.

2.2.2.2 – Critérios de Avaliação da Exposição Ocupacional ao Ruído Contínuo ou Intermitente

O critério de referência que embasa os limites de exposição diária adotados para ruído contínuo ou intermitente corresponde a uma dose de 100% para exposição de 8 (oito) horas ao nível de 85 dB(A).

O critério de avaliação considera, além do critério de referência, o incremento de duplicação de dose (q) igual a 3 e o nível limiar de integração igual a 80 dB(A).

O tempo máximo diário de exposição permissível em função do nível de ruído é mostrado na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Tempo máximo diário de exposição permissível em função do nível de ruído.

| Nível de ruído – dB(A) | Tempo máximo diário permissível – minutos |
|-------------------------------|--|
| 80 | 1.523,90 |
| 81 | 1.209,52 |
| 82 | 960,00 |
| 83 | 761,95 |
| 84 | 604,76 |
| 85 | 480,00 |
| 86 | 380,97 |
| 87 | 302,38 |
| 88 | 240,00 |
| 89 | 190,48 |
| 90 | 151,19 |
| 91 | 120,00 |
| 92 | 95,24 |
| 93 | 75,59 |
| 94 | 60,00 |
| 95 | 47,62 |
| 96 | 37,79 |
| 97 | 30,00 |
| 98 | 23,81 |
| 99 | 18,89 |
| 100 | 15,00 |
| 101 | 11,90 |
| 102 | 9,44 |
| 103 | 7,50 |

| Nível de ruído – dB(A) | Tempo máximo diário permissível – minutos |
|-------------------------------|--|
| 104 | 5,95 |
| 105 | 4,72 |
| 106 | 3,75 |
| 107 | 2,97 |
| 108 | 2,36 |
| 109 | 1,87 |
| 110 | 1,48 |
| 111 | 1,18 |
| 112 | 0,93 |
| 113 | 0,74 |
| 114 | 0,59 |
| 115 | 0,46 |

2.2.3 – Curvas de avaliação de ruído (NC) e (NR) da NBR 10152:1987 – “Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento” da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e ISO 1996-2:2003 – “Description, measurement and assessment of environmental noise - Part 2 – Determination of environmental noise levels”

A NBR 10152:1987 – “Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento” da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) fixa os níveis de ruído compatíveis com o conforto acústico em ambientes diversos. Para tanto fornece valores dB(A) e NC para avaliar níveis de ruído para conforto acústico conforme a Tabela 2.4.

Tabela 2.4 – Valores dB(A) e NC.

(Fonte: NBR 10152:1987 - Acústica, Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento)

| Locais | dB(A) | NC |
|---|---------|---------|
| Hospitais | | |
| Apartamentos, Enfermarias, Berçários, Centros cirúrgicos | 35 - 45 | 30 - 40 |
| Laboratórios, Áreas para uso do público | 40 - 50 | 35 - 45 |
| Serviços | 45 - 55 | 40 - 50 |
| Escolas | | |
| Bibliotecas, Salas de música, Salas de desenho | 35 - 45 | 30 - 40 |
| Salas de aula, Laboratórios | 40 - 50 | 35 - 45 |
| Circulação | 45 - 55 | 40 - 50 |
| Hotéis | | |
| Apartamentos | 35 - 45 | 30 - 40 |
| Restaurantes, Salas de Estar | 40 - 50 | 35 - 45 |
| Portaria, Recepção, Circulação | 45 - 55 | 40 - 50 |
| Residências | | |
| Dormitórios | 35 - 45 | 30 - 40 |
| Salas de estar | 40 - 50 | 35 - 45 |
| Auditórios | | |
| Salas de concertos, Teatros | 30 - 40 | 25 - 30 |
| Salas de conferências, Cinemas, Salas de uso múltiplo | 35 - 45 | 30 - 35 |
| Restaurantes | 40 - 50 | 35 - 45 |
| Escritórios | | |
| Salas de reunião | 30 - 40 | 25 - 35 |
| Salas de gerência, Salas de projetos e de administração | 35 - 45 | 30 - 40 |
| Salas de computadores | 45 - 65 | 40 - 60 |
| Salas de mecanografia | 50 - 60 | 45 - 55 |
| Igrejas e Templos (Cultos meditativos) | 40 - 50 | 35 - 45 |
| Locais para esporte | | |
| Pavilhões fechados para espetáculos e atividades esportivas | 45 - 60 | 40 - 55 |

Nesta tabela, o valor inferior da faixa representa o nível sonoro para conforto, enquanto o valor superior significa o nível sonoro aceitável para a finalidade. Níveis superiores aos estabelecidos nesta norma são considerados de desconforto, sem necessariamente implicar risco de dano à saúde.

Para levar em conta a análise de frequências incluíram-se na norma várias curvas de avaliação de ruído (NC) mostradas na Figura 2.2.

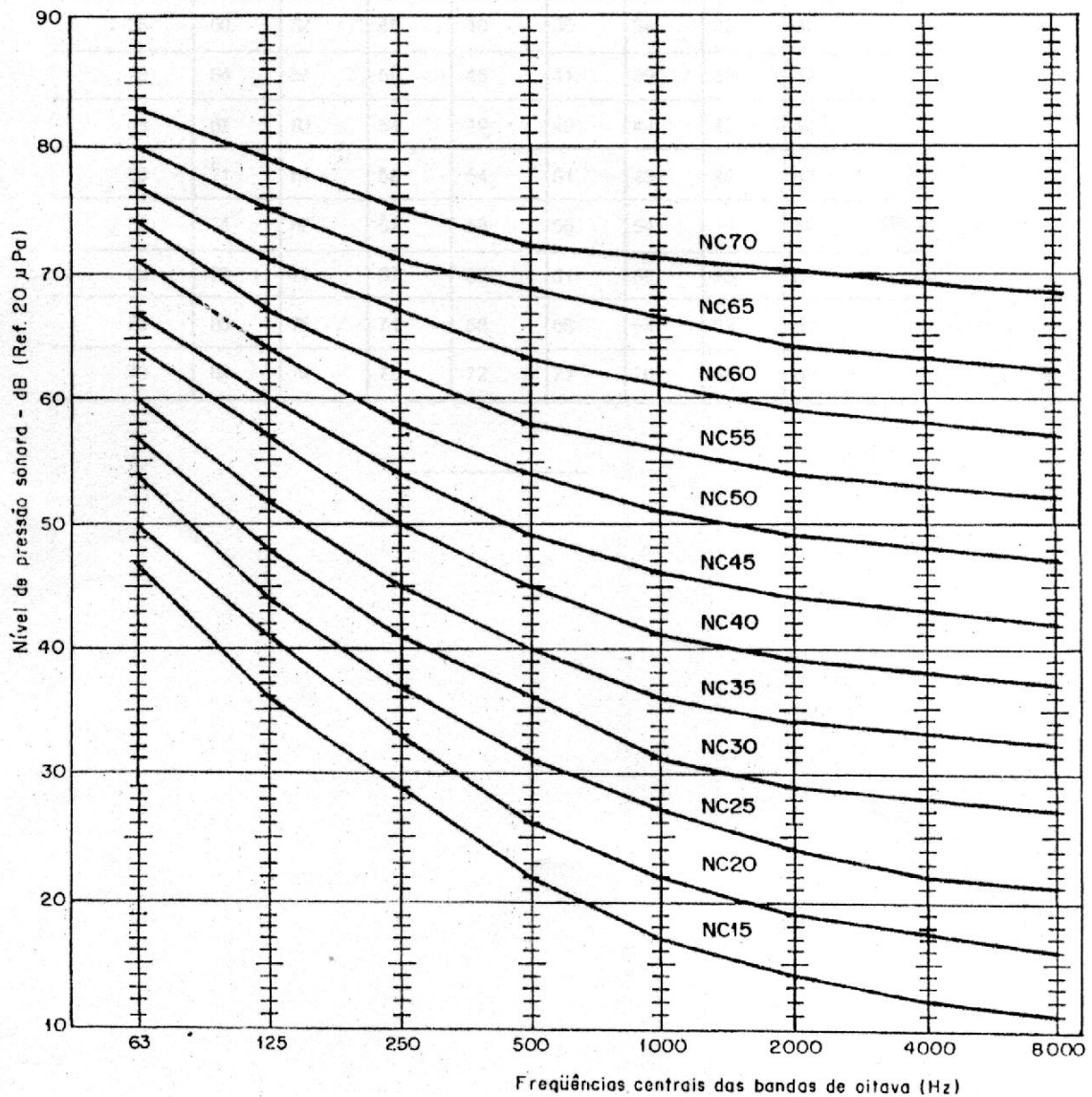


Figura 2.2 – Curvas de avaliação de ruído (NC)

(Fonte: NBR 10152:1987 – Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento)

A norma equivalente da ISO é a norma ISO 1996-2:2003 – “Description, measurement and assessment of environmental noise - Part 2 – Determination of environmental noise levels” fornece as curvas NR – (Noise Rating). Na Tabela 2.5 mostram-se os valores NR e na Figura 2.3 as curvas de avaliação de ruído (NR).

Tabela 2.5 – Valores NR.

(ISO 1996-2:2003 – “Description, measurement and assessment of environmental noise - Part 2 – Determination of environmental noise levels”)

| Curva de Avaliação de Ruído | Locais |
|------------------------------------|---|
| NR 25 | Sala de concertos, estúdios de música ou rádio, igrejas |
| NR 30 | Residências particulares, hospitais, teatros, cinemas, salas de conferências |
| NR 35 | Livrarias, museus, salas de tribunais, hotéis, escritórios de executivos |
| NR 40 | Saguão, corredores, vestiários, restaurantes, clubes noturnos, lojas, escritórios |
| NR 45 | Armazéns, supermercados, cantinas, escritórios públicos |
| NR 50 | Piscinas, escritórios com máquinas em funcionamento |
| NR 60 | Trabalhos leves em engenharia |
| NR 70 | Fundições, trabalhos pesados em engenharia |

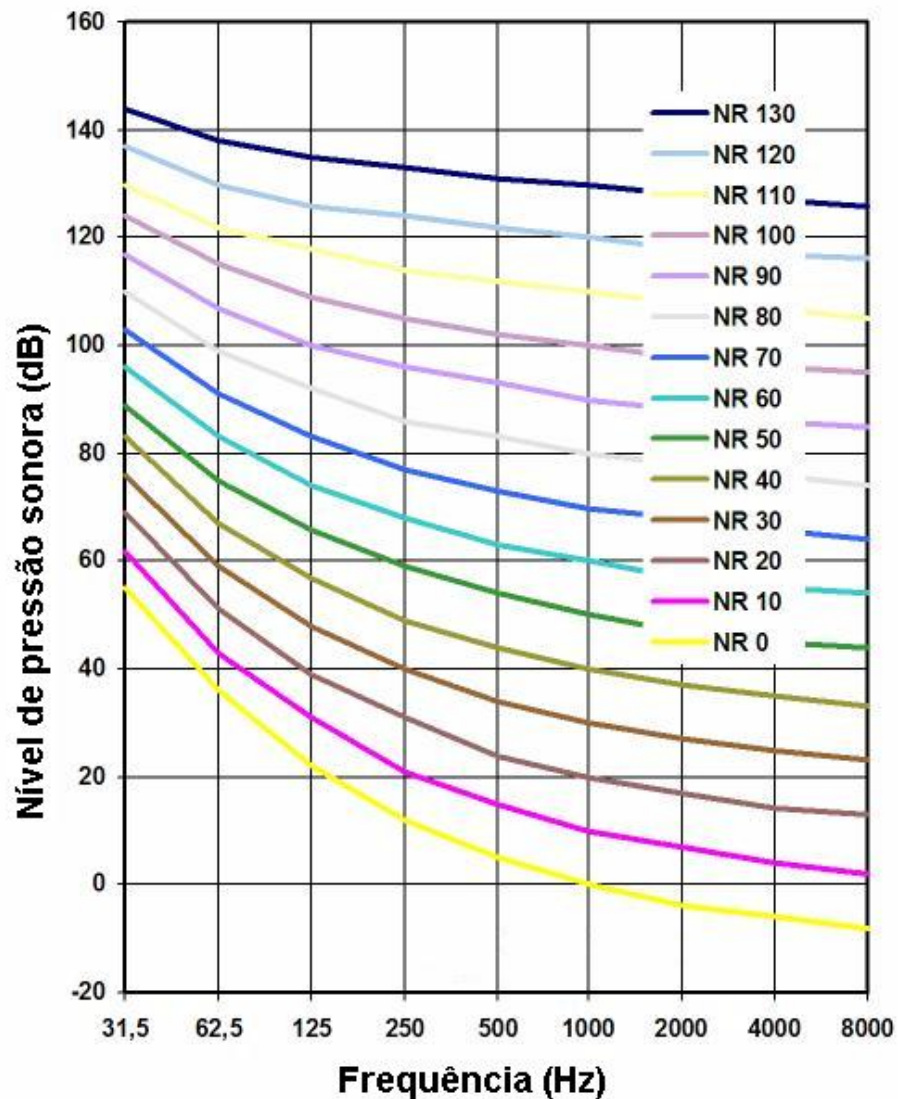


Figura 2.3 – Curvas de avaliação de ruído (NR)

(Fonte: ISO 1996-2:2003 – “Description, measurement and assessment of environmental noise - Part 2 – Determination of environmental noise levels”)

2.2.4 - Code on Noise Levels on Board Ships – Resolution A.468(XII) – 1981 da International Maritime Organization (IMO)

O código foi projetado para fornecer limites para prevenir a ocorrência de níveis de ruído potencialmente perigosos a bordo de navios e de fornecer padrões para um ambiente aceitável para a tripulação e os passageiros dos navios.

Os limites previstos devem ser considerados como limites máximos e não como níveis desejáveis. Sempre que possível, é interessante que o nível de ruído seja inferior aos níveis máximos especificados. O limite especificado para qualquer lugar de trabalho pode ser avaliado pelo nível de pressão sonora ponderado com a curva A medido para o local em estudo.

Nos espaços com níveis de ruído superiores a 85 dB(A) as pessoas devem ser obrigadas a usar protetores auriculares.

Em acomodações onde os limites de dB(A) são excedidos ou onde existe um som de baixa frequência subjetivamente irritante ou sons com componentes tonais, devem ser determinadas as curvas de avaliação de ruído (NR – “Noise Rating”) segundo a ISO 1996-2:2003 – “Description, measurement and assessment of environmental noise - Part 2 – Determination of environmental noise levels”. Os limites especificados podem ser considerados como satisfeitos se as curvas de avaliação de ruído (NR) não ultrapassarem numericamente o valor ponderado pela escala A menos 5. As curvas de avaliação de ruído, tanto da ABNT, como ISO, foram apresentadas no item anterior.

2.2.4.1 - Limites de níveis sonoros

Os limites para níveis de ruído são especificados para vários espaços da seguinte forma pela International Maritime Organization (IMO), como mostra a Tabela 2.6:

Tabela 2.6 – Limites dos níveis de ruído para diversos espaços nos navios.

| Espaços de trabalho | dB(A) |
|---|--------------|
| Praça de Máquinas (exposição contínua) ** | 90 |
| Praça de Máquinas (exposição não contínua) ** | 110 |
| Espaços de navegação | dB(A) |
| Sala de comando ou navegação | 65 |
| Espaços de acomodação | dB(A) |
| Camarotes | 60 |
| Refeitórios | 65 |
| Espaços de serviço ** | dB(A) |

| Espaços de trabalho | dB(A) |
|---|--------------|
| Cozinha, sem equipamentos operando | 75 |
| Despensas | 75 |
| Espaços normalmente não ocupados | dB(A) |
| Espaços não especificados | 90 |

** Protetor auricular deve ser usado quando o nível de ruído for acima de 85 dB(A).

2.2.4.2 - Limites de exposição sonora

Os limites de nível sonoro definidos anteriormente são concebidos de forma a que, se forem cumpridos, os marítimos não serão expostos a um L_{eq} (24) superior a 80 dB(A), ou seja, dentro de cada dia ou período de 24 horas de exposição ao ruído o nível de pressão sonora equivalente não ultrapasse 80 dB(A).

Em espaços com níveis de pressão sonora superior a 85 dB(A), será necessária a utilização adequada de protetores auriculares, caso contrário, deverão aplicar-se os limites de tempo de exposição para garantir que um nível equivalente de proteção seja mantido.

2.2.4.3 - Limites de exposição da tripulação a elevados níveis de ruído

A tripulação não deve ser exposta aos níveis de ruído em excesso e às durações mostradas na Figura 2.4 e descritas a seguir:

- Máxima exposição sem proteção (Zona E)

Para exposições de menos de 8 (oito) horas, os tripulantes sem proteção auricular não devem ser expostos a níveis de ruído superiores a 85 dB(A). Quando os marítimos permanecerem por mais de 8 (oito) horas em locais com um nível de ruído elevado, o L_{eq} (24) em 80 dB(A) não deve ser excedido. Consequentemente, durante pelo menos um terço de cada 24 horas cada marinheiro deve estar sujeito a um ambiente com um nível de ruído não superior a 75 dB(A).

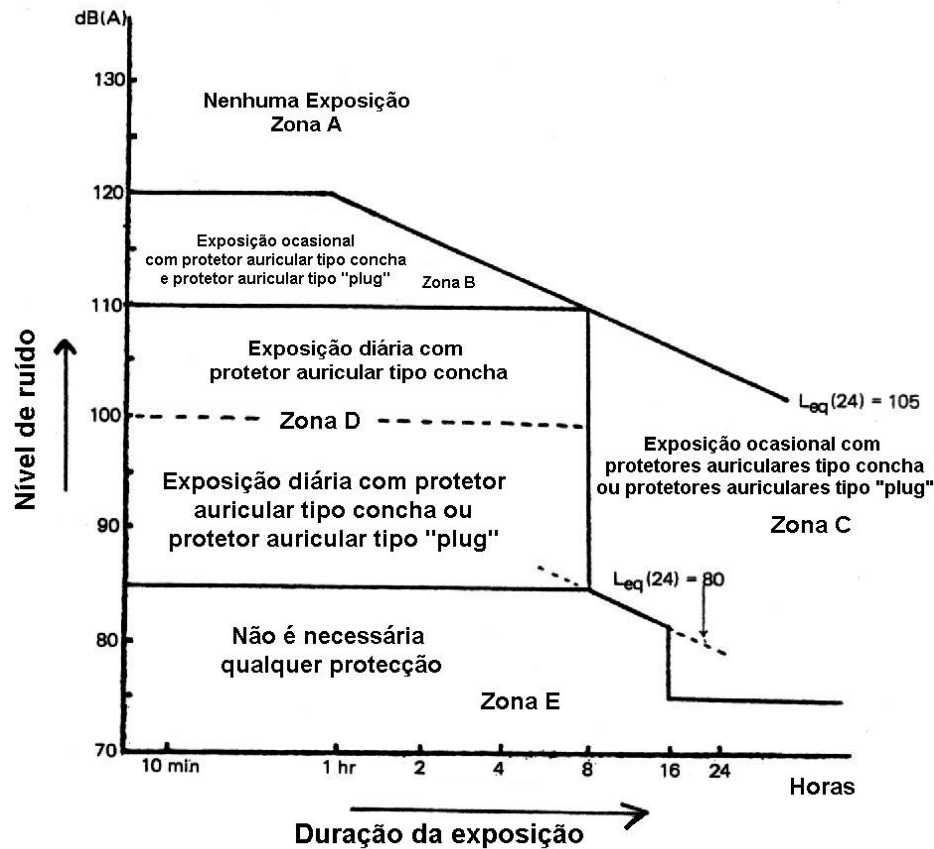


Figura 2.4 - Zonas de exposição ao ruído diárias admissíveis.

- Máxima exposição com proteção (Zona A)

Nenhum marinheiro mesmo usando protetores auriculares deve ser exposto a níveis de ruído superiores a 120 dB(A) ou a um $L_{eq}(24)$ superior a 105 dB(A).

- Exposição diária (Zona D)

Se o marítimo trabalhar rotineiramente em espaços com níveis de ruído na zona D protetores auriculares devem ser usados e um programa de conservação auditiva pode ser implementado.

- Exposição ocasional (Zona B)

Apenas exposições ocasionais devem ser permitidas na zona B e ambos protetores auriculares em forma de concha (Figura 2.5) e tipo “plug” (Figura 2.6) devem ser utilizados, a

menos que a duração da exposição seja restrita a não mais de 10 minutos, quando apenas o protetor auricular tipo concha ou o tipo “plug” poderá ser utilizado.



Figura 2.5 – Protetor auricular tipo concha.



Figura 2.6 – Protetor auricular tipo “plug”.

- Exposição ocasional (Zona C)

Na zona C para exposições ocasionais devem ser utilizados protetores auriculares em forma de concha ou tipo “plug”.

2.2.4.4 - Definições da norma:

- Nível de pressão sonora equivalente em decibéis ponderados em “A” (L_{Aeq}):

É o valor do nível de pressão sonora equivalente ponderado em decibéis A de um ruído uniforme que, no intervalo de tempo T, tem o mesmo valor eficaz da pressão sonora do ruído considerado cujo nível varia em função do tempo.

$$L_{Aeq} = 10 \log_{10} \frac{1}{T} \int_0^T \frac{(p_a(t))^2}{p_0^2} .dt \quad (2.2)$$

onde: T é o intervalo de tempo da medida

$p_a(t)$ pressão sonora instantânea ponderada na escala A

$p_0 = 20 \times 10^{-6}$ Pa (pressão sonora de referência)

2.2.5 - COMFORT CLASS – Parte 5 – Capítulo 12 da Det Norske Veritas

As regras neste capítulo descrevem os requisitos de ruído, vibração e climatização interior a bordo de navios relacionados com o conforto.

Os critérios de ruído e vibração são divididos em três grupos dependendo do nível de conforto alcançado, ou seja, Número de Classificação do Conforto (NCC) 1, 2 ou 3, onde NCC 1 representa o maior nível de conforto, NCC 3 representa um aceitável nível de conforto.

O maior NCC alcançado pelo quesito ruído ou vibração determinará o NCC global da classificação do navio em termos de ruído e vibração. Por exemplo, uma embarcação que tenha CNN 2 para vibração e CNN 1 para ruído obterá uma classificação CNN 2 para o navio.

2.2.5.1 - Critérios para ruído

O nível máximo permitido para os diferentes níveis de ruído e conforto nas diferentes localidades dos navios são apresentadas na Tabela 2.7:

Tabela 2.7 – Navios de Carga¹⁾ –

Acomodações da tripulação – Níveis de ruído em dB(A)

| Localidade | Número de Classificação do Conforto | | |
|---------------|-------------------------------------|----|----|
| | 1 | 2 | 3 |
| Leme | 60 | 60 | 65 |
| Sala de rádio | 55 | 55 | 60 |

| Localidade | Número de Classificação do Conforto | | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|----|----|
| | 1 | 2 | 3 |
| Camarotes tripulação | 50 | 55 | 60 |
| Espaços públicos da tripulação | 55 | 60 | 65 |
| Hospital | 55 | 55 | 60 |
| Escritórios | 60 | 60 | 65 |
| Sala de controle do motor | 70 | 70 | 75 |
| Pavimento descoberto para recreação | 70 | 70 | 75 |

1) Para áreas de trabalho e sala de máquinas tomar como referência IMO – Code on Noise Levels on Board Ships – Resolution A.468(XII) - 1981

2.2.5.2 - Critérios para vibração

Os critérios de vibração são apresentados na Tabela 2.8.

Os limites de vibrações são indicados em termos da velocidade de vibração, com os valores de pico da amplitude. Se os valores medidos forem em RMS (Root Mean Square), cada componente de frequência deverá ser convertido em valor de pico de amplitude multiplicando por $\sqrt{2}$.

Tabela 2.8 – Navios de Carga –

Acomodações da tripulação e áreas de trabalho – Níveis de vibração em mm/s pico para componentes de frequência entre 5 e 100 Hz ¹⁾

| Localidade | Número de Classificação do Conforto | | |
|-------------------|-------------------------------------|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 |
| Camarotes | 2,5 | 3,5 | 5,0 |
| Sala de recreação | 2,5 | 3,5 | 5,0 |
| Escritórios | 2,5 | 3,5 | 5,0 |
| Sala de comando | 2,5 | 3,5 | 5,0 |

| Localidade | Número de Classificação do Conforto | | |
|-------------------|-------------------------------------|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 |
| Salas de controle | 3,5 | 4,5 | 6,0 |
| Áreas de trabalho | 3,5 | 4,5 | 6,0 |

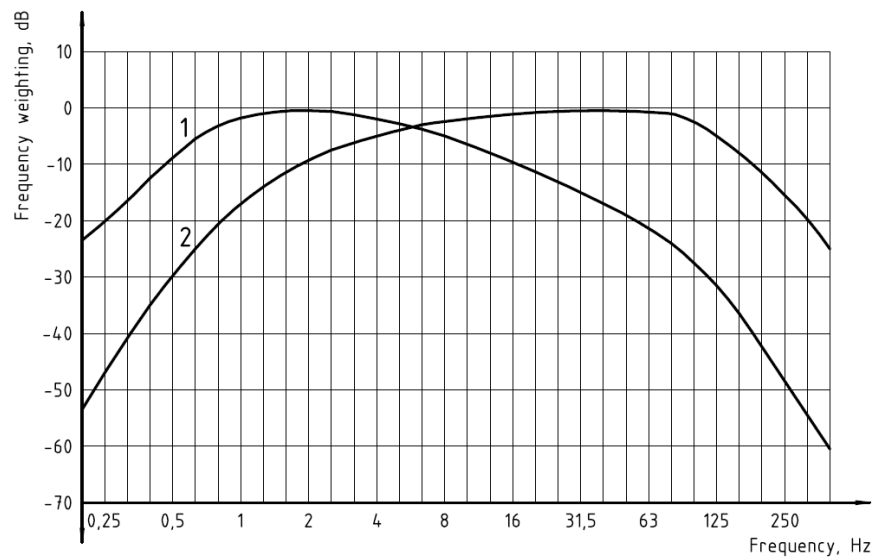
1) Para frequências abaixo de 5 Hz o requerimento a seguir é considerar constante a curva de aceleração correspondente à aceleração de 5 Hz.

2.2.6 - ISO 6954, 2000 – Mechanical vibration – Guidelines for the measurement, reporting and evaluation of vibration with regard to habitability on passenger and merchant ships

Esta Norma Internacional fornece as diretrizes para a avaliação das diferentes áreas de habitabilidade a bordo de um navio tanto de passageiros como mercante. A habitabilidade é avaliada na faixa de frequência entre 1 Hz a 80 Hz. As medições são realizadas em três direções (longitudinal, transversal e vertical).

Será aplicada a todas as medições a curva de ponderação da frequência de acordo com a norma ISO 2631-1 Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part1: General requirements, independentemente da sua direção. Na Figura 2.7 encontra-se a curva de ponderação.

A faixa de frequência a ser avaliada é de 1 Hz a 80 Hz. A duração da medição deve ser de no mínimo de 1 minuto. Se existem elementos significativos na gama de frequência abaixo de 2 Hz, é necessária uma duração mínima de 2 minutos de medição.



1 – Curva de compensação para a aceleração

2 – Curva de compensação para a velocidade

Figura 2.7 – Curva de ponderação da frequência de acordo com a norma ISO 2631-1
Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration –
Part1: General requirements.

O resultado de cada medição deve ser no valor da frequência ponderada global (r.m.s.), tal como definido para a aceleração na norma ISO 2631-1 Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part1: General requirements.

$$a_w = \left[\sum_i (W_i a_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.3)$$

onde:

- a_w é a aceleração ponderada
- W_i é o fator de ponderação para o i -ésimo terço de banda de oitava dado nas

Tabelas 2.9 e 2.10.

- a_i é o valor r.m.s. da aceleração para o i -ésimo terço de banda de oitava

Tabela 2.9 – Guia para aplicação de ponderações

(Fonte norma ISO 2631-1 Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part1: General requirements).

| Fator de compensação | Saúde | Conforto | Percepção (fadiga) |
|-----------------------------|--------------------------------------|--|--|
| W_k | Eixo z – sentado | Eixo z – sentado Eixo z – em pé | Eixo z – sentado Eixo z – em pé |
| W_d | Eixo x – sentado Eixo y - sentado | Eixo x – sentado Eixo y – sentado Eixo x,y – deitado Eixo y,z – encosto atrás | Eixo x – sentado Eixo y – sentado Eixo x – em pé Eixo y – em pé |

Tabela 2.10 – Compensações (fatores de compensação: W_k e W_d) em um terço de oitava.

(Fonte norma ISO 2631-1 Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part1: General requirements).

| <i>Frequência f [Hz]</i> | <i>W_k ($\times 10^3$)</i> | <i>W_d ($\times 10^3$)</i> | <i>Frequência f [Hz]</i> | <i>W_k ($\times 10^3$)</i> | <i>W_d ($\times 10^3$)</i> |
|------------------------------|--|--|------------------------------|--|--|
| 1 | 482 | 1011 | 10 | 988 | 212 |
| 1,25 | 484 | 1008 | 12,5 | 902 | 161 |
| 1,6 | 494 | 968 | 16 | 768 | 125 |
| 2 | 531 | 890 | 20 | 636 | 100 |
| 2,5 | 631 | 776 | 25 | 513 | 80 |
| 3,15 | 804 | 642 | 31,5 | 405 | 63,2 |
| 4 | 967 | 512 | 40 | 314 | 49,4 |
| 5 | 1039 | 409 | 50 | 246 | 38,8 |
| 6,3 | 1054 | 323 | 63 | 186 | 29,5 |
| 8 | 1036 | 253 | 80 | 132 | 21,1 |

A Tabela 2.11 contém orientações para os valores acima dos quais comentários negativos são prováveis, e valores abaixo dos quais comentários negativos não são prováveis. Os valores são expressos em termos de aceleração (mm/s^2) global na frequência ponderada e velocidade (mm/s) global (r.m.s.) na frequência ponderada no intervalo de 1 Hz a 80 Hz.

Tabela 2.11 - Valores globais (r.m.s.) de aceleração e velocidade na frequência ponderada no intervalo de 1 Hz a 80 Hz como orientações para a habitabilidade de diferentes áreas em um navio

| | Classificação das Classes | | | | | |
|---|----------------------------------|-------------|-------------------------|-------------|-------------------------|-------------|
| | A | | B | | C | |
| | mm/s² | mm/s | mm/s² | mm/s | mm/s² | mm/s |
| Valores acima do qual comentários adversos são prováveis | 143 | 4 | 214 | 6 | 286 | 8 |
| Valores abaixo do qual comentários adversos não são prováveis | 71,5 | 2 | 107 | 3 | 143 | 4 |

OBS.: Os valores entre a zona superior e inferior refletem um ambiente vibratório a bordo aceitável.

São apresentadas 3 (três) tipos de classes:

- Classe A – cabina de passageiros
- Classe B – áreas de acomodação da tripulação
- Classe C – áreas de trabalho

2.3 – Ruído e vibrações no corpo humano e efeitos de exposição

A tripulação de um navio permanece exposta ao ruído e vibração durante todo o percurso da viagem, que dependendo da situação pode chegar a dias, semanas ou meses. No nosso caso a viagem de ida ou de volta dura por volta de 20 horas.

Segundo Griffin (1990), os navios apresentam duas categorias de vibração: baixa frequência induzidas pelo mar e frequências de vibração maiores induzidas pelos motores, hélices e outras máquinas de bordo.

A avaliação dos dois tipos de movimento é diferente: as frequências mais baixas são relevantes para o enjôo, enquanto as frequências mais altas são associadas principalmente

com o desconforto e certamente pode interferir com o desempenho do tripulante. Porém os dois tipos de movimento e os mecanismos dos seus efeitos são muito diferentes, portanto, separar a avaliação desses fatores é mais útil.

CAPÍTULO 3 – Ruído e vibrações em navios

3.1 - Introdução

A propagação do ruído a bordo de um navio se dá através do ar (caminho aéreo), provocado por uma fonte sonora, através de uma estrutura sólida pela vibração mecânica na faixa de frequência audível (primeiro caminho transmitido para a estrutura) ou o resultado da colisão do ruído aéreo com a estrutura que então transmite o ruído ao longo do caminho estrutural (segundo caminho transmitido para a estrutura) como mostra a Figura 3.1 (Crocker, 2007).

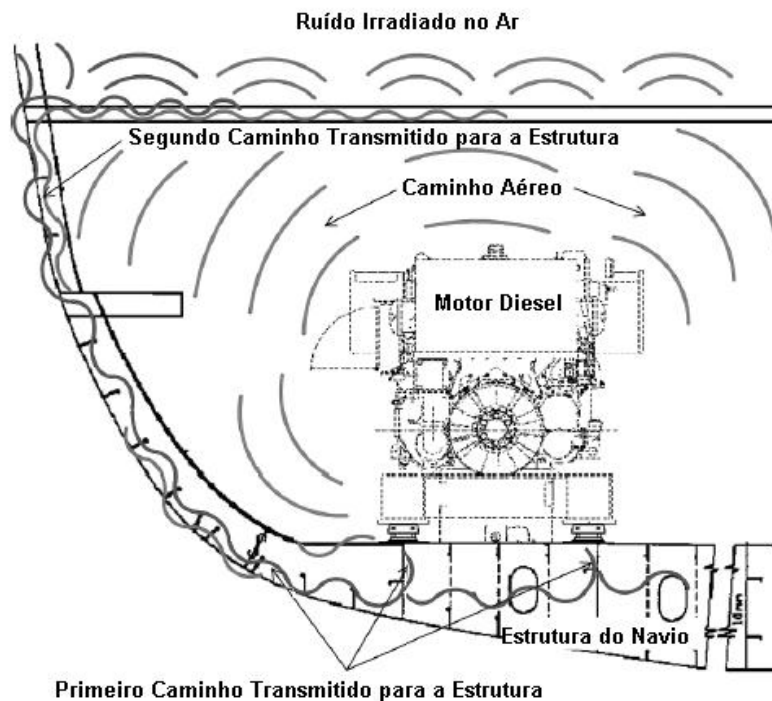


Figura 3.1 – Propagação do ruído em navios.

Na praça de máquinas, a propagação do ruído é quase que inteiramente feita através do ar. Em outros espaços, com exceção de compartimentos com a fonte de ruído adjacente, a propagação se dá através da própria estrutura do navio e irradiada pelos elementos secundários da estrutura como anteparas, painéis, vigas e pilares.

As principais fontes de ruído em um navio são (Kovacs, 1998):

- Fontes de ruído na popa tais como propulsor e máquina do leme:

As variações de pressão na região do propulsor excitam a estrutura na região de popa, causando turbulência e o conseqüente aumento do nível de ruído que, em alguns casos, pode ser até maior que aquele existente na praça de máquinas.

-- Equipamentos da praça de máquinas:

Motores diesel propulsores:

Baixa rotação 100 dB(A)

Média rotação 105 dB(A)

Alta rotação 110 dB(A)

Diesel geradores 105 dB(A)

Turbinas propulsoras 95 dB(A)

Turbo-geradores 100 dB(A)

Ventiladores e exaustores 105 dB(A)

Turbinas das bombas de carga 105 dB(A)

Bombas de carga 115 dB(A)

-- Dutos de gases de descarga na praça de máquinas;

-- Compressores;

-- Turbinas a vapor;

-- Tomadas de ar na praça de máquinas e acomodações;

-- Unidades de distribuição de ar condicionado para acomodações.

As fontes de ruído descritas acima são as de maior importância e os métodos utilizados para minimizar seus efeitos resolverão a maior parte dos problemas de ruído a bordo.

Outras fontes de ruído tem efeitos menores, já que são de funcionamento intermitente ou produzem sons com níveis menores. Dentre estas podemos citar:

- Difusores de ar condicionado nas acomodações;

- Aparelhos eletrônicos (aparelho de som, televisão, etc)

- Unidades condensadoras para câmaras frigoríficas;

- Bombas de carga (em petroleiros);

- Aquecedores de água de limpeza de tanques (em petroleiros);
- Ventilador e rede de gás inerte;
- Bomba e rede hidráulica;
- Elevador e sua sala de máquinas;
- Compartimentos públicos nas acomodações;
- Passos em escadas e corredores;
- Ruído provocado por chuveiros e descargas de vasos sanitários e pias;
- Ruídos provenientes de equipamentos de rádio e rádio-telefonia;
- Utensílios de cozinha;
- Onda do mar e ventos.

Individualmente, cada equipamento contribui para o nível de ruído no navio de três maneiras:

- Perto do equipamento o nível de ruído é predominantemente devido à propagação por radiação pelo ar;

- A alguma distância do equipamento predomina o ruído refletido das ondas de som, dependendo do tempo de reverberação do local;

- Em espaços adjacentes, através da propagação do som pela estrutura do navio.

3.2 – Ruído em motores diesel

O motor de combustão interna é uma das principais fontes do ruído no transporte e uso industrial. O ruído de admissão e escape pode ser efetivamente silenciado. No entanto, o ruído emitido pelas superfícies de vibração do motor é mais difícil de controlar.

Nos motores a gasolina, uma mistura ar-combustível é comprimida para perto de um oitavo a um décimo do seu volume original e inflamado por uma vela de ignição (faísca). Nos motores diesel o ar é comprimido perto de um décimo sexto a um vigésimo de seu volume original e o combustível líquido é injetado na forma vaporizada, então ocorre a ignição e combustão espontâneas. Devido à taxa de aumento da pressão ser inicialmente mais abrupta

com um motor a diesel do que com um motor a gasolina, motores diesel tendem a ser mais ruidosos que os motores a gasolina.

O ruído dos motores pode ser dividido em duas partes principais: o ruído de combustão e o ruído mecânico. O ruído de combustão é causado principalmente pelo rápido aumento de pressão causado pela ignição, e o ruído mecânico é causado por uma série de mecanismos, sendo a tampa do pistão um dos mais importantes, especialmente em motores diesel. O movimento do pistão subindo em direção ao centro morto superior é uma das fontes mecânicas que resulta em uma vibração estrutural do motor e assim a geração de ruído. Mas o movimento do pistão não é estritamente um processo mecânico independente este processo é influenciado pelas forças extras no pistão geradas pelo processo de combustão. A abertura e fechamento de válvulas de admissão e escape, as forças dos rolamentos causadas pela rotação do sistema, e o desbalanceamento do motor são outras fontes mecânicas de vibração que resultam em ruído.

O ruído irradiado pela estrutura do motor quase independe da carga, embora dependa do volume do cilindro e ainda mais da velocidade do motor.

A Figura 3.1 mostra um modelo em forma de diagrama de blocos para geração de ruído em um motor diesel. Grandes forças são geradas dentro do motor, e estas forças são aplicadas aos elementos internos da estrutura. As forças aplicadas são geralmente divididas em duas categorias: as forças de combustão (pressão do cilindro) e as forças mecânicas (todas as outras funções que geram forças). Estas forças produzem vibrações na estrutura, e a vibração é transmitida aos componentes externos que podem emitir som.



Figura 3.2 - Diagrama de blocos do modelo de geração de ruído do motor.

3.3 - Ruído na Combustão

O fenômeno da combustão excita a estrutura do motor através de rápidas mudanças na pressão do cilindro. A excitação direta da estrutura do motor devido à pressão do cilindro (pistão e cabeçote) é normalmente referida como o ruído de combustão. Contudo, a pressão do cilindro é diretamente ou indiretamente responsável por muitos ruídos mecânicos no motor. Por exemplo, a pressão do cilindro leva a flutuações de velocidade do virabrequim, que podem causar ruído no trem de engrenagens ou pulsos na cadeia do sincronismo (Crocker, 2007).

A Figura 3.2 mostra um gráfico típico da pressão do cilindro para um motor a diesel.

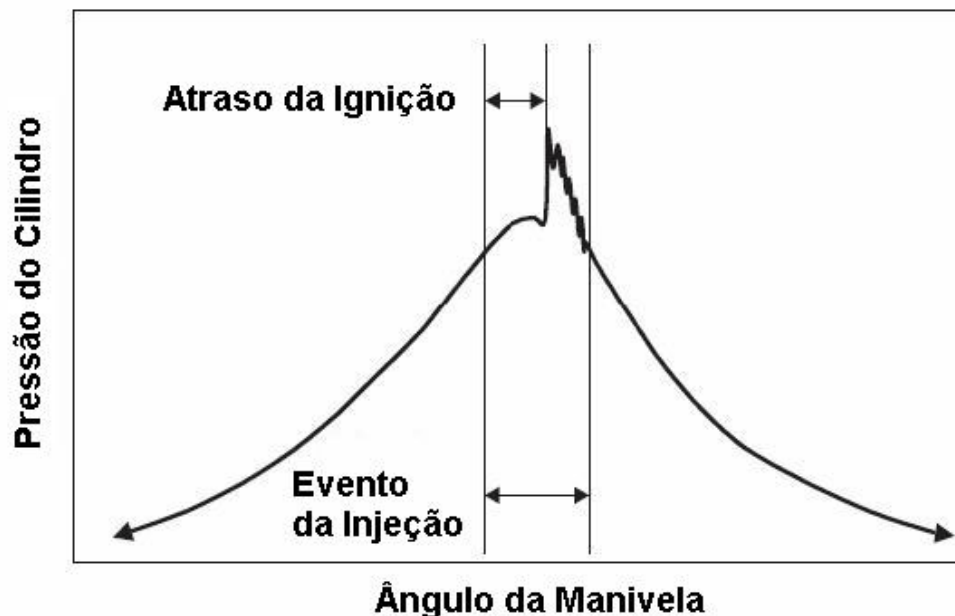


Figura 3.3 – Gráfico típico da pressão do cilindro de um motor diesel para a pressão de alimentação do motor baixa.

Em um motor diesel a pressão do cilindro aumenta suavemente até após o início da injeção. Uma vez que a injeção se inicia, o combustível evapora, aquece e, finalmente, chega onde as condições de auto-ignição são possíveis. Quando a auto-ignição ocorre, praticamente todo o combustível, injetado no cilindro até o ponto de ignição, queima de forma explosiva causando um aumento muito rápido da pressão do cilindro. Este início explosivo da combustão é muitas vezes referido como combustão pré-misturada.

Como a combustão não é perfeitamente simétrica a pressão oscila com a frequência natural do volume do ar aprisionado no cilindro, como pode ser visto na Figura 3.2 no ponto logo após o pico de pressão do cilindro.

A Figura 3.3 mostra espectros de frequência típicos para a pressão do cilindro de motores diesel.

Nela pode-se observar que na etapa onde ocorre aumento da pressão do cilindro produzido pela combustão pré-misturada faz com que também ocorra um aumento da banda larga no espectro do cilindro de pressão do óleo diesel.

Muitas vezes, mais de uma frequência de ressonância pode ser vista em um espectro de pressão do cilindro, pois os primeiros modos de vibração gerados pelo gás aprisionado no cilindro podem ser excitados (ver picos de alta frequência na Figura 3.3).

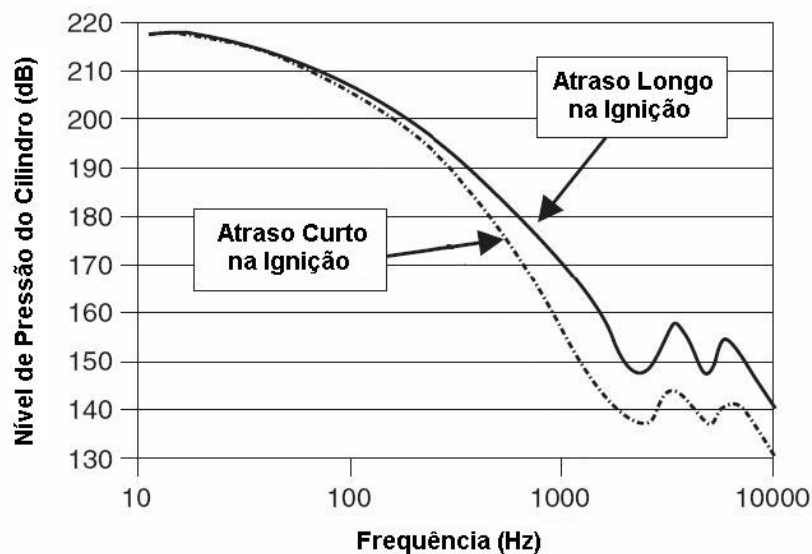


Figura 3.4 - Espectros do nível de pressão do cilindro de motores diesel

O valor da frequência da pressão do cilindro é crucial para determinar o nível de ruído de combustão. Se o registro da pressão do cilindro é suave, haverá amplitudes muito elevadas de excitação de baixa frequência da estrutura do motor, mas pouco conteúdo de alta frequência. Se a combustão pré-misturada provoca um aumento na pressão do cilindro, ocorrerá a excitação das frequências mais altas da estrutura motor. Portanto, o espectro de frequência da pressão do cilindro serve para prever o ruído gerado pela combustão (Crocker, 2007).

3.4 - Redução de ruído na combustão

Em todos os motores, o ruído de combustão é controlado pela taxa de liberação de calor (combustão), que determina a taxa de aumento na pressão do cilindro.

Nos motores diesel, a taxa de liberação de calor também é controlada por uma série de fatores, incluindo:

- Tempo de injeção;
- Aumento da pressão;
- Taxa de compressão;
- Temperatura do coletor de admissão
- Características da injeção;
- Combustível.

O retardamento no tempo da injeção reduz o ruído de combustão, a menos que o início da combustão seja empurrado para depois do centro morto superior. Aumentar a pressão de alimentação faz com que o combustível evapore e se misture mais rapidamente, reduzindo o atraso de ignição e reduzindo o ruído de combustão. Nas pressões de alimentação superiores a cerca de 0,7 bar, o ruído de combustão torna-se, às vezes, insignificante. Elevadas taxas de compressão e altas temperaturas no coletor de admissão também tem o efeito do encurtamento do atraso da ignição reduzindo o ruído da combustão.

3.5 - Fontes de Ruído Mecânicas

Muitos ruídos mecânicos do motor são causados pelas folgas que devem existir para permitir que o motor funcione. A maioria das fontes de ruído são criadas pelas folgas que produzem ruído de banda larga e impacto na estrutura do motor. Por exemplo, na subida do pistão o ruído é causado pelo movimento lateral do pistão, o balançando do cilindro e o impacto contra a parede do cilindro. A biela e os rolamentos do virabrequim produzem excitações de impacto nos componentes em movimento através das folgas existentes. Componentes do trem de válvulas produzem impactos através do movimento entre suas folgas e as válvulas ao se fecharem. As engrenagens podem sofrer impactos, impulsionados pelos

torques cíclicos aplicados a alguns dos componentes, como o virabrequim, eixo de comando e sistema de combustível.

Outras fontes de ruído mecânico em um motor são periódicas por natureza. Uma bomba de óleo vai produzir flutuações de pressão em uma frequência determinada pelo número de dentes da engrenagem ou lóbulos na bomba, combinada com a relação de transmissão da bomba. Engrenagem e correias podem produzir ruído tonal nos dentes ou frequência dentada articulada. Alternadores, bombas de direção, e outros acessórios do motor podem produzir ruídos significativos em tons puros.

3.6 – Previsão e prevenção de ruído em navios

Ruído em Máquinas

Os principais mecanismos que geram forças vibratórias envolvem as forças de desequilíbrio mecânico e eletromagnético, flutuações de força, impacto, fricção, e as flutuações de pressão. As classes de máquinas que produzem ruído podem ser classificadas de acordo com suas funções, tais como:

- a) máquinas de propulsão (motores a diesel, turbinas a vapor, turbinas a gás, caixas de redução de engrenagens, etc.)

- b) máquinas auxiliares (bombas, compressores, geradores, equipamentos de ar condicionado, sistemas de controle hidráulico, etc.)

A Figura 3.4 mostra um diagrama esquemático dos componentes de um sistema de propulsão a diesel e suas fontes de ruído associadas, que são descritas a seguir:

1. Movimento do pistão é o mecanismo que provoca o ruído dominante dos motores diesel. Ele é causado pelo impacto do pistão contra a parede do cilindro, isto resulta em um espectro composto de uma grande família de tons harmonicamente espaçados.

2. Desequilíbrio mecânico do gerador e de máquinas auxiliares resulta em forças flutuantes e momentos que são proporcionais ao quadrado da velocidade angular. Uma vez que a força é

proporcional a velocidade de vibração, a radiação aumenta como na quarta potência de rotação da velocidade.

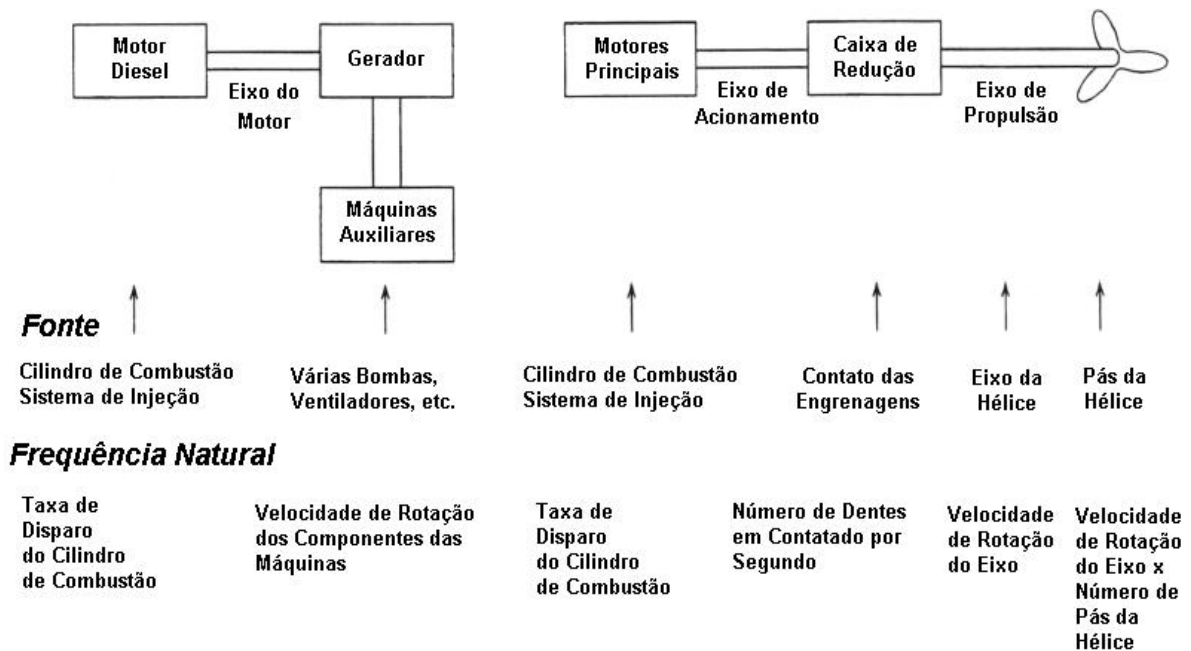


Figura 3.5 – Componentes de máquinas e fontes de ruído em navios propulsados por motores diesel.

3. Flutuações da força eletromagnética dos motores elétricos estão relacionadas às mudanças na densidade de fluxo, que são uma função do número de pólos e resultar em espectros de baixa frequência.

4. Ruído nas caixas de redução de engrenagem é provocado pelos impactos dos dentes das engrenagens e resultada em tons de múltiplos da frequência de contato dos dentes.

5. Ruído da hélice é composto por dois componentes principais:

a) radiação direta das pás da hélice

b) modos de vibração de baixa frequência do casco induzidos por forças flutuantes hidrodinâmicas atuando sobre as pás e transmitidas através o eixo da hélice e rolamentos axiais para o casco. A resposta no casco está relacionada com as rotações por minuto do eixo e o número das pás da hélice.

3.7 – Estudo das frequências geradas pelos equipamentos que se encontram no interior do navio

Como descrito anteriormente o GUARITA possui um sistema de propulsão composto por três motores Scania de quatro tempos com oito cilindros em “V” cada um com caixa redutora de relação 4,9:1. Cada motor aciona uma hélice de quatro pás com 1.500 mm de diâmetro. Possui também dois geradores acionados por motores diesel de quatro tempos com quatro cilindros em linha. A Figura 3.5 mostra esquematicamente o sistema de propulsão do navio.



Figura 3.6 – Esquema do sistema de propulsão do navio.

3.7.1 – Frequências geradas pelo sistema de propulsão

O sistema de propulsão pode gerar as seguintes frequências:

1) Frequência de rotação do motor diesel (eixo de acionamento) pode ser calculada conforme a equação (3.1).

$$f_{motor\ diesel} = \frac{Rotação\ do\ eixo\ do\ motor\ (RPM)}{60} \quad (3.1)$$

2) Frequência gerada pelo eixo de propulsão (caixa de redução) pode ser calculada conforme a equação (3.2).

$$f_{eixo\ de\ propulsão} = \frac{Rotação\ do\ eixo\ do\ motor\ (RPM)}{60 \times relação\ de\ redução} \quad (3.2)$$

3) Frequência gerada pelas pás da hélice pode ser calculada conforme a equação (3.3).

$$f_{rotação\ passagens\ das\ pás} = \frac{Rotação\ do\ eixo\ do\ motor\ (RPM)}{60 \times relação\ de\ redução} \times número\ de\ pás \quad (3.3)$$

3.7.2 – Frequências geradas pela explosão nos cilindros

A frequência de combustão de um motor diesel é calculada multiplicando-se o número de rotações pelo número de cilindros dividido por dois (pois cada explosão do cilindro ocorre a cada duas revoluções em um motor a quatro tempos). Para obter o resultado em Hz divide-se por 60 (sessenta), como mostra a equação (3.1) (Challen, 1999):

$$f = \frac{\text{Número de rotações (RPM) do motor} \times (\text{Número de cilindros} / 2)}{60} \quad (3.4)$$

Quanto o virabrequim gira, as frequências de combustão são causadas pelos impulsos produzidos pela queima de combustível nos cilindros. Mas o impulso não é uma frequência senoidal única. É uma forma de onda complexa que é composta de várias componentes: sendo a primeira igual a 1 x frequência de combustão. Outro geralmente em menor amplitude, em 2 x frequência de explosão; outro em 3 x frequência de combustão e assim por diante até pelo menos 10 antes da componente se tornar pequena o suficiente para ignorá-la (Woodyard, 2004).

Estas componentes são chamadas de 1^a, 2^a, 3^a até o 10^a harmônico do impulso da explosão. Para motores a quatro tempos, cuja velocidade do ciclo é a metade da velocidade de deslocamento, a convenção adotada é baseada no cálculo da velocidade de deslocamento. Haverá, portanto, "ordens médias", como por exemplo, 0,5, 1,5, 2,5 e assim por diante (Woodyard, 2004).

3.7.3 – Cálculo das frequências geradas pelos equipamentos que se encontram no interior do navio

A seguir serão calculadas as frequências descritas nos itens anteriores. Os dados dos motores diesel de propulsão são os seguintes: a rotação aproximada é de 1500 RPM, o número de cilindros é oito, o número de tempos é quatro. A caixa de redução possui uma relação de 4,9:1 e o número de pás da hélice é quatro.

Aplicando as fórmulas (3.1) a (3.4), obtém-se:

$$f_{\text{motor diesel}} = \frac{\text{Rotação do eixo do motor (RPM)}}{60} = \frac{1500}{60} = 25 \text{ Hz}$$

$$f_{\text{eixo de propulsão}} = \frac{\text{Rotação do eixo do motor (RPM)}}{60 \times \text{relação de redução}} = \frac{1500}{60 \times 4,9} = 5,1 \text{ Hz}$$

$$f_{\text{rotação passagem das pás}} = \frac{\text{Rotação do eixo do motor (RPM)}}{60 \times \text{relação de redução}} \times \text{número de pás} = \frac{1500}{60 \times 4,9} \times 4 = 20,4 \text{ Hz}$$

$$f = \frac{\text{Número de rotações (RPM) do motor} \times (\text{Número de cilindros} / 2)}{60} = \frac{1500 \times (8 / 2)}{60} = 100 \text{ Hz}$$

No Apêndice D encontram-se as tabelas com os harmônicos relativos a todas as frequências. Na Tabela D.1 encontram-se os harmônicos das frequências relativas ao motor diesel de propulsão com rotação de 1.500 RPM, oito cilindros e motor de quatro tempos. Na Tabela D.2 encontram-se os harmônicos das frequências relativas à caixa de redução de relação 4,9:1. Na Tabela D.3 encontram-se os harmônicos das frequências relativas às quatro pás da hélices de propulsão. Na Tabela D.4 encontram-se os harmônicos das frequências relativas às explosões dos cilindros do motor diesel de propulsão com rotação de 1.500 RPM, oito cilindros e motor de quatro tempos.

CAPÍTULO 4 – O Navio GUARITA

4.1 – Descrição do Navio GUARITA

O GUARITA é um navio tanque fluvial para transporte de produtos químicos a granel com registro em Porto Alegre foi projetado e construído no Estaleiro Só S.A. A Figura 4.1 mostra uma foto do navio.



Figura 4.1 – Vista traseira do GUARITA.

O navio possui 6 (seis) tanques de carga com um volume total líquido de 3.955 m³ e 7 (sete) tanques de lastro com capacidade de 1.708 m³. Pode ter uma tripulação de 10 (dez) mais 5 (cinco) pessoas. Na Figura 4.2 mostra-se uma vista dos tanques de carga.



Figura 4.2 – Vista dos tanques de carga desde a sala de comando.

A Tabela 4.1 mostra um resumo das características do navio.

Tabela 4.1 – Resumo das Características do GUARITA.

| | |
|------------------------|---|
| Ano da construção | 1987 |
| Porte Bruto Nominal | 3300 TPB |
| Porte Útil Nominal | 2870 t |
| Produtos transportados | Benzeno, Tolueno, Xileno, Etilbenzeno, MTBE e Metanol |
| Comprimento total | 91,50m |
| Boca moldada | 15,50m |
| Pontal moldado | 4,15m |
| Calado de projeto | 3,30m |
| Calado máximo | 3,47m |
| Deslocamento leve | 971 t |
| Deslocamento carregado | 4131 t |

O sistema de propulsão do navio é composto por três motores Scania com potência nominal de 552 CV a 1.800 RPM cada um com caixa redutora de relação 4,9:1. Cada motor aciona uma hélice de quatro pás com 1.500 mm de diâmetro. A velocidade máxima com carga completa pode ser de 8 (oito) a 9 (nove) nós dependendo das condições climáticas da viagem. O memorial descritivo completo do navio encontra-se no Anexo I. No Anexo II encontra-se a planta do navio.

Na praça de máquinas encontram-se também dois geradores acionados por motores diesel para a geração de energia elétrica do navio, dois motores diesel para acionar as bombas hidráulicas utilizadas para descarregar a carga do navio e mais um motor diesel para acionar a bomba centrífuga do sistema fixo de espuma equipamento utilizado em caso de incêndio. A Figura 4.3 mostra a distribuição dos equipamentos na praça de máquinas.

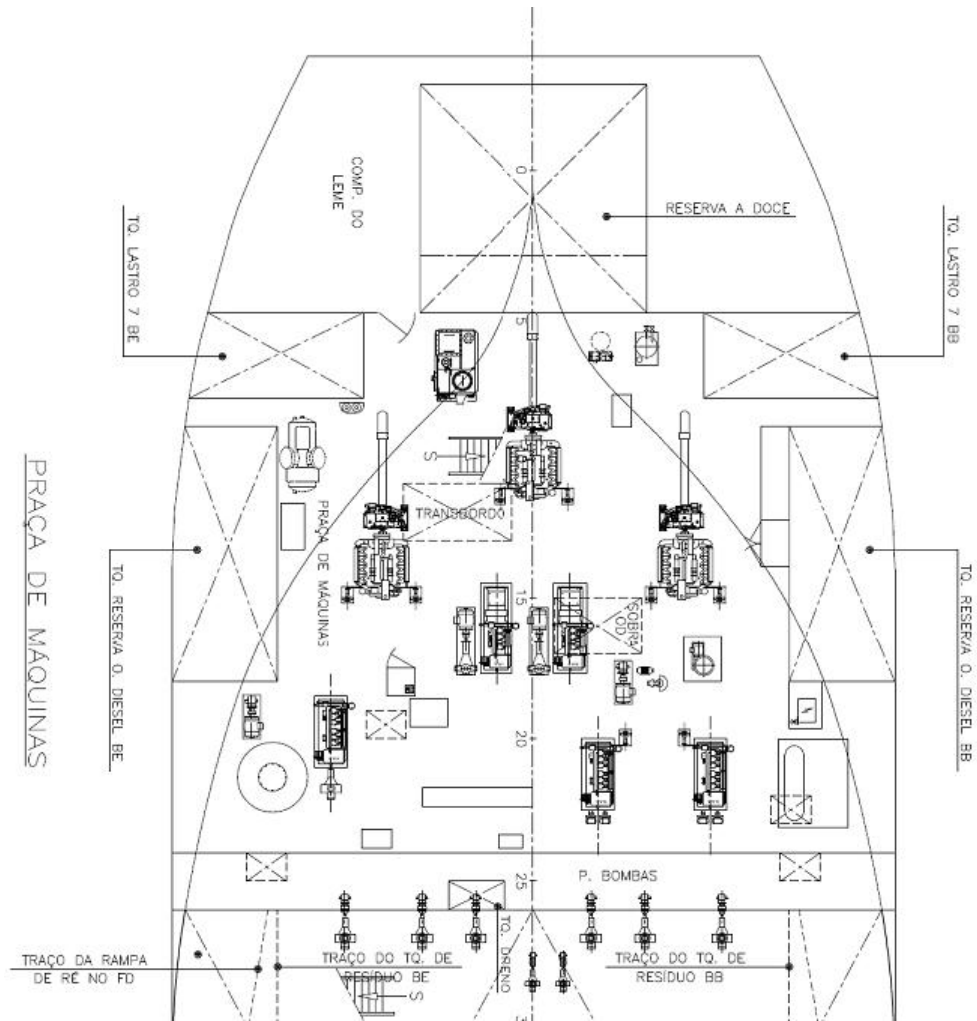


Figura 4.3 – Distribuição dos equipamentos na praça de máquinas.

A superestrutura do navio GUARITA é composta de três andares, que se encontram acima da praça de máquinas como mostra a Figura 4.4.

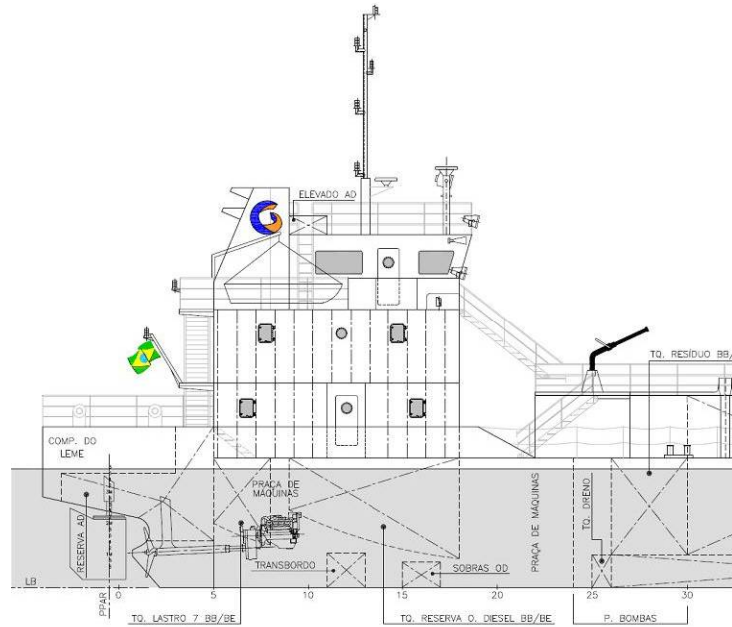


Figura 4.4 – Corte do navio mostrando a praça de máquinas e a superestrutura.

No andar térreo, ou seja, no convés principal encontra-se a cozinha, o depósito dos mantimentos, o refeitório, um banheiro, o camarote do cozinheiro e dois camarotes para a tripulação, conforme mostra a Figura 4.5.

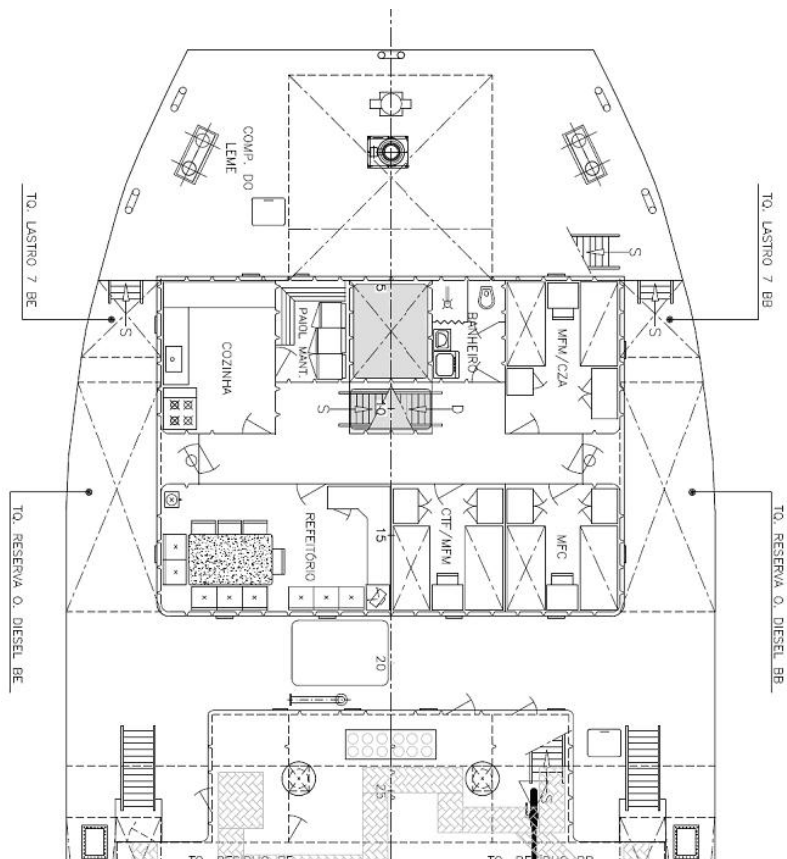


Figura 4.5 – Distribuição das acomodações no convés principal.

No segundo andar, no convés superior existem cinco camarotes para a tripulação e dois banheiros, conforme mostra a Figura 4.6.

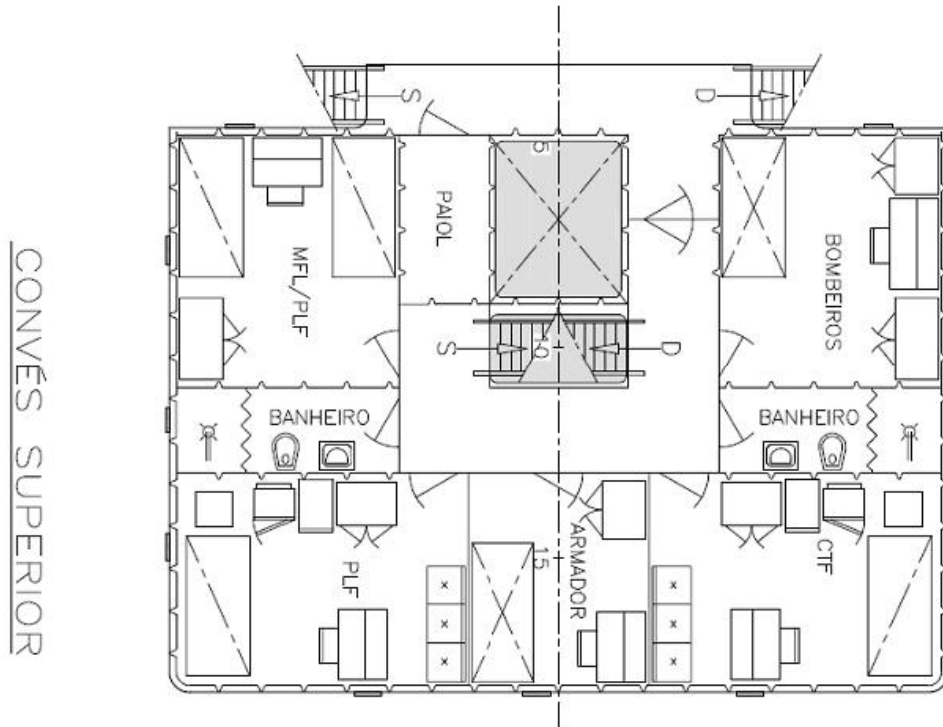


Figura 4.6 – Distribuição das acomodações no convés superior.

No último andar, no convés do passadiço, encontra-se a sala de governo, conforme Figura 4.7.

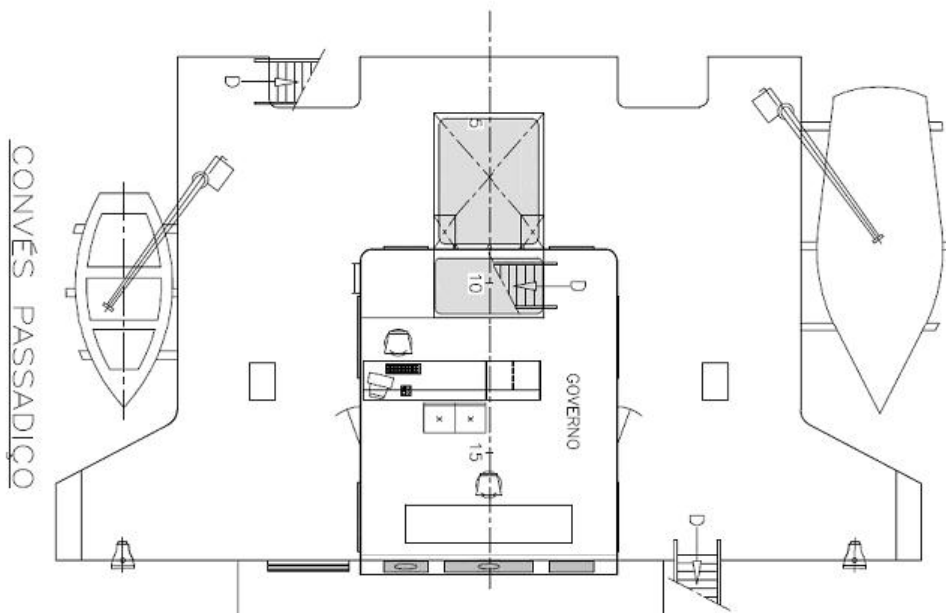


Figura 4.7 – Distribuição das acomodações no convés do passadiço.

Os acabamentos internos do navio são os seguintes: Piso das acomodações são feitas com um contra piso de cimento com vermiculita forrado com vulcapiso. O piso dos banheiros e da cozinha é a própria estrutura de aço do navio. As paredes internas são de anteparas de madeira nas acomodações ou o próprio aço da estrutura.

4.2 – Descrição do trajeto realizado

Este navio efetua o transporte de produtos petroquímicos entre o Terminal Santa Clara, situado no município de Triunfo, às margens do Rio Jacuí, a 55 km de Porto Alegre, até o Porto de Rio Grande. Realiza uma média de 7 viagens por mês, demorando 23 horas de viagem. O ciclo de carga e descarga do navio pode demorar até 24 horas, dependendo da demanda. A Figura 4.8 mostra o trajeto que o navio realiza.

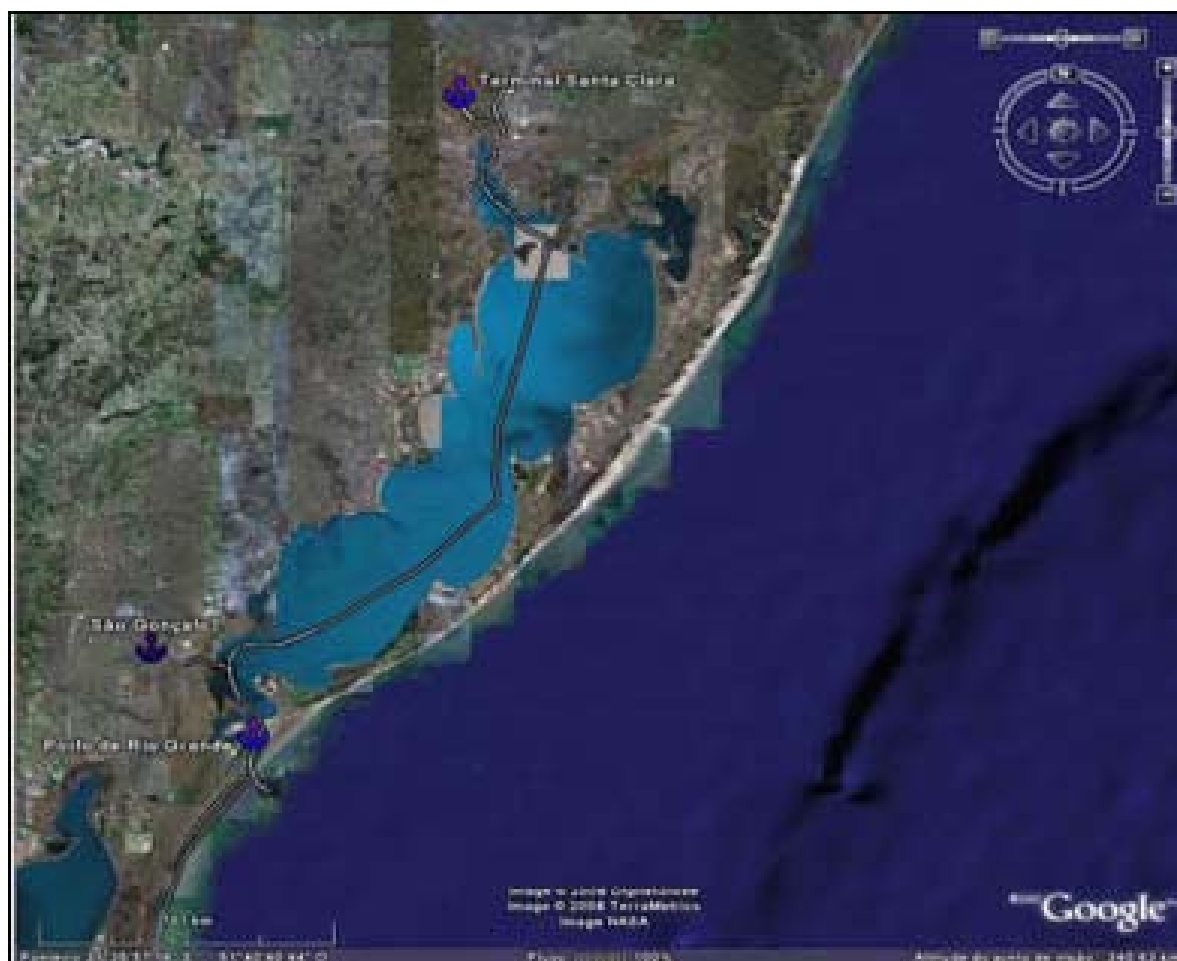


Figura 4.8 – Trajeto realizado pelo GUARITA entre o Terminal Santa Clara (Triunfo) e o Porto de Rio Grande.

4.3 – Descrição da tripulação do navio

A tripulação do navio é composta por 9 (nove) pessoas. Na Tabela 4.2 mostra-se a quantidade, cargo e descreve-se sucintamente a função de cada um.

Tabela 4.2 – Descrição e características da tripulação.

| Quantidade | Cargo | Função |
|-------------------|---------------------|--|
| 1 | Comandante | Piloto responsável pela embarcação |
| 1 | Mestre | Substituir o comandante, piloto da embarcação |
| 1 | Chefe Máquinas | Cuida da praça de máquinas (motores, geradores, etc.) |
| 1 | Marinheiro Máquinas | Auxiliar o Chefe Máquinas, manutenção, limpeza, controle geral motores e geradores |
| 2 | Marinheiro Convés | Amarração do navio quando atraca, limpeza, pintura, reparos em geral |
| 1 | Cozinheiro | Responsável pela comida (pedido, recebimento e preparo dos alimentos) |
| 2 | Bombeiro | Carga e descarga, medição e controle da carga, manutenção das bombas |

CAPÍTULO 5 – Medições Efetuadas

5.1 - Introdução

Neste capítulo apresenta-se a metodologia das medições realizadas nas acomodações do navio para avaliar os níveis de ruído e vibração a que estão submetidos os tripulantes durante a viagem.

Com a análise destes dados pretende-se avaliar os níveis de ruído e vibração em relação às normas descritas anteriormente.

As medidas foram realizadas em uma viagem de ida, ou seja, no sentido Terminal Santa Clara – Rio Grande, com o navio com carga completa.

Utilizaram-se para realizar as medidas dois microfones e dois acelerômetros triaxiais todos ligados ao sistema de aquisição e análise PULSE, marca Brüel & Kjaer. O qual possui rotinas incorporadas para análise dos dados.

5.2 – Metodologia das medições

Para avaliar os níveis de ruído e vibração foram realizadas medidas de aceleração em três direções no piso da acomodação com um acelerômetro triaxial e de nível de pressão sonora no ambiente com microfone.

As acomodações escolhidas para realizar as medidas foram: a praça de máquinas onde ocorre a geração do ruído e vibrações, o camarote do armador que se encontra no convés superior e o camarote do cozinheiro que se encontra convés principal. Foram também realizadas medidas no refeitório, local onde a tripulação convive diariamente e na cozinha, local onde o cozinheiro fica a maior parte do dia.

A metodologia da medição foi a seguinte:

- No camarote a ser medido instalaram-se um microfone e um acelerômetro triaxial.
- Na praça de máquinas colocaram-se o outro microfone e acelerômetro triaxial

- O conjunto de instrumentos (microfone e acelerômetro) do camarote ficava fixo.
- Na praça de máquinas o conjunto de instrumentos ia sendo deslocado e colocado em cada motor que estava em funcionamento.

Por exemplo: No camarote do armador instalaram-se um microfone e um acelerômetro triaxial, como mostra a Figura 5.5. O conjunto de instrumentos da praça de máquinas instalou-se no motor central, conforme a Figura 5.6. Com os equipamentos instalados e o sistema de aquisição configurado eram realizadas as medidas. Depois o conjunto de equipamentos da praça de máquinas era instalado no motor direito, conforme mostra a Figura 5.7. Realizavam-se as medidas, e assim sucessivamente com o motor esquerdo e o gerador.

No camarote do cozinheiro foi realizado o mesmo procedimento. No refeitório e na cozinha só foram medidos os níveis de ruído e aceleração sem realizar as medidas simultâneas na praça de máquinas.

5.3 – Descrição dos pontos de medição

Os locais mais representativos dentro do navio para estudo são:

- camarotes (local onde a tripulação dorme ou realiza alguma outra atividade);
- refeitório (além de fazer as refeições o local também funciona como ponto de encontro para conversar e/ou assistir televisão);
- cozinha (local onde o cozinheiro passa a maior parte do dia preparando as refeições)
- praça de máquinas (local onde é gerado o ruído e as vibrações no navio).

Descrevem-se a seguir os pontos de medição escolhidos, localizam-se nas plantas dos navios e são mostradas fotos dos mesmos.

A Tabela 5.1 descreve os lugares do navio onde foram realizadas as medidas.

Tabela 5.1 – Descrição dos pontos de medidas

| Convés | Nome | Local |
|-------------------|------|------------------------|
| Principal | Q2 | Camarote do Cozinheiro |
| Principal | R | Refeitório |
| Principal | C | Cozinha |
| Superior | Q1 | Camarote do Armador |
| Praça de Máquinas | MC | Motor Central |
| Praça de Máquinas | ME | Motor Esquerdo |
| Praça de Máquinas | MD | Motor Direito |
| Praça de Máquinas | GE | Gerador Esquerdo |
| Praça de Máquinas | GD | Gerador Direito |

As Figuras 5.1 a 5.3 mostram a localização dos pontos de medição em cada convés do navio. Na Figura 5.1 mostra-se a disposição das instalações do Convés Principal, os pontos coloridos em vermelho mostram a localização dos pontos de medição. Pode-se observar que eles encontram-se no Camarote do Cozinheiro (Q2), na Cozinha (C) e no Refeitório (R). Nestes pontos o acelerômetro era colocado embaixo do tripé do microfone.

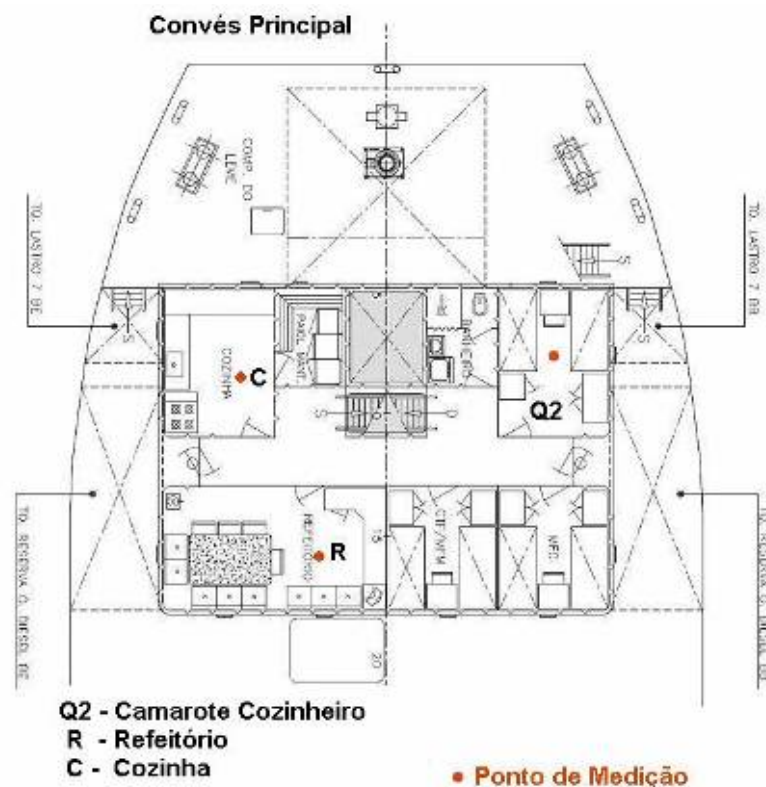


Figura 5.1 - Localização dos pontos de medição no Camarote do Cozinheiro (Q2), na Cozinha (C) e no Refeitório (R) no Convés Principal.

Na Figura 5.2 mostra-se a disposição das instalações do Convés Superior, os pontos coloridos em vermelho mostram a localização do ponto de medição. Pode-se observar que ele encontra-se no Camarote do Armador (Q1). Neste ponto o acelerômetro era colocado embaixo do tripé do microfone.

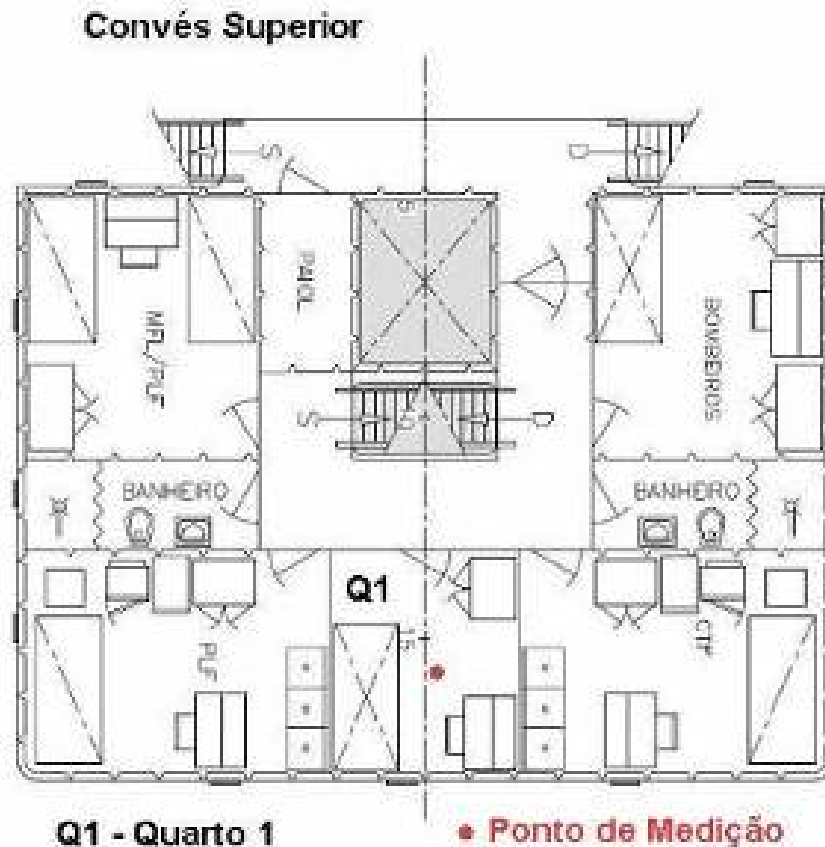


Figura 5.2 – Localização dos pontos de medição no Camarote do Armador (Q1) no Convés Superior.

Na Figura 5.3 mostra-se a disposição dos motores na Praça de Máquinas, os pontos coloridos em vermelho mostram a localização dos pontos de medição. A letra “A” indica que foi colocado um acelerômetro, a letra “M” indica que foi colocado um microfone. Pode-se observar que eles encontram-se no Motor Central (MC), no Motor Esquerdo (ME), no Motor Direito (MD), no Gerador Esquerdo (GE), no Gerador Direito (GD).

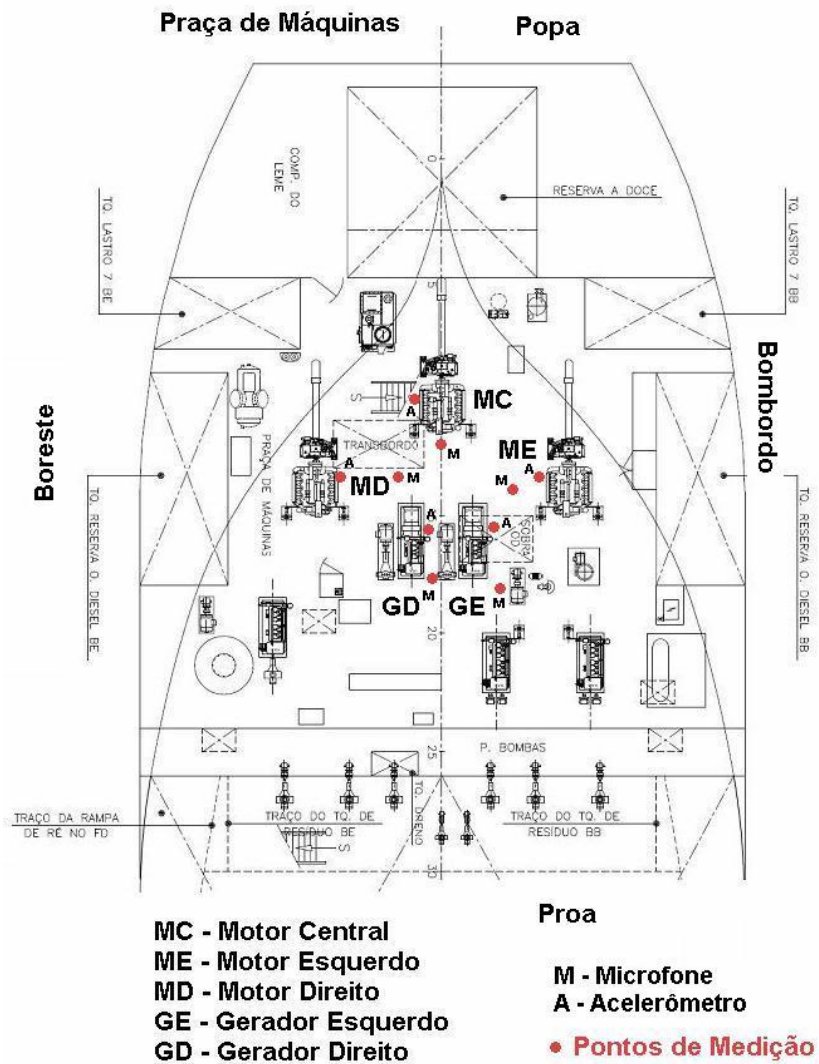


Figura 5.3 – Localização dos pontos de medição no Motor Central (MC), no Motor Esquerdo (ME), no Motor Direito (MD), no Gerador Esquerdo (GE), no Gerador Direito (GD) na Praça de Máquinas, a letra “A” indica a colocação de um acelerômetro a letra “M” indica a colocação de um microfone.

Em cada ponto de medição foi colocado um microfone, para medir o nível de pressão sonora do ruído, e um acelerômetro triaxial para medir a aceleração da vibração. As Figuras 5.4 a 5.11 mostram fotografias dos locais das medições.

Na Figura 5.4 mostram-se os pontos de medição do convés principal no Refeitório - R (foto da esquerda) e na Cozinha – C (foto da direita).



Figura 5.4 – Pontos de medição do convés principal no Refeitório - R (foto da esquerda) e na Cozinha – C (foto da direita).

Na Figura 5.5 mostra-se o ponto de medição do convés principal no Camarote do Cozinheiro – Q2.



Figura 5.5 – Ponto de medição do convés principal no Camarote do Cozinheiro – Q2.

Na Figura 5.6 mostra-se o ponto de medição do convés superior no Camarote do Armador – Q1. A foto da esquerda mostra o microfone e a da direita o acelerômetro.



Figura 5.6 – Ponto de medição do convés superior no Camarote do Armador – Q1.

Na Figura 5.7 mostra-se o ponto de medição na praça de máquinas no Motor Central - MC. A foto da esquerda mostra o microfone a foto da direita mostra o acelerômetro.



Figura 5.7 – Ponto de medição na praça de máquinas no Motor Central - MC.



Figura 5.8 – Ponto de medição na praça de máquinas no Motor Direito - MD.

Na Figura 5.8 mostra-se o ponto de medição na praça de máquinas no Motor Direito - MD.

Na Figura 5.9 mostra-se o ponto de medição na praça de máquinas no Motor Esquerdo - ME. A foto da esquerda mostra o microfone a foto da direita mostra o acelerômetro.



Figura 5.9 – Ponto de medição na praça de máquinas no Motor Esquerdo - ME.

Na Figura 5.10 mostra-se o ponto de medição na praça de máquinas no Gerador Direito - GD. A foto da esquerda mostra o microfone a foto da direita mostra o acelerômetro.



Figura 5.10 – Ponto de medição na praça de máquinas no Gerador Direito - GD.

Na Figura 5.11 mostra-se o ponto de medição na praça de máquinas no Gerador Esquerdo - GE. A foto da esquerda mostra o microfone a foto da direita mostra o acelerômetro.



Figura 5.11 – Ponto de medição na praça de máquinas no Gerador Esquerdo - GE.

5.4 – Instrumentos utilizados para realizar as medidas

Para medir a aceleração foi utilizado um acelerômetro triaxial e para medir o nível de pressão sonora foi utilizado um microfone, ambos conectados ao sistema de aquisição e análise PULSE. A seguir apresentam-se as especificações técnicas dos instrumentos utilizados:

- Microfones Type 4189-A-021, Marca Brüel & Kjaer
 - Número de série: 2597076 – Sensibilidade: 44,4 mV/PA
 - Número de série: 2597077 – Sensibilidade: 47,3 mV/PA

- Acelerômetros triaxiais Model 65-10, Marca Isotron

- Número de série: 11680 Sensibilidade Eixo X: 9,608 mV/g
Sensibilidade Eixo Y: 9,935 mV/g
Sensibilidade Eixo Z: 9,993 mV/g
- Número de série: 11682 Sensibilidade Eixo X: 10,05 mV/g
Sensibilidade Eixo Y: 9,88 mV/g
Sensibilidade Eixo Z: 10,35 mV/g

- Sistema de aquisição e análise PULSE Type 3560 com onze canais de entrada e um de saída.

A Figura 5.12 apresenta uma foto do microfone, a Figura 5.13 uma foto do acelerômetro triaxial e a Figura 5.14 uma foto do sistema de aquisição e análise.



Figura 5.12 - Microfones Type 4189-A-021, Marca Brüel & Kjaer



Figura 5.13 - Acelerômetros triaxiais Model 65-10, Marca Isotron



Figura 5.14 - Sistema de aquisição e análise PULSE Type 3560 com doze canais.

5.5 – Fixação dos instrumentos de medida

O microfone utilizado nos camarotes era fixado em um tripé, como mostram as Figuras 5.4 a 5.6. O microfone da praça de máquinas foi fixado num pedestal, conforme mostram as Figuras 5.7 a 5.11. A altura do microfone era em torno de 1,2 metros e tanto o tripé como o pedestal foi colocado afastado de qualquer superfície que pudesse refletir o som, como mostram as fotos anteriormente mostradas.

Os acelerômetros foram fixados com o adesivo fornecido pelo fabricante (recipiente vermelho que se vê na Figura 5.13 no canto superior esquerdo). Eles foram fixados nos suportes dos diversos motores conforme mostram as Figuras 5.7 a 5.11.

5.6 – Sistema de referência utilizado

Descreve-se a seguir a nomenclatura naval para localizar o sistema de referência utilizado nas medições. A popa é onde se encontra o sistema de hélices, ou seja, a parte de trás do navio. A proa é a parte da frente do navio. Bombordo é o lado esquerdo do barco e estibordo ou boreste é o lado direito, isso olhando da popa (traseira), para a proa (dianteira) do barco. Na Figura 5.3 mostra-se a localização da nomenclatura naval num esquema do navio.

A colocação dos acelerômetros triaxiais seguiu o sistema de referência mostrada na Figura 5.15. O eixo “X” está direcionado no sentido popa-proa, o eixo “Y” no sentido boreste-bombordo e o eixo “Z” no sentido piso-teto do navio.

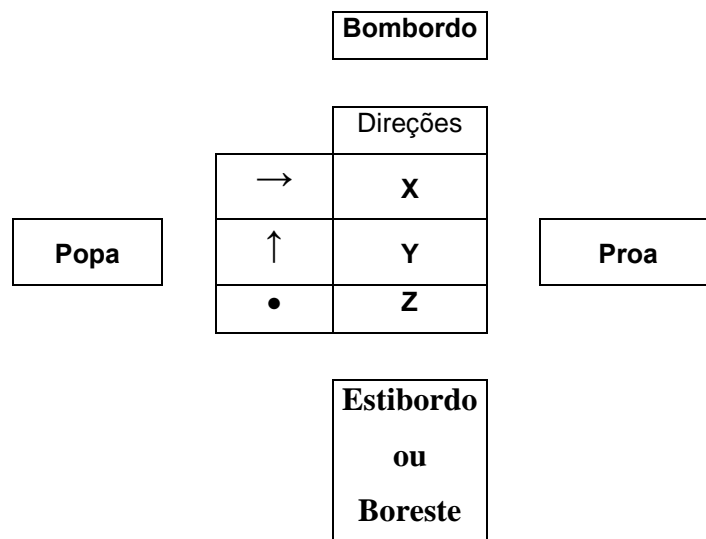


Figura 5.15 – Descrição do sistema de referência utilizado nas medidas.

5.7 – Descrição dos canais utilizados no sistema de aquisição

A Tabela 5.2 mostra a descrição dos canais utilizados no sistema de aquisição PULSE.

Tabela 5.2 – Descrição dos canais utilizados.

| Camarotes | |
|--------------------------|-------------------------|
| Canal | Descrição |
| 1 | Aceleração - Direção X |
| 2 | Aceleração - Direção Y |
| 3 | Aceleração - Direção Z |
| 4 | Nível de pressão sonora |
| Praça de Máquinas | |
| Canal | Descrição |
| 6 | Aceleração - Direção X |
| 7 | Aceleração - Direção Y |
| 8 | Aceleração - Direção Z |
| 9 | Nível de pressão sonora |

CAPÍTULO 6 – Avaliação de Normas de Ruído e Vibração no Corpo Humano e no Navio

6.1 – Introdução

São apresentadas neste capítulo os resultados obtidos em termos de nível de pressão sonora e aceleração da vibração nas três direções medidos no camarote do armador, no camarote do cozinheiro, na praça de máquinas, na cozinha e no refeitório do navio, além da comparação dos mesmos com as diversas normas apresentadas anteriormente.

6.2 – Resultados e análise das medições de ruído

Os dados obtidos, conforme foi descrito no Capítulo 5, foram processados nas rotinas e/ou funções do sistema PULSE. Para obter o nível de pressão sonora foi realizado o espectro de frequência do sinal e calculado o valor global do sinal na escala compensada “A”. Nos locais onde foram realizadas mais de uma medida foi calculada a média.

6.2.1 – Medidas obtidas nos níveis de pressão sonora

Os registros globais do nível de pressão sonora obtidos nos microfones dos camarotes do armador e do cozinheiro, praça de máquinas, cozinha e refeitório medidos em dB e na escala compensada “A” são mostrados na Tabela 6.1.

Tabela 6.1 – Valores globais do nível de pressão sonora em dB e dB(A).

| Local | dB | dB(A) |
|------------------------|-----------|--------------|
| Camarote do armador | 88,5 | 65 |
| Camarote do cozinheiro | 86,5 | 74 |
| Praça de máquinas | 111 | 106,6 |
| Cozinha | 89,8 | 81 |
| Refeitório | 88,7 | 76 |

A seguir apresentam-se a comparação desses resultados com a norma Code on Noise Levels on Board Ships – Resolution A.468(XII) – 1981 da International Maritime

Organization (IMO), a norma COMFORT CLASS – Parte 5 – Capítulo 12 da Det Norske Veritas, Curvas de avaliação de ruído (NC) e (NR) da NBR 10152:1987 – “Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento” da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e ISO 1996-2:2003 – “Description, measurement and assessment of environmental noise - Part 2 – Determination of environmental noise levels”, NR-15 – Atividades e operações insalubres - Norma regulamentadora do Ministério do Trabalho e Norma de Higiene Ocupacional – Avaliação da Exposição Ocupacional ao Ruído da FUNDACENTRO (NHO 01).

6.2.2 – Comparação das medidas com a norma Code on Noise Levels on Board Ships – Resolution A.468(XII) – 1981 da International Maritime Organization (IMO)

Esta norma apresenta valores limites para as diversas acomodações do navio e utiliza a escala compensada “A”. Pode-se observar na Tabela 6.2 pela comparação das medidas realizadas e os valores da norma que todos os locais medidos encontram-se acima dos limites previstos pela norma IMO.

Tabela 6.2 – Comparação dos valores globais do nível de pressão sonora em dB(A) com a norma IMO.

| Local | Medições realizadas | | IMO |
|------------------------|---------------------|-------|---------------|
| | dB | dB(A) | dB(A) |
| Camarote do armador | 88,5 | 65 | 60 |
| Camarote do cozinheiro | 86,5 | 74 | 60 |
| Praça de máquinas | 111 | 106,6 | 90 * |
| | | 106,6 | 110 ** |
| Cozinha | 89,8 | 81 | 75 |
| Refeitório | 88,7 | 76 | 65 |

* Exposição contínua deve ser usado protetor auricular

** Exposição não contínua deve ser usado protetor auricular

Comprova-se que é necessário realizar um tratamento acústico no navio para diminuir os níveis de pressão sonora. Observando-se a Tabela 6.2 pode-se ver que os níveis de pressão

sonora são mais elevados nas acomodações que se encontram no convés principal (Camarote Cozinheiro, Cozinha e Refeitório), o Camarote do Armador que fica no convés superior possui um nível de pressão sonora relativamente menor que no convés principal. Isso acontece porque as acomodações do convés superior encontram-se mais afastadas da praça de máquinas que as acomodações do convés principal. Como a cozinha e o camarote do cozinheiro praticamente encontram-se acima da Praça de Máquinas, estas acomodações possuem os níveis de pressão sonora mais elevados. Como na Praça de Máquinas é a fonte principal de ruído, possui o nível de pressão sonora mais elevado.

A Tabela 6.3 mostra que a diferença entre o valor global do nível de pressão sonora em dB(A) medido na Praça de Máquinas com a norma IMO é de 17 dB(A). O que chama mais a atenção é que a diferença no Camarote do Cozinheiro é de 14 dB(A), em comparação com o Camarote do Armador que é apenas de 5 dB(A).

Tabela 6.3 – Diferença entre os valores globais do nível de pressão sonora em dB(A) com a norma IMO.

| | Medição | IMO | Diferença |
|------------------------|----------------|--------------|------------------|
| Local | dB(A) | dB(A) | dB(A) |
| Camarote do armador | 65 | 60 | 5 |
| Camarote do cozinheiro | 74 | 60 | 14 |
| Praça de máquinas | 107 | 90 | 17 |
| Cozinha | 81 | 75 | 6 |
| Refeitório | 76 | 65 | 11 |

6.2.3 – Comparação das medidas com a norma COMFORT CLASS – Parte 5 – Capítulo 12 da Det Norske Veritas

A norma COMFORT CLASS – Parte 5 – Capítulo 12 da Det Norske Veritas está dividida em três grupos dependendo do nível de conforto alcançado, ou seja, Número de Classificação do Conforto (NCC) 1, 2 ou 3, onde NCC 1 representa o maior nível de conforto, NCC 3 representa um aceitável nível de conforto.

O maior NCC alcançado pelo quesito ruído ou vibração determinará o NCC global da classificação do navio em termos de ruído e vibração.

A Tabela 6.4 mostra os valores medidos e os Números de Classificação do Conforto para a norma. Observa-se que todos os valores medidos ultrapassam o NCC 3. Portanto, em termos de ruído o NCC global da classificação do navio seria 3 (três).

Tabela 6.4 – Comparação dos valores globais do nível de pressão sonora em dB(A) com a norma COMFORT CLASS.

| Local | Medições realizadas | | Comfort Class NCC 1 | Comfort Class NCC 2 | Comfort Class NCC 3 |
|------------------------|---------------------|------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | dB | dB(A) | dB(A) | dB(A) | dB(A) |
| Camarote do armador | 88,5 | 65 | 50 | 55 | 60 |
| Camarote do cozinheiro | 86,5 | 74 | 50 | 55 | 60 |
| Praça de máquinas | 111,0 | 107 | ----- | ----- | 90 *** |
| | | 107 | ----- | ----- | 110 *** |
| Cozinha | 89,8 | 81 | ----- | ----- | 75 *** |
| Refeitório | 88,7 | 76 | 55 | 60 | 65 |

*** Para áreas de trabalho e sala de máquinas tomar como referência a IMO

Posteriormente, quando forem apresentados os resultados das vibrações será determinado o NCC global da embarcação.

6.2.4 – Comparação das medidas com as Curvas de avaliação de ruído (NC) e (NR) da NBR 10152:1987 – “Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento” da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e ISO 1996-2:2003 – “Description, measurement and assessment of environmental noise - Part 2 – Determination of environmental noise levels”

Estas curvas serão utilizadas para analisar os resultados que ultrapassaram os limites na norma IMO e para identificar que bandas de oitava das frequências estão acima dos limites, assim podem-se ter mais elementos para calcular um isolamento interno no recinto em estudo.

As Figuras 6.1, 6.2, 6.3, 6.4 e 6.5 mostram os espectros do nível de pressão sonora, em dB, em bandas de oitava de frequência, na faixa dos 63 Hz aos 8.000 Hz, nos diversos ambientes do navio. Estes valores estão sobrepostos às curvas de critério de ruído (NC) da NBR 10152:1987. Com base nestes gráficos, é possível definir o valor do NC para cada local da embarcação.

Para fins de comparação, os camarotes foram considerados dormitórios, e a cozinha e o refeitório foram tratados como restaurante. Os camarotes também servem como escritório (os valores recomendados são os mesmos que para os dormitórios), e o refeitório também faz o papel de sala de estar (os valores recomendados são os mesmos que para restaurante). A praça de máquinas é um tipo de ambiente que foge do escopo desta norma, e não são apresentados valores de referência. A Tabela 6.5 permite observar que todos os ambientes avaliados apresentam níveis de ruído muito acima do recomendado pela NBR 10152.

Tabela 6.5 - Comparação do ruído medido nos diversos ambientes do navio com os valores recomendado pela NBR 10152.

| Local | Valores encontrados | | Valores recomendados | |
|------------------------|---------------------|-------|----------------------|---------|
| | NC | dB(A) | NC | dB(A) |
| Camarote do armador | 70 | 65 | 30 - 40 | 35 - 45 |
| Camarote do cozinheiro | 70 | 74 | 30 - 40 | 35 - 45 |
| Praça de máquinas | >70 | 106,6 | - | - |
| Cozinha | 70 | 81 | 35 - 45 | 35 - 45 |
| Refeitório | 70 | 76 | 35 - 45 | 35 - 45 |

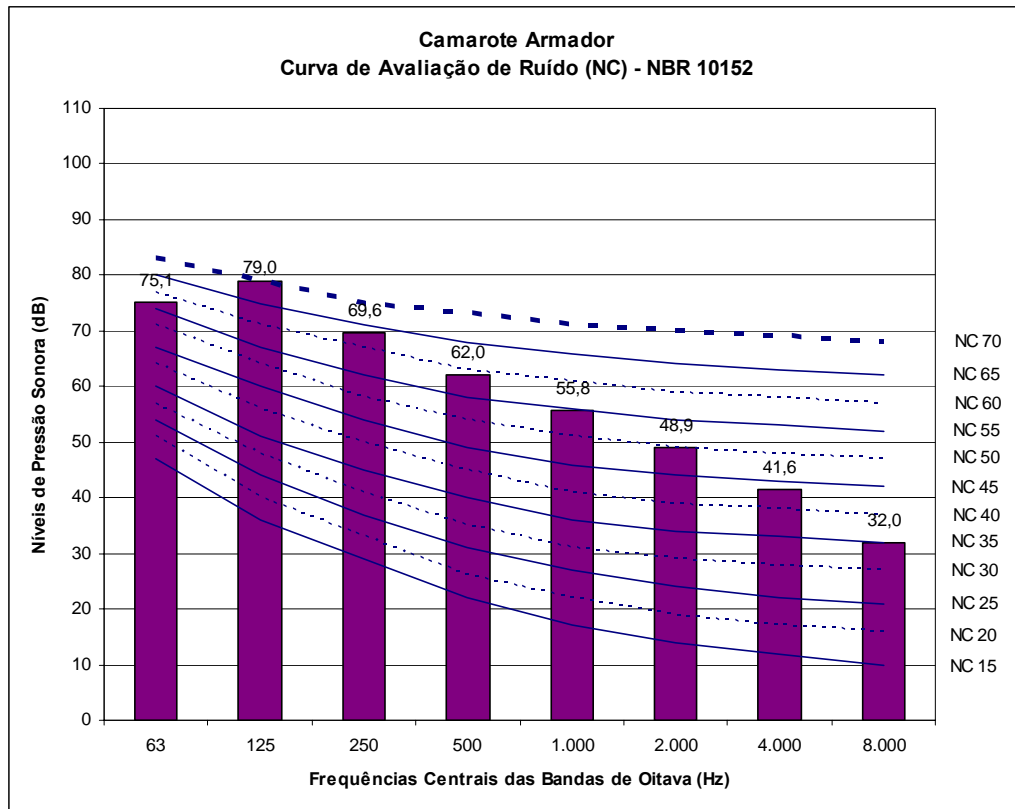


Figura 6.1 – Espectro do nível de pressão sonora em bandas de oitava do Camarote do Armador sobreposto nas Curvas de avaliação de ruído (NC) da NBR 10152:1987.

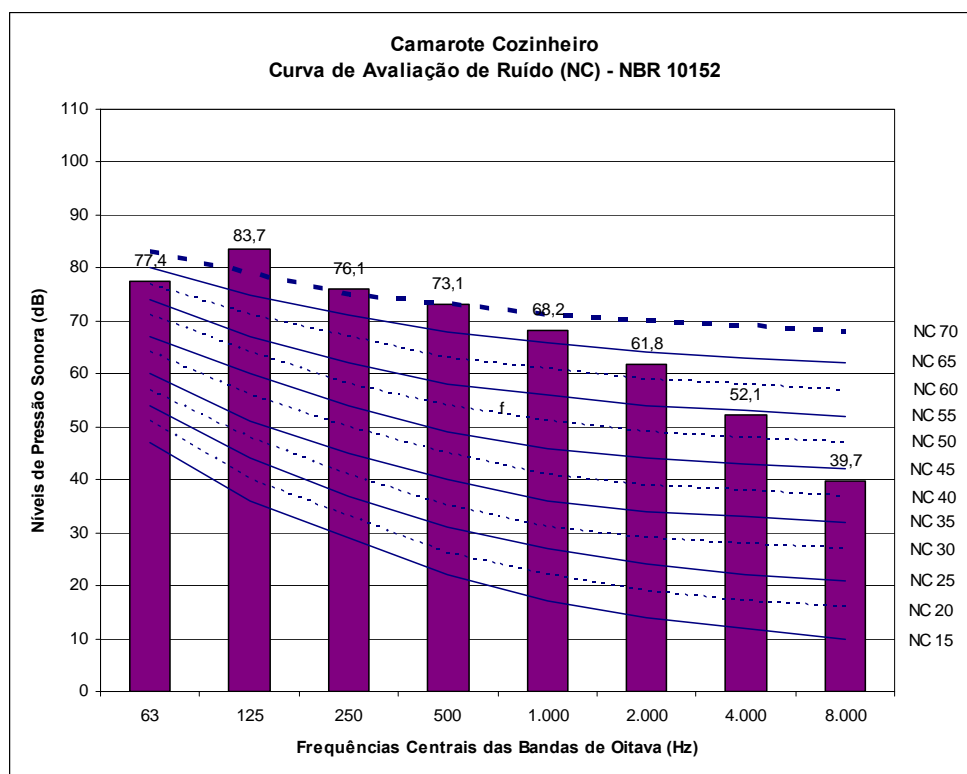


Figura 6.2 – Espectro do nível de pressão sonora em bandas de oitava do Camarote do Cozinheiro sobreposto nas Curvas de avaliação de ruído (NC) da NBR 10152:1987.

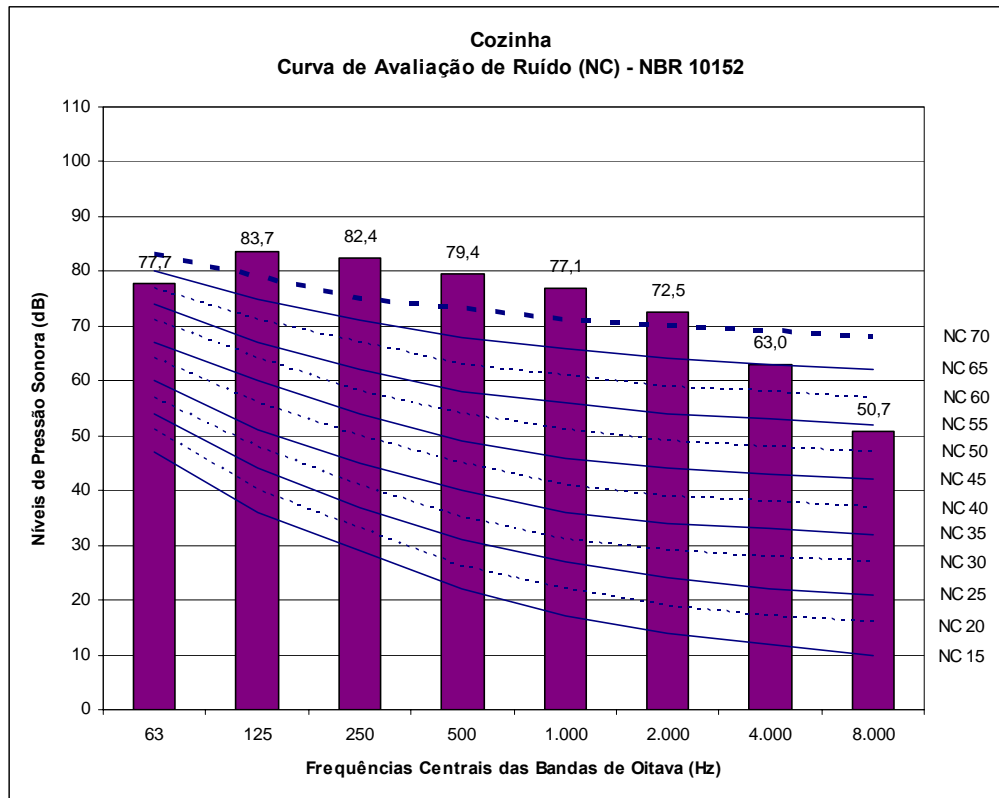


Figura 6.3 – Espectro do nível de pressão sonora em bandas de oitava da Cozinha sobreposto nas Curvas de avaliação de ruído (NC) da NBR 10152:1987.

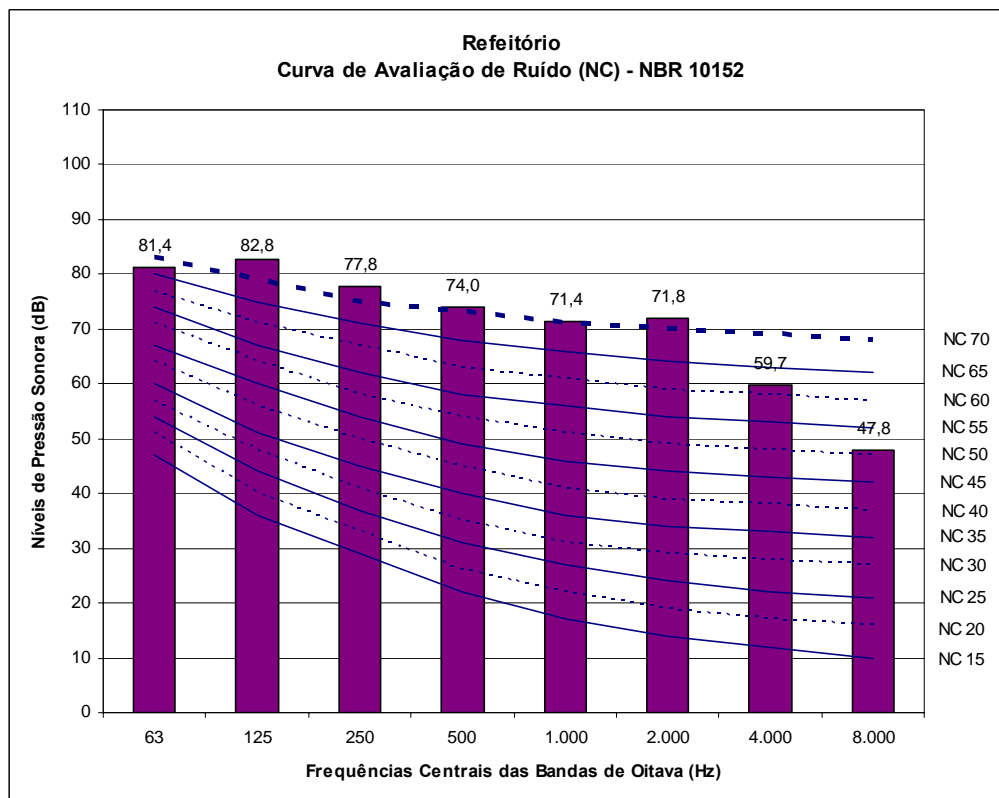


Figura 6.4 – Espectro do nível de pressão sonora em bandas de oitava do Refeitório sobreposto nas Curvas de avaliação de ruído (NC) da NBR 10152:1987.

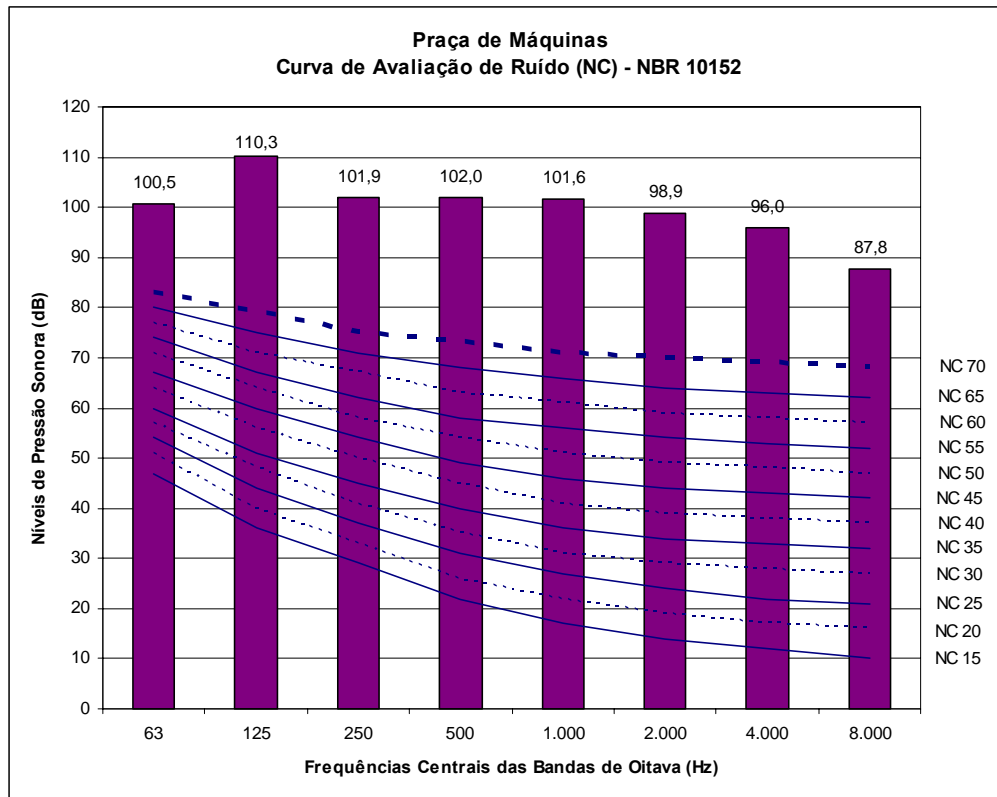


Figura 6.5 – Espectro do nível de pressão sonora em bandas de oitava da Praça de Máquinas sobreposto nas Curvas de avaliação de ruído (NC) da NBR 10152:1987.

A Norma IMO - Code on Noise Levels on Board Ships – Resolution A.468(XII) – 1981, em acomodações onde os limites de dB(A) são excedidos devem ser determinadas as curvas de avaliação de ruído (NR).

Os limites especificados podem ser considerados como satisfeitos se as curvas de avaliação de ruído (NR) não ultrapassarem numericamente o valor ponderado pela escala A menos 5. A Tabela 6.6 mostra os valores NR para cada ambiente.

Tabela 6.6 – Valores NR corrigidos pela Norma IMO.

| | Medição realizada | IMO | IMO - 5 |
|------------------------|------------------------------|--------------|----------------|
| Local | dB(A) | dB(A) | NR |
| Camarote do armador | 65 | 60 | 55 |
| Camarote do cozinheiro | 74 | 60 | 55 |
| Praça de máquinas | 106,6 | 90 | 85 |
| Cozinha | 81 | 75 | 70 |
| Refeitório | 76 | 65 | 60 |

As Figuras 6.6, 6.7, 6.8, 6.9, 6.10 mostram os espectros do nível de pressão sonora em bandas de oitava do Camarote do Armador, Camarote do Cozinheiro, Cozinha, Refeitório e Praça de Máquinas, respectivamente, sobrepostos nas curvas de avaliação de ruído (NR) da ISO 1996-1:2003.

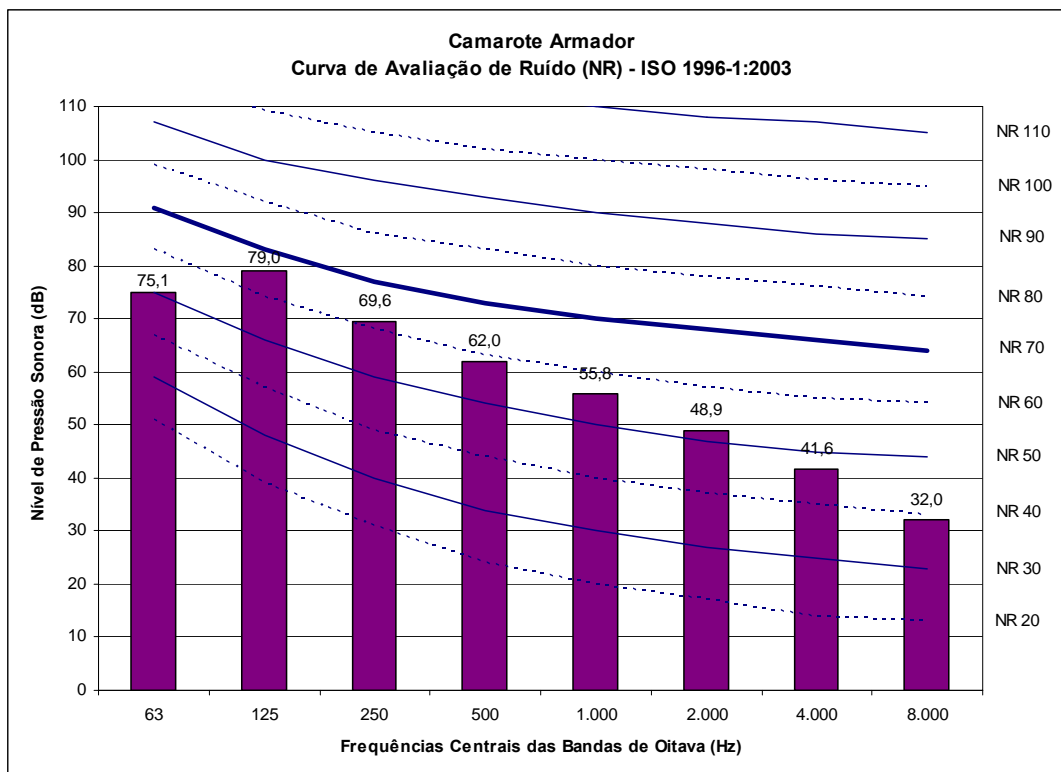


Figura 6.6 – Espectro do nível de pressão sonora em bandas de oitava do Camarote do Armador sobreposto nas Curvas de avaliação de ruído (NR) da ISO 1996-1:2003.

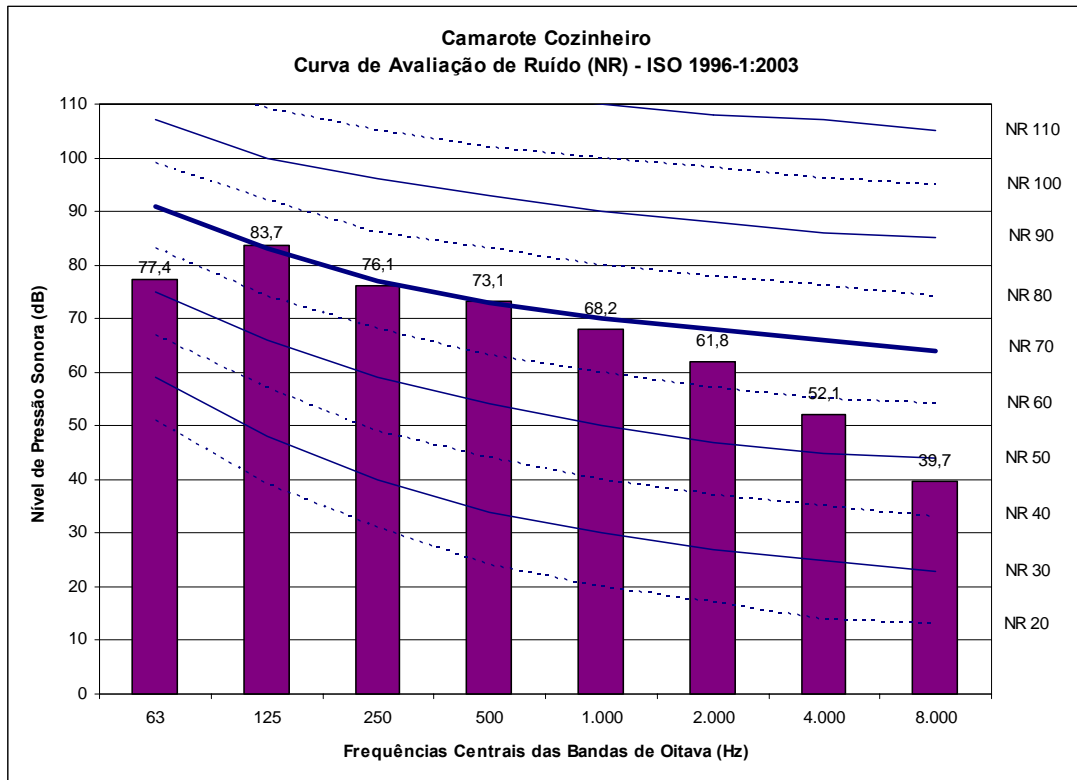


Figura 6.7 – Espectro do nível de pressão sonora em bandas de oitava do Camarote do Cozinheiro sobreposto nas Curvas de avaliação de ruído (NR) da ISO 1996-1:2003.

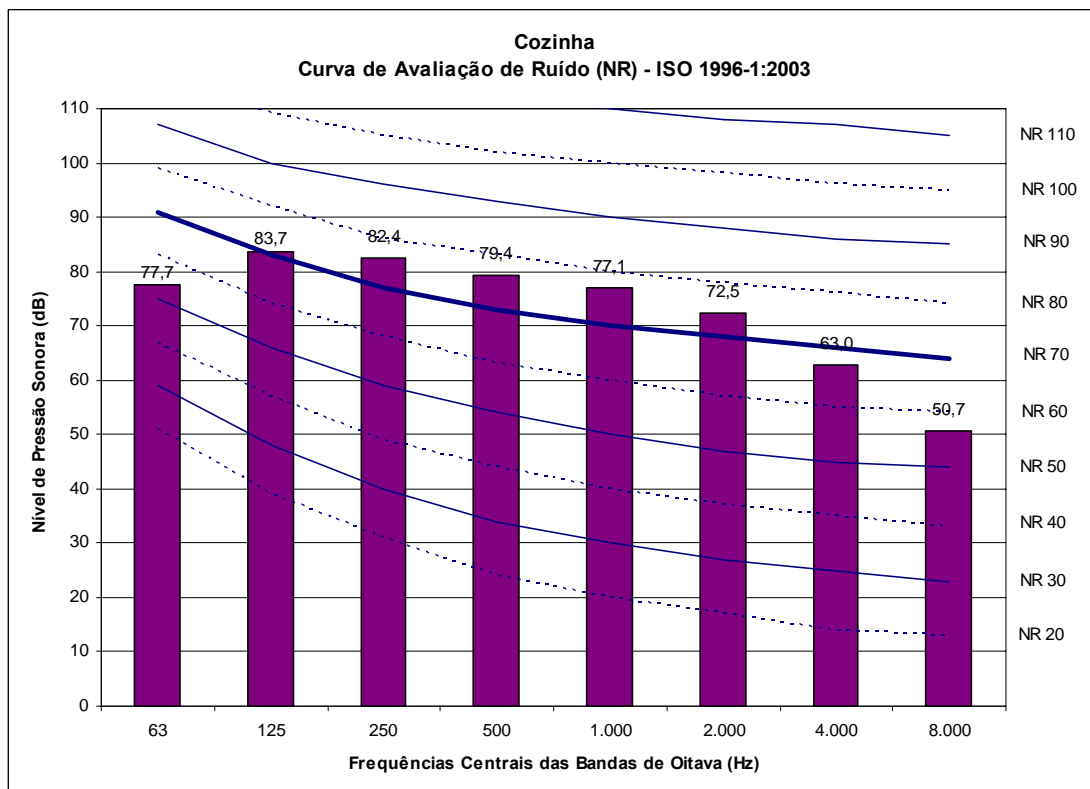


Figura 6.8 – Espectro do nível de pressão sonora em bandas de oitava da Cozinha sobreposto nas Curvas de avaliação de ruído (NR) da ISO 1996-1:2003.

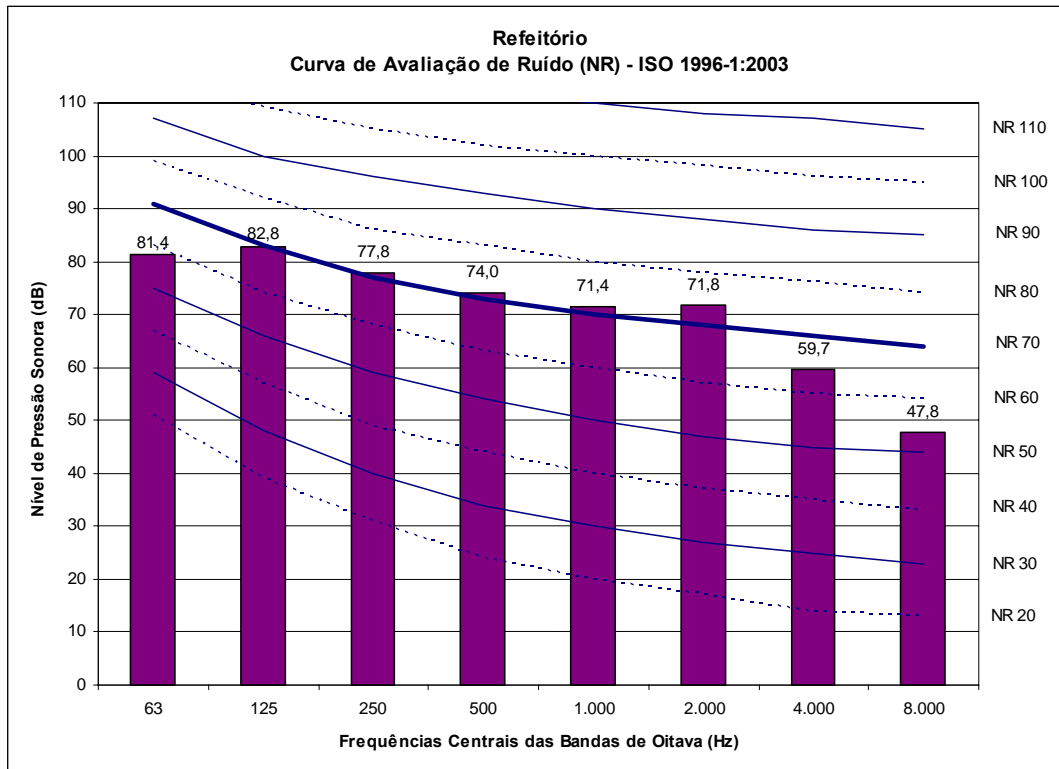


Figura 6.9 – Espectro do nível de pressão sonora em bandas de oitava do Refeitório sobreposto nas Curvas de avaliação de ruído (NR) da ISO 1996-1:2003.

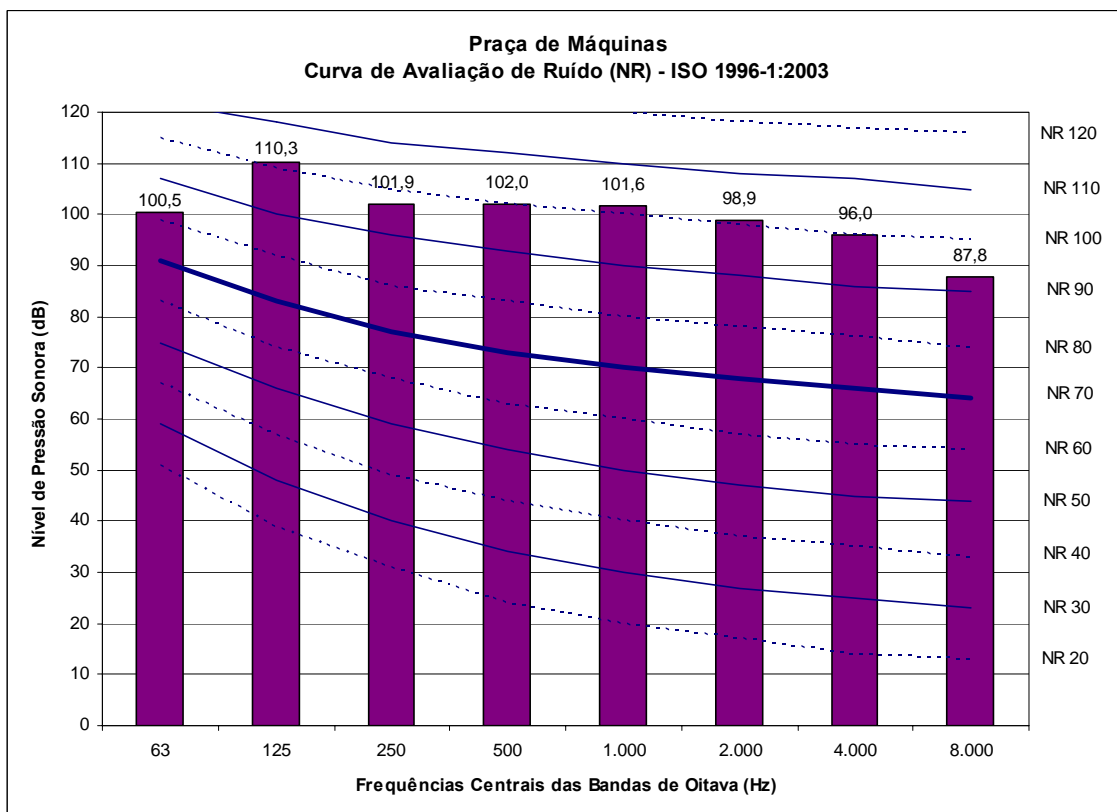


Figura 6.10 – Espectro do nível de pressão sonora em bandas de oitava da Praça de Máquinas sobreposto nas Curvas de avaliação de ruído (NR) da ISO 1996-1:2003.

Comparando os valores das curvas de avaliação de ruído (NR) fornecidos pela Tabela 6.6 e os gráficos dos espectros do nível de pressão sonora, em dB, em bandas de oitava de frequência, na faixa dos 63 Hz aos 8.000 Hz com os valores sobrepostos às curvas de critério de ruído (NR) da ISO 1996-1:2003, pode-se observar que todos os ambientes avaliados apresentam níveis de ruído acima do recomendado.

6.2.5 – Comparação das medidas com a norma NR-15 – Atividades e Operações Insalubres – Anexo 1 e com a Norma de Higiene Ocupacional – Avaliação da Exposição Ocupacional ao Ruído (NHO 01)

A NR-15 apresenta os valores de referência e os procedimentos de avaliação da exposição de trabalhadores ao ruído em ambientes de trabalho. No caso específico do regime de trabalho encontrado em embarcações, a aplicabilidade da NR-15 fica limitada, uma vez que ela prevê jornadas de trabalho de até 8 horas diárias. Em uma embarcação, os tripulantes ficam expostos ao ruído durante todo o período em que o navio está em operação. No caso da embarcação em estudo neste trabalho, uma viagem normal (somente ida ou volta) tem a duração de aproximadamente 23 horas.

Outra norma brasileira que faz referência à exposição ocupacional ao ruído é a NHO-01, da FUNDACENTRO. Esta norma foi definida com critérios um pouco diferentes dos utilizados na NR-15, e apresenta valores de referência para limite de nível de ruído para tempos de exposição de até 24 horas diárias.

A NR-15 estabelece que no nível de ruído equivalente a que um trabalhador pode ser exposto, sem a utilização de equipamento de proteção, em uma jornada de trabalho de 8 horas é de 85 dB(A). Para períodos diferentes de oito horas de exposição, a norma utiliza um critério baseado em um intervalo de duplicação de 5 dB. Isto significa que, com o aumento de 5 dB no nível equivalente, o tempo limite de exposição cai pela metade (para um nível equivalente de 90 dB(A), o tempo de exposição diária máximo cai para 4 horas). A norma apresenta valores para tempos de exposição iguais ou inferiores a 8 horas diárias. Porém, utilizando o critério no qual a norma é baseada, é possível dizer que o nível máximo permitido para uma exposição de 16 horas seria 80 dB(A), e para uma exposição de 24 horas seria próximo a 77 dB(A).

A NHO 01 também estabelece um limite de 85 dB(A) para 8 horas diárias de exposição. Porém, para tempos diferentes de exposição, o intervalo de duplicação utilizado é de 3 dB. No caso da NHO 01, é apresentada uma tabela estabelecendo os níveis máximos para tempos de exposição que vão desde alguns segundos até 24 horas. Utilizando o critério da norma, um trabalhador poderia ficar 24 horas exposto a um ruído com nível equivalente de até 80 dB(A), aproximadamente. O tempo limite de permanência, sem proteção adequada, para cada um dos ambientes do navio em que foram feitas as medições são apresentados, para a NR15 e para a NHO 01, na Tabela 6.7

Tabela 6.7 - Valores globais do nível de pressão sonora em dB e dB(A) e comparação com as normas NR-15 e NHO 01.

| Local | Nível equivalente | Tempo limite de permanência no local | | |
|------------------------|--------------------------|---|--------------|---------------|
| | dB | dB(A) | NR-15 | NHO 01 |
| Camarote do armador | 88,5 | 65,0 | >24h | >24h |
| Camarote do cozinheiro | 86,5 | 73,9 | >24h | >24h |
| Praça de máquinas | 111,0 | 106,6 | 3,75 min. | 25 min. |
| Cozinha | 89,8 | 81,2 | 20h | >24h |
| Refeitório | 88,7 | 76,2 | >24h | >24h |

No Apêndice E encontra-se um resumo com os diversos critérios das normas de ruído e vibração utilizadas em este trabalho.

6.2.5 – Alterações do sono

Tamura et al (1997), realizou medidas em três homens com idades entre 29 e 33 anos estudando os efeitos no sono produzido pelo ruído de um navio com um nível sonoro de 65 dB(A). O som do motor diesel de um navio foi previamente gravado e os homens foram expostos ao ruído em um laboratório do sono durante a noite onde foram medidos diversos

parâmetros objetivos. Também foram estudados parâmetros subjetivos por intermédio de questionários.

Tamura constatou que o ruído exerceu efeitos adversos sobre o sono noturno dos homens, para um grau moderado sobre parâmetros subjetivos de sono e de um grau leve em parâmetros objetivos do sono.

A duração da viagem exige que a tripulação durma uma noite com a embarcação navegando a cada viagem realizada. Em média, o navio realiza 7 viagens (ida e volta) por mês, o que significa que a tripulação passa 14 noites em viagem.

Pelos níveis de pressão sonora medidos, conforme Tabela 6.1, pode-se observar que os camarotes do convés principal, onde se encontra o camarote do cozinheiro (74 dB(A)), os ocupantes dos mesmos devem ter alterações no sono sendo necessário realizar um tratamento acústico no camarote para diminuir os níveis de ruído.

No convés superior o nível de pressão sonora no camarote do armador é de 65 dB(A), como é um valor limite, é aconselhável também realizar tratamento acústico nas acomodações.

6.3– Resultados e análise das medições de vibração

Os registros de aceleração nas três direções obtidos nos Camarotes do Armador e do Cozinheiro, na Cozinha, no Refeitório e na Praça de Máquinas foram processados nas funções do sistema PULSE e aplicaram-se as compensações das normas em planilhas de cálculo. Para obter o valor global da aceleração foi calculada a média nos locais onde foram realizadas mais de uma medida.

A seguir apresentam-se a comparação desses resultados com a norma ISO 6954:2000 – Mechanical vibration – Guidelines for the measurement, reporting and evaluation of vibration with regard to habitability on passenger and Merchant ships. e a norma COMFORT CLASS – Parte 5 – Capítulo 12 da Det Norske Veritas.

6.3.1 – Comparação dos valores globais da aceleração medidos com a Norma ISO 6954:2000 – Mechanical vibration – Guidelines for the measurement, reporting and evaluation of vibration with regard to ability on passenger and Merchant ships.

Inicialmente foi realizado o auto-espectro em 1/3 de banda de oitava de todos os arquivos de aceleração nas três direções no sistema PULSE. Esses resultados foram transferidos para uma planilha de cálculo onde foi realizada a média dos arquivos e a compensação dos mesmos. A compensação consiste em aplicar a equação 2.3, ou seja, fazer o somatório da multiplicação de cada componente do espectro do 1/3 de banda de oitava da aceleração pelo fator de ponderação W_i (ver Tabela 2.6) elevar ao quadrado o produto e tirar a raiz quadrada. Esse procedimento aplica-se para cada direção.

Foi realizada essa análise nos camarotes do armador e do cozinheiro, na cozinha e no refeitório. Os resultados obtidos e os valores da norma encontram-se nas Tabelas 6.8, 6.9, 6.10 e 6.11, respectivamente.

Tabela 6.8 – Valores globais e compensados da aceleração nas três direções no Camarote do Armador calculados para a Norma ISO 6954:2000 – Mechanical vibration – Guidelines for the measurement, reporting and evaluation of vibration with regard to ability on passenger and Merchant ships; valores limites da mesma norma.

| Camarote Armador | Aceleração em mm/s² | | |
|-------------------------|---------------------------------------|-----------------------|------------------|
| | RMS Global | RMS Compensado | ISO 6954 |
| Aceleração X | 106,4 | 23,4 | 107 - 214 |
| Aceleração Y | 117,8 | 21,7 | 107 - 214 |
| Aceleração Z | 226,9 | 33,0 | 107 - 214 |

Tabela 6.9 – Valores globais e compensados da aceleração nas três direções no Camarote do Cozinheiro calculados para a Norma ISO 6954:2000 – Mechanical vibration – Guidelines for the measurement, reporting and evaluation of vibration with regard to hability on passenger and Merchant ships; valores limites da mesma norma.

| Camarote Cozinheiro | Aceleração em mm/s² | | |
|----------------------------|---------------------------------------|-----------------------|------------------|
| | RMS Global | RMS Compensado | ISO 6954 |
| Aceleração X | 332,3 | 18,7 | 107 – 214 |
| Aceleração Y | 326,6 | 19,8 | 107 – 214 |
| Aceleração Z | 1,5 m/s ² | 50,6 | 107 – 214 |

Tabela 6.10 – Valores globais e compensados da aceleração nas três direções na Cozinha calculados para a Norma ISO 6954:2000 – Mechanical vibration – Guidelines for the measurement, reporting and evaluation of vibration with regard to hability on passenger and Merchant ships; valores limites da mesma norma.

| Cozinha | Aceleração em mm/s² | | |
|----------------|---------------------------------------|-----------------------|------------------|
| | RMS Global | RMS Compensado | ISO 6954 |
| Aceleração X | 303,0 | 27,8 | 143 – 286 |
| Aceleração Y | 271,0 | 29,7 | 143 – 286 |
| Aceleração Z | 1,09 m/s ² | 38,5 | 143 – 286 |

Tabela 6.11 - Valores globais e compensados da aceleração nas três direções no Refeitório calculados para a Norma ISO 6954:2000 – Mechanical vibration – Guidelines for the measurement, reporting and evaluation of vibration with regard to hability on passenger and Merchant ships; valores limites da mesma norma.

| Refeitório | Aceleração em mm/s² | | |
|-------------------|---------------------------------------|-----------------------|------------------|
| | RMS Global | RMS Compensado | ISO 6954 |
| Aceleração X | 206,0 | 38,7 | 107 - 214 |
| Aceleração Y | 197,0 | 28,8 | 107 - 214 |
| Aceleração Z | 514,0 | 40,1 | 107 - 214 |

Observando-se as tabelas acima se conclui que o navio não possui problemas de vibração segundo a Norma ISO 6954:2000 – Mechanical vibration – Guidelines for the measurement, reporting and evaluation of vibration with regard to habilitability on passenger and Merchant ships, pois todos os valores encontram-se abaixo dos limites estabelecidos pela mesma.

6.3.2 – Comparação dos valores globais da aceleração medidos com a Norma COMFORT CLASS – Parte 5 – Capítulo 12 da Det Norske Veritas

Como a norma Comfort Class dá os limites de vibração em termos de velocidade da vibração em mm/s foi realizada a integração da aceleração entre as frequências de 5 a 100 Hz (faixa à qual o ser humano é sensível), com uma resolução de 400 linhas. O valor máximo de pico que se encontra no registro será comparado com os valores limites fornecidos pela norma. Como os valores medidos são em RMS (Root Mean Square), cada valor encontrado deverá ser convertido em valor de pico de amplitude multiplicando-o por $\sqrt{2}$. Foi realizada essa análise nas três direções (X, Y e Z).

No Apêndice A encontram-se os valores de pico da velocidade da vibração em mm/s encontrados na faixa de frequência entre 5 e 100 Hz para todos os arquivos medidos.

O menor valor da velocidade-pico, fornecido pela norma, é de 2,5 mm/s para o Número de Classificação do Conforto (NCC) igual a 1 (um), conforme mostra a Tabela 2.9. Como se pode observar no Apêndice A todos os valores encontrados para a velocidade são inferiores a esse valor, sendo assim, o NCC em termos de vibração para o navio é igual a 1 (um).

Para determinar o NCC global da classificação do navio será adotado o maior NCC alcançado pelo quesito ruído ou vibração. Como o NCC em termos de ruído é igual a 3 (três), conforme apresentado no item 6.2.3, e o NCC em termos de vibração é igual a 1 (um) o NCC global da embarcação será igual a 3 (três).

CAPÍTULO 7 – Determinação dos caminhos de propagação do ruído

7.1 - Introdução

O estudo das normas de ruído e vibração apresentado anteriormente constatou que o navio possui problemas de ruído e não de vibração. Esse ruído chega aos camarotes e instalações do navio por intermédio do ar ou através da estrutura do próprio navio.

Para identificar as frequências mais significativas que aparecem em ambos os ambientes foram analisados os auto-espectros do nível de pressão sonora e os auto-espectros de aceleração da vibração na direção Z nos camarotes e na praça de máquinas.

Posteriormente para identificar os caminhos de propagação das ondas sonoras e vibratórias serão definidos e realizados os espectros cruzados entre os arquivos de nível de pressão sonora e da aceleração da vibração. As frequências onde os sinais estão presentes em ambos os espectros terá componentes significativas no espectro cruzado. No Anexo III encontra-se a definição de espectro cruzado.

Com as frequências que tenham componentes significativas no espectro cruzado pode-se propor um tratamento acústico de absorção no camarote e na praça de máquinas ou de isolamento na praça de máquinas, etc., para assim, diminuir o nível de pressão sonora nos ambientes.

A Tabela 7.1 mostra a nomenclatura dos canais utilizados no sistema Pulse e que aparecem nos gráficos mostrados neste capítulo.

Tabela 7.1 – Nomenclatura dos canais utilizados no sistema Pulse.

| Camarote Armador | |
|-------------------------|----------|
| Aceleração na Direção Z | Signal 3 |
| Nível de Pressão Sonora | Signal 4 |
| Praça Máquinas | |
| Aceleração na Direção Z | Signal 8 |
| Nível de Pressão Sonora | Signal 9 |

7.2 – Análise dos caminhos de propagação no Camarote do Armador

Com os registros do auto-espectro e espectro cruzado dos arquivos de nível de pressão sonora e da aceleração na direção Z obtidos na Praça de Máquinas e no Camarote do Armador será realizada a análise para encontrar quais são as frequências mais significativas nos diversos caminhos de propagação que as ondas sonoras podem percorrer desde a Praça de Máquinas até o Camarote do Armador. No decorrer da análise serão definidos os caminhos de propagação.

7.2.1 – Identificação dos picos mais significativos (valores mais altos para o nível de pressão sonora e para a aceleração na direção Z) das frequências no auto espectro do nível de pressão sonora e da aceleração na direção Z para a Praça de Máquinas e para o Camarote do Armador.

A seguir será mostrada a análise realizada no arquivo “quarto1 motor direita pf”, neste arquivo o conjunto de sensores (acelerômetro e microfone) da Praça de Máquinas encontra-se no motor de propulsão direito e o outro conjunto de sensores encontra-se no Camarote do Armador conforme é mostrado no Capítulo 5.

A Figura 7.1 mostra o nível de pressão sonora no Camarote do Armador em dB(A). Uma primeira análise mostra que os maiores níveis de pressão sonora ocorrem até 1.000 Hz.

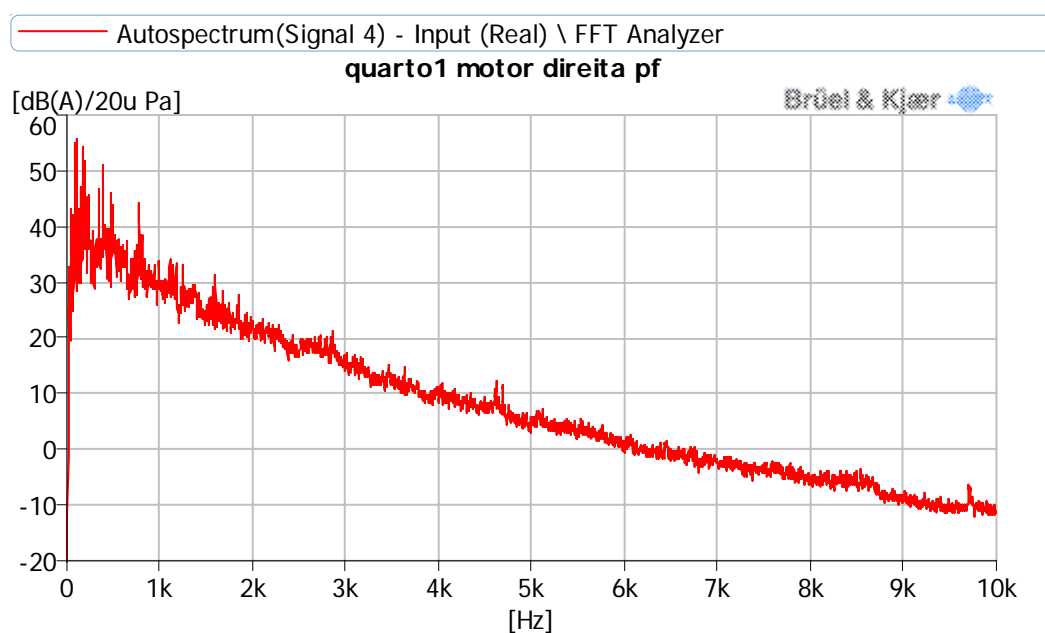


Figura 7.1 – Espectro do nível de pressão sonora no Camarote do Armador em dB(A).

A Figura 7.2 mostra o mesmo arquivo até uma frequência de 1.000 Hz para se ter uma visualização melhor.

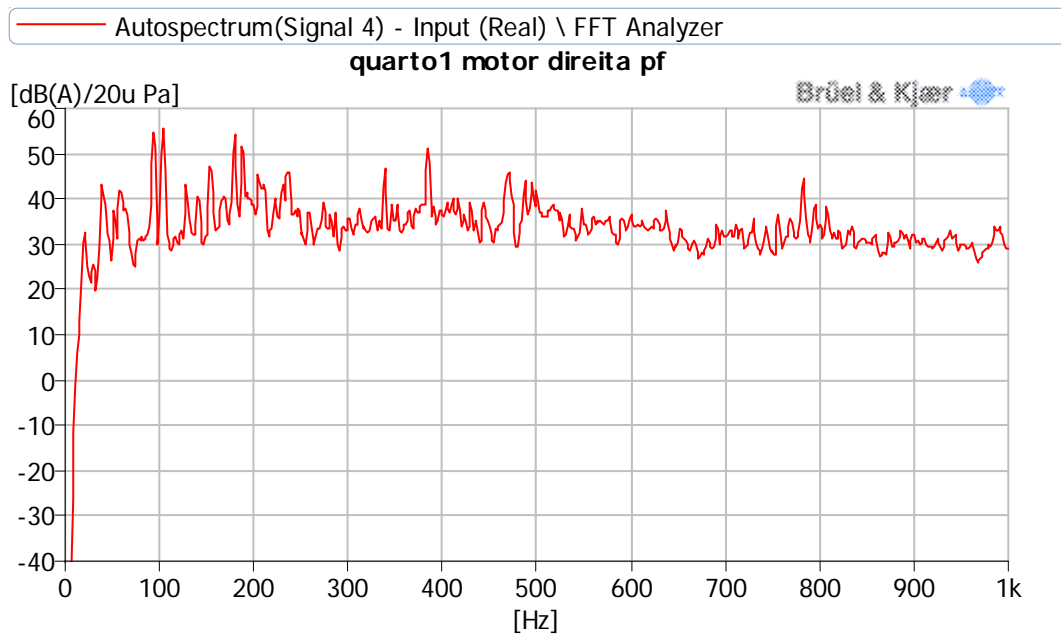


Figura 7.2 – Espectro do nível de pressão sonora no Camarote do Armador em dB(A) até 1.000 Hz.

Analisando-se o gráfico do nível de pressão sonora até 1.000 Hz pode-se constatar que os picos mais significativos encontram-se até 500 Hz. A Figura 7.3 mostra o espectro até essa frequência.

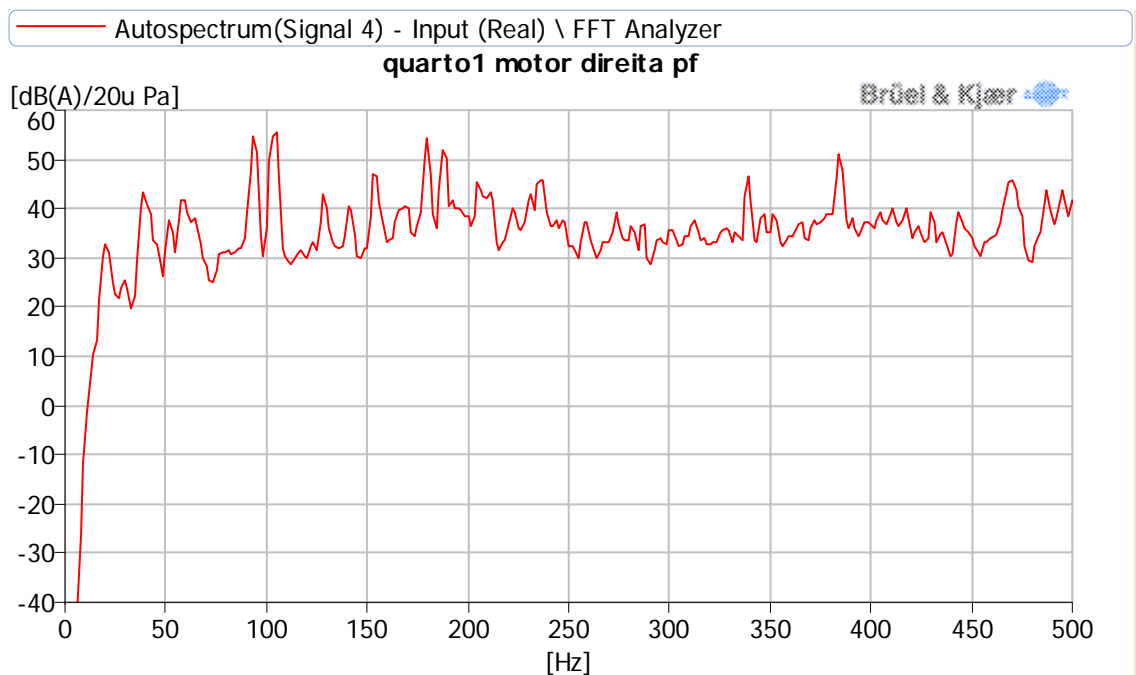


Figura 7.3 – Espectro do nível de pressão sonora no Camarote do Armador em dB(A) até 500 Hz.

Analisando os espectros de nível de pressão sonora da Praça de Máquinas observa-se que se pode adotar o intervalo de 0 a 500 Hz para realizar o estudo. No Apêndice B nas Figuras B.1 e B.2 encontram-se os espectros de frequência de 0 a 10.000 Hz e de 0 a 1.000 Hz, respectivamente, para o nível de pressão sonora da praça de máquinas para o arquivo “quarto1 motor direita pf”. A Figura 7.4 mostra o espectro do nível de pressão sonora na Praça de Máquinas em dB(A) até 500 Hz.

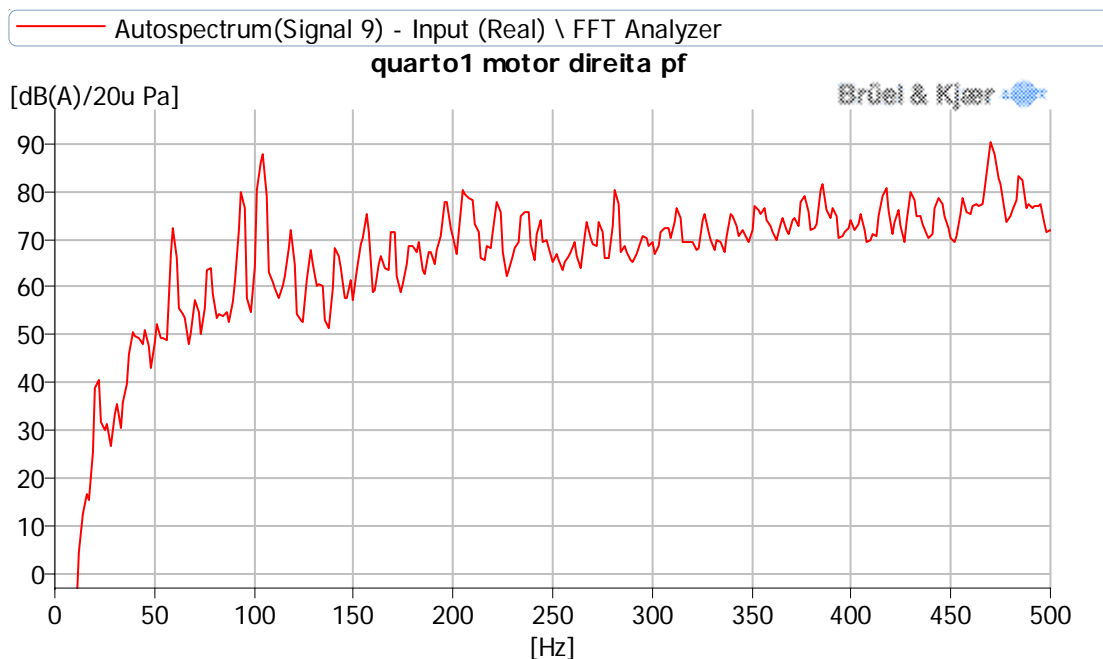


Figura 7.4 – Espectro do nível de pressão sonora em dB(A) na Praça de Máquinas até 500 Hz.

As Figuras 7.5 e 7.6 mostram o espectro da aceleração da vibração na direção Z em m/s^2 no Camarote do Armador e na Praça de Máquinas, respectivamente, até uma frequência de 500 Hz.

No Apêndice B as Figuras B.3 e B.4 mostram os espectros de frequência de 0 a 10.000 Hz e de 0 a 1.000 Hz, respectivamente, da aceleração na direção Z no Camarote do Armador. As Figuras B.5 e B.6 mostram os espectros de frequência de 0 a 10.000 Hz e de 0 a 1.000 Hz, respectivamente, da aceleração na direção Z para a Praça de Máquinas.

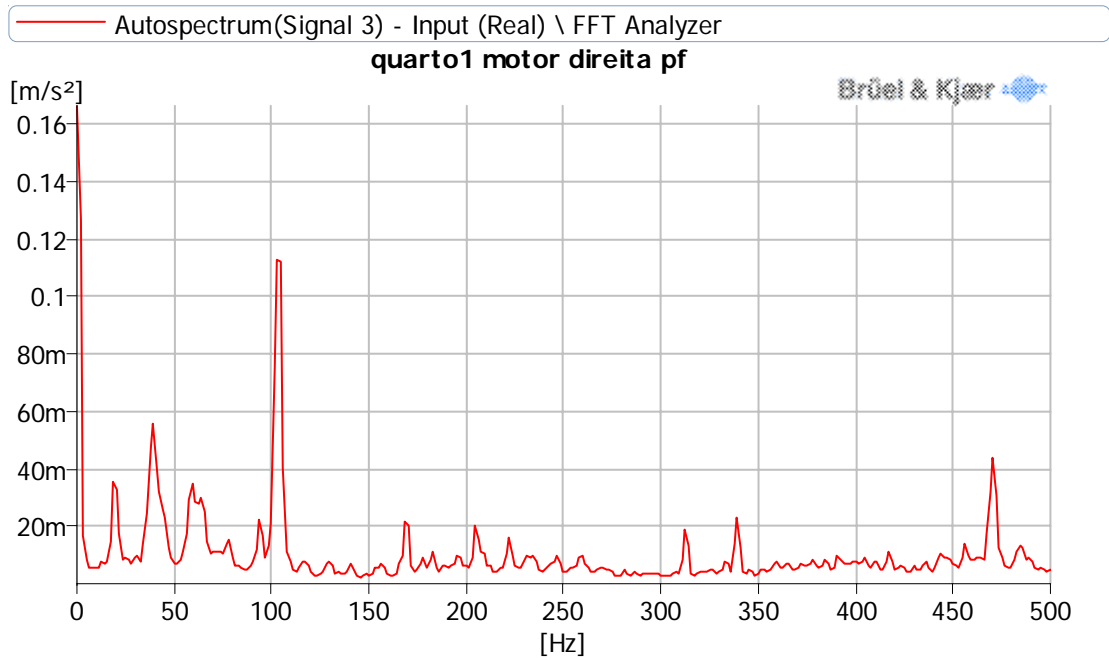


Figura 7.5 – Espectro da aceleração na direção Z em m/s^2 no Camarote do Armador até 500 Hz.

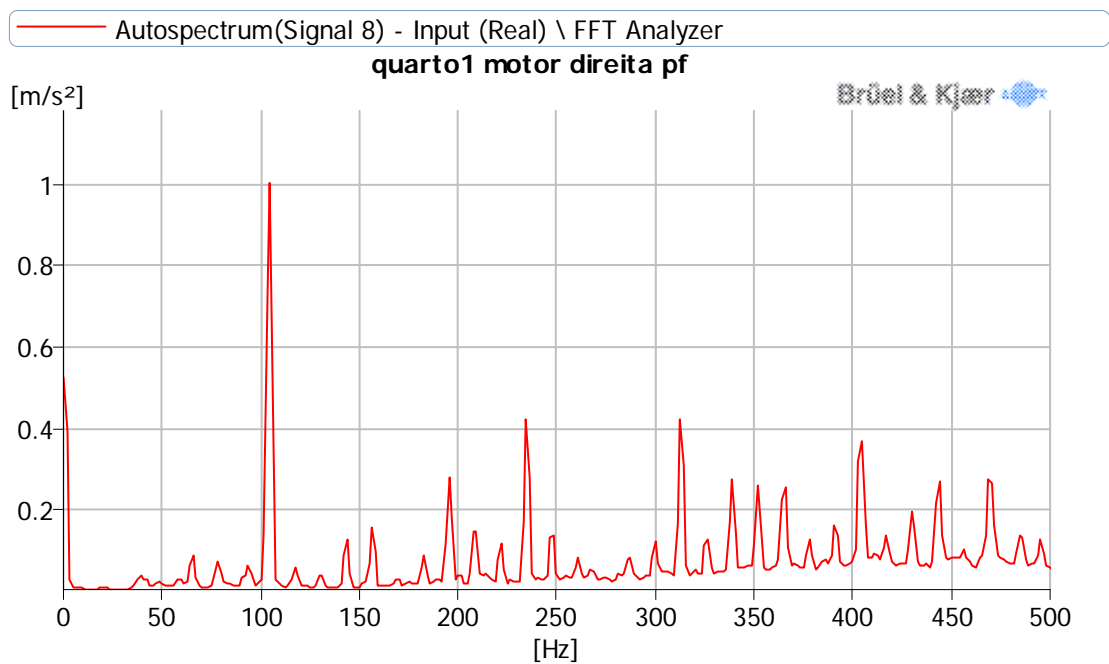


Figura 7.6 – Espectro da aceleração na direção Z em m/s^2 na Praça de Máquinas até 500 Hz.

No sistema PULSE foram escolhidos os picos de frequência com maior amplitude nos registros das Figuras 7.3 até 7.6 que se encontram na Tabela 7.2.

Tabela 7.2 – Frequências e amplitudes mais significativas dos níveis de pressão sonora e da aceleração na direção Z no Camarote do Armador e na Praça de Máquinas.

| | Camarote Armador Signal 4 | Praça Máquinas Signal 9 | Camarote Armador Signal 3 | Praça Máquinas Signal 8 |
|-----------------------|--------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Freq. - Hz | NPS - dB(A) | NPS - dB(A) | Acel. Z - m (m/s²) | Acel. Z - m (m/s²) |
| 39,1 | 43,2 | 50,6 | 56,1 | (40,3) VNS |
| 93,75 | 54,8 | 80 | 22,5 | 64,6 |
| 104,7 | 55,5 | 87,8 | 112 | 1.000 |
| 179,7 | 54,2 | 68,7 | (6) *** VNS | (19,3) *** VNS |
| 187,5 | 51,7 | (67,3) *** | (6,3) *** VNS | (24,1) *** VNS |
| 195,3 | 40,1 | 77,9 | (9,9) VNS | 280 |
| 234,4 | (44,8) *** | (74,9) *** | (9,7) VNS | 420 |
| 312,5 | 37,7 | 76,4 | 18,9 | 421 |
| 339,1 | 46,7 | 75,1 | 23,1 | 275 |
| 384,4 | 51,2 | (80,2) *** | (8,3) VNS | (70) *** VNS |
| 404,7 | 39,3 | 75,1 | (9) VNS | 370 |
| 470,3 | 45,8 | 90,2 | 44,2 | (267) *** |

VNS = Valor Não Significativo

*** = pico inexistente

Em negrito o valor máximo

Os valores em negrito na Tabela 7.2 indicam os valores máximos da amplitude. Os valores que se encontram entre parênteses e possuem a sigla “VNS” representam valores não significativos. Os valores que estão entre parênteses e possuem três asteriscos (***) não são picos de frequências, mas encontram-se próximo do mesmo.

7.2.2 – Definição dos caminhos de propagação para a realização dos espectros cruzados

Os caminhos de propagação das ondas sonoras e vibratórias podem ser pela estrutura, pelo ar ou por uma combinação de ambos. Definem-se a seguir os caminhos de propagação e mostram-se os espectros cruzados calculados.

7.2.2.1 Caminho: Estrutura (Praça de Máquinas) – Ar (Camarote Armador)

Para analisar as vibrações que são geradas na estrutura do navio na Praça de Máquinas e que chegam ao Camarote do Armador pelo ar foi analisado o espectro cruzado entre a aceleração na direção Z na Praça de Máquinas (Signal 8) e o nível de pressão sonora no Camarote do Armador (Signal 4). A Figura 7.7 mostra este espectro cruzado.

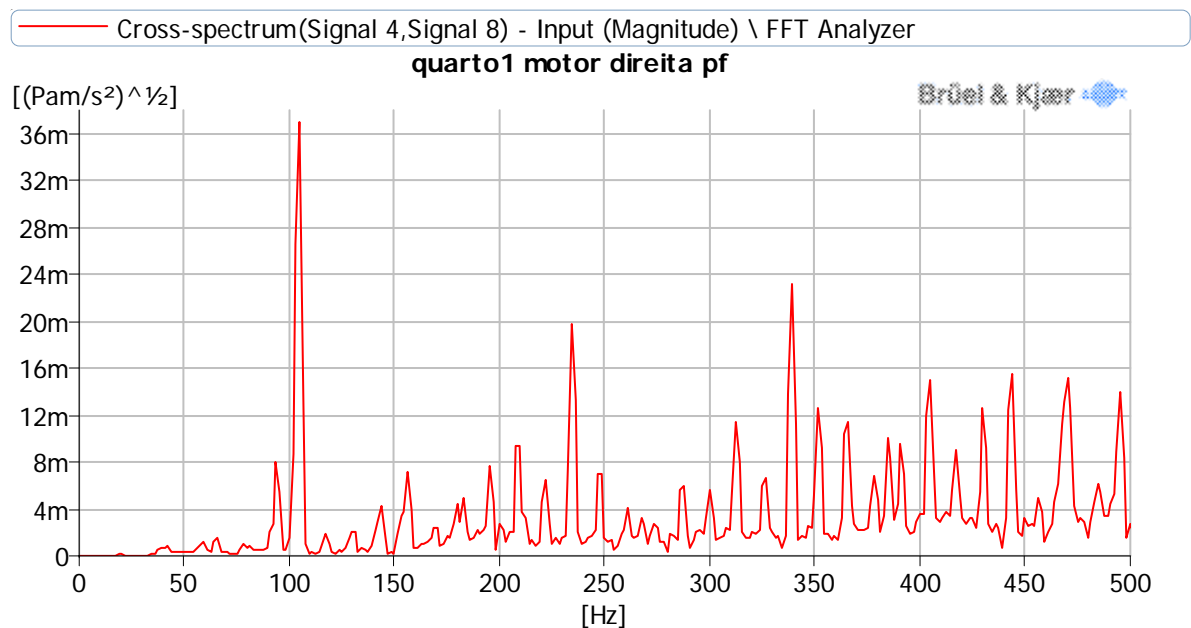


Figura 7.7 – Espectro cruzado entre a aceleração na direção Z na Praça de Máquinas (Signal 8) e o nível de pressão sonora no Camarote do Armador (Signal 4).

7.2.2.2 Caminho: Ar (Praça de Máquinas) – Ar (Camarote Armador)

Para analisar as ondas sonoras que são geradas na Praça de Máquinas e que chegam ao Camarote do Armador pelo ar será analisado o espectro cruzado entre o nível de pressão sonora na Praça de Máquinas (Signal 9) e o nível de pressão sonora no Camarote do Armador (Signal 4). A Figura 7.8 mostra este espectro cruzado.

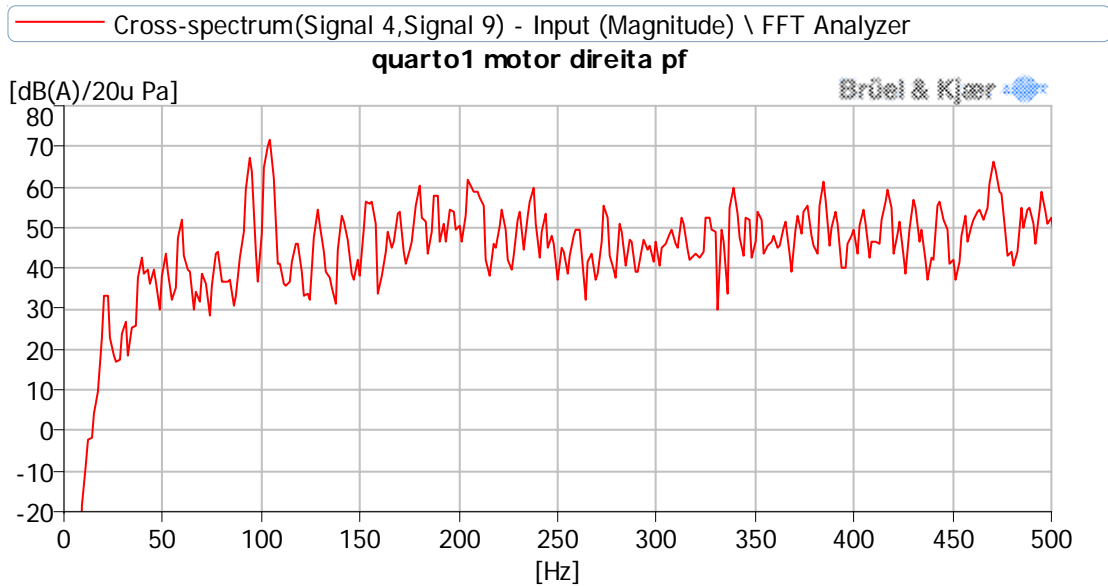


Figura 7.8 – Espectro cruzado entre o nível de pressão sonora na Praça de Máquinas (Signal 9) e o nível de pressão sonora no Camarote do Armador (Signal 4).

7.2.2.3) Caminho: Estrutura (Praça de Máquinas) – Ar (Praça de Máquinas)

Para analisar as vibrações que são geradas na Praça de Máquinas na estrutura do navio e que se transmitem ao ambiente da própria Casa de Máquinas será analisado o espectro cruzado da aceleração na direção Z na Praça de Máquinas (Signal 8) e o nível de pressão sonora na Praça de Máquinas (Signal 9).. A Figura 7.9 mostra este espectro cruzado.

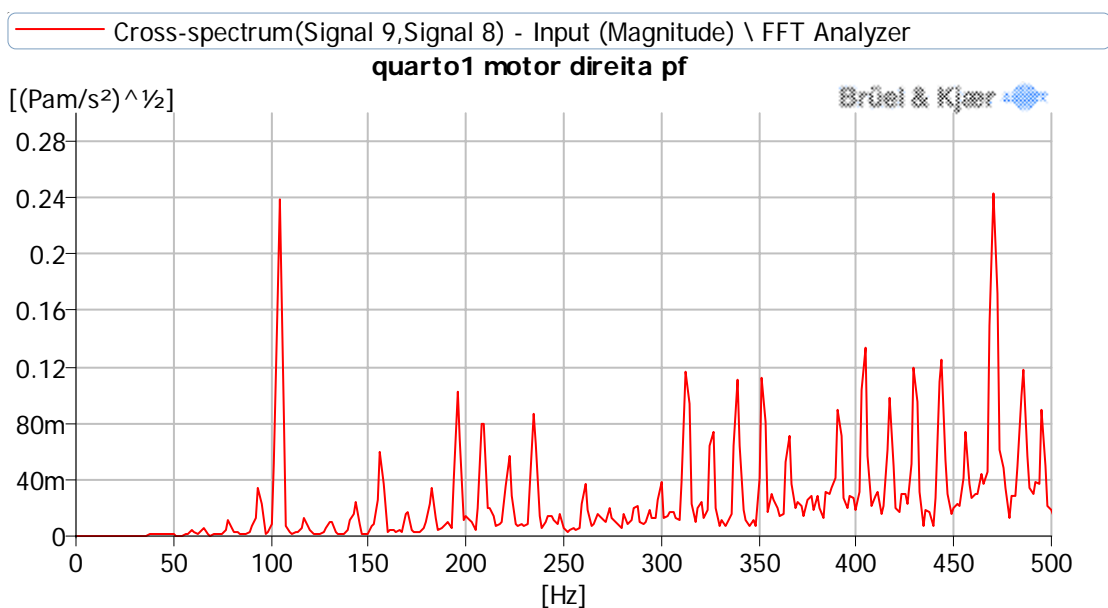


Figura 7.9 – Espectro cruzado entre a aceleração na direção Z na Praça de Máquinas (Signal 8) e o nível de pressão sonora na Praça de Máquinas (Signal 9).

7.2.2.4 Caminho: Estrutura (Praça de Máquinas) – Estrutura (Camarote Armador)

Para analisar as vibrações que são geradas na estrutura do navio na Praça de Máquinas e que chegam ao Camarote do Armador pela própria estrutura será analisado o espectro cruzado entre a aceleração na direção Z na Praça de Máquinas (Signal 8) e a aceleração na direção Z no Camarote do Armador (Signal 3). A Figura 7.10 mostra este espectro cruzado.

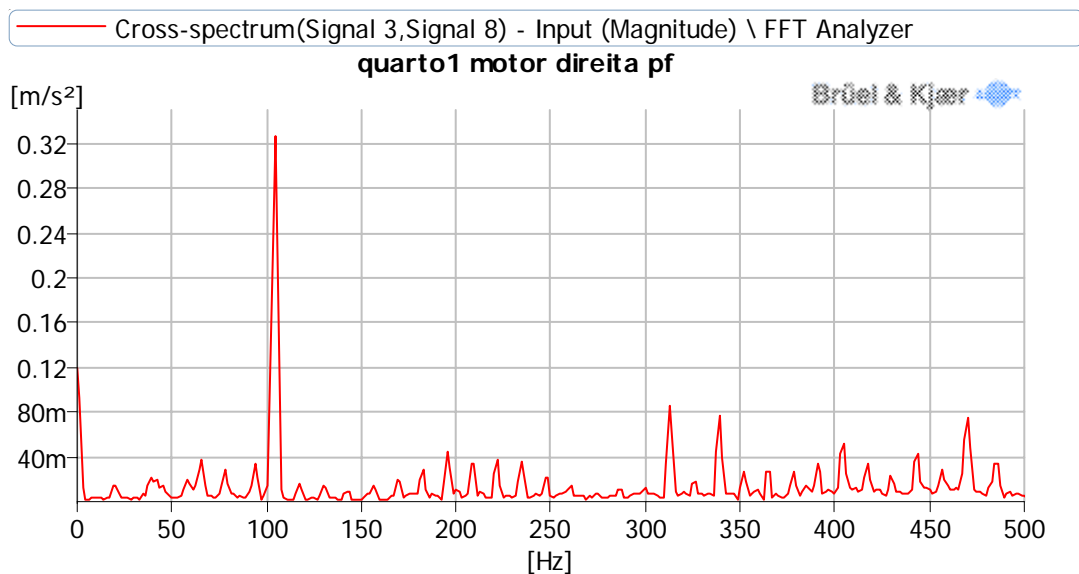


Figura 7.10 – Espectro cruzado entre a aceleração na direção Z na Praça de Máquinas (Signal 8) e a aceleração na direção Z no Camarote do Armador (Signal 3).

7.2.2.5 Caminho: Estrutura (Camarote Armador) – Ar (Camarote Armador)

Para analisar as vibrações que são transmitidas do piso do Camarote do Armador para o ambiente do próprio Camarote será analisado o espectro cruzado da aceleração na direção Z no Camarote do Armador (Signal 3) e o nível de pressão sonora no Camarote do Armador (Signal 4). A Figura 7.11 mostra este espectro cruzado.

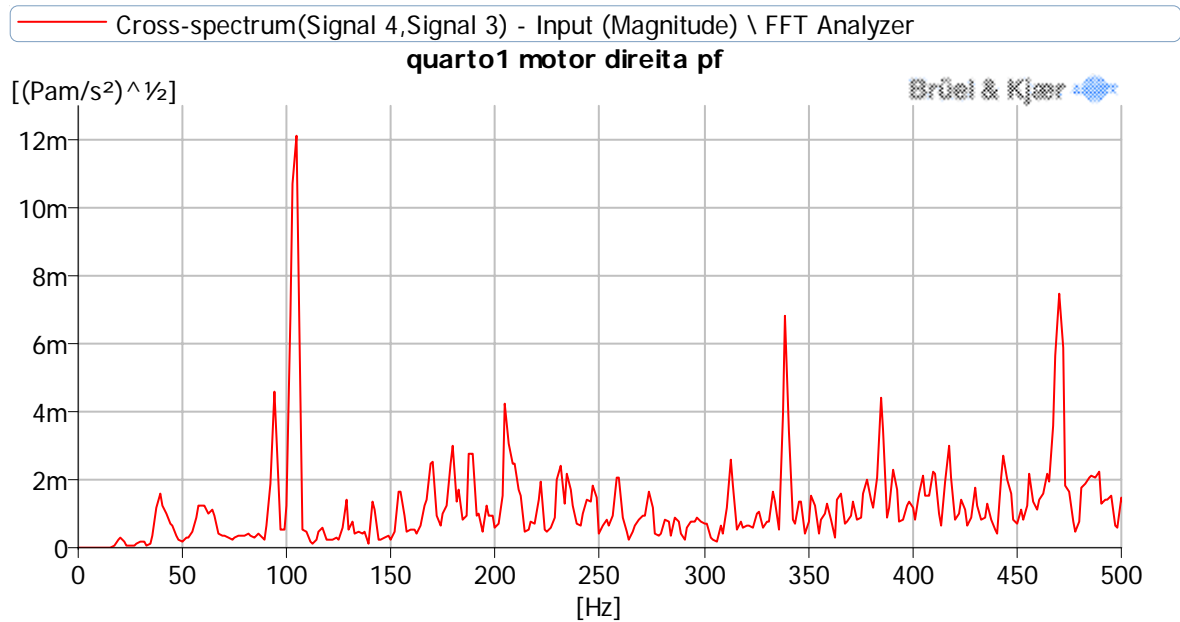


Figura 7.11 – Espectro cruzado entre a aceleração na direção Z no Camarote do Armador (Signal 3) e o nível de pressão sonora no Camarote do Armador (Signal 4).

7.2.3 – Retirada dos valores das amplitudes das frequências significativas dos espectros cruzados

Por intermédio do sistema PULSE foram retirados os valores das amplitudes dos espectros cruzados nas frequências significativas escolhidas anteriormente. Estes valores são mostrados na Tabela 7.3.

Os valores em negrito na Tabela 7.3 indicam os valores máximos da amplitude. Os valores que se encontram entre parênteses e possuem a sigla “VNS” representam valores não significativos. Os valores que estão entre parênteses e possuem três asteriscos (***) não são picos de frequências, mas encontram-se próximo do mesmo.

Para a escolha de quais são as frequências significativas para cada caminho foram analisadas quais as frequências em cada espectro individual que possui valores significativos e posteriormente se essa frequência tem um valor significativo no espectro cruzado.

Tabela 7.3 – Valores das amplitudes dos espectros cruzados nas frequências significativas referentes ao Camarote do Armador.

| | Caminho: Estrutura (Praça de Máquinas) – Ar(Camarote Armador) | Caminho: Ar (Praça de Máquinas) – Ar (Camarote Armador) | Caminho: Estrutura (Praça de Máquinas) – Ar(Praça de Máquinas) | Caminho: Estrutura (Praça de Máquinas) – Estrutura (Camarote Armador) | Caminho: Estrutura (Camarote Armador) – Ar (Camarote Armador) |
|-------------------|--|--|---|--|--|
| | Esp. Cruz. 4 x 8 | Esp. Cruz. 4 x 9 | Esp. Cruz. 9 x 8 | Esp. Cruz. 3 x 8 | Esp. Cruz. 4 x 3 |
| Freq. - Hz | m (m/Pa⁻¹ s²)^{1/2} (A) | dB(A)/20,0 Pa | m (m/Pa⁻¹ s²)^{1/2} (A) | m (m/s²) | m (m/Pa⁻¹ s²)^{1/2} (A) |
| 39,1 | (0,62) VNS | 42,3 | (1,4) VNS | 21,9 VNS | (1,6) VNS |
| 93,75 | 8,1 | 67,3 | 34,7 | 33,4 | 4,6 |
| 104,7 | 37,0 | 71,5 | 239 | 326 | 12,1 |
| 179,7 | 4,4 (VNS) | 60,5 | (9,8) *** (VNS) | (6,5) *** VNS | 3,0 |
| 187,5 | (1,47) *** VNS | 57,9 | (5,4) *** (VNS) | (6,8) VNS | 2,8 |
| 195,3 | 7,72 | 54,5 | 102 | 44,3 VNS | (1,3) VNS |
| 234,4 | 19,7 | (53) *** | 87,3 | 35 VNS | 2,18 |
| 312,5 | 11,4 | 52,5 | 116 | 85,4 | 2,62 |
| 339,1 | 23,2 | 59,7 | 111 | 76,5 | 6,8 |
| 384,4 | 10,1 | 61,4 | 31,5 | (13,9) VNS | 4,4 |
| 404,7 | 15,1 | 54,4 | 133 | 52,1 VNS | 2,14 |
| 470,3 | 15,2 | 66,2 | 243 | 75,2 | 7,46 |

VNS = Valor Não Significativo

*** = pico inexistente

Em negrito o valor máximo

Por exemplo, na Tabela 7.4 tem-se os valores da amplitude da aceleração em m/s^2 na direção Z para o Camarote do Armador (Signal 3) e para a Praça de Máquinas (Signal 8). Pode-se ver que para as frequências (179,7), (187,5) e (384,4) os dois valores da amplitude da aceleração na direção Z não são significativos (em negrito na Tabela 7.4). Já para as frequências (39,1), (195,3), (234,4) e (404,7) um dos valores da amplitude da aceleração na direção Z não é significativo (em cinza na Tabela 7.4). Essas combinações refletem sinais não significativos no espectro cruzado dos dois sinais como se pode observar na quarta coluna (Espectro Cruzado 3 x 8) da Tabela 7.4.

O espectro cruzado 3 x 8 representa a vibração dos motores na Praça de Máquinas que é transmitida pela estrutura do navio até o Camarote do Armador. Na última coluna da Tabela 7.4 encontram-se as frequências que são transmitidas pela estrutura do navio (em itálico na Tabela 7.4).

Tabela 7.4 - Valores da amplitude da aceleração em m/s^2 na direção Z para o Camarote do Armador (Signal 3) e para a Praça de Máquinas (Signal 8).

| | Camarote Armador Signal 3 | Praça Máquinas Signal 8 | Espectro Cruzado 3 x 8 | Frequências Transmitidas |
|-----------------------|---|---|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Freq. - Hz | Acel. Z - m (m/s^2) | Acel. Z - m (m/s^2) | m (m/s^2) | Hz |
| 39,1 | 56,1 | (40,3) VNS | 21,9 VNS | ** |
| 93,75 | 22,5 | 64,6 | 33,4 | <i>93,75</i> |
| 104,7 | 112 | 1.000 | 326 | <i>104,7</i> |
| 179,7 | (6) *** VNS | (19,3) *** VNS | (6,5) *** VNS | * |
| 187,5 | (6,3) *** VNS | (24,1) *** VNS | (6,8) VNS | * |
| 195,3 | (9,9) VNS | 280 | 44,3 VNS | ** |
| 234,4 | (9,7) VNS | 420 | 35 VNS | ** |
| 312,5 | 18,9 | 421 | 85,4 | <i>312,5</i> |
| 339,1 | 23,1 | 275 | 76,5 | <i>339,1</i> |
| 384,4 | (8,3) VNS | (70) *** VNS | (13,9) VNS | * |
| 404,7 | (9) VNS | 370 | 52,1 VNS | ** |
| 470,3 | 44,2 | (267) *** | 75,2 | <i>470,3</i> |

VNS = Valor Não Significativo

Em negrito o valor máximo

* - Valores não significativos nos dois sinais de origem

*** = pico inexistente

** - Valores não significativos em um dos sinais de origem

Este procedimento foi realizado para todos os espectros cruzados realizados (4 x 8, 4 x 9, 9 x 8 e 4 x 3) o resultado dessa análise é mostrado na Tabela 7.5.

Tabela 7.5 – Resumo das frequências significativas (em Hz) nos diversos caminhos analisados para o Camarote do Armador.

| Caminho: Estrutura (Praça de Máquinas) – Ar (Camarote Armador) | Caminho: Ar (Praça de Máquinas) – Ar (Camarote Armador) | Caminho: Estrutura (Praça de Máquinas) – Ar(Praça de Máquinas) | Caminho: Estrutura (Praça de Máquinas) – Estrutura (Camarote Armador) | Caminho: Estrutura (Camarote Armador) – Ar (Camarote Armador) |
|---|--|---|--|--|
| Esp. Cruz. 4 x 8 | Esp. Cruz. 4 x 9 | Esp. Cruz. 9 x 8 | Esp. Cruz. 3 x 8 | Esp. Cruz. 4 x 3 |
| ** | 39,1 | ** | ** | 39,1 |
| 93,75 | 93,75 | 93,75 | 93,75 | 93,75 |
| 104,7 | 104,7 | 104,7 | 104,7 | 104,7 |
| ** | 179,7 | ** | * | * |
| ** | 187,5 | ** | * | * |
| 195,3 | 195,3 | ** | ** | * |
| 234,4 | 234,4 | ** | ** | * |
| 312,5 | 312,5 | 312,5 | 312,5 | 312,5 |
| 339,1 | 339,1 | 339,1 | 339,1 | 339,1 |
| ** | 384,4 | 384,4 | * | * |
| 404,7 | 404,7 | 404,7 | ** | * |
| 470,3 | 470,3 | 470,3 | 470,3 | 470,3 |

* - Valores não significativos nos dois sinais de origem

** - Valores não significativos em um dos sinais de origem

7.2.4 – Identificação dos caminhos de propagação das ondas sonoras e vibratórias

Podem-se montar as seguintes combinações para definir o caminho das ondas sonoras e vibratórias que acontecem no navio:

a) A vibração dos motores na Praça de Máquinas é transmitida para o ambiente, esse ruído é transmitido via aérea para o Camarote do Armador e as outras acomodações do navio. Observam-se na Tabela 7.6, em negrito, as frequências que se destacam nesse caminho.

Tabela 7.6 – Frequências que se destacam no caminho estrutura–ar na Praça de Máquinas e ar-Praça de Máquinas até ar-Camarote Armador.

| Caminho Estrutura-Ar: Praça de Máquinas - Praça de Máquinas | | Caminho Ar-Ar: Praça de Máquinas - Camarote | |
|--|---|--|--------------------------|
| Esp. Cruz. 9 x 8 | | Esp. Cruz. 4 x 9 | |
| Frequência (Hz) | m (m/Pa⁻¹s²)^{1/2} (A) | Frequência (Hz) | dB(A)/20,0 Pa |
| ** | (1,4) VNS | 39,1 | 42,3 |
| 93,75 | 34,7 | 93,75 | 67,3 |
| 104,7 | 239 | 104,7 | 71,5 |
| ** | (9,8) *** (VNS) | 179,7 | 60,5 |
| ** | (5,4) *** (VNS) | 187,5 | 57,9 |
| ** | 102 | 195,3 | 54,5 |
| ** | 87,3 | 234,4 | (53) *** |
| 312,5 | 116 | 312,5 | 52,5 |
| 339,1 | 111 | 339,1 | 59,7 |
| 384,4 | 31,5 | 384,4 | 61,4 |
| 404,7 | 133 | 404,7 | 54,4 |
| 470,3 | 243 | 470,3 | 66,2 |

* - Valores não significativos nos dois sinais de origem

** - Valores não significativos em um dos sinais de origem

b) A vibração dos motores na Praça de Máquinas é transmitida pela estrutura do navio até o Camarote do Armador e da estrutura para o ambiente. Observam-se na Tabela 7.7, em negrito, as frequências que se destacam nesse caminho.

Tabela 7.7 – Frequências que se destacam no caminho estrutura-Praça de Máquinas até estrutura-Camarote do Armador e estrutura-Camarote Armador até ar-Camarote Armador.

| Caminho Estrutura- Estrutura: Praça de Máquinas - Camarote | | Caminho Estrutura-Ar: Camarote - Camarote | |
|---|----------------------------|--|---|
| Esp. Cruz. 3 x 8 | | Esp. Cruz. 4 x 3 | |
| Frequência (Hz) | m (m/s²) | Frequência (Hz) | m (m/Pa⁻¹s²)^{1/2} (A) |
| 39,1 | 21,9 | 39,1 | 1,6 |
| 93,75 | 33,4 | 93,75 | 4,6 |
| 104,7 | 326 | 104,7 | 12,1 |
| * | (6,5) *** VNS | * | 3,0 |
| * | (6,8) VNS | * | 2,8 |

| Caminho Estrutura- Estrutura: Praça de Máquinas - Camarote | | Caminho Estrutura-Ar: Camarote - Camarote | |
|---|----------------------------|--|---|
| Esp. Cruz. 3 x 8 | | Esp. Cruz. 4 x 3 | |
| Frequência (Hz) | m (m/s²) | Frequência (Hz) | m (m/Pa⁻¹s²)^{1/2} (A) |
| ** | 44,3 | * | (1,3) VNS |
| ** | 35 | * | 2,18 |
| 312,5 | 85,4 | 312,5 | 2,62 |
| 339,1 | 76,5 | 339,1 | 6,8 |
| * | (13,9) VNS | * | 4,4 |
| ** | 52,1 | * | 2,14 |
| 470,3 | 75,2 | 470,3 | 7,46 |

* - Valores não significativos nos dois sinais de origem

** - Valores não significativos em um dos sinais de origem

c) A vibração dos motores na Praça de Máquinas é transmitida para o ambiente, esse ruído propaga-se via aérea para o Camarote do Armador. Observam-se na Tabela 7.8 as frequências nesse caminho.

Tabela 7.8 – Frequências que se destacam no caminho estrutura-Praça de Máquinas até ar-Camarote Armador.

| Caminho Estrutura-Ar: Praça de Máquinas - Camarote | |
|---|---|
| Esp. Cruz. 4 x 8 | |
| Frequência (Hz) | m (m/Pa⁻¹s²)^{1/2} (A) |
| ** | (0,62) VNS |
| 93,75 | 8,1 |
| 104,7 | 37,0 |
| ** | 4,4 (VNS) |
| ** | (1,47) *** VNS |
| 195,3 | 7,72 |
| 234,4 | 19,7 |
| 312,5 | 11,4 |
| 339,1 | 23,2 |
| ** | 10,1 |
| 404,7 | 15,1 |
| 470,3 | 15,2 |

* - Valores não significativos nos dois sinais de origem

** - Valores não significativos em um dos sinais de origem

7.3 – Análise dos caminhos de propagação no Camarote do Cozinheiro

O mesmo procedimento realizado no item 7.2 para o Camarote do Armador foi realizado para o Camarote do Cozinheiro.

O Apêndice C possui todas as Figuras com os gráficos utilizados para obter os resultados que se encontram neste item.

7.3.1 – Identificação dos picos mais significativos (valores mais altos para o nível de pressão sonora e para a aceleração na direção Z). das frequências no auto espectro do nível de pressão sonora e da aceleração na direção Z para o Camarote do Cozinheiro.

Com as Figuras C1 e C2, do Apêndice C, comprova-se que as frequências mais significativas encontram-se até 500 Hz.

As Figuras C3 e C4, do Apêndice C, mostram os espectros dos níveis de pressão sonora em dB(A) até 500 Hz no Camarote do Cozinheiro e na Praça de Máquinas, respectivamente. As Figuras C5 e C6, do Apêndice C, mostram os espectros da aceleração na direção Z em m/s^2 até 500 Hz no Camarote do Cozinheiro e na Praça de Máquinas, respectivamente. A Tabela 7.9 apresenta as frequências e amplitudes mais significativas de todos esses arquivos.

Tabela 7.9 – Frequências e amplitudes mais significativas dos níveis de pressão sonora e da aceleração na direção Z no Camarote do Cozinheiro e na Praça de Máquinas.

| | Camarote Armador - NPS - Signal 4 | Praça Máquinas - NPS - Signal 9 | Camarote Armador - Acel. Z - Signal 3 | Praça Máquinas - Acel. Z - Signal 8 |
|-------------------|--|--|--|--|
| Freq. - Hz | NPS - dB(A) | NPS - dB(A) | Acel. Z - m (m/s^2) | Acel. Z - m (m/s^2) |
| 95,31 | 52,7 | 71,3 | 373 | (40,8) VNS |
| 103,1 | 63,0 | 84,1 | 615 | 739 |
| 120,3 | (42,5) VNS | 74,6 | (57,5) VNS | (19,2) VNS |
| 128,1 | 51,5 | 69,4 | (54,7) VNS | (58,4) *** VNS |
| 142,2 | 51,1 | 70,7 | (71,6) *** VNS | 117 |
| 154,7 | 54,3 | 73,2 | 257 | 129 |
| 167,2 | 53,6 | 76,7 | 147 | (35,2) VNS |

| | Camarote Armador - NPS - Signal 4 | Praça Máquinas - NPS - Signal 9 | Camarote Armador - Acel. Z - Signal 3 | Praça Máquinas - Acel. Z - Signal 8 |
|-------------------|--|--|--|--|
| Freq. - Hz | NPS - dB(A) | NPS - dB(A) | Acel. Z - m (m/s²) | Acel. Z - m (m/s²) |
| 179,7 | 50,6 | 72,1 | (63,5) VNS | (82,2) *** |
| 192,2 | 50,4 | 76,7 | (63,8) *** VNS | (156) *** |
| 196,9 | (43,4) *** VNS | 80,6 | (19,7) *** VNS | (24,5) *** VNS |
| 206,3 | (59,6) *** | 82,7 | (86,3) *** | 175 |
| 217,2 | 51,8 | 74,3 | 67 | (29,6) *** VNS |
| 232,8 | (42,5) *** VNS | 76,1 | (52,4) *** VNS | 439 |
| 245,3 | (41,3) *** VNS | (70,9) *** | (27,6) VNS | 177 |
| 270,3 | (45,5) VNS | 79,6 | (81,1) *** | (41,5) VNS |
| 284,4 | (47,3) *** VNS | 81 | 130 | 70,7 |
| 309,4 | (46,3) VNS | 79,7 | (42,7) *** VNS | 475 |
| 335,9 | (45,2) *** VNS | 75,6 | (40,6) *** VNS | 313 |
| 348,4 | (44,9) *** VNS | 78,7 | (71,7) VNS | 240 |
| 360,9 | (48) *** VNS | 77,1 | (49,7) *** VNS | 325 |
| 375 | (48,6) *** | 79,8 | (44,7) *** VNS | (62,7) VNS |
| 384,4 | 52,9 | 78,7 | (60,3) *** VNS | (85,4) *** VNS |
| 400 | (47,5) *** VNS | 77,8 | (56,1) *** VNS | 435 |
| 409,4 | 50,1 | 80,7 | 100 | (84,9) *** VNS |
| 445,3 | 48,3 | 77,6 | 134 | (61,2) *** VNS |
| 473,4 | (52,1) *** | (87,7) *** | 219 | (67,9) *** VNS |
| 478,1 | 62,0 | 96,2 | (167) *** | (187) *** |

VNS = Valor Não Significativo

*** = pico inexistente

Em negrito o valor máximo

Os valores em negrito na Tabela 7.9 indicam os valores máximos da amplitude. Os valores que se encontram entre parênteses e possuem a sigla “VNS” representam valores não significativos. Os valores que estão entre parênteses e possuem três asteriscos (***) não são picos de frequências, mas encontram-se próximo do mesmo.

7.3.2 – Retirada dos valores das amplitudes das frequências significativas dos espectros cruzados

As Figuras C7 até C11, do Apêndice C, mostram os espectros cruzados utilizados para combinar os diversos arquivos e encontram os caminhos definidos no item anterior deste trabalho. A Tabela 7.10 mostra os valores das amplitudes de todas as frequências significativas.

Tabela 7.10 – Valores das amplitudes dos espectros cruzados analisados referentes ao Camarote do Cozinheiro.

| Freq. - Hz | Caminho Estrutura-Ar: Praça de Máquinas - Camarote | Caminho Ar- Ar: Praça de Máquinas - Camarote | Caminho Estrutura-Ar: Praça de Máquinas - Praça de Máquinas | Caminho Estrutura- Estrutura: Praça de Máquinas - Camarote | Caminho Estrutura-Ar: Camarote - Camarote |
|---------------|---|---|--|---|--|
| | Esp. Cruz. 4 x 8 | Esp. Cruz. 4 x 9 | Esp. Cruz. 9 x 8 | Esp. Cruz. 3 x 8 | Esp. Cruz. 4 x 3 |
| | m (m/Pa⁻¹ s²)^{1/2} (A) | dB(A)/20,0 Pa | m (m/Pa⁻¹ s²)^{1/2} (A) | m (m/s²) | m (m/Pa⁻¹ s²)^{1/2} (A) |
| 95,31 | 5,4 | 59,9 | 14,7 | 97,9 | 14,5 |
| 103,1 | 40,0 | 72,2 | 152 | 372 | (26,4) *** |
| 120,3 | (1,82) VNS | 54,3 | (10,8) VNS | (17,9) VNS | (4,1) VNS |
| 128,1 | (4,7) *** | 58,8 | (16,6) *** | (24,4) *** VNS | (6) VNS |
| 142,2 | 11,2 | 60 | 37,3 | 73,4 | 9,0 |
| 154,7 | 12,6 | (59,3) *** | 37,5 | 145 | (15,1) *** |
| 167,2 | 4,84 | 64,2 | 22,4 | (16,5) *** VNS | 11,8 |
| 179,7 | (3,2) *** | 57,6 | (25) *** | (42,3) *** | 7,71 |
| 192,2 | (7,6) *** | 61,7 | (55,1) *** | (75,7) *** | (4,3) *** VNS |
| 196,9 | (1,3) *** VNS | (49,2) *** VNS | (17,9) *** VNS | (6,3) *** VNS | (2,5) *** VNS |
| 206,3 | 27,4 | 69,7 | 116 | 55,3 | (13,5) *** |
| 217,2 | (2,7) VNS | 61,3 | (10,5) *** VNS | (14) *** VNS | 11,1 |
| 232,8 | 9,6 | (51,3) *** | 125 | 123 | (2,7) *** VNS |
| 245,3 | 5,3 | (49) *** | 45,6 | 26,3 | (3,5) VNS |
| 270,3 | 3,9 | 57,1 | 39,2 | 25,2 | (4,6) *** VNS |
| 284,4 | 9 | 60,8 | 49,5 | 79,2 | 13 |
| 309,4 | 24,4 | 61 | 192 | 91,2 | (2,43) *** VNS |
| 335,9 | 14 | (56) *** | 107 | 43,2 | (3,95) *** VNS |
| 348,4 | 10,2 | 55,5 | 131 | 87,5 | (5,38) VNS |
| 360,9 | 19,3 | 58,1 | 133 | 87,4 | (5,74) VNS |
| 375 | (2,3) *** VNS | 54,1 | 45,2 | (17) *** VNS | (5,93) *** VNS |
| 384,4 | (5,8) *** | 61,8 | (37,3) *** | (10,2) *** VNS | 11,6 |
| 400 | (10,4) *** | (51,1) *** VNS | 157 | 78,4 | (4,16) *** VNS |
| 409,4 | (9,3) *** | 63,6 | 61,4 | 43,7 | 15,9 |
| 445,3 | (3,7) *** VNS | 59,2 | 42,6 | 33,2 | 17,4 |
| 473,4 | (7,5) *** | (67,3) *** | (72,2) *** | (46,7) *** | (23,5) *** |
| 478,1 | (33,9) *** | 78 | (290) *** | (64,5) *** | (27,8) *** |

VNS = Valor Não Significativo

*** = pico inexistente

Em negrito o valor máximo

Para a escolha de quais são as frequências significativas para cada caminho foram analisadas quais as frequências em cada espectro individual que possui valores significativos e posteriormente se essa frequência tem um valor significativo no espectro cruzado, conforme mostrado anteriormente.

A Tabela 7.11 apresenta um resumo com todas as frequências significativas de todos os caminhos analisados.

Tabela 7.11 – Resumo das frequências significativas nos diversos caminhos analisados para o Camarote do Cozinheiro.

| Freq. - Hz | Caminho Estrutura-Ar: Praça de Máquinas - Camarote | Caminho Ar- Ar: Praça de Máquinas - Camarote | Caminho Estrutura-Ar: Praça de Máquinas - Praça de Máquinas | Caminho Estrutura- Estrutura: Praça de Máquinas - Camarote | Caminho Estrutura- Ar: Camarote - Camarote |
|---------------|---|---|--|---|---|
| | Esp. Cruz. 4 x 8 | Esp. Cruz. 4 x 9 | Esp. Cruz. 9 x 8 | Esp. Cruz. 3 x 8 | Esp. Cruz. 4 x 3 |
| | m (m/Pa⁻¹ s²)^{1/2} (A) | dB(A)/20,0 Pa | m (m/Pa⁻¹ s²)^{1/2} (A) | m (m/s²) | m (m/Pa⁻¹ s²)^{1/2} (A) |
| 95,31 | 95,31 | 95,31 | 95,31 | 95,31 | 95,31 |
| 103,1 | 103,1 | 103,1 | 103,1 | 103,1 | 103,1 |
| 120,3 | * | 120,3 | * | * | * |
| 128,1 | 128,1 | 128,1 | 128,1 | * | ** |
| 142,2 | 142,2 | 142,2 | 142,2 | 142,2 | 142,2 |
| 154,7 | 154,7 | 154,7 | 154,7 | 154,7 | 154,7 |
| 167,2 | 167,2 | 167,2 | 167,2 | ** | 167,2 |
| 179,7 | 179,7 | 179,7 | 179,7 | 179,7 | 179,7 |
| 192,2 | 192,2 | 192,2 | ** | 192,2 | ** |
| 196,9 | * | ** | | ** | * |
| 206,3 | 206,3 | 206,3 | 206,3 | 206,3 | 206,3 |
| 217,2 | ** | 217,2 | ** | ** | 217,2 |
| 232,8 | 232,8 | ** | 232,8 | 232,8 | * |
| 245,3 | ** | ** | 245,3 | ** | * |
| 270,3 | * | ** | 270,3 | ** | * |
| 284,4 | * | 284,4 | 284,4 | 284,4 | * |
| 309,4 | 309,4 | 309,4 | 309,4 | 309,4 | * |
| 335,9 | 335,9 | 335,9 | 335,9 | 335,9 | * |

| | Caminho Estrutura-Ar: Praça de Máquinas - Camarote | Caminho Ar-Ar: Praça de Máquinas - Camarote | Caminho Estrutura-Ar: Praça de Máquinas - Praça de Máquinas | Caminho Estrutura-Estrutura: Praça de Máquinas - Camarote | Caminho Estrutura-Ar: Camarote - Camarote |
|-------------------|--|--|--|--|--|
| | Esp. Cruz. 4 x 8 | Esp. Cruz. 4 x 9 | Esp. Cruz. 9 x 8 | Esp. Cruz. 3 x 8 | Esp. Cruz. 4 x 3 |
| Freq. - Hz | m (m/Pa⁻¹ s²)^{1/2} (A) | dB(A)/20,0 Pa | m (m/Pa⁻¹ s²)^{1/2} (A) | m (m/s²) | m (m/Pa⁻¹ s²)^{1/2} (A) |
| 348,4 | 348,4 | 348,4 | 348,4 | 348,4 | * |
| 360,9 | 360,9 | 360,9 | 360,9 | 360,9 | * |
| 375 | * | 375 | 375 | * | * |
| 384,4 | ** | 384,4 | ** | * | 384,4 |
| 400 | ** | ** | 400 | 400 | * |
| 409,4 | ** | 409,4 | ** | 409,4 | 409,4 |
| 445,3 | ** | 445,3 | ** | 445,3 | 445,3 |
| 473,4 | ** | 473,4 | ** | 473,4 | 473,4 |
| 478,1 | 478,1 | 478,1 | 478,1 | 478,1 | 478,1 |

* - Valores não significativos nos dois sinais de origem

** - Valores não significativos em um dos sinais de origem

7.3.3 – Identificação dos caminhos de propagação das ondas sonoras e vibratórias

As Tabelas 7.12 até 7.14 mostram as frequências que se destacam nos caminhos definidos no item anterior.

Tabela 7.12 – Frequências que se destacam no caminho estrutura–ar na Praça de Máquinas e ar-Praça de Máquinas até ar-Camarote Cozinheiro.

| Caminho Estrutura-Ar: Praça de Máquinas - Praça de Máquinas | Caminho Ar-Ar: Praça de Máquinas - Camarote |
|--|--|
| Espectro Cruzado 9 x 8 | Espectro Cruzado 4 x 9 |
| m (m/Pa⁻¹s²)^{1/2} (A) | dB(A)/20,0 Pa |
| 95,31 | 95,31 |
| 103,1 | 103,1 |
| * | 120,3 |
| 128,1 | 128,1 |
| 142,2 | 142,2 |
| 154,7 | 154,7 |
| 167,2 | 167,2 |
| 179,7 | 179,7 |
| ** | 192,2 |

| Caminho Estrutura-Ar: Praça de Máquinas - Praça de Máquinas | Caminho Ar-Ar: Praça de Máquinas - Camarote |
|--|--|
| Espectro Cruzado 9 x 8 | Espectro Cruzado 4 x 9 |
| m (m/Pa⁻¹s²)^{1/2} (A) | dB(A)/20,0 Pa |
| * | ** |
| 206,3 | 206,3 |
| ** | 217,2 |
| 232,8 | ** |
| 245,3 | ** |
| 270,3 | ** |
| 284,4 | 284,4 |
| 309,4 | 309,4 |
| 335,9 | 335,9 |
| 348,4 | 348,4 |
| 360,9 | 360,9 |
| 375 | 375 |
| ** | 384,4 |
| 400 | ** |
| ** | 409,4 |
| ** | 445,3 |
| ** | 473,4 |
| 478,1 | 478,1 |

* - Valores não significativos nos dois sinais de origem

** - Valores não significativos em um dos sinais de origem

Tabela 7.13 – Frequências que se destacam no caminho estrutura-Praça de Máquinas até estrutura-Camarote do Cozinheiro e estrutura-Camarote Cozinheiro até ar-Camarote Cozinheiro.

| Caminho Estrutura-Estrutura: Praça de Máquinas - Camarote | Caminho Estrutura-Ar: Camarote - Camarote |
|--|---|
| Espectro Cruzado 3 x 8 | Espectro Cruzado 4 x 3 |
| m (m/s²) | m (m/Pa⁻¹s²)^{1/2} (A) |
| 95,31 | 95,31 |
| 103,1 | 103,1 |
| * | * |
| * | ** |
| 142,2 | 142,2 |
| 154,7 | 154,7 |
| ** | 167,2 |
| 179,7 | 179,7 |
| 192,2 | ** |
| ** | * |
| ** | ** |

| Caminho Estrutura-Estrutura: Praça de Máquinas - Camarote | Caminho Estrutura-Ar: Camarote - Camarote |
|--|---|
| Espectro Cruzado 3 x 8 | Espectro Cruzado 4 x 3 |
| m (m/s²) | m (m/Pa⁻¹s²)^{1/2} (A) |
| 206,3 | 206,3 |
| ** | 217,2 |
| 232,8 | * |
| ** | * |
| ** | * |
| 284,4 | * |
| 309,4 | * |
| 335,9 | * |
| 348,4 | * |
| 360,9 | * |
| * | * |
| * | 384,4 |
| 400 | * |
| 409,4 | 409,4 |
| 445,3 | 445,3 |
| 473,4 | 473,4 |
| 478,1 | 478,1 |

* - Valores não significativos nos dois sinais de origem

** - Valores não significativos em um dos sinais de origem

Tabela 7.14 – Frequências que se destacam no caminho estrutura-Praça de Máquinas até ar-Camarote Cozinheiro.

| Caminho Estrutura-Ar: Praça de Máquinas - Camarote |
|---|
| Espectro Cruzado 4 x 8 |
| m (m/Pa⁻¹s²)^{1/2} (A) |
| 95,31 |
| 103,1 |
| * |
| 128,1 |
| 142,2 |
| 154,7 |
| 167,2 |
| 179,7 |
| 192,2 |
| * |
| 206,3 |
| ** |
| 232,8 |
| ** |
| * |

| Caminho Estrutura-Ar: Praça de Máquinas - Camarote |
|---|
| Espectro Cruzado 4 x 8 |
| m (m/Pa⁻¹s²)^{1/2} (A) |
| * |
| 309,4 |
| 335,9 |
| 348,4 |
| 360,9 |
| * |
| ** |
| ** |
| ** |
| ** |
| ** |
| ** |
| 478,1 |

* - Valores não significativos nos dois sinais de origem

** - Valores não significativos em um dos sinais de origem

7.4 – Análise dos caminhos de propagação para o Camarote do Armador

Pela análise das Tabelas 7.6 a 7.8 pode-se observar o seguinte:

1) A propagação das ondas sonoras pelo ar abrange um maior número de frequências do que as frequências propagadas pela estrutura.

2) Observa-se que pelo caminho estrutura-estrutura propagam-se frequências em torno de 100, 315 e 500 Hz (utilizando bandas de 1/3 de oitava para definir a faixa de frequência).

3) Pelos caminhos ar-ar e estrutura-ar o leque de frequências é maior: 100, 200, 250, 315, 400 e 500 Hz.

Pode-se observar no gráfico da Figura 7.12 que mostra o espectro de nível de pressão sonora em 1/3 de bandas de oitava, que os maiores valores de nível de pressão sonora ocorrem em 100, 200, 400 e 500 Hz.

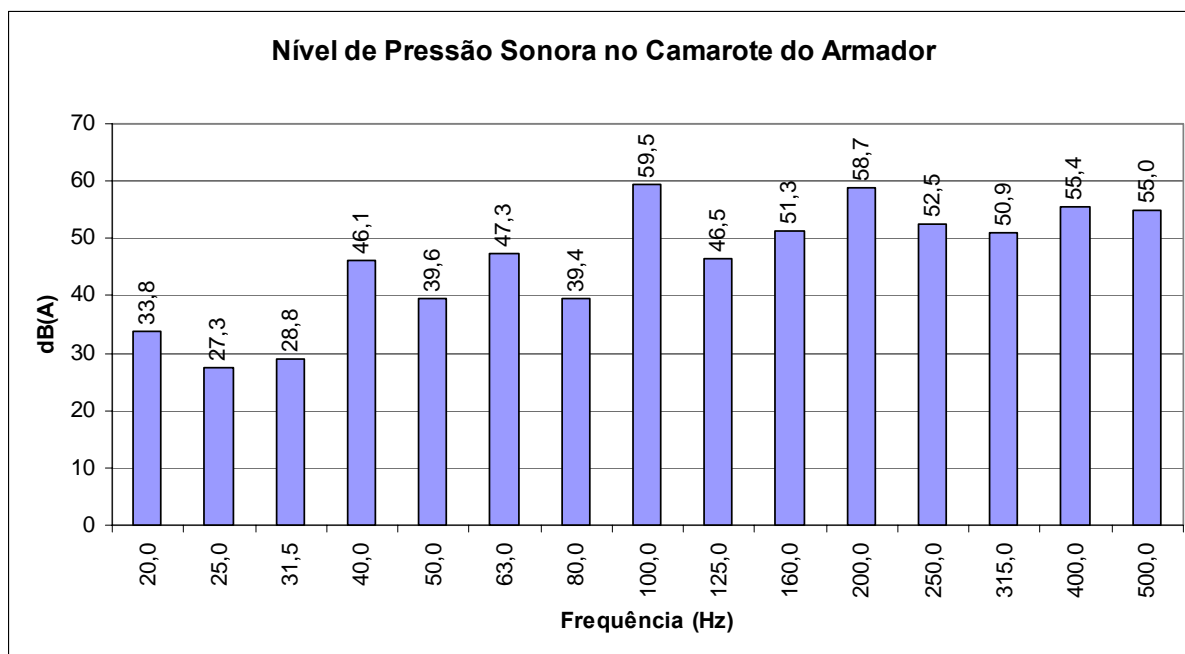


Figura 7.12 – Nível de pressão sonora em dB(A) em 1/3 de bandas de oitava no Camarote do Armador.

Essas frequências podem ser utilizadas para escolher os materiais que tenham suas propriedades de absorção ou isolamento nessas frequências para realizar o isolamento ou a absorção do som de uma maneira mais eficiente.

Observa-se também que essas frequências são geradas pelas explosões dos cilindros do motor diesel de propulsão conforme mostrado no item 3.7.3 do Capítulo 3, confirmando que a principal fonte de ruído são os motores diesel dentro da Praça de Máquinas.

7.5 – Análise dos caminhos de propagação para o Camarote do Cozinheiro

Pela análise das Tabelas 7.12 a 7.14 pode-se observar o seguinte:

1) A propagação das ondas sonoras pela estrutura abrange um maior número de frequências do que as frequências propagadas pelo ar. Isto acontece devido à proximidade do Camarote do Cozinheiro à Praça de Máquinas e à fixação dos motores de propulsão e da caixa de redução ser diretamente na estrutura, não possuindo isoladores.

2) Observa-se que praticamente todas as frequências dos 1/3 das bandas de oitava (100, 125, 160, 200, 250, 315, 400 e 500 Hz) propagam-se pelos três caminhos (estrutura-estrutura, ar-ar e estrutura-ar). Isto se deve também à proximidade que o Camarote do Cozinheiro tem com a fonte de ruído e vibração (Praça de Máquinas).

Pode-se observar no gráfico da Figura 7.13, que mostra o espectro de nível de pressão sonora em 1/3 de bandas de oitava, que os maiores valores de nível de pressão sonora ocorrem em 100, 160, 200, 315, 400 e 500 Hz.

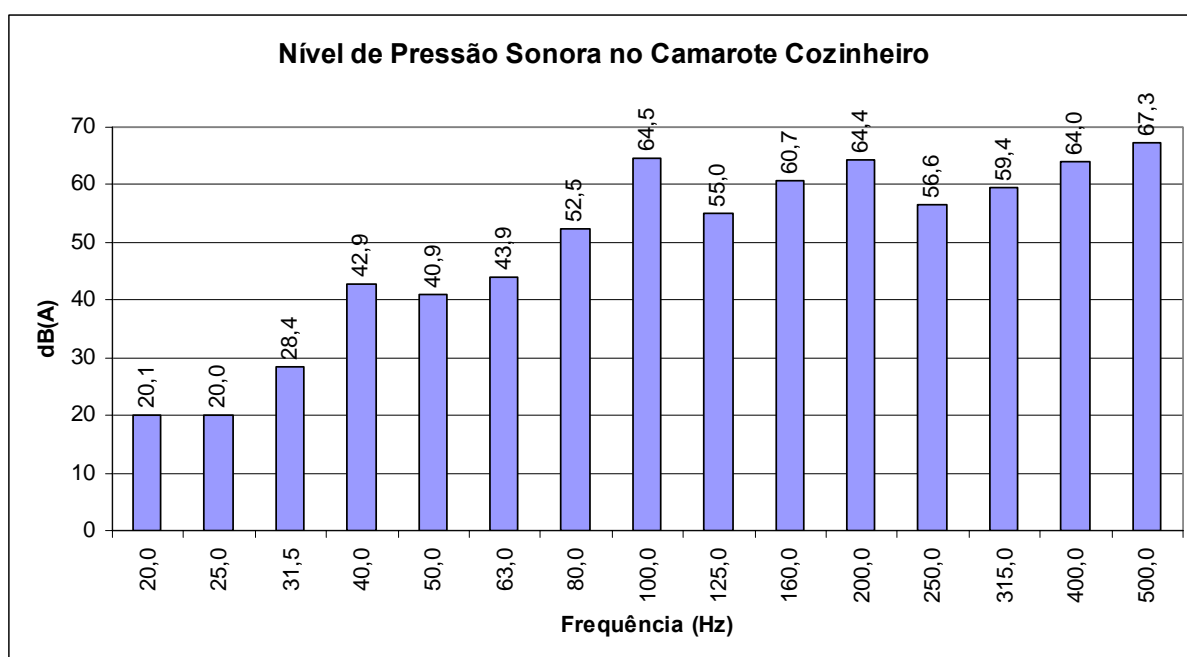


Figura 7.13 – Nível de pressão sonora em dB(A) em 1/3 de bandas de oitava no Camarote do Cozinheiro.

Essas frequências podem ser utilizadas para escolher os materiais que tenham suas propriedades de absorção ou isolamento nessas frequências para realizar o isolamento ou a absorção do som de uma maneira mais eficiente.

CAPITULO 8 – Propostas para redução de ruído

8.1. - Introdução

Como no navio em estudo a superestrutura é a ré e está diretamente localizada sobre a praça de máquinas, a distância entre as acomodações do convés principal e as principais fontes de ruído, ou seja, a Praça de Máquinas será pequena. Isso fará com que os níveis de ruído nesse convés sejam elevados.

Portanto, para os camarotes localizados nesse convés significará que os níveis de ruído requeridos não serão atendidos facilmente, como ficou comprovado no Capítulo 6. Sendo assim, medidas apropriadas para redução dos mesmos poderão ser tomadas onde os níveis de ruído previstos ultrapassarem os limites requeridos.

Métodos para redução da transmissão dos níveis de ruído pelo ar são geralmente mais conhecidos e tratados na literatura especializada. Medidas típicas para redução destes níveis são a inclusão de divisórias, coberturas, telas e materiais absorvedores de ruído. Entretanto, a contribuição do ruído transmitido pela estrutura também deve ser levado em conta e, portanto, deverá ser reduzido também.

O ruído transmitido pela estrutura poderá ser reduzido através da distância da fonte emissora pela reflexão e descontinuidades da própria estrutura (união entre chapas, reforços e mudanças de seção). Entretanto, estas atenuações são pequenas e reduções significativas só poderão ser obtidas através do isolamento da fonte ou do compartimento receptor da estrutura.

8.2. – Possíveis abordagens para controle de ruído: em navios

As medidas de controle de ruído que podem ser aplicadas em navios são semelhantes às que podem ser adotadas na acústica arquitetônica. Hoje em dia existe uma extensa e ampla variedade de materiais que foi desenvolvida para utilizar nos trabalhos relacionados a isolamento acústico e absorção de som.

Dependendo das características do ambiente no qual se quer fazer o tratamento acústico podem-se apresentar soluções adequadas. Podem-se classificar os ambientes em três

classes: espaços limpos (camarotes, refeitórios, áreas de recreação), ambientes com máquinas e equipamentos e um terceiro tipo como sendo estrutural composto pela estrutura do navio, ou seja, convés, divisórias ou anteparos das acomodações.

Os tratamentos do Tipo I são destinados a reduzir o campo de som reverberante, aumentando as características de absorção de som dentro da acomodação. Utilizam-se paredes internas compostas (tipo sanduíche) de alta perda de transmissão (por exemplo, manta de fibra de vidro / camada de chumbo ou compósito polimérico / manta de fibra de vidro). Caso a embarcação já possua paredes internas, pode-se colocar por cima delas placas com mantas de fibra de vidro de 50 milímetros de espessura com revestimentos perfurados. Tal tratamento fornece tipicamente a redução de ruído da ordem de 5 dB(A). Este material também pode ser suspenso nos compartimentos de navio para reduzir os níveis de ruído.

Os tratamentos do Tipo II são semelhantes aos tratamentos do Tipo I, mas geralmente consistem de uma camada de 50 mm de material de fibra de vidro protegidos com um tecido impermeável de proteção para reduzir o risco de degradação nas características de absorção devido à contaminação da água e do óleo. A Figura 8.1 mostra um exemplo deste tipo de material.

Este material é composto por um filme especial que reflete o calor que pode deteriorar os compostos utilizados na sua constituição. Depois possui uma camada, relativamente espessa de espuma acústica (geralmente de 50 a 150 mm). Este material absorve o ruído eficazmente transformando o movimento vibratório das ondas sonoras em energia térmica. Esta espuma é colada a uma camada fina de material denso que seja amortecido. Esta camada pode ser de chumbo, mas as considerações ambientais levaram ao desenvolvimento de compósitos poliméricos para substituí-lo. Esta camada reflete a energia acústica de volta ao ambiente, principalmente devido ao valor muito diferente da velocidade de transmissão de som entre o material e o ar. A última camada de espuma serve para evitar a transmissão de ruído entre a estrutura do navio e a camada de chumbo ou o composto utilizado.

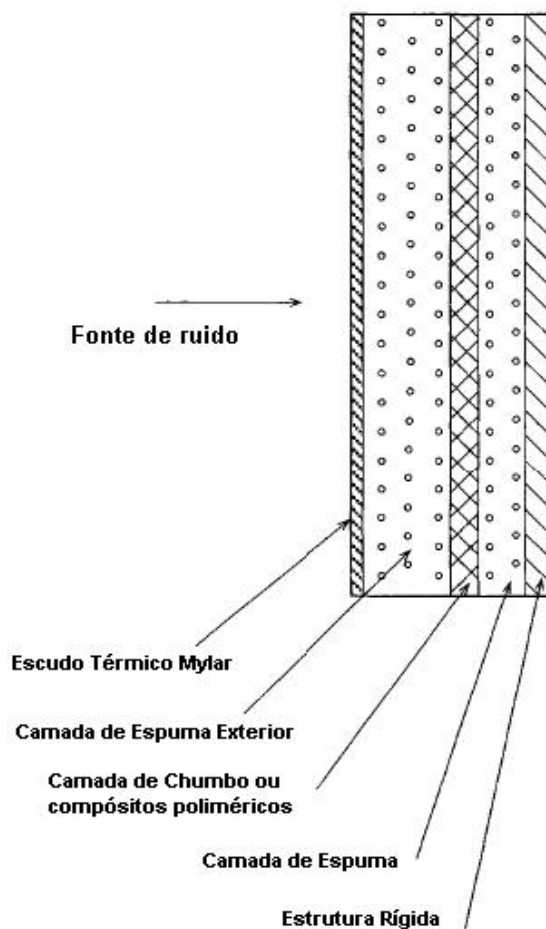


Figura 8.1 – Esquema de um material de absorção sonora para ser utilizado em ambientes contaminados com água e/ou óleo.

Os tratamentos do Tipo III são destinados ao controle de ruído no caminho de transmissão (ou seja, o convés e anteparas). Isso pode ser feito utilizando suportes elásticos (dispositivos de isolamento com borracha) nas máquinas e tubulações, materiais isolantes (almofadas de borracha) colocados nas superfícies e conexões flexíveis nos tubos e mangueiras. A Figura 8.2 mostra exemplos desses acessórios.

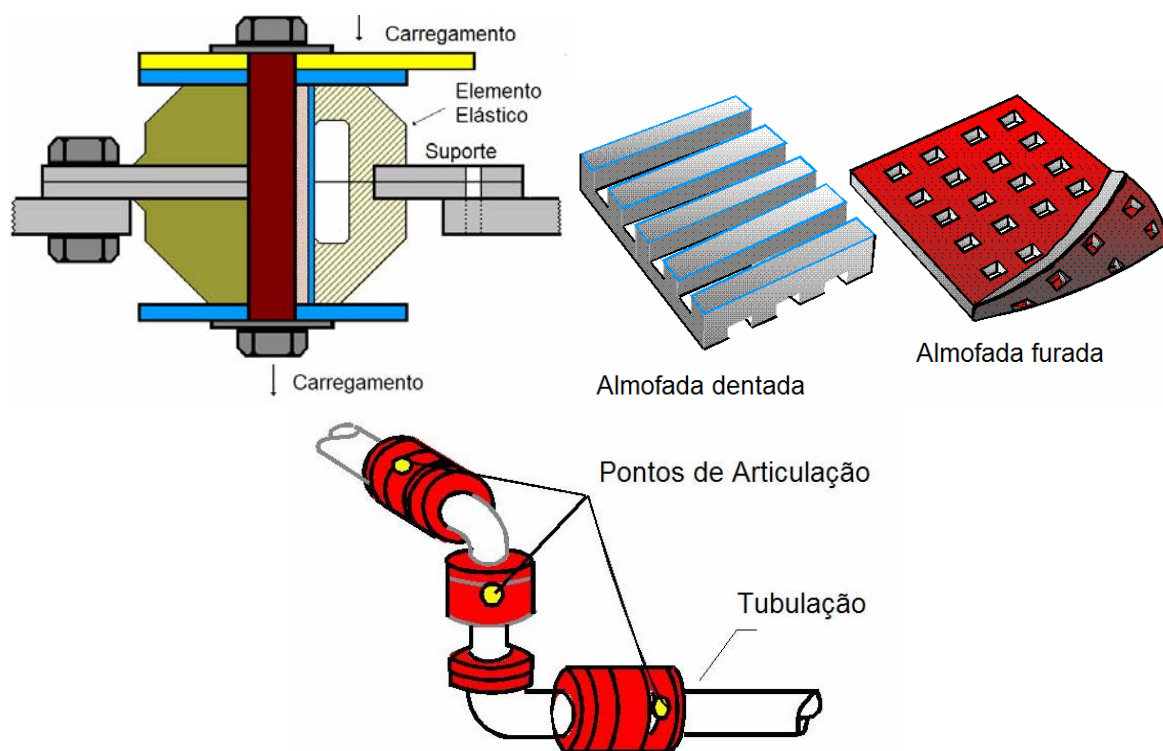


Figura 8.2 – Exemplos de suportes elásticos, almofadas de borracha e conexões flexíveis.

Estes dispositivos de isolamento de som são mais eficazes quando devidamente adaptados às características da máquina e quando a máquina e o dispositivo sofrem uma correta manutenção. A Figura 8.3 mostra um exemplo de aplicação dos elementos mostrados anteriormente.

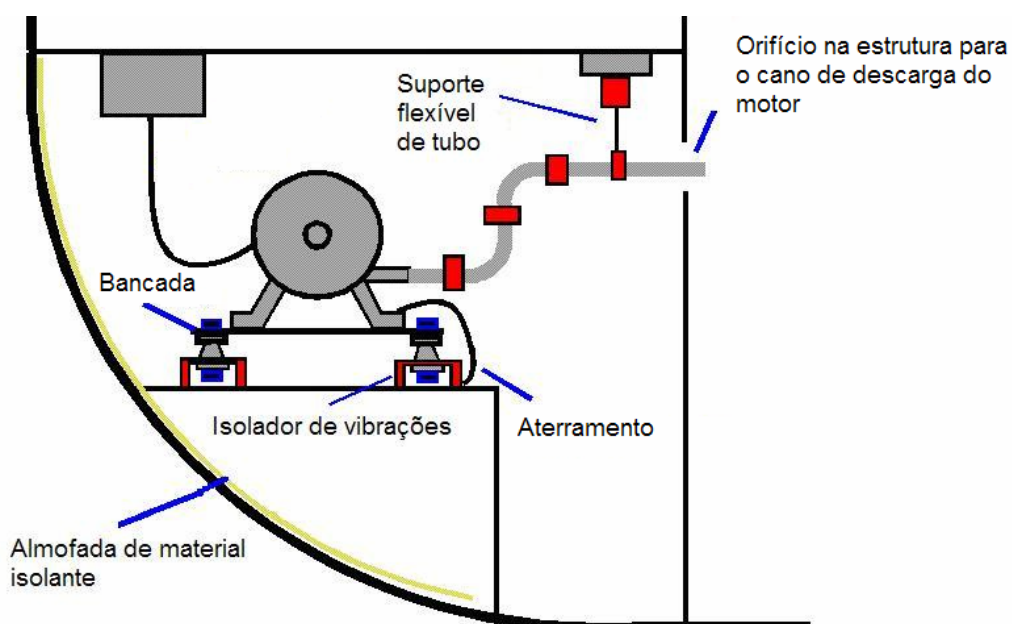


Figura 8.3 – Exemplos de aplicação de suportes elásticos, almofadas de borracha e conexões flexíveis numa praça de máquinas de um navio.

As medidas mais importantes para redução da propagação do ruído dos equipamentos principais, através da estrutura, podem ser resumidas da seguinte forma:

Propulsor: A redução do nível de ruído induzido pelo propulsor, dificilmente poderá ser obtida para navios já em operação, sendo assim, tais medidas devem sempre ser tentadas através de procedimentos preventivos, tais como o projeto da popa para variações mínimas de turbulência no plano do propulsor e escolha apropriada dos parâmetros principais (rotação, diâmetro).

Máquinas de Propulsão: A redução do nível de ruído gerado pelo motor diesel de propulsão principal pode ser obtida através do uso de montagem elástica e aumento dos reforços nas bases do motor. Estas medidas, no entanto, são de custo elevado.

Motores Auxiliares: O ruído transmitido pelos motores auxiliares pode ser o de maior importância entre os ruídos a bordo. Para reduzir o nível de ruído transmitido pela estrutura, os motores devem ser montados elasticamente. Além de reduzir o nível de ruído a bordo, a montagem elástica é uma forma de preservar e proteger o próprio motor (particularmente os mancais) de outras vibrações quando não estiver operando.

Sistema de exaustão: A redução do nível de ruído gerado pelos sistemas de exaustão pode ser conseguida através de montagem flexível e estaiamento da tubulação. A estrutura suporte deverá ser eficientemente reforçada, caso contrário a redução conseguida pela montagem elástica será desprezível.

Acomodações: O nível de ruído na área de acomodações pode ser bastante reduzido se as anteparas, tetos e pisos forem isolados contra a transmissão de vibração por intermédio de um sistema de acomodações flutuante. Este sistema tem se mostrado o modo mais efetivo de reduzir o ruído transmitido pela estrutura. Não existem conexões rígidas à estrutura de aço. O piso consiste de uma chapa suportada por uma camada de lã mineral. As anteparas são montadas sobre o piso flutuante, enquanto o teto é elasticamente suspenso pelo convés superior. Medições tem provado que tais instalações podem oferecer uma redução de até 20 dB(A) nos espaços de acomodações a bordo. Entretanto, a eficiência deste sistema depende de

vários fatores e, particularmente dos parâmetros acústicos do piso flutuante, divisórias e elementos de teto (Kovacs, 1998).

Junto com o piso flutuante deverão ser utilizadas conexões elásticas (isoladores de vibração) entre os painéis de forração, teto falso e estrutura de aço. A melhor solução, neste caso, é a utilização de sistemas de painéis auto sustentados para acomodações, onde as anteparas e o teto são apoiados no piso flutuante, sem qualquer tipo de conexão com a estrutura de aço. A Figura 8.4 mostra um esquema geral de uma acomodação flutuante. A Figura 8.5 mostra o esquema de como se pode colocar uma janela em um camarote do navio.

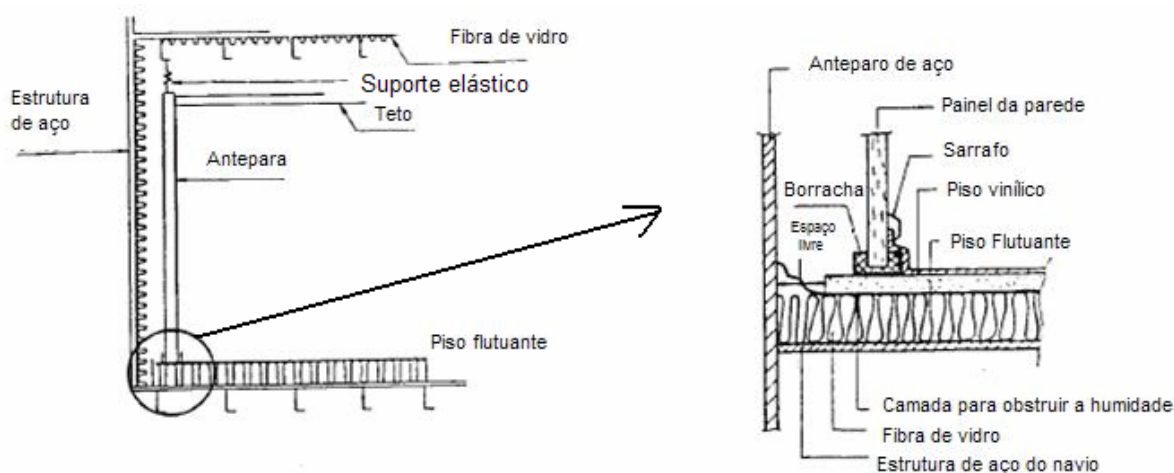


Figura 8.4 – Esquema de uma acomodação flutuante, em detalhe mostra-se a união entre o anteparo e o piso.

Paredes em geral: Revestimentos superficiais para amortecimento do som que se aplicam como uma pintura. O revestimento é a base de água e possui grânulos de sílica mantidos em suspensão em um aglutinante acrílico que proporcionam amortecimento em uma ampla faixa de frequências. Pode utilizar-se diretamente ao alumínio, aço inox, latão, vidro, etc. Pode ser aplicado com pistola de ar comprimido, trincha ou rolo com facilidade. Este revestimento é especialmente concebido para ser aplicado com uma espessura de 1,0 mm em uma única de mão. Normalmente, aplicando duas de mão o revestimento fornece características de amortecimento do som melhores.

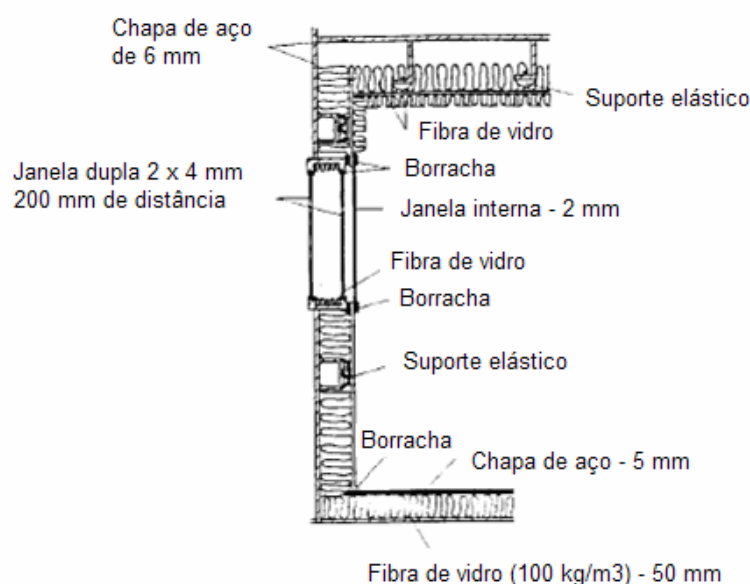


Figura 8.5 – Esquema de como pode-se colocar uma janela num camarote do navio.

8.3 – Propostas de tratamento acústico para diminuir o nível de pressão sonora do navio

Neste item serão apresentados os tratamentos acústicos que se poderiam realizar no navio para diminuir os níveis de ruído no camarote do armador, no camarote do cozinheiro e na praça de máquinas.

Conforme mostra a Tabela 6.3 do Capítulo 6 o Camarote do Armador está 5 dB(A) acima do limite colocado pelo Code on Noise Levels on Board Ships – Resolution A.468(XII) – 1981 da International Maritime Organization (IMO), já o Camarote do Cozinheiro está 14 dB(A) acima e a Praça de Máquinas está 17 dB(A) acima do limite.

8.3.1 – Tratamento acústico na Praça de Máquinas

Qualquer redução do nível de pressão sonora que for conseguido na Praça de Máquinas repercutira beneficemente em toda a embarcação, pois este compartimento do navio é o que origina praticamente todo o ruído.

Os motores diesel são os principais causadores dos elevados níveis de ruído, tanto no meio aéreo como estrutural, pois eles encontram-se fixados diretamente na estrutura do navio, ou seja, não possuem um sistema de isolamento.

Devido às dimensões e distribuição dos equipamentos na Praça de Máquinas não é possível enclausurar os motores. Além do fato de que um enclausuramento impediria a realização de uma manutenção de emergência nos motores durante a viagem.

Como as áreas de circulação de pessoas também são reduzidas, impossibilitando a colocação de painéis móveis, e o piso não é fixo, resta o teto e alguma área das paredes para a colocação de painéis absorvedores para diminuir o nível de pressão sonora.

A Figura 8.6 mostra o nível de pressão sonora em dB(A) em 1/3 de bandas de oitava na Praça de Máquinas. Os níveis mais altos ocorrem nas frequências acima de 100 Hz. Sendo em 400 e 500 Hz os níveis mais altos (92 e 98,5 dB(A)). Essas frequências são harmônicos das explosões dos cilindros do motor diesel.

Baseando-se no espectro da Figura 8.6 pode-se dimensionar um painel absorvedor com características construtivas especiais para o ambiente para ser suspenso no teto da Praça de Máquinas.

Para diminuir o ruído estrutural poderia ser aplicado um revestimentos superficiais para amortecimento do som nas paredes e no teto da Praça de Máquinas.

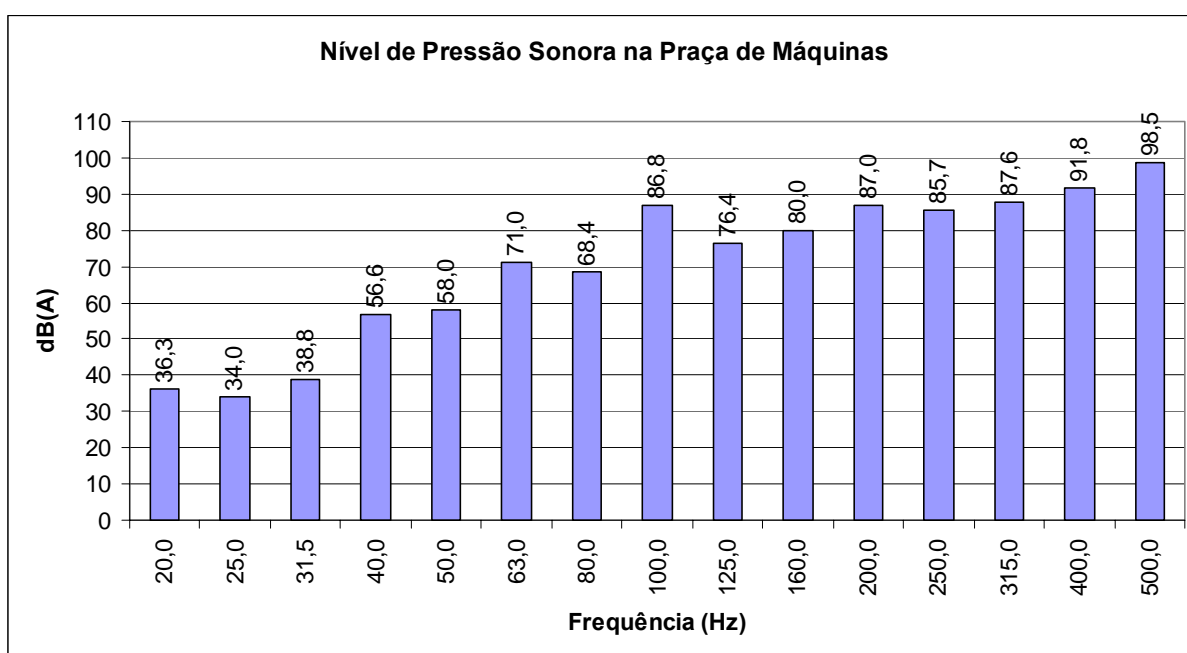


Figura 8.6 – Nível de pressão sonora em dB(A) em 1/3 de bandas de oitava na Praça de Máquinas.

8.3.2 – Tratamento acústico no Camarote do Cozinheiro

Este camarote possui 14 dB(A) acima da norma da International Maritime Organization pois encontra-se muito próximo à Praça de Máquinas.

Para diminuir o nível de pressão sonora no camarote poder-se-ia colocar almofadas de borracha no piso para diminuir o ruído estrutural e nas paredes colocar painéis de absorção baseando-se no espectro do nível de pressão sonora em dB(A) em 1/3 de bandas de oitava, da Figura 7.13.

Poderia também ser realizado um ajuste na porta do camarote fazendo uma boa vedação nas frestas.

A solução ideal para este camarote seria a instalação de um sistema de acomodação flutuante, mas teria que ser realizada uma reforma drástica no navio, não sendo economicamente viável.

8.3.3 – Tratamento acústico no Camarote do Armador

Este camarote possui 5 dB(A) acima da norma da International Maritime Organization. Devido a sua localização ele possui um nível de pressão sonora menor que o camarote do cozinheiro. Neste camarote podem-se adotar as mesmas soluções que no camarote do cozinheiro, tendo em vista que os espectros do nível de pressão sonora em dB(A) em 1/3 de bandas de oitava são relativamente semelhantes, como mostra a Figura 8.7.

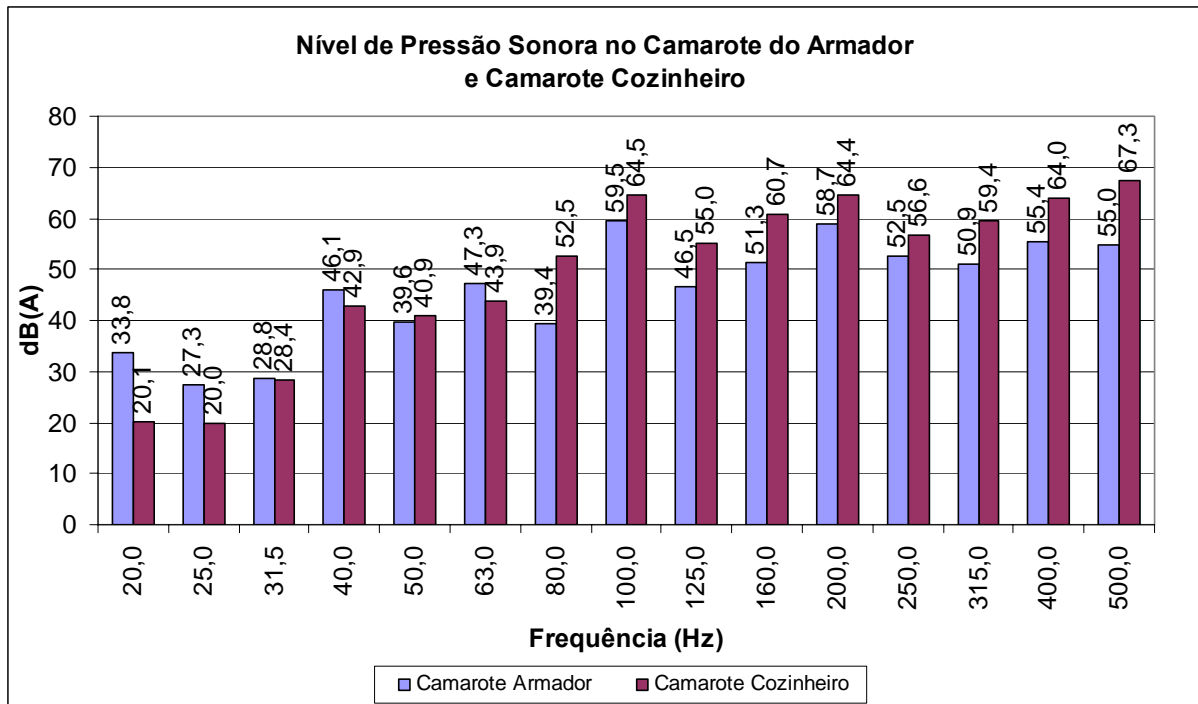


Figura 8.7 – Comparação do nível de pressão sonora em dB(A) em 1/3 de bandas de oitava no Camarote do Armador e no Camarote do Cozinheiro.

9. - CONCLUSÕES

Ficou comprovado, pelos resultados apresentados nos itens 6.2.2 e 6.2.3 do Capítulo 6, que o navio possui problemas nos níveis de ruído, já que os níveis de vibração ficaram abaixo dos limites estabelecidos pelas normas conforme visto nos itens 6.3.1 e 6.3.2 do Capítulo 6.

A identificação das frequências nos caminhos de propagação das ondas sonoras e vibratórias possibilita um dimensionamento mais aprimorado dos materiais utilizados nos tratamentos acústicos de isolamento ou absorção das acomodações do navio, pois as frequências a serem isoladas ou absorvidas estão nitidamente identificadas.

As medidas do nível de pressão sonora e de aceleração da vibração realizadas nas acomodações do navio serviram tanto para determinar o problema como também para propor a solução. Ou seja, inicialmente a comparação das medidas com as normas possibilitaram saber se o navio está dentro dos limites estabelecidos em termos de nível de ruído ou vibração. Posteriormente, pela análise dos caminhos de propagação e identificação das frequências podem-se propor tratamentos acústicos convenientes para a redução dos níveis de ruído ou vibração.

Para uma melhor identificação das fontes onde se originam as frequências de propagação aconselha-se a fazer um levantamento vibratório individual de todos os equipamentos que produzem ruído e vibração. Isso pode ser realizado colocando o acelerômetro diretamente no equipamento nas suas partes principais, por exemplo, na carcaça e nos mancais do motor, no mancal que une o motor e a caixa de redução, na carcaça da caixa de redução, na carcaça e nos mancais do gerador, na carcaça de bombas que estejam em funcionamento durante a viagem, etc..

10. – Referências Bibliográficas

Anflor, C. T., 2003. **“Estudo da transmissibilidade da vibração no corpo humano na direção vertical e desenvolvimento de um modelo biodinâmico de quatro graus de liberdade”**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Balbinot, A., 2001. **“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, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Becker, T., 2006. **“Desenvolvimento de uma mesa vibratória para estudos sobre vibração no corpo humano, medições em um grupo de motoristas e ajuste de um modelo biodinâmico”**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Bendat, J. S., Piersol, A. G., 1980. **“Engineering Applications of Correlation and Spectral Analysis”**, John Wiley & Sons Inc, USA

Bendat, J. S., Piersol, A. G., 1971. **“Random data: analysis and measurement procedures”**, Wiley-interscience, USA.

Bendat, J. S., Piersol, A. G., 1993. **“Engineering applications of correlation and spectral analysis”** John Wiley & Sons, Inc., USA.

Beranek, L. L., István L. V., 1992. **“Noise and vibration control engineering: principles and applications”**. John Wiley & Sons, U.S.A.

Chaffin, D. B., Andersson, G. B. J., Martin, B. J., 1999. **“Occupational biomechanics”**. Wiley-interscience, USA.

Challen, B., Baranescu, R., 1999. **“Diesel Engine Reference Book”**, Second Edition Butterworth-Heinemann, UK.

Crocker, M. J., 2007. **“Handbook of Noise and Vibration Control”** John Wiley & Sons, Inc., USA

Costa, L., F., R., 2000, **“Identificação de Fontes Vibratórias na Redução de Ruído de Condicionadores de Ar”**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Esteves, R., Gordo, J. M., 2004, **“A classe Comfort segundo as sociedades classificadoras”**. IX Jornadas Técnicas de Engenharia Naval, Lisboa.

Fahy F., Walker, J., 2004, **“Advanced Applications in Acoustics, Noise and Vibration”** Spon Press, UK.

Gerges, S. N. Y., 1992. **“Ruído: fundamentos e controle”**. Imprensa Universitária. Universidade Federal de Santa Catarina.

Griffin, M. J., 1990. **“Handbook of human vibration”**. Academic Press, U.S.A.

Kovacs, A. S., 1998. **“Aplicações práticas de controle do nível de ruído a bordo de navios”**. 17º Congresso Nacional de Transportes Marítimos, Construção Naval e Offshore.

Nilsson, A. C., 1978. **“Noise Prediction and Prevention in Ships”**. Ship Vibration Symposium, Arlington, Va., October 16-17, 1978.

NBR 10151, 2000 – **Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.

NBR 10152, 1987 – **Níveis de ruído para conforto acústico**. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Norma Regulamentadora do Ministério do Trabalho - **NR-15 – Atividades e operações insalubres**

Norma Regulamentadora do Ministério do Trabalho - **NR 20 - Líquidos combustíveis e inflamáveis**

Norma Regulamentadora do Ministério do Trabalho - **NR-29 – Norma regulamentadoras de segurança e saúde no trabalho portuário**

Norma Regulamentadora do Ministério do Trabalho - **NR-30 – Norma regulamentadora de segurança e saúde no trabalho aquaviário**

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

ISO 9996 – Mechanical vibration and shock – Disturbance to human activity and performance – Classification, 1996, 8 pp.

ISO 8041, 2005. “**Human response to vibration – Measuring instrumentation**”. International Standard.

ISO 4867 – Code for the measurement and reporting of shipboard vibration data, 1984, 18 pp.

ISO 4868 – Code for the measurement and reporting of local vibration data of ship structures and equipment, 1984, 13 pp.

ISO/DIS 20283-2 – Mechanical vibration – Measurement of vibration on ships – Part 2: Structural vibration, 2007, 15 pp.

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

ISO 2631, 1974. **“Guide for evaluation of human exposure to whole-body vibration”**. International Standard.

Randall, R. B., Tech, B., 1987. **Frequency Analysis**, Brüel & Kjaer

Tamura, Y., Kawada, T., Sasazawa, Y., 1997. **Effect of ship noise on sleep**. Journal of Sound and Vibration, 205(4), 417-425

Tamura, Y., Horiyasu, T., Sano, Y., Chonan, K., Y., Kawada, T., Sasazawa, Kuroiwa, M., Suzuki, S., 2002. **Habituation of sleep to a ship’s noise as determined by actigraphy and a sleep questionnaire**. Journal of Sound and Vibration, 250(1), 107-113

Woodyard, D., 2004, **“Pounder’s Marine Diesel Engines and Gas Turbines”** Eighth edition, Elsevier Butterworth-Heinemann, UK.

ANEXO I

MEMORIAL DESCRITIVO DO GUARITA

1. IDENTIFICAÇÃO DA EMBARCAÇÃO

Armador

- Nome: Navegação Guarita Ltda.
- Nacionalidade: Brasileira.
- Endereço: R. Florêncio Ygartua, 131 – cj. 301.
- Cidade / Estado: Porto Alegre / RS.
- CEP: 90430-010.
- CGC: 92.786.680/0001-39.

Estaleiro responsável pela construção

- Nome: Estaleiro SÓ S.A.
- Nacionalidade: Brasileira
- Endereço: Av. Padre Cacique, nº 2893
- Cidade / Estado: Porto Alegre / RS
- CEP: 90650-010.

Projeto de construção

- Nome: Estaleiro SÓ S.A.
- Nacionalidade: Brasileira
- Endereço: Av. Padre Cacique, nº 2893
- Cidade / Estado: Porto Alegre / RS
- CEP: 90650-010.

Dados gerais relativos à embarcação

- Nome da embarcação: GUARITA
- Ano da construção: 1987
- Sociedade Classificadora: Bureau Veritas
- Notação de classe: I 3/3 E
 - ✠ Tanker /type II/kx
 - NI 1
 - ✠ MOT
- Tipo da embarcação: navio tanque fluvial para transporte de produtos químicos a granel
- Porto de Registro: Porto Alegre
- Arqueação bruta: 1989
- Arqueação líquida: 1075
- Porte Bruto Nominal: 3100 TPB
- Porte Útil Nominal: 2870 t
- Produtos químicos: Benzeno, Tolueno, Xileno, Etilbenzeno, MTBE e Metanol

2. CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DO CASCO

Comprimento total: 91,50m
 Comprimento entre perpendiculares: 89,00m
 Boca moldada: 15,50m

Pontal moldado: 4,15m
 Calado de projeto: 3,30m
 Calado máximo: 3,47m
 Deslocamento leve: 971 t
 Deslocamento carregado: 4131 t

3. CARACTERÍSTICAS DA ESTRUTURA

Material

- Casco: aço
- Conveses: aço
- Anteparas: aço
- Casaria: aço
- Tipo de estrutura: mista

4. CARACTERÍSTICAS DE COMPARTIMENTAGEM

Número e localização da superestrutura: uma (01), a ré
 Localização da praça de máquinas: a ré
 Número de anteparas transversais (principais) estanques: onze (11)
 Número de anteparas longitudinais (principais) estanques: três (03)
 Número de conveses abaixo do convés principal: um (01), teto do fundo duplo
 Número de conveses contínuos acima do convés principal: um (01), tronco
 Número de conveses da superestrutura: três (03)
 Número de casarias (excetuada a superestrutura): um (01), CCO
 Dimensões das superestruturas e casarias:

| Descrição | Comprimento máximo (m) | Largura máxima (m) | Altura máxima (m) |
|--------------------------|------------------------|--------------------|-------------------|
| Superestrutura principal | 7,80 | 10,60 | 7,50 |
| CCO | 3,60 | 3,60 | 2,40 |

5. CARACTERÍSTICAS DE CUBAGEM

Volume total líquido dos tanques de carga: 3955m³
 Capacidade de lastro: 1708m³
 Capacidade de óleo diesel: 31,6m³
 Capacidade de água doce: 43,8m³

6. TRIPULAÇÃO E PASSAGEIROS

Tripulação: 10 + 5 pessoas
 Passageiros: 0
 Outros: 0

7. REGULAMENTOS NACIONAIS E INTERNACIONAIS A QUE A EMBARCAÇÃO DEVE SE SUBMETER

Regulamentos da DPC e Capitania dos Portos

Requisitos da resolução A212 (VII) do código IMO (Code for the construction and equipment of ship carrying dangerous chemicals in bulk), tipo II, naquilo que for essencial ao tipo de carga, serviço e zona de operação da embarcação.

Regras do Bureau Veritas.

8. CARACTERÍSTICAS DA PROPULSÃO

Equipamento de Propulsão

- Tipo: Motor diesel
- Quantidade: três (03)
- Potência máxima contínua: 3 x 343 Bhp
- Rotação correspondente: 1800 rpm
- Combustível: óleo diesel
- Marca e modelo: Scania DS 14

Caixa Redutora

- Quantidade: três (03)
- Relação Redução: 4,9:1
- Marca: ZF BW 121

Propulsor

- Quantidade: três(03)
- Tipo: hélice de passo fixo (04 pás)
- Material: Bronze Manganês – tipo 2
- Diâmetro: 1500mm

Características de serviço da embarcação

- Velocidade de serviço: 9,0 nós
- Raio de ação: 1500 milhas

9. EQUIPAMENTOS DE CARGA

Bomba de descarga

- Quantidade: quatro (04)
- Tipo: centrífuga
- Capacidade nominal: 180 m³/h a 65mca
- Marca: HERO
- Acionamento: motor hidráulico

Bomba de resíduo

- Quantidade: uma (01)
- Tipo: centrífuga auto-escorvante
- Capacidade nominal: 4 m³/h a 11mca
- Acionamento: motor hidráulico

10. GERAÇÃO DE ENERGIA

Acionamento

- Tipo: motor diesel
- Marca: MWM
- Modelo: D229/3
- Quantidade: dois (02)
- Potência máxima contínua: 2 x 38,5 hp
- Rotação: 1800rpm

Geradores

- Marca: WEG
- Quantidade: dois (02)
- Tensão gerada: 220 Vca
- Potência: 25 KW
- Frequência: 60 Hz

Baterias de iluminação de emergência

- Tipo: chumbo-ácida
- Tensão: 24V
- Capacidade: 180 Ah
- Quantidade: duas (02)

Baterias de partida de MCP's

- Tipo: chumbo-ácida
- Tensão: 24V
- Capacidade: 180 Ah
- Quantidade: três (03)

Baterias de partida de MCA's

- Tipo: chumbo-ácida
- Tensão: 12V
- Capacidade: 135 Ah
- Quantidade: cinco (05)

11. EQUIPAMENTOS DE AMARRAÇÃO E FUNDEIO

Molinete

- Tipo: horizontal, duplo
- Quantidade: um (01)
- Acionamento: hidráulico
- Capacidade: 11.000 kg
- Velocidade: 9m/min

Âncoras

- Quantidade: duas (02)
- Tipo: Danforth

– Peso: 2 x 1440kg

Amarra

- Quantidade: duas (02)
- Comprimento: seis (06) quartéis (cada)
- Diâmetro do vergalhão: 38mm
- Tipo: elos malhetados, aço grau U1

Cabrestante

- Tipo: vertical
- Quantidade: um (01)
- Acionamento: motor hidráulico
- Capacidade: 2700 kg
- Velocidade: 18m/min

12. EQUIPAMENTOS DE INCÊNDIO

Quantidade de extintores

| TIPO | CAPACIDADE | QUANT. | LOCAL |
|---------------|------------|--------|------------------|
| Pó químico | 8 kg | 01 | Pr. Máquinas |
| Pó químico | 8 kg | 01 | Passadiço |
| Espuma | 10 l | 02 | Pr. Máquinas |
| Espuma | 10 l | 01 | Pr. Bombas |
| Espuma | 10 l | 02 | Convés Tronc. |
| Espuma | 75 l | 01 | Pr. Máquinas |
| Gás carbônico | 6 kg | 02 | Pr. Máquinas |
| Gás carbônico | 6 kg | 04 | Convés Princ. |
| Gás carbônico | 6 kg | 01 | Convés Sup. |
| Gás carbônico | 6 kg | 01 | Passadiço |

Sistema fixo de CO2

- Compartimentos protegidos: praça de máquinas e praça de bombas
- Quantidade de garrafas: oito (08)
- Capacidade individual das garrafas: 45 kg
- Localização do compartimento de CO2: convés principal

Sistema fixo de espuma

- Áreas protegidas: convés exposto na zona de carga
- Ajuste do proporcionador: 6%
- Pressurização: bomba centrífuga acionada por motor diesel
- Número de proporcionadores: 2
- Quantidade disponível de espuma: 3500 l
- Localização do tanque de extrato: praça de máquinas
- Quantidade de canhões monitores: cinco (05)

Bomba de incêndio (água)

- Quantidade: duas (02)
- Tipo: centrífuga auto-escorvante
- Capacidade: 11 m³/h x 50 mca
- Acionamento: motor diesel

Bomba de incêndio (espuma)

- Quantidade: uma (01)
- Tipo: centrífuga
- Capacidade: 105m³/h x 80 mca
- Acionamento: motor diesel

13. EQUIPAMENTOS DE GOVERNO**Máquina do leme**

- Quantidade: uma (01), composta por dois cilindros hidráulicos
- Acionamento: hidráulico, com bombas acopladas aos MCP's
- Comando: elétrico em 24 VCC
- Torque: 2 x 1500kg.m

Leme

- Quantidade: dois (02)
- Tipo: singelo, suspenso
- Área: 2 x 3,99m²

14. EQUIPAMENTOS DE SALVATAGEM**Embarcação salva-vidas**

- Quantidade: uma (01)
- Tipo: bote de abandono
- Material: fibra de vidro
- Capacidade: 12 pessoas
- Propulsão: motor diesel

Bóias salva-vidas

- Simples: duas (02)
- Com retinida: duas (02)
- Com dispositivo de iluminação auto-ativada: duas (02)
- Com dispositivo de iluminação e sinal fumígeno auto-ativado: duas (02)

Coletes

- Classe: III
- Tamanho: grande
- Quantidade: dezenove (19)

15. EQUIPAMENTOS DE LASTRO, DESLASTRO E ESGOTO

Na praça de máquinas

- Finalidade: Esgoto
- Quantidade: duas (02), as mesmas mencionadas no item 12.4
- Tipo: centrífuga auto-escorvante
- Capacidade: 11 m³/h x 50mca
- Acionamento: motor diesel

Na praça de bombas

- Finalidade: lastro e deslastro
- Quantidade: duas (02)
- Tipo: Centrífuga, auto-escorvante
- Capacidade: 185 m³/h x 18mca
- Acionamento: motor hidráulico

16. EQUIPAMENTOS NÁUTICOS

Conjunto de luzes de navegação e sinalização

Limpador de pára-brisa

Agulha magnética

Apito eletro-pneumático

Indicador de ângulo do leme

Vigia rotativa

Holofote de buscas

Binóculo

Telefones internos (5 pontos)

Tubos acústicos

Megafone transistorizado

Barômetro

Sino

17. ELETRÔNICA EMBARCADA

Rádio SSB

Rádio VHF fixo (1)

Rádio VHF portátil (3)

Radar fluvial

GPS

Ecobatímetro

Telefone/Fax

18. OBSERVAÇÕES ADICIONAIS

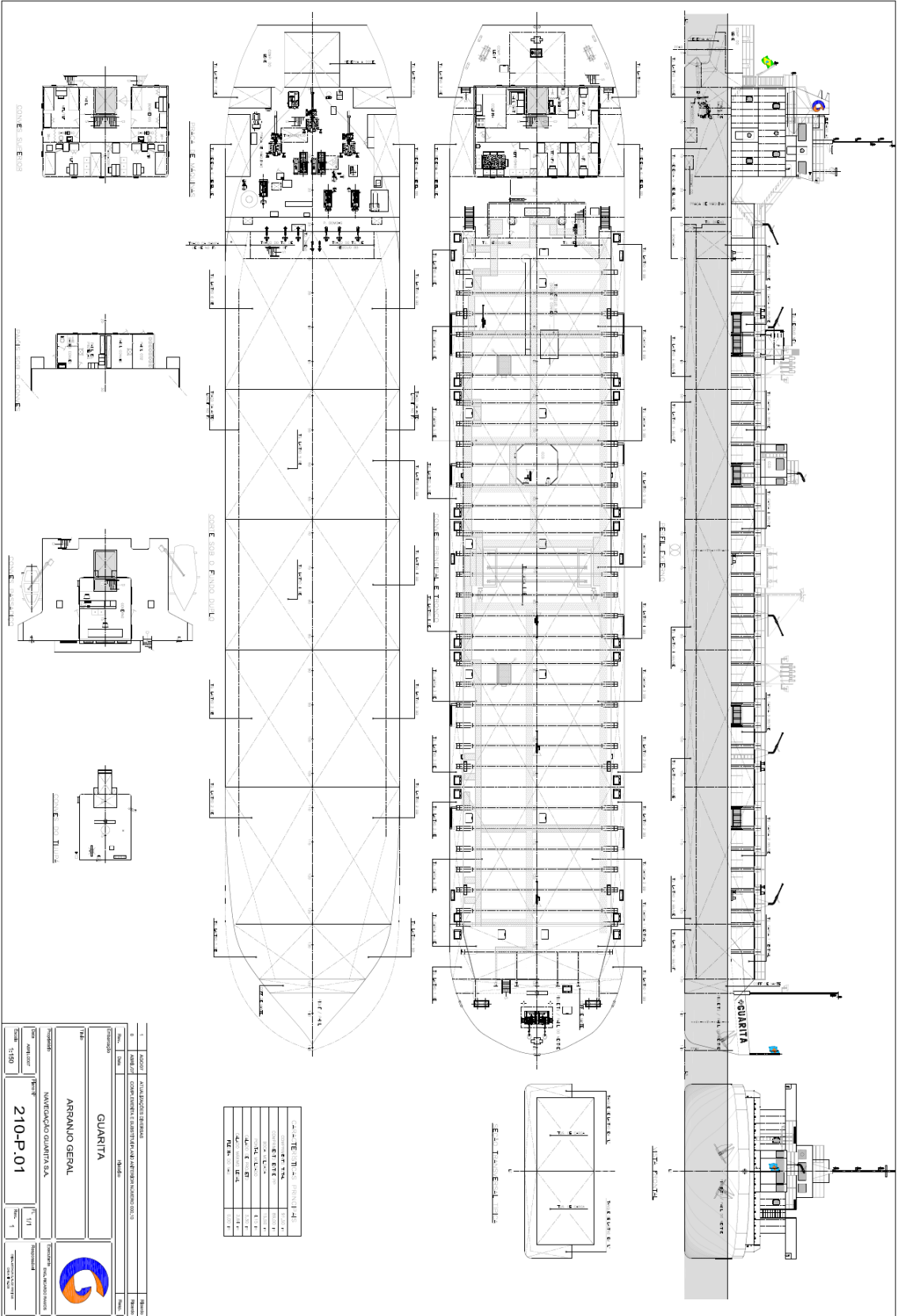
A embarcação dispõe ainda de:

- Ventilação e exaustão da praça de máquinas
- Ventilação forçada das acomodações
- Exaustão da praça de bombas (acionamento hidráulico)
- Ventilador para tanques de carga (acionamento hidráulico)

- Sistema hidro-pneumático de água potável
- Sistema de ar comprimido de serviço
- Sistema de transferência de óleo diesel
- Exaustão da coifa da cozinha
- Exaustão de banheiros
- Sistema de alarme de nível de tanques de carga
- Central hidráulica completa com quatro (04) bombas acionadas por dois (02) motores diesel
- Sistema de aquecimento de água doce

ANEXO II

PLANTAS DO GUARITA



| | | |
|-----|---------|--------------------|
| 1 | TIPO | QUARTAS DE GUARITA |
| 2 | NUMERO | 210-P-01 |
| 3 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 4 | PROJETA | ARRANJO GERAL |
| 5 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 6 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 7 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 8 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 9 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 10 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 11 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 12 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 13 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 14 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 15 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 16 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 17 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 18 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 19 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 20 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 21 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 22 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 23 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 24 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 25 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 26 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 27 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 28 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 29 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 30 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 31 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 32 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 33 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 34 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 35 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 36 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 37 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 38 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 39 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 40 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 41 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 42 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 43 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 44 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 45 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 46 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 47 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 48 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 49 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 50 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 51 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 52 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 53 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 54 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 55 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 56 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 57 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 58 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 59 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 60 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 61 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 62 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 63 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 64 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 65 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 66 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 67 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 68 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 69 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 70 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 71 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 72 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 73 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 74 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 75 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 76 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 77 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 78 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 79 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 80 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 81 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 82 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 83 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 84 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 85 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 86 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 87 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 88 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 89 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 90 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 91 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 92 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 93 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 94 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 95 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 96 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 97 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 98 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 99 | PROJETO | ARRANJO GERAL |
| 100 | PROJETO | ARRANJO GERAL |

ANEXO III

Definição de Espectro Cruzado

Cada vez mais, uma ampla gama de aplicações na engenharia utiliza a análise de dados randômicos para determinar as relações lineares entre dois ou mais conjuntos de dados. Essas relações lineares são geralmente extraídas em termos de uma função de correlação ou a sua transformada de Fourier, chamada de espectro cruzado.

A correlação e o espectro cruzado fornecem basicamente a mesma informação, mas do ponto de vista histórico, evoluíram separadamente, as funções de correlação foram um produto de matemáticos e estatísticos, enquanto que as funções densidade espectral foram desenvolvidas mais diretamente como uma ferramenta de engenharia.

O espectro cruzado é geralmente interpretado como a função de correlação cruzada, só que o espectro cruzado fornece os resultados desejados como uma função da frequência ao invés de em termos de valores globais. Este fato favorece enormemente o seu uso facilitando as interpretações dos dados. Frequências onde os sinais estão presentes em ambos os espectros terá grandes componentes no espectro cruzado.

O espectro cruzado entre dois registros no tempo $x(t)$ e $y(t)$ pode ser definido como a transformada de Fourier da função correlação cruzada entre os registros.

A função correlação cruzada $R_{ab}(\tau)$ fornece uma medida do grau em que dois sinais se correlacionam uns com os outros em função do deslocamento do tempo, τ , entre eles. Para sinais transientes, a função de correlação cruzada é definida pela fórmula:

$$R_{xy}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)y(t + \tau)dt \quad (\text{A.III.1})$$

Para sinais estacionários, a fórmula é ligeiramente modificada como segue:

$$R_{xy}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t)y(t+\tau)dt \quad (\text{A.III.2})$$

É mostrado a seguir que a função de correlação cruzada pode ser calculada a partir do espectro cruzado por transformada de Fourier inversa, a equação (A.III.1) pode ser desenvolvida da seguinte forma:

$$R_{xy}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} y(u) x(u-\tau) du \quad (\text{A.III.3})$$

onde: $u = t + \tau$ e $du = dt$

$$R_{xy}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} y(u) z(\tau-u) du \quad (\text{A.III.4})$$

onde: $z(t) = x(-t)$

A convolução de dois sinais no tempo $x(t)$ e $y(t)$ é definida matematicamente como:

$$C(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau)y(t-\tau)d\tau \quad (\text{A.III.5})$$

Pode ser representado simbolicamente como:

$$C(t) = x(t) * y(t) \quad (\text{A.III.6})$$

Comparando com a (A.III.4) tem-se:

$$R_{xy}(\tau) = y(\tau) * z(\tau) = y(\tau) * x(-\tau) \quad (\text{A.III.7})$$

Aplicando a transformada de Fourier e o teorema de convolução:

$$\mathfrak{F}\{R_{xy}(\tau)\} = Y(f) \cdot X(-f) = Y(f) \cdot A*(f) = S_{XY}(f) \quad (\text{A.III.8})$$

Em termos de espectros instantâneos de frequência $X(f)$ e $Y(f)$, o espectro cruzado S_{XY} é definido pela fórmula:

$$S_{XY}(f) = X*(f) \cdot Y(f) \quad (\text{A.III.9})$$

O espectro cruzado entre dois sinais é a média do complexo conjugado do espectro de Fourier de um dos sinais multiplicado pelo espectro de Fourier do outro sinal. A amplitude do espectro cruzado dá uma medida de quão bem as duas funções se correlacionam como uma função de frequência.

Como o atraso de tempo corresponde a uma inclinação em um espectro de fase, a inclinação da fase do espectro cruzado pode ser utilizada como uma medida do tempo de atraso. O espectro cruzado é uma função simétrica que pode ser aplicada quando não se sabe a relação causa/efeito entre os dois sinais a serem medidos.

APÊNDICE A

Valores de pico da velocidade da vibração em mm/s encontrados na faixa de frequência entre 5 e 100 Hz para todos os arquivos medidos para serem utilizados nos critérios da Norma COMFORT CLASS – Parte 5 – Capítulo 12 da Det Norske Veritas.

Os valores da última coluna de todas as Tabelas são calculados multiplicando o valor RMS (antepenúltima coluna) por $\sqrt{2}$.

Tabela A1.1 – Valores de pico para a velocidade da vibração em mm/s nas três direções dos arquivos correspondentes ao Camarote do Armador.

quarto1 motor central pf

| Camarote Armador | Hz | m/s (u) | m/s | mm/s (RMS) | mm/s (Valor Pico) |
|------------------|-------|---------|-----------|------------|-------------------|
| Velocidade X | 38,75 | 79,8 | 0,0000798 | 0,080 | 0,11 |
| Velocidade Y | 19,5 | 165 | 0,000165 | 0,165 | 0,23 |
| Velocidade Z | 19,25 | 262 | 0,000262 | 0,262 | 0,37 |

quarto1 motor direita pf

| Camarote Armador | Hz | m/s (u) | m/s | mm/s (RMS) | mm/s (Valor Pico) |
|------------------|-------|---------|-----------|------------|-------------------|
| Velocidade X | 8,5 | 87,9 | 0,0000879 | 0,088 | 0,12 |
| Velocidade Y | 5,75 | 118 | 0,000118 | 0,118 | 0,17 |
| Velocidade Z | 19,25 | 187 | 0,000187 | 0,187 | 0,26 |

quarto1 motor esquerda pa

| Camarote Armador | Hz | m/s (u) | m/s | mm/s (RMS) | mm/s (Valor Pico) |
|------------------|-------|---------|-----------|------------|-------------------|
| Velocidade X | 6,75 | 80,3 | 0,0000803 | 0,080 | 0,11 |
| Velocidade Y | 19,25 | 59,8 | 0,0000598 | 0,060 | 0,08 |
| Velocidade Z | 19,25 | 178 | 0,000178 | 0,178 | 0,25 |

quarto1 motor gerador pf

| Camarote Armador | Hz | m/s (u) | m/s | mm/s (RMS) | mm/s (Valor Pico) |
|------------------|-------|---------|----------|------------|-------------------|
| Velocidade X | 5,5 | 106 | 0,000106 | 0,106 | 0,15 |
| Velocidade Y | 21 | 106 | 0,000106 | 0,106 | 0,15 |
| Velocidade Z | 19,25 | 143 | 0,000143 | 0,143 | 0,20 |

Tabela A1.2 – Valores de pico para a velocidade da vibração em mm/s nas três direções dos arquivos correspondentes ao Camarote do Cozinheiro.

quarto2 motor central pf

| Camarote Cozinheiro | Hz | m/s (u) | m/s | mm/s (RMS) | mm/s (Valor Pico) |
|---------------------|-------|---------|----------|------------|-------------------|
| Velocidade X | 5,25 | 124 | 0,000124 | 0,124 | 0,18 |
| Velocidade Y | 5,25 | 119 | 0,000119 | 0,119 | 0,17 |
| Velocidade Z | 95,75 | 697 | 0,000697 | 0,697 | 0,99 |

quarto2 motor direita pf

| Camarote Cozinheiro | Hz | m/s (u) | m/s | mm/s (RMS) | mm/s (Valor Pico) |
|---------------------|-------|---------|-----------|------------|-------------------|
| Velocidade X | 5,25 | 107 | 0,000107 | 0,107 | 0,15 |
| Velocidade Y | 96,25 | 70,2 | 0,0000702 | 0,070 | 0,10 |
| Velocidade Z | 96 | 659 | 0,000659 | 0,659 | 0,93 |

quarto2 motor esquerda pf

| Camarote Cozinheiro | Hz | m/s (u) | m/s | mm/s (RMS) | mm/s (Valor Pico) |
|----------------------------|-----------|----------------|------------|-------------------|--------------------------|
| Velocidade X | 6,75 | 94,1 | 0,0000941 | 0,094 | 0,13 |
| Velocidade Y | 96,5 | 80,7 | 0,0000807 | 0,081 | 0,11 |
| Velocidade Z | 96,5 | 770 | 0,00077 | 0,770 | 1,09 |

quarto2 motor gerador pf

| Camarote Cozinheiro | Hz | m/s (u) | m/s | mm/s (RMS) | mm/s (Valor Pico) |
|----------------------------|-----------|----------------|------------|-------------------|--------------------------|
| Velocidade X | 19,5 | 106 | 0,000106 | 0,106 | 0,15 |
| Velocidade Y | 6 | 70,9 | 0,0000709 | 0,071 | 0,10 |
| Velocidade Z | 96 | 604 | 0,000604 | 0,604 | 0,85 |

Tabela A1.3 – Valores de pico para a velocidade da vibração em mm/s nas três direções dos arquivos correspondentes à Cozinha.

| Cozinha | Hz | m/s (u) | m/s | mm/s (RMS) | mm/s (Valor Pico) |
|----------------|-----------|----------------|------------|-------------------|--------------------------|
| Velocidade X | 6,75 | 89,9 | 0,0000899 | 0,090 | 0,13 |
| Velocidade Y | 5,5 | 120 | 0,00012 | 0,120 | 0,17 |
| Velocidade Z | 96,25 | 176 | 0,000176 | 0,176 | 0,25 |

Tabela A1.4 – Valores de pico para a velocidade da vibração em mm/s nas três direções dos arquivos correspondentes ao Refeitório.

| Refeitório | Hz | m/s (u) | m/s | mm/s (RMS) | mm/s (Valor Pico) |
|-------------------|-----------|----------------|------------|-------------------|--------------------------|
| Velocidade X | 5,25 | 139 | 0,000139 | 0,139 | 0,20 |
| Velocidade Y | 5 | 112 | 0,000112 | 0,112 | 0,16 |
| Velocidade Z | 5 | 112 | 0,000112 | 0,112 | 0,16 |

APÊNDICE B

Espectro do nível de pressão sonora da Praça de Máquinas e espectros da aceleração na direção Z no Camarote do Armador e da Praça de Máquinas utilizados no item 7.2 deste trabalho.

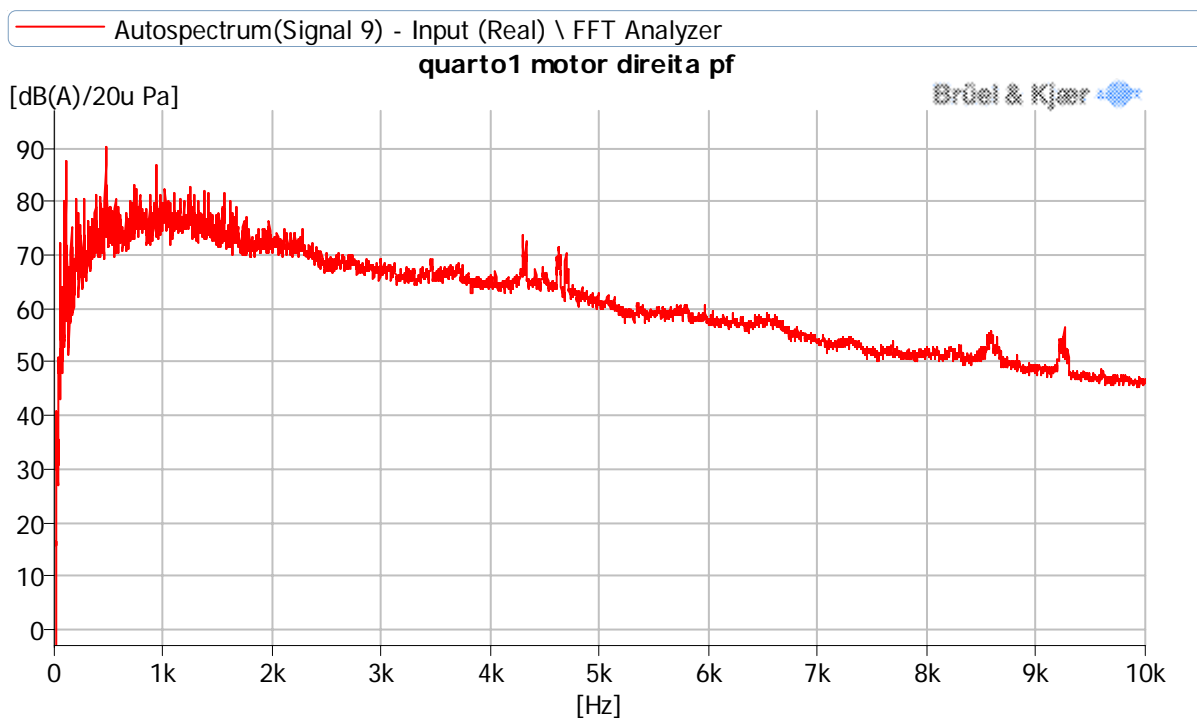


Figura B.1 – Espectro do nível de pressão sonora em dB(A) na Praça de Máquinas.

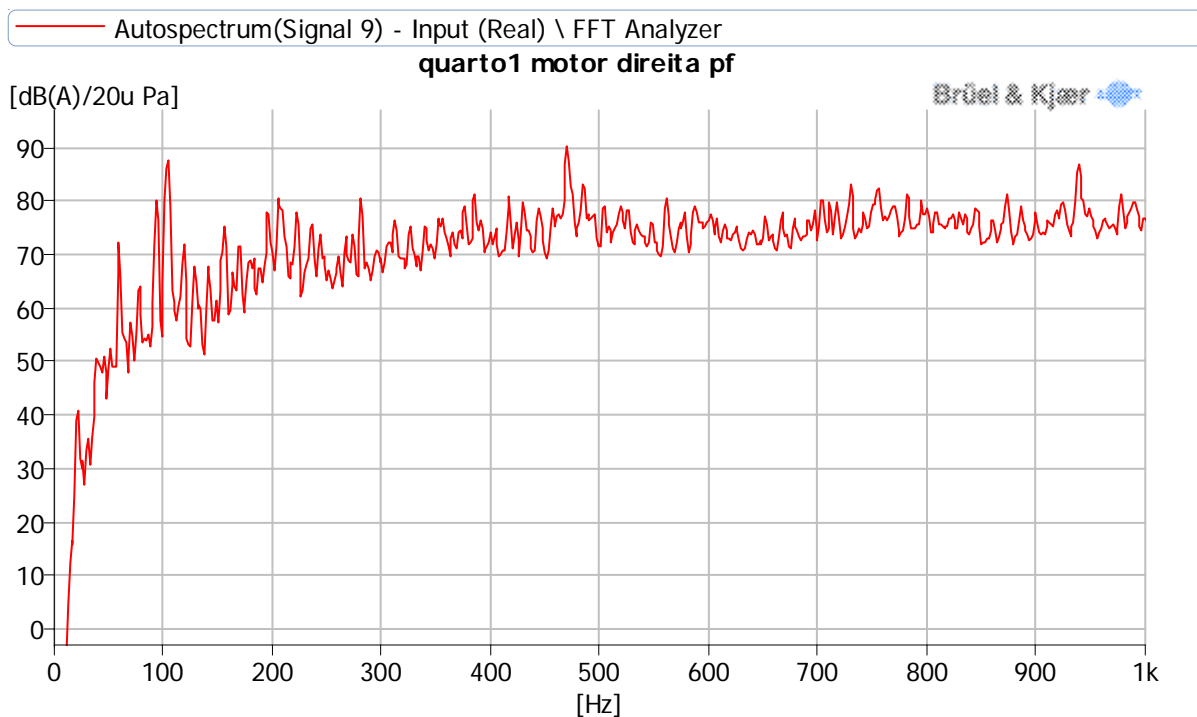


Figura B.2 – Espectro do nível de pressão sonora em dB(A) na Praça de Máquinas até 1.000 Hz.

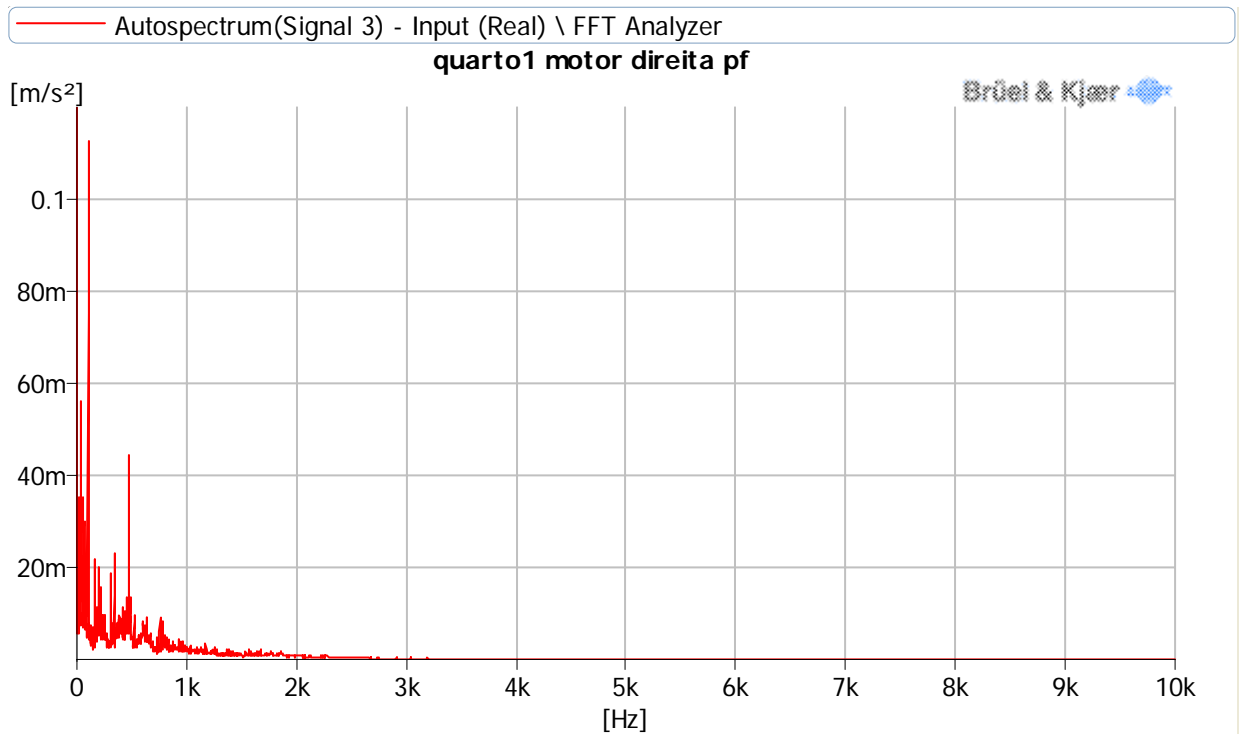


Figura B.3 – Espectro da aceleração na direção Z em m/s² no Camarote do Armador.

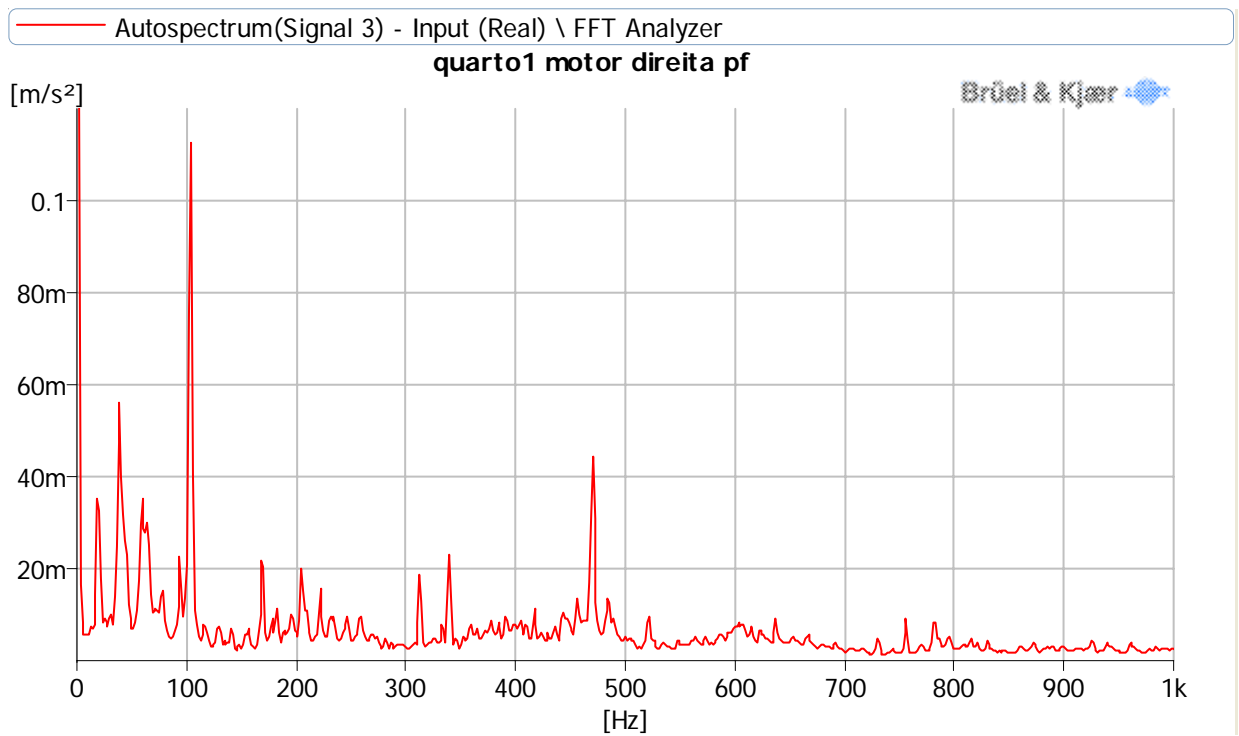


Figura B.4 – Espectro da aceleração na direção Z em m/s² no Camarote do Armador até 1.000 Hz.

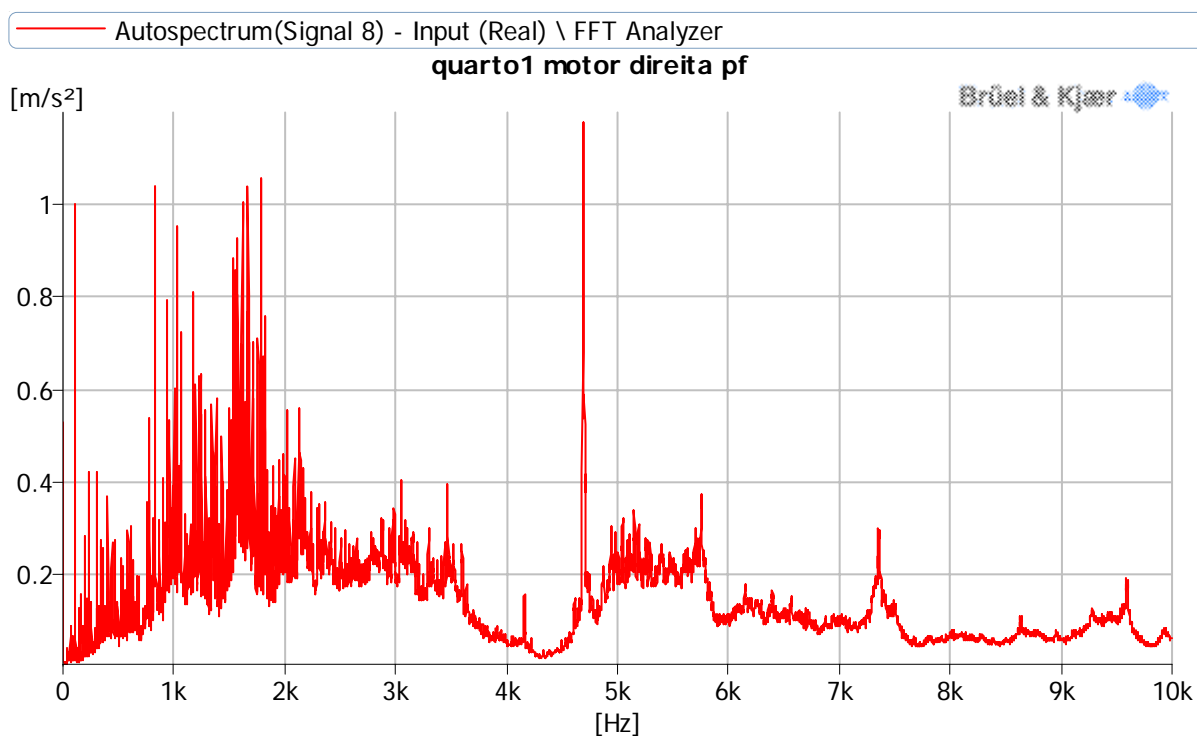


Figura B.5 – Espectro da aceleração na direção Z em m/s² na Praça de Máquinas.

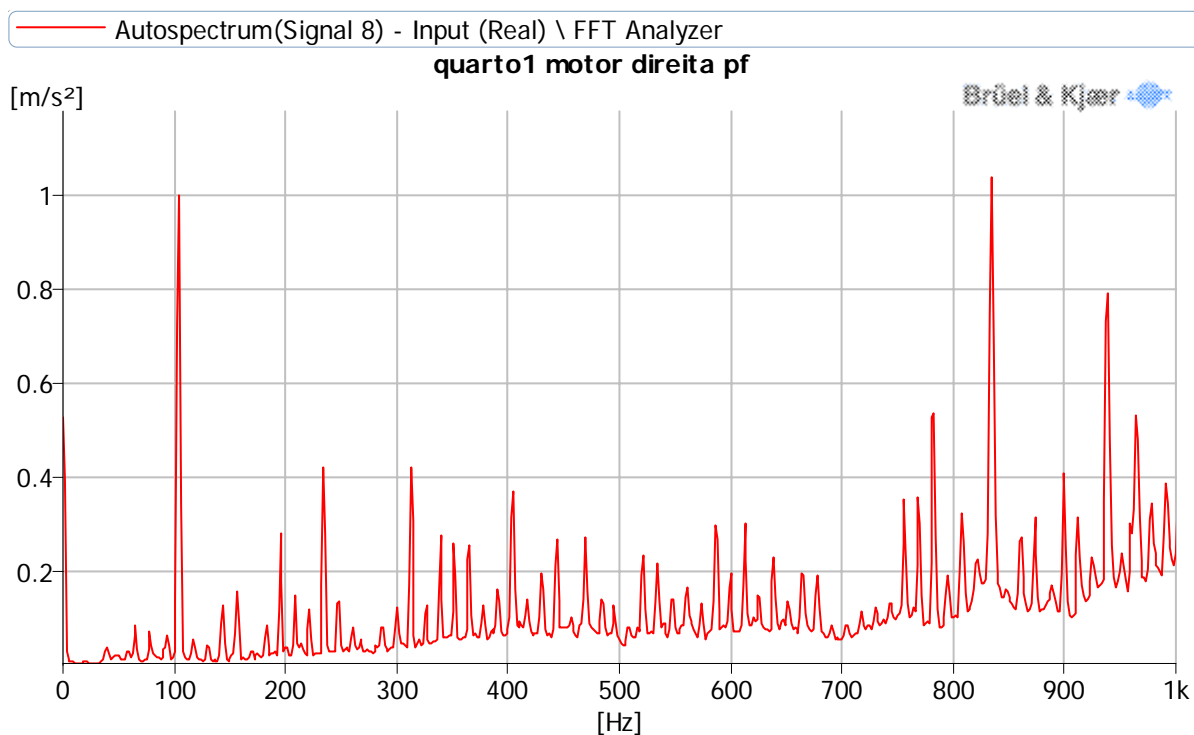


Figura B.6 – Espectro da aceleração na direção Z em m/s² na Praça de Máquinas até 1.000 Hz.

APÊNDICE C

Espectros dos níveis de pressão sonora do Camarote do Cozinheiro e da Praça de Máquinas e espectros da aceleração na direção Z no Camarote do Cozinheiro e da Praça de Máquinas utilizados no item 7.3 deste trabalho.

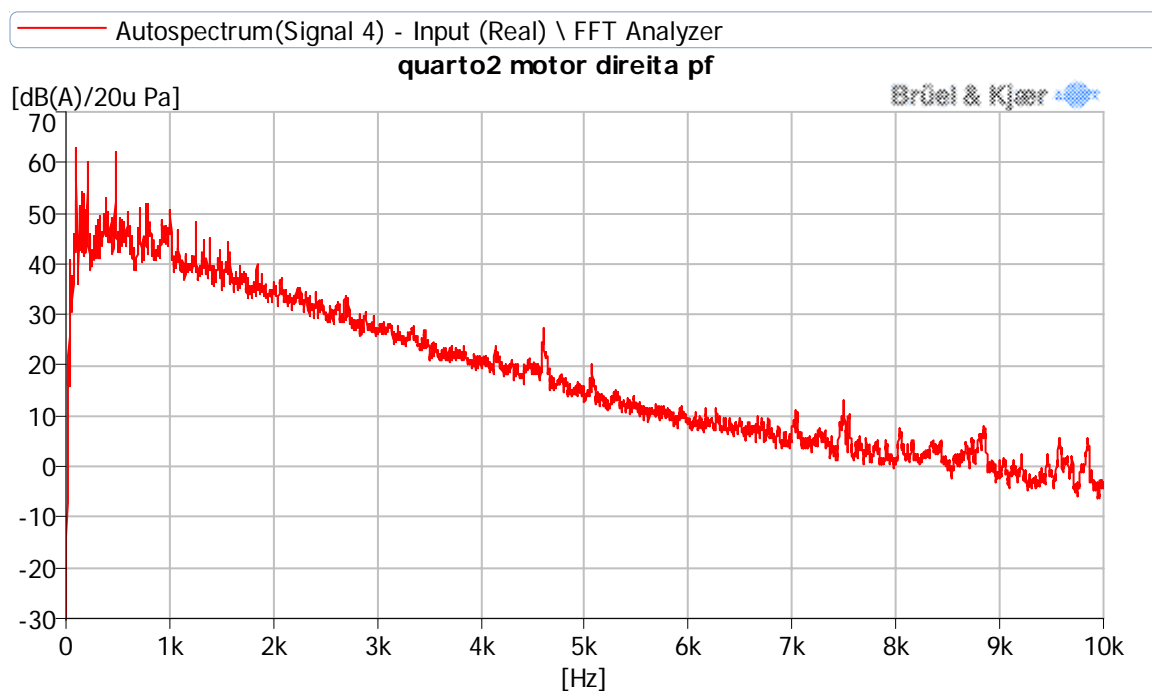


Figura C.1 – Espectro do nível de pressão sonora no Camarote do Cozinheiro em dB(A).

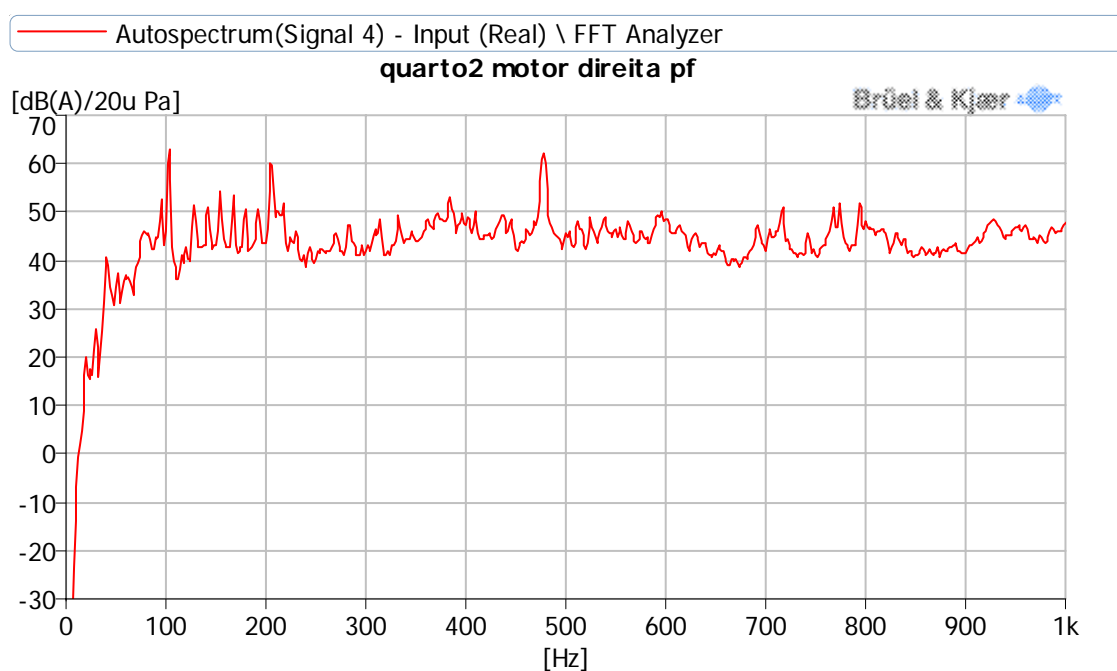


Figura C.2 – Espectro do nível de pressão sonora no Camarote do Cozinheiro em dB(A) até 1.000 Hz.

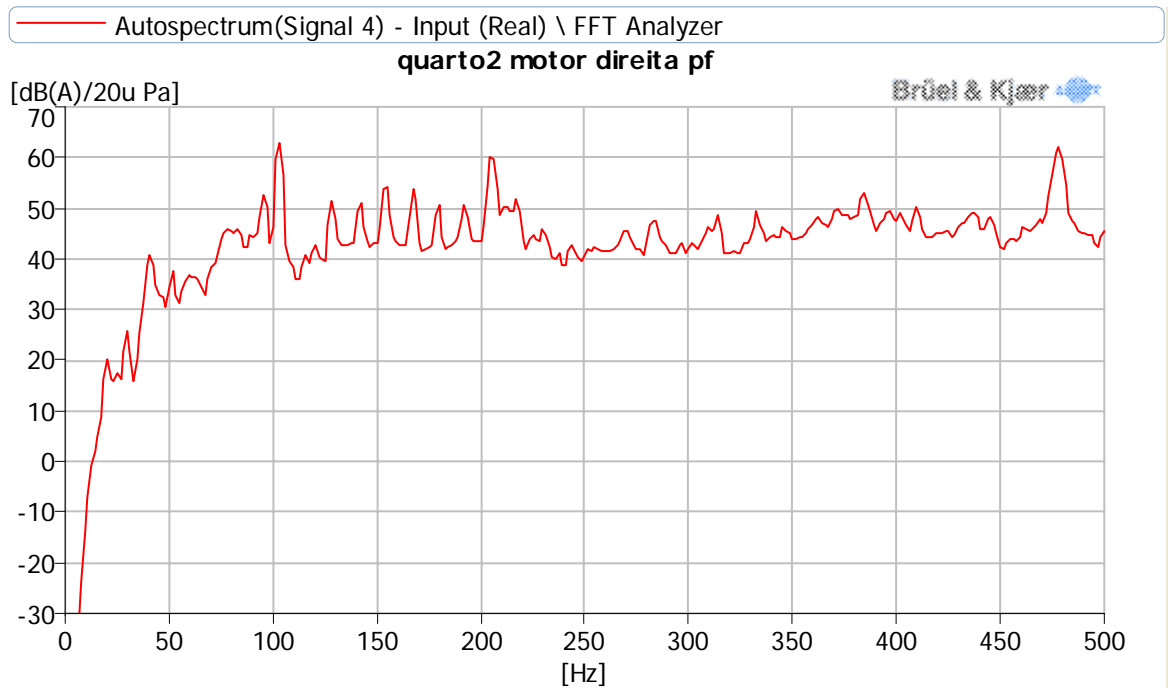


Figura C.3 – Espectro do nível de pressão sonora no Camarote do Cozinheiro em dB(A) até 500 Hz.

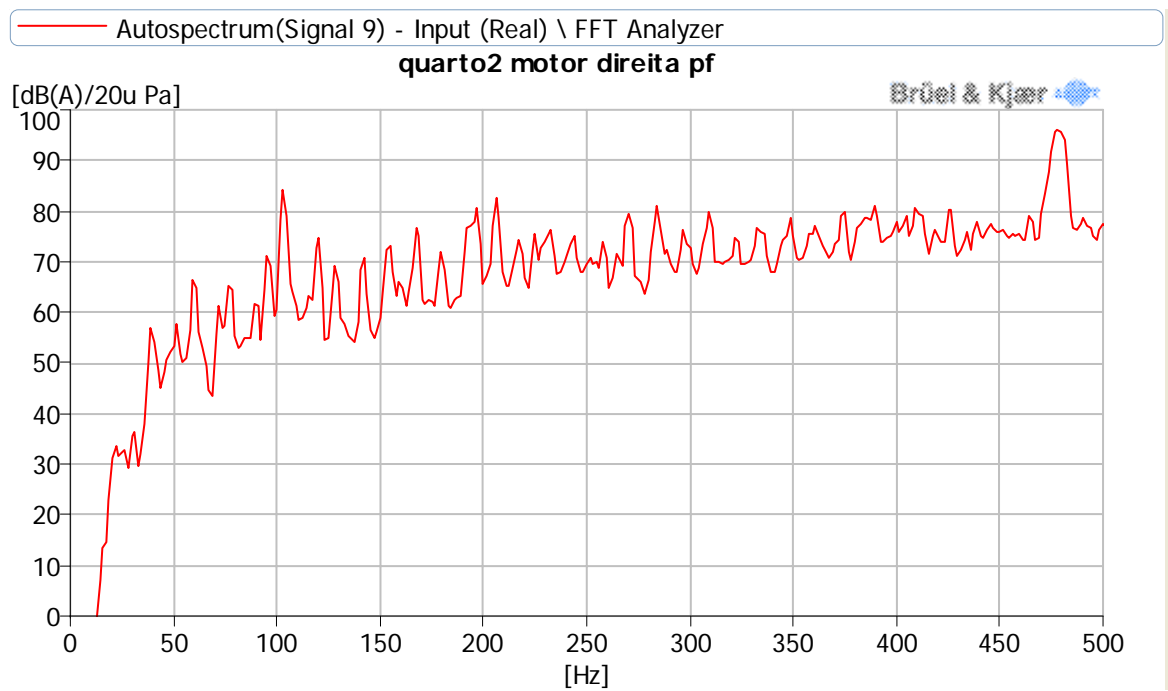


Figura C.4 – Espectro do nível de pressão sonora em dB(A) na Praça de Máquinas até 500 Hz.

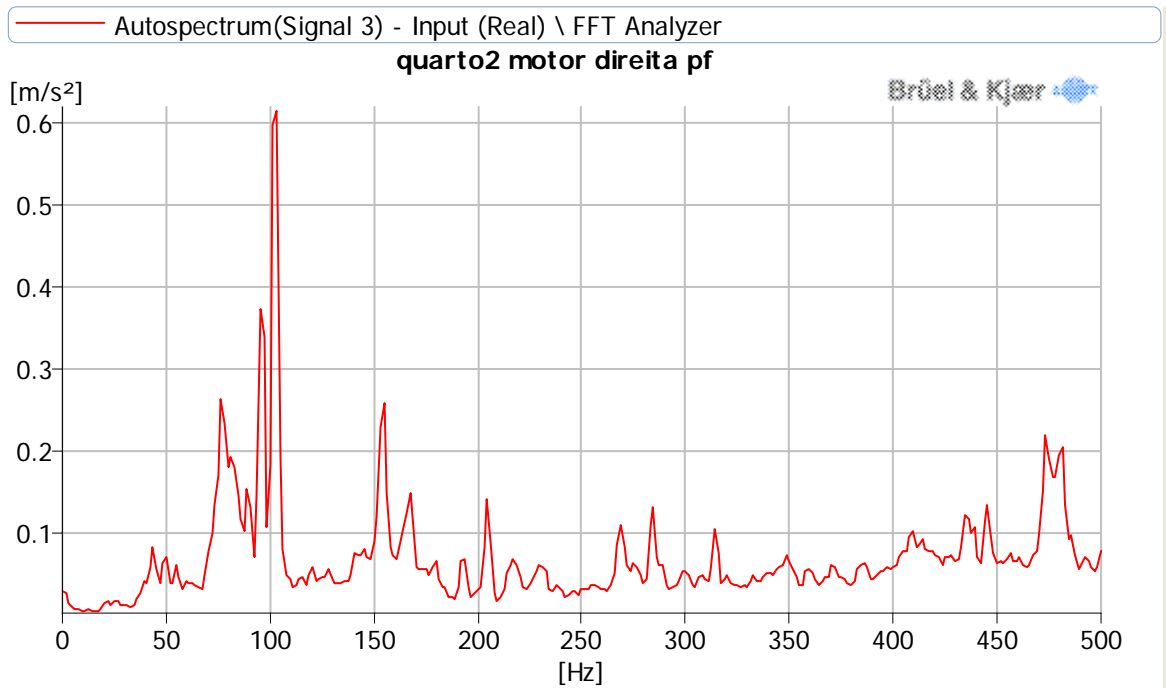


Figura C.5 – Espectro da aceleração na direção Z em m/s² no Camarote do Cozinheiro até 500 Hz.

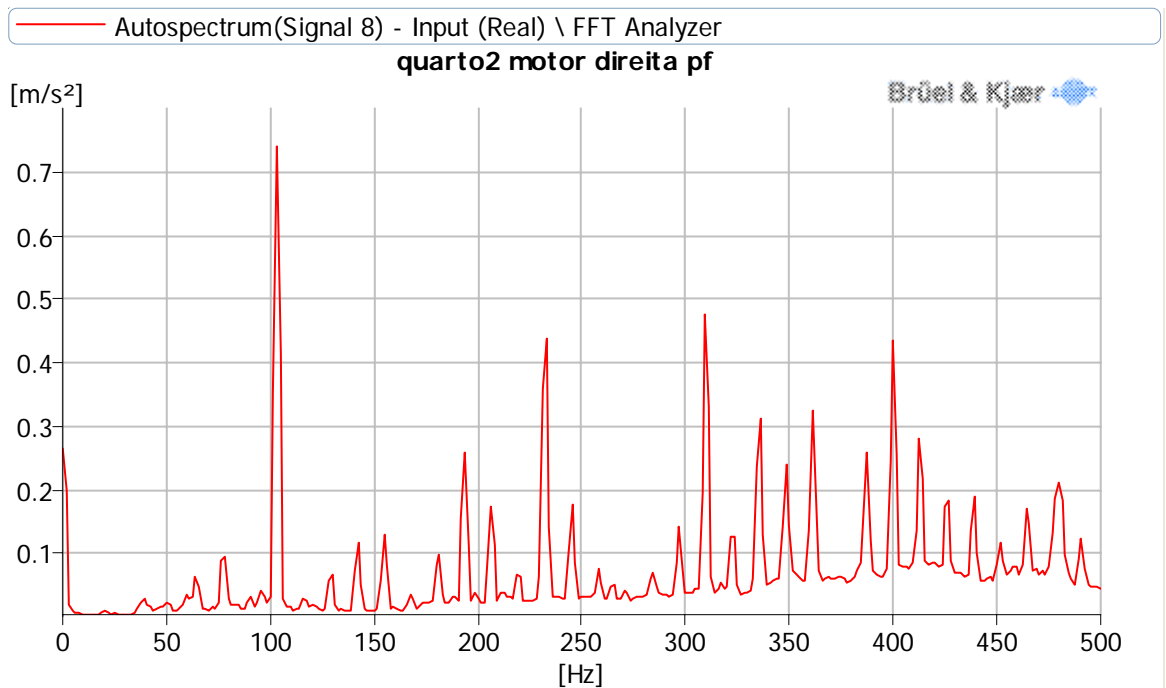


Figura C.6 – Espectro da aceleração na direção Z em m/s² na Praça de Máquinas até 500 Hz.

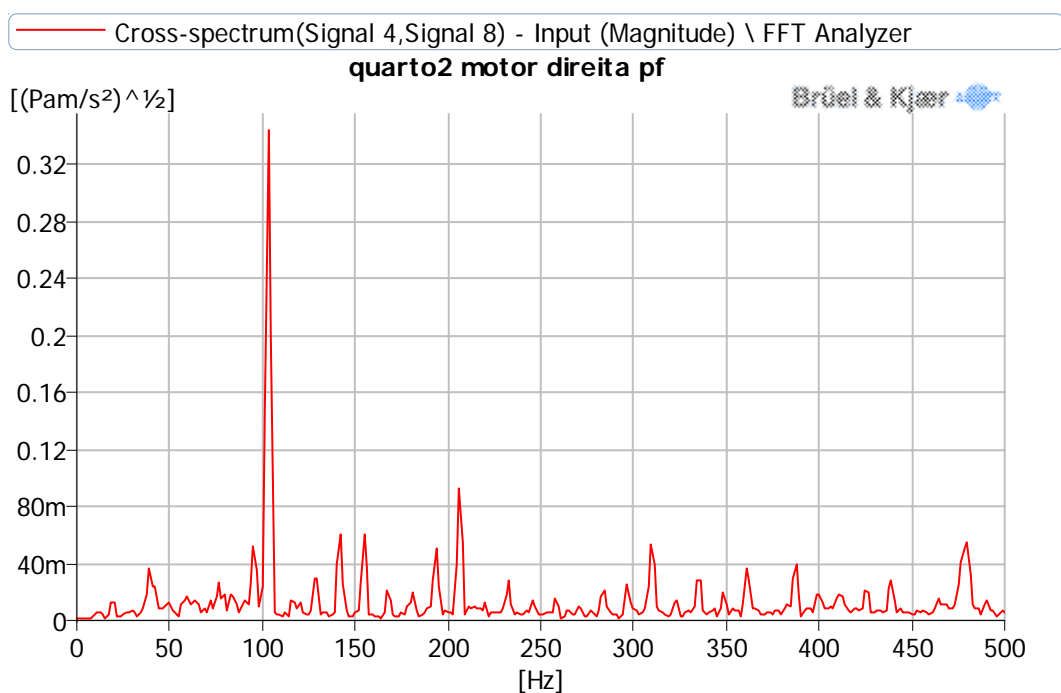


Figura C.7 – Espectro cruzado entre a aceleração na direção Z na Praça de Máquinas (Signal 8) e o nível de pressão sonora no Camarote do Cozinheiro (Signal 4).

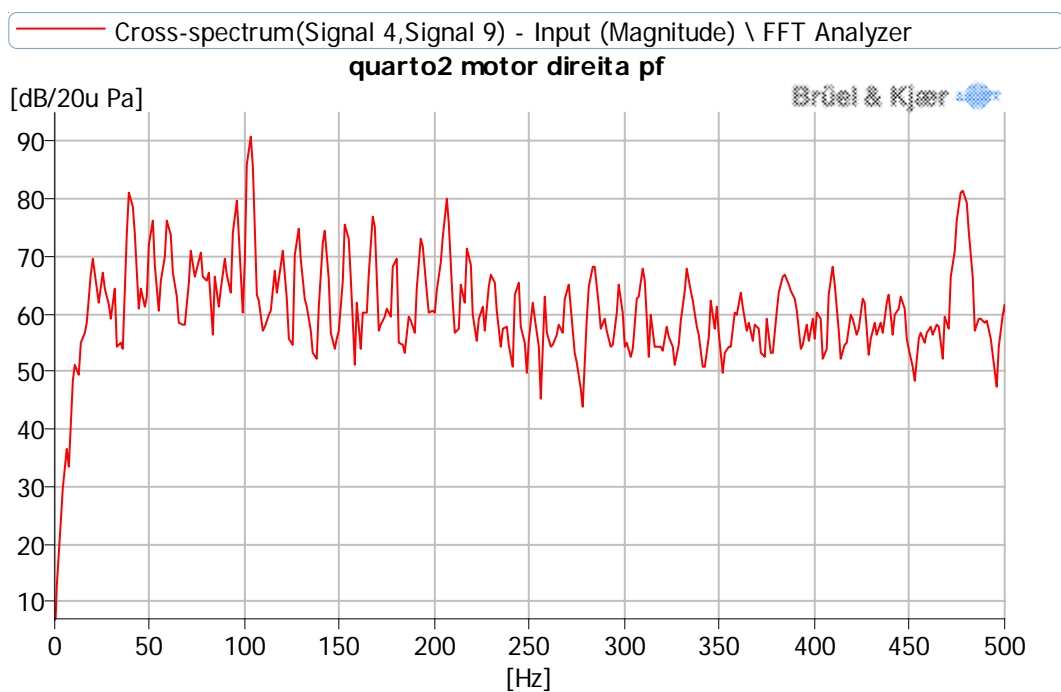


Figura C.8 – Espectro cruzado entre o nível de pressão sonora na Praça de Máquinas (Signal 9) e o nível de pressão sonora no Camarote do Cozinheiro (Signal 4).

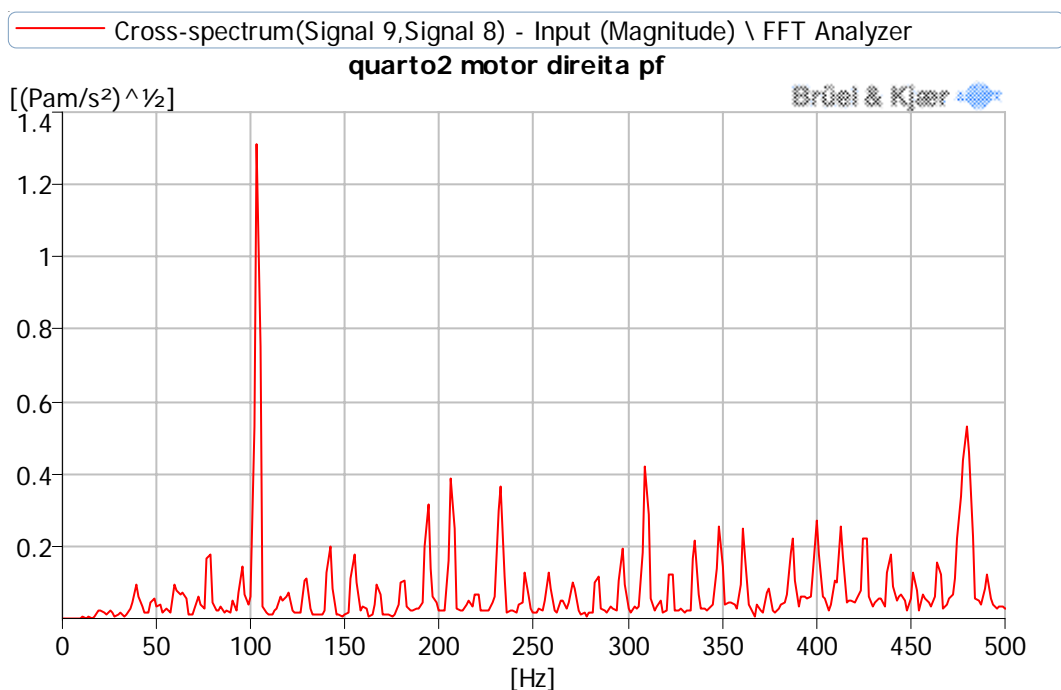


Figura C.9 – Espectro cruzado entre a aceleração na direção Z na Praça de Máquinas (Signal 8) e o nível de pressão sonora na Praça de Máquinas (Signal 9).

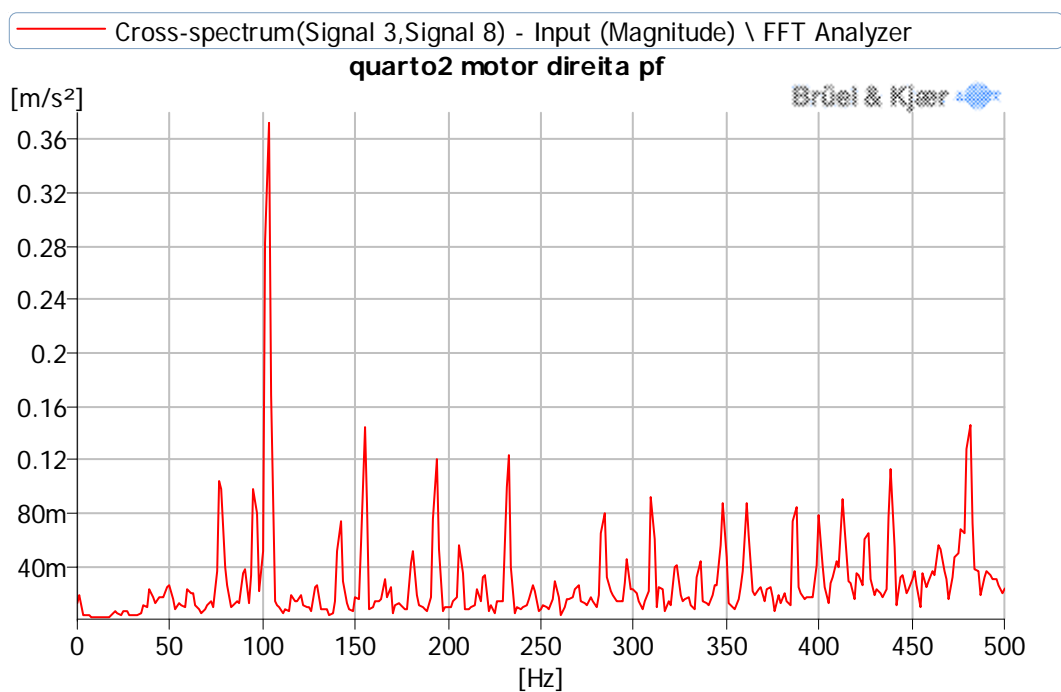


Figura C.10 – Espectro cruzado entre a aceleração na direção Z na Praça de Máquinas (Signal 8) e a aceleração na direção Z no Camarote do Cozinheiro (Signal 3).

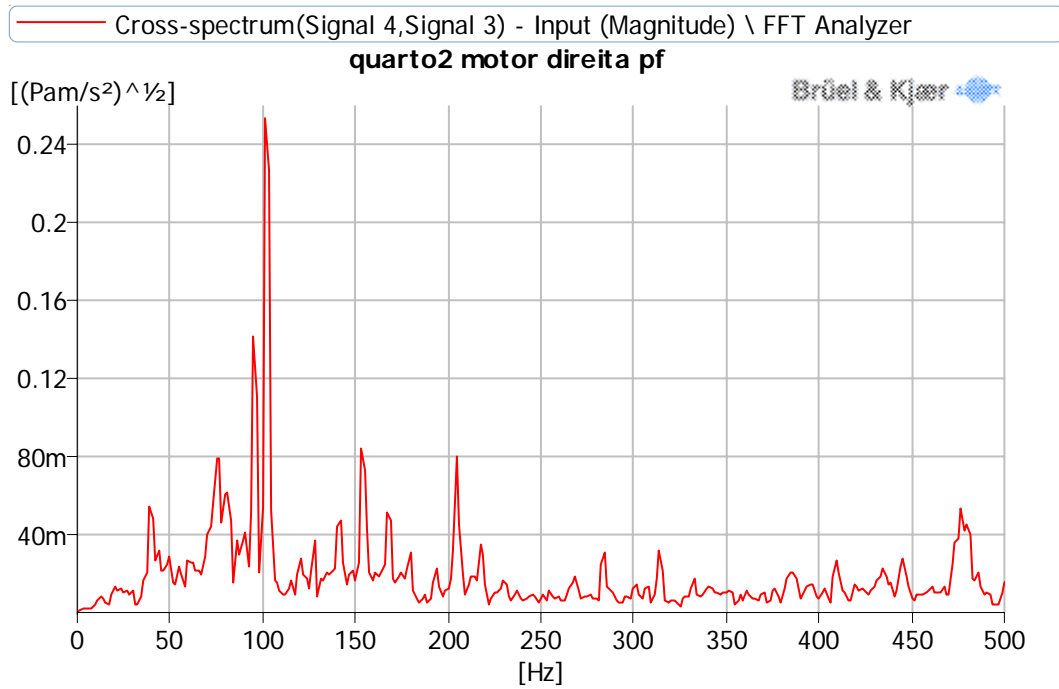


Figura C.11 – Espectro cruzado entre a aceleração na direção Z no Camarote do Cozinheiro (Signal 3) e o nível de pressão sonora no Camarote do Cozinheiro (Signal 4).

APÊNDICE D

Tabela D.1 – Harmônicos das frequências relativas ao motor diesel de propulsão com rotação de 1.500 RPM, oito cilindros e motor de quatro tempos.

| | RPM | Hz |
|------|------------|-----------|
| 1,0 | 1.500 | 25,0 |
| 1,5 | 2.250 | 37,5 |
| 2,0 | 3.000 | 50,0 |
| 2,5 | 3.750 | 62,5 |
| 3,0 | 4.500 | 75,0 |
| 3,5 | 5.250 | 87,5 |
| 4,0 | 6.000 | 100,0 |
| 4,5 | 6.750 | 112,5 |
| 5,0 | 7.500 | 125,0 |
| 5,5 | 8.250 | 137,5 |
| 6,0 | 9.000 | 150,0 |
| 6,5 | 9.750 | 162,5 |
| 7,0 | 10.500 | 175,0 |
| 7,5 | 11.250 | 187,5 |
| 8,0 | 12.000 | 200,0 |
| 8,5 | 12.750 | 212,5 |
| 9,0 | 13.500 | 225,0 |
| 9,5 | 14.250 | 237,5 |
| 10,0 | 15.000 | 250,0 |
| 10,5 | 15.750 | 262,5 |
| 11,0 | 16.500 | 275,0 |
| 11,5 | 17.250 | 287,5 |
| 12,0 | 18.000 | 300,0 |
| 12,5 | 18.750 | 312,5 |
| 13,0 | 19.500 | 325,0 |
| 13,5 | 20.250 | 337,5 |
| 14,0 | 21.000 | 350,0 |
| 14,5 | 21.750 | 362,5 |
| 15,0 | 22.500 | 375,0 |
| 15,5 | 23.250 | 387,5 |
| 16,0 | 24.000 | 400,0 |
| 16,5 | 24.750 | 412,5 |
| 17,0 | 25.500 | 425,0 |
| 17,5 | 26.250 | 437,5 |
| 18,0 | 27.000 | 450,0 |
| 18,5 | 27.750 | 462,5 |
| 19,0 | 28.500 | 475,0 |
| 19,5 | 29.250 | 487,5 |
| 20,0 | 30.000 | 500,0 |

Tabela D.2 – Harmônicos das frequências relativas à caixa de redução de relação 4,9:1.

| | RPM | Hz | | RPM | Hz |
|----|------------|-----------|----|------------|-----------|
| 1 | 306 | 5,1 | 50 | 15.306 | 255,1 |
| 2 | 612 | 10,2 | 51 | 15.612 | 260,2 |
| 3 | 918 | 15,3 | 52 | 15.918 | 265,3 |
| 4 | 1.224 | 20,4 | 53 | 16.224 | 270,4 |
| 5 | 1.531 | 25,5 | 54 | 16.531 | 275,5 |
| 6 | 1.837 | 30,6 | 55 | 16.837 | 280,6 |
| 7 | 2.143 | 35,7 | 56 | 17.143 | 285,7 |
| 8 | 2.449 | 40,8 | 57 | 17.449 | 290,8 |
| 9 | 2.755 | 45,9 | 58 | 17.755 | 295,9 |
| 10 | 3.061 | 51,0 | 59 | 18.061 | 301,0 |
| 11 | 3.367 | 56,1 | 60 | 18.367 | 306,1 |
| 12 | 3.673 | 61,2 | 61 | 18.673 | 311,2 |
| 13 | 3.980 | 66,3 | 62 | 18.980 | 316,3 |
| 14 | 4.286 | 71,4 | 63 | 19.286 | 321,4 |
| 15 | 4.592 | 76,5 | 64 | 19.592 | 326,5 |
| 16 | 4.898 | 81,6 | 65 | 19.898 | 331,6 |
| 17 | 5.204 | 86,7 | 66 | 20.204 | 336,7 |
| 18 | 5.510 | 91,8 | 67 | 20.510 | 341,8 |
| 19 | 5.816 | 96,9 | 68 | 20.816 | 346,9 |
| 20 | 6.122 | 102,0 | 69 | 21.122 | 352,0 |
| 21 | 6.429 | 107,1 | 70 | 21.429 | 357,1 |
| 22 | 6.735 | 112,2 | 71 | 21.735 | 362,2 |
| 23 | 7.041 | 117,3 | 72 | 22.041 | 367,3 |
| 24 | 7.347 | 122,4 | 73 | 22.347 | 372,4 |
| 25 | 7.653 | 127,6 | 74 | 22.653 | 377,6 |
| 26 | 7.959 | 132,7 | 75 | 22.959 | 382,7 |
| 27 | 8.265 | 137,8 | 76 | 23.265 | 387,8 |
| 28 | 8.571 | 142,9 | 77 | 23.571 | 392,9 |
| 29 | 8.878 | 148,0 | 78 | 23.878 | 398,0 |
| 30 | 9.184 | 153,1 | 79 | 24.184 | 403,1 |
| 31 | 9.490 | 158,2 | 80 | 24.490 | 408,2 |
| 32 | 9.796 | 163,3 | 81 | 24.796 | 413,3 |
| 33 | 10.102 | 168,4 | 82 | 25.102 | 418,4 |
| 34 | 10.408 | 173,5 | 83 | 25.408 | 423,5 |
| 35 | 10.714 | 178,6 | 84 | 25.714 | 428,6 |
| 36 | 11.020 | 183,7 | 85 | 26.020 | 433,7 |
| 37 | 11.327 | 188,8 | 86 | 26.327 | 438,8 |
| 38 | 11.633 | 193,9 | 87 | 26.633 | 443,9 |
| 39 | 11.939 | 199,0 | 88 | 26.939 | 449,0 |
| 40 | 12.245 | 204,1 | 89 | 27.245 | 454,1 |
| 41 | 12.551 | 209,2 | 90 | 27.551 | 459,2 |
| 42 | 12.857 | 214,3 | 91 | 27.857 | 464,3 |
| 43 | 13.163 | 219,4 | 92 | 28.163 | 469,4 |
| 44 | 13.469 | 224,5 | 93 | 28.469 | 474,5 |
| 45 | 13.776 | 229,6 | 94 | 28.776 | 479,6 |
| 46 | 14.082 | 234,7 | 95 | 29.082 | 484,7 |
| 47 | 14.388 | 239,8 | 96 | 29.388 | 489,8 |
| 48 | 14.694 | 244,9 | 97 | 29.694 | 494,9 |
| 49 | 15.000 | 250,0 | 98 | 30.000 | 500,0 |

Tabela D.3 – Harmônicos das frequências relativas às quatro pás da hélices de propulsão.

| | RPM | Hz |
|----|------------|-----------|
| 1 | 1.224 | 20,4 |
| 2 | 2.449 | 40,8 |
| 3 | 3.673 | 61,2 |
| 4 | 4.898 | 81,6 |
| 5 | 6.122 | 102,0 |
| 6 | 7.347 | 122,4 |
| 7 | 8.571 | 142,9 |
| 8 | 9.796 | 163,3 |
| 9 | 11.020 | 183,7 |
| 10 | 12.245 | 204,1 |
| 11 | 13.469 | 224,5 |
| 12 | 14.694 | 244,9 |
| 13 | 15.918 | 265,3 |
| 14 | 17.143 | 285,7 |
| 15 | 18.367 | 306,1 |
| 16 | 19.592 | 326,5 |
| 17 | 20.816 | 346,9 |
| 18 | 22.041 | 367,3 |
| 19 | 23.265 | 387,8 |
| 20 | 24.490 | 408,2 |
| 21 | 25.714 | 428,6 |
| 22 | 26.939 | 449,0 |
| 23 | 28.163 | 469,4 |
| 24 | 29.388 | 489,8 |
| 25 | 30.612 | 510,2 |

Tabela D.4 – Harmônicos das frequências relativas às explosões dos cilindros do motor diesel de propulsão com rotação de 1.500 RPM, oito cilindros e motor de quatro tempos.

| | RPM | Hz |
|-----|------------|-----------|
| 1,0 | 1.500 | 100,0 |
| 1,5 | 9.000 | 150,0 |
| 2,0 | 12.000 | 200,0 |
| 2,5 | 15.000 | 250,0 |
| 3,0 | 18.000 | 300,0 |
| 3,5 | 21.000 | 350,0 |
| 4,0 | 24.000 | 400,0 |
| 4,5 | 27.000 | 450,0 |
| 5,0 | 30.000 | 500,0 |

APÊNDICE E

Apresentam-se a seguir um resumo dos critérios das normas utilizadas neste trabalho.

Tabela E.1 – Resumo dos critérios das normas utilizadas no trabalho

| Normas Internacionais Referentes ao Ruído | | | |
|--|---|--|----------------|
| | Aplicação da Norma | CrITÉRIOS dos limites | Unidade |
| Code on Noise Levels on Board Ships – Resolution A.468(XII) – 1981 da International Maritime Organization (IMO) | O código foi projetado para fornecer limites para prevenir a ocorrência de níveis de ruído potencialmente perigosos a bordo de navios e de fornecer padrões para um ambiente aceitável para a tripulação e os passageiros dos navios. | Os limites previstos devem ser considerados como limites máximos e não como níveis desejáveis. Sempre que possível, é interessante que o nível de ruído seja inferior aos níveis máximos especificados. | dB(A) |
| COMFORT CLASS – Parte 5 – Capítulo 12 da Det Norske Veritas | As limites apresentados estabelecem requisitos para o ruído e as vibrações relacionadas com o conforto a bordo dos navios. | Os critérios de ruído e vibração são divididos em três grupos dependendo do nível de conforto alcançado, ou seja, Número de Classificação do Conforto (NCC) 1, 2 ou 3, onde NCC 1 representa o maior nível de conforto, NCC 3 representa um aceitável nível de conforto. | dB(A) |

| Normas Nacionais Referentes ao Ruído | | | |
|--|---|--|----------------|
| | Aplicação da Norma | Crítérios dos limites | Unidade |
| NR-15 – Atividades e operações insalubres - Anexo 1 – Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente | Esta norma é aplicada para verificar se a atividade exercida pelo trabalhador é insalubre e determinar o grau de insalubridade da mesma. | Apresenta uma tabela com os limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente. | dB(A) |
| Norma de Higiene Ocupacional – Avaliação da Exposição Ocupacional ao Ruído – NHO 01 da FUNDACENT RO do Ministério do Trabalho | A norma aplica-se à exposição ocupacional a ruído contínuo ou intermitente e a ruído de impacto, em quaisquer situações de trabalho, contudo não está voltada para a caracterização das condições de conforto acústico. | Esta norma técnica tem por objetivo estabelecer critérios e procedimentos para a avaliação da exposição ocupacional ao ruído, que implique risco potencial de surdez ocupacional. O critério de referência que embasa os limites de exposição diária adotados para ruído contínuo ou intermitente corresponde a uma dose de 100% para exposição de 8 (oito) horas ao nível de 85 dB(A). | dB(A) |

| Normas Internacionais Referentes à Vibração | | | |
|--|--|--|---------------------------|
| | Aplicação da Norma | Critérios dos limites | Unidade |
| ISO 6954, 2000 – Mechanical vibration – Guidelines for the measurement, reporting and evaluation of vibration with regard to habitability on passenger and merchant ships | Esta Norma fornece as diretrizes para a avaliação das diferentes áreas de habitabilidade a bordo de um navio tanto de passageiros como mercante. | Fornecer uma tabela com valores globais (r.m.s) de aceleração e velocidade na frequência ponderada no intervalo de 1 Hz a 80 Hz com um intervalo de valores superior e inferior. Os valores entre o intervalo superior e inferior refletem um ambiente vibratório a bordo aceitável. | mm/s ² ou mm/s |
| | | | |