

MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA - CIAGA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAIS DE MÁQUINAS - APMA

ISLANDO MERJORES LOPES LINS

**ESTUDO DAS VIBRAÇÕES E RUÍDOS A BORDO E SUAS
CONSEQUÊNCIAS NO CORPO HUMANO**

RIO DE JANEIRO

2014

ISLANDO MERJORES LOPES LINS

**ESTUDO DAS VIBRAÇÕES E RUÍDOS A BORDO E SUAS
CONSEQUÊNCIAS NO CORPO HUMANO**

Monografia apresentada ao Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como parte dos requisitos para obtenção de Certificado de Competência Regra III/2 de acordo com a Convenção STCW 78 Emendada.

Orientador: Msc. Luiz Otavio Ribeiro Carneiro.

RIO DE JANEIRO

2014

ISLANDO MERJORES LOPES LINS

**ESTUDO DAS VIBRAÇÕES E RUÍDOS A BORDO E SUAS
CONSEQUÊNCIAS NO CORPO HUMANO**

Monografia apresentada ao Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como parte dos requisitos para obtenção de Certificado de Competência Regra III/2 de acordo com a Convenção STCW 78 Emendada.

Data da Aprovação: ____/____/____

Orientador: Msc. Luiz Otavio Ribeiro Carneiro

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: _____

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus familiares pelo apoio na realização de mais esta etapa concluída; ao meu orientador pela contribuição desta tese de conclusão de curso; aos funcionários e professores do CIAGA, que direta e indiretamente contribuíram para minha formação; aos meus amigos que entenderam minha falta em confraternizações decorrentes dos estudos; enfim a todos que participaram junto a essa caminhada.

Dedico essa monografia aos meus familiares, professores do CIAGA e colegas de turma do APMA, em especial a minha amada esposa, pela sua atenção contínua e dedicação integral.

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo de medição e avaliação dos níveis de ruído e vibração que a tripulação de um navio está submetida. Levando em conta que a tripulação está exposta a vibração durante todo o embarque, a redução dos níveis de ruído e vibração é de suma importância para melhorar o conforto, performance e a prevenção de moléstias e/ou doenças decorrentes dessa exposição.

Palavras –chave: Vibração., Ruídos. Corpo humano. Tripulante. Embarcação.

ABSTRACT

This work presents a study of measurement and assessment of noise and vibration that the crew of a ship is subjected. Taking into account that the crew is exposed to vibration throughout the shipment, reducing the levels of noise and vibration is of paramount importance to improve comfort, performance and prevention of diseases and / or illnesses resulting from such exposure.

Keywords: Vibration. Noise. Human body. Crew. Ship.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Sensibilidade do corpo humano às vibrações	14
Tabela 2 -	Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente	17
Tabela 3 -	Tempo máximo diário de exposição permissível em função do nível de ruído	20
Tabela 4 -	Valores dB (A) e NC	21
Tabela 5 -	Valores NR.	23
Tabela 6 -	Limites dos níveis de ruído para diversos espaços nos navios	25
Tabela 7 -	Navios de Carga* – Acomodações da tripulação – Níveis de ruído em dB (A)	29
Tabela 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*	30
Tabela 9 -	Guia para aplicação de ponderações	32
Tabela 10 -	Compensações (fatores de compensação: W_k e W_d) em um terço de oitava	32
Tabela 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	33

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Possíveis efeitos do ruído no organismo humano	15
Figura 2 -	Curvas de avaliação de ruído (NC)	22
Figura 3 -	Curvas de avaliação de ruído (NR)	24
Figura 4 -	Zonas de exposição ao ruído diárias admissíveis	27
Figura 5 -	Protetor auricular tipo concha	28
Figura 6 -	Protetor auricular tipo “plug”	28
Figura 7 -	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	31
Figura 8 -	Propagação do ruído em navios	35
Figura 9 -	Diagrama de blocos do modelo de geração de ruído do motor	38
Figura 10 -	Gráfico típico da pressão do cilindro de um motor diesel para a pressão de alimentação do motor baixa	39
Figura 11 -	Espectros do nível de pressão do cilindro de motores diesel	40
Figura 12 -	Componentes de máquinas e fontes de ruído em navios propulsionados por motores diesel	43
Figura 13 -	Esquema do sistema de propulsão do navio	44
Figura 14 -	Esquema de um material de absorção sonora para ser utilizado em ambientes contaminados com água e/ou óleo	49
Figura 15 -	Exemplos de suportes elásticos, almofadas de borracha e conexões flexíveis	50
Figura 16 -	Exemplos de aplicação de suportes elásticos, almofadas de borracha e conexões flexíveis numa praça de máquinas de um navio	51
Figura 17 -	Esquema de uma acomodação flutuante, em detalhe mostra-se a união entre o anteparo e o piso	52
Figura 18 -	Esquema de como pode-se colocar uma janela num camarote do navio	53

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

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	VIBRAÇÕES NO CORPO HUMANO	13
2.1	Critérios para medição e avaliação de ruído e vibrações no corpo humano	15
2.1.1	Normas Regulamentadoras do Ministério do Trabalho	16
2.1.2	Norma de Higiene Ocupacional – Avaliação da Exposição Ocupacional ao Ruído – NHO 01 da FUNDACENTRO do Ministério do Trabalho	18
2.1.2.1	Definições importantes	19
2.1.2.2	Critérios de Avaliação da Exposição Ocupacional ao Ruído Contínuo ou Intermitente	19
2.1.3	Curvas de avaliação de ruído	20
2.1.4	Code on Noise Levels on Board Ships – Resolution A.468(XII) – 1981 da International Maritime Organization (IMO)	24
2.1.4.1	Limites de níveis sonoros	25
2.1.4.2	Limites de exposição sonora	26
2.1.4.3	Limites de exposição da tripulação a elevados níveis de ruído	26
2.1.4.4	Definições da norma	28
2.1.5	COMFORT CLASS – Parte 5 – Capítulo 12 da Det Norske Veritas (DNV)	29
2.1.5.1	Critérios para ruído	29
2.1.5.2	Critérios para vibração	30
2.1.6	ISO 6954: 2000 – Mechanical vibration	30
2.2	Ruído e vibrações no corpo humano e efeitos de exposição	33
3	RUÍDO E VIBRAÇÕES EM NAVIOS	35
3.1	Ruído em motores diesel	37
3.2	Ruído na combustão	39
3.3	Redução de ruído na combustão	41
3.4	Fontes de ruído mecânicas	42
3.5	Previsão e prevenção de ruído em navios	42
3.6	Estudo das frequências geradas pelos equipamentos que se encontram no interior do navio	44
3.6.1	Frequências geradas pelo sistema de propulsão	44
3.6.2	Frequências geradas pela explosão nos cilindros	45
3.6.3	Cálculo das frequências geradas pelos equipamentos que se encontram no interior do navio	46
4	PROPOSTAS PARA REDUÇÃO DE RUÍDO	47
4.1	Possíveis abordagens para controle de ruído: em navios	47
4.2	Propostas de tratamento acústico para diminuir o nível de pressão sonora do navio	53
4.2.1	Tratamento acústico na Praça de Máquinas	54
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho pretende realizar uma 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.

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.

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.

Pretende-se neste trabalho demonstrar as normas referentes a vibrações e ruídos no ambiente de trabalho, demonstrar as fontes de ruídos e vibrações em uma embarcação e apresentar possíveis soluções para a redução desses níveis.

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 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.

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.

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. 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 1 apresenta uma comparação de regiões sensíveis às vibrações e suas principais fontes geradoras.

Tabela 1 – Sensibilidade do corpo humano às vibrações

Frequência	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 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.

Figura 1 – Possíveis efeitos do ruído no organismo humano



Fonte: Gerges, 1992

2.1 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 deste 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 (DNV), 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 habitability on passenger and Merchant ships.

2.1.1 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:

- a) NR 15 – Atividades e operações insalubres;
- b) NR 20 – Líquidos combustíveis e inflamáveis;
- c) NR 29 – Norma regulamentadora de segurança e saúde no trabalho portuário;
- d) 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.

Tabela 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
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

Fonte: Anexo 1, NR15

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 115 dB(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 115 dB(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 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

2.1.2 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.

2.1.2.1 Definições importantes

- a) 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.
- b) 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.
- c) Dose Diária: dose referente à jornada diária de trabalho.
- d) 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.
- e) 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.
- f) Ruído Contínuo ou Intermitente: todo e qualquer ruído que não está classificado como ruído de impacto ou impulsivo.
- g) 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.

2.1.2.2 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 3.

Tabela 3 - Tempo máximo diário de exposição permissível em função do nível de ruído

Nível de ruído – dB(A)	Tempo máximo diário permissível – minutos
80	1.532,90
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
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

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

2.1.3 Curvas de avaliação de ruído

Apresentaremos a seguir 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”

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 4.

Tabela 4 – Valores dB(A) e NC

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

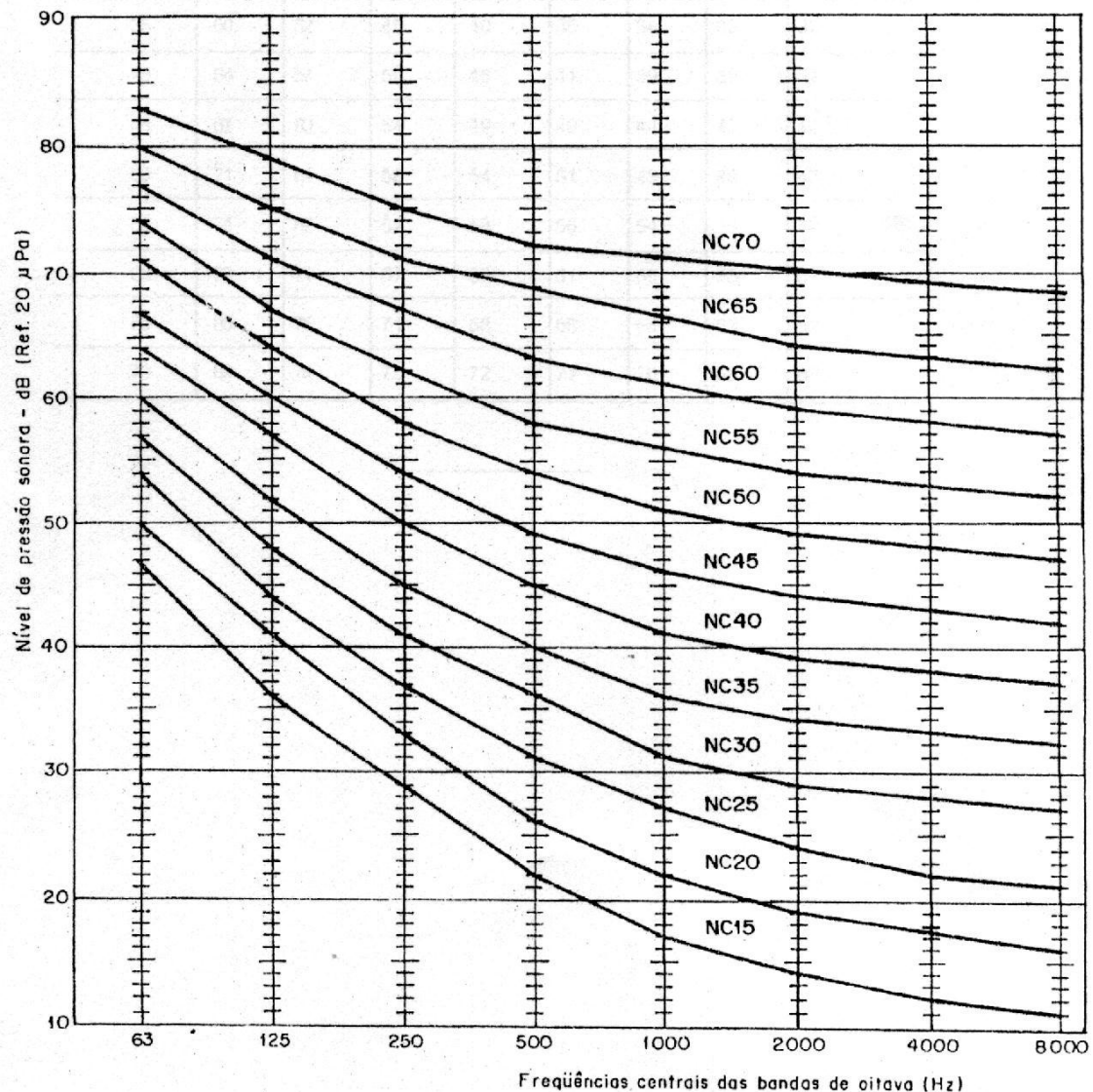
Fonte: NBR 10152:1987 - Acústica, Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento.

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.

Figura 2 – Curvas de avaliação de ruído (NC)



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

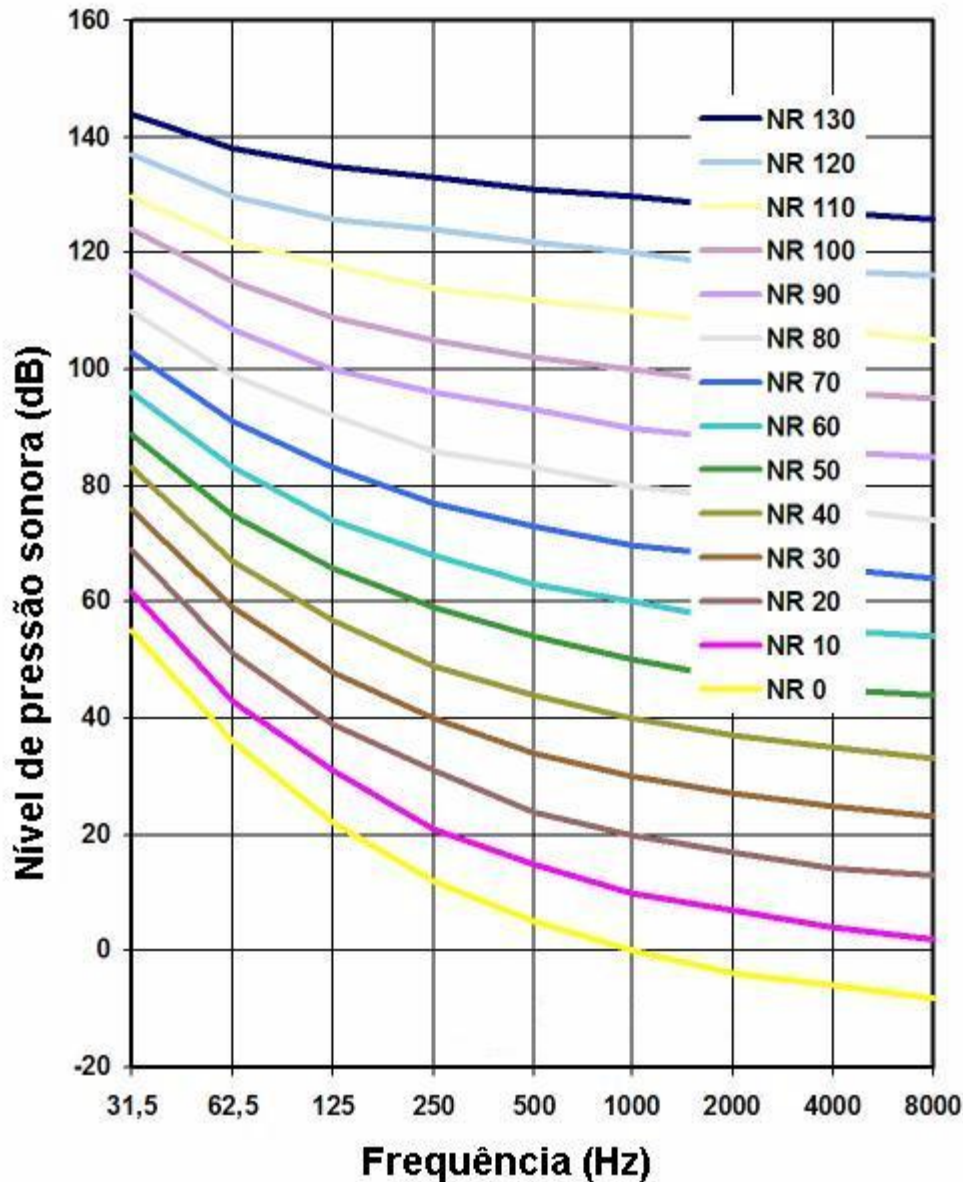
A norma equivalente da ISO é a norma ISO 1996-2:2003 – “Description, measurement and assessment of environmental noise - Part 2 – Determination of environmental noise levels” fornece as curvas NR – (Noise Rating). Na Tabela 5 mostram-se os valores NR e na Figura 3 as curvas de avaliação de ruído (NR).

Tabela 5 – Valores NR

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

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

Figura 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”.

2.1.4 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.

2.1.4.1 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 6:

Tabela 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)
Cozinha sem equipamentos operando	75
Despensas	75
Espaços normalmente não ocupados	dB(A)
Espaços não específicos	90

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

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

2.1.4.2 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_{Aeq} (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.

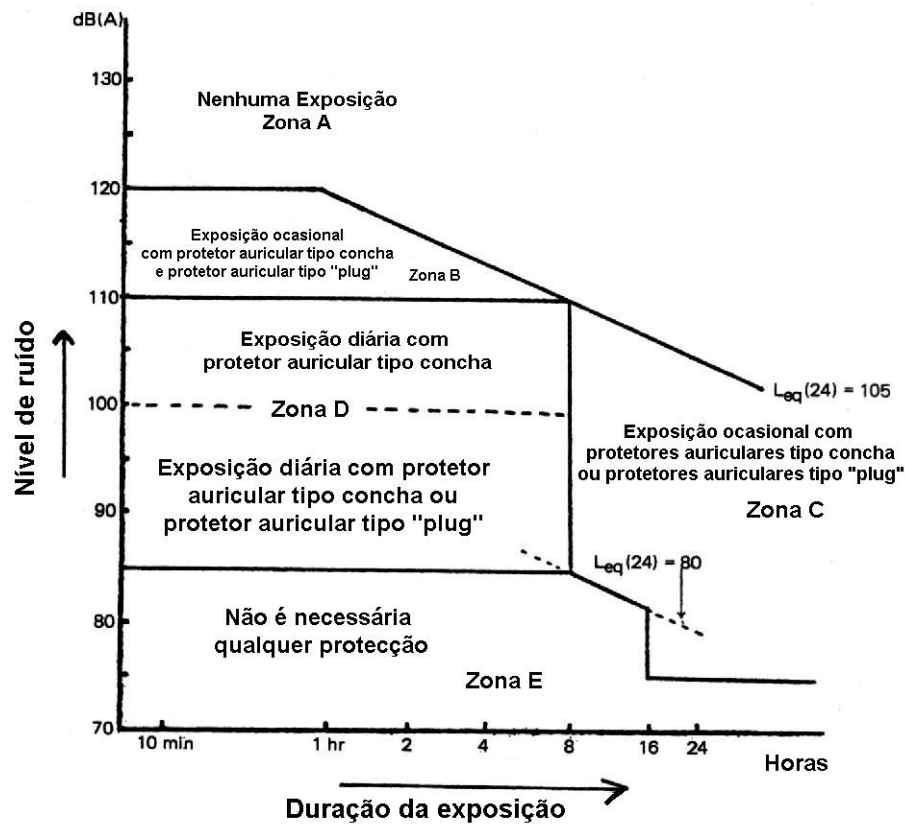
2.1.4.3 Limites de exposição da tripulação a elevados níveis de ruído

A tripulação não deve ser exposta aos níveis de ruído em excesso e às durações mostradas na Figura 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_{Aeq} (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 4 - Zonas de exposição ao ruído diárias admissíveis.



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

- Máxima exposição com protecção (Zona A)

Nenhum marinheiro mesmo usando protetores auriculares deve ser exposto a níveis de ruído superiores a 120 dB(A) ou a um $L_{Aeq}(24)$ 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 5) e tipo “plug” (Figura 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 5 – Protetor auricular tipo concha.



Fonte: www.vestaeng.com.br/EPI/EPIS.html

Figura 6 – Protetor auricular tipo “plug”.



Fonte: www.masterbor.com.br

- Exposição ocasional (Zona C)

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

2.1.4.4 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)

2.1.5 COMFORT CLASS – Parte 5 – Capítulo 12 da Det Norske Veritas (DNV)

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.

2.1.5.1 Critérios para ruído

O nível máximo permitido para os diferentes níveis de ruído e conforto nas diferentes localidades dos navios são apresentadas na Tabela 7:

Tabela 7 – Navios de Carga* – 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
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

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

Fonte: COMFORT CLASS – Parte 5 – Capítulo 12 da Det Norske Veritas

2.1.5.2 Critérios para vibração

Os critérios de vibração são apresentados na Tabela 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 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*.

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
Sala de controle	3,5	4,5	6,0
Áreas de trabalho	3,5	4,5	6,0

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

Fonte: COMFORT CLASS – Parte 5 – Capítulo 12 da Det Norske Veritas

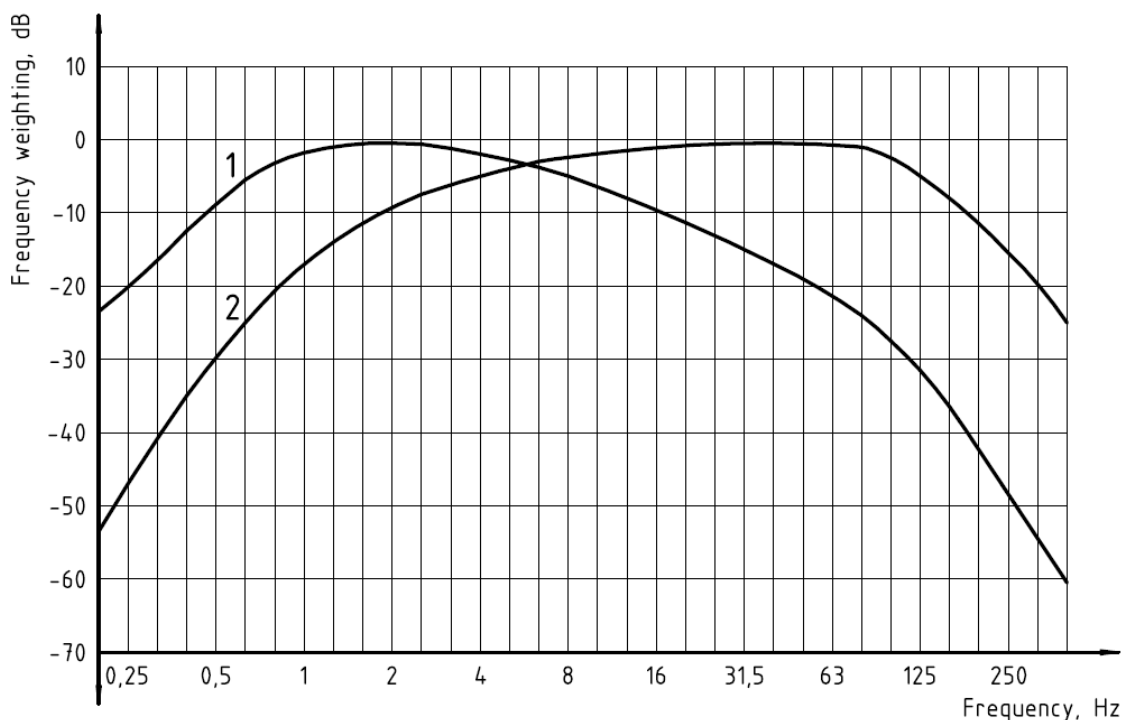
2.1.6 ISO 6954: 2000 – Mechanical vibration

A ISO 6954, *Guidelines for the measurement, reporting and evaluation of vibration with regard to habitability on passenger and merchant ships*, norma internacional que 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 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.

Figura 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



Fonte: ISO 6954, 2000 – Mechanical vibration

1 – Curva de compensação para a aceleração

2 – Curva de compensação para a velocidade

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 9 e 10.
- a_i é o valor r.m.s. da aceleração para o i-ésimo terço de banda de oitava.

Tabela 9 – Guia para aplicação de ponderações

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

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

Tabela 10 – Compensações (fatores de compensação: W_k e W_d) em um terço de oitava.

Frequência f [Hz]	W_k ($\times 10^3$)	W_d ($\times 10^3$)	Frequência f [Hz]	W_k ($\times 10^3$)	W_d ($\times 10^3$)
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

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

A Tabela 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 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

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

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

2.2 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.

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.

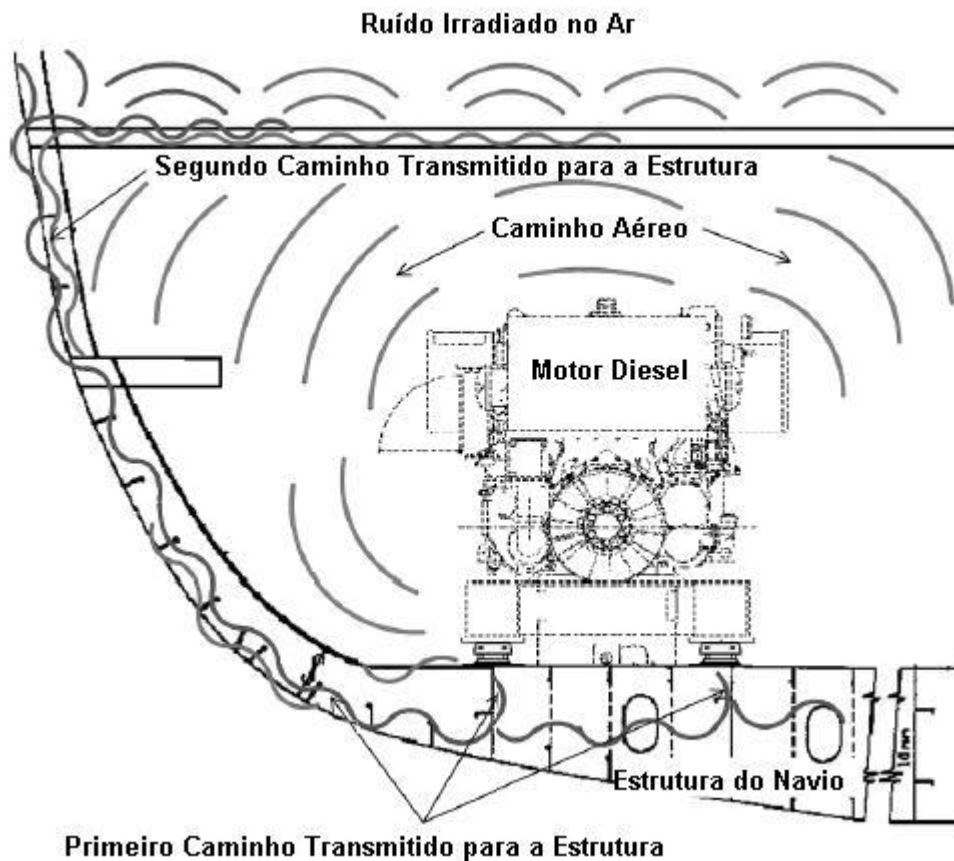
A avaliação dos dois tipos de movimento é diferente: as frequências mais baixas são relevantes para o enjôo, enquanto as frequências mais altas são

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.

3 RUÍDO E VIBRAÇÕES EM NAVIOS

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 8.

Figura 8 – Propagação do ruído em navios.



Fonte: Crocker, 2007.

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:

- 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:

- a) Difusores de ar condicionado nas acomodações;
- b) Aparelhos eletrônicos (aparelho de som, televisão, etc);

- c) Unidades condensadoras para câmaras frigoríficas;
- d) Bombas de carga (em petroleiros);
- e) Aquecedores de água de limpeza de tanques (em petroleiros);
- f) Ventilador e rede de gás inerte;
- g) Bomba e rede hidráulica;
- h) Elevador e sua sala de máquinas;
- i) Compartimentos públicos nas acomodações;
- j) Passos em escadas e corredores;
- k) Ruído provocado por chuveiros e descargas de vasos sanitários e pias;
- l) Ruídos provenientes de equipamentos de rádio e rádio-telefonia;
- m) Utensílios de cozinha;
- n) Onda do mar e ventos.

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

- a) Perto do equipamento o nível de ruído é predominantemente devido à propagação por radiação pelo ar;
- b) A alguma distância do equipamento predomina o ruído refletido das ondas de som, dependendo do tempo de reverberação do local;
- c) Em espaços adjacentes, através da propagação do som pela estrutura do navio.

3.1 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 8 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 9 - Diagrama de blocos do modelo de geração de ruído do motor.



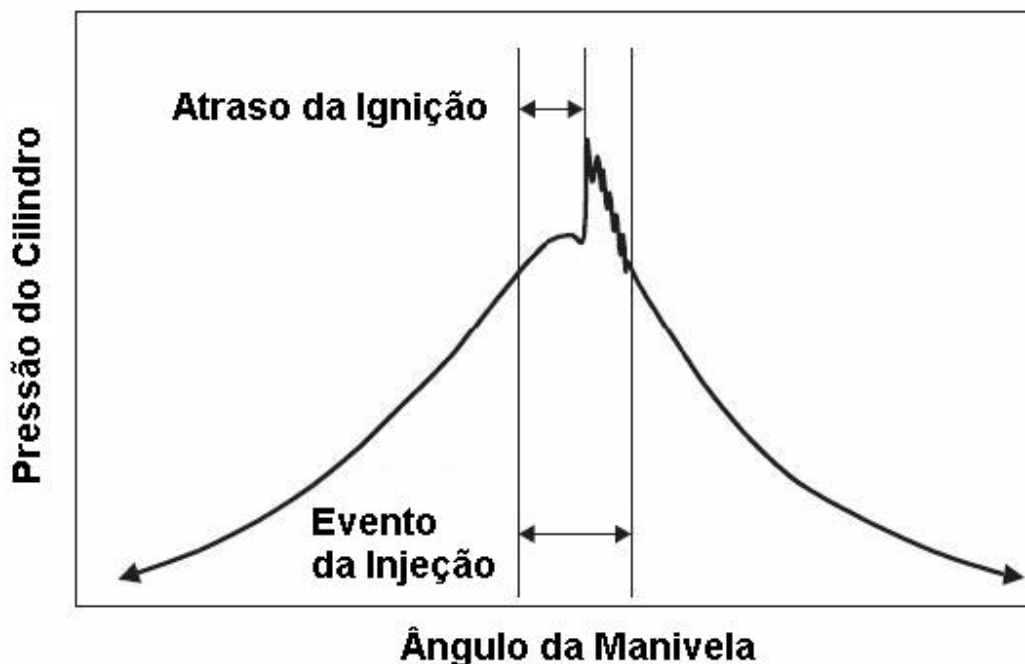
Fonte: Crocker, 2007

3.2 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.

A Figura 10 mostra um gráfico típico da pressão do cilindro para um motor a diesel.

Figura 10 – Gráfico típico da pressão do cilindro de um motor diesel para a pressão de alimentação do motor baixa.



Fonte: Crocker, 2007

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.

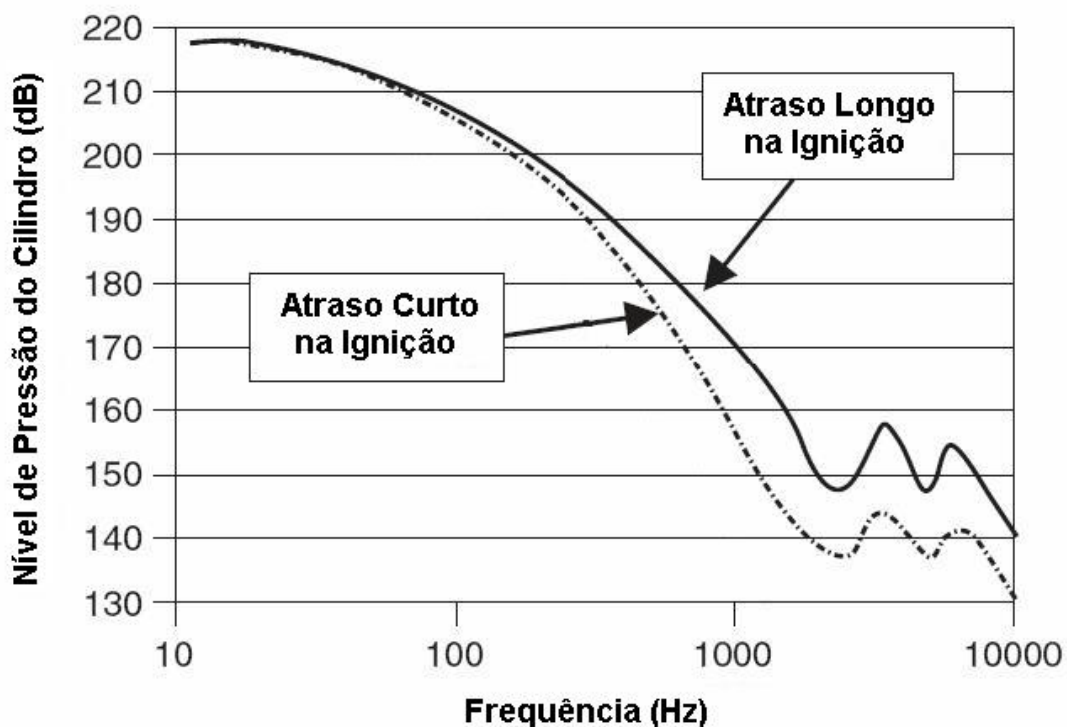
Como a combustão não é perfeitamente simétrica a pressão oscila com a frequência natural do volume do ar aprisionado no cilindro, como pode ser visto na Figura 11 no ponto logo após o pico de pressão do cilindro.

A Figura 11 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 11).

Figura 11 - 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.

3.3 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:

- a) Tempo de injeção;
- b) Aumento da pressão;
- c) Taxa de compressão;
- d) Temperatura do coletor de admissão;
- e) Características da injeção;
- f) 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.

3.4 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.

3.5 Previsão e prevenção de ruído em navios

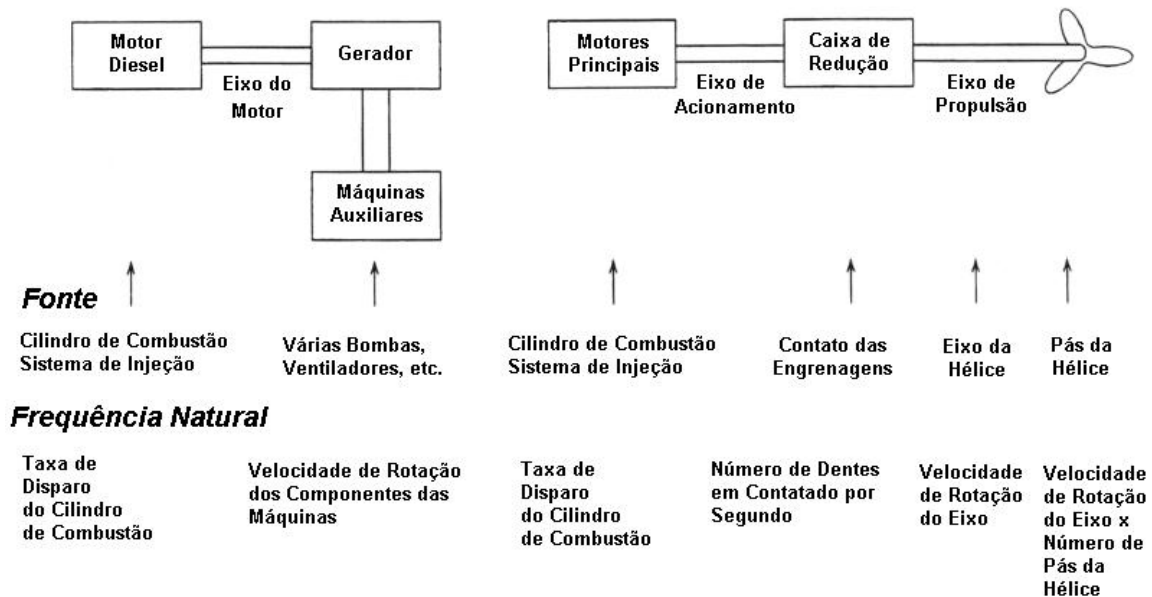
Os principais mecanismos que geram forças vibratórias envolvem as forças de desequilíbrio mecânico e eletromagnético, flutuações de força, impacto, fricção, e as flutuações de pressão. As classes de máquinas que produzem ruído podem ser classificadas de acordo com suas funções, tais como:

- 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 12 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 um 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 12 – Componentes de máquinas e fontes de ruído em navios propulsionados por motores diesel



Fonte: Crocker, 2007

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.

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

A Figura 13 mostra esquematicamente o sistema de propulsão do navio.

Figura 13 – Esquema do sistema de propulsão do navio.



Fonte: Crocker, 2007

3.6.1 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).

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

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

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

3.6.2 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).

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

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.

Estas componentes são chamadas de 1ª, 2ª, 3ª até o 10ª 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 medias", como por exemplo, 0,5, 1,5, 2,5 e assim por diante.

3.6.3 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:

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

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

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

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

4 PROPOSTAS PARA REDUÇÃO DE RUÍDO

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.

4.1 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).

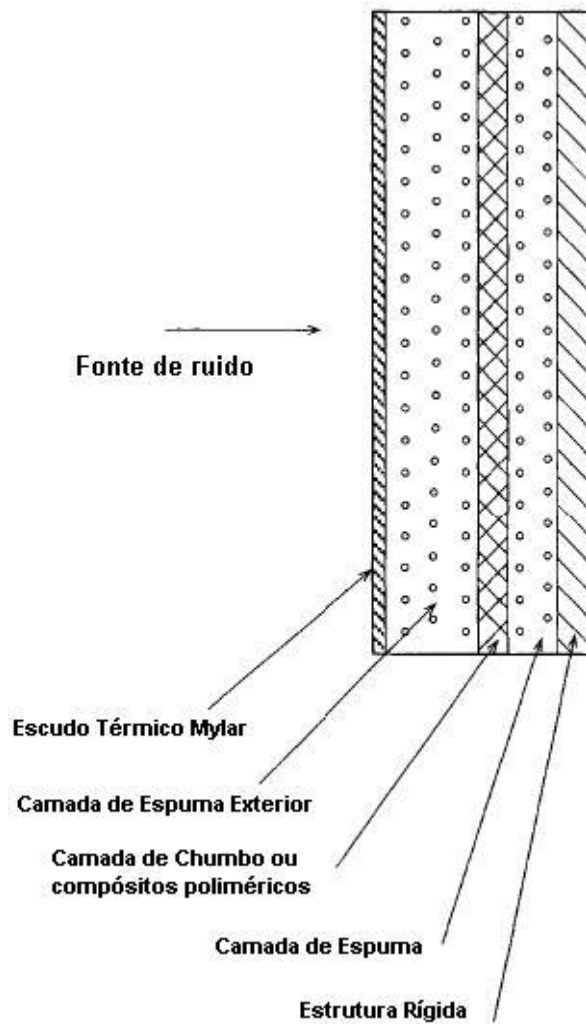
Caso a embarcação já possua paredes internas, pode-se colocar por cima delas placas com mantas de fibra de vidro de 50 milímetros de espessura com revestimentos perfurados. Tal tratamento fornece tipicamente a redução de ruído da

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 14 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.

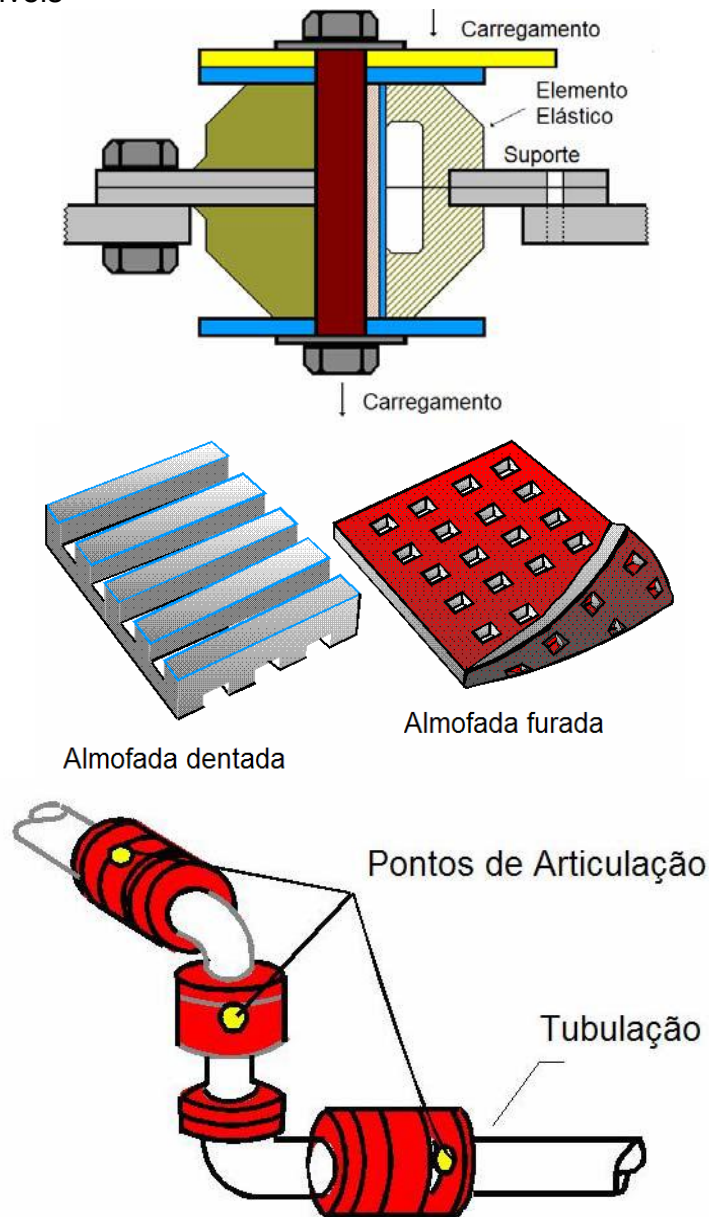
Figura 14 – Esquema de um material de absorção sonora para ser utilizado em ambientes contaminados com água e/ou óleo.



Fonte: Kovacs, A. S., 1998

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 15 mostra exemplos desses acessórios.

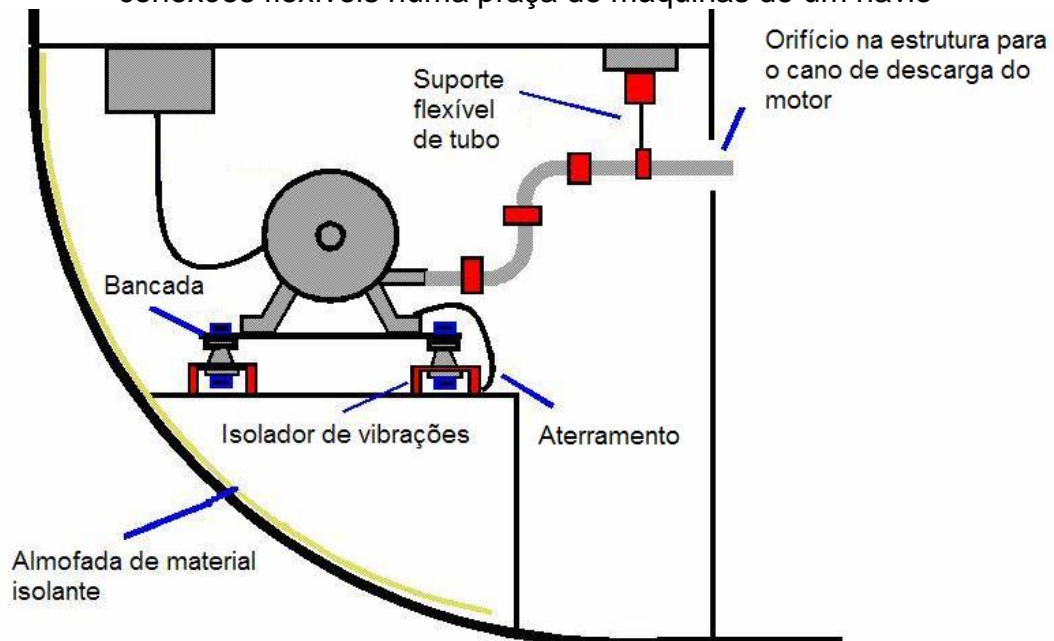
Figura 15 – Exemplos de suportes elásticos, almofadas de borracha e conexões flexíveis



Fonte: Kovacs, A. S., 1998

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 16 mostra um exemplo de aplicação dos elementos mostrados anteriormente.

Figura 16 – Exemplos de aplicação de suportes elásticos, almofadas de borracha e conexões flexíveis numa praça de máquinas de um navio



Fonte: Kovacs, A. S., 1998

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.

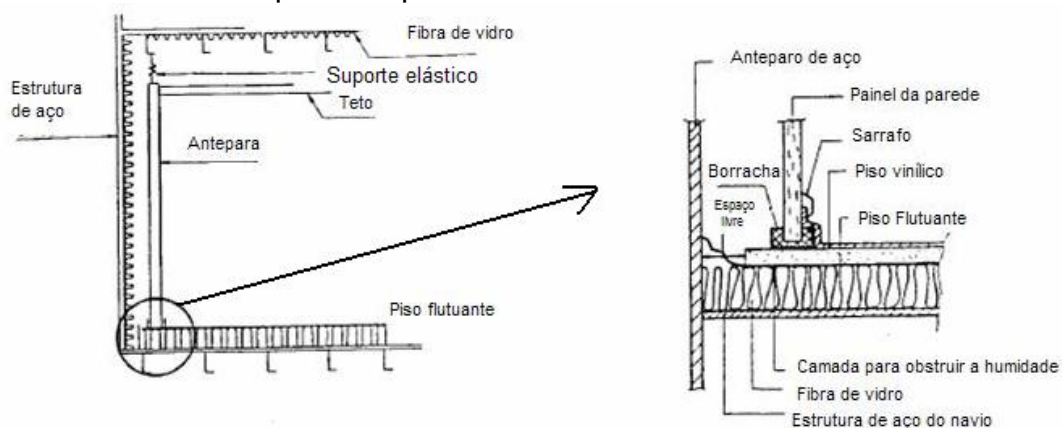
Motores Auxiliares: O ruído transmitido pelos motores auxiliares pode ser o de maior importância entre os ruídos a bordo. Para reduzir o nível de ruído transmitido pela estrutura, os motores devem ser montados elasticamente. Além de reduzir o nível de ruído a bordo, a montagem elástica é uma forma de 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.

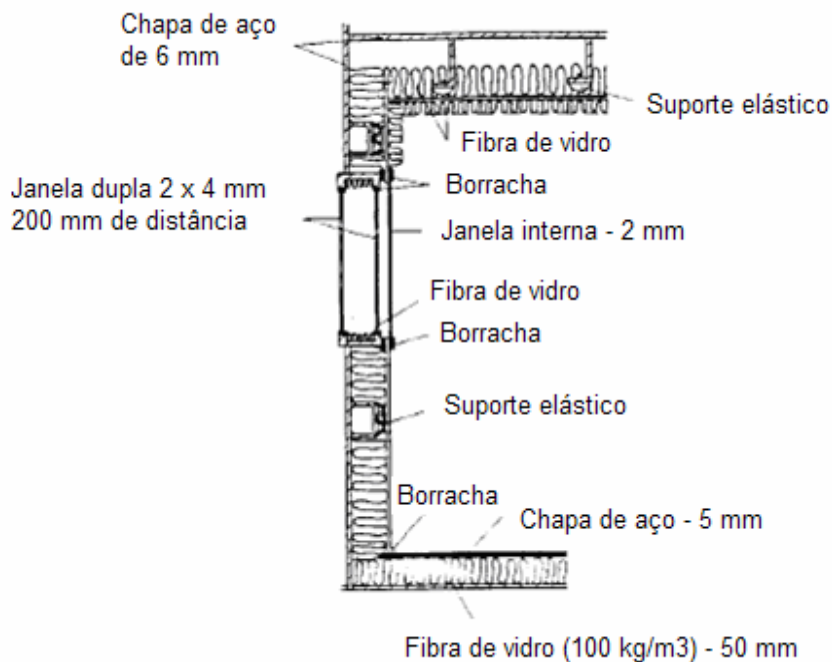
Junto com o piso flutuante deverão ser utilizadas conexões elásticas (isoladores de vibração) entre os painéis de forração, teto falso e estrutura de aço. A melhor solução, neste caso, é a utilização de sistemas de painéis auto sustentados para acomodações, onde as anteparas e o teto são apoiados no piso flutuante, sem qualquer tipo de conexão com a estrutura de aço. A Figura 17 mostra um esquema geral de uma acomodação flutuante. A Figura 18 mostra o esquema de como se pode colocar uma janela em um camarote do navio.

Figura 17 – 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 18 – Esquema de como pode-se colocar uma janela num camarote do navio



Fonte: Kovacs, A. S., 1998

4.2 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 na praça de máquinas.

4.2.1 Tratamento acústico na Praça de Máquinas

Qualquer redução do nível de pressão sonora que for conseguido na Praça de Máquinas repercutirá benéficamente 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.

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.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

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 servem tanto para determinar o problema como também para propor uma solução. Ou seja, inicialmente a comparação das medidas com as normas possibilitam 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 um 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...

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.

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

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.

www.masterbor.com.br

www.vestaeng.com.br/EPI/EPIS.html