

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

MEDIÇÃO DE RUÍDO EM EMBARCAÇÃO PARA O TRANSPORTE DE
PASSAGEIROS NO MODAL HIDROVIÁRIO

por

Eduardo de Matos Hofman

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

Porto Alegre, 26 novembro de 2018.

MEDIÇÃO DE RUÍDO EM EMBARCAÇÃO PARA O TRANSPORTE DE
PASSAGEIROS NO MODAL HIDROVIÁRIO

por

Eduardo de Matos Hofman

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

Prof^a.Thamy Cristina Hayashi

Coordenadora do Curso de Engenharia

Mecânica

Área de Concentração: **Mecânica dos Sólidos**

Orientador: Prof. Juan Pablo Raggio Quintas

Comissão de Avaliação:

Prof. Juan Pablo Raggio Quintas

Prof. Rogério José Marczak

Prof. Jackon Manfredini Vassoler

Porto Alegre, 26 novembro de 2018.

You must be the change you wish to see in the world.
Mahatma Gandhi

AGRADECIMENTOS

Chegar até este momento só foi possível graças à ajuda e compreensão de muitas pessoas. Assim agradeço a Deus e a todas as pessoas que de alguma forma me ajudaram a chegar a esta etapa da caminhada. Em especial agradeço a minha avó Maria de Lourdes Trindade Hofman (*in memoriam*), pois sempre foi um porto seguro nos momentos mais duros.

Agradeço muito a minha esposa Jacqueline Aubel por aguentar junto comigo todos os momentos vividos durante a graduação, principalmente os últimos semestres devido à distância entre as cidades em que vivemos.

Agradeço ao professor Juan Pablo Raggio Quintas pela inconfundível irreverência nos encontros de tutoria e por me ajudar a completar esta fase.

Por último agradeço à empresa Catsul por providenciar que este trabalho pudesse ser desenvolvido em uma de suas embarcações.

HOFMAN, E. M. **Medição de Ruído em Embarcação para o Transporte de Passageiros no Modal Hidroviário**. 2018. 15p. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

RESUMO

O presente trabalho aborda o tema da medição do nível de pressão sonora em embarcações para o transporte de passageiros entre as cidades de Porto Alegre e Guaíba no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, a fim de comparar os valores obtidos com a norma de conforto acústico CONF-NOISE 3 da *Det Norske Veritas* - DNV. O estudo foi realizado no catamarã Cat 2 da empresa Catsul, onde foram realizadas medições do nível de pressão sonora em 5 pontos distintos. Além da avaliação do nível de pressão sonora nestes pontos foi calculado também o LAeq global da embarcação encontrando-se o valor de 77,8 dB (A). Assim a embarcação é classificada como de nível 3 em conforto acústico que segundo a CONF-NOISE 3 é um nível aceitável.

PALAVRAS-CHAVE: Ruído, catamarã, CONF-NOISE 3.

HOFMAN, E. M. **Measurement of Noise in Vessels for the Transport of Passengers in the Waterway**. 2018. 15p. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

ABSTRACT

The present work discusses the theme of measurement the sound pressure level in vessels for the transport of passengers between the cities of Porto Alegre and Guaíba in the state of Rio Grande do Sul, Brazil, in order to compare the values obtained with the comfort standard CONF-NOISE 3 from Det Norske Veritas-DNV. The study was executed in the Cat 2 catamaran of the company Catsul, where the sound pressure level was measured at 5 different points. In addition to the evaluation of the sound pressure level in these points was also calculated the overall LAeq of the vessel finding the value of 77.8 DB (A). Thus the vessel is classified as Level 3 in acoustic comfort that according to CONF-NOISE 3 is an acceptable level.

KEYWORDS: Noise, catamaran, CONF-NOISE 3.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Bacia hidroviária do Rio Grande do Sul (Ministério dos Transportes, 2018).....	3
Figura 3.2: Embarcação tipo catamarã (Sudam 2005).	3
Figura 3.3: Sistema de propulsão do catamarã, General Cargo Ship (2016).	5
Figura 4.1: Decibelímetro utilizado no experimento.....	6
Figura 4.2: Conjunto decibelímetro e tripé no interior da embarcação.	7
Figura 4.3: Localização dos pontos de medição, Tecat (2014).	7
Figura 4.4: Linha catamarã, EPTC (2014).....	8
Figura 4.5: Catamarã Cat II, Meu transporte (2018).....	9
Figura 5.1: Espectro de frequências no Centro do catamarã.	9
Figura 5.2: Espectro de frequências na parte traseira.....	10
Figura 5.3: Espectro de frequências na parte dianteira.	11
Figura 5.4: Maior e menor NPS no convés.	12

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: LAeq global para nível de conforto acústico, DNV (2014).	4
Tabela 4.1: Especificações técnicas do Cat 2.....	8
Tabela 5.1: NPS na parte traseira da embarcação.	10
Tabela 5.2: NPS na parte dianteira da embarcação.....	11
Tabela 5.3: Valores globais por pontos de medição.....	12
Tabela 5.4: Valores de LAeq e classificação.....	12
Tabela 5.5: LAeq global na parte traseira do Cat 8 (Fleck, 2018).	13
Tabela 5.6: Comparação de NPS, Cat 8 e Cat 2, na parte traseira.	13

ÍNDICE	Pág.
AGRADECIMENTOS.....	iv
RESUMO.....	v
ABSTRACT	vi
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	viii
ÍNDICE	ix
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	1
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	1
3.1 Ruído	1
3.2 Ruído no corpo humano.....	2
3.3 Meio de transporte hidroviário.....	2
3.4 Normas de referência para o estudo	3
3.5 Fontes geradoras de ruído em embarcações.....	4
4 METODOLOGIA.....	5
4.1 Metodologia e materiais empregados.....	6
4.2 Características da embarcação e do trajeto	8
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	9
5.1 Nível de pressão sonora na embarcação	9
5.1.1 Resultados no Centro da Embarcação	9
5.1.2 NPS na parte traseira da embarcação.....	10
5.1.3 NPS na parte dianteira da embarcação	10
5.1.4 Análise geral.....	11
5.2 Verificação dos dados conforme CONF-NOISE 3	12
5.3 Comparação com o catamarã Cat 8.....	12
6 CONCLUSÕES	13
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	14

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o quinto maior País em extensão territorial do planeta com uma área territorial superior a 8.000.000 km², possui as duas maiores bacias hidrográficas da América do Sul, a Amazônica e a do Prata, uma população de mais de 220 milhões de habitantes conforme informações do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2010).

Deste modo, transportar tudo o que é produzido em um País continental e com uma população tão grande faz com que todas as formas de transporte de passageiros e cargas sejam de fundamental importância para a competitividade do País no mercado internacional e no bem estar de seus habitantes.

Dados da Agência Nacional de Transportes Aquaviários - Antaq (2018) mostram que o País movimentou em torno de 725 milhões de toneladas de cargas via modal hidroviário apenas no período de janeiro a agosto de 2018. Outro estudo da mesma agência revela que no ano de 2013 mais de 13 milhões de passageiros foram transportados por hidrovias apenas na região amazônica brasileira.

Costa (2003) afirma que podem existir efeitos extra-auditivos como alterações físicas e mentais que juntamente ao estresse que existe nas grandes cidades, podem ser ainda mais acentuados. Assim, é de extrema importância que se estude a respeito deste assunto.

2 OBJETIVOS

O trabalho tem por objetivo realizar uma verificação do nível de pressão sonora no convés principal de uma embarcação que opera em uma linha fixa e diária de transporte hidroviário de passageiros no estado do Rio Grande do Sul e classificá-la frente à norma *Det Norske Veritas DNV – Rules for Classification of Ships CONF-NOISE 3* quanto ao nível de conforto acústico para o passageiro. Para tal, dados serão obtidos através da medição do nível de pressão sonora (NPS) seguindo a metodologia indicada na norma internacional IMO MSC.377(91) - *Code On Noise Levels Onboard Ships* e, posteriormente, comparados com valores referência de tolerância pré-estabelecidos pela resolução da DNV. Será comparado também o valor de LAeq global da embarcação em estudo com outra de maior porte que opera a mesma linha a fim de avaliar se existem diferenças devido ao porte da embarcação.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Ruído

O som é causado devido à variação de pressão sonora em um meio compressível. A literatura abrange o conceito de ruído sendo um som que não é agradável para quem o percebe. Gerges (2000) e Costa (2003) trazem em suas bibliografias essa percepção. Harris (1957) ainda diz que o ruído pode ser interpretado por quem o percebe, assim o que é ruído para alguém não o é para outro, ficando subjetiva a análise sobre o que é e o que não é ruído.

Saliba (2016) comenta que o ruído é dividido em ruído contínuo, intermitente e de impacto sendo tomada como base para essa divisão a Norma Regulamentadora número 15, NR-15, que define como ruído contínuo aquele cuja variação não ultrapassa 3 dB em um longo período de observação. O ruído intermitente é definido pela norma por aquele onde a variação é igual ou maior que 3 dB em um tempo curto, menor que 15 minutos e superior a 0,2 segundos. O ruído de impacto é definido pela norma como picos de energia acústica com duração inferior a 1 segundo e repetição em intervalos superiores a 1 segundo.

Bistafa (2011) define Leq como o nível sonoro estacionário que caso ocorresse durante um intervalo de registro, geraria a mesma energia sonora produzida pelos eventos sonoros registrados. Leq é calculado segundo a *International Organization for Standardization ISO 1996/1 (1982)* pela expressão:

$$L_{EQ} = 10 * \log \left[\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n T_i * 10^{\frac{L_i}{10}} \right] \quad (1)$$

Onde: T = tempo total em horas; Li = NIS (Nível de Intensidade Sonora) ou NPS (Nível de Pressão Sonora) em dB; Ti = Tempo parcial em horas.

A NBR 10151 (2000) traz um método alternativo para o cálculo de LAeq que é o nível obtido a partir do valor médio quadrático da pressão sonora (com a ponderação A) referente a todo o intervalo de medição. Ele é calculado da seguinte maneira:

$$L_{aeq} = 10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \quad (2)$$

Onde n = número total de leituras e Li é o Nível de Pressão Sonora lido pelo instrumento de medição.

3.2 Ruído no corpo humano

O ruído interage com o organismo humano podendo causar diversos transtornos para os seres humanos. O mais danoso, segundo a literatura, é a perda auditiva permanente, onde o indivíduo perde a capacidade de escutar em determinadas faixas de frequência ou em até sua totalidade. Segundo Gerges (2000) o som é audível para o ser humano em uma faixa que vai de 20 Hz até 20.000 Hz, ele explica que a exposição ao ruído elevado durante muito tempo danifica as células da cóclea causando a perda auditiva.

Costa (2003) descreve a sequência em que geralmente ocorre a perda auditiva no ouvido humano em algumas frequências listadas a seguir: 6.000, 4.000, 3.000, 8.000, 2.000, 1.000, 500 e 250 Hz. O autor ainda refere que a perda auditiva na faixa de 2.000 Hz causa prejuízo social significativo nas pessoas.

Segundo Bistafa (2011), o ruído afeta o indivíduo fora do ambiente de trabalho em atividades como o sono, o relaxamento e a concentração, que causam impacto psicológico, podendo prejudicar a saúde mental do indivíduo.

Devido a estes efeitos indesejados no corpo humano é que é importante que a embarcação seja confortável do ponto de vista acústico, para não causar desconforto aos passageiros durante a viagem.

3.3 Meio de transporte hidroviário

Segundo a Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia - Sudam (2005). A demanda por embarcações para o transporte de passageiros sofreu um aumento significativo nos últimos anos. Países como China, Korea, Hong Kong, Japão, Inglaterra, França, Noruega, Dinamarca e ainda timidamente, o Brasil e a Argentina, vem cada vez mais aproveitando seus recursos naturais, utilizando o modal aquaviário, para atender, principalmente, o transporte de passageiros e veículos.

Ainda segundo EUROPEAN - UNION EU (2018) mais de 204 milhões de passageiros foram transportados por vias hidroviárias dentro da União Européia em 2016.

O Brasil possui vasta quantidade de rios e muitos deles navegáveis. A região amazônica por sua própria característica possui nos rios o seu maior meio de locomoção. Isto mostra que o modal hidroviário é muito utilizado pela população que precisa se deslocar na região. Segundo a Sudam (2005), a bacia amazônica possui em torno de 23.000 km de rios navegáveis sendo os principais os maiores afluentes do rio Amazonas como rio Madeira, rio Tapajós, rio Xingu, rio Negro, Rio Trombetas e rio Jari. Isto faz da região a que mais possui potencial para desenvolver o modal hidroviário de transporte de passageiros.

O Estado do Rio Grande do Sul possui como principal rio navegável o rio Jacuí, onde se transportam basicamente produtos da agropecuária como grãos e fertilizantes. Os outros rios que deságuam no Lago Guaíba possuem pequenos trechos navegáveis como os rios Caí, Sinos e Gravataí e em suas águas apenas embarcações de transporte de cargas operam comercialmente. O Lago Guaíba possui

Code On Noise levels Onboard Ships, foi desenvolvida para regulamentar a proteção do tripulante e passageiro da exposição ao ruído, pela regulação II-1/3-12 da *International Convention for the Safety of Life at Sea* de 1974 e traz diretrizes sobre como deve ocorrer o processo de avaliação de ruído em embarcações, quais parâmetros devem ser seguidos e normas que devem se utilizadas como auxiliares na tomada de medidas.

Tem-se também a resolução da DNV – *Rules for Classification of Ships CONF-NOISE 3* que classifica as embarcações quanto ao nível de conforto sonoro em uma escala *crn* (*Confot Rating Number*) que compreende 3 níveis de conforto sendo o nível 1 o mais confortável e o nível 3 o menos confortável, mas todas dentro de uma categoria aceitável de ruído para o passageiro.

A norma IMO MSC.337(91) descreve como deve ser o procedimento para a realização de medições de ruído em embarcações, mas os valores que ela traz não são adequados para o tipo de embarcação analisado uma vez que a norma é adequada para embarcações de porte muito maior que a disponível para a linha em questão. Por esta razão foi utilizada como referência para o nível de conforto acústico da embarcação a resolução DNV – *Rules for Classification of Ships* que classifica em 3 níveis de conforto a embarcação em relação ao nível de pressão sonora a que o passageiro está exposto.

A embarcação utilizada para o estudo se enquadra, nesta norma, no tipo de velocidade rápida e os valores típicos de nível de pressão sonora estão listados na Tabela 3.1 retirada da DNV Conf – Noise 3.

Tabela 3.1: LAeq global para nível de conforto acústico, DNV (2014).

Tabela para embarcações de alta velocidade - Níveis máximos de ruído em dB(A)						
Locais	Classificação do nível de conforto					
	Até 100 metros			Acima de 100 metros		
	1	2	3	1	2	3
Convivência de passageiros	70	72	75	60	65	68
Áreas externas para passageiros	75	75	75	73	75	75
Sala de navegação	62	65	65	60	62	65
Áreas de serviço/Quiosques/Lojas	70	73	75	65	68	70

3.5 Fontes geradoras de ruído em embarcações

A geração de ruído, em embarcações marítimas, ocorre principalmente devido ao seu sistema de propulsão compreendido por motor, caixa de redução, eixos, mancais, engrenagens, rolamentos e hélices. A interação de diversos componentes mecânicos inevitavelmente gera ruído e vibração e pode causar desconforto para quem está próximo ou dentro do equipamento. Bistafa (2011), Harris (1957), Gerges (2000) relatam em seus livros o estudo do ruído gerado por engrenagens, mancais, sistemas de ar condicionado, ventiladores, motores a combustão interna, entre outros componentes.

Gerges (2000) divide o ruído emitido pelo motor em suas partes principais (admissão, descarga, ventilador de refrigeração) e suas configurações como aspirado, turbo e quantidade de cilindros.

O sistema compreendido por motor, eixo de transmissão, caixa redutora e hélice do catamarã é exposto na Figura 3.3, onde se verifica a interação de diversos componentes mecânicos descritos pela literatura como geradores de ruído.

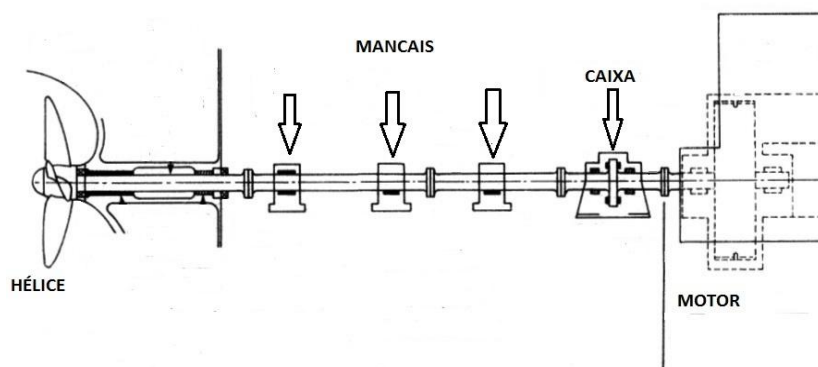


Figura 3.3: Sistema de propulsão do catamarã, General Cargo Ship (2016).

O motor da embarcação possivelmente é sua maior fonte de ruído e como opera em uma faixa de rotação próxima de 1800 RPM, gera ruído na frequência de 31,5 Hz, contudo sua interação com demais partes mecânicas podem gerar ruído em outras faixas de frequência. O motor do ventilador da unidade evaporadora dos aparelhos de ar condicionado também opera com rotação próxima a 1800 RPM e assim, contribui para o ruído na mesma faixa de frequência do motor da embarcação.

Muitos estudos têm abordado o ruído gerado entre o casco e a água quando o barco está em movimento, este fenômeno é conhecido por *slamming* e além de gerar ruído pode causar danos estruturais nas embarcações. Listewnik (2013) lista o *slamming* como uma das principais fontes de ruído em embarcações.

4 METODOLOGIA

Para a obtenção dos dados a serem compilados, tratados e posteriormente analisados para gerar resultados significativos foi realizada uma visita de campo à unidade a ser monitorada. Foram realizadas 4 viagens durante o itinerário da linha Porto Alegre Guaíba, totalizando aproximadamente 60 minutos de dados de Nível de Pressão Sonora em 21 medições a fim de se obter uma real situação vivenciada pelos usuários do sistema de transporte hidroviário no que se refere à exposição ao NPS da embarcação.

Para a realização das medições foi levado em consideração uma série de procedimentos para garantir a legitimidade dos dados obtidos. Podem-se destacar entre os mais importantes:

- Calibração do equipamento a ser utilizado.
- Ida ao local de medição.
- Definição dos pontos de monitoramento no interior do barco.
- Medição do nível de pressão sonora nos pontos desejados.
- Tratamento dos dados no *software* dedicado.
- Comparação com a norma escolhida.
- Comparação com outra embarcação que opera a mesma linha.

Os valores obtidos foram comparados à norma DNV *Rules for Classification of Ships* quanto ao nível de conforto acústico dos passageiros, classificação crn. Essa classificação, provém da CONF-NOISE 3. Estes resultados também serão comparados a outro catamarã, de maior porte, utilizado pela empresa, para avaliar se o tamanho da embarcação influencia quanto ao nível de pressão sonora.

4.1 Metodologia e materiais empregados

Para a correta realização do procedimento de medição foi seguida a norma IMO MSC.377(91) – *Code On Noise Levels Onboard Ships*. Deste modo foi utilizado para a obtenção de dados dois decibelímetros da marca Brüel and Kjaer, modelo 2250 classe 1. A Figura 4.1 mostra o decibelímetro utilizado no experimento.



Figura 4.1: Decibelímetro utilizado no experimento.

Segundo a norma o início das medições só é realizado após a embarcação atingir um padrão de operação normal. Isto ocorre quando todos os seus sistemas estão em pleno funcionamento, entre eles: motores de propulsão, caixa redutora, eixos das hélices e sistemas de ventilação. Ainda, segundo a norma, os motores de propulsão devem estar em um estado de uso de no mínimo 80% da capacidade de trabalho, chamada pela norma de MCR (*maximum continuous rating*). Para a embarcação essa condição é para uma RPM de 1500 já que o motor opera com 1875 RPM quando em estado de cruzeiro.

Os instrumentos foram previamente calibrados e ajustados para medir em bandas de oitava, numa faixa frequência de 31,5 Hz a 8 KHz em intervalos de 1 segundo, em modo de resposta rápida e em escala A dB(A).

Os aparelhos de medição foram dispostos a uma altura em relação ao piso da embarcação de 1,20 m por meio de tripés sendo esta a altura média da cabeça dos passageiros que viajam neste modelo de embarcação sentados em relação ao piso do veículo. Ainda foram respeitadas as medidas de 0,5 metros de distância de superfícies que podem emitir ruídos e uma distância entre os aparelhos que varia segundo a norma de, no mínimo, 2 metros e, no máximo, de 10 metros entre eles. A Figura 4.2 mostra o conjunto decibelímetro e tripé realizando a medição de nível de pressão sonora, em um ponto, no interior da embarcação.



Figura 4.2: Conjunto decibelímetro e tripé no interior da embarcação.

Levando em consideração estes parâmetros escolheu-se a disposição dos pontos de medição e se optou por fixar um dos aparelhos em cada ponto de tomada de dados medindo de forma ininterrupta o NPS da embarcação enquanto o outro aparelho media em intervalos de 5 minutos nos demais locais de medida até que a varredura fosse completada para cada um dos 5 pontos escolhidos. Para tal foi elaborada uma tabela com os pontos escolhidos para a realização das medições e sua disposição dentro da embarcação, como mostra a Figura 4.3.

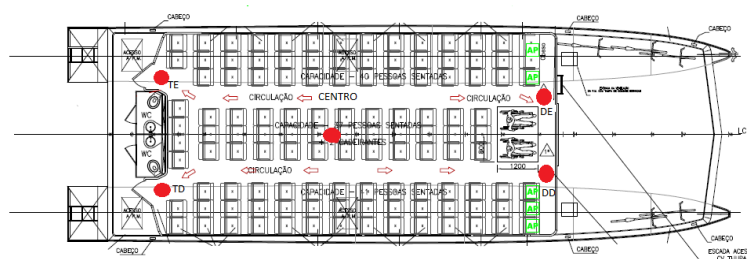


Figura 4.3: Localização dos pontos de medição, Tecat (2014).

Foram escolhidos, para realizar as medidas, cinco pontos, denominados como Centro (C), Traseiro Direito (TD), Traseiro Esquerdo (TE), Dianteiro Direito (DD) e Dianteiro Esquerdo (DE).

O primeiro local onde se fixou um dos decibelímetros foi o centro da embarcação. Assim, enquanto esse instrumento captava o ruído de forma ininterrupta nesse ponto o outro alternava as medições nos outros quatro pontos da embarcação medindo intervalos de 5 minutos em cada posição. Esta metodologia proporcionou um número mais representativo e confiável de medições que representam a situação em que se encontram os pontos estudados.

As medições na parte traseira foram realizadas fixando-se um dos aparelhos no ponto de interesse, TE e TD. O decibelímetro fixo captou o sinal ininterruptamente enquanto o outro aparelho realizava a medição durante 5 minutos em cada uma das outras posições da embarcação. Procedeu-se assim para a medição nos respectivos pontos.

A medição do nível de pressão sonora na parte dianteira do barco ocorreu usando o mesmo procedimento descrito para a parte traseira da embarcação.

Estes procedimentos visam obter um maior número de medições para o nível de pressão sonora a que os usuários da embarcação estão expostos.

Para o tratamento de dados foi utilizado o software dedicado do decibelímetro, *Measurement Partner Suite*, fornecido pela fabricante do instrumento. Através do

programa se consegue ouvir os dados gravados e analisar diversos parâmetros obtidos durante as medições.

4.2 Características da embarcação e do trajeto

O experimento foi realizado em uma embarcação da empresa Catsul que realiza o transporte hidroviário de passageiros entre as cidades de Porto Alegre e Guaíba, com uma parada no meio do trajeto, na estação Barra Shopping Sul, no município de Porto Alegre.

A linha inicia na estação Mercado, em Porto Alegre, e encerra no centro da cidade de Guaíba levando em torno de 30 minutos para se deslocar entre as cidades e tempo ao redor de 60 minutos entre partidas de uma mesma estação. A operação inicia logo pela manhã antes das 06:00 e encerra a noite próximo das 20:00. A linha funciona aos finais de semana com horários reduzidos. A Figura 4.4 mostra o mapa do itinerário da linha entre a Capital e a cidade de Guaíba.

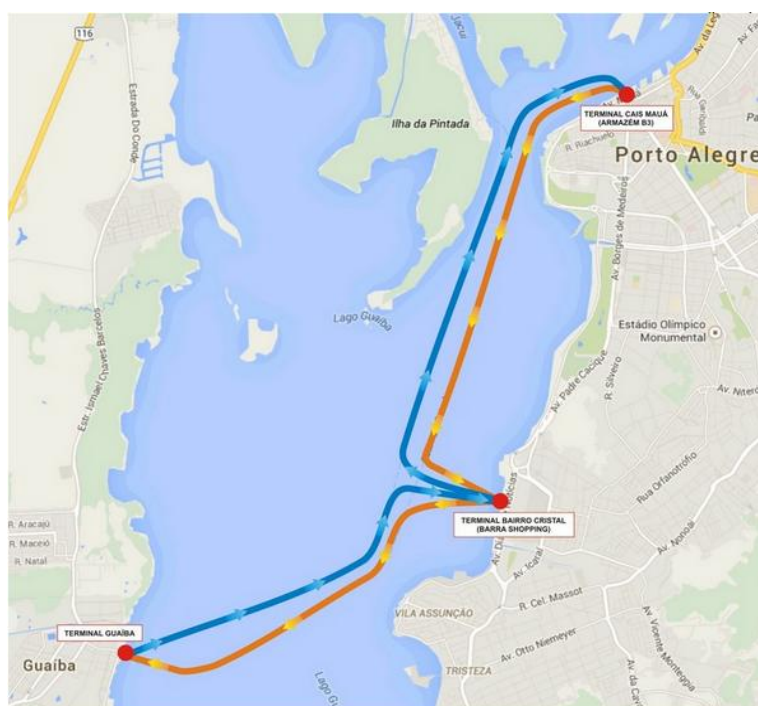


Figura 4.4: Linha catamarã, EPTC (2014).

A empresa conta com várias embarcações do tipo catamarã. A embarcação analisada é a denominada Cat 2. Esta é a menor embarcação dentre as disponíveis para a operação da linha. As características do barco estão listadas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Especificações técnicas do Cat 2.

Comprimento	19,50 m
Largura	6,27 m
Calado	1,10 m
Motores	2x Scania DI16 V8
Potência	2x 470 HP
Rotação	1875 RPM
Propulsão	Hélice
Velocidade	26 knots
Passageiros	120
Material	Fibra de vidro e Alumínio
Fabricante	Tecat

O modelo catamarã Cat 2 da empresa Catsul é mostrado na Figura 4.5.



Figura 4.5: Catamarã Cat II, Meu transporte (2018).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Nível de pressão sonora na embarcação

O deslocamento da embarcação durante o trajeto ocorre, na sua maior parte, sem oscilações. Não existem freadas ou tráfego intenso, assim o movimento ocorre suavemente. Tal fato possibilitou realizar as medições durante todo o tempo de percurso da embarcação, em torno de 30 minutos por trecho, parando de medir apenas quando o barco atracava na estação para o desembarque e embarque de passageiros.

Nas próximas seções se faz uma análise a respeito do nível de pressão sonora nos locais em que foram realizadas as medições.

5.1.1 Resultados no Centro da Embarcação

Seguindo os procedimentos de medição conforme a norma IMO.MSC 377(91) os valores obtidos são mostrados em gráficos de banda de oitava a partir de 31,5 Hz até 8 KHz. Estes gráficos mostram quais são as frequências mais representativas podendo assim identificar os possíveis causadores dos maiores níveis de pressão sonora.

Para a posição Centro pode-se identificar, como frequências mais significativas, a de 31,5 Hz, a de 125Hz e a de 250 Hz, com valores de NPS de 64.6, 66.5 e 65.8 dB(A) respectivamente como se pode visualizar na Figura 5.1.

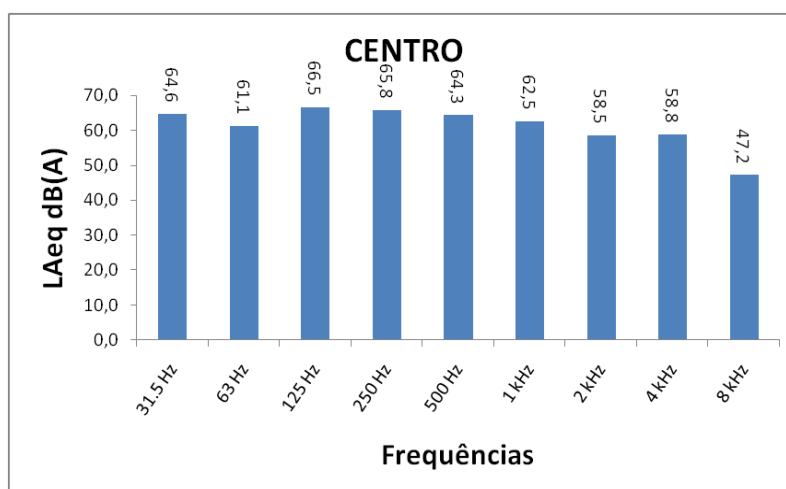


Figura 5.1: Espectro de frequências no Centro do catamarã.

O nível de pressão sonora global para a posição central da embarcação é igual a 77.8 dB(A), mesmo valor encontrado para o LAeq Global de toda a embarcação como se constata no item 5.1.4.

5.1.2 NPS na parte traseira da embarcação

A parte traseira da embarcação é a parte mais crítica quanto ao valor de NPS visto que fica mais próximo de onde estão situados os dois motores de propulsão. Isto fica evidenciado pelo nível de pressão sonora medido pelo decibelímetro como mostra a Figura 5.2.

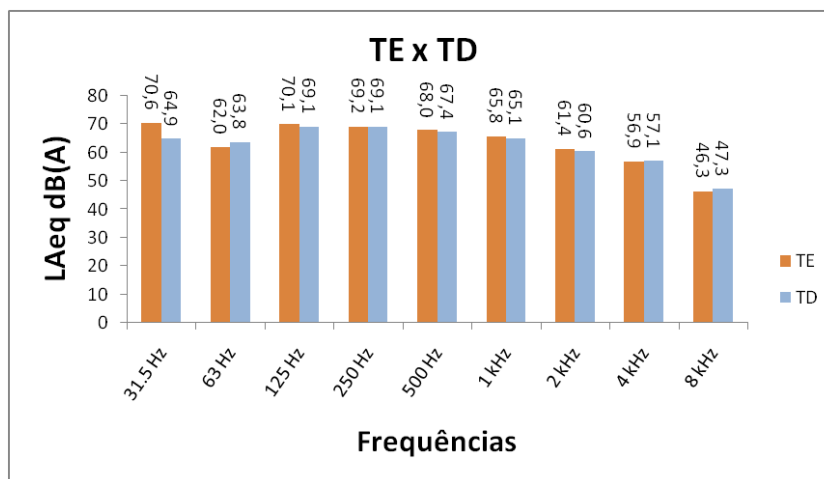


Figura 5.2: Espectro de frequências na parte traseira.

Verifica-se, através da observação dos valores contidos no gráfico, a contribuição dos motores de propulsão no nível de pressão sonora. Pois sua frequência de emissão se situa em 31,5 Hz. Esta frequência é uma das mais altas do espectro. A interação de outros fatores como sistema de transmissão de potência contribui nas frequências de 125 Hz, 250 Hz. Os passageiros conversando dentro da embarcação também contribuem nas faixas de frequência de 500 Hz e 1000 Hz.

A parte traseira do catamarã possui os valores de nível de pressão sonora mais altos de todos os pontos analisados. Isto colabora para aumentar o nível de pressão sonora equivalente total da embarcação como mostra a Tabela 5.1.

Tabela 5.1: NPS na parte traseira da embarcação.

	TE	TD
LAeq dB(A)	81.4	80.8

5.1.3 NPS na parte dianteira da embarcação

Quanto ao espectro de frequência em bandas de oitava podemos verificar a contribuição de cada faixa de frequência, como se mostra na Figura 5.3, para os valores de LAeq destes pontos.

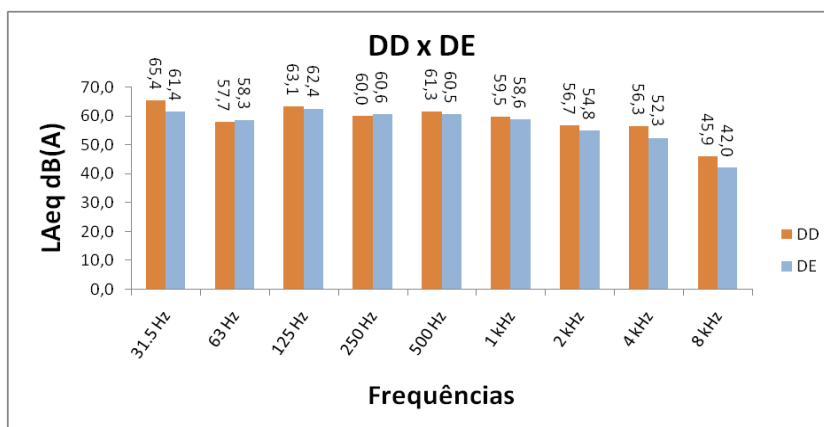


Figura 5.3: Espectro de frequências na parte dianteira.

Na parte da frente do barco, existe um aparelho de ar condicionado em cada lado, dois aparelhos de televisão, um que passa uma programação em TV aberta para os usuários e o outro uma programação, sem som, de uma empresa particular e um sistema de áudio, no qual os funcionários da empresa usam para dar avisos aos usuários. Este conjunto de aparelhos interagindo fornece os valores de nível de pressão sonora mostrado na Tabela 5.2, sendo que os aparelhos de ar condicionado são os maiores contribuintes para os níveis de pressão sonora encontrados nestas posições.

Tabela 5.2: NPS na parte dianteira da embarcação.

	DE	DD
LAeq dB(A)	72,9	74,8

Analisando a tabela 5.2 e comparando com os valores obtidos na tabela 5.1 pode-se verificar que o valor encontrado de NPS no lado esquerdo do catamarã é inferior ao lado direito e que ambos os valores da frente da embarcação são menores que os da parte traseira. Isto acarreta que o passageiro que escolhe uma poltrona no lado direito na parte da frente fica exposto a um maior NPS comparado ao lado esquerdo durante o deslocamento da embarcação. Fato provavelmente ocasionado pelo aparelho de ar condicionado. O passageiro que senta na parte de trás fica exposto aos maiores valores de NPS devido à presença dos motores da embarcação nesta parte do barco.

5.1.4 Análise geral

De posse dos dados analisados pode-se comparar os valores de NPS nas diversas posições onde foram realizadas as medições. Por exemplo, olhando a parte da frente com a parte traseira da embarcação podemos verificar o quanto existe de diferença entre os dois locais quanto ao nível de pressão sonora.

Analisando os dois extremos temos como pontos de análise o ponto DE como o de menor valor de NPS da embarcação, 72,9 dB(A) e o ponto TE como o de maior valor de NPS com 81,4 dB(A) como mostra a Figura 5.4.

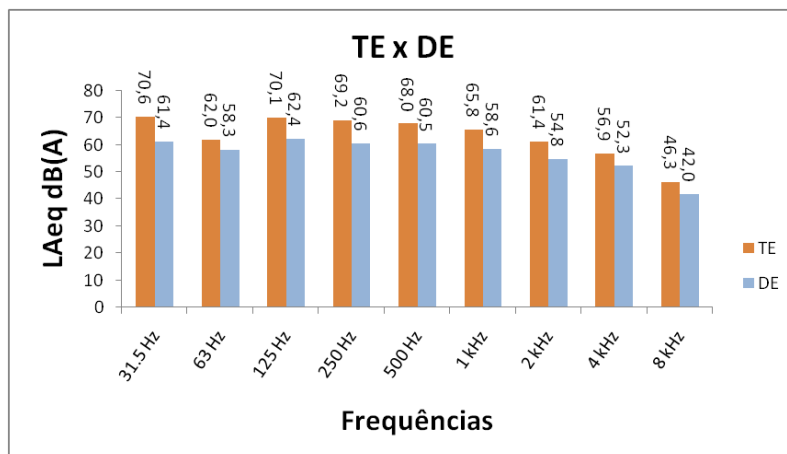


Figura 5.4: Maior e menor NPS no convés.

Os valores de LAeq para estes pontos mostram uma diferença de 8,5 dB(A), o que evidencia que a parte traseira é a maior geradora de ruído na embarcação.

Os valores globais por pontos de medição estão expostos na Tabela 5.3.

Tabela 5.3: Valores globais por pontos de medição.

Localização	LAeq
C	77.8 dB(A)
DE	72.9 dB(A)
DD	74.8 dB(A)
TD	80.8 dB(A)
TE	84.1 dB(A)
Embarcação	77.8 dB(A)

5.2 Verificação dos dados conforme CONF-NOISE 3

Com os valores globais gerados pelas medições, podem-se comparar os valores obtidos com os valores de referência da norma utilizada no trabalho.

Verifica-se na Tabela 5.4 que o NPS na parte traseira da embarcação é mais elevado que nos outros locais de medição.

Tabela 5.4: Valores de LAeq e classificação.

Localização	LAeq	Classificação
C	77.8 dB(A)	crn 3
DE	72.9 dB(A)	crn 3
DD	74.8 dB(A)	crn 3
TD	80.8 dB(A)	crn 3
TE	84.1 dB(A)	crn 3
Embarcação	77.8 dB(A)	crn 3

5.3 Comparação com o catamarã Cat 8

O barco analisado neste estudo foi o menor da frota que opera a linha entre as cidades. (Fleck 2018) analisou o nível de ruído na embarcação Cat 8 da mesma empresa sendo a embarcação o maior barco da frota. Encontrou valores de LAeq

global menores na parte traseira, que é a mais crítica, como podemos ver na Tabela 5.5.

Tabela 5.5: LAeq global na parte traseira do Cat 8 (Fleck, 2018).

Localização	LAeq
TD	73,7 dB(A)
TE	74,1 dB(A)

Comparando as duas embarcações, nesta localização mais crítica, verifica-se a diferença no NPS entre elas, sendo a embarcação menor a que possui valores mais elevados de NPS, como mostrado na Tabela 5.6.

Tabela 5.6: Comparação de NPS, Cat 8 e Cat 2, na parte traseira.

Cat 8	Localização	LAeq
	TD	73,7 dB(A)
	TE	74,1 dB(A)
Cat 2	Localização	LAeq
	TD	80,8 dB(A)
	TE	81,4 dB(A)

Outra análise importante entre os dois modelos de catamarã é quanto ao nível global NPS da embarcação. Utilizando os dados de (Fleck, 2018) para os níveis de LAeq para cada ponto, o catamarã Cat 8 possui LAeq global de 72,0 dB(A) enquanto a embarcação Cat 2 possui LAeq global de 77.8 dB(A).

Estes dados mostram que o catamarã Cat 2, embora menor, possui valores NPS maiores quando comparado ao catamarã Cat 8.

6 CONCLUSÕES

No presente trabalho foi analisado o nível de pressão sonora em uma embarcação para o transporte de passageiros entre as cidades de Porto Alegre e Guaíba. Foram realizadas 21 medições em cinco pontos dentro da área de convivência de passageiros na referida embarcação. Para a análise do LAeq global da embarcação foi encontrado o valor 77,8 dB (A) após analisar os dados dos cinco locais de medição.

Segundo a DNV – *Rules for Classification of ships* e a IMO MSC.377(91), estes valores podem variar em 1,5 dB(A) ainda que todos os procedimentos por elas citados sejam adotados durante as medições. Com estes valores a embarcação se enquadra dentro da classificação crn 3 conforme a CONF-NOISE 3. Esta classe esta dentro de valores aceitáveis de acordo com a referida resolução. Verificamos ainda que o valor de LAeq supera ligeiramente o valor referência sugerido pela norma. Contudo, isto não causa desconforto acústico aos passageiros durante o trajeto.

Analisando o espectro de frequências em bandas de oitava verifica-se que para a embarcação analisada os motores, o sistema de transmissão de potência além do sistema de ar condicionado atuam como fortes geradores de ruído no barco.

Com o conjunto de pontos analisados podemos sugerir que para o passageiro que utiliza o transporte é mais confortável sentar-se na parte Dianteira Esquerda (DE) da embarcação visto que foi o local com o menor valor de LAeq encontrado no estudo 72,9 dB(A).

Comparando os valores de NPS da embarcação Cat 2 com os valores para a embarcação Cat 8 verifica-se que o Cat 2, embora menor, possui valores mais elevados de NPS do que a outra embarcação.

Sugere-se também uma avaliação para implantar materiais que absorvam o ruído na casa de máquinas para diminuir a contribuição das faixas de 31,5 Hz, 125 Hz e 250 Hz.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTAQ – “**Caracterização da Oferta e da Demanda do Transporte Fluvial de Passageiros e Cargas na região Amazônica**”. Brasília, 2017. Disponível em: <http://portal.antaq.gov.br/wp-content/uploads/2018/02/relatorio-executivo-com-errata.pdf> acesso em 01/11/2018.

ANTAQ, “**Estatístico Aquaviário**”. Brasília, 2018. Disponível em: <http://web.antaq.gov.br/Anuario/> acesso em 04/11/2018.

BISTAFA, S. R. B., “**Acústica Aplicada ao Controle do Ruído**”, 2ºEd. São Paulo: Edgard Blücher, 2011.

COSTA, E. C., “**Acústica Técnica**”. São Paulo: Edgard Blücher, 2003.

DNV – “**Rules for Classification of Ships**”, – CONF-NOISE 3 2014.

EPTC – “**Transporte por Hidrovia**”. Porto Alegre, 2014. Disponível em: http://www2.portoalegre.rs.gov.br/eptc/default.php?p_secao=229 acesso em 02/11/2018.

EUROPEAN COMMISSION – “**Country level - passengers (excluding cruise passengers) transported to/from main ports**”. Luxemburgo, 2018. Disponível em: http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=mar_mp_am_cft&lang=en acesso em 03/11/2018.

FLECK, R. H. “**Análise da exposição ao ruído no transporte hidroviário de passageiro**”. 2018. 15p. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

General Cargo Ship “**Sistema de Propulsão de Embarcações**”. Disponível em: <http://generalcargoship.com/propeller-shaft-bearings.html> acesso em 09/11/2018.

GERGES, S. N. Y., “**Ruído : Fundamentos e Controle**”, 2º Ed. Florianópolis: NR Editora, 2000.

Harrys, C. M., “**Handbook of Noise Control**. New York: McGraw-Hill, 1957.

IBGE, “**Atlas Nacional do Brasil Milton Santos/IBGE, Diretoria de Geociências**”. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

Imagem “**Catamarã**”. Porto Alegre. Disponível em: <http://meustransporte.blogspot.com/2013/01/travessia-porto-alegre-guaiba-e-uma.html> acesso em 09/11/2018.

IMO MSC.337(91). **“Code on Noise Levels Onboard Ships”**. *The Maritime Safety Committee*, 2012.

Listewnik, K. **“Some Aspects of Noise Measurement of Ships”** 20th International Congress on Sound and Vibration (ICSV20), Bangkok, Thailand, 2013 Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Karol_Listewnik/publication/309697180_SOME_ASPECTS_OF_NOISE_MEASUREMENT_OF_SHIPS/links/581d2b4708ae40da2cab4d76.pdf.

Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil. **“Mapa Hidroviário Brasileiro”**. Brasília, 2018. Disponível em: http://www.transportes.gov.br/images/aquaviario/2014/11/mapas_hidroviarios.pdf acesso em 01/11/2018.

Moraes, R. C. M. **“Ferramenta de avaliação do transporte hidroviário de passageiros da região amazônica”**, Trabalho para a obtenção do Título de Mestrado Acadêmico (Engenharia Civil) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.

NBR 10151 (2000) – **“Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento”**, 2000.

SALIBA, T. M., **“Manual Prático de Avaliação e Controle do ruído: PPRA**. 9ª Ed. São Paulo: Ltr, 2016.

SUDAM – **“Tecnologia das Embarcações”**. Brasília, 2005. Disponível em: http://www.sudam.gov.br/conteudo/menus/referencias/biblioteca/arquivos/Ada-2005/tecnologia_das_embarcacoes_1.pdf acesso em 01/11/2018.