

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

ANÁLISE DE RUÍDO INTERNO PARA AVALIAÇÃO DE CONFORTO DOS PASSAGEIROS DO
TRENSURB E AVALIAÇÃO DA DOSE DE RUÍDO A QUE O OPERADOR DO TREM ESTÁ
EXPOSTO

por

Ricardo Garavello Strauch

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

Porto Alegre, novembro de 2016.



Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Mecânica

ANÁLISE DE RUÍDO INTERNO PARA AVALIAÇÃO DE CONFORTO DOS PASSAGEIROS DO
TRENSURB E AVALIAÇÃO DA DOSE DE RUÍDO A QUE O OPERADOR DO TREM ESTÁ
EXPOSTO

por

Ricardo Garavello Strauch

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

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

Área de Concentração: **Mecânica dos sólidos**

Orientador: Prof. Juan Pablo Raggio Quintas

Comissão de Avaliação:

Prof. Herbert Martins Gomes

Prof. Jakson Manfredini Vassoler

Prof. Rogério José Marczak

Porto Alegre, 14 de novembro de 2016.

"Se você traçar metas absurdamente altas e falhar, seu fracasso será muito melhor que o sucesso de todos".

James Cameron.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus familiares, em especial à minha mãe, Silvia Regina Garavello, por ter me dado todo apoio e suporte necessário para conseguir concluir esta etapa extremamente importante na minha vida, sobretudo no que diz respeito às questões emocionais e psicológicas.

Agradeço toda ajuda financeira que meus avós e irmãs me deram, e, especialmente ao meu pai, Paulo Renato Strauch, que faleceu no início deste ano, que nunca deixou faltar nenhum tipo de material, passagem escolar, carona e/ou dinheiro para alimentação.

Também agradeço aos meus amigos, que sempre tiveram presentes nessa caminhada, me dando motivação e alegria para não desistir; principalmente ao Everton Benini, amigo este que eu considero um irmão que a vida me deu, que oportunizou, em todos os aspectos, que esse trabalho de conclusão fosse realizado.

Agradeço ao Prof^o Juan Pablo Raggio Quintas por toda ajuda, suporte e atenção disponibilizados na orientação do meu trabalho de conclusão de curso.

Aos professores da engenharia mecânica, pela dedicação e excelência na hora de transmitir os conhecimentos necessários para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico, bem como os ensinamentos de vida e suas experiências, para que nos tornemos ótimos profissionais.

Por fim, mas não menos importante, à Universidade Federal do Rio Grande do Sul, por proporcionar um ensino de altíssima qualidade e infraestrutura necessária para que esse título fosse alcançado.

GARAVELLO STRAUCH, R. **Análise de ruído interno para avaliação de conforto acústico dos passageiros do Trensurb e avaliação da dose de ruído a que o operador do trem está exposto**. 2016. 15f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

RESUMO

Um estudo sobre o impacto gerado pelo ruído, um dos principais agentes da poluição sonora, dentro do Trensurb se fez interessante, por se tratar de um tipo de poluição considerado um problema de saúde pública mundial. A poluição sonora tem por característica não se acumular no meio ambiente e está presente no dia-a-dia dos cidadãos e, por estes motivos, muitas vezes, acaba por passar despercebida pelas pessoas. Nos centros urbanos, a poluição sonora tem grande influência na qualidade de vida das pessoas, afetando os mais diversos aspectos fisiológicos. Apesar de o Trensurb ser um transporte de grande auxílio para o trânsito de Porto Alegre e região metropolitana, é notório para seus passageiros o desconforto causado pelo ruído emitido por este veículo, e pouco se sabe sobre o impacto que este ruído gera para seus passageiros e operadores. Neste viés, um estudo foi realizado dentro do trem urbano de Porto Alegre, para averiguar a que níveis de pressão sonora os passageiros estão submetidos, e a que doses de ruído seus operadores estão sujeitos. Após o tratamento dos dados pertinentes, estes foram comparados com as normas NR-15, NHO 01 e NBR 13068, para averiguar se os valores estavam dentro da faixa permitida. O vagão dos passageiros utilizado foi um dos dois carros-motores que formam a composição do trem MA-RA-RB-MB, sendo MA e MB os carros motores e RA e RB os carros reboques. Por se tratar de uma medição de ruído ocupacional, avaliaram-se os níveis sonoros equivalentes de ruído contínuo, L_{Aeq} , para as duas extremidades deste vagão, no percurso de ida e de volta, assim como o nível de exposição normalizado, NEN, para um tempo de viagem de 8h, totalizando quatro projetos. De forma geral, os quatro projetos resultaram em valores de L_{Aeq} acima do estabelecido pela NBR13068, de 80 dB(A), apresentando valores de até 97 dB(A). Os valores acima de 80 dB(A) representaram, em média, 68% do tempo das viagens. Os valores de NEN obtidos ficaram dentro do permitido pela NR-15 e NHO 01, de 85 dB(A), tendo seu valor máximo de 76,1 dB(A). Quanto às doses de ruído percebidas pelos operadores do trem, todas ficaram abaixo do limite de exposição que estabelecem as normas NR-15 e NHO 01, de 100%, tanto para o tempo real de percurso, quanto para uma jornada de trabalho de 8h. O maior valor de dose de ruído captado foi de 83%, não fornecendo nenhum tipo de dano a saúde dos operadores. No entanto, todas as doses ficaram acima do nível de ação, de 50%, sendo recomendada a adoção de medidas para que estes valores não cheguem aos 100%.

PALAVRAS-CHAVE: Ruído, Dose de Ruído, Poluição Sonora, NBR 13068, NR-15, NHO 01.

GARAVELLO STRAUCH, R. **Internal noise analysis to assess acoustic comfort of Trensurb passengers and evaluation of the noise dose to which the train operator is exposed.** 2016. 15f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

ABSTRACT

A study about impact of noise, one of the main agents of noise pollution, inside of Trensurb has become interesting because it is a type of pollution considered a global public health problem. Sound pollution is characterized by not accumulating in the environment and is present in the daily lives of citizens and, for these reasons, often goes unnoticed by people. In urban centers, noise pollution has a great influence on people's quality of life, affecting the most diverse physiological aspects. Although the Trensurb is a transport of great help for the transit of Porto Alegre and metropolitan region, it is notorious for its passengers the discomfort caused by the noise emitted by this vehicle, and little is known about the impact that this noise generates for its passengers and Operators. In this bias, a study was carried out within the urban train of Porto Alegre, to ascertain to what levels of sound pressure the passengers are submitted, and to what doses of noise their operators are subject. After processing the pertinent data, these were compared with standards NR-15, NHO 01 and NBR 13068, to investigate if the values were within the allowed range. The passenger car used was one of the two motor-cars that make up the composition of the train MA-RA-RB-MB, being MA and MB the motor cars and RA and RB the trailers cars. As an occupational noise measurement, the equivalent sound levels of continuous noise, LAeq, were assessed for both ends of this car in the one way and return journey, as well as the normalized exposure level, NEN, for a Traveling time of 8h, totaling four projects. In general, the four projects resulted in LAeq values above that established by NBR13068, of 80 dB (A), presenting values of up to 97 dB (A). Values above 80 dB (A) represented, on average, 68% of travel time. The NEN values obtained were within the limits allowed by NR-15 and NHO 01, 85 dB (A), with a maximum value of 76.1 dB (A). Concerning the noise levels perceived by the train operators, all were below the exposure limit established by the NR-15 and NHO 01 standards, of 100%, both for the actual journey time and for an 8-hour working day. The highest recorded dose of noise was 83%, providing no harm to the operators' health. However, all doses were above the action level of 50%, and it is recommended that measures be adopted so that these values do not reach 100%.

KEYWORDS: Noise, Noise Dose, Noise Pollution, NBR 13068, NR-15, NHO 01.

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1 – Decibelímetro utilizado em medição de campo.....	5
Figura 4.2 – Decibelímetros fixados em tripés, a 1,6m do piso, na linha central ao eixo longitudinal.....	5
Figura 4.3 – Carro motor da composição, sem porta de conexão com a cabine.....	6
Figura 4.4 – Dosímetro de ruído utilizado na medição de campo	7
Figura 4.5 – Trem novo (a) e trem velho (b) da empresa Trensurb	8
Figura 5.1 – Gráfico do comportamento dos NPS por tempo para o projeto 01	10
Figura 5.2 – Gráfico do comportamento dos NPS por tempo para o projeto 10.....	10
Figura 5.3 – Gráfico do comportamento dos NPS por tempo para o projeto 02.....	11
Figura 5.4 – Gráfico do comportamento dos NPS por tempo para o projeto 11.....	12
Figura A.1 – Tempo máximo diário de exposição permissível em função do nível de ruído da NHO 01	16
Figura A.2 – Tempo máximo diário de exposição permissível em função do nível de ruído da NR -15.....	16
Figura A.3 – Planilha de parâmetros e estações na ida.....	17
Figura A.4 – Planilha de parâmetros e estações na volta.....	18
Figura A.5 – Horário de operação do trem na ida	19
Figura A.6 – Horário de operação do trem na volta	19

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.2 - Faixa de valores de L_{Aeq} para os projetos de volta.....	9
Tabela 5.1- Faixa de valores de L_{Aeq} para os projetos de ida	11
Tabela 5.3 – Nível de exposição normalizada para os quatros projetos	12
Tabela 5.4 – Dose de ruído e dose de ruído para uma jornada de trabalho de 8h para as normas NR-15 e NHO 01	13

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	iv
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	vii
ÍNDICE	viii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Motivação	1
2 OBJETIVOS	2
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
3.1 Ruído	2
3.2 Dose de Ruído	3
3.3 Efeitos Do Ruído No Corpo Humano	3
4 METODOLOGIA	4
4.1 Metodologia e Equipamentos	4
4.2 Modelo do Trem Analisado	8
5 RESULTADOS	9
5.1 Resultados para NPS dos Passageiros	9
5.1.1 Projetos de Ida	9
5.1.2 Projetos de Volta	11
5.2 Cálculo de Nível de Exposição Normalizada	12
5.3 Resultados para Dose de Ruído do Condutor	13
6 CONCLUSÕES	14
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	14
Anexo A	16
Apêndice A	17

1. INTRODUÇÃO

A mobilidade é um dos elementos de grande estudo e preocupação nos centros urbanos, uma vez que carece de atenção e uma complexa logística. Estudos realizados mostram que os cidadãos de Porto Alegre despendem, em média, 54 minutos do seu tempo diário apenas com deslocamento para o trabalho dentro da cidade. Os transportes urbanos coletivos exercem papel fundamental na tentativa de minimizar esse tempo, visando diminuir o trânsito de automóveis, por conseguinte os congestionamentos, permitindo que o fluxo nas vias aconteça de forma mais rápida e eficiente.

Os trens urbanos, bem como os metrô, são protagonistas dessa logística, haja vista que estes não circulam pelas mesmas vias que os demais veículos, têm uma capacidade altamente superior de transportar passageiros, e, em muitas vezes, interliga as cidades com suas regiões metropolitanas, o que é o caso do Trensurb.

Todavia, este tipo de transporte, em muitos lugares do Brasil, ainda carrega consigo uma série de limitações, seja por falta de investimentos e/ou, até mesmo, questões tecnológicas, que acabam gerando desconforto a seus passageiros, como vibrações e ruídos.

O ruído emitido pelo trem é, majoritariamente, proveniente do atrito entre o truck e o trilho, e seu valor pode variar de acordo com a velocidade de deslocamento do trem, com o tipo de via sobre a qual ele circula, com o estado em que esta se encontra, bem como a forma na qual o operador conduz o veículo.

Este ruído pode chegar a valores prejudiciais, não somente à audição dos passageiros, como também, acarretar em danos a outros aspectos físicos. Gerges, 2000 afirma que os danos causados pelo ruído podem resultar em mudanças de comportamento, como cansaço mental, estado crônico de nervosismo, *stress*, e, até mesmo, alterações do sistema imunológico.

Segundo AMDE, 2003 a queda do rendimento escolar, condutas antissociais, acidentes de trabalho, e a tendência para o abandono das cidades, são algumas das consequências geradas pelo principal agente da poluição sonora: o ruído.

No entanto, traçando um paralelo com as atividades industriais, é possível adotar diversas medidas de controle, a fim de amenizar os sons indesejáveis ocasionados pelo trem, como o isolamento da fonte, atuação na fonte, e a redução da reverberação, tal qual sugere Lida, 2005.

1.1 Motivação

A exposição a ruídos em determinados níveis de pressão sonora e espaço de tempo em que eles atuam, pode acarretar em diversos problemas ao ouvido humano, como perda de audição, e também em outras doenças não relacionadas à audição, como estresse, cansaço, depressão, dor de cabeça, entre outros, sendo considerada uma das poluições que mais afeta os centros urbanos: a poluição sonora.

O transporte ferroviário que interliga Porto Alegre com uma parte de sua região metropolitana, o Trensurb, é um dos veículos mais utilizados em nosso centro urbano, e, segundo Fedozzi & Soares, 2015, em 2014 a média de passageiros diários se aproximou dos 200 mil passageiros/dia, ou seja, o equivalente a 15% da população da capital.

Tendo em vista a existência de poucos estudos que cruzam estes dois aspectos mencionados nos parágrafos supracitados, um estudo de análise do impacto causado pela exposição ao ruído sobre os passageiros e os operadores se mostra extremamente útil e interessante à comunidade.

2. OBJETIVOS

Avaliar conforto acústico dos passageiros do trem urbano da RMPA¹, através de medição dos níveis de pressão sonora (NPS) obtido durante o trajeto em comparação com os parâmetros definidos na NBR 13067 (Carro Metropolitano - Determinação dos Níveis de ruído e NBR13068 – Ruídos internos e externos em carro Metropolitano e veículo leve sobre trilhos (VLT)). Bem como a dose de ruído a qual está exposto o condutor do vagão, a partir da captação desta, realizada em campo, e comparação com os critérios estabelecidos na NR-15 – Atividades e Operações Insalubres e NHO 01 – Norma de Higiene Ocupacional – Avaliação da Exposição Ocupacional ao Ruído.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Ruído

O ruído foi definido por diversos autores, como Fernandes, 2002, Almeida et al., 2000, e Ruiz et al., 2000, como uma sobreposição de sons, originados de várias fontes, sem que haja uma ordem lógica e/ou periodicidade de sua frequência e amplitude, causando uma sensação auditiva desagradável.

De acordo com Gerges, 2000, o ruído é um tipo sonoro desagradável e indesejado. O autor ainda explicita que a potencialidade de perturbações auditivas não se deve apenas ao nível do som, mas também ao tempo de exposição.

Segundo a NR-15 – “Norma Regulamentadora No.15. Atividades e operações insalubres” o ruído é classificado em três tipos: contínuo, intermitente e de impacto. Não há uma diferenciação entre o ruído contínuo e o intermitente descrito pela norma, no entanto, ela aponta apenas que estes dois tipos seriam os ruídos que não são de impacto. O ruído de impacto é caracterizado como um pico de energia sonora com duração menor que 1 segundo, com intervalos maiores que 1 segundo.

Por fim, Bistafa, 2006, define ruído como um som sem harmonia, e às vezes negativo, porém, que depende do contexto em que está sendo aplicado, pois pode transmitir úteis informações. Vale ressaltar que o nível sonoro equivalente, L_{eq} , por exemplo, pode ser definido como um nível de ruído contínuo que possui a mesma energia acústica que os níveis de origem, para um determinado intervalo de tempo. Esta definição é muito parecida com a do nível sonoro equivalente de ruído contínuo, L_{Aeq} , no entanto, o L_{Aeq} representa o nível de pressão sonora antes de se realizar a média dos NPS existentes no ambiente.

Outro conceito a ser inserido na análise do ruído, é o nível de exposição normalizado – NEN – que, de acordo com a NHO 01, corresponde ao nível médio representativo da exposição diária do trabalhador avaliado, convertido para uma jornada padrão de 8h de trabalho diárias.

O NEN é determinado pela seguinte expressão:

$$NEN = NE + 10 \log \left(\frac{T_E}{480} \right) [dB] \quad (1)$$

onde:

NE = nível médio representativo da exposição ocupacional diária

T_E = tempo de duração, em minutos, da jornada de trabalho

O NE, por sua vez, é determinado pela seguinte expressão:

$$NE = 10 \times \log \left(\frac{480}{T_E} \times \frac{D}{100} \right) + 85 [dB] \quad (2)$$

¹ RMPA – Região Metropolitana de Porto Alegre.

onde:

NE = nível de exposição

D = dose diária de ruído em porcentagem

3.2 Dose de Ruído

De acordo com Gerges, 2000, a dose é o parâmetro utilizado para caracterização da exposição ocupacional ao ruído, expresso em porcentagem de energia sonora. A capacidade de causar danos à audição não depende somente do seu nível, mas depende também do tempo de duração.

De acordo com Almeida, 2008, a Dose é um parâmetro para caracterizar a exposição ocupacional ao ruído, e esta é expressa em porcentagem. A dose tem como valor de referência a máxima energia do som permitida, estabelecida a partir dos limites de exposição determinado para uma jornada de trabalho.

Segundo a NHO-01 (BRASIL, 2001), a dose serve de índice diário de exposição e tem por referência o valor máximo de energia sonora diária permitida. Ela indica que o limite de exposição ocupacional diário ao ruído intermitente ou contínuo corresponde à dose diária igual a 100%, e que, a partir de 50%, ações já podem ser tomadas para diminuir os danos causados por esta exposição.

A dose de ruído para uma jornada de trabalho de 8h, ou Dose projetada, TWA, é determinada da seguinte forma:

$$TWA = 80 + 16,61 \times \log [(9,6 \times D)/T] \quad (3)$$

onde:

TWA = ruído médio ponderado no tempo

D (%) = dose em percentual

T (min) = tempo da medição em minutos

3.3 Efeitos Do Ruído No Corpo Humano

Segundo Mendes, Catai e Alberti, 2009, a exposição a níveis de pressão sonora elevados por longos períodos de tempo pode não apenas gerar perturbações funcionais no organismo, como também causar problemas que vão desde o incômodo até sérias lesões auditivas, as quais muitas vezes são irreversíveis.

Segundo a Associação dos Moradores do Distrito de Évora – AMDE, 2003, o ruído atua através do ouvido sobre os sistemas nervoso central e autônomo. Quando o estímulo ultrapassa certos limites, produz-se surdez e efeitos patológicos em ambos os sistemas, tanto instantâneos como ao longo do tempo. Em níveis muito menores, o ruído produz incômodo e dificulta ou impede a atenção, a comunicação, a concentração, o descanso e o sono.

De acordo com Rodrigues, 2009, o incômodo ou dano causado pelo ruído depende de suas características físicas (amplitude e frequência), do seu tempo de duração, da resposta subjetiva e suscetibilidade de cada pessoa. Dessa forma, é possível afirmar, que o ruído e o barulho são interpretações subjetivas e desagradáveis do som. Com relação ao ruído ambiental, Bistafa (2006, p. 105) define como uma superposição de ruídos, podendo ter sua natureza e origem distintas, sendo elas próximas ou remotas, contanto que estejam em superposição.

3.4 Normas para Análise do NPS e dose de ruído

Para analisar os efeitos do ruído gerado pelo Trensurb sobre os passageiros, assim como a dose de ruído sobre os condutores do veículo, e a padronização das medições, foram utilizadas normas nacionais e internacionais, tais como ISO (International Organization for

Standardization), NR (Norma Regulamentadora), NHO (Norma de Higiene Ocupacional) e ABNT NBR (Associação Brasileira de Normas Técnicas - Norma Brasileira).

Para padronizar a forma de medição e a instrumentação necessária, utilizou-se a norma internacional ISO 3381:205 – Railway application- Acoustics – Measurement of noise inside railbound vehicles e a norma NBR 13067 – Carro metropolitano e veículo leve sobre trilhos – Determinação dos níveis de ruídos. Tanto a norma ISO 3381:2005, quanto a NBR 13067, cita uma série de especificações para a realização da captação dos níveis de pressão sonora dentro de veículos que se movimentam sobre trilhos, como o posicionamento dos microfones em relação ao vagão, altura dos microfones em relação aos passageiros, condições de teste, condições do veículo, entre outras condições que devem ser respeitadas para validar a medição.

A prescrição da determinação de níveis de ruído interno em carros metropolitanos a que funcionários de operadora de sistemas e seus usuários estão sujeitos foi dada pela norma NBR 13068 - Ruídos internos e externos em carro Metropolitano e veículo leve sobre trilhos (VLT). Nos itens 5.1.1 e 5.1.2, respectivamente, da norma NBR 13068 são estipulados os níveis máximos de exposição a que os passageiros e operadores do trem podem se submeter.

De acordo com Lage, 2003 as ferrovias europeias criaram uma norma internacional para trens de média velocidade que, quanto ao conforto acústico, estabelece limites de ruído interno de 65 dB(A). Por falta de bibliografias e/ou normas nacionais, adotou-se este valor para delimitar a zona de conforto acústico de seus passageiros. Por fim, utilizaram-se as normas NR-15 – Atividades e Operações insalubres, e a NHO 01 para determinar a dose diária de ruído a que o operador do trem pode ficar exposto.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Metodologia e Equipamentos

O trabalho se baseou em comparação de dados obtidos através de medições de campo realizadas no Trensurb com as normas reguladoras, em consonância com as normas que regem a instrumentação e coleta destes dados. Durante o trabalho foram coletados os valores de nível de pressão sonora e dose de ruído.

A condução da coleta dos NPS é feita, majoritariamente, através da ISO 3381:205 – *Railway application- Acoustics – Measurement of noise inside railbound vehicles*, tendo em vista que esta é mais completa que a NBR13067. Em virtude de o veículo utilizado estar em contínuo funcionamento, causando limitações operacionais, os requisitos de medição foram adaptados de forma a viabilizar a obtenção dos dados. Desta forma, foram suprimidos os microfones, cabos e dispositivos de gravação, citados na Norma, e substituídos por dois decibelímetros posicionados nas extremidades de um vagão, conforme a NBR 13067. Outro ponto adaptado em relação à norma ISO foi a altura dos equipamentos, em razão da disponibilidade de apenas dois instrumentos. Uma vez que não pôde ser avaliado o ruído em diferentes posições, optou-se por realizar a medição na altura de 1,60m, de modo a abranger o maior público. A programação dos equipamentos seguiu a instrução da mesma Norma. A interpretação das informações foi governada pelas NBR 13067 – Carro Metropolitano - Determinação dos Níveis de ruído e NBR 13068 – Ruídos internos e externos em carro Metropolitano e veículo leve sobre trilhos (VLT).

A etapa da coleta de dados se deu desde a estação Mercado até a última estação em Novo Hamburgo. O “carro” utilizado como amostra da análise de conforto acústico foi o primeiro da composição durante todo o tempo que durou a viagem de “ida”. O mesmo vagão foi utilizado na “volta”, desta vez, como último carro da composição, totalizando duas viagens completas.

Os dispositivos utilizados para realização dessa mensuração foram dois decibelímetros da marca Brüel and Kjaer, modelo 2250, de classe 1, dois tripés e uma planilha de anotações.



Figura 4.1 – Decibelímetro utilizado em medição de campo.

Os decibelímetros foram fixados nos tripés, que foram posicionados na linha central em relação ao eixo longitudinal do vagão, a uma distância aproximada de 30 cm das paredes que formam as extremidades dos vagões. A norma ISO 3381 indica que a altura dos decibelímetros que captam o ruído percebido pelos passageiros que estão em pé deve ser de 1,60m em relação ao piso. Portanto, ambos os decibelímetros utilizados no trabalho foram mantidos a esta altura durante toda a etapa experimental, uma vez que o número de passageiros em pé é muito superior aos passageiros sentados, abrangendo a percepção da maioria dos usuários do trem, como indica a figura 4.2.



Figura 4.2 – Decibelímetros fixados em tripés, a 1,6m do piso, na linha central ao eixo longitudinal.

Os decibelímetros foram programados para captar os níveis de pressão sonora ponderados em (A), obtidos de um em um segundo, num espectro de frequência variado de 16Hz à 16kHz, no circuito de resposta lenta (SLOW), em campo fechado.

O software utilizado para a leitura dos dados captados pelos decibelímetros foi o BZ5503 - Measurement Partner Suite, desenvolvido pela empresa Bruel and Kjaer.

O vagão utilizado no trajeto de ida (Mercado Público/Novo Hamburgo) foi o primeiro vagão da composição, ou seja, o mais próximo da cabine do operador. Este vagão é chamado de carro motor e tem uma característica diferente dos carros reboques: ele não tem porta de conexão na parede de uma de suas extremidades, a parede que faz divisa com a cabine. Ou seja, apenas a parede oposta a da cabine do condutor tem porta, que dá acesso à articulação em que se encontra o eixo que interliga os outros carros, conforme indicado na figura 4.4.



Figura 4.3 – Carro motor da composição, sem porta de conexão com a cabine.

O processo de aquisição da dose de ruído foi regido pela NR-15 – Atividades e Operações insalubres, e pela NHO 01 – Normas de Higiene Ocupacional – Avaliação da exposição ocupacional ao ruído, que estabeleceram tanto as condições de medição, quanto a interpretação dos dados.

Para coleta de dados que foram utilizados para a análise de exposição aos níveis de ruído a que o operador foi submetido, foram utilizados dois “dosímetros de ruídos” (DOS 500). Um dos dosímetros foi configurado para os parâmetros da Norma NR-15, e o outro dosímetro foi configurado para os parâmetros da norma NHO 01.

Em concordância com as normas, os dosímetros, ou medidores integradores de uso pessoal, foram programados para os seguintes parâmetros:

- Circuito de ponderação – “A”
- Circuito de resposta – lenta (slow)
- Critério de referência – 85 dB(A), que corresponde a dose de 100% para uma exposição de 8 horas
- Nível limiar de integração – 80dB (A)
- Faixa de medição mínima – 80 a 115 dB(A)
- Incremento de duplicação de dose = 5 ($q = 5$) (para a NR-15)
- Incremento de duplicação de dose = 3 ($q = 3$) (para a NHO01)
- Indicação de ocorrência de níveis superiores a 115 dB(A)

Esses equipamentos foram posicionados na cintura dos operadores, e seus microfones fixados na lapela de suas camisas, estando, assim, dentro da zona auditiva dos operadores, conforme estabelecido pela norma NHO01, durante todo o tempo que durou cada um dos trechos.



Figura 4.4 – Dosímetro de ruído utilizado na medição de campo.

O parâmetro que foi retirado dos decibelímetros e utilizado na avaliação de conforto acústico foi o nível sonoro equivalente de ruído contínuo ponderado em “A”, convencionalmente chamado de L_{Aeq} , pois este, de acordo com a norma ISO 1996-1:2003 – “*Acoustics - Description and measurement of environmental noise - Part 1: Basic quantities and procedures*”, representa o nível de um som estacionário que, para um determinado intervalo de tempo, tem a mesma energia sonora do ruído em questão, cujo nível varia temporalmente. Para o estudo de avaliação de exposição ao ruído ocupacional, o L_{Aeq} é comumente utilizado, além de ser usado, também, como referência para verificação de ruído ambiental.

Gerges, 2000, diz que o L_{Aeq} representa o potencial de lesão auditiva do nível oscilante, que, além de depender de seu nível, depende também de sua duração. O L_{Aeq} permite que seja avaliado o nível de ruído contínuo equivalente a que os passageiros do Trensurb estão submetidos, uma vez que estes estão expostos a vários tipos de ruídos, originalmente variáveis.

A norma NBR 13068 indica que, quanto ao ruído no interior do salão de passageiros, para carros metropolitanos, o nível de pressão sonora ponderada deve ser de, no máximo, 80 dB(A).

Já para avaliação da dose de ruído, como foram utilizados dois dosímetros junto ao operador na ida, e os mesmos dosímetros junto a outro operador na volta, obtiveram-se, portanto, quatro resultados.

Os resultados da medição com os dosímetros já apresentam equalização dos dados medidos com os avaliados em Norma (dose de ruído), portanto, não necessitou de qualquer outra ação, que não a comparação direta com os valores permissíveis.

4.2 Modelo do Trem Analisado

O Trensurb conta com uma frota de trens composta por modelos antigos e um modelo novo. Após reunião com os engenheiros da empresa, foi constatado que o modelo antigo emite mais ruído que o modelo novo, portanto, optou-se por utilizar o modelo antigo, por ser o pior caso referente à emissão de ruído.

As medições foram realizadas em condições normais de operação do trem, ou seja, com presença de passageiros, a uma velocidade normal média de aproximadamente 70 km/h, ao longo de todo o trajeto.

Atualmente a Trensurb opera uma linha de trens urbanos com extensão de 43,8 quilômetros, no eixo norte da Região Metropolitana de Porto Alegre, com 22 estações e uma frota de 25 trens, composta pelo modelo antigo, os chamados Série 100, e outra frota de 15 trens novos, denominados de Série 200, atendendo a seis municípios: Porto Alegre, Canoas, Esteio, Sapucaia do Sul, São Leopoldo e Novo Hamburgo.

Os trens série 100 da Linha 1 foram fornecidos por consórcio japonês liderado pela MITSUI & CO., tendo sido fabricados pelas empresas NIPPON SHARIO SEIZO KAISHA LTD., HITACHI LTD. e KAWASAKI HEAVY INDUSTRIES LTD. Cada trem tem a denominação de Trem Unidade Elétrica (TUE) constituído de quatro carros, sendo dois carros motores MA e MB, nas pontas e dois carros reboques RA e RB, no meio. A composição básica é constituída de MA-RA-RB-MB, podendo ser operado em unidade simples, como também em até três unidades acopladas (12 carros).

Já os 15 TUEs série 200 foram fornecidos pelo consórcio FrotaPoa, formado por Alstom e CAF.



Figura 4.5 – Trem novo (a) e trem velho (b) da empresa Trensurb.

5 Resultados

Inicialmente, no item 5.1, foram verificados, através de gráficos e tabelas, os valores de NPS acima do permitido pela norma, as frequências de ocorrência dos valores de pico, os instantes, horários e estações em que estes ocorreram.

Após esta análise, no item 5.2, foram realizados cálculos de nível de exposição normalizada, para verificar se os passageiros estariam expostos a níveis admissíveis caso as viagens correspondessem a uma jornada de trabalho de 8 horas.

Por fim, no item 5.3, foram analisadas a dose de ruído e a dose de ruído para uma jornada de trabalho de 8 horas, a que os operadores de trem estiveram expostos, para uma viagem de ida, sentido Mercado Público/NH, e outra para a viagem de volta, sentido NH/Mercado Público, e comparadas com os valores permissíveis pelas normas NR-15 e NHO 01.

5.1 Resultados para NPS dos Passageiros

Como foram utilizados dois decibelímetros em duas situações diferentes, ida e volta, porém no mesmo carro motor, quatro projetos foram obtidos e avaliados: dois projetos na ida e dois projetos na volta. Portanto, algumas convenções para facilitar o entendimento dos resultados foram adotadas: Chamou-se de *Projeto Deci 01* o decibelímetro mais próximo à cabine na ida, de *Projeto Deci 10* o decibelímetro mais afastado da cabine, também na ida, de *Projeto Deci 02* o decibelímetro mais perto da cabine na volta, e de *Projeto Deci 11* o decibelímetro mais afastado da cabine na volta.

5.1.1 Projetos de Ida

As tabelas 5.1 e 5.2, a seguir, foram construídas da seguinte forma: sobre todos os valores de LA_{eq} , tomados de um em um segundo, obtidos para cada projeto, foi feita uma análise de porcentagem de ocorrência para valores abaixo ou igual a 65 dB(A) (região de conforto), abaixo ou igual a 80 dB(A) (região de segurança a saúde), entre 80 dB(A) e 85 dB(A) e acima de 85 dB(A).

Tabela 5.1- Faixa de valores de LA_{eq} para os projetos de ida.

Projeto 01		
Faixas de ruído	Ocorrências	Porcentagem
$LA_{eq} \leq 65,00$	0	0,00%
$LA_{eq} \leq 80,00$	934	30,05%
$80,00 < LA_{eq} \leq 85,00$	1333	42,89%
$LA_{eq} > 85,00$	841	27,06%
TOTAL	3108	100,00%
$LA_{eq} > 80,00$	2174	69,95%

Projeto 10		
Faixas de ruído	Ocorrências	Porcentagem
$LA_{eq} \leq 65,00$	0	0,00%
$LA_{eq} \leq 80,00$	988	32,40%
$80,00 < LA_{eq} \leq 85,00$	1072	35,16%
$LA_{eq} > 85,00$	989	32,44%
TOTAL	3049	100,00%
$LA_{eq} > 80,00$	2061	67,60%

Após a análise dos decibelímetros, verificou-se que o nível de pressão sonora equivalente ponderado em “A”, L_{Aeq} , em vários pontos do trajeto do Trensurb, na ida, ficaram acima do valor permissível pela norma NBR13068, de 80dB(A), para ambas as extremidades do vagão, como indica a tabela 1.

Conforme tabela 1, pôde-se verificar que, dos dados totais obtidos, 69,95% das ocorrências, para o decibelímetro mais próximo da cabine, ficaram em níveis inaceitáveis, podendo gerar danos à saúde dos passageiros. Já para o decibelímetro mais afastado da cabine, 67,60% dos dados ficaram nesta mesma condição.

Quanto ao valor limite para o conforto acústico, pôde-se perceber que em nenhum momento os passageiros estiveram expostos a níveis aceitáveis, podendo-se concluir que 100% do tempo de viagem é desconfortável acusticamente para os usuários do trem.

A partir da linha de tendência criada nos gráficos das figuras 5.1 e figura 5.2, percebeu-se que os níveis de pressão sonora aumentam de acordo com o avanço da trajetória, e tem seus picos atingidos em dois momentos diferente, e nos mesmos instantes de tempo.

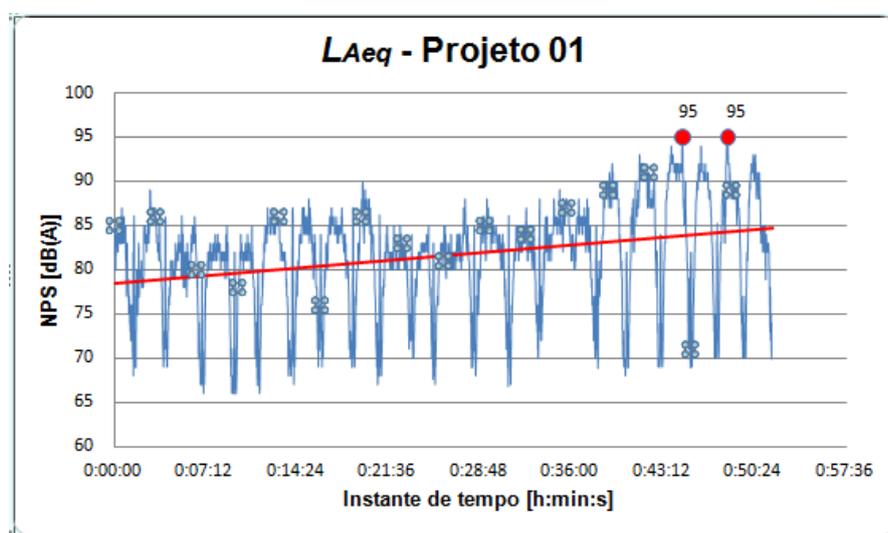


Figura 5.1 – Gráfico do comportamento dos NPS por tempo para o projeto 01.

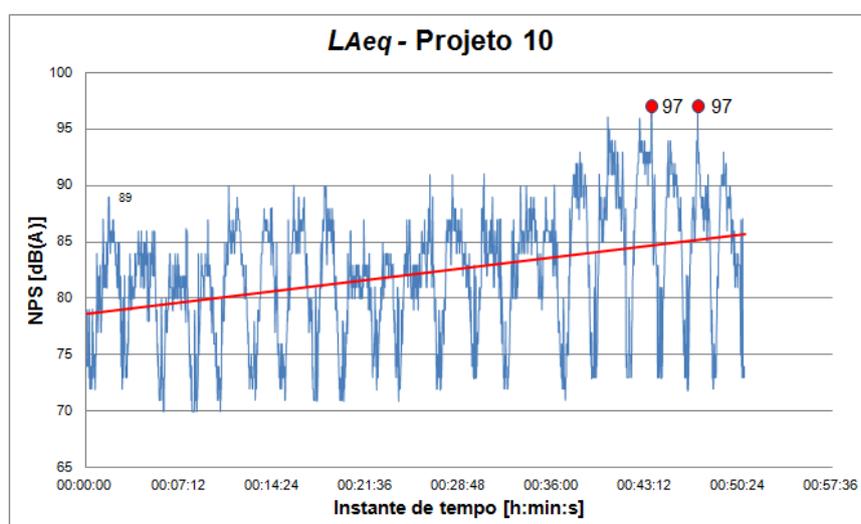


Figura 5.2 – Gráfico do comportamento dos NPS por tempo para o projeto 10.

Estes dois instantes de tempo correspondem a dois horários diferentes: 15h 22min e 15h 24min, respectivamente. A Figura A.3 do apêndice indica que estes instantes de tempo

ocorreram nas estações Rio dos Sinos e Santo Afonso, respectivamente, no momento em que houve uma frenagem.

A figura 5.3, a seguir, mostra a avaliação dos NPS com relação ao espectro de frequência, para dois horários distintos: *Série 1* às 15h24min e *Série 2* às 14h38min. A partir da Figura A.3 do apêndice, pode-se verificar que a *Série 2*, em vermelho, toma um horário correspondente à estação Mercado Público, e a *Série 1*, toma um horário correspondente à estação Santo Afonso, no percurso de ida.

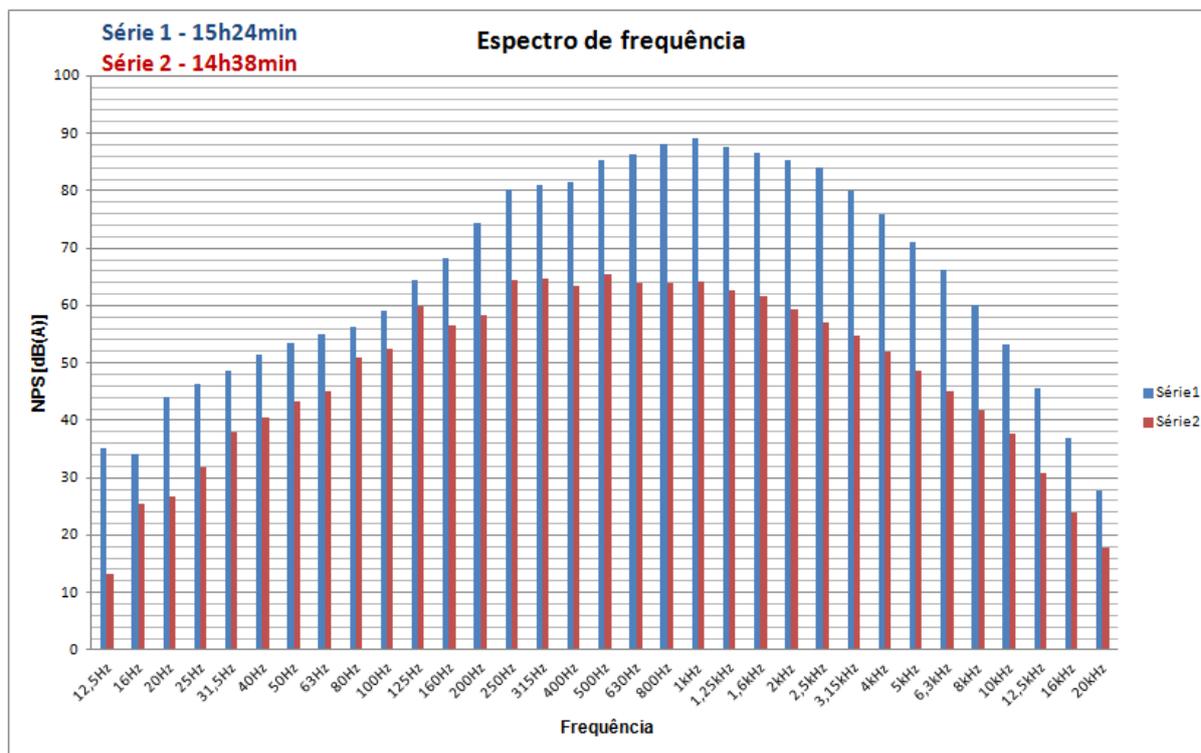


Figura 5.3 – Espectro de frequência para o percurso de ida.

Este espectro indica que há uma elevação considerável dos valores de NPS para cada banda de frequência na *Série 1*, o que reforça a ideia de que a alteração das condições e/ou material da via, pode ter influência na emissão de ruído.

Por fim, verificou-se que o decibelímetro mais próximo à cabine teve um valor de pico mais elevado que o decibelímetro que foi posicionado na outra extremidade, indicando que este lado do vagão é levemente mais crítico para os passageiros.

5.1.2 Projetos de Volta

Os projetos obtidos na volta resultaram no mesmo comportamento que na ida, com valores de pico semelhantes, mesmos trechos onde ocorreram estes picos, nenhum valor igual ou abaixo do limite para o conforto acústico, bem como a porcentagem de ocorrências acima de 80 dB(A), haja vista que o percurso de volta é exatamente o mesmo que o de ida, mudando, apenas, o sentido.

A tabela 3 indica que as ocorrências acima do permitido ficaram em torno dos 68% para ambos decibelímetros.

Tabela 5.2 - Faixa de valores de L_{Aeq} para os projetos de volta.

Projeto 02			Projeto 11		
Faixas de ruído	Ocorrências	Porcentagem	Faixas de ruído	Ocorrências	Porcentagem
$L_{Aeq} \leq 65,00$	0	0,00%	$L_{Aeq} \leq 65,00$	0	0,00%
$L_{Aeq} \leq 80,00$	1027	31,47%	$L_{Aeq} \leq 80,00$	1014	31,16%
$80,00 < L_{Aeq} \leq 85,00$	1125	34,48%	$80,00 < L_{Aeq} \leq 85,00$	1102	33,87%
$L_{Aeq} > 85,00$	1111	34,05%	$L_{Aeq} > 85,00$	1138	34,97%
TOTAL	3263	100,00%	TOTAL	3254	100,00%
$L_{Aeq} > 80,00$	2236	68,53%	$L_{Aeq} > 80,00$	2240	68,84%

A partir das figuras 5.3 e 5.4, que ilustram os gráficos dos projetos de volta, pode-se perceber que os máximos valores de NPS ocorrem nos mesmos instantes de tempo, correspondendo aos mesmos horários.

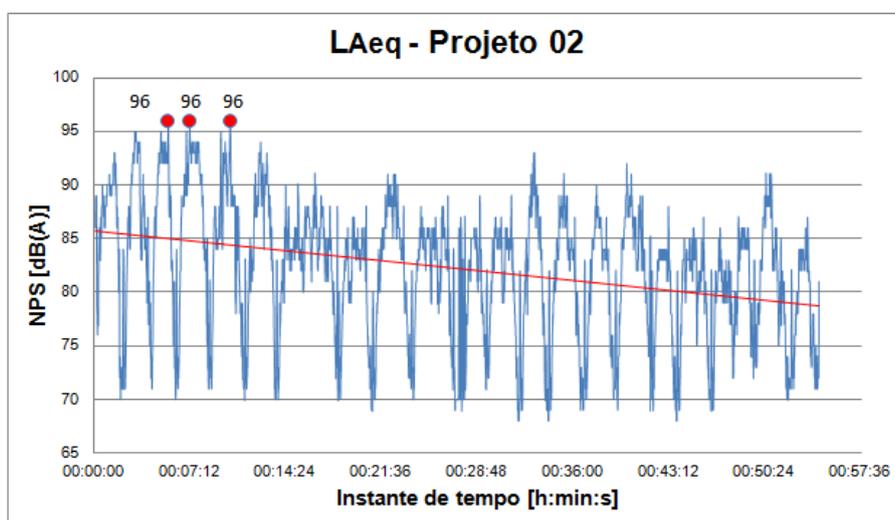


Figura 5.4 – Gráfico do comportamento dos NPS por tempo para o projeto 02.

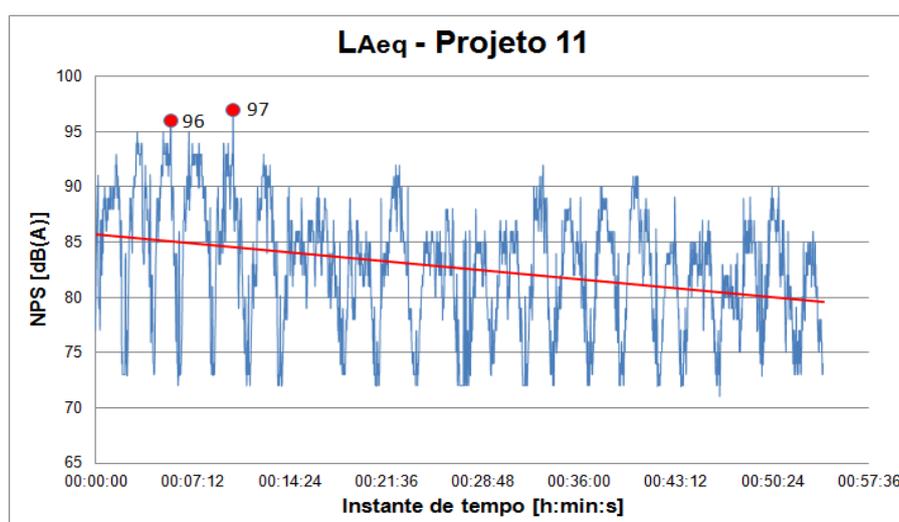


Figura 5.5 – Gráfico do comportamento dos NPS por tempo para o projeto 11.

Os valores de pico ocorreram nos mesmos instantes de tempo, e correspondem aos horários 15h43min e 15h47min.

Em conformidade com os projetos de ida, o decibelímetro instalado na parede que faz divisa com a cabine teve seu valor de pico levemente maior que o outro decibelímetro.

Portanto, notou-se que, indiferentemente do sentido em que o trem está se locomovendo, o lado mais crítico em relação ao ruído é o do lado da cabine.

A Figura 5.6 indica o espectro de frequência para o percurso de volta. A *Série 1* e *Série 2*, deste gráfico, correspondem às estações Santo Afonso e Mercado público, respectivamente.

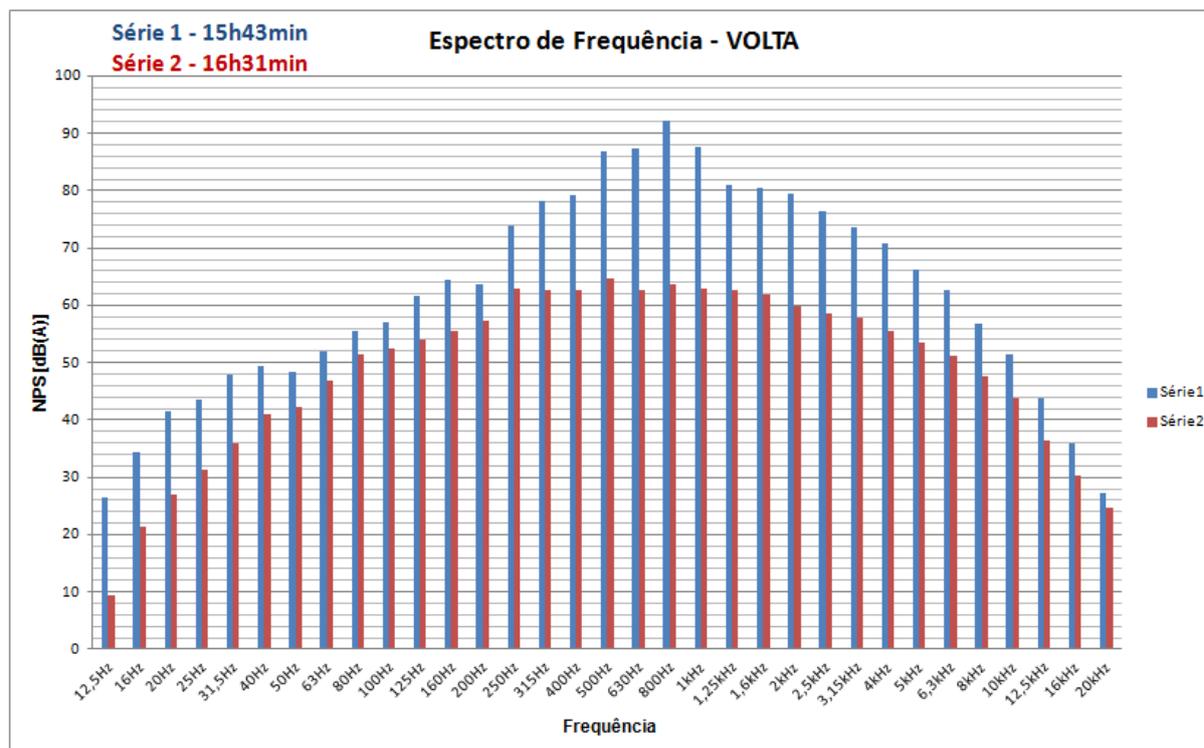


Figura 5.6 – Espectro de frequência para o percurso de volta.

Assim como na ida, é possível perceber que os valores de NPS são maiores para a mesma banda de frequência na estação Santo Afonso.

Por fim, fazendo o cruzamento dos horários em que ocorreram os picos com a figura A.4 do apêndice, verificou-se que estes ocorreram nas mesmas estações em que ocorreram os picos na ida.

5.2 Cálculo de Nível de Exposição Normalizada

As normas NR-15 e NHO 01 consideram apenas valores de nível de pressão sonora a partir de 80 dB(A) para o cálculo do nível de exposição. No entanto, devido ao valor de incremento de dose ser menor na NHO 01 do que na NR-15, esta se mostra mais conservadora, no sentido de preservar mais o trabalhador, fornecendo um valor de dose diária mais alta para uma mesma jornada de trabalho, como pode ser visto nas figuras A.1 e A.2 do anexo.

Portanto, após a análise temporal de exposição dos valores pertinentes que se enquadram nas características da norma, adotou-se a dose de exposição diária da NHO 01 para a realização dos cálculos de NE e NEN, conforme equações (2) e (1), respectivamente.

A tabela 5.1 abaixo exprime o resultado da análise para os quatro projetos.

Tabela 5.3 – Nível de exposição normalizada para os quatro projetos.

Projeto	Dose diária - D [%]	Nível de exposição - NE [dB]	Nível de exposição normalizada para 8h de trabalho - NEN [dB]
Projeto Deci 01	10,0	84,6	75,0
Projeto Deci 02	12,9	85,8	76,1
Projeto Deci 10	11,4	85,2	75,6
Projeto Deci 11	13,0	85,8	76,1

Pode-se perceber pela tabela 5.1, que se os passageiros do Trensurb ficassem expostos, durante 8h contínuas, aos níveis de pressão sonora contínua intermitente resultantes do cálculo de NEN, estes estariam seguros, sem o risco de insalubridade, uma vez que os valores calculados ficaram dentro da faixa permissível indicada pelas normas competentes.

5.3 Resultados para Dose de Ruído do Condutor

Dado que o dosímetro já fornece diretamente os valores de dose de exposição medidos em campo, sem haver a necessidade de tratamento de dados, uma análise comparativa direta foi realizada para verificar se os valores estavam dentro dos parâmetros aceitáveis.

Tabela 5.4 – Dose de ruído e dose de ruído para uma jornada de trabalho de 8h para as normas NR-15 e NHO 01.

Dosímetro NHO 01			Dosímetro NR – 15		
Parâmetros	Ida	Volta	Parâmetros	Ida	Volta
Tempo de duração	00h56min	01h05min	Tempo de duração	00h56min	01h05min
Dose diária	63.44 %	17.48 %	Dose diária	13.15 %	3.58 %
Dose diária para 8h	83.0 %	77.4 %	Dose diária para 8h	70.4 %	61.0 %

Pode-se verificar que os valores de dose diária ficaram muito abaixo dos 100%, que seria o limite de exposição permitido para a duração da viagem. No entanto, após convertida para uma jornada de trabalho de 8 horas, esses valores aumentaram consideravelmente.

Apesar deste aumento significativo, nem mesmo o maior valor obtido dos quatro projetos, chegou perto de atingir o limite de exposição diária.

A partir da tabela 5.2 é notório que as maiores doses de ruído ocorreram no percurso de ida.

É possível perceber, também, que, como esperado, o dosímetro de ruído configurado para a norma NHO 01 apresentou valores de dose maior devido ao seu incremento ser menor que para a norma NR-15.

No entanto, todos os projetos resultaram em valores maiores que 50%, o que indica uma necessidade de que medidas sejam tomadas, a fim de minimizar a probabilidade de que a exposição ultrapasse os limites de exposições.

6. Conclusões

De acordo com as tabelas e gráficos gerados nos projetos, com relação à análise de conforto, em comparação com a norma europeia citada por Lage, 2003, verificou-se que em nenhum momento, tanto para o percurso de ida quanto percurso de volta, a emissão de ruído ficou igual ou abaixo do nível de 65 dB(A).

Após comparação dos valores obtidos em campo com os permissíveis pela NBR 13068, pode-se perceber que em mais da metade do tempo de viagem, ocorreu emissão de ruído superior ao permitido, de 80 dB(A) (aproximadamente 68%).

De acordo com Paiva e Bertoli, 1996, após estudo preliminar, verificou-se que quanto piores as condições da via permanente, maior é o ruído gerado. Portanto, este estudo preliminar permite inferir que, um dos motivos para o aumento dos valores de NPS, durante percurso de ida, sentido Mercado Público/NH, seja devido à piora e/ou alteração das condições da via utilizada pelo Trensurb.

Entretanto, depois de realizado o estudo de nível de exposição normalizada, para uma jornada de trabalho de 8 horas, ficou constatado que os passageiros estiveram expostos a um nível de pressão sonora inferior a 85 dB(A), conforme regem as normas competentes. Isto indica que, apesar dos valores instantâneos de NPS atingirem níveis acima do permissível, os passageiros não estariam submetidos a uma atividade insalubre.

No que se refere à dose de ruído a que os operadores do trem estão expostos, verificou-se que a cabine do trem encontra-se em condições aceitáveis para qualquer jornada de trabalho.

Conclui-se, portanto, que mesmo o trem não apresentando risco de insalubridade a seus operadores, o nível de ruído suportado pelos passageiros, dentro dos vagões, mostrou-se superior ao estabelecido pela norma NBR 13068, e que medidas devem ser tomadas, com o propósito de não expor seus passageiros a riscos de danos e/ou lesões.

Uma solução que se apresenta viável, dentro desse quadro, seria climatizar os vagões, lacrando-se as janelas, na tentativa de isolar a fonte, impedindo, ao máximo, que o ruído exterior passe para o interior do trem.

Analisar a cabine do operador do trem com decibelímetros, com o intuito de avaliar os níveis de pressão sonora instantâneos e equivalentes, e seu espectro de frequência, bem como um estudo mais aprofundado da relação que a via permanente têm com a emissão de ruídos, são propostas para um futuro trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, S. I. C. et al. **“História natural da perda auditiva ocupacional provocada por ruído”**. Revista Brasileira de Otorrinolaringologia. Vol. 46, n. 2. São Paulo: 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **“NBR 13067: Carro Metropolitano - Determinação dos Níveis de ruído”**. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **“NBR 13068: Ruídos internos e externos em carro Metropolitano e veículo leve sobre trilhos (VLT)”**. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO DOS MORADORES DO DISTRITO DE ÈVORA (AMDE). Évora – Portugal, 2003. Disponível em: <http://www.amde.pt>. Acessado 30/10/2016.

BISTAFA, S. R. B. **“Acústica Aplicada ao Controle do Ruído”**. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

FEDOZZI, L. J.; SOARES, P. R. R. (2015). **“Porto Alegre: transformações na ordem urbana”**. 1ª Ed. Rio de Janeiro: Letra Capital: Observatório das Metrôpoles.

FERNANDES, J. C. **“Higiene do Trabalho – Acústica e Ruídos”**. Apostila do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus de Bauru, Bauru, São Paulo, 2002.

GERGES, S.N.Y. **“Ruído: fundamentos e controle”**. 2ª ed. Florianópolis: NR, 2000. 696p.

IIDA, I. **“Ergonomia – Projeto e Produção”**. 2º edição revisada e ampliada. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

ISO 1996-1:2003. **“Acoustics - Description and measurement of environmental noise - Part 1: Basic quantities and procedures”**. International Organization for Standardization, 2003.

ISO 3381:2005(E). **“Railway applications – Acoustics - Measurement of noise inside railbound vehicles”**. International Organization for Standardization, 2005.

LAGE, J. T. **“Níveis de Ruído no Interior de Trens Metropolitanos - Caso São Paulo”**. Campinas: 2003. Disponível: www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?down=vtls000305143. Acessado 15/11/2016.

MENDES, M. H.; CATAI, R. E.; ALBERTI, M. E. **“Avaliação dos níveis de pressão sonora aos quais músicos de uma banda estão expostos”**. Curitiba: 2009. Disponível em: <https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/download/270/345>. Acessado 22/10/2016.

NHO-01. **“Normas de Higiene Ocupacional. Procedimento Técnico - Avaliação da Exposição Ocupacional ao Ruído”**. 2001.

NR-15. **“Norma Regulamentadora No.15. Atividades e operações insalubres”**. 2014. <http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr15.html>. Acessado 02/10/2016.

PAIVA, C. E. L.; BERTOLI, S. R. **“Ruídos Provocados por Sistemas Ferroviários - Levantamento Inicial”**. In: Congresso Internacional de Sistemas de Controle e Cargas Ferroviárias, ABNT, Florianópolis, 1996.

RUIZ, C. de A. et al. **“Manual de Consenso – O estudo do Ruído”**. São Paulo, 2000. www.higieneocupacional.com.br/download/ruído-conrado.doc. Acessado 22/10/2016.

ANEXO A

Nível de ruídoB(A)	Tempo máximo diário permissível (Tn) (minutos)
80	1.523,90
81	1.209,52
82	960,00
83	761,95
84	604,76
85	480,00
86	380,97
87	302,38
88	240,00
89	190,48
90	151,19
91	120,00
92	95,24
93	75,59
94	60,00

Figura A.1 – Tempo máximo diário de exposição permissível em função do nível de ruído da NHO 01.

NIVEL DE RUJIDO DB (A)	MAXIMA EXPOSIÇÃO DIARIA PERMISSIVEL
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

Figura A.2 – Tempo máximo diário de exposição permissível em função do nível de ruído da NR -15.

IDA				HORÁRIO	INTERVALO DE TEMPO	
ESTAÇÕES	ARRANCADA	CURVA	PARADA		INÍCIO/FIM	
Mercado	14:38:00			14:38:00	0:00:01	0:00:14
Rodoviária			14:42:00	14:42:00	0:03:15	0:04:14
		14:42:00		14:43:00	0:04:15	0:05:14
São Pedro	14:44:00		14:44:00	14:44:00	0:05:15	0:06:14
Farrapos	14:46:00		14:46:00	14:46:00	0:07:15	0:08:14
Aeroporto	14:48:00		14:48:00	14:48:00	0:09:15	0:10:14
Anchieta			14:50:00	14:50:00	0:10:15	0:11:14
	14:51:00			14:51:00	0:11:15	0:12:14
Niterói	14:53:00		14:53:00	14:53:00	0:14:15	0:15:14
Fátima			14:55:00	14:55:00	0:16:15	0:17:14
	14:56:00	14:56:00		14:56:00	0:17:15	0:18:14
Canoas/La Salle			14:57:00	14:57:00	0:18:15	0:19:14
	14:58:00			14:58:00	0:19:15	0:20:14
Mathias Velho		14:59:00		14:59:00	0:20:15	0:21:14
	15:00:00		15:00:00	15:00:00	0:21:15	0:22:14
São Luis/ULBRA		15:01:00		15:01:00	0:22:15	0:23:14
	15:02:00		15:02:00	15:02:00	0:23:15	0:24:14
Petrobrás		15:03:00		15:03:00	0:24:15	0:25:14
		15:04:00		15:04:00	0:25:15	0:26:14
	15:05:00	15:05:00	15:05:00	15:05:00	0:26:15	0:27:14
		15:06:00		15:06:00	0:27:15	0:28:14
Esteio		15:07:00		15:07:00	0:28:15	0:29:14
	15:08:00		15:08:00	15:08:00	0:29:15	0:30:14
		15:09:00		15:09:00	0:30:15	0:31:14
Luiz Pasteur		15:09:00		15:10:00	0:31:15	0:32:14
	15:10:00	15:10:00	15:10:00	15:10:00	0:32:15	0:33:14
		15:11:00		15:11:00	0:33:15	0:34:14
		15:12:00		15:12:00	0:34:15	0:35:14
Sapucaia		15:13:00		15:13:00	0:35:15	0:36:14
	15:15:00		15:14:00	15:15:00	0:36:15	0:37:14
Unisinos		15:16:00		15:16:00	0:37:15	0:38:14
	15:17:00		15:17:00	15:17:00	0:38:15	0:39:14
		15:18:00		15:18:00	0:39:15	0:40:14
São Leopoldo		15:19:00		15:19:00	0:40:15	0:41:14
	15:20:00		15:20:00	15:20:00	0:41:15	0:42:14
Rio dos Sinos		15:22:00	15:22:00	15:22:00	0:43:15	0:44:14
Santo Afonso	15:24:00		15:24:00	15:24:00	0:45:15	0:46:14
		15:25:00		15:25:00	0:46:15	0:47:14
Industrial	15:26:00		15:26:00	15:26:00	0:47:15	0:48:14
Fenac	15:28:00	15:28:00	15:28:00	15:28:00	0:49:15	0:50:14
NH			15:29:00	15:29:00	0:50:15	0:50:49

Figura A.3 – Planilha de parâmetros e estações na ida.

VOLTA				HORÁRIO	INTERVALO DE TEMPO		
ESTAÇÕES	ARRANCADA	CURVA	PARADA		INÍCIO/FIM		
NH	15:37:00	15:37:00		15:37:00	0:00:01	0:00:17	
		15:37:00					
Fenac	15:39:00		15:39:00	15:39:00	0:01:17	0:02:16	
		15:40:00		15:40:00	0:02:17	0:03:16	
		15:40:00			15:41:00	0:03:17	0:04:16
Industrial	15:41:00		15:41:00	15:43:00	0:05:17	0:06:16	
Santo Afonso	15:43:00		15:43:00	15:44:00	0:06:17	0:07:16	
		15:44:00			15:45:00	0:07:17	0:08:16
Rio dos Sinos	15:46:00	15:46:00		15:46:00	0:08:17	0:09:16	
		15:47:00			15:47:00	0:09:17	0:10:16
	15:48:00	15:48:00	15:48:00	15:48:00	0:10:17	0:11:16	
São Leopoldo		15:49:00		15:49:00	0:11:17	0:12:16	
		15:50:00	15:50:00	15:50:00	0:12:17	0:13:16	
	15:51:00			15:51:00	0:13:17	0:14:16	
Unisinós		15:52:00		15:52:00	0:14:17	0:15:16	
		15:52:00		15:53:00	0:15:17	0:16:16	
		15:53:00		15:54:00	0:16:17	0:17:16	
		15:53:00		15:55:00	0:17:17	0:18:16	
		15:54:00		15:56:00	0:18:17	0:19:16	
		15:54:00		15:55:00	0:19:17	0:20:16	
Sapucaia	15:55:00		15:55:00	15:57:00	0:20:17	0:21:16	
		15:56:00		15:58:00	0:22:17	0:23:16	
		15:56:00		16:00:00	0:23:17	0:24:16	
Luiz Pasteur	15:58:00	15:58:00	15:58:00	16:01:00	0:24:17	0:25:16	
		16:00:00	16:00:00	16:02:00	0:25:17	0:26:16	
Esteio	16:01:00			16:03:00	0:26:17	0:27:16	
		16:02:00		16:04:00	0:27:17	0:28:16	
		16:03:00		16:05:00	0:28:17	0:29:16	
		16:03:00		16:06:00	0:29:17	0:30:16	
Petrobrás			16:04:00	16:07:00	0:30:17	0:31:16	
São Luis/ULBRA	16:05:00			16:08:00	0:31:17	0:32:16	
		16:06:00	16:06:00	16:09:00	0:32:17	0:33:16	
Mathias Velho	16:07:00			16:10:00	0:33:17	0:34:16	
	16:09:00		16:09:00	16:11:00	0:35:17	0:36:16	
Canoas/La Salle	16:11:00		16:11:00	16:13:00	0:36:17	0:37:16	
Fátima		16:13:00	16:13:00	16:14:00	0:38:17	0:39:16	
	16:14:00	16:14:00		16:16:00	0:39:17	0:40:16	
Niterói	16:16:00		16:16:00	16:17:00	0:41:17	0:42:16	
		16:17:00		16:19:00	0:42:17	0:43:16	
Anchieta	16:19:00		16:19:00	16:20:00	0:43:17	0:44:16	
Aeroporto		16:20:00	16:20:00	16:21:00	0:44:17	0:45:16	
	16:21:00	16:21:00		16:22:00	0:45:17	0:46:16	
		16:22:00		16:23:00	0:47:17	0:48:16	
Farrapos	16:23:00		16:23:00	16:25:00	0:48:17	0:49:16	
		16:25:00		16:26:00	0:49:17	0:50:16	
		16:25:00		16:27:00	0:50:17	0:51:16	
		16:25:00		16:28:00	0:51:17	0:52:16	
São Pedro	16:27:00		16:26:00	16:29:00	0:52:17	0:53:16	
		16:28:00		16:30:00	0:53:17	0:54:14	
Rodoviária	16:29:00		16:29:00	16:31:00			
		16:30:00					
Mercado			16:31:00				

Figura A.4 – Planilha de parâmetros e estações na volta.

Partidas da Estação Mercado		
Faixa horária	Trecho	Intervalo entre trens (minutos)
5h06 - 5h49	Mercado - Novo Hamburgo	15
5h49 - 7h19	Mercado - Novo Hamburgo	10
6h54 - 7h24	Mercado - Sapucaia	5
7h19 - 8h41	Mercado - Novo Hamburgo	8
7h24 - 7h53	Mercado - Sapucaia	4
8h01 - 8h41	Mercado - Novo Hamburgo	8
8h41 - 16h11	Mercado - Novo Hamburgo	10
16h11 - 17h07	Mercado - Novo Hamburgo	8
17h07 - 17h52	Mercado - Novo Hamburgo	10
17h07 - 17h52	Mercado - Sapucaia	5
17h52 - 18h47	Mercado - Novo Hamburgo	7
17h52 - 18h47	Mercado - Sapucaia	3,5
18h47 - 19h07	Mercado - Novo Hamburgo	10
18h47 - 19h07	Mercado - Sapucaia	5
19h07 - 19h26	Mercado - Novo Hamburgo	8
19h26 - 20h56	Mercado - Novo Hamburgo	10
20h56 - 22h01	Mercado - Novo Hamburgo	13
22h01 - 23h01	Mercado - Novo Hamburgo	10
23h01 - 23h25	Mercado - Novo Hamburgo	12

Figura A.5 – Horário de operação do trem na ida.

Partidas da Estação Novo Hamburgo*		
*Nos horários de pico, partidas também das estações Mathias Velho (somente pela manhã) e Sapucaia		
Faixa horária	Trecho	Intervalo entre trens (minutos)
5h03 - 6h41	Novo Hamburgo - Mercado	10
6h02 - 6h46	Sapucaia - Mercado	5
6h41 - 7h09	Novo Hamburgo - Mercado	6
6h46 - 6h54	Sapucaia - Mercado	4
7h09 - 7h25	Novo Hamburgo - Mercado	8
6h54 - 7h24	Sapucaia - Mercado	3
7h16 - 7h37	Mathias Velho - Mercado	3
7h25 - 8h25	Novo Hamburgo - Mercado	10
7h24 - 7h44	Sapucaia - Mercado	4
7h44 - 8h44	Sapucaia - Mercado	5
8h25 - 9h21	Novo Hamburgo - Mercado	8
9h21 - 16h50	Novo Hamburgo - Mercado	10
16h50 - 17h48	Novo Hamburgo - Mercado	8
17h54 - 18h36	Sapucaia - Mercado	4
17h48 - 20h06	Novo Hamburgo - Mercado	10
20h06 - 21h56	Novo Hamburgo - Mercado	11
21h56 - 22h47	Novo Hamburgo - Mercado	10
22h47 - 23h18	Novo Hamburgo - Mercado	13

Figura A.6 – Horário de operação do trem na volta.