

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE  
CURSO DE ENGENHARIA AUTOMOTIVA

LUCAS BELETATTI AVANSI

AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE POTÊNCIA SONORA EMITIDO POR UM TRATOR  
UTILIZADO PARA CORTAR GRAMA.

Joinville

2019

LUCAS BELETATTI AVANSI

AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE POTÊNCIA SONORA EMITIDO POR UM TRATOR  
UTILIZADO PARA CORTAR GRAMA.

Trabalho apresentado como requisito para  
obtenção do título de bacharel no Curso de  
Graduação em Engenharia Automotiva do  
Centro Tecnológico de Joinville da  
Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador: Dr. Thiago Antonio Fiorentin.

Joinville

2019

LUCAS BELETATTI AVANSI

AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE POTÊNCIA SONORA EMITIDO POR UM TRATOR  
UTILIZADO PARA CORTAR GRAMA.

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Automotiva, na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Joinville, 25 de novembro de 2019.

**Banca Examinadora:**

Dr. Thiago Antonio Fiorentin  
Orientador  
Presidente

Dr. Alexandre Mikowski  
Membro  
Universidade Federal de Santa Catarina

Dr. Andrea Piga Carboni  
Membro  
Universidade Federal de Santa Catarina

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela saúde, pela proteção, por iluminar meu caminho durante essa jornada e me ensinar de onde vem a verdadeira felicidade.

Aos meus pais pela educação, pelo amor incondicional e apoio em todos os momentos da minha vida.

A minha namorada, pela paciência, por sempre estar ao meu lado me incentivando, dando força nos momentos mais difíceis e nunca me deixando desistir.

Aos meus irmãos, por me ajudarem, me ouvirem e me motivarem a sempre dar o meu melhor para alcançar meus objetivos.

As minhas avós, por todas as orações que fizeram por mim, me fortalecendo nesse caminho, e aos meus saudosos avôs, os quais tive o privilégio de conhecer e que me proporcionaram aprendizados e lições que levo sempre durante a minha vida.

Ao professor Thiago Antonio Fiorentin, meu orientador, pela paciência e disposição em me ajudar e dar todo o suporte necessário.

A todos os professores, educadores incríveis com o dom de lecionar, que me ajudaram e me ensinaram o valor do conhecimento.

À equipe Fórmula CEM pelo apoio fraternal e pelo ensinamento incomparável em acreditar naquilo que se faz.

A todos os meus amigos, que de alguma forma contribuíram para a realização de um dos meus sonhos e que me proporcionarem momentos de alegria que serão sempre lembrados.

Aos membros do corpo docente de Engenharia Automotiva da Universidade Federal de Santa Catarina que de alguma forma me ajudaram para a concretização deste trabalho.

“Música é a arte de manifestar os diversos afetos da nossa alma mediante o som”.

Pasquale Bona.

## RESUMO

A perda auditiva induzida por ruído pode atingir o indivíduo que estiver exposto a Níveis de Pressão Sonora (NPS) elevados. Os trabalhadores que utilizam cortadores de grama fazem parte desta população. Empresas fabricantes de tratores agrícolas utilizados para cortar grama, comumente, não fornecem informações sobre o nível de potência sonora emitido pelo equipamento. Portanto, este estudo teve como objetivo a caracterização e avaliação do nível de potência sonora emitido por um trator dessa classe, em diferentes condições de funcionamento, sendo essas uma combinação de três parâmetros: atenuadores de vibração (coxins no bloco do motor), rotação do motor e o acionamento de uma tomada de potência (PTO) do trator, denominada de implemento (lâminas de corte). Para a realização dos ensaios, foi utilizada uma metodologia baseada na Norma ISO 3744:2010 - "Acoustics - Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure – Engineering methods for an essentially free field over a reflecting plane". Os dados foram analisados no Laboratório de Acústica e Vibrações do Centro Tecnológico de Joinville (CTJ) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), e os experimentos foram realizados no estacionamento do campus. Através dos resultados das medições, pode-se concluir com esse trabalho, que os níveis de potência sonora global do trator são preocupantes, principalmente na condição de funcionamento do trator com o motor em alta rotação, sem coxim (original) e com o implemento (PTO) ligado, condição em que o operador fica exposto a maior parte do tempo, e que resultou em um valor em torno de 114 dB(A) no nível de potência sonora. Esse resultado indicou um alerta ao uso do equipamento, mostrando a necessidade de futuros trabalhos na intenção de controlar o ruído proveniente do trator. Além disso, estudos do nível de pressão sonora do trator em diferentes condições de operação, para comparar com os limites das Normas, verificando assim, o grau de insalubridade e a necessidade do uso de protetores auditivos para esses trabalhadores.

**Palavras-chave:** Ruído. Trator. Cortador de grama. Nível de potência sonora.

## ABSTRACT

Noise hearing loss can affect individuals exposed to high Sound Pressure Levels (SPL). Workers using lawn mowers are part of this population. Manufacturers of agricultural tractors used to mow do not provide information on the sound power level emitted by the equipment. Therefore, the objective of this study is to evaluate the sound power level emitted by a tractor of this class, under different operating conditions, which are a combination of three parameters: vibration attenuators (engine block cushions), engine speed and a power take-off (PTO) of the tractor. The tests followed a methodology based on ISO 3744: 2010 - "Acoustics - Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure - Engineering methods for essentially free field over reflecting plane". Data were analyzed at the Acoustics and Vibration Laboratory of the Joinville Technological Center of the Federal University of Santa Catarina, and the experiments were performed in the University parking lot. It can be concluded from this work that the overall sound power levels of the tractor are dangerous, especially in the working condition of the tractor with the engine running at high speed, without cushion (original) and with the implement (PTO) on, condition where the operator is exposed most of the time, resulting in a value of around 114 dB(A) at the sound power level. This result indicated an alert to the use of the equipment, showing the need for future work to control tractor noise. In addition, studies of the tractor sound pressure level under different operating conditions, to compare with the limits of the standards, to verify the degree of unhealthiness and the need to use hearing protectors for these workers.

**Keywords:** Noise. Tractor. Lawn mower. Sound power level.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Níveis de pressão sonora para sons do cotidiano.....	20
Figura 2 - Selo Ruído do INMETRO .....	21
Figura 3 - Formas de onda. (a) Tom puro; (b) ruído .....	23
Figura 4 - Forma de onda e espectro sonoro. (a) Tom puro; (b) ruído .....	24
Figura 5 - Espectro sonoro de um mesmo som em bandas estreitas e largas .....	25
Figura 6 - Comparação de bandas e oitavas de um ruído.....	26
Figura 7 - Limiares da audição dos seres humanos .....	27
Figura 8 - Função de transferência dos filtros ponderadores .....	29
Figura 9 - Local da realização das medições.....	34
Figura 10 - Trator Toyama .....	35
Figura 11 - Alavanca de aceleração do trator .....	36
Figura 12 - Alavanca de acionamento do Implemento (PTO).....	37
Figura 13 - Coxim adaptado no trator .....	38
Figura 14 - Posições dos coxins no bloco do motor .....	38
Figura 15 - Microfones Bruel & Kjaer Type 4189 .....	39
Figura 16 - Calibrador Bruel & Kjaer Type 4231 .....	40
Figura 17 - Analisador LMS Pimento .....	40
Figura 18 - Representação das posições dos microfones na superfície semiesférica .....	42
Figura 19 - Características dimensionais do trator .....	43
Figura 20 - Dimensão característica da fonte sonora .....	43
Figura 21 - Níveis de potência sonora na primeira condição .....	49
Figura 22 - Níveis de potência sonora na segunda condição.....	50
Figura 23 - Níveis de potência sonora na terceira condição.....	51
Figura 24 - Níveis de potência sonora na quarta condição .....	52
Figura 25 - Níveis de potência sonora na quinta condição .....	53
Figura 26 - Níveis de potência sonora na sexta condição .....	54
Figura 27 - Níveis de potência sonora na sétima condição .....	55
Figura 28 - Níveis de potência sonora na oitava condição .....	56
Figura 29 - Níveis de potência sonora na condição sem coxim .....	57
Figura 30 - Níveis de potência sonora da condição com coxim.....	58
Figura 31 - Níveis de potência sonora na condição de baixa rotação e sem implemento .....	59
Figura 32 - Níveis de potência sonora na condição de baixa rotação e com implemento.....	60



Figura 33 - Níveis de potência sonora na condição de alta rotação e sem implemento .....	61
Figura 34 - Níveis de potência sonora na condição de alta rotação e com implemento.....	62

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos níveis de potência sonora .....	22
Tabela 2 - Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente.....	30
Tabela 3 - Referência das posições dos microfones .....	44
Tabela 4 - Valores das posições dos microfones.....	45
Tabela 5 - Condições de funcionamento do trator analisadas .....	48
Tabela 6 - Valores de potência sonora global para cada condição de funcionamento .....	63

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

$A$  – Amplitude

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

$A_{sup.esfera}$  – Área da superfície da esfera

B – Bel

cc – cilindrada

CTJ – Centro Tecnológico de Joinville

° C – grau Celsius

dB – decibel

dB(A) – decibel (escala A)

dB(B) – decibel (escala B)

dB(C) – decibel (escala C)

dB(D) – decibel (escala D)

$d_0$  – Dimensão característica da fonte

EPI – Equipamentos de proteção individual

$f$  – frequência

FUNDACENTRO – Instituição de pesquisa e estudos atinentes à segurança, higiene e medicina do trabalho, vinculada ao Ministério do Trabalho

hp – horse-power

Hz – Hertz

$I$  – Intensidade sonora

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia

ISO – International Organization for Standardization

kg – quilograma

kHz – quilo Hertz

$K_1$  – Constante de correção do nível de ruído de fundo

$l$  – Comprimento

$\overline{L_{p(ST)}}$  – Nível médio de pressão sonora para cada frequência

$\overline{L_{p(B)}}$  – Nível médio de pressão sonora do ruído de fundo

$\overline{L_p}$  – Nível de pressão sonora médio do tempo ponderado em “A”

$L_w$  – Nível de potência sonora

$L_{wGLOBAL}$  – Nível de potência sonora global  
m – metro  
mm – milímetro  
MSC – mile of standard cable  
N – Newton  
NHO – Normas de Higiene Ocupacional  
NHT – Normas de Higiene do Trabalho  
NPS – Nível de Pressão Sonora  
NR – Norma Regulamentadora  
NWS – Nível de Potência Sonora  
 $NPS_{global}$  – Nível de pressão sonora global  
 $NWS_{global}$  – Nível de potência sonora global  
 $N_m$  – Número de posições dos microfones  
 $P$  – Potência do Sistema  
Pa – Pascal  
PTO – power take-off  
 $p_{eficaz}$  – Pressão sonora eficaz  
 $p_{medio}$  – Pressão sonora média  
 $p_{pico}$  – Pressão sonora de pico  
 $P_0$  – Potência arbitraria de referencia  
 $r$  – raio  
rpm – rotações por minuto  
 $S$  – área da superfície de medição  
 $S_0$  – área de referência  
 $T$  – Período  
TF – Tomada de Força  
TU – Transmission Unit  
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina  
 $W$  – Potência sonora da fonte  
 $W_0$  – Potência de referência  
 $W_0$  – Potência Sonora de referencia  
 $\pi$  – pi  
 $\rho c$  – Impedância característica

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
1.1 OBJETIVOS .....	15
<b>1.1.1 Objetivo Geral .....</b>	<b>15</b>
<b>1.1.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>16</b>
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>17</b>
2.1 DEFINIÇÃO DE SOM E RUÍDO .....	17
2.2 NÍVEL LOGARÍTMICO, O BEL E O DECIBEL .....	17
2.3 NÍVEL DE PRESSÃO SONORA.....	19
2.4 NÍVEL DE POTÊNCIA SONORA.....	21
2.5 ANÁLISE ESPECTRAL DO RUÍDO .....	22
<b>2.5.1 Forma de onda .....</b>	<b>22</b>
<b>2.5.2 Espectro sonoro .....</b>	<b>23</b>
<b>2.5.3 Bandas de frequências.....</b>	<b>24</b>
<b>2.5.4 Filtros de 1/n oitava .....</b>	<b>25</b>
2.6 FAIXA DE AUDIÇÃO DOS SERES HUMANOS .....	27
2.7 CURVAS DE PONDERAÇÃO .....	28
2.8 RUÍDO OCUPACIONAL.....	29
2.9 ESTADO DA ARTE .....	31
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>34</b>
3.1. LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	34
3.2. TRATOR.....	35
3.3 VARIÁVEIS QUE SERÃO AVALIADAS .....	36
<b>3.3.1 Alavanca de aceleração .....</b>	<b>36</b>
<b>3.3.2 Alavanca de acionamento do implemento (PTO).....</b>	<b>37</b>
<b>3.3.3 Atenuador de vibração (coxim).....</b>	<b>37</b>
3.4 EQUIPAMENTOS PARA MEDIÇÃO DOS NÍVEIS DE RUÍDO.....	39
3.5 NORMA UTILIZADA PARA MEDIÇÃO DE POTÊNCIA SONORA.....	40
<b>3.5.1 Condições meteorológicas .....</b>	<b>41</b>
<b>3.5.2 Arranjo dos microfones na superfície de medição .....</b>	<b>41</b>
<b>3.5.3 Correção do ruído de fundo.....</b>	<b>45</b>
<b>3.5.4 Cálculo dos níveis de pressão sonora .....</b>	<b>46</b>
<b>3.5.5 Cálculo dos níveis de potência sonora .....</b>	<b>47</b>

<b>4 RESULTADOS OBTIDOS.....</b>	<b>48</b>
4.1 NÍVEIS DE POTÊNCIA SONORA NA PRIMEIRA CONDIÇÃO .....	48
4.2 NÍVEIS DE POTÊNCIA SONORA NA SEGUNDA CONDIÇÃO .....	49
4.3 NÍVEIS DE POTÊNCIA SONORA NA TERCEIRA CONDIÇÃO .....	50
4.4 NÍVEIS DE POTÊNCIA SONORA NA QUARTA CONDIÇÃO .....	51
4.5 NÍVEIS DE POTÊNCIA SONORA NA QUINTA CONDIÇÃO .....	52
4.6 NÍVEIS DE POTÊNCIA SONORA NA SEXTA CONDIÇÃO.....	53
4.7 NÍVEIS DE POTÊNCIA SONORA NA SÉTIMA CONDIÇÃO.....	54
4.8 NÍVEIS DE POTÊNCIA SONORA NA OITAVA CONDIÇÃO .....	55
<b>5 DISCUSSÕES: ANÁLISE DE DADOS.....</b>	<b>57</b>
5.1 COMBINAÇÃO DOS RESULTADOS NA CONDIÇÃO SEM COXIM .....	57
5.2 COMBINAÇÃO DOS RESULTADOS NA CONDIÇÃO COM COXIM .....	58
5.3 INFLUÊNCIA DOS ATENUADORES DE VIBRAÇÃO (COXIM) .....	59
<b>5.3.1 Análise da influência do coxim na condição de baixa rotação e sem implemento...59</b>	
<b>5.3.2 Análise da influência do coxim na condição de baixa rotação e com implemento ..59</b>	
<b>5.3.3 Análise da influência do coxim na condição de alta rotação e sem implemento.....60</b>	
<b>5.3.4 Análise da influência do coxim na condição de alta rotação e com implemento .....61</b>	
5.4 ANÁLISE DOS NÍVEIS DE POTÊNCIA SONORA GLOBAL .....	62
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>64</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>66</b>

## 1 INTRODUÇÃO

No mundo existem milhões de jardineiros e trabalhadores que utilizam cortadores de grama. Tais como, funcionários de prefeituras ou empreiteiras de mão de obra. Estes profissionais chegam a utilizar esses equipamentos durante jornadas diárias de 8 horas. Essas máquinas garantem maior velocidade e uniformidade de trabalho, permitindo a utilização delas em maiores áreas e com um resultado de maior qualidade.

Entretanto, existem também algumas desvantagens na utilização desses tratores. O operador está exposto à poeira, insolação, vibração, calor, gases do motor, insetos e um forte ruído provindo dessas máquinas. Devido ao aumento no rigor das Normas de segurança de trabalho, há uma tendência de melhoria das condições de ergonomia e segurança do operador, visando a melhorar as condições de trabalho, diminuir o nível de fadiga ao qual este está exposto, diminuir o risco de acidentes e aumentar a produtividade e qualidade do trabalho (ALVES, 2009).

Existem inúmeras definições para o termo ergonomia. Para Grandjean (1998), a ergonomia é uma ciência interdisciplinar que compreende a fisiologia e a psicologia, bem como a antropometria e a sociedade no trabalho. Define, também, que seu objetivo prático é a adaptação do trabalho, dos instrumentos, das máquinas, dos horários, do meio ambiente às exigências do homem. Para Iida (1990), a ergonomia é definida como a adaptação do trabalho ao homem. O trabalho abrange as máquinas, equipamentos e toda a situação em que ocorre o relacionamento entre o homem e seu trabalho.

Pesquisas sobre o efeito do ruído no corpo humano evidenciaram a aceleração da pulsação, o aumento da pressão sanguínea, a redução na sensibilidade auditiva e o estreitamento dos vasos sanguíneos. Estas alterações aparecem em forma de mudanças de comportamento, como nervosismo, fadiga mental, frustração e prejuízo no desempenho do trabalho, provocando, também, altas taxas de ausências no trabalho (LIMA, 1998).

O Ministério do Trabalho adota Normas relativas à questão do ruído no ambiente de trabalho. Além disso, no Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) possui Normas a respeito do ruído em máquinas e a Coordenação de Higiene do Trabalho da FUNDACENTRO possui Normas de Higiene Ocupacional – NHO, que tratam também de critérios e procedimentos para a avaliação da exposição ocupacional.

Alguns países europeus, como a Alemanha, têm leis que regulam os níveis de ruído dos cortadores de grama e, na verdade, restringem o uso dos cortadores de grama que não atendem a níveis rigorosos de ruído em determinados períodos do dia (LIMA, 1998).

As principais fontes de ruído nesse tipo de equipamento são: o movimento do trator sobre irregularidades do piso, a rotação das lâminas e a dinâmica de outras partes como: motor, sistema de exaustão, transmissão e pneus. Os fabricantes utilizam alguns mecanismos para controle vibro-acústico, por exemplo, atenuadores de ruído, isoladores de vibração, novo desenho de lâminas, entre outros (SPLINTER et al, 2018). No entanto, institutos e sindicatos ainda recebem reclamações dos trabalhadores com relação ao nível de ruído e vibração gerada por esses equipamentos.

Portanto, neste trabalho, foi realizado uma pesquisa experimental, na qual foram selecionadas algumas variáveis capazes de influenciar o nível de ruído proveniente do trator, a fim de mensurá-las para obter uma melhor compreensão desses fatores e propor melhorias. Os dados serão analisados no Laboratório de Acústica e Vibrações do Centro Tecnológico de Joinville (CTJ) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), e os experimentos serão realizados no estacionamento do campus UFSC Joinville.

## 1.1 OBJETIVOS

Para analisar a problemática da exposição de pessoas, por um longo período, ao ruído proveniente de um trator utilizado para cortar grama, propõe-se neste trabalho os seguintes objetivos.

### 1.1.1 Objetivo Geral

Esse trabalho tem por objetivo geral destacar as possibilidades de utilização dos equipamentos empregados na medição de nível de pressão sonora e com a ajuda de Normas já existentes, determinar a potência sonora de uma máquina agrícola e propor melhorias.



### 1.1.2 Objetivos Específicos

Avaliar o nível de potência sonora em cada faixa de frequência de um trator utilizado para cortar grama em diferentes condições de funcionamento:

- Identificar alguns fatores e as variações possíveis que influenciam no nível de potência sonora proveniente do trator;
- Obter os dados relacionados a medições de nível de pressão sonora do trator em diferentes condições de funcionamento;
- Converter esses dados obtidos através das medições de nível de pressão sonora para nível de potência sonora;
- Analisar os dados calculados e propor melhorias para controle do ruído.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, será apresentado a fundamentação teórica do presente estudo, a qual foi referenciada em livros, artigos e trabalhos científicos. Para melhor compreensão do tema será subdividido em nove partes, abordando: definição de som e ruído; nível logarítmico, o Bel e o decibel; nível de pressão sonora; nível de potência sonora; análise espectral do ruído; área de audição dos seres humanos; curvas de ponderação; ruído ocupacional e estado da arte, a qual se refere a uma pesquisa bibliográfica de assuntos relacionados ao tema proposto.

### 2.1 DEFINIÇÃO DE SOM E RUÍDO

Inicialmente, é preciso entender o que é o som. Segundo Gerges (2000), podemos utilizar a definição de som como qualquer variação de pressão (no ar, na água, etc.) que o ouvido humano possa captar. O ruído nada mais é do que um som ou o conjunto de sons indesejáveis, desagradáveis, perturbadores. O som representa as vibrações mecânicas de um gás (ou líquido, ou sólido) através do qual ocorre o fluxo de energia na forma de ondas sonoras.

O ruído é uma onda sonora, ou um complexo de ondas sonoras, medido em uma escala logarítmica, pois tornar-se inviável usar nos cálculos e projetos de controle de ruído, valores de pressão em unidades mecânicas [ $N/m^2$ ]. Foi definido então para facilitar a medição dessas ondas, a escala decibel [dB], que é uma escala logarítmica, e que tem o objetivo de compactar os valores que representam a pressão sonora (BISTAFA, 2011).

As medições podem ser realizadas por meio de aparelhos denominados decibelímetros ou medidores de níveis de pressão sonora, expresso na unidade decibel [dB] (IIDA, 1990). De maneira geral, o limite de ruído ocupacional, na maioria dos países, encontra-se entre 85 e 90 dB(A). Acima desse limite, corre-se o risco de modificar o limiar auditivo dos indivíduos expostos ao ruído, principalmente em longos períodos de tempo (MERLUZZI et al., 1987).

### 2.2 NÍVEL LOGARÍTMICO, O BEL E O DECIBEL

O ouvido humano responde a uma larga faixa de intensidade acústica, desde o limiar da audição até o limiar da dor. Por exemplo, a 1000 Hz a intensidade acústica que é capaz de causar a sensação de dor é  $10^{14}$  vezes a intensidade acústica capaz de causar a sensação de audição (GERGES, 2000). É visível a dificuldade de se expressar números de ordens de grandeza tão diferentes numa mesma escala linear, portanto usa-se a escala logarítmica.

De acordo com Bistafa (2011)

“Até 1920, a perda de potência em cabos de telefonia era medida em *milha de cabo padrão* (“mile of standard cable”, MSC). Em 1923, essa unidade foi substituída por outra denominada *unidade de transmissão* (“transmission unit”, TU). Essa nova unidade foi desenvolvida pelos engenheiros da Bell Telephone Laboratories (Bell Labs), dos Estados Unidos, para comparação entre potências de sistemas de telefonia utilizando sinais elétricos. A TU tinha a característica essencial de comprimir uma ampla faixa de variação de escala linear de potências por transformação desta em escala logarítmica. Em 1924, a TU foi renomeada como “bel” (símbolo B), em homenagem a Alexander Graham Bell (1847-1922) ”:

$$Bel = \log \frac{P}{P_0} \quad [1]$$

Sendo,

$P$  é a potência do sistema;

$P_0$  é uma potência arbitraria de referência.

Como zero bel (0 B) corresponde a  $P = P_0$ , o bel é uma unidade relativa que depende da escolha de  $P_0$ , o que torna necessário indicar o valor de referência. O bel é, portanto, uma medida do *nível* da potência em relação a potência de referência, podendo assumir tanto valores positivos (potência superior a potência de referência) como negativos (potência inferior a de referência).

“Como 1 B corresponde a  $P = 10 \cdot P_0$ , ficando evidente a necessidade de mostrar com clareza variações menores de potência. Em 1929, os engenheiros da Bell Labs criaram o “decibel” (símbolo dB), como submúltiplo do bel, tal que 1 B equivaleria a 10 dB” (BISTAFA, 2011):

$$1 \text{ Bel} = 10 \text{ decibéis} \quad [2]$$

Portanto, um decibel corresponde a  $10^{0,1} = 1,26$  ou seja, é igual a variação na intensidade de 1,26 vezes. Uma mudança de 3 dB corresponde a  $10^{0,3} = 2$ , ou seja, dobrando-se a intensidade sonora resulta em um acréscimo de 3 dB (GERGES, 2000).

“Ocorre ainda que, na mesma Bell Labs, Harvey Fletcher (1884-1981) verificou que 1 dB era a mínima variação de potência sonora detectável pelo sistema auditivo. Esse limiar diferencial foi denominado de *unidade de sensação* (“sensation unit”)” (BISTAFA, 2011):

$$\text{unidade de sensação} = 10 \log \left( \frac{W}{W_0} \right) [\text{dB}] \quad [3]$$

Sendo,

$W$  é a potência sonora;

$W_0$  é a potência sonora de referência.

### 2.3 NÍVEL DE PRESSÃO SONORA

O estímulo que mais bem se correlaciona com a sensação de som é a pressão sonora (KINSLER et al, 2000). Como o decibel é usado para comparação de potências, ou de grandezas proporcionais a potência, precisamos utilizar a definição de que, para ondas esféricas progressivas, a potência sonora é proporcional ao quadrado do valor eficaz da pressão sonora, assim, em termos da pressão sonora, resultamos na Equação 4 (BISTAFA, 2011):

$$\text{NPS} = 10 \log \left( \frac{P^2}{P_0^2} \right) = 20 \log \left( \frac{P}{P_0} \right) \quad [4]$$

Sendo que,  $P_0 = \sqrt{\rho I_0 c} = \sqrt{415 \cdot 10^{-12}} = 0,00002 \text{ N/m}^2$  é o valor de referência e corresponde ao limiar da audição em 1000 Hz e NPS é o nível de pressão sonora.

Sendo,

$\rho c$  é a impedância característica;






$I_0$  é a intensidade sonora de referência,

De acordo com Bistafa (2011),

“O nível de pressão sonora é a medida física preferencial para caracterizar a sensação subjetiva da intensidade dos sons. Sendo sempre calculado com o valor eficaz da pressão sonora. Outro aspecto importante da escala dB é que ela apresenta uma correlação com a audibilidade humana muito melhor do que a escala absoluta ( $N/m^2$ ).”

Um dB é a menor variação que o ouvido humano pode perceber (GERGES, 2000). Segundo Kinsler et al, um acréscimo de 6 dB no nível de pressão sonora equivale a dobrar a pressão sonora. Na Figura 1 representada a seguir, é possível observar as pressões sonoras e níveis de pressão sonora para sons do cotidiano, e correspondentes sensações subjetivas de intensidade associadas.

Figura 1 - Níveis de pressão sonora para sons do cotidiano

Sensação subjetiva de intensidade	Descrição	Pressão sonora (Pa)	Nível de pressão sonora (dB)	Ilustração
Estrondoso	Perigo de ruptura do tímpano - Avião a jato a 1m - Fogo de artilharia	200	140	
Muito barulhento	Limiar do desconforto - Avião a pistão a 3m - Broca pneumática	20	120	
	- Indústria barulhenta - Dentro de um avião	2	100	
Barulhento	- Dentro de um automóvel em alta velocidade - Escritório barulhento - Aspirador de pó	0,2	80	
Moderado	- Escritório de barulho médio - Rádio com volume médio	0,02	60	
Tranquilo	- Sala de aula (ideal) - Escritório privado (ideal)	0,002	40	
Silencioso	- Movimento de folhagem - Estúdio de rádio e TV	0,0002	20	
Muito Silencioso	- Laboratório de Acústica (câmara anecoica) - Limiar da audição	0,00002	0	

Fonte: Adaptado de Bistafa (2011).

## 2.4 NÍVEL DE POTÊNCIA SONORA

A potência sonora gerada por uma máquina é uma característica da própria fonte, assim como peso, rotação, calor gerado, etc. A potência sonora varia somente se a máquina variar a sua condição de operação, diferentemente do nível de pressão sonora gerada pela potência sonora, que depende da distância entre a fonte e o ponto de medição, e do ambiente onde a fonte está instalada (KINSLER et al, 2000). O nível de potência sonora é definido como sendo:

$$NWS = 10 \log \left( \frac{W}{W_{ref}} \right) \quad [dB] \quad [5]$$

Sendo,

$W$  é a potência sonora da fonte, expressa em watts;

$W_{ref}$  é a potência de referência =  $10^{-12}$  watts.

Algumas máquinas possuem uma etiqueta, especificando o nível de potência sonora proveniente da fonte de ruído, essa preocupação se dá devido a poluição sonora ser prejudicial à saúde como já vimos anteriormente. E foi pensando nisso que o Inmetro e o Ibama criaram o Selo Ruído, parte do Programa Silêncio, que tem como objetivo combater a poluição sonora do país e orientar o consumidor. Porém o selo ruído, visto na Figura 2, é obrigatório somente na linha de eletrodomésticos (INMETRO, 2012).

Figura 2 - Selo Ruído do INMETRO



Fonte: INMETRO (2012).

A classificação dos níveis de potência sonora depende do tipo de cada eletrodoméstico, como pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação dos níveis de potência sonora

Classificação	Faixa de valores de níveis de potência sonora em dB(A)		
	Secador de cabelo	Liquidificador	Aspirador de pó
<b>A</b>	$NWS \leq 78$	$NWS \leq 85$	$NWS \leq 80$
<b>B</b>	$78 < NWS \leq 81$	$85 < NWS \leq 88$	$80 < NWS \leq 84$
<b>C</b>	$81 < NWS \leq 85$	$88 < NWS \leq 92$	$84 < NWS \leq 88$
<b>D</b>	$85 < NWS \leq 88$	$92 < NWS \leq 95$	$88 < NWS \leq 92$
<b>E</b>	$NWS > 88$	$NWS > 95$	$NWS > 92$

Fonte: adaptado de INMETRO (2012).

Apesar de que no caso dos tratores cortadores de grama, não se fazem obrigatório a identificação do nível de potência sonora no produto ou na embalagem, alguns fabricantes fornecem essa informação na ficha técnica do trator.

Entretanto, no caso do trator em estudo, o qual é da marca Toyama, com motor Briggs & Stratton Model 310000, eles não especificam no produto e nem fornecem essa informação no manual. Dentro deste contexto, justifica-se a importância desse estudo, partindo da ideia de incentivar os fabricantes a produzirem produtos mais silenciosos, ou seja, com níveis de ruídos cada vez menores e melhorar a saúde do trabalhador.

## 2.5 ANÁLISE ESPECTRAL DO RUÍDO

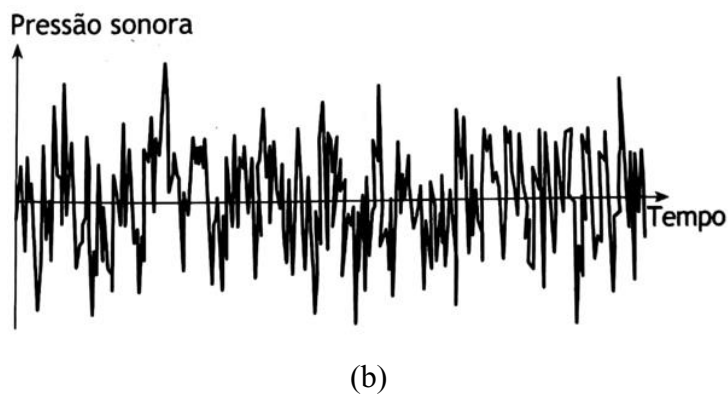
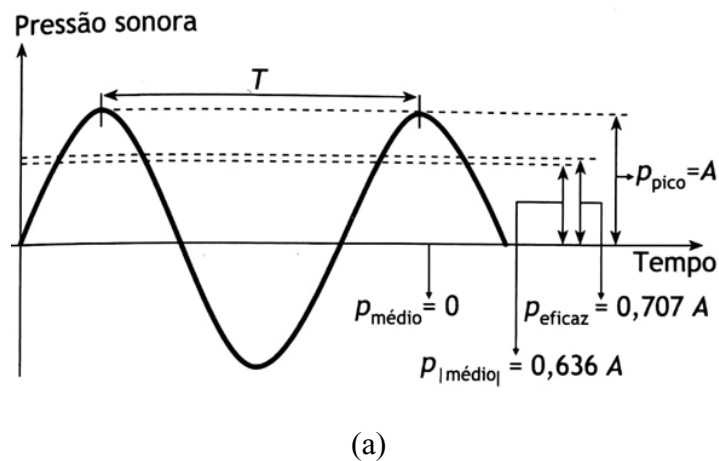
O grau de nocividade do ruído pode ser quantificado e qualificado com base em algumas características do som como sua intensidade, o tipo de espectro, duração e a distribuição da exposição ao ruído durante a jornada de trabalho (OTTONI et al, 2012). Para uma melhor compreensão da análise espectral do ruído, esse tópico será subdividido em quatro partes, abordando: forma de onda; espectro sonoro; bandas de frequência e filtros de 1/n oitava.

### 2.5.1 Forma de onda

Segundo Gonzales (1980), o comportamento temporal da pressão sonora é a informação que extraímos de um registrador gráfico acoplado a um microfone, que capta a pressão sonora

num determinado ponto do espaço durante um certo intervalo de tempo. A esse registro dá-se o nome de forma de onda. Na Figura 3(a) pode ser observada a forma da onda de um tom puro de período  $T$ , e a Figura 3(b), a forma de onda de um ruído.

Figura 3 - Formas de onda. (a) Tom puro; (b) ruído



Fonte: Bistafa (2011).

Há interesse em caracterizar a forma de onda por meio de um número único representativo. Esse número único poderia ser o valor de pico ( $P_{pico}$ ), que no caso do tom puro é igual a amplitude. Porém, no caso do ruído, a forma da onda apresenta vários picos.

### 2.5.2 Espectro sonoro

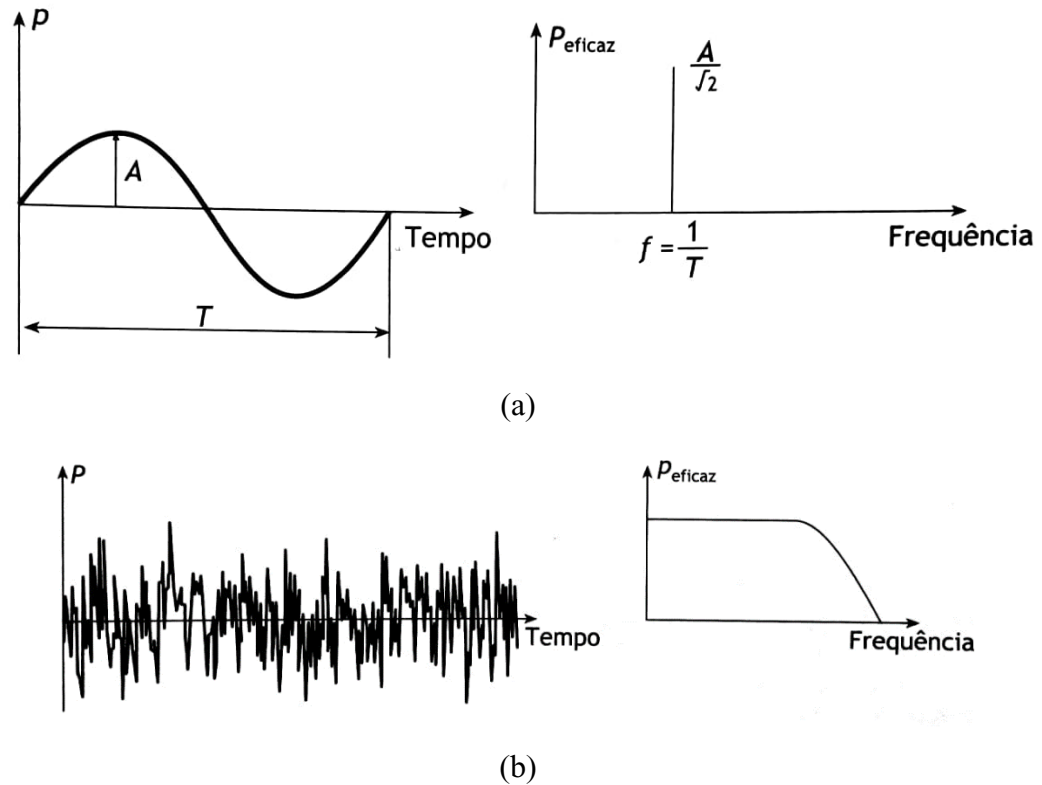
Para traçar um diagnóstico sobre o problema de ruído é conveniente converter o sinal do domínio do tempo para o domínio da frequência. O espectro resultante mostra a distribuição da energia sonora sobre a faixa de frequência que está sendo analisada.

O tom puro é um som em uma única frequência, o que é confirmado pelo espectro sonoro apresentado na Figura 4(a). Já o ruído é composto de várias frequências, conforme



mostra o seu espectro sonoro, apresentado na Figura 4(b). Isso é possível aplicando-se a chamada *transformada direta de Fourier*.

Figura 4 – Forma de onda e espectro sonoro. (a) Tom puro; (b) ruído



Fonte: Bistafa, (2011).

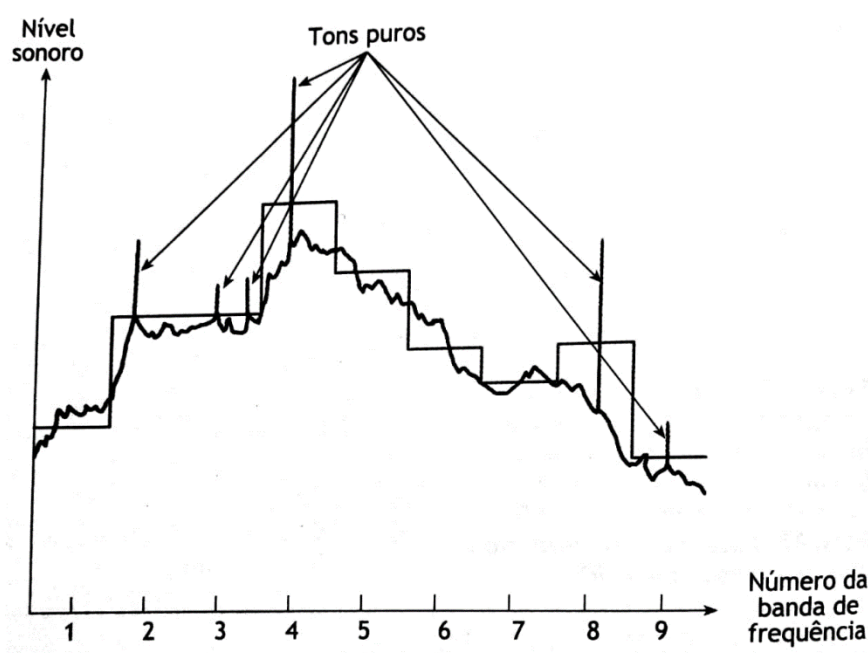
A transformada direta de Fourier, epônimo a Jean-Baptiste Joseph Fourier, é uma operação matemática aplicada a uma forma de onda para extrair dela o conteúdo de frequências. Quando é aplicada a transformação direta de Fourier nas formas de onda no domínio do tempo, obtém-se como resultado os gráficos em função da frequência (KINSLER et al, 2000). Esses gráficos são os espectros sonoros das formas de ondas. A chama transformada inversa de Fourier é a operação matemática que permite “recuperar” a forma de onda a partir do espectro sonoro.

### 2.5.3 Bandas de frequências

Instrumentos de medição acústica normalmente fornecem o espectro sonoro em bandas ou faixas de frequências. Um dos parâmetros que caracterizam a banda de frequência é a largura da banda. A largura da banda pode ser estreita ou larga (DA COSTA, 2003).

O espectro de banda larga pode ser obtido em bandas de largura constante ou variável. Segundo Bistafa (2011), um espectro de banda larga com faixas de largura variável bastante utilizado é o de *bandas de oitava*, em que a largura de cada banda é aproximadamente 70% da frequência central. A Figura 5 apresenta espectros sonoros de um mesmo som em bandas estreitas e largas.

Figura 5 - Espectro sonoro de um mesmo som em bandas estreitas e largas



Fonte: Bistafa (2011).

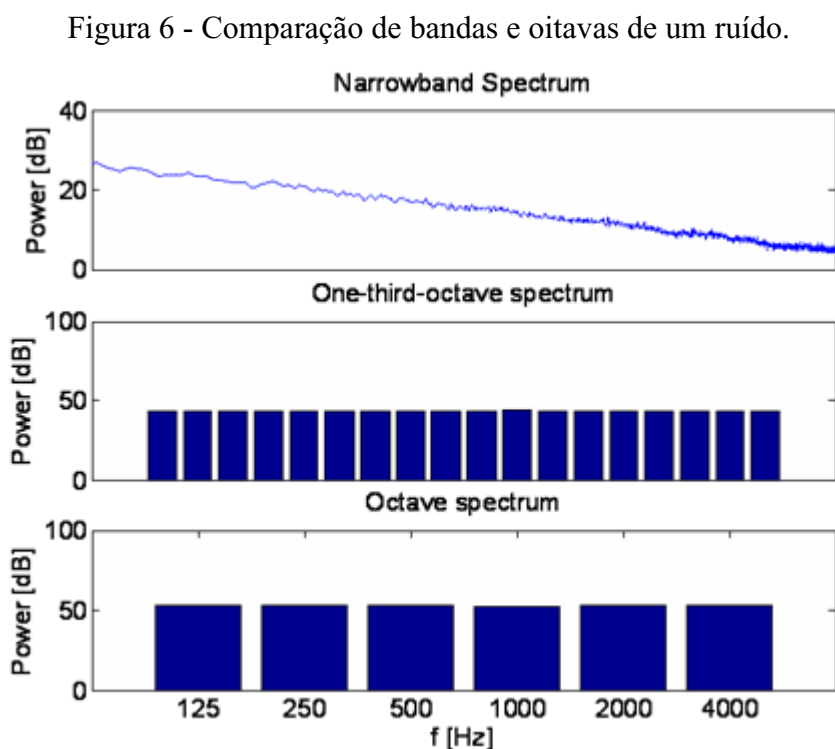
Observa-se na Figura 5 que o espectro de banda estreita fornece com maiores detalhes a distribuição do som em função da frequência do que o espectro de banda larga, além da capacidade de detectar a existência de tons puros sobrepostos ao espectro contínuo. Por sua vez o espectro de banda larga não consegue revelar a existência dos tons puros contidos no som.

#### 2.5.4 Filtros de 1/n oitava

A medição mais elementar que qualquer medidor de nível sonoro pode fazer é a de nível sonoro total em decibéis. O valor obtido, um número único, representa a energia sonora contida na faixa de frequências que o medidor pode captar. Como a indicação é através de número único, não há informação de como a energia sonora se distribui em frequências. Para obter esse tipo de informação, é necessária a utilização de filtros para análise espectral (BISTAFA, 2011).

Para analisar a distribuição de energia sonora de um ponto de interesse ao longo do espectro são usados vários filtros passa-banda. Eles possuem as componentes espectrais do som entre duas frequências de corte. Os filtros passa-banda são classificados em dois tipos principais: filtros de 1/1 oitava e de 1/3 oitava (DA COSTA, 2003).

Projetos rápidos de controle de ruído usam medições feitas 1/1 oitava, pois proporcionam um menor número de valores a serem considerados. Trabalhos mais refinados, como medição da potência sonora de uma máquina, cujos dados serão reportados em um laudo técnico, recomendam-se que sejam feitos em faixas de 1/3 oitava (GERGES, 2000). Pode-se observar na Figura 6, uma comparação entre um ruído de banda estreita e um ruído de banda larga de dois tipos: 1/1 oitava e de 1/3 oitava.



Fonte: Kinsler (2000).

Os medidores de nível de pressão sonora devem, portanto, conter um conjunto de filtros passa-banda, para que seja possível fazer uma análise espectral de uma pressão sonora. Para cada filtro obtém-se uma leitura de nível de pressão sonora, em decibel.

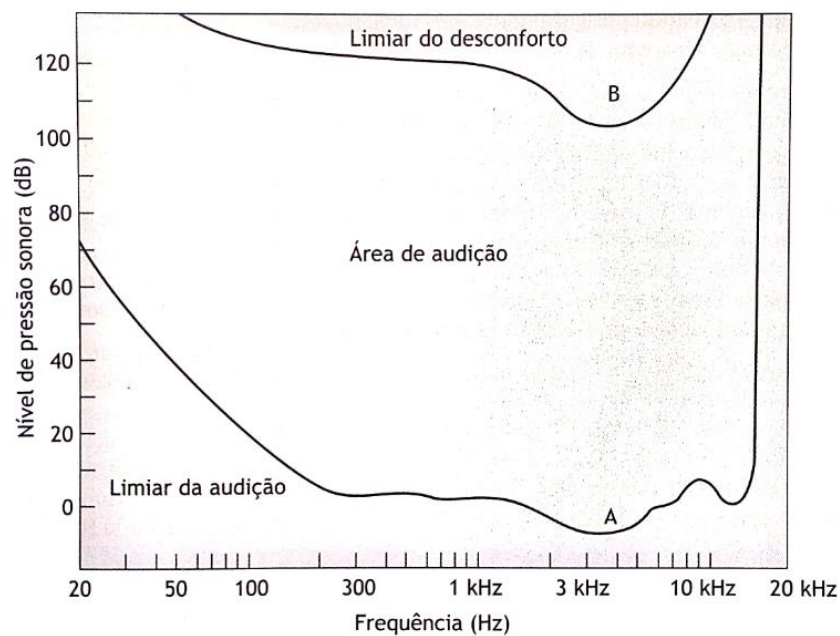
É possível também, calcular um valor de nível global do ruído, o qual pode ser obtido “somando-se” os níveis das várias faixas de frequência, como é mostrado na Equação 6. Outra opção para obter o nível global na própria medição é desligar os filtros.

$$NPS_{global} = 10 \log \left[ \sum_{i=1}^N 10^{\frac{NPS_{freq_i}}{10}} \right] \quad [dB] \quad [6]$$

## 2.6 FAIXA DE AUDIÇÃO DOS SERES HUMANOS

As curvas A e B representativas do limiar da audição dos seres humanos, as quais podem ser vistas na Figura 7, elas são obtidas por meio de grupos de jovens saudáveis em boa condição física, considerados ouvintes treinados, os quais são solicitados a julgar quando um tom puro, em dada frequência, com determinado nível sonoro, se torna audível (curva A) e desconfortável (curva B) (BISTAFA, 2011). Essas duas curvas representam os extremos da percepção de níveis sonoros em função da frequência para ouvintes “Normais”.

Figura 7 - Limiars da audição dos seres humanos



Fonte: Bistafa, (2011).

A curva A da Figura 7 é o limiar da audição, e indica que o sistema auditivo é mais sensível em torno de 3kHz. Uma outra forma de interpretar esse resultado é que tons puros em frequências ao redor de 3kHz estimulam a audição com menores níveis sonoros que em outras frequências. Observa-se ainda na curva A, que a estimulação da audição requer níveis sonoros cada vez mais elevados a medida que a frequência de tons puros cai os sons inferiores a 20 Hz e acima de 20 kHz, aproximadamente.

A curva B da Figura 7, apresenta limites de “desconforto auditivo”. Essa sensação começa a ser sentida a partir de 120 dB nas baixas e altas frequências, e entre 100 – 120 dB, aproximadamente, para frequências em que a sensibilidade auditiva é maior. Acréscimos subsequentes dos níveis sonoros provocam um aumento do desconforto auditivo, até o ponto em que há sensação de dor, podendo ocorrer lesões.

Segundo Bistafa (2011), a região compreendida entre as curvas A e B da Figura 7 é chamada *área de audição*, onde ocorrem todas as experiências auditivas dos seres humanos. A área de audição dos seres humanos é diferente da maioria dos outros animais, por exemplo, os morcegos, através de seu sistema de sonar, emitem gritos em frequências muito acima do limite superior dos seres humanos. O sistema auditivo dos cães alcança frequências tais que possibilita comanda-los com apitos ultrassônicos (GONZALES, 1980).

## 2.7 CURVAS DE PONDERAÇÃO

As curvas de ponderação são utilizadas para modificar o espectro sonoro de acordo com a resposta do sistema auditivo as diferentes frequências contidas o som.

Os medidores de nível de pressão sonora incorporam filtros ponderadores que tentam aproximar a sensação subjetiva de intensidade dos sons, aplicando no sinal de entrada funções de transferência baseadas nas curvas isofônicas, fornecendo um sinal de saída que melhor se correlaciona com o nível de audibilidade (BISTAFA, 2011). No entanto, a grandeza fornecida pelo medidor continua sendo o nível de pressão sonora, só que ponderado.

Os filtros ponderadores têm características de filtros passa-alta, com as seguintes denominações e características:

Curva de ponderação A, aproxima a sensação auditiva correspondente a curva isofônica 40 fones (desenfatiza baixas frequências);

Curva de ponderação B, aproxima a sensação auditiva correspondente a curva isofônica 70 fones;

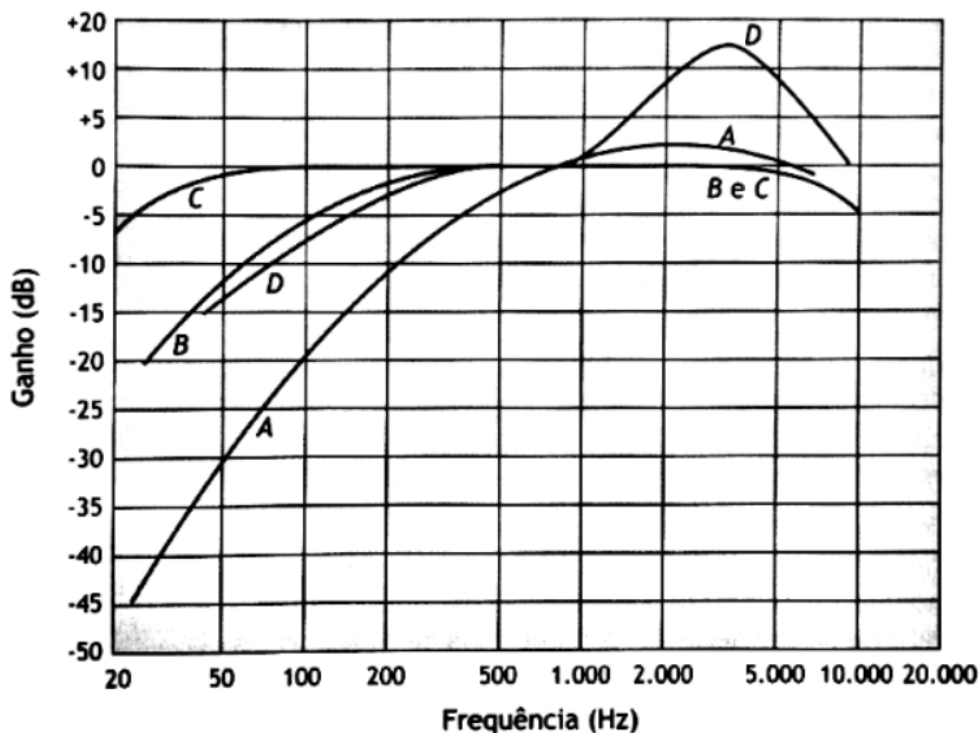
Curva de ponderação C, aproxima a sensação auditiva correspondente a curva isofônica 100 fones (quase plana);

Curva de ponderação D, desenvolvida para avaliação de ruídos de sobrevoos de aeronaves (penaliza altas frequências).

Na Figura 8 é apresentada a função de transferência dos filtros ponderadores A, B, C e D. Quando uma medição de nível sonoro é feita com um filtro ponderador, o valor obtido, em decibéis, é indicado na forma dB(x), em que x refere-se ao tipo de filtro ponderador utilizado

na medição: A, B, C ou D. Quando o valor obtido na medição é indicado simplesmente por dB ou dB (linear), subentende-se que nenhum filtro ponderador foi utilizado na medição (BISTAFA, 2011).

Figura 8 - Função de transferência dos filtros ponderadores



Fonte: Bistafa (2011).

De acordo com Bistafa (2011), o filtro ponderador A aproxima a resposta do sistema auditivo para sons com níveis sonoros “moderados”, que normalmente se verificam nas atividades do cotidiano da vida moderna, sendo o mais comumente recomendado para medições de ruído, por apresentar uma série de vantagens, tais como:

- Fornece valores que são bem correlacionados com a perda de audição por ruído;
- É facilmente implementado nos medidores de nível sonoro;
- Fornece como resultado um número único;
- É indicado pela maioria das Normas e legislações relativas ao ruído.

## 2.8 RUÍDO OCUPACIONAL

No Ministério do Trabalho existem três Normas (NR) relativas à questão do ruído no ambiente de trabalho. A NR 6 refere-se aos equipamentos de proteção individual (EPI),

incluindo os protetores auriculares; a NR 7 refere-se ao exame médico, incluindo recomendações para o ambiente de exames audiômetros. Já a NR 15 refere-se às atividades e operações insalubres, levando também em consideração os limites relativos à exposição ao ruído, como podem ser vistos na Tabela 2, indicando como prejudicial o ruído de 85 dB(A) para uma exposição máxima de 8 horas diárias.

Tabela 2 - Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente

<b>NÍVEL DE RUÍDO dB(A)</b>	<b>MÁXIMA EXPOSIÇÃO DIÁRIA PERMISSÍVEL</b>
85	8 horas
86	7 horas
87	6 horas
88	5 horas
89	4 horas e 30 minutos
90	4 horas
91	3 horas e 30 minutos
92	3 horas
93	2 horas e 40 minutos
94	2 horas e 15 minutos
95	2 horas
96	1 hora e 45 minutos
98	1 hora e 15 minutos
100	1 hora
102	45 minutos
104	35 minutos
105	30 minutos
106	25 minutos
108	20 minutos
110	15 minutos
112	10 minutos
114	8 minutos
115	7 minutos

Fonte: NR 15 (2009).

No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) possui Normas a respeito do ruído em máquinas que já foram canceladas e Normas que estão em vigor. A NBR 9999 – "Medição do Nível de Ruído no Posto de Operação, de Tratores e Máquinas Agrícolas" e a NBR 10400 – "Tratores Agrícolas – Determinação das Características Técnicas e Desempenho", foram canceladas pelo motivo dessas Normas não serem mais utilizados pelo setor (ABNT, 2019).

A Norma NBR 10151:2019 - "Acústica – Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas – Aplicação de uso geral" está em vigor atualmente e estabelece um procedimento para medição e avaliação de níveis de pressão sonora em ambientes externos, em áreas destinadas a ocupação humana. Além disso, a Coordenação de Higiene do Trabalho da FUNDACENTRO publicou, em 1980, uma série de Normas Técnicas denominadas anteriormente Normas de Higiene do Trabalho – NHT, hoje designadas Normas de Higiene Ocupacional – NHO, sendo que a NHO 01 "Avaliação da exposição ocupacional ao ruído" tem como objetivo estabelecer critérios e procedimentos para a avaliação da exposição ocupacional ao ruído, que implique risco potencial de surdez ocupacional (FUNDACENTRO, 2012).

De maneira geral, o limite de ruído ocupacional, na maioria dos países, encontra-se entre 85 e 90 dB (A). Acima desse limite, corre-se o risco de modificar o limiar auditivo dos indivíduos expostos ao ruído, principalmente em longos períodos de tempo, causando hipoacusia ou seja, perda auditiva (MERLUZZI et al., 1987).

## 2.9 ESTADO DA ARTE

Segundo Simone et al. (2006), os ruídos nas máquinas agrícolas vêm de diferentes fontes, as quais possuem porcentagens diferentes que impactam no ruído proveniente do trator como: o escape que causa ruído de grande intensidade é responsável por 45 a 60% do ruído total, o sistema de admissão do motor com 15 a 20%, eletro-ventilador com 12 a 20%, e a vibração, com 15 a 20% do ruído total. Estes são ruídos emitidos com média intensidade.

Esse trabalho tem como uma das finalidades evidenciar os riscos que um operador da máquina de cortar grama em estudo poderá sofrer durante sua operação. Nessa mesma linha de estudos, Santos Filho (2004) comparou os ruídos causados por um trator, sem cabine, em diferentes velocidades e concluiu que foi extremamente desconfortável para o tratorista, proporcionando grande risco de danos na audição. Oliveira et al. (1998) em um de seus estudos também comparou os ruídos emitidos em operações de preparo de solo, usando arado, grade e



sulcador e concluiu que, nas principais operações agrícolas, o tratorista também fica suscetível a problemas de audição.

O desconforto de máquinas agrícolas também tem sido tema de discussões entre técnicos de segurança do trabalho. No mercado, as máquinas agrícolas foram sendo lançadas cada vez mais confortáveis e potentes, e com esse aumento de potência também se verificava um aumento nos níveis de ruído, porém a partir do início da década de 90 notou-se uma convergência dos valores para uma faixa de 85 a 88 (dB) independente da potência. Isso ocorreu devido ao lançamento das máquinas com cabines acústicas (MIALHE, 1996; SIMONE et al., 2006).

Porém, a máquina utilizada nesse estudo não possui cabine acústica, aumentando a exposição do operador ao ruído e as consequências causadas pelo mesmo. Segundo Fernandes (2003) e Simone et al. (2006), os tratores nacionais, sem cabines acústicas, emitem níveis de ruído acima dos limites toleráveis (média de 97 dB), o que torna insalubre a sua operação. Porém, também foram apresentadas medidas para diminuição desse problema, como a alteração na posição do escapamento, passando os tubos por baixo e para trás do trator e posicionamento da câmara de expansão no final da tubulação. Dessa forma, a situação deixa de ser insalubre para apenas desconfortável.

O uso de protetores auriculares tem se tornado um item de extrema segurança e em vários casos até mesmo obrigatórios para os operadores. Entretanto, mesmo com o uso de protetores auriculares ainda podem ser notados alguns problemas dependendo da condição de uso. Rodrigues (2006) avaliou a eficácia de protetores pequenos, médios e grandes em 15 homens e 15 mulheres com idade entre 18 e 45 anos expostos a ruídos ocupacionais. Estes foram submetidos à avaliação audiológica convencional, audiometria em campo livre sem protetor auricular de inserção, com protetor tamanho universal e com tamanho adequado a cada indivíduo. O teste se mostrou significativo e os resultados mostraram eficácia dos protetores auriculares pequeno e grande sobre os protetores tamanho universal em um programa de conservação auditiva. Isso mostra que o protetor deve ser específico em tamanho para cada característica do operário.

Na busca de avaliar qual parâmetro possui maior contribuição no nível de ruído de um trator, estudos têm sido realizados, na intenção de propor melhorias. Um trabalho de Tauro (1996) foi feito para desenvolver instalações e procedimentos para medir o ruído irradiado pelas lâminas de cortador de grama disponíveis comercialmente. Tauro (1996) concluiu que os mecanismos de geração de ruído das lâminas de corte são semelhantes a outros tipos de lâminas rotativas, como hélices de aeronaves e ventiladores. Com base nessa conclusão, Tauro (1996)

testou três teorias na busca da redução de ruído: reduzindo a velocidade de rotação, reduzindo o comprimento e reduzindo a largura da lâmina do cortador de grama, e descobriu que, embora eficaz, eles não são soluções realistas para cortadores de grama, ou seja, pouco significativas.

Além do estudo de Tauro (1996) sobre a influência das lâminas do cortador de grama, existem outros trabalhos mais recentes, abordando esse tema. Lyon (2007), realizou um trabalho onde concluiu através de dados coletados mostrando que o girar das lâminas do cortador de grama contribui com um nível de ruído adicional de 1,2 a 7,9 dB(A). Segundo Lyon (2007), o design da lâmina e a turbulência do ar associada criada pelas pás giratórias representam importantes oportunidades de pesquisa para reduzir significativamente o ruído do trator. Segundo Cancino (2014), a equipe de pesquisa da Briggs & Stratton criou cerca de 100 projetos de lâminas e, embora em teoria as lâminas mais silenciosas sejam planas, as lâminas planas não criam sucção suficiente para levantar a grama. Os engenheiros mudaram as curvas para as pás para criar sucção e adicionaram orifícios para romper a turbulência.

Além de estudos que procuram avaliar a contribuição dos parâmetros no nível de ruído do trator, muito se discute também sobre maneiras de minimizar esse ruído proveniente de máquinas, através de blindagens acústicas e projetos de silenciadores do sistema de exaustão do motor. Segundo Copley et al (2009), a maioria dos tratores de cortar grama não possuem blindagem acústica para refletir e absorver o ruído. Uma máquina é fornecida com um sistema de motor em que pelo menos um componente do sistema seja cercado por uma superfície refletora acústica, configurada para absorver o som de pelo menos um dispositivo de produção de som do sistema do motor. A superfície inclui um material de absorção de som, como isolamento térmico fibroso e/ou uma cobertura permeável acústica entre a superfície refletora acústica e o compartimento do motor da máquina. A cobertura permeável acústica pode compreender uma pele micro perfurada, em que a energia acústica é absorvida pelo material absorvente de som (COPLEY et al, 2009).

No projeto de silenciadores absorventes de ruído do sistema de exaustão do motor são projetados para absorver e dissipar parte do som, sem criar muita pressão no motor. O uso de silenciadores ou ressonadores reflexivos atua para reduzir o ruído refletindo e cancelando o som (COSTA et al, 2003). No entanto, os ressonadores geralmente não são instalados como equipamento padrão nos tratores de cortar grama. Combinar os recursos de design do silenciador absorvente e reflexivo pode resultar em uma significativa redução no ruído do trator.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia para realização das medições foi baseada na Norma ISO 3744:2010 - "Acoustics - Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure – Engineering methods for an essentially free field over a reflecting plane". O procedimento experimental foi realizado no estacionamento da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Joinville e consiste na medição da pressão sonora em um ambiente aberto, com um arranjo de microfones em torno da fonte de ruído, para posteriormente, obter o nível de potência sonora proveniente do trator através de equações apresentadas pela Norma.

#### 3.1. LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido no município de Joinville, SC, com altitude da sede de 4,5 m, Latitude Sul 26° 18' 05'' Longitude Oeste 48° 50' 38''. As medições foram realizadas no estacionamento da Universidade Federal de Santa Catarina no Campus Joinville no dia 17 de julho de 2019, um dia tranquilo, ou seja, sem interferências externas nos resultados de ruído. A temperatura no momento do teste manteve-se em torno de 22°C, umidade 67% e com um vento de 5km/h. Para cada medição, foi realizado um arranjo de três microfones em torno do trator, como pode ser observado na Figura 9, totalizando ao final, as 10 posições exigidas pela Norma. As posições dos microfones em cada medição foram definidas de acordo com a Norma ISO 3744:2010 utilizada nesse estudo.

Figura 9 - Local da realização das medições.



Fonte: autoria própria (2019).

### 3.2. TRATOR

O trator encontrava-se em repouso e equilibrado, ou seja, com o tanque e reservatórios de fluidos cheios. Os pneus utilizados no ensaio eram de tamanho padronizado para o trator, conforme especificação do fabricante. Na Figura 10 é possível visualizar o trator utilizado para o experimento.

Figura 10 - Trator Toyama



Fonte: Toyama (2016).

#### Características do trator:

- Marca: Toyama;
- 7 velocidades;
- Assento ajustável;
- Lâminas em aço 1070 Temperado.

#### Informações Técnicas:

- Motor: Briggs e Stratton Model 310000;
- Tipo do Motor: 4 Tempos – Ar;
- Cilindros: Monocilíndrico;
- Cilindrada: 500cc;
- Potência máxima: 17,5 hp;
- Combustível: Gasolina;

- Rotação máxima: 3200 rpm;
- Sistema de partida: Elétrico;
- Sistema de ignição: Eletrônica;
- Transmissão: Manual;
- Peso Líquido/Bruto: 155 kg/210 kg.

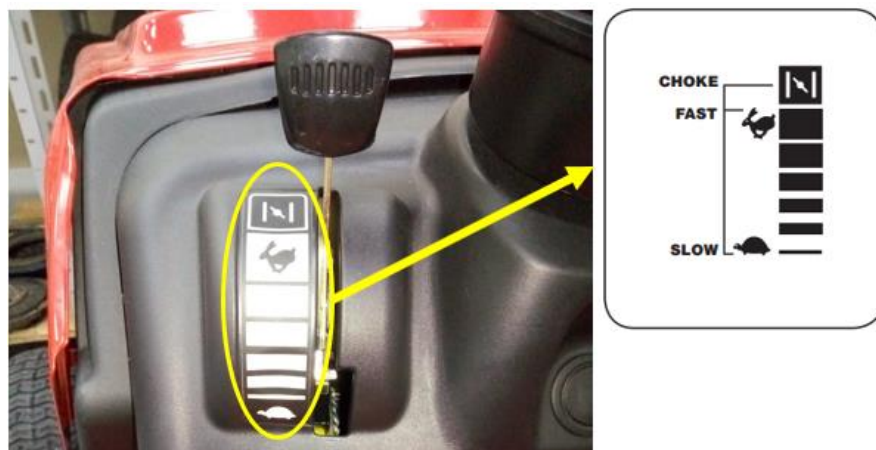
### 3.3 VARIÁVEIS QUE SERÃO AVALIADAS

Com o objetivo de caracterizar a potência sonora do trator em diferentes condições de funcionamento, os ensaios foram realizados empregando-se uma combinação de três variáveis no trator, sendo elas: a rotação do motor, o acionamento de uma tomada de potência (PTO) denominada de implemento, o qual exerce a rotação das lâminas e também um atenuador de vibração, ou seja, o coxim no bloco do motor.

#### 3.3.1 Alavanca de aceleração

A alavanca de aceleração fica do lado esquerdo do painel do trator. Ela controla a rotação do motor, além disso, no modelo do trator em estudo, quando a alavanca é empurrada totalmente para a frente pode controlar o afogador. A velocidade se mantém constante de acordo com a posição. É possível visualizar na Figura 11, que quando a posição da alavanca estiver para baixo (SLOW, com desenho da tartaruga), o trator está na mínima rotação do motor, sendo que, a maneira com que a alavanca for elevada, a rotação do motor irá aumentar, até atingir a aceleração máxima (FAST, com desenho do coelho).

Figura 11 - Alavanca de aceleração do trator

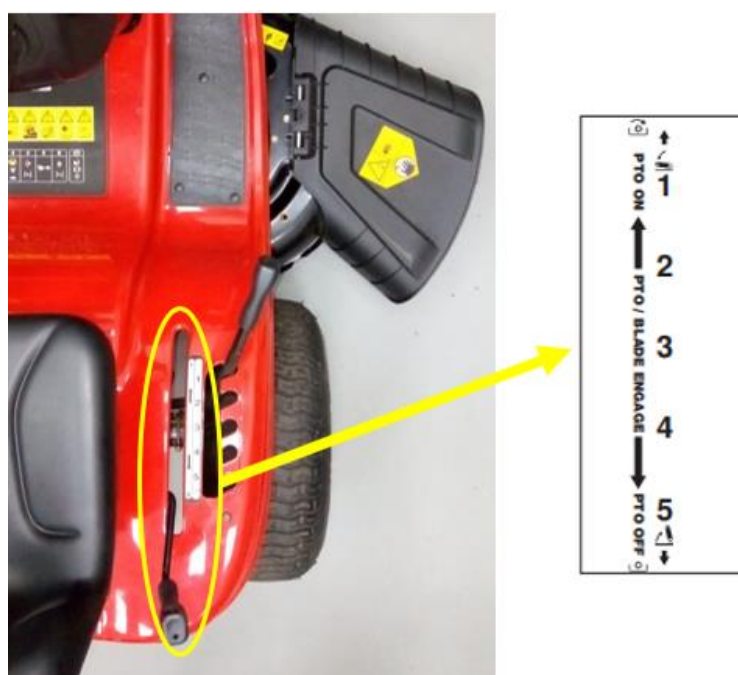


Fonte: autoria própria (2019).

### 3.3.2 Alavanca de acionamento do implemento (PTO)

Localizada no lado direito do trator, a alavanca do implemento serve para acionar a lâmina ou outros acessórios que estejam conectados. Para acioná-la, é necessário mover lentamente a alavanca para frente, da mesma maneira, para desativar a lâmina ou outros acessórios se faz o processo contrário, movendo a alavanca totalmente para trás, como podemos observar na Figura 12.

Figura 12 - Alavanca de acionamento do Implemento (PTO)



Fonte: autoria própria (2019).

### 3.3.3 Atenuador de vibração (coxim)

Os diversos elementos do trator estão sujeitos à esforços que produzem deformações elásticas, cuja magnitude depende do módulo de elasticidade do metal de constituição do elemento (BISTAFA, 2011). A maior fonte de ruído do trator é proveniente do motor, o qual está acoplado ao chassi no trator, constituído de chapas metálicas que quando sujeitos a esforços, deformam-se, sendo essa deformação o mecanismo básico de geração de som, além disso, o sistema de exaustão dos gases de escape do motor também possuem uma grande influência no ruído.

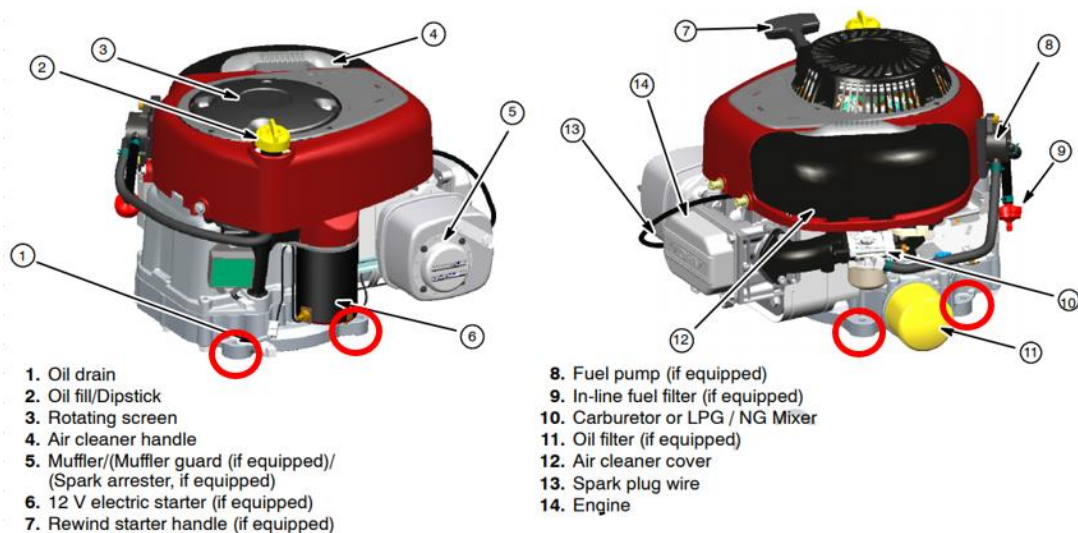
Na tentativa de atenuar um pouco a vibração transmitida do motor durante seu funcionamento para as chapas metálicas do chassi, foi proposto a utilização de 4 isoladores, denominados coxins, constituídos de borracha natural (Figura 13). A montagem desses coxins foi através dos quatro pontos de fixação do bloco do motor acoplados no chassi no trator, que podem ser vistos na Figura 14.

Figura 13 - Coxim adaptado no trator



Fonte: autoria própria (2019).

Figura 14 - Posições dos coxins no bloco do motor



Fonte: adaptado de BRIGGS & STRATTON (2005).



### 3.4 EQUIPAMENTOS PARA MEDIÇÃO DOS NÍVEIS DE RUÍDO

Para medir o NPS (nível de pressão sonora) foram utilizados três microfones, os quais foram posicionados com a ajuda de três tripés nas posições exigidas pela Norma ISO 3744:2010, um calibrador para os microfones, os quais são inseridos no calibrador em dada frequência e nível de potência sonora especificado pelo calibrador, assim calibrando igualmente todos os microfones, e também, um analisador de sinais, composto basicamente de amplificadores, circuitos integradores, filtros, ponderadores e indicadores de leitura.

A banda de frequência selecionada para as medições foi a banda de oitavas. A resposta de frequência considerada foi uma aproximação da resposta do ouvido humano, à qual se aplicaram a ponderação A. Os equipamentos utilizados são de classe 1, ou seja, equipamentos que são empregados em laboratórios de pesquisa e formulação de relatórios técnicos. Os modelos e fotos dos equipamentos que foram utilizados podem ser vistos nas Figuras 15, 16 e 17.

Figura 15 - Microfones Bruel & Kjaer Type 4189



Fonte: autoria própria (2019).



Figura 16 - Calibrador Bruel &amp; Kjaer Type 4231



Fonte: autoria própria (2019).

Figura 17 - Analisador LMS Pimento



Fonte: autoria própria (2019).

Os dados obtidos no LMS Pimento foram transferidos para o computador e importados do próprio programa do analisador, o qual apresenta os resultados das medições realizadas em campo. Tais dados foram exportados para uma planilha no programa Excel para facilidade da análise e tratamento dos dados.

### 3.5 NORMA UTILIZADA PARA MEDIÇÃO DE POTÊNCIA SONORA

A metodologia para realização das medições foi baseada na Norma ISO 3744:2010 – “Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure – Engineering method in a essentially free field over a reflecting plane”. O procedimento consiste na medição de pressão sonora em um ambiente aberto, considerando apenas o chão como uma superfície refletora e com um arranjo de microfones formando uma superfície semiesférica em

torno da fonte sonora (trator). A Norma também descreve os procedimentos e cuidados em relação a montagem, espaço físico, dados climatológicos e correções, quando necessárias, nos cálculos de nível da pressão sonora. A partir das pressões obtidas foram então calculados os níveis de potência sonora de acordo também com o procedimento e equações apresentadas pela Norma.

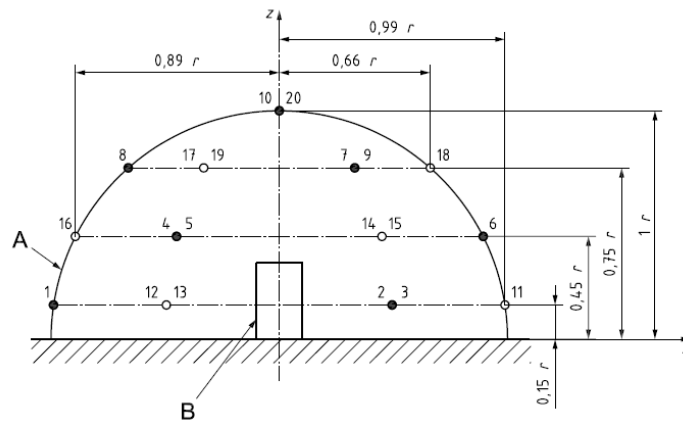
### **3.5.1 Condições meteorológicas**

Com base na Norma ISO 3744:2010, nos nossos cálculos de níveis de pressão sonora não foram feitas correções devido condições de clima, visto que, a Norma evidencia que deverá existir correções nos cálculos somente em casos de a pressão atmosférica ser muito da pressão atmosférica de referência (101.325 kPa) ou uma temperatura de 10° C no dia do teste, ou no caso das medições terem sido realizadas em lugares com altitudes superiores a 500 m acima do nível do mar, casos que não são aplicáveis ao nosso estudo.

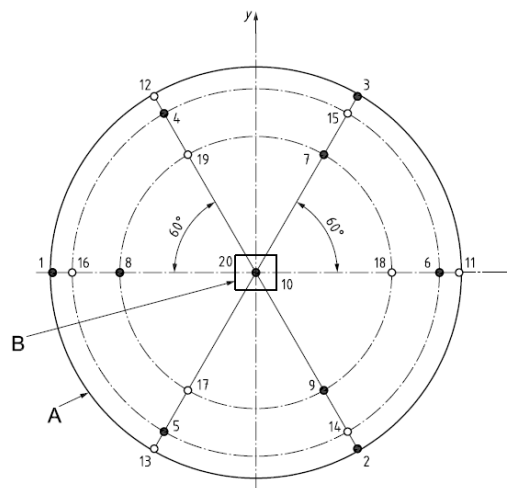
### **3.5.2 Arranjo dos microfones na superfície de medição**

De acordo com a Norma, foram definidos 10 pontos de medição formando uma superfície semiesférica em torno do trator, como pode ser visto na Figura 18 (a) e (b). Não foram usadas posições adicionais de microfone nas medições, devido os nossos testes satisfazerem as condições exigidas na Norma, possibilitando o arranjo de apenas 10 microfones. Entretanto, devido não termos disponíveis 10 microfones no laboratório, foram realizadas quatro medições, sendo nas três primeiras, com um arranjo de 3 microfones e na última medição com apenas um microfone, totalizando no fim as 10 posições.

Figura 18 – Representação das posições dos microfones na superfície semiesférica



(a)



(b)

Fonte: ISO 3744 (2010).

#### Legenda de símbolos da Figura 18

- Posição dos microfones (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10)
- Posição dos microfones adicionais (11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20)
- A Superfície de medição
- B Caixa da fonte sonora
- r Raio da superfície de medição

Para a determinação do raio, a Norma indica a utilização de uma dimensão característica da fonte, sendo que, essa dimensão é determinada pelo cálculo da diagonal de um paralelepípedo representando as dimensões da fonte, as quais foram obtidas da ficha técnica no trator e podem ser vistas na Figura 19.

Figura 19 - Características dimensionais do trator

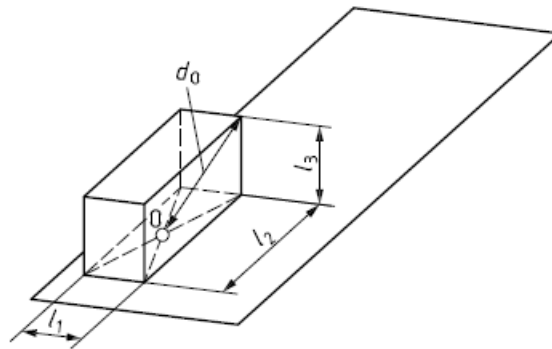
**Informações Logísticas**

Classificação Fiscal	84331100
Dimensões da Embalagem	940 x 650 x 480 mm
Peso Líquido / Bruto	155 Kg / 210 Kg
Empilhamento Máximo	3
Código de Barras	4016918029657

Fonte: Toyama (2016).

A superfície de medição deve ser uma semiesfera com sua origem no ponto O e um raio de medição,  $r$ , de pelo menos duas vezes a dimensão característica da fonte,  $d_0$ , a qual pode ser vista na Figura 20.

Figura 20 - Dimensão característica da fonte sonora



a) Reference box on one reflecting plane,  $d_0 = \sqrt{(l_1/2)^2 + (l_2/2)^2 + l_3^2}$

Fonte: Norma ISO 3744 (2010).

Aplicando a equação apresentada na Figura 20 e utilizando as dimensões da embalagem do trator obtidas da Figura 19, chegou-se em um valor de 746,3 mm para a dimensão característica do trator. A Norma relata que o raio precisa ter um valor de no mínimo 2 vezes a dimensão característica, ou seja, o raio da semiesfera precisa ter no mínimo 1492,6 mm.

Para uma fonte de ruído estacionária que emite som de banda larga e é testada adjacente a um plano refletivo, a Norma consta que os microfones devem estar localizados nas 10

posições numeradas de 1 a 10 listadas na Tabela 3. Nela são dadas as coordenadas (x, y, z) das posições dos microfones, cada uma associada a áreas iguais na superfície de um hemisfério de raio “r”.

Tabela 3 - Referência das posições dos microfones

<b>Referências das posições</b>			
<b>Posição microfones</b>	<b>x/r</b>	<b>y/r</b>	<b>z/r</b>
1	-0,99	0	0,15
2	0,5	-0,86	0,15
3	0,5	0,86	0,15
4	-0,45	0,77	0,45
5	-0,45	-0,77	0,45
6	0,89	0	0,45
7	0,33	0,57	0,75
8	-0,66	0	0,75
9	0,33	-0,57	0,75
10	0	0	1

Fonte: adaptada de ISO 3744 (2010).

Devido às limitações instrumentais de espaço, foi utilizado um raio igual a 2 m. Após a definição do raio e considerando os valores da Tabela 3 da Norma como referência, foi possível detectar os 10 pontos que serão utilizados nas medições, os quais estão listados na Tabela 4.

Tabela 4 - Valores das posições dos microfones

Posição dos microfones [m]			
Posição microfones	x	y	z
1	-1,98	0	0,3
2	1	-1,72	0,3
3	1	1,72	0,3
4	-0,9	1,54	0,9
5	-0,9	-1,54	0,9
6	1,78	0	0,9
7	0,66	1,14	1,5
8	-1,32	0	1,5
9	0,66	-1,14	1,5
10	0	0	2

Fonte: autoria própria (2019).

### 3.5.3 Correção do ruído de fundo

Antes de efetuar as medições dos níveis de pressão sonora, considerou-se a influência da grandeza mencionada como ruído de fundo, isto é, o ruído ambiental gerado por outras fontes que não o objeto de estudo.

$$K_1 = -10 \log(1 - 10^{-0,1\Delta L_p}) \quad [dB(A)] \quad [7]$$

Onde,

$$\Delta L_p = \overline{L_{p(ST)}} - \overline{L_{p(B)}} \quad [dB(A)] \quad [8]$$

Sendo,

$\overline{L_{p(ST)}}$  o nível médio de pressão sonora, em decibéis, para cada frequência analisada na matriz de posições dos microfones sobre a superfície de medição da fonte de ruído sob teste em operação.

$\overline{L_{p(B)}}$  o nível médio de pressão sonora do ruído de fundo, em decibéis, para cada frequência analisada na matriz de posições dos microfones sobre a superfície de medição da fonte de ruído sob teste em operação.

A Norma ISO 3744:2010 estabelece que a correção “ $K_1$ ” do nível de ruído de fundo (ruído ambiente) é assumido como zero quando a diferença nos níveis médios de pressões sonoras  $\Delta L_p$  é maior que 15 dB em todas as posições dos microfones durante o ensaio e nenhuma correção para o ruído de fundo deve ser aplicada. Em todos os resultados, não foi necessário corrigir a medida de ruído de fundo.

### 3.5.4 Cálculo dos níveis de pressão sonora

Para o cálculo dos níveis de pressão sonora médios no tempo da fonte de ruído em teste, segundo a Norma ISO 3744:2010, os níveis de pressão sonora nas posições individuais do microfone variam com o tempo, considerando a medição em faixas de frequência e já com a ponderação da curva “A”, as medições devem ser obtidas em cada posição do microfone durante um período típico de operação da fonte. A Norma ISO 3744:2010 mostra que esse intervalo de medição deve ser de 20 segundos ou mais. Nos nossos testes foram utilizados um intervalo de medição de 5 minutos (300 segundos) para cada posição do microfone, além disso, nos nossos testes foram utilizados três microfones em cada medição.

Para uma superfície de medição com posições ou percursos de microfone associados a áreas de segmentos iguais, que é o nosso caso, segundo a Norma ISO 3744:2010, o nível médio de pressão sonora com média de tempo da matriz de posições do microfone durante a medição na superfície semiesférica em torno da fonte de ruído (trator) deve ser calculado, usando a Equação 9.

$$\overline{L_p} = 10 \log \left[ \frac{1}{N_m} \sum_{i=1}^{N_m} 10^{0,1L_{pi}(ST)} \right] \quad [dB(A)] \quad [9]$$

Sendo,

$\overline{L_p}$  o nível de pressão sonora médio do tempo ponderado em “A”, medido em cada posição do microfone;

$N_m$  o número de posições dos microfones utilizados no teste.

### 3.5.5 Cálculo dos níveis de potência sonora

Para o cálculo dos níveis de potência sonora,  $L_w$ , segunda a Norma ISO 3744:2010, é utilizado a Equação 10 .

$$L_w = \overline{L_p} + 10 \log \left( \frac{S}{S_0} \right) [dB(A)] \quad [10]$$

Sendo,

$S$  é a área, em metros quadrados, da superfície de medição;

$S_0$   $1 \text{ m}^2$ .

Para o nosso estudo, foi considerado uma superfície semiesférica, com um raio de 2 metros, sendo assim, o valor de “ $S$ ” é mostrado nas Equações 11 e 12 .

$$A_{sup.esfera} = 4\pi R^2 \quad [11]$$

$$S = 2\pi R^2 = 25,13 \text{ m}^2 \quad [12]$$



## 4 RESULTADOS OBTIDOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados das avaliações realizadas para alcançar os objetivos propostos. Serão apresentados nos tópicos, os resultados das análises que foram realizadas considerando a variação dos três parâmetros no trator, os quais foram apresentados anteriormente, sendo eles: atenuador de vibração (coxim de borracha natural no bloco do motor), rotação do motor e implemento (lâminas de corte). Com esses três parâmetros, foi possível realizar uma combinação de oito condições diferentes para as análises, como mostrado na Tabela 5.

Tabela 5 - Condições de funcionamento do trator analisadas

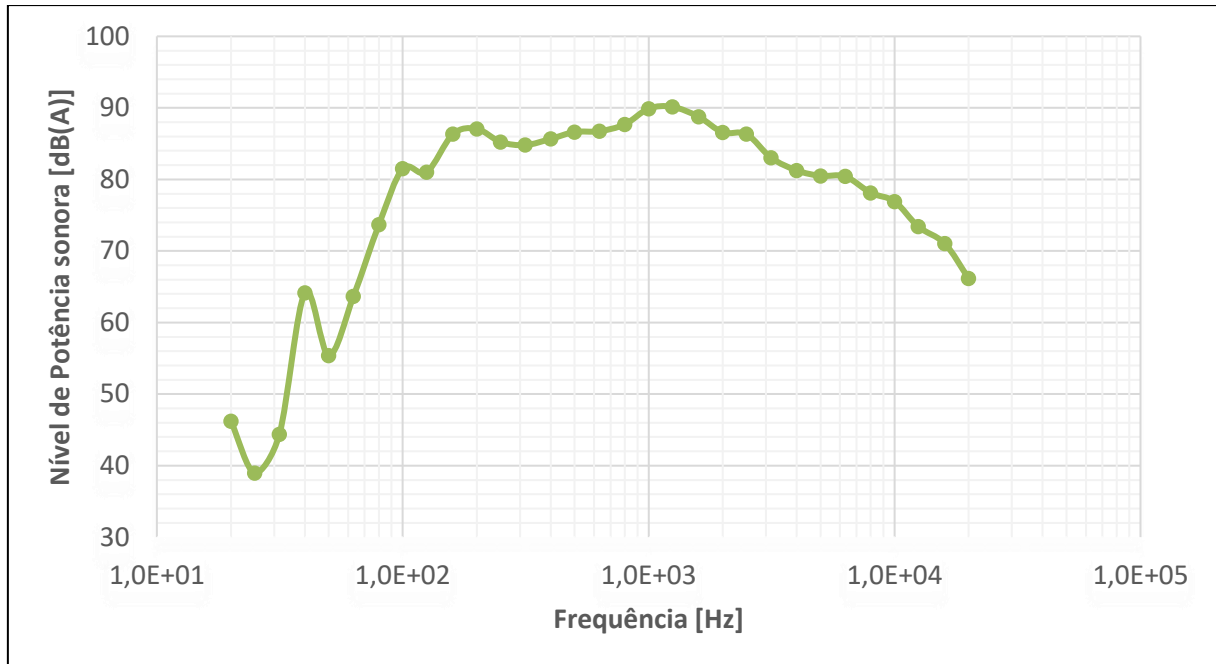
<b>Condição</b>	<b>Sem coxim</b>	
Primeira	Baixa rotação	Sem implemento
Segunda	Baixa rotação	Com implemento
Terceira	Alta rotação	Sem implemento
Quarta	Alta rotação	Com implemento
<b>Com coxim</b>		
Quinta	Baixa rotação	Sem implemento
Sexta	Baixa rotação	Com implemento
Sétima	Alta rotação	Sem implemento
Oitava	Alta rotação	Com implemento

Fonte: autoria própria (2019).

### 4.1 NÍVEIS DE POTÊNCIA SONORA NA PRIMEIRA CONDIÇÃO

Foi então realizado o primeiro experimento, considerando a primeira condição dos testes. Através da condição de baixa rotação do motor, sem coxim no bloco do motor e sem o implemento acionado, foram obtidos valores de pressão sonora, já ponderados em “A”, em cada posição do microfone. Posteriormente, utilizando o programa Microsoft Excel e com base nos cálculos da Norma ISO 3744:2010, foi possível tratar os dados e chegar aos resultados de potência sonora do trator para cada faixa de frequência na condição de funcionamento de baixa rotação do motor, sem coxim no bloco do motor e sem o implemento acionado. É possível observar os resultados na Figura 21.

Figura 21 - Níveis de potência sonora na primeira condição



Fonte: autoria própria (2019).

Para o cálculo do nível de potência sonora global da fonte de ruído em teste, segundo Bistafa (2011), considerando os níveis de potência sonora nas faixas de frequência ( $L_{wi}$ ), é possível obter o nível de potência sonora global através da equação 13.

$$L_{wGLOBAL} = 10 \log \left[ 10^{\frac{L_{w1}}{10}} + 10^{\frac{L_{w2}}{10}} + 10^{\frac{L_{w3}}{10}} + \dots \right] [dB(A)] \quad [13]$$

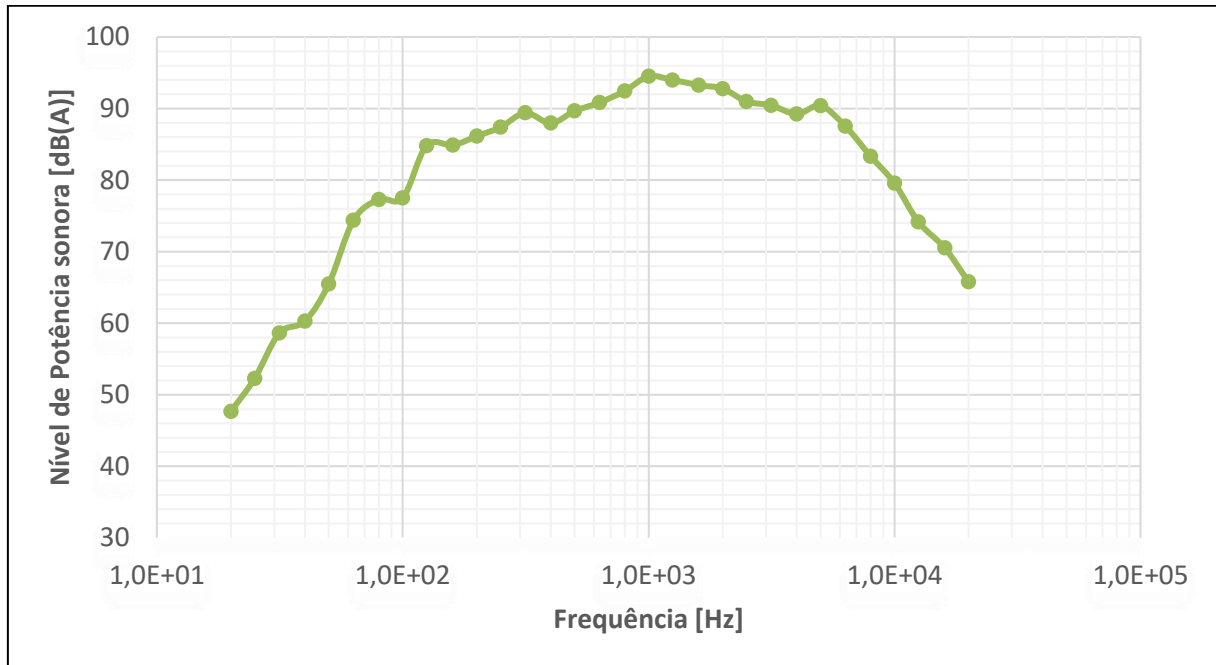
Através dos resultados obtidos da Figura 21 aplicados na equação 13, foi possível obter o valor de potência sonora global do trator na primeira condição de funcionamento, sendo igual a 99,09 dB(A).

#### 4.2 NÍVEIS DE POTÊNCIA SONORA NA SEGUNDA CONDIÇÃO

Posteriormente, foi realizado o segundo experimento, considerando a segunda condição dos testes. Através da condição de baixa rotação do motor, sem coxim no bloco do motor e com o implemento acionado, foram obtidos valores de pressão sonora, já ponderados em “A”, em cada posição do microfone. Posteriormente, com a ajuda do programa Microsoft Excel e com base nos cálculos da Norma ISO 3744:2010, foi possível tratar os dados e chegar aos resultados de potência sonora do trator para cada faixa de frequência na condição de funcionamento de

baixa rotação do motor, sem coxim no bloco do motor e com o implemento acionado. É possível observar os resultados na Figura 22.

Figura 22 - Níveis de potência sonora na segunda condição



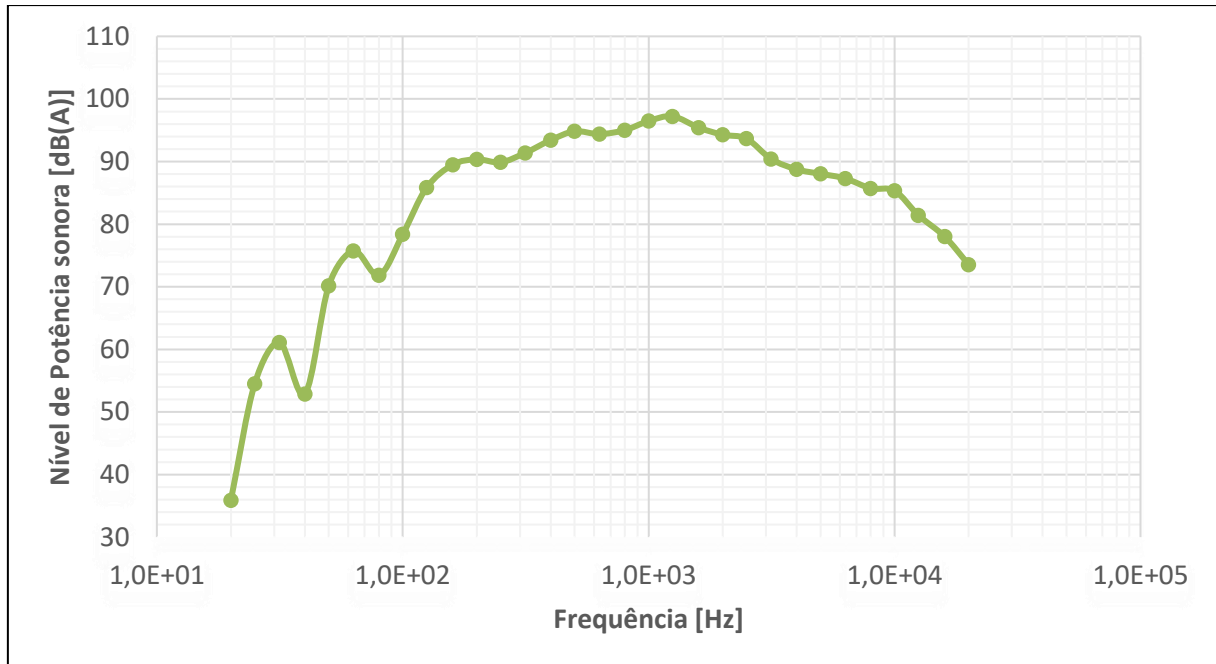
Fonte: autoria própria (2019).

Através dos resultados obtidos da Figura 22 aplicados na equação 13, foi possível obter o valor de potência sonora global do trator na segunda condição de funcionamento, sendo igual a 103,36 dB(A).

#### 4.3 NIVEIS DE POTÊNCIA SONORA NA TERCEIRA CONDIÇÃO

Posteriormente, foi realizado o terceiro experimento, considerando a terceira condição dos testes. Através da condição de alta rotação do motor, sem coxim no bloco do motor e sem o implemento acionado, foram obtidos valores de pressão sonora, já ponderados em “A”, em cada posição do microfone. Posteriormente, com a ajuda do programa Microsoft Excel e com base nos cálculos da Norma ISO 3744:2010, foi possível tratar os dados e chegar aos resultados de potência sonora do trator para cada faixa de frequência na condição de funcionamento de alta rotação do motor, sem coxim no bloco do motor e sem o implemento acionado. É possível observar os resultados na Figura 23.

Figura 23 - Níveis de potência sonora na terceira condição



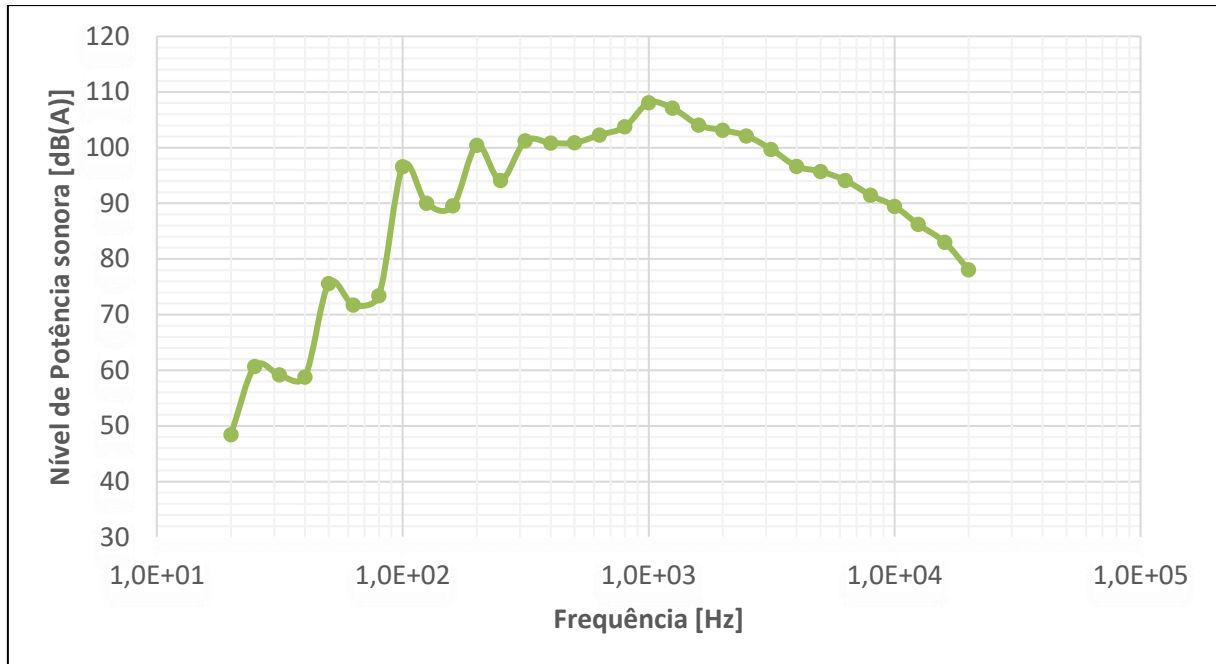
Fonte: autoria própria (2019).

Através dos resultados obtidos da Figura 23 aplicados na equação 13, foi possível obter o valor de potência sonora global do trator na segunda condição de funcionamento, sendo igual a 105,82 dB(A).

#### 4.4 NÍVEIS DE POTÊNCIA SONORA NA QUARTA CONDIÇÃO

Posteriormente, foi realizado o quarto experimento, considerando a quarta condição dos testes. Através da condição de alta rotação do motor, sem coxim no bloco do motor e com o implemento acionado, foram obtidos valores de pressão sonora, já ponderados em “A”, em cada posição do microfone. Posteriormente, com a ajuda do programa Microsoft Excel e com base nos cálculos da Norma ISO 3744:2010, foi possível tratar os dados e chegar aos resultados de potência sonora do trator para cada faixa de frequência na condição de funcionamento de alta rotação do motor, sem coxim no bloco do motor e com o implemento acionado. É possível observar os resultados na Figura 24.

Figura 24 - Níveis de potência sonora na quarta condição



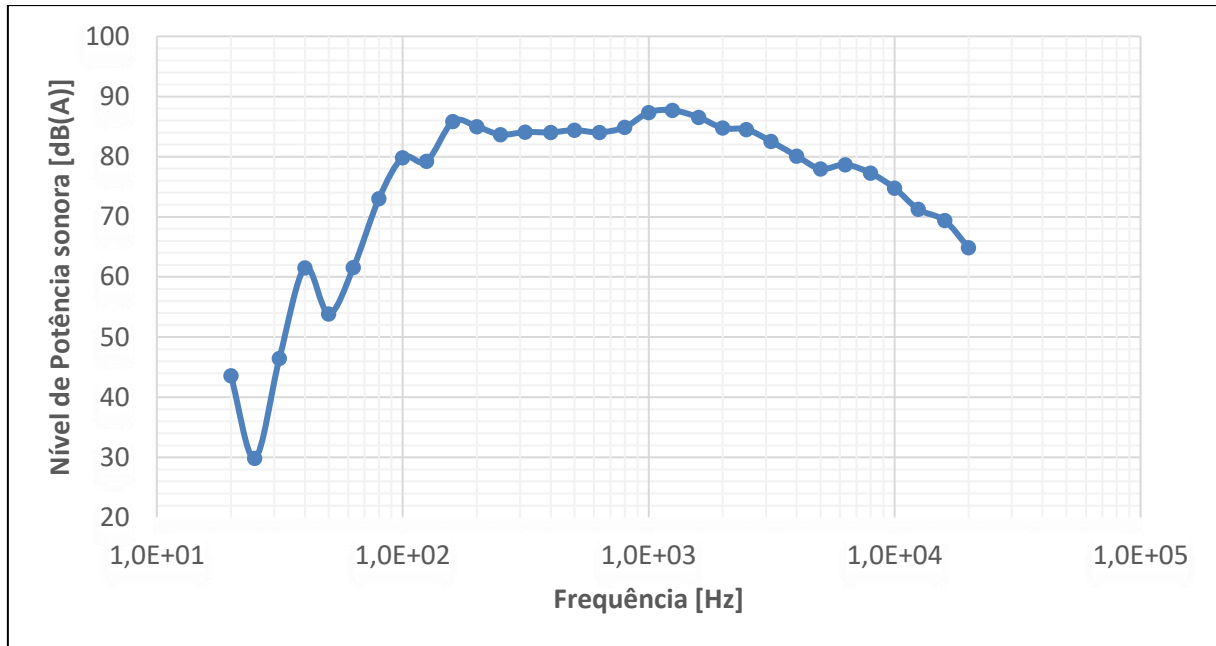
Fonte: autoria própria (2019).

Através dos resultados obtidos da Figura 24 aplicados na equação 13, foi possível obter o valor de potência sonora global do trator na segunda condição de funcionamento, sendo igual a 114,76 dB(A).

#### 4.5 NÍVEIS DE POTÊNCIA SONORA NA QUINTA CONDIÇÃO

Posteriormente, foi realizado o quinto experimento, considerando a quinta condição dos testes. Através da condição de baixa rotação do motor, com coxim no bloco do motor e sem o implemento acionado, foram obtidos valores de pressão sonora, já ponderados em “A”, em cada posição do microfone. Posteriormente, com a ajuda do programa Microsoft Excel e com base nos cálculos da Norma ISO 3744:2010, foi possível tratar os dados e chegar aos resultados de potência sonora do trator para cada faixa de frequência na condição de funcionamento de baixa rotação do motor, com coxim no bloco do motor e sem o implemento acionado. É possível observar os resultados na Figura 25.

Figura 25 - Níveis de potência sonora na quinta condição



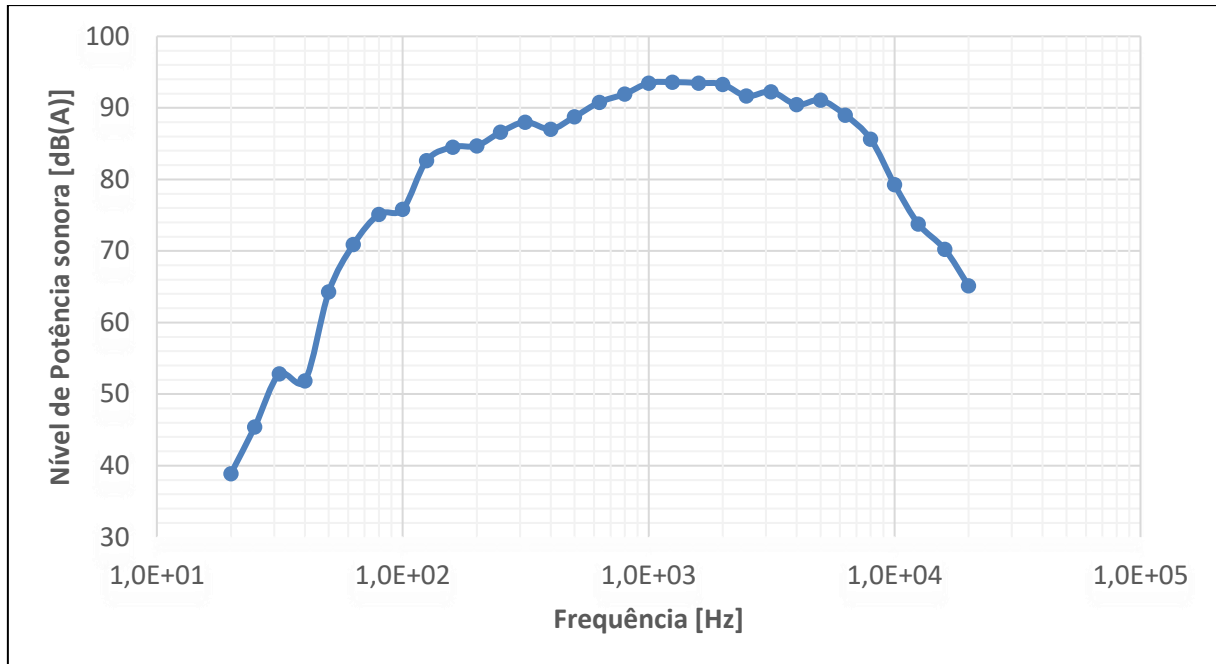
Fonte: autoria própria (2019).

Através dos resultados obtidos da Figura 25 aplicados na equação 13, foi possível obter o valor de potência sonora global do trator na segunda condição de funcionamento, sendo igual a 97,14 dB(A).

#### 4.6 NÍVEIS DE POTÊNCIA SONORA NA SEXTA CONDIÇÃO

Posteriormente, foi realizado o sexto experimento, considerando a sexta condição dos testes. Através da condição de baixa rotação do motor, com coxim no bloco do motor e com o implemento acionado, foram obtidos valores de pressão sonora, já ponderados em “A”, em cada posição do microfone. Posteriormente, com a ajuda do programa Microsoft Excel e com base nos cálculos da Norma ISO 3744:2010, foi possível tratar os dados e chegar aos resultados de potência sonora do trator para cada faixa de frequência na condição de funcionamento de baixa rotação do motor, com coxim no bloco do motor e com o implemento acionado. É possível observar os resultados na Figura 26.

Figura 26 - Níveis de potência sonora na sexta condição



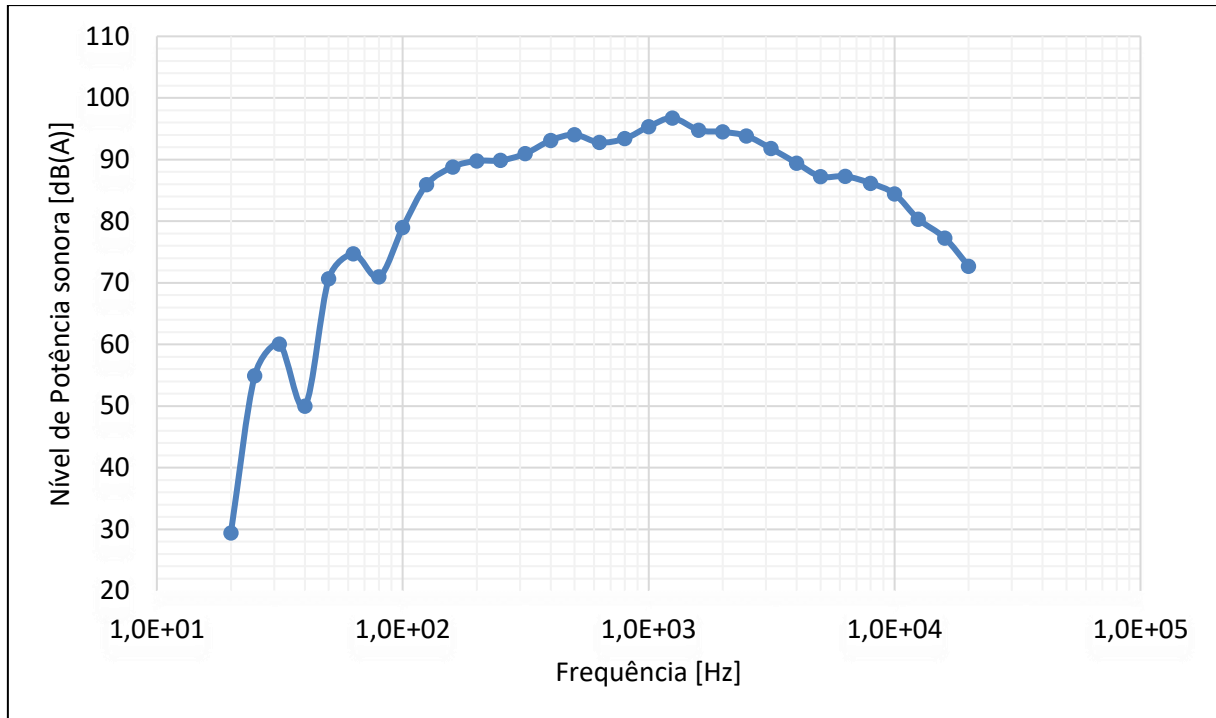
Fonte: autoria própria (2019).

Através dos resultados obtidos da Figura 26 aplicados na equação 13, foi possível obter o valor de potência sonora global do trator na segunda condição de funcionamento, sendo igual a 103,36 dB(A).

#### 4.7 NÍVEIS DE POTÊNCIA SONORA NA SÉTIMA CONDIÇÃO

Posteriormente, foi realizado o sétimo experimento, considerando a sétima condição dos testes. Através da condição de alta rotação do motor, com coxim no bloco do motor e sem o implemento acionado, foram obtidos valores de pressão sonora, já ponderados em “A”, em cada posição do microfone. Posteriormente, com a ajuda do programa Microsoft Excel e com base nos cálculos da Norma ISO 3744:2010, foi possível tratar os dados e chegar aos resultados de potência sonora do trator para cada faixa de frequência na condição de funcionamento de alta rotação do motor, com coxim no bloco do motor e sem o implemento acionado. É possível observar os resultados na Figura 27.

Figura 27 - Níveis de potência sonora na sétima condição



Fonte: autoria própria (2019).

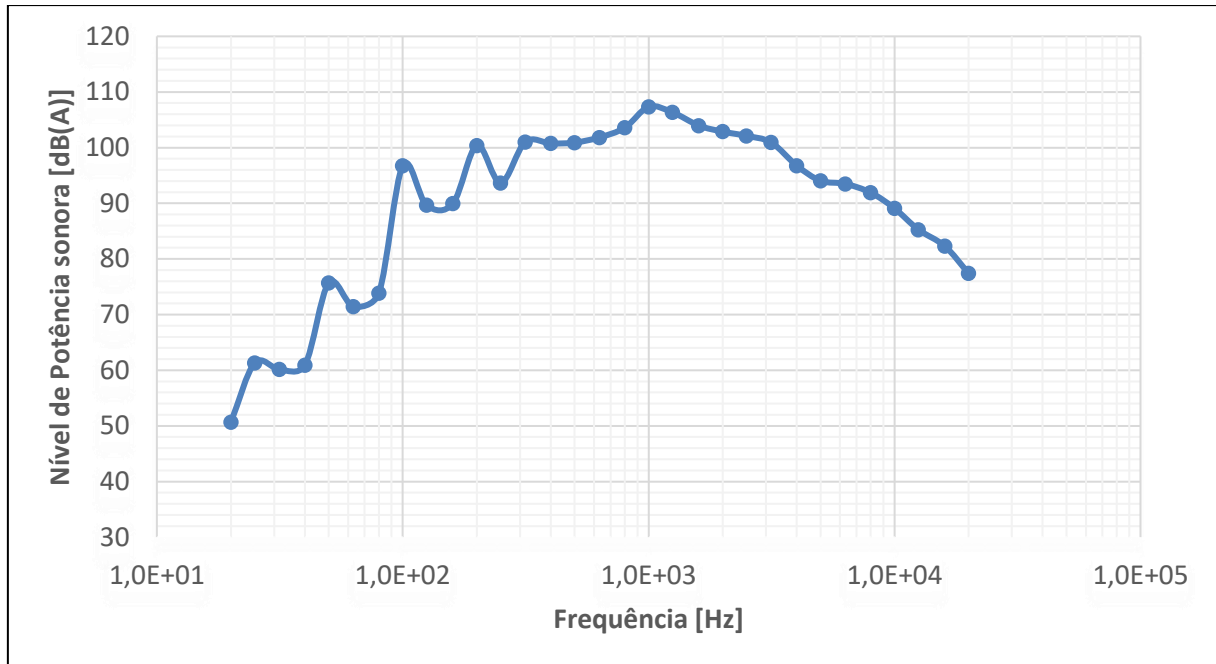
Através dos resultados obtidos da Figura 27 aplicados na equação 13, foi possível obter o valor de potência sonora global do trator na segunda condição de funcionamento, sendo igual a 105,29 dB(A).

#### 4.8 NÍVEIS DE POTÊNCIA SONORA NA OITAVA CONDIÇÃO

Ao final dos testes, foi realizado o oitavo e último experimento, considerando a oitava condição dos testes. Através da condição de alta rotação do motor, com coxim no bloco do motor e com o implemento acionado, foram obtidos valores de pressão sonora, já ponderados em “A”, em cada posição do microfone. Posteriormente, com a ajuda do programa Microsoft Excel e com base nos cálculos da Norma ISO 3744:2010, foi possível tratar os dados e chegar aos resultados de potência sonora do trator para cada faixa de frequência na condição de funcionamento de alta rotação do motor, com coxim no bloco do motor e com o implemento acionado. É possível observar os resultados na Figura 28.



Figura 28 - Níveis de potência sonora na oitava condição



Fonte: autoria própria (2019).

Através dos resultados obtidos da Figura 28 aplicados na equação 13, foi possível obter o valor de potência sonora global do trator na segunda condição de funcionamento, sendo igual a 114,44 dB(A).

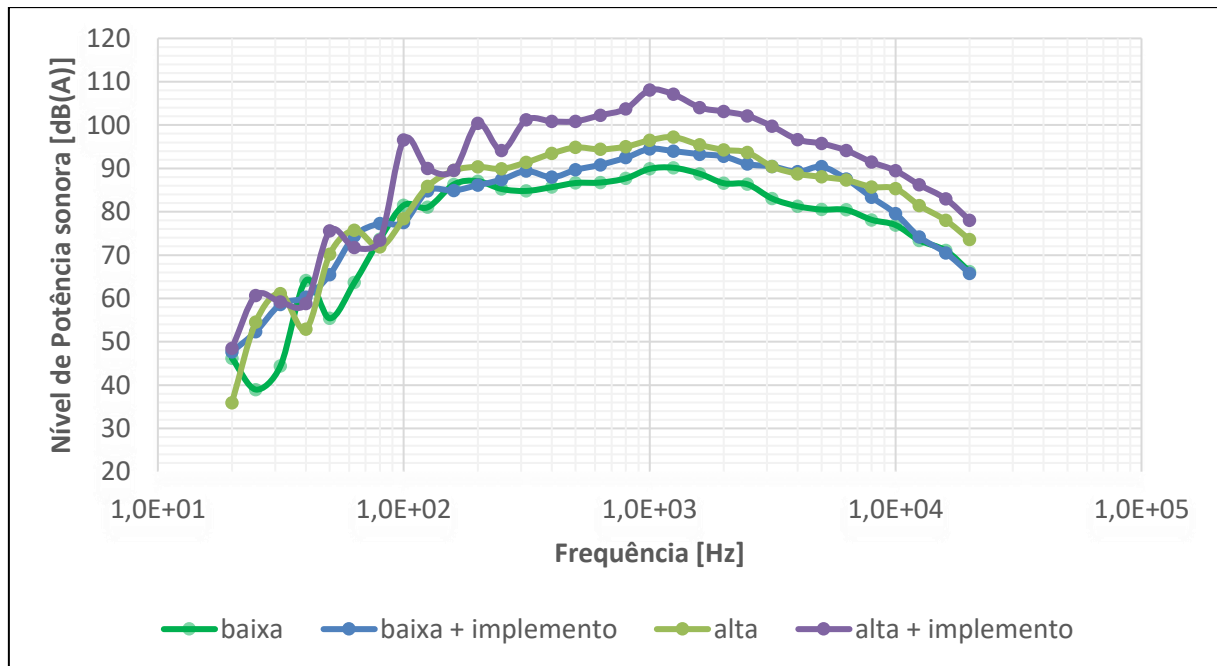
## 5 DISCUSSÕES: ANÁLISE DE DADOS

Com a intenção de avaliar a influência no nível de potência sonora de cada variável analisada anteriormente, com a ajuda do programa Microsoft Excel, foi possível combinar os dados e construir gráficos para uma melhor visualização, como poderemos ver nos tópicos a seguir.

### 5.1 COMBINAÇÃO DOS RESULTADOS NA CONDIÇÃO SEM COXIM

Depois de apresentado os resultados, na Figura 29 é possível visualizar a influência das variáveis de rotação do motor e acionamento do implemento, considerando a condição do trator sem os atenuadores de vibração (coxim) do bloco do motor.

Figura 29 - Níveis de potência sonora na condição sem coxim



Fonte: autoria própria (2019).

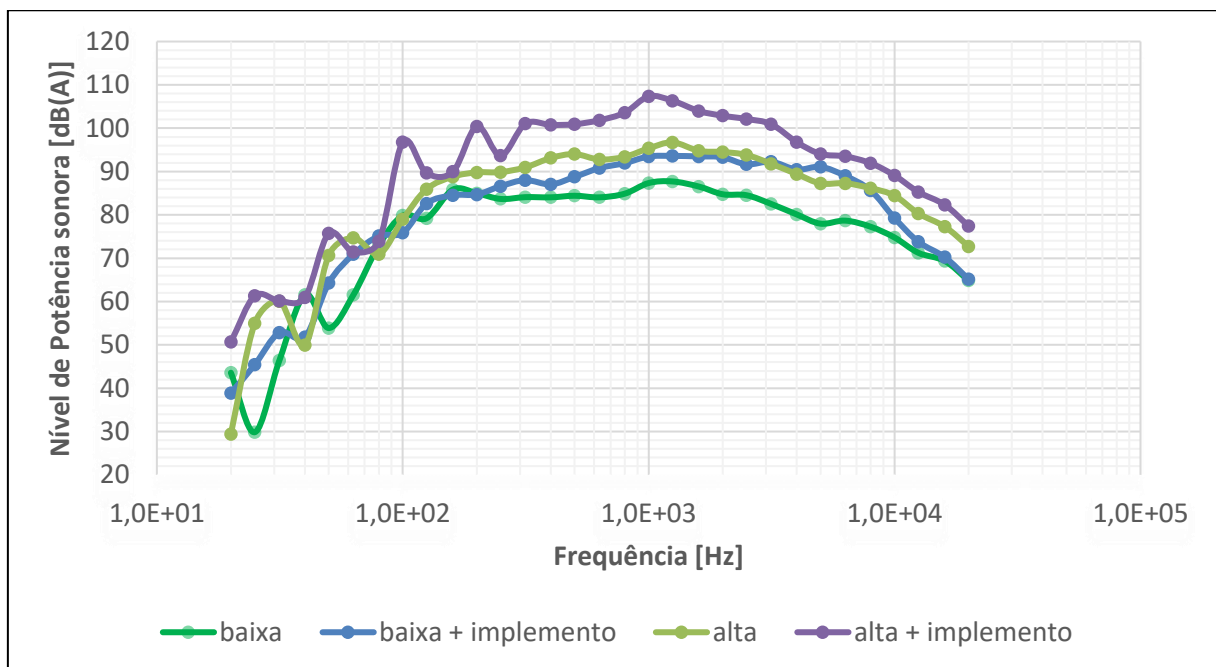
Podemos observar na Figura 29, que os maiores níveis de potência sonora se fazem presente na condição de alta rotação e com a tomada de potência (PTO) da lâmina ligada, ou seja, com o implemento. É possível visualizar também que independente da condição de

funcionamento, o maior nível de potência sonora está sempre na faixa de frequência em torno de 3 kHz.

## 5.2 COMBINAÇÃO DOS RESULTADOS NA CONDIÇÃO COM COXIM

Da mesma maneira como no tópico anterior, com a ajuda da Figura 30, podemos visualizar também a influência das variáveis de rotação do motor e acionamento do implemento, entretanto, considerando agora a condição do trator com os atenuadores de vibração (coxim) do bloco do motor.

Figura 30 - Níveis de potência sonora da condição com coxim



Fonte: autoria própria (2019).

Podemos observar na Figura 30, analogamente com a condição com o coxim, que na condição sem coxim, os maiores níveis de potência sonora, também se fazem presente na condição de alta rotação e com a tomada de potência (PTO) da lâmina ligada, ou seja, com o implemento. É possível visualizar também que independente da condição de funcionamento, o maior nível de potência sonora continua na faixa de frequência em torno de 3 kHz. É importante salientar que o nível de potência sonora global comparando as duas condições, com e sem coxim, não tiveram uma alteração significava, mas essa discussão será detalhada logo adiante no trabalho.

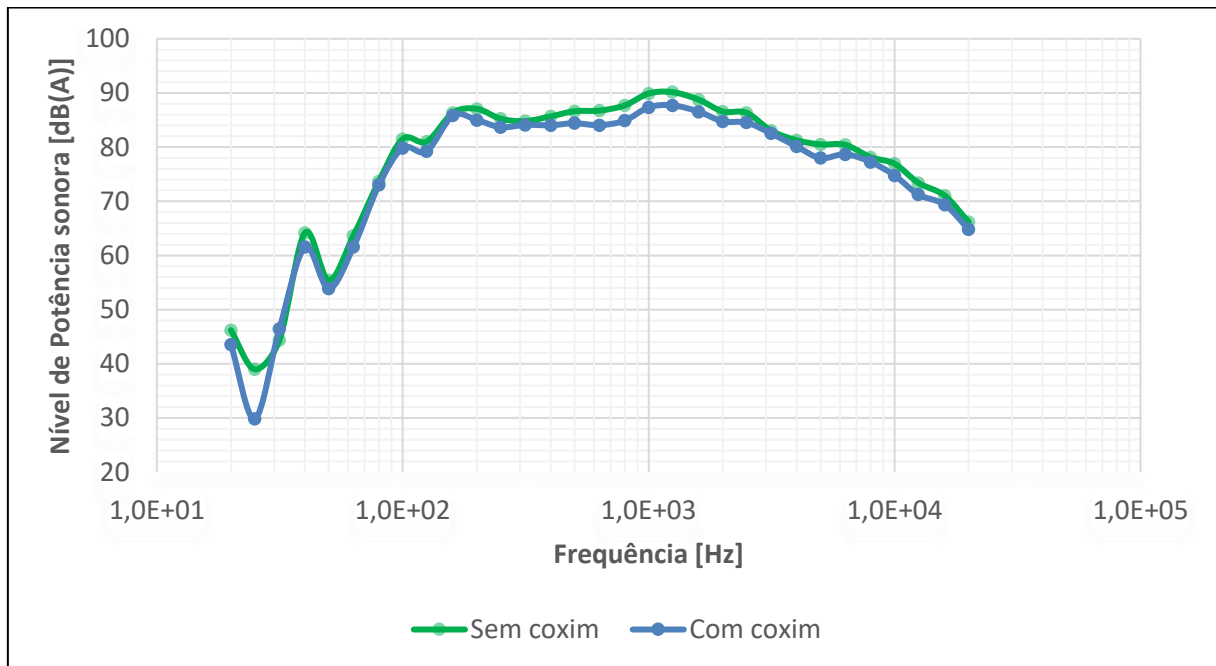
### 5.3 INFLUÊNCIA DOS ATENUADORES DE VIBRAÇÃO (COXIM)

Nesse tópico serão apresentados arranjos dos resultados em cada condição para analisarmos a influência que a utilização dos coxins no bloco do motor causou no nível de potência sonora proveniente do trator.

#### 5.3.1 Análise da influência do coxim na condição de baixa rotação e sem implemento

Na Figura 31 estão representados os resultados das medições na condição de baixa rotação e sem implemento, sendo que, na área do gráfico pode-se visualizar duas curvas (com coxim e sem coxim), possibilitando a comparação que o coxim influenciou no ruído da fonte sonora.

Figura 31 - Níveis de potência sonora na condição de baixa rotação e sem implemento



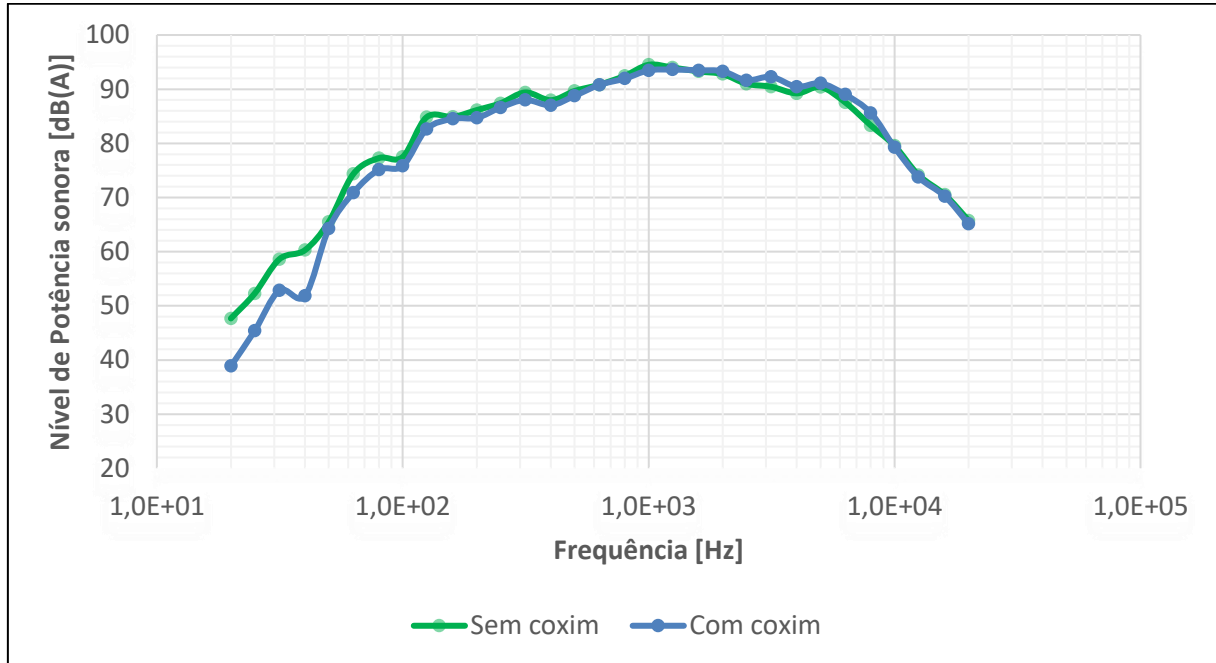
Fonte: autoria própria (2019).

#### 5.3.2 Análise da influência do coxim na condição de baixa rotação e com implemento

Na Figura 32 estão representados os resultados das medições na condição de baixa rotação e com o implemento acionado, sendo que, na área do gráfico pode-se visualizar duas

curvas (com coxim e sem coxim), possibilitando comparar a influência do coxim no ruído da fonte sonora.

Figura 32 - Níveis de potência sonora na condição de baixa rotação e com implemento



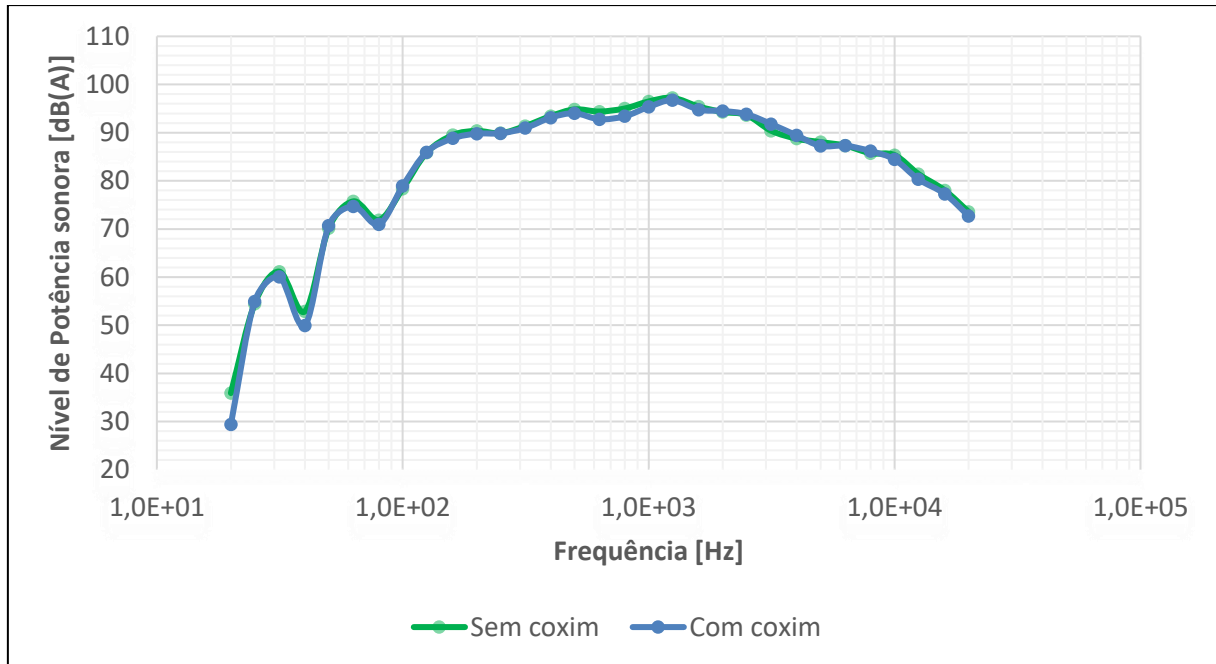
Fonte: autoria própria (2019).

É possível observar ainda na Figura 32, que na região entre 1 kHz e 10 kHz, existe um provável erro de medição, onde em alguns pontos do gráfico a condição com coxim apresentou um leve acréscimo no nível de potência sonora do que na condição sem coxim.

### 5.3.3 Análise da influência do coxim na condição de alta rotação e sem implemento

Na Figura 33 estão representados os resultados das medições na condição de alta rotação e sem implemento, sendo que, na área do gráfico pode-se visualizar duas curvas (com coxim e sem coxim), possibilitando a comparação que o coxim influenciou no ruído da fonte sonora.

Figura 33 - Níveis de potência sonora na condição de alta rotação e sem implemento

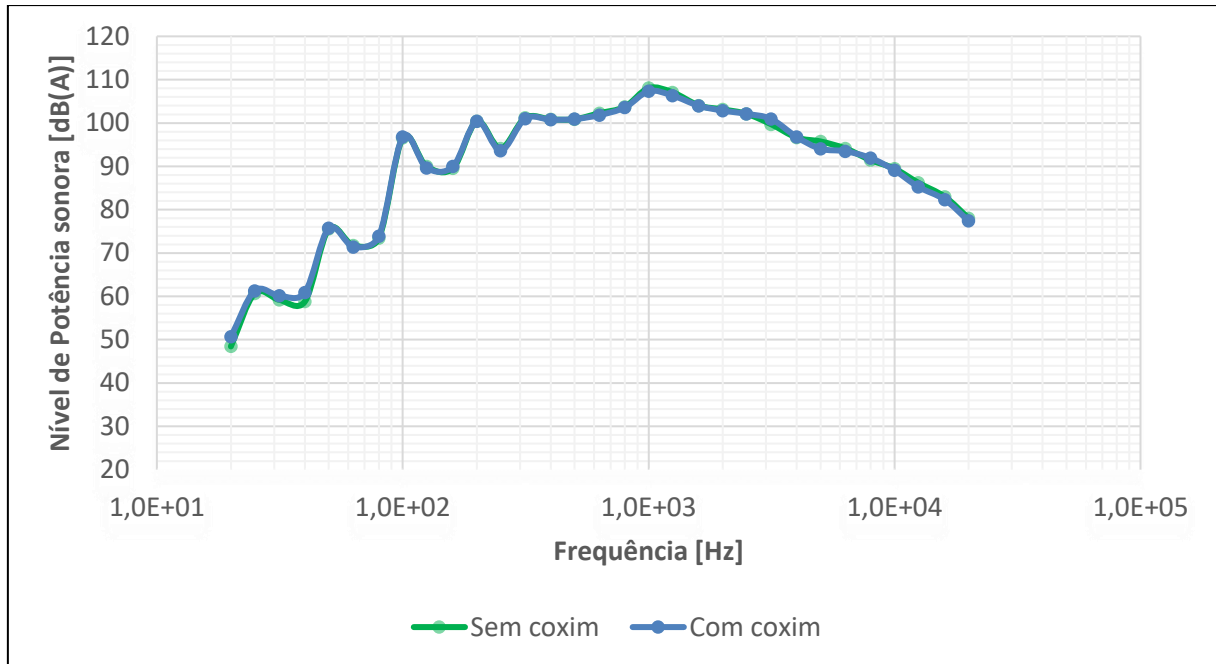


Fonte: autoria própria (2019).

#### 5.3.4 Análise da influência do coxim na condição de alta rotação e com implemento

Na Figura 34 estão representados os resultados das medições na condição de alta rotação e com o implemento acionado, sendo que, na área do gráfico pode-se visualizar duas curvas (com coxim e sem coxim), possibilitando a comparação que o coxim influenciou no ruído da fonte sonora.

Figura 34 - Níveis de potência sonora na condição de alta rotação e com implemento



Fonte: autoria própria (2019).

Através dos gráficos mostrados acima, pode-se afirmar que, os atenuadores de vibração (coxim) utilizados nesse estudo, apesar de impactar uma leve redução no nível de ruído, principalmente, quando analisamos faixas de baixa frequência, eles não tiveram uma influência significativa no nível de potência sonora do trator.

#### 5.4 ANÁLISE DOS NÍVEIS DE POTÊNCIA SONORA GLOBAL

Através da Equação 13 foi possível chegar nos valores de potência sonora global para cada condição de funcionamento do trator. Esses valores podem ser vistos na Tabela 6.

Tabela 6 - Valores de potência sonora global para cada condição de funcionamento

		<b>Condição</b>		<b>Potência sonora global</b>
				<b>[dB(A)]</b>
<b>Sem coxim</b>	<b>1<sup>a</sup></b>	Baixa rotação	Sem implemento	99,09
	<b>2<sup>a</sup></b>	Baixa rotação	Com implemento	103,36
	<b>3<sup>a</sup></b>	Alta rotação	Sem implemento	105,82
	<b>4<sup>a</sup></b>	Alta rotação	Com implemento	114,76
<b>Com coxim</b>	<b>5<sup>a</sup></b>	Baixa rotação	Sem implemento	97,14
	<b>6<sup>a</sup></b>	Baixa rotação	Com implemento	103,36
	<b>7<sup>a</sup></b>	Alta rotação	Sem implemento	105,29
	<b>8<sup>a</sup></b>	Alta rotação	Com implemento	114,44

Fonte: autoria própria (2019).

Foi possível observar na Tabela 6 que apenas na condição de baixa rotação do motor e sem o implemento acionado, o uso do coxim no bloco do motor teve um impacto significativo na redução do nível de ruído global do trator. Além disso, pode-se afirmar também que, considerando que a condição de trabalho dos operadores seja a maior parte do tempo com o trator em alta rotação do motor e com o implemento acionado [114,44 dB(A)], o nível de potência sonora global proveniente do trator em estudo é prejudicial e oferece riscos à saúde do operador.

É possível ainda, através dos valores da Figura 1, a qual ilustra os níveis de pressão sonora para sons do cotidiano, e da Tabela 2, a qual define limites para ruído contínuo de acordo com a NR 15, que um valor em torno de 114 dB(A) caracteriza uma sensação subjetiva de intensidade como um som muito barulhento, e está no limiar do desconforto, além de permitir uma máxima exposição diária de apenas 8 minutos ao operador,



## 6 CONCLUSÃO

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou a análise de ruído de um trator da marca Toyama, utilizado para cortar grama, na determinação do nível de potência sonora em diferentes condições de funcionamento do trator. Além disso, também permitiu uma pesquisa bibliográfica referente a preocupação com a saúde e com a condição de trabalho de um operador exposto a jornadas de trabalho com um elevado nível de ruído, assim como trabalhos que buscaram quantificar a influência de alguns fatores no ruído provindo de máquinas agrícolas.

Dada à importância do assunto, e considerando que o trator em estudo, originalmente, não apresenta qualquer tipo de absorvedor de vibração, atenuador de ruído ou algum isolamento acústico relevante, mostrando uma certa despreocupação com a condição de trabalho do operador. O presente estudo permite uma caracterização do trator em termos de ruído, visto que, o fornecedor também não indica nenhum tipo de informação sobre o nível de potência sonora do trator.

Através das avaliações que foram realizadas em relação ao trator em estudo, pode-se concluir que os maiores níveis de potência sonora resultam em torno da frequência de 3 kHz, ou seja, na faixa em que o nosso sistema auditivo é mais sensível. Além disso, pode-se afirmar que os resultados dos níveis de potência sonora global do trator são preocupantes, principalmente na condição de funcionamento com o motor em alta rotação e com o implemento (PTO) ligado, condição onde o operador fica exposto a maior parte do tempo, e que resultou em um valor em torno de 114 dB(A) no nível de potência sonora.

As medições que foram realizadas nesse trabalho, cumpriram com os objetivos propostos dessa pesquisa de avaliar o nível de potência sonora em cada faixa de frequência de um trator utilizado para cortar grama em diferentes condições de funcionamento, identificando os fatores e as variações possíveis que influenciam no nível de potência sonora proveniente do trator, obtendo os dados relacionados a medições de nível de pressão sonora do trator e convertendo esses dados para nível de potência sonora, na intenção de caracterizar a fonte sonora.

Como sugestões para trabalhos futuros, cita-se analisar esse mesmo trator em diferentes condições de operação, ou seja, em terrenos e ambientes diferentes, para então obter dados do nível de pressão sonora e comparar com os limites das Normas. Além disso, seria pertinente, através de uma análise de vibração em pontos diferentes do trator, quantificar as regiões de maior vibração e analisar outros tipos de absorvedores, visto que, os coxins de borracha no

bloco do motor que foram utilizados nesse estudo não tiveram uma redução significativa no ruído do trator. Ainda na tentativa de controlar o nível de ruído e como sugestões para trabalhos futuros, considera-se estudar algum tipo de isolamento acústico que seja aplicável a esse caso ou até mesmo, projetar um novo silenciador para o sistema de exaustão dos gases do escapamento e analisar sua influência no nível de ruído do trator.

## REFERÊNCIAS

ABNT. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/>>. Acesso em: 14 de novembro de 2019.

ALVES, A. D. S. **Nível de potência sonora emitida por um trator agrícola**. Universidade Federal do Vale do São Francisco, Departamento de Zootecnia Petrolin, 2009.

BISTAFA, S.R. **Acústica Aplicada ao Controle do Ruído**. São Paulo, 2 ed. Editora Blucher. 2011.

BRIGGS & STRATTON. **Operating & Maintenance Instructions**. Disponível em: <[https://www.briggsandstratton.com/la/pt\\_br/support/manuals.html](https://www.briggsandstratton.com/la/pt_br/support/manuals.html)>. Acesso em: 02 de novembro de 2019.

CANCINO, A. **Briggs & Stratton project tackles the grating noise of lawn mowers**. Chicago Tribune, 2014. Disponível em: <<https://www.chicagotribune.com/business/ct-xpm-2014-05-27-ct-lawn-mower-engine-0525-biz-20140524-story.html>>. Acesso em: 30 de outubro de 2019.

COPLEY, D., CALLAS, J. e MARTIN, K. **Patent and Trademark Office**. Patent No. 7635048 B2. Washington DC: U.S. 2009.

DA COSTA, E. C. **Acústica Técnica**. Editora Edgard Blücher, 1ª ed., 2003.

FERNANDES, H. C. et al. **Vibração em tratores agrícolas: caracterização das faixas de frequência no assento do operador**. Engenharia na Agricultura, Viçosa, v. 11, n. 1, p. 26-31, 2003.

FUNDACENTRO, NH 01. **Procedimento Técnico – Avaliação da Exposição Ocupacional ao Ruído**. Fundacentro, 2012. Disponível em: <<http://www.fundacentro.gov.br/biblioteca/Normasdehigieneocupacional/publicacao/detalhe/2012/9/nho-01-procedimento-tecnico-avaliacao-da-exposicao-ocupacional-ao-ruído>>. Acesso em: 15 de outubro de 2019.

GERGES, S.N.Y. **Ruído: Fundamentos e Controle**, Florianópolis, 2000.

GONZALES, M. F., **Acústica** – Bidim Rhodia, São Paulo, 1980.

GRANDJEAN, E.O **Assento de Trabalho**. In: Manual de ergonomia: Adaptando o Trabalho ao Homem, 4 ed. Porto Alegre, 1998.

INMETRO. **Legislação RTAC001891**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001891.pdf>>. Acesso em: 01 de novembro de 2019.

IIDA, I. **Ergonomia: projeto e produção**. São Paulo: Edgard Blucher, 465p, 1990.

ISO 3744:2010. **Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure – Engineering method in a essentially free field over a reflecting plane**. Disponível em: <<https://www.iso.org/standard/52055.html>>. Acesso em: 01 de novembro de 2018.

KINSLER, L. E.; FREY, A. R.; COPPENS, A. B.; SANDERS, J. V. **Fundamentals of acoustics**. 4 ed., John Wiley and Sons, Inc., New York, 2000.

LIMA, J.S.S. **Avaliação da força de arraste, parâmetros ergonômicos e compactação do solo, em um sistema de colheita de madeira, utilizando os tratores florestais Feller-Buncher e Skidder**. Viçosa, MG, UFV, 1998.

LYON, R.H.; BOWEN, D.L. **Designing quiet products**. The Bridge, 37(3), 11-17, 2007.

MERLUZZI, F.; DIGHERA, R.; DUCA, P. **Soglia uditiva di lavoratiriron esposti a rumore professionale: valore de riferimento**. La Medicina Del Lavoro, Roma, v. 6, n. 78, p. 427-440, 1987.

MIALHE, L.G. **Máquinas agrícolas: ensaios e certificação**, Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 722p, 1996.

NR, Norma Regulamentadora. **NR-15 - Atividades e Operações Insalubres**. Ministério do Trabalho e Emprego, 2009.

OLIVEIRA, N.V.; ARAÚJO, M.C.; BARBOSA, J.C.; SOBRINHO, A.T. **Investigação do nível de ruído que o tratorista está exposto no preparo periódico do solo com trator de pneu**. Em: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 3, Anais, Poços de Caldas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. p.289.

OTTONI, A. O. C.; BRANCO, A. B.; BOGER, M. E.; GARAVELLI, S. L. **Study of the noise spectrum on high frequency thresholds in workers exposed to noise**. Em: Brazilian Journal of Otorhinolaryngology, July, 2012.

RODRIGUES, M. A. G.; DEZAN, A. A.; MARCHIORI, L. L. M. **Eficácia da escolha do protetor auditivo pequeno, médio e grande em programa de conservação auditiva**. Revista Cefac, São Paulo, v. 8, n. 4, p. 543-547, 2006.

SANTOS FILHO, P. F. et al. **Utilização de um sistema de aquisição automática de dados para avaliação dos níveis de ruído de um trator agrícola de pneus**. Revista Árvore, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 381-386, 2004.

SIMONE, M. et al. **El tractor agrícola: fundamentos para su selección y uso**. Mendoza: INTA, 2006.

SPLINTER, W. E.; MUNGAARD, M. L.; STERINBRUEGGE, G. W.; and LARSEN L. F. **Sound Level Tests of Agricultural Tractors**. SAE International by University of Edinburgh, Saturday, August 25, 2018.

TAURO, D. J. **Influence of Specified parameters on the Noise Radiated by Lawnmower Blades**. Masters Thesis, Iowa State University, 1996.

TOYAMA, P. P. **Ficha técnica do trator cortador de grama modelo 13AN772S305**. Disponível em: <<http://www.toyama.com.br/arquivos/produtos/1467649915.pdf>>. Acesso em: 15 de novembro de 2018.