

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CAMPUS DE CACHOEIRA DO SUL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

Eduarda Yumi Aono

**NÍVEL DE RUÍDO EMITIDO POR TRATORES AGRÍCOLAS COM DIFERENTES
SISTEMAS DE ASPIRAÇÃO DE AR E PLATAFORMAS DE OPERAÇÃO**

Cachoeira do Sul, RS
2022

Eduarda Yumi Aono

**NÍVEL DE RUÍDO EMITIDO POR TRATORES AGRÍCOLAS COM DIFERENTES
SISTEMAS DE ASPIRAÇÃO DE AR E PLATAFORMA DE OPERAÇÃO**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria, Campus de Cachoeira do Sul (UFSM-CS, RS), como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Tiago Rodrigo Francetto

Cachoeira do Sul, RS
2022

Eduarda Yumi Aono

**NÍVEL DE RUÍDO EMITIDO POR TRATORES AGRÍCOLAS COM DIFERENTES
SISTEMAS DE ASPIRAÇÃO DE AR E PLATAFORMA DE OPERAÇÃO**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria, Campus de Cachoeira do Sul (UFSM-CS, RS), como requisito para a obtenção do título de **Bacharel em Engenharia Agrícola**.

Aprovado em 29 de Julho de 2022.

Tiago Rodrigo Francetto, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Alfran Tellechea Martini, Dr. (UFSM)

Viviane Dal-Solto Frescura, Dra. (UFSM)

Cachoeira do Sul, RS
2022

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos pequenos produtores da agricultura familiar, em especial aos operadores de tratores agrícolas.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de Santa Maria – Campus de Cachoeira do Sul e a todas as pessoas que fazem com que a UFSM seja uma instituição de ensino superior gratuito de qualidade.

Meus pais, **Marcio Yohei Aono** e **Elielse Fernandes**, os quais me permitiram viver a experiência da faculdade em uma cidade distante e propiciaram a mim toda educação e condições necessárias.

Ao meu orientador, **Tiago Rodrigo Francetto**, pela confiança depositada em mim durante a graduação. Pelo seu exemplo de profissionalismo, ensinamentos e oportunidades que levarei para minha vida.

Aos meus amigos, **Estêvão Laureano**, **Jaqueline Rambo**, **Joelson Vieira**, **Henrique Lima**, **Edwin Ramirez**, que foram minha família durante esses anos de graduação.

Aos meus colegas do LASERG, em especial, **Andressa Massirer** e **Anderson Soares**, pelo auxílio na coleta dos dados utilizados nesse estudo.

A toda equipe da concessionária Líder tratores, ao **João Bittencourt** e seu orientador **Lucas Jobim** que se disponibilizaram a estabelecer esta parceria e colaboraram no processo de obtenção dos dados.

RESUMO

NÍVEL DE RUÍDO EMITIDO POR TRATORES AGRÍCOLAS COM DIFERENTES SISTEMAS DE ASPIRAÇÃO DE AR E PLATAFORMA DE OPERAÇÃO

AUTORA: Eduarda Yumi Aono
ORIENTADOR: Tiago Rodrigo Francetto

Durante muitos anos o homem temse adaptado à máquina, sem que sejam considerados os fatores ergonômicos importantes, ocasionando graves problemas de saúde ocupacional. Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), o ruído é uma das principais fontes ocupacionais que geram incapacidade do trabalhador ao longo dos anos. Este pode ser definido como sons indesejáveis e desagradáveis, que são causados por diversos fatores em desarmonia. Visando o conforto e segurança dos operadores de tratores, é cada vez mais comum o uso de cabines no sistema de operação, que funcionam como uma superfície refletora e absorvedora, diminuindo a exposição do operador. Outro ponto que impacta significativamente no aumento do ruído nos tratores é o sistema de aspiração de ar. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar os níveis de ruído emitidos por tratores agrícolas com diferentes sistemas de aspiração de ar e plataforma de operação. Foram ensaiados quatro modelos de tratores, variando os testes em cinco rotações e quatro diferentes posições de coleta, totalizando 400 leituras. Após as coletas das informações de ensaio, os dados foram submetidos ao teste F utilizando o Software Minitab, onde as médias que foram significativas, foram submetidas ao teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Constatou-se que, em todos os modelos de tratores, com o incremento do nível de rotação do motor, houve o aumento dos níveis de ruído. Verificou-se o impacto do *intercooler* no motor turbo, como um elemento gerador de maiores níveis de ruído, com o trator TT75 obtendo os valores mais elevados. A presença da cabine ameniza a exposição de pressão sonora por parte de tratorista, porém pode acentuar o ruído aos trabalhadores próximos. O trator TL5.80SC apresentou a menor média de ruído, enquanto o mesmo modelo com cabine só teve valor inferior na posição de coleta próximo ao ouvido do operador. Todos os valores de médias, independente do equipamento e posição de coleta, obtiveram nível de ruído superior a 85 dB(A), considerando uma jornada de trabalho de 8h já seria um nível de exposição superior ao prescrito pela NR-15.

Palavras-chave: Pressão sonora, Engenharia Agrícola, Máquinas Agrícolas.

ABSTRACT

NOISE LEVEL EMITTED BY AGRICULTURAL TRACTORS WITH DIFFERENT AIR SUCTION SYSTEMS AND OPERATION PLATFORM

AUTORA: Eduarda Yumi Aono
ORIENTADOR: Tiago Rodrigo Francetto

For many years man has adapted to the machine, without considering the important ergonomic factors, causing serious occupational health problems. According to the World Health Organization (WHO), noise is one of the main occupational sources that generate worker incapacity over the years. This can be defined as undesirable and unpleasant sounds, which are caused by several factors in disharmony. Aiming at the comfort and safety of tractor operators, it is increasingly common to use cabins in the operating system, which work as a reflective and absorbing surface, reducing operator exposure. Another point that significantly impacts the increase in noise in tractors is the air suction system. In this context, the present work aimed to evaluate the noise levels emitted by agricultural tractors with different air suction systems and operating platform. Four tractor models were tested, varying the tests in five rotations and four different collection positions, totaling 400 readings. After collecting the test information, the data were submitted to the F test using the Minitab Software, where the means that were significant were submitted to the Tukey test at 5% error probability. It was found that, in all tractor models, with the increase in the engine rotation level, there was an increase in noise levels. The impact of the intercooler on the turbo engine was verified, as an element that generates higher noise levels, with the TT75 tractor obtaining the highest values. The presence of the cabin mitigates the exposure of sound pressure by the tractor driver, but it can accentuate the noise to nearby workers. The TL5.80SC tractor presented the lowest noise average, while the same model with cabin only had a lower value in the collection position close to the operator's ear. All mean values, regardless of the equipment and collection position, obtained a noise level above 85 dB(A), considering an 8-hour workday would already be a higher exposure level than that prescribed by NR-15.

Keywords: Sound pressure, Agricultural Engineering, Agricultural Machines.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. CONTEXTUALIZAÇÃO	9
2.1 TRATOR AGRÍCOLA	9
2.1.1 Importância do trator agrícola... ..	10
2.1.2 O motor	11
2.1.3 Turbocompressor.....	Erro! Indicador não definido.
2.1.4 <i>Intercooler</i>	12
2.2 RUÍDO DEFINIÇÃO E CARACTERÍSTICAS.....	13
2.2.1 Exposição ocupacional.....	14
2.3 AVALIAÇÃO DE RUÍDO EM TRATORES AGRÍCOLAS	15
3. MATERIAL E MÉTODOS	Erro! Indicador não definido.
3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	17
3.2 DESCRIÇÃO DOS FATORES	18
3.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE	19
3.4 CARACTERIZAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	19
3.5 AQUISIÇÃO DOS DADOS	21
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	Erro! Indicador não definido.
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	28
REFERÊNCIAS	29

INTRODUÇÃO

Com a mecanização agrícola, desde os anos 60, o uso de máquinas tem sido intensificado no campo, a fim de otimizar o desempenho e a produtividade. Os tratores, que são a base dessa mecanização, eram projetados unicamente com o intuito de executar as operações, por vezes deixando de lado fatores ergonômicos responsáveis pela qualidade do trabalho e segurança do operador. Desta forma, o tratorista precisava ao mesmo tempo controlar o implemento e manter o trator alinhado ao sentido de trabalho, enquanto era submetido a poeira, vibrações e ruídos que podem ir além do que é permitido pelas normas de segurança do trabalho (SOUZA, FERNANDES e VITÓRIA, 2006).

Essa problemática merece atenção dos operadores. Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), o ruído é uma das principais fontes ocupacionais que geram incapacidade do trabalhador ao longo dos anos (BRASIL, 2001). Dessa forma, a exposição a barulhos excessivos no ambiente é uma das principais causas das perdas auditivas relacionadas ao trabalho. De acordo com Stansfeld (2003), os impactos da exposição exacerbada do ruído podem causar além da perda de audição, o aumento da frequência cardíaca, aumento da pressão arterial, distúrbios psíquicos, náuseas, dores de cabeça, ansiedade e mudanças de humor.

O ruído pode ser definido como sons indesejáveis e desagradáveis, que são causados por diversos fatores em desarmonia, podendo causar problemas físicos e psíquicos à saúde. Exemplo destes são: zumbidos, buzinas, chiados, pancadas, estrondos e outros sons provenientes de máquinas e dispositivos (OLIVEIRA et al., 2015).

Atividades que expõem o trabalhador a níveis de ruído superior ao estabelecido pela Norma Regulamentadora 15 (85 decibéis para uma jornada de trabalho de 8 horas) sem o uso adequado de proteção, prevê os graus de insalubridade de tais atividades, classificando-os em mínimo, médio e máximo, o que confere aos trabalhadores 10%, 20%, 40% respectivamente, de adicionais, sobre o salário mínimo vigente.

Ao entrevistar 111 operadores de tratores, Fernandes (1991), constatou que, mesmo após 14 a 16 horas de repouso acústico, 42% dos mesmos declararam sentir tonturas e 44% problemas de zumbido causados pela exposição aos altos níveis de ruído.

Visando o conforto e segurança dos operadores de tratores, é cada vez mais comum o uso de cabines no sistema de operação, que quando originais e certificadas pelo fabricante funcionam como uma superfície refletora e absorvedora de som, expondo o operador a um menor nível de pressão sonora. Fernandes (1991), também constatou que a redução do ruído nos

tratores agrícolas em três pontos principais: o sistema de exaustão de gases, a hélice do sistema de arrefecimento e o sistema de aspiração de ar.

Esse último, tem sofrido diversas alterações tecnológicas para permitir o incremento da potência motora pela sobre alimentação de ar. Exemplo dessa evolução, são os motores com turbocompressor e *intercooler*. O primeiro, através da admissão forçada de ar, aumenta o volume de oxigênio que chega aos cilindros. Contudo, aumenta a temperatura do ar, o que reduz sua densidade e, dessa forma, seu volume. Assim, havendo a necessidade de maior incremento de fornecimento de potência, faz-se necessário reduzir este parâmetro inserindo um trocador de calor posteriormente a turbina. Assim, o *intercooler* atua na troca de calor, resfriando a massa de ar (mais densa), auxiliando no acréscimo da potência do motor.

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar os níveis de ruído emitidos por quatro modelos de tratores agrícolas com diferentes sistemas de aspiração de ar e plataforma de operação.

CONTEXTUALIZAÇÃO

2.1 TRATOR AGRÍCOLA

O trator agrícola é uma máquina composta por mecanismos complexos, que transformam a energia química do combustível em energia útil para realização de operações com máquinas e implementos agrícolas e florestais. É um veículo que produz potência, sendo esta uma fonte a serviço de implementos, deve-se conhecer seus princípios de funcionamento e utilização para poder otimizar seu uso (FOLLE e FRANZ, 1990).

Os primeiros tratores criados eram movidos a vapor e foram introduzidos no mercado em 1868, corroborando para o aumento da produtividade e o lucro na propriedade (MIALHE, 1980). Os incentivos para o desenvolvimento, produção e comercialização dos tratores se deu principalmente nos anos após as duas grandes guerras, quando aumentou consideravelmente a demanda por alimentos e fibras, além da baixa mão de obra disponível (GEHLEN, 2016).

Com o surgimento dos motores de combustão interna a gasolina, o uso dos tratores começou a ser otimizado. Posteriormente vieram os movidos a diesel, sendo que, os custos, consumo e durabilidade fizeram com que estes modelos predominassem o mercado até os dias atuais, Quadro 1.

Ao longo dos anos, segundo Schlosser (2005), a necessidade do homem influenciou grandes mudanças nas características dos tratores, uma das principais foi a relação massa/potência, sendo melhor ajustadas para se adequarem a trabalhos mais leves a mais pesados, exigindo diferentes níveis de força de tração.

Além do crescente número de tratores por propriedade, também se deu o aumento do tamanho dos modelos, em 1950, 90,8% dos tratores tinham potência menor que 35cv, e até 1960, essa porcentagem diminuiu para 17% (ALONÇO, 2012).

Quadro 1: Evoluções nos tratores agrícolas.

(continua)

PERÍODO	EVOLUÇÃO
1858	Trator a vapor utilizado na aração da terra.
1889	Trator com combustão interna (Henry Ford – Ferguson).

Quadro 1: Evoluções nos tratores agrícolas.

(conclusão)

1920	Surgimento de dois tratores agrícolas no mercado: Massey Harris e Henry Ford – Ferguson
1940	Primeiros tratores com tomada de potência, barra de tração, e sistema de 3º ponto.
1950	Aumento de potência dos tratores e de tratores a diesel, transmissão automáticas e transmissões com maior número de marchas.
1960	Implantação das primeiras fábricas de tratores no Brasil.
Atualidade	Tratores possuem grande potência e alta tecnologia embarcada, além de uma enorme variedade de marcas e modelos.

Fonte: Adaptado de YAMASHITA (2010).

1.1.1 Importância do trator agrícola

O trator agrícola é uma máquina de extrema importância para a agricultura, sendo a maior fonte de potência no campo, capaz de exercer força independentemente do sentido de deslocamento, visando realizar as mais diversas operações agrícolas. A partir do seu desenvolvimento foi possível produzir muito mais em menos tempo com um alto padrão (SANTOS, 2011).

Segundo Madeira (2011), o trator agrícola é considerado a máquina mais importante no desenvolvimento do meio rural como um todo, agricultura e pecuária, trazendo altos rendimentos e melhorando consideravelmente a condição de trabalho dos colaboradores destes meios. O mesmo autor cita que um dos pilares da evolução no agronegócio é advinda especialmente da mecanização agrícola, atentando a constante melhoria ao processo produtivo, como preparação correta do solo, utilização de sementes certificadas, adubações com recomendações técnicas e etc.

Schlosser (2010) afirma que a mecanização auxiliou na produção agrícola, agilizando o plantio, a colheita e diminuindo as perdas nesses processos, além de facilitar o trabalho dos operadores. Entretanto, com os avanços da mecanização, são observados alguns pontos negativos decorrentes da maior utilização dessas máquinas, por exemplo o maior número de

acidentes e doenças ocupacionais advindas do uso dos tratores sem os equipamentos de segurança individual necessários (SALOMÃO, 2003). Os tratores devem ser utilizados em boas condições ergonômicas e estado de conservação para evitar fadiga do operador e decorrente disso, acidentes de trabalho.

1.1.2 O motor

Os tratores agrícolas são compostos por uma série de componentes com funções específicas de conversão e transmissão de energia para movimentação de órgãos ativos e movimentação de mecanismos, máquinas e implementos agrícolas acoplados. Os tratores agrícolas são projetados para desenvolverem inúmeras operações com os mais diferentes níveis de potência, que é a indicação da quantidade de trabalho que ele é capaz de realizar durante uma unidade de tempo (SENAR, 2017)

O motor é o elemento responsável pela transformação da energia química provinda dos combustíveis em energia mecânica (torque e rotação). O motor de combustão interna, do ciclo diesel é a principal fonte de potência dos tratores. O mesmo é constituído de sistemas, como de aspiração de ar; sistema de alimentação de combustível, sistema de lubrificação e de arrefecimento (BARGER et al., 1966).

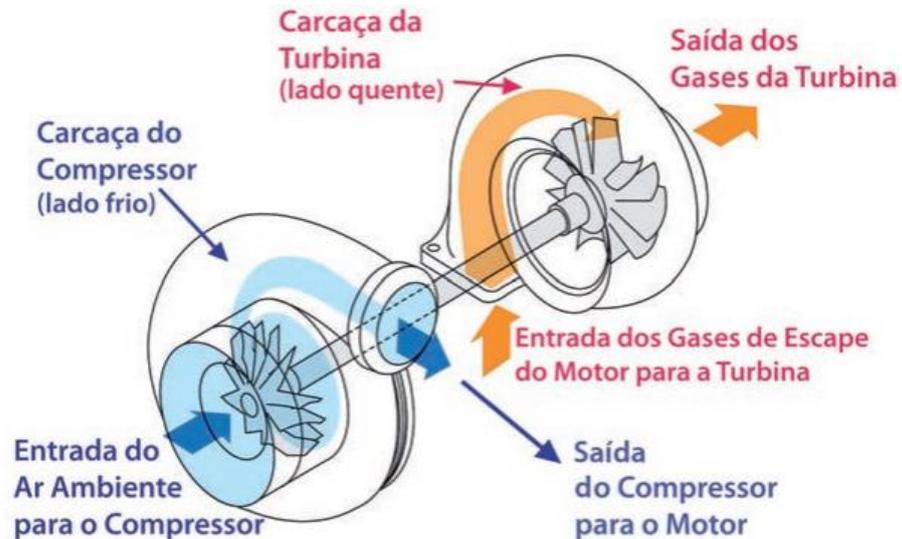
O funcionamento do motor se dá pelo fenômeno da combustão. Para que a combustão ocorra é preciso calor, comburente e combustível. A partir disso, em cada cilindro do motor é misturado o ar com o combustível, que quando possuem a relação estequiométrica ideal, atingem a queima completa sem a necessidade de fagulha elétrica. Em motores que o ar é aspirado para dentro do cilindro na pressão atmosférica, utilizando o próprio deslocamento do pistão, diz-se que o motor é aspirado (MIALHE, 1980).

2.1.3 Turbocompressor

O turbocompressor tem a função de aumentar a quantidade de ar no cilindro, elevando a pressão no coletor de admissão acima da pressão atmosférica, fazendo com que, no mesmo volume, seja possível depositar mais massa de ar e, conseqüentemente, aumentar a potência do motor (SENAR, 2017)

O turbocompressor é constituído por dois rotores (uma turbina e um compressor), Figura 1. A turbina transforma a energia cinética dos gases de escape em rotação, o que acaba por acionar o compressor, que comprime o ar atmosférico no coletor de admissão.

Figura 1 – Processo de funcionamento do turbocompressor.

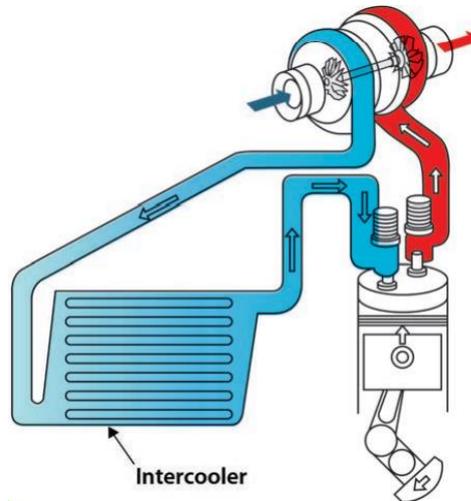


Fonte: Senar, 2017

2.1.4 Intercooler

É um resfriador do ar (trocador de calor) que fica entre o turbocompressor e a entrada de ar no cilindro. A temperatura do ar é aumentada pela proximidade do ar com os gases quentes do escape e pela compressão no coletor de admissão, Figura 2. A redução desta temperatura pelo *intercooler* aumenta a densidade do ar, sendo possível colocar maior quantidade de oxigênio no cilindro, aumentando, ainda mais, a potência gerada pelo motor (SENAR, 2017).

Figura 2 – Processo de funcionamento do Intercooler.



Fonte: Senar, 2017

2.2 RUÍDO DEFINIÇÃO E CARACTERÍSTICAS

Os tratores e implementos agrícolas emitem grande quantidade de ruídos durante as operações de trabalho, o que acaba por afetar os operadores e trabalhadores próximos a essa fonte, quando a intensidade e o tempo de exposição forem superiores ao recomendado pelas normas técnicas (OLIVEIRA et al., 2011).

O ruído pode ser definido como sons indesejáveis e desagradáveis, que são causados por diversos fatores em desarmonia, podendo causar problemas físicos e psíquicos à saúde. Exemplo destes são: zumbidos, buzinas, chiados, pancadas, estrondos e outros sons provenientes de máquinas e dispositivos (OLIVEIRA, ALVES e CUNHA, 2011).

Segundo Iida (2005), o ruído é uma mistura complexa de diversas vibrações, medido em uma escala logarítmica, cuja unidade é decibel (dB). O dB(A) é a ponderação do nível de pressão sonora do dB que o organismo humano consegue identificar, o A se refere a um tipo de filtro de ponderação (weighting), que leva em conta a não linearidade do ouvido (FAUUSP, 2018).

Os ruídos podem ser de dois tipos, os contínuos e o de impacto. Quando caracterizados como contínuos, ocorrem uniformemente durante um período de tempo. Já os de impacto possuem picos de energias acústicas, com duração inferior a 1 segundo, podendo chegar a níveis de 110 a 135 dB (JUNIOR e SILVA, 2016).

2.2.1 Exposição ocupacional

O risco de problemas auditivos é determinado pelo nível de som, a frequência e o tempo ao qual o operador fica exposto durante as horas de trabalho. O que também tem relação direta com a probabilidade de acidentes envolvendo tratores. O limite de tolerância para o ruído contínuo ou intermitente é de 85 dB(A), segundo a Norma Regulamentadora 15 (Tabela 1), durante um período de 8 horas diárias.

Tabela 1- Nível de exposição permissível pela Norma Regulamentadora 15.

Nível de ruído dB(A)	Máxima exposição diária permissível
85	8 horas
86	7 horas
87	6 horas
88	5 horas
89	4 horas e 30 minutos
90	4 horas
91	3 horas e 30 minutos
92	3 horas
93	2 horas e 40 minutos
94	2 horas e 15 minutos
95	2 horas
96	1 hora e 45 minutos
98	1 hora e 15 minutos
100	1 hora
102	45 minutos
104	35 minutos
105	30 minutos
106	25 minutos
108	20 minutos
110	15 minutos
112	10 minutos
114	8 minutos
115	7 minutos

Fonte: NR-15 (ANO).

Conforme o aumento do nível de pressão sonora, o tempo de exposição é reduzida de forma acentuada, para uma exposição de 115 dB (A), o tempo máximo de exposição é de 7

minutos de jornada de trabalho, desta forma aumenta-se o custo de mão de obra para atividades em que a situação chega a esse grau de insalubridade.

Uma das consequências provocada pela exposição ao ruído sem os devidos cuidados, é a perda da capacidade de audição. O que se torna mais grave pelo fato de não ser perceptível a vítima em um curto intervalo de tempo, o organismo pode se habituar aos sons ao longo do tempo, porém a exposição intensa vai ocasionando a morte das células do sistema auditivo

Existem diversos problemas de saúde que são causados pelo ruído, sendo mais preocupante a perda auditiva, dano irreversível. Entretanto, a exposição sem os devidos cuidados pode acarretar em estresse, irritabilidade, hipertensão arterial, problemas gastrointestinais e neurológicos (GANIME et al., 2010).

Um estudo publicado em 2005 pela Universidade da Colúmbia Britânica (WINSTERS e MACINTYRE, 2005), demonstrou que os níveis de ruído que trabalhadores de vinícolas estão expostos atingem 90 dB, e a exposição aos tratoristas chega a 95 dB. A pesquisa informou que 92% dos agricultores apresentavam perda auditiva significativa, declarando o ruído como prioridade na saúde ocupacional agrícola. Ademais, os mais da metade dos entrevistados relataram raramente utilizar os protetores auriculares. Fernandes (1991), verificou que dos 111 operadores de tratores entrevistados, 92,8% não usavam qualquer tipo de proteção auricular.

No meio agrícola, não é incomum o trabalhador ultrapassar a jornada padrão de 8 horas de trabalho em épocas de safra, podendo os riscos ocupacionais ocasionados pelo ruído serem bem mais graves.

2.3 AVALIAÇÃO DE RUÍDO EM TRATORES AGRÍCOLAS

Os ensaios de tratores agrícolas têm com o objetivo avaliar o desempenho dos tratores e gerar dados que serão convertidos em informações utilizadas para dimensionar e racionalizar o uso dos conjuntos (máquinas e implementos). No caso do ruído, é importante para entender as condições de como foram gerados, podendo ter resultados representativos e que podem trazer informações visando minimizar seus efeitos (JUNIOR e SILVA, 2016).

A ABNT NBR ISO 5131 (2017) e NHO-01 (2001), descreve as medições devem ser feitas com o microfone posicionado dentro da zona auditiva do trabalhador, de forma a fornecer dados representativos da exposição ocupacional diária ao ruído a que está submetido o trabalhador no exercício de suas funções. Pimenta et al. (2012), analisou os níveis de ruído em

quatro posições de coleta (dianteira, esquerda, direita e traseira), em quatro rotações do motor (1000, 1500, 2000e 2500 rpm) e variando o raio de afastamento do trator (1, 2, 3, 4 e 5 m), obtendo como resultado que os níveis mais intensos de ruído ocorrem nas maiores rotações nos raios mais próximo ao trator.

MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi realizado na concessionária Líder Tratores situada no município de Cachoeira do Sul (Rio Grande do Sul). As coordenadas geográficas do local são 30°02'15'' latitude Sul e 52°54'42'' longitude oeste, e altitude média de 91 metros acima do mar. A Figura 3 ilustra a localização espacial da concessionária.

Figura 3 – Localização espacial da concessionária Líder.



Fonte: Land Viewer (adaptado pela autora, 2022).

O clima da região de acordo com a classificação de Köppen-Geiger é “Cfa”, clima subtropical úmido, precipitações pluviárias médias razoavelmente bem distribuídas através dos meses do ano, temperatura média mais quente superior a 22°C e a temperatura do mês mais frio é de -3°C a 18°C (ALVARES et al., 2013)

Conforme estabelece a norma ABNT NBR ISO 5131 (2017), os ensaios foram realizados em ambiente aberto, plano com superfície fabricada em concreto e limpo (livre de cascalho, folhas e etc), como ilustrado na Figura 4.

Figura 4 – Ambiente onde os ensaios foram realizados.



Fonte: Autora

3.2 DESCRIÇÃO DOS FATORES

O experimento foi composto pela interação de três fatores distintos, os modelos de tratores (fator com 4 níveis), os níveis de rotação do motor (fator com 5 níveis) e as posições de coleta dos níveis de ruído (fator com 4 níveis). Seus respectivos níveis estão descritos na tabela 2.

Tabela 2 - Descrição dos fatores experimentais e seus respectivos níveis

NÍVEIS	FATORES		
	Tratores	Rotação (rpm)	Posição de coleta
1	TT55	1400	Próximo ouvido
2	TT75	1650	Esquerda
3	TL5.80 SC	1900	Direita
4	TL5.80 CC	2150	Traseira
5	-	2400	-

Fonte: Autor

3.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE

Delineamento experimental utilizado foi o delineamento inteiramente casualizado, no esquema de parcelas subdivididas composto de 80 tratamentos oriundos da combinação dos níveis dos fatores estudados, em fatorial de 4x5x4 (4 Tratores x 5 Rotação x 4 Posição de coleta). Para os 4 modelos de tratores foram realizadas 5 repetições compostas de 3 coletas, totalizando 400 leituras.

Após a aquisição dos dados das variáveis, os mesmos foram submetidos a análise estatística de variância e verificado a significância dos fatores através do teste f. Os procedimentos de análise adotados, com base neste teste, são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Fatores, tipos e procedimentos de análise.

Fatores	Tipo de Fator	Procedimento de análise
Trator (F1)	Qualitativo	Teste de Tukey (95% de acerto)
Rotação (F2)	Quantitativo	Regressão
Posição (F3)	Qualitativo	Teste de Tukey (95% de acerto)
F1 x F2	Quali x Quanti	Regressão de F2 dentro F1*
F1 x F3	Quali x Quali	Teste de médias de F1 em F3 e F3 em F1*
F2 x F3	Quanti x Quali	Regressão de F2 dentro F3*
F1 x F2 x F3	Quali x Quanti x Quali	Desdobramento de três interações duplas*

Nota: Realiza-se o procedimento de análise caso ocorrer significância entre os fatores no teste f, caso contrário a análise é individual para cada fator. Fonte autor.

3.4 CARACTERIZAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Os quatro modelos utilizados no ensaio são da marca New Holland, suas principais características estão presente na tabela 4. A linha TT, possuem tratores com motor New Holland FPT S8000 Tier 3 MAR I e com reserva de torque de 27%, o modelo TT.55, apresenta potência de 55 cv e modelo TT.75 potência de 75 cv. A principal diferença entre os dois modelos é no sistema de aspiração de ar do motor, o trator TT.55 apresenta sistema de turbo alimentação enquanto o TT.75 apresenta a turbo alimentação com *intercooler*.

Os modelos da linha apresentam motores FPT S8000 Tier 3 turbo alimentado de 4 cilindros, sistema de aspiração turbo *intercooler* e com reserva de torque de até 27%, o modelo ensaiado dessa linha foi o TL5.80 sem e com cabine, figura 5.

Tabela 4 – Características dos modelos analisados.

Modelo	Potência Nominal (cv)	Número de cilindros	Sistema de Aspiração	Pneus		
				Marca	Dianteiro	Traseiro
TT.55	55	3	Turboalimentado	Alliance	9.5-24	16.9-28
TT.75	75	3	Turboalimentado <i>Intercooler</i>	Alliance	12.4-24	18.4-30
TL5.80 (S/C)	80	4	Turboalimentado <i>Intercooler</i>	Alliance	14.9-24	18.4-34
TL5.80 (C/C)	80	4	Turboalimentado <i>Intercooler</i>	Pirelli	14.9-24	23.1-26

Fonte: Autora

Figura 5 – Modelos de tratores ensaiados.



1)TT.55; 2) TT.75; 3) TL5.80 Sem cabine; 4) TL5.80 Com cabine.

Fonte: New Holland, 2022.

3.5 AQUISIÇÃO DOS DADOS

O medidor de nível de pressão sonora utilizado atendeu às especificações da IEC 60651. O decibelímetro utilizado nos testes foi o modelo DEC-460, da marca Instrutherm[®] alcance de 35 a 100 dB. Também foi utilizado o anemômetro da marca Instrutemp[®] para avaliar a umidade relativa do ar, a velocidade do vento e a temperatura ambiente, conforme exigido na ABNT NBR ISO 5131 (2017) figura 6. Todos estavam devidamente calibrados de acordo com a NHO-01 (2001).

Figura 6 – Decibelímetro e Anemômetro.



1) Decibelímetro; 2) Anemômetro

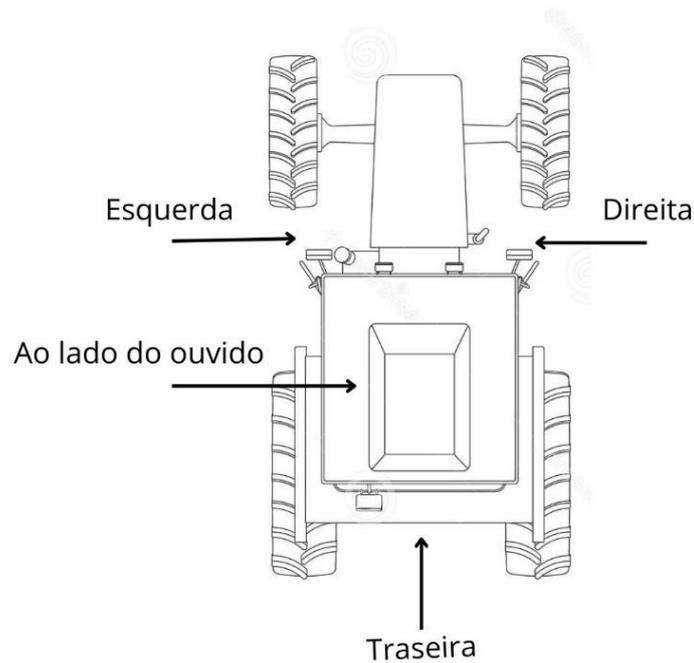
Fonte: autor, 2022.

Foram realizadas as coletas da velocidade do vento (V) em quinze repetições, e foi feita a média aritmética desses valores, sendo encontrado V igual a $2,25 \text{ ms}^{-1}$. A temperatura no início da coleta era de $18,1^\circ\text{C}$, os ensaios levaram cerca de 3 horas e foram todos realizados no período da tarde.

Somente após a avaliação das condições climáticas iniciaram as coletas dos dados para os quatro modelos de tratores. Foram coletados, em cada rotação do motor, cinco repetições dos níveis de ruído ambiente, cada repetição composta de três coletas, onde posteriormente foi

realizada a média composta de cada coleta. Totalizando 400 leituras em 5 rotações (1400, 1650, 1900, 2150 e 2400 rpm), para 4 posições de coleta: lado esquerdo, direito, na traseira e ao lado do ouvido do operador para os 4 modelos de tratores, como ilustra a figura 7.

Figura 7- Vista superior do trator agrícola e posições de coleta dos dados.



Fonte: autora, 2022

As leituras foram tomadas de forma aleatória (sem a utilização de médias) conforme indicação no visor do decibelímetro e organizados em uma planilha utilizando o *software* Excel.

2. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na tabela 5 é apresentada a análise estatística com as médias das variáveis obtidas na coleta dos níveis de ruído e os resultados do teste F.

Tabela 5 – Resultado teste F.

Fatores	Ruído (dB(A))
Posição	
Esquerda	99,74
Direita	98,54
Próximo	96,19
Traseira	95,02
Rotação	
1400	94,71
1650	95,44
1900	97,59
2150	99,02
2400	100,10
Equipamento	
TT.55	97,94
TT.75	99,27
TL5.80 CC	96,69
TL5.80 SC	95,59
CV (%)	2,00
Média geral	97,37
F valor	
Posição	190,35*
Rotação	173,13*
Equipamento	103,84*
Posição x Rotação	6,63*
Posição x Equipamento	53,84*
Rotação x Equipamento	3,80*
Posição x Rotação x Equipamento	4,35*

*: Significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro ($p < 0,05$)

O teste F demonstrou que há significância na interação entre os três tratamentos analisados, com coeficiente de variação de 2%, indicando alta precisão experimental na obtenção das variáveis.

Posteriormente a análise do teste F foi realizado o teste de Tukey comparando as médias dos tratamentos de posição e equipamento, como ilustra a tabela 6.

Tabela 6 – Ruídos emitido pelos modelos em função da posição de coleta em dB(A).

Posições de coleta	Equipamento				Média
	TT55	TT75	TL5.80CC	TL5.80SC	
Próximo	97,91 bD	97,52 bC	91,64 aA	97,43 bB	96,12
Esquerda	99,41 cB	100,49 dD	101,00 dC	97,89 cA	99,69
Direita	99,41 cB	101,03 cD	100,62 cC	92,87 aA	98,48
Traseira	95,07 aC	96,60 aD	93,84 bB	92,87 aA	94,59
Média	97,95	98,90	96,77	95,26	-

Letras minúsculas análise entre as colunas e letras maiúsculas entre linhas. Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas, na horizontal e pelas mesmas letras minúsculas, na vertical, não diferem, entre si, a 5% de probabilidade de erro, pelo teste de Tukey.

Pelo teste de Tukey, verifica-se que o modelo TT55 não apresentou diferença significativa de ruído nas posições direita e esquerda, com as médias mais elevadas (99,41 dB(A)). Para os modelos, TL5.80CC e TL5.80SC, as maiores médias foram as coletadas no lado esquerdo do trator, 101 dB(A) e 97,89 dB(A). O modelo TT75, apresentou o valor mais alto na posição direita (101,03 dB(A)). As duas regiões obtiveram os maiores níveis de exposição ao ruído, pois são as zonas mais próximas das principais fontes emissoras de ruído, o motor e o escapamento (posicionado na esquerda).

Os menores valores de pressão sonora, nos tratores, exceto o TL5.80CC, foram os referentes a traseira, consequentemente a região mais distante das fontes emissoras, considerando que não haviam implementos engatados. No modelo TL5.80CC, o valor de menor ruído foi coletado na posição próxima ao ouvido do operador, resultante da ação da cabine como amenizador sonoro. Valor este, 5,94 inferior ao coletado na mesma posição no modelo sem cabine.

Constatou-se que o modelo de menor geração de ruído foi o TL5.80SC, de geral, foi o trator que apresentou menor nível de pressão sonora em todas as posições de coleta, exceto na região próxima ao ouvido, quando comparado ao TL5.80CC. Demonstrando que a utilização da cabine ameniza a exposição de pressão sonora por parte de tratorista, porém pode acentuar o ruído aos trabalhadores próximos. Aybek et al. (2010), verificaram que o nível de pressão sonora diminuiu com o aumento das frequências centrais com a taxa mais acentuada de diminuição no caso das cabines originais.

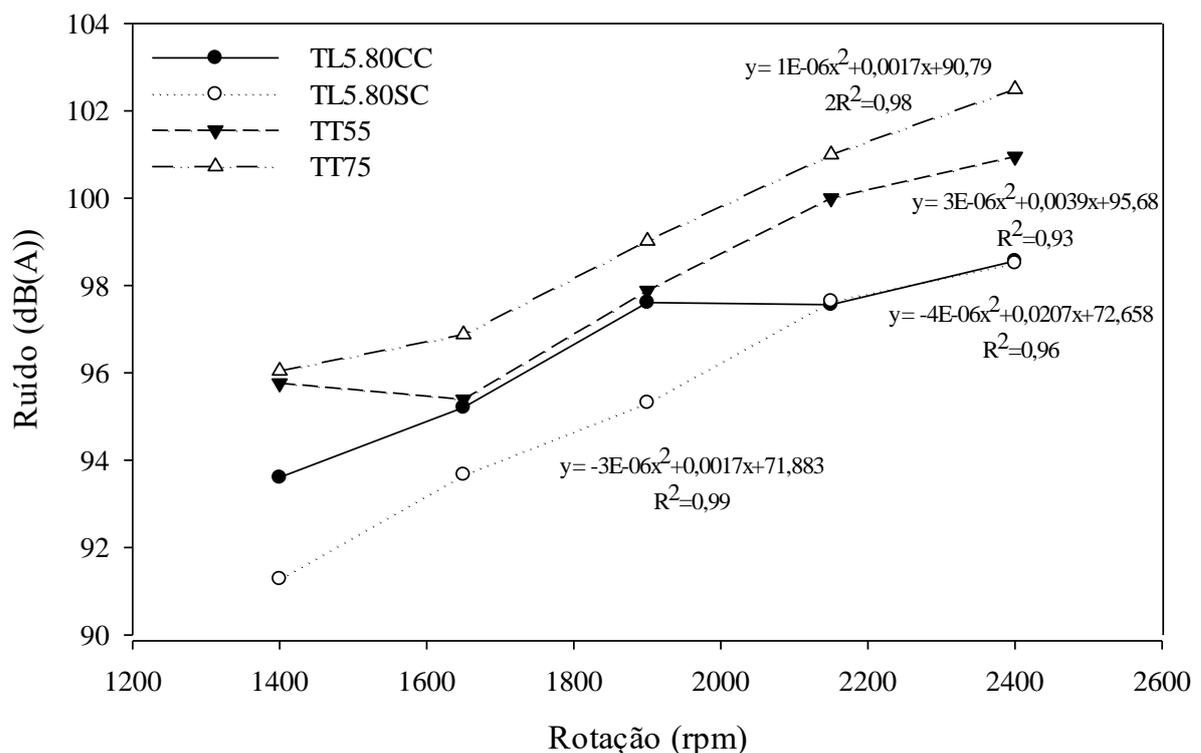
Em segundo, o modelo TL5.80CC e em terceiro o TT55 (97,95 dB(A)) apresentaram menores níveis de ruído, contrariando o verificado por Benetti (2018), que concluiu que tratores de maior potência são mais ruidosos quando comparados com tratores de menor potência.

O teste de Tukey também demonstrou o trator TT75 foi o que apresentou maior ruído, em comparação com TT55, exceto na posição próxima ao ouvido do operador. Os dois tratores têm como diferença estrutural a presença do *intercooler*. Como Fernandes (1991) constatou, o sistema de admissão de ar é um dos principais fatores para maior geração de ruído nos tratores agrícola. Portanto, a adição do *intercooler* para entregar mais potência através da sobre alimentação de ar e trocas de calor, pode acabar corroborando para aumento do ruído, além do possível aumento da injeção de combustível pela bomba.

Ponto importante de ser analisado, foi que todos os valores de médias, independente do equipamento e posição de coleta, obtiveram nível de ruído superior a 85 dB(A) para jornada de trabalho de 8h já seria um nível de exposição superior ao prescrito pela NR-15.

Outra questão de relevância foi a análise do impacto da rotação do motor nos níveis de ruído com base nos quatro modelos de tratores, como ilustrado na figura 8.

Figura 8- Impacto da rotação do motor nos níveis de ruído com base nos quatro modelos de tratores.

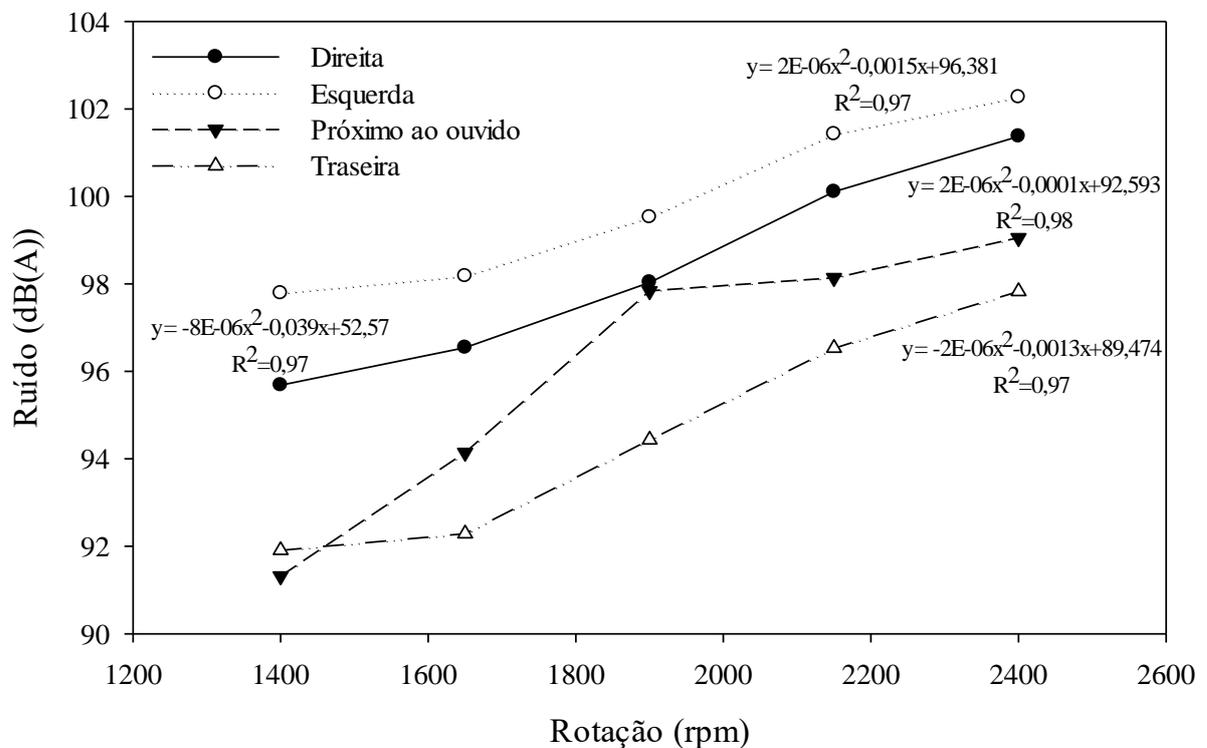


Independentemente o modelo, o ruído apresentou incremento com o aumento da rotação do motor, como verificado também por Junior e Silva (2016). O modelo que apresentou menor nível de ruído, em todos os níveis de rotação do motor, foi o TL5.80 sem cabine, Figura 9. Este teve comportamento linear em relação ao aumento da rotação com o aumento progressivo na pressão sonora emitida. Mesmo comportamento de linearidade é visto no TT.75, contudo foi o trator com o maior nível de ruído em todas as rotações, podendo ser efeito significativo da presença do intercooler.

O trator TL5.80 com cabine apresentou o segundo menor nível de ruído, ao estudar seu comportamento, é possível notar até a rotação de 1900 rpm a variável aumentou linearmente, após este valor, apresentou uma manutenção da emissão sonora, voltando a se elevar nos níveis seguintes, até se igualar com o mesmo modelo sem cabine.

No modelo TT.55, verifica-se que na rotação 1400 rpm o ruído inicia com aproximadamente 95,9 dB(A) e vai caindo conforme a rotação aumenta até aproximadamente 1650 rpm, o ruído começa a subir conforme a rotação aumenta, e assim permanece até a última rotação de 2400 rpm.

Figura 9- Impacto da rotação do motor nos níveis de ruído com base nas posições de coleta.



Fonte: autora, 2022

Os níveis de ruído coletados na posição esquerda ao trator foram os maiores valores, independente da rotação do motor. Este resultado está relacionado ao fato de o escapamento dos tratores avaliados estarem localizados na esquerda, o que aumenta significativamente o nível da pressão sonora. Em segundo lugar, vem a posição direita, que também tem a grande influência do motor do trator e do escapamento. Sendo possível verificar o comportamento similar das linhas da direita, esquerda e traseira. A linha próxima ao ouvido apresentou comportamento bastante semelhante com a regressão do modelo TL5.80 CC, sendo a de maior diferenciação entre as demais posições de coleta, destacando a grande importância do uso dos equipamentos de proteção individual EPI.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em todos os modelos de tratores, com o incremento do nível de rotação do motor, houve o aumento dos níveis de ruído. Observando que a posição de mudanças mais bruscas variando a rotação foi próximo ao ouvido, evidenciando a importância do uso de EPI.

Verificou-se o impacto do *intercooler* no motor turbo, como um elemento gerador de maiores níveis de ruído, com o trator TT75 obtendo os valores mais elevados.

A presença da cabine ameniza a exposição de pressão sonora por parte de tratorista, porém pode acentuar o ruído aos trabalhadores próximos. O trator TL5.80SC apresentou a menores médias de emissão de ruído, enquanto o mesmo modelo com cabine só teve valor inferior na posição de coleta próximo ao ouvido do operador.

Todos os valores de médias, independente do equipamento e posição de coleta, obtiveram nível de ruído superior a 85 dB(A) conforme a NR-15, o que torna ainda mais agravante, quando se considera que o trator está parado, sem os impactos de provindos do relevo, solo e implementos.

Em todas as regressões o modelo quadrático foi o que melhor representou os dados, demonstrando o grande impacto da mudança na rotação do motor nos níveis de ruído emitidos.

REFERÊNCIAS

- ABNT NBR 5131. **Tratores agrícolas e florestais – Medição de ruído na posição do operador – Método de avaliação**. Ed. 1, 2017. 14p.
- ALONÇO, A. S. **Proposta Pedagógica para a disciplina "EGR 1003 - Máquinas e Implementos Agrícolas"**. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-rs, p.85-90, out. 2012.
- ALVARES, C. A. STAPE, L. J.; SENTELHAS, C. P.; GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK. G. **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- AYBEK, A.; KAMER, A. H.; ARSLAN, S. **Personal noise exposures of operators of agricultural tractors**. Applied Ergonomics. v.41, n.2, p.274-281, 2010.
- BARGER E. L.; LILJEDAHL, J. B.; CARLETON, W. M.; McKIBBEN, E. G. **Tratores e seus motores**. 1. ed. Rio de Janeiro: USAID, 1966.
- BRASIL. **Doenças relacionadas ao trabalho: manual de procedimentos para os serviços de saúde**. Série A. ed.114. Brasília, 2001.
- BENETTI, J.B. **Análise de Ruído de Tratores Agrícolas sem Cabines de Proteção**. 2018. 19 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.
- Departamento de tecnologia da Arquitetura da Universidade de São Paulo (FAUUSP). **Pressão, dB, Potência e Intensidade**. São Paulo, 2018. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4437605/mod_resource/content/0/04%20-%20dB%20Press%C3%A3o%20Pot%C3%Aancia%20Intensidade.pdf>. Acesso em: 10 de agosto de 2022.
- FERNANDES, J. C. **Avaliação dos níveis de ruído em tratores agrícolas, e seus efeitos sobre o operador**. 193 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1991.
- FOLLE, S. M.; FRANZ, C. A. **Trator agrícola: características e fundamentos para sua seleção**. EMBRAPA. Planaltina- DF, v.4, 1990.
- GANIME, J. F. et al. **O ruído como um dos riscos ocupacionais: uma revisão de literatura**. Enfermería Global, v. 19, p. 1–15, 2010.
- GEHLEN, J. C. **Cenário atual do parque de máquinas agrícolas: estudo de caso no sudoeste do Paraná**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná, 2016.
- IIDA, I. **Ergonomia: projeto e produção**. 2ª ed., São Paulo: Blucher, 2005. 592p.
- MADEIRA, N. G. **Segurança no trabalho nas operações com tratores agrícolas em regiões de Minas Gerais**. Universidade Federal de Viçosa - UFV, 2011.

MIALHE, L.G. **Máquinas motoras na agricultura**. v.2. São Paulo: EDUSP/USP, 1980. 367p.

NORMA DE HIGIENE OCUPACIONAL – PROCEDIMENTO TÉCNICO. **Avaliação da exposição ocupacional ao ruído (NHO-01)**. Ministério do Trabalho e Emprego. Brasília: Fundacentro, 2001.

NORMA REGULAMENTADORA 15. Atividades e operações insalubres (NR15) – Anexo No1 **Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente**. Ministério do Trabalho e Emprego. Brasília: Portaria N°3214, 1978.

OLIVEIRA, R.C.; SANTOS, N. J.; RABELO, T. A.; MAGALHÃES, C. M. **O impacto do ruído em trabalhadores de Unidades de Suporte Móveis**. CoDAS, São Paulo, v. 27, n. 3, p. 215-222, 2015.

OLIVEIRA JUNIOR. A.; ALVES.G.S.; CUNHA.J.P.A.R. **Avaliação dos níveis de ruído emitido por um trator agrícola em diferentes operações mecanizadas**. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.7, n.12, 2011.

PIMENTA JUNIOR, C.G.; DELMOND, J.G.; CUNHA, J.P.B.; COUTO, R.F.; LEONÍDIO, D.M.; REIS, E.F. **Análise espacial do nível de ruído emitido por trator agrícola**. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.7, n.3, p.514-520, 2012.

SANTOS, R. A. **Território e modernização da agricultura no Sudoeste do Paraná**. Revista Espaço Acadêmico, Maringá- PR, v. 10, n. 118, p.114-122, mar. 2011.

SCHLOSSER, J. F. **Análise comparativa do peso específico dos tratores agrícolas fabricados no Brasil e seus efeitos sobre a seleção e uso**. Ciência Rural, Santa Maria-rs, v. 35, n. 1, p.92-97, fev. 2005.

SCHLOSSER, J. F. **Esforços repetitivos**. Campo Aberto, Rio Grande do Sul, n. 74, abr. 2010.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL - SENAR. **Mecanização: operação de tratores agrícolas**. Brasília, 192 p. 2017.

SALOMÃO. J. A. F. **Revista de política Agrícola** – Ano XI n.1, jan. 2003

SOUZA, L. H.; FERNANDEZ, H. C.; VITÓRIA, E. L. **Avaliação do Nível de Ruído Causado por Diferentes Conjuntos Mecanizados**. Revista Brasileira de Saúde Ocupacional. São Paulo, vol.28 p. 105-106, 2006.

STANSFELD, S.A; MATHESON, M.P. **Noise pollution: non-auditory effects on health**. British Medical Bulletin, Londres, v. 68, n.1, p. 243-257, 2003.

JUNIOR, G. M.; SILVA, R. R. **Avaliação do nível de ruído emitido por dois tratores agrícolas**. Universidade Federal da Grande Dourados. MS, n. 32, 2016.

WINTERS, M.; MACINTYRE, E. **Noise and hearing loss in farming**. Research Gate, 2005. Disponível em. Acesso em: < Noise and hearing loss in farming (researchgate.net)>. 15 jul. 2022.

YAMASHITA, L. R. **Mecanização Agrícola**. Técnico em Agropecuária, p. 1-113, Manaus, 2010.