

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**EXPOSIÇÃO HUMANA À VIBRAÇÕES DE CORPO
INTEIRO EM UM TRATOR AGRÍCOLA EM
OPERAÇÃO DE SEMEADURA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Rodrigo Lampert Ribas

Santa Maria, RS, Brasil

2012

**EXPOSIÇÃO HUMANA À VIBRAÇÕES DE CORPO INTEIRO
EM UM TRATOR AGRÍCOLA EM OPERAÇÃO DE
SEMEADURA**

Rodrigo Lampert Ribas

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Mecanização Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Agrícola.**

Orientador: Prof. Dr. José Fernando Schlosser

Santa Maria, RS, Brasil

2012

Lampert Ribas, Rodrigo

Exposição humana à vibrações de corpo inteiro em um trator agrícola em operação de semeadura / Rodrigo Lampert Ribas.-2013.

87 p.; 30cm

Orientador: José Fernando Schlosser

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2013

1. Ergonomia 2. Pressão de insuflagem 3. Pneus agrícolas I. Schlosser, José Fernando II. Título.

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM

© 2013

Todos os direitos autorais reservados a Rodrigo Lampert Ribas. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita com autorização por escrito do autor.

Endereço: Avenida Roraima, Nº 1000, Cidade Universitária, Bairro Camobi, Santa Maria, RS, Brasil, CEP: 97105-900;

Fone: (55) 9112 6029 Endereço Eletrônico: rodrigoribasagronomia@yahoo.com.br

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**EXPOSIÇÃO HUMANA À VIBRAÇÕES DE CORPO INTEIRO EM UM
TRATOR AGRÍCOLA EM OPERAÇÃO DE SEMEADURA**

elaborada por
Rodrigo Lampert Ribas

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Agrícola

Comissão Examinadora

José Fernando Schlosser, Dr.
(Presidente/Orientador)

Leonardo Nabaes Romano, Dr. (UFSM)

Paula Machado dos Santos, Dr. (IFF/Alegrete)

Santa Maria, 19 de Dezembro de 2012.

DEDICATÓRIA

...aos meus pais, **Jorge e Maria Lúcia**, pelo apoio durante todos esses anos, me dando suporte, amor, atenção, dedicação e sendo compreensivos nos momentos de dificuldade, quando tudo parecia impossível.

...aos meus irmãos, **Roberto e Fernanda**, pelo companheirismo e apoio durante todos esses anos. Tenho certeza que posso dizer que eles “são a melhor ponte com o meu passado e possivelmente quem vai sempre me apoiar no futuro”.

...a minha avó paterna, **Gê**, pelo amor, dedicação, carinho e todos os ensinamentos compartilhados.

...a minha amiga e companheira **Glaucia**, que esteve presente nesta minha trajetória de uma forma muito especial. Com seu carinho e atenção, teve compreensão durante os momentos mais difíceis.

AGRADECIMENTOS

A **Deus** pela existência e oportunidades concedidas, me concedendo saúde, paz e tranquilidade nos momentos mais decisivos.

Aos meus pais, **Jorge e Lúcia**, e aos meus irmãos **Roberto e Fernanda**, por terem me incentivado e apoiado, me dando o suporte e o apoio necessário para continuar.

A **Glaucia**, que sempre ao meu lado jamais deixou eu me abalar, estando sempre presente quando precisei.

Ao **Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria**, que me possibilitou uma formação profissional de qualidade e crescimento pessoal.

Ao **Professor Dr. José Fernando Schlosser**, pela orientação e amizade, contribuindo para meu crescimento profissional.

Aos professores **Leonardo Romano, Paula Machado, Arno Dallmayer, Enio Marchesan**, pela atenção e contribuição na minha formação profissional.

Ao amigo **Eder Dornelles**, pela amizade, disponibilidade e atenção dedicada durante todos os momentos deste trabalho.

Aos amigos e grandes colegas, **Gustavo Heller, Ulisses Frantz, Marcelo Farias, Alexandre Russini, Marçal Dornelles, Niumar Aurélio, Fabrício Rodrigues, André Casali, Daniel Uhry, Pietro Araldi, Gismael Perin**, pelo companheirismo, amizade e dedicação em todos os momentos decisivos desta trajetória, me proporcionando um aprendizado muito grande durante nossa convivência, e mostrando o verdadeiro significado da expressão “A união faz a força”.

Aos demais amigos e colegas: **Leonardo Brondani, Claudio Roth, Marivan Pinho, Olavo Santi, Dirceu Noller, Gustavo Bonotto, Matheus Bellé**, pela amizade e convívio, sendo de grande importância a participação de cada um.

Aos meus padrinhos, **Vivian e Edison**, que em todos estes quase 25 anos cuidaram de mim como se fosse um filho, me apoiando nas dificuldades e comemorando nas conquistas.

Aos meus familiares, que sempre me apoiaram e se dedicaram para o meu crescimento pessoal e profissional, **Marcos, Mateus, Tia Clary, Tio Elimar, Luisa, Ana, Raquel, Fernando, Laura, Carmen Lúcia, Beto, Daniel, Roberta, Tio Lousada, Tia Carmen, Tia Ida, Tio Osmar, Rose, Ângela, Juliana, Tia Maria, Luciane, Tio Jorge, Tia Suzana, André, Camila, Loiva, Marco, Fernando, Tia Neli, Tio João, Patrícia, Ricardo, Henrique, Tia Elisane e Tio José**.

Aos meus amigos, **Andrigo, Dany, Cristiano, Ruan, Mari, Ronald, Mônica, Mirim, Kati, Lupa, Julia, Bruninho**, que fizeram das quintas-feiras um momento de descontração e fortalecimento da amizade durante as partidas de futebol. Aos amigos **Eugênio e Diego**, e suas respectivas famílias, que sempre me acolheram de uma forma carinhosa e alegre.

Aos amigos da John Deere que sempre me incentivaram na realização deste trabalho, **Valter, Orli Roberti, Zamba, Carlos, Aline, Adriane, Luana, Fernando, Vinicius**.

A empresa **AGCO e Itaimbé Máquinas**, que disponibilizaram grande parte dos materiais que precisei para a realização deste trabalho.

Aos grandes amigos da **Trimble**, Marcelo, Fernando e José Carlos.

A todas as pessoas, que de alguma forma ou de outra, colaboraram para este meu trabalho.

Meu sincero, muito obrigado!

“A simplicidade é o último degrau da sabedoria.”

Khalil Gibran

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola
Universidade Federal de Santa Maria

EXPOSIÇÃO HUMANA À VIBRAÇÕES DE CORPO INTEIRO EM UM TRATOR AGRÍCOLA EM OPERAÇÃO DE SEMEADURA

AUTOR: RODRIGO LAMPERT RIBAS

ORIENTADOR: PROF. DR. JOSÉ FERNANDO SCHLOSSER

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 19 de Dezembro de 2012

A exposição a níveis elevados de vibrações podem causar problemas irreversíveis de ordem muscular, óssea, sensitiva, de visão, entre outros. A elevada jornada de trabalho que operadores agrícolas enfrentam e as características dos tratores agrícolas têm cada vez mais agravado estes problemas, causando também a perda na eficiência operacional agrícola. Em vista disto, este trabalho teve como objetivo, avaliar as vibrações de corpo inteiro incidentes em um operador de trator agrícola utilizando pneus radiais e diagonais, com três diferentes pressões em operação de semeadura. O trabalho foi dividido em Experimento 1 (pneus diagonais com três pressões) e Experimento 2 (pneus radiais com três pressões). O trabalho foi realizado em uma área experimental localizado na UFSM, sendo dividido em três tratamentos para cada experimento, com quatro repetições cada, totalizando 24 unidades experimentais. Para a realização deste trabalho, foi utilizado um trator Massey Ferguson modelo 5450, 4x2 TDA, 75 kW, acoplado a uma semeadora da mesma marca, modelo 509, de 9 linhas. Os pneus diagonais utilizados foram Pirelli TM 95 12.4-24 R1 para a o eixo dianteiro e Goodyear Dyna Torque II 18.4-30 R1 para o traseiro, e os radiais foram Michelin VF 480/60 R28 para o eixo dianteiro e VF 600/60 R38 para o traseiro. As pressões utilizadas foram 96, 138 e 179 kPa para os pneus diagonais, e 41, 69 e 96 kPa para os radiais. O equipamento para aquisição dos dados foi o Type 4447 da Brüel & Kjær, mesma marca do software para análise 4447 Vibration Explorer. Para os Valores Médios das Acelerações Eficazes (RMS) e os Valores da Dose de Vibração (VDV), todos os tratamentos apresentaram resultados que ficaram na faixa de Extremamente Desconfortável, segundo os limites considerados pela Norma ISO 2631. No entanto, a análise estatística não identificou diferença significativa, em nenhum dos experimentos, quando a pressão de insuflagem do pneu foi alterada. Nos dois experimentos o eixo X foi o que apresentou os maiores valores de vibração incidentes no operador. Por fim, foi possível concluir que para uma jornada de 8 horas de trabalho, nos dois experimentos, o operador está exposto acima do nível limite de conforto estabelecido pela Norma ISO 2631, que é de 2,0 m/s².

Palavras-chave: Ergonomia. Pressão de insuflagem. Pneus agrícolas.

ABSTRACT

Master's Dissertation in Agricultural Engineering
Postgraduate Program in Agricultural Engineering
Federal University of Santa Maria

HUMAN EXPOSURE TO WHOLE BODY VIBRATIONS ON A FARM TRACTOR IN OPERATION OF SEEDING

AUTHOR: RODRIGO LAMPERT RIBAS

SUPERVISOR: DR. JOSÉ FERNANDO SCHLOSSER

Date and Location of Defense: Santa Maria, December 19th, 2012

Exposure to high levels of vibration can cause irreversible problems of muscle order, osseous, sensorial, vision, and others. The high work that agricultural operators facing day-by-day and characteristics of agricultural tractors, has increasingly aggravated these problems, also causing a losses in operational efficiency in agriculture. In view of this, this study aimed to evaluate the whole body vibrations incidents in a tractor operator using bias and radial-ply tires, with three different pressures in operation of seeding. The work was divided in Experiment 1 (with three bias tire pressures) and Experiment 2 (three radial-ply tire pressures). The study was conducted in an experimental area located in UFSM, divided into three treatments for each experiment, with four replicates each, totaling 24 experimental units. For this work, was used a tractor Massey Ferguson model 5450, 4x2 with front wheel assist, 75 kW, connected to a planter of the same brand, model 509, 9 lines. The bial tires Pirelli used were TM 12.4-24 95 R1 for the front axle and Goodyear Dyna Torque II 18.4-30 R1 to the rear and Michelin radial-ply were VF 480/60 R28 for the front axle and VF 600/60 R38 for the rear. The pressures used were 96, 138 and 179 kPa for bial tires, and 41, 69 and 96 kPa for radial-ply. The equipment for data acquisition was the 4447 Type of Brüel & Kjær, same brand of software for analysis 4447 Vibration Explorer. For the Average Values of Effective Accelerations (RMS) and Vibration Dose Values (VDV), all treatments showed results that were in the range Extremely Uncomfortable, according to the limits considered by the Standard ISO 2631. However, no statistical difference was found in none of the experiments, when the inflation pressure of the tire has been changed. In both experiments the X axis was presented the greatest values of incidents vibration to the operator. Finally, it was concluded that for a day of 8 hours of work, in both experiments, the operator is exposed above the comfort limit established by the Standard ISO 2631, which is 2.0 m/s².

Keywords: Ergonomy. Pressure Blowing. Agricultural Tires.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Especificações do Trator, Pneus e Semeadora.....	45
Tabela 2 – Valores das áreas de contato (cm ²) dos pneus Radiais e Diagonais.	47

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Identificação dos fatores de ponderação e suas aplicações	32
Quadro 2 – Valores limites da Diretiva 2002/44/EC	39
Quadro 3 – Distribuição dos tratamentos.	43
Quadro 4 – Variáveis analisadas no experimento	54
Quadro 5 – Limites de exposição do corpo humano à vibração.....	57
Quadro 6 – ANOVA do valores de RMS (X, Y, Z e VTV), Pico Máx (X, Y e Z), VDV (X, Y, Z e VTV) e A(8) para o pneu diagonal.....	60
Quadro 7 – ANOVA do valores de RMS (X, Y, Z e VTV), Pico Máx (X, Y e Z), VDV (X, Y, Z e VTV) e A(8) para o pneu diagonal.....	61

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Tratores existentes nos estabelecimentos agropecuários.....	21
Figura 2 – Tratores vendidos no brasil entre 1960 e 2011	22
Figura 3 – Idade dos tratores na região central do rs.....	23
Figura 4 – Partes constituintes do pneu.	25
Figura 5 – Tipo de construção da carcaça do pneu diagonal e radial.	26
Figura 6 – Área de contato dos pneus com diferentes pressões internas.....	28
Figura 7 – Parâmetros característicos de um movimento senoidal.	30
Figura 8 – Esquema básico de sistema biodinâmico.	32
Figura 9 – Eixos basicêntricos do corpo humano.....	33
Figura 10 – Fatores de ponderação na frequência - vibrações de corpo inteiro.	34
Figura 11 – Esquema básico de sistema de medições de vibrações.	37
Figura 12 – Zonas de precaução da norma 2631 (1997).	38
Figura 13 – Imagem representativa da localização do nema e da área experimental	41
Figura 14 – Imagem representativa da área experimental.	42
Figura 15 – Croqui representativo da área experimental.....	44
Figura 16 – Trator massey ferguson dyna 4, 4x2 tda, modelo 5450.	46
Figura 17 – Pesagem do eixo traseiro (a) e dianteiro (b) em uma balança tipo plataforma da marca toledo, com capacidade para 50 ton e precisão de 10 kg.	46
Figura 18 – Semeadora massey ferguson, modelo 509 com 9 linhas.....	47
Figura 19 – Área de contato dos pneus diagonais – a (96 kpa), b (138 kpa) e c (179 kpa)	48
Figura 20 – Área de contato dos pneus diagonais – a (41 kpa), b (69 kpa) e c (96 kpa)	49
Figura 21 – Relação da área de contato dos pneus diagonais com a pressão de insuflagem.....	50
Figura 22 – Relação da área de contato dos pneus radiais com a pressão de insuflagem.....	50
Figura 23 – Analisador de vibrações no corpo humano, modelo 4447, da brüel & kjær.	51
Figura 24 – Analisador de vibrações no corpo humano, modelo 4447, da brüel & kjær.	52

Figura 25 – Detalhe do acelerômetro no <i>seat pad</i> , bem como a montagem do mesmo no banco do operador. Fonte: brüel & kjær (2009).....	53
Figura 27 – Procedimento de calibração da pressão de insuflagem dos pneus.....	55
Figura 28 – Trator configurado com pneus radiais em operação no momento de uma das medições realizadas.....	56
Figura 29 – Limites de aceleração ponderada impostas pela norma 2631..	57
Figura 30 – Valores das acelerações rms nos três eixos (x, y e z), com três diferentes pressões para o pneu diagonal.	61
Figura 31 – Valores das acelerações rms nos três eixos (x, y e z), com três diferentes pressões para o pneu radial.	62
Figura 32 – Valores do pico máximo das acelerações nos três eixos (x, y e z), com três diferentes pressões para o pneu diagonal.	64
Figura 33 – Valores do pico máximo das acelerações nos três eixos (x, y e z), com três diferentes pressões para o pneu radial.	64
Figura 34 – Valores da dose de vibração nos três eixos (x, y e z), com três diferentes pressões para o pneu diagonal.	65
Figura 35 – Valores da dose de vibração nos três eixos (x, y e z), com três diferentes pressões para o pneu radial.....	66
Figura 36 – Acelerações eficazes na frequência de 1 a 80 hz, no tempo de exposição de 8 horas.	67

LISTA DE APÊNDICE

Apêndice A – Valores de RMS no eixo X (Pneu Diagonal)	76
Apêndice B – Valores de RMS no eixo X (Pneu Radial)	76
Apêndice C – Valores de RMS no eixo Y (Pneu Diagonal)	77
Apêndice D – Valores de RMS no eixo Y (Pneu Radial)	77
Apêndice E – Valores de RMS no eixo Z (Pneu Diagonal).....	78
Apêndice F – Valores de RMS no eixo Z (Pneu Radial).....	78
Apêndice G – Valores de RMS VTV (Pneu Diagonal).....	79
Apêndice H – Valores de RMS VTV (Pneu Radial)	79
Apêndice I – Valores de Peak no eixo X (Pneu Diagonal).....	80
Apêndice J – Valores de Peak no eixo X (Pneu Radial).....	80
Apêndice K – Valores de Peak no eixo Y (Pneu Diagonal)	81
Apêndice L – Valores de Peak no eixo Y (Pneu Radial).....	81
Apêndice M – Valores de Peak no eixo Z (Pneu Diagonal).....	82
Apêndice N – Valores de Peak no eixo Z (Pneu Radial)	82
Apêndice O – Valores de Peak Máx (Pneu Diagonal)	83
Apêndice P – Valores de Peak Máx (Pneu Radial)	83
Apêndice Q – Valores de VDV no eixo X (Pneu Diagonal).....	84
Apêndice R – Valores de VDV no eixo X (Pneu Radial).....	84
Apêndice S – Valores de VDV no eixo Y (Pneu Diagonal)	85
Apêndice T – Valores de VDV no eixo Y (Pneu Radial)	85
Apêndice U – Valores de VDV no eixo Z (Pneu Diagonal)	86
Apêndice V – Valores de VDV no eixo Z (Pneu Radial)	86
Apêndice X – Valore de VDV VTV (Pneu Diagonal).....	87
Apêndice Z – Valores de VDV VTV (Pneu Radial)	87

LISTA DE REDUÇÕES

Agrotec – Laboratório de Agrotecnologia

a_{wx} – aceleração RMS ponderada na direção do eixo ortogonal X

a_{wy} – aceleração RMS ponderada na direção do eixo ortogonal Y

a_{wz} – aceleração RMS ponderada na direção do eixo ortogonal Z

B&K - Brüel & Kjær

cm – Centímetro – Unidade de medida linear de comprimento

cm² – Centímetro quadrado – Unidade de medida de área

CPSM – Colégio Politécnico de Santa Maria

cv – Cavalo-vapor – Unidade de medida de potência

F_c – F calculado

GL – Grau de Liberdade

Hz – Hertz - Unidade de medida para frequência

ISO – International Organization for Standardization

k_x – Fator multiplicador do eixo ortogonal X

k_y – Fator multiplicador do eixo ortogonal Y

k_z – Fator multiplicador do eixo ortogonal Z

m/s² – metros por segundo ao quadrado – Unidade de medida de aceleração

MF – Massey Ferguson

m/s – metros por segundo – Unidade de medida de velocidade

NEMA – Núcleo de Ensaio de Máquinas Agrícolas

PPGEA – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola

Psi – Libra-Força – Unidade de medida de pressão

P_r – F tabelado

QM – Quadrado Médio

RMS – Raiz Média Quadrática (*root mean square*)

RPM – Rotações por minuto

s – Segundos – Unidade de medida de tempo

SQ – Soma do Quadrado

t – tempo

ton – Tonelada – Unidade de medida de massa

TDA – Tração dianteira auxiliar

UE – Unidade Experimental

UFSM – Universidade Federal de Santa Maria

VCI – Vibração de Corpo Inteiro

VDV – Valor de dose de vibração (*vibration dose value*)

VTV – Valor Total

WBV – Vibração de Corpo Inteiro (*whole body vibration*)

Wk – Ponderação de corpo inteiro no eixo z

Wd – Ponderação de corpo inteiro nos eixos x e y

X – Direção horizontal e paralela ao deslocamento

Y – Direção horizontal e transversal ao deslocamento

Z – Direção vertical e perpendicular ao deslocamento

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	Objetivo Geral.....	19
1.2	Objetivos Específicos	19
1.3	Hipótese do trabalho	20
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1	Trator Agrícola e Semeadora	21
2.2	Pneus	24
2.2.1	Conceitos de pneus agrícolas	24
2.2.2	Pneu Diagonal e Radial	25
2.2.3	Pressão de insuflagem	27
2.3	Ergonomia	28
2.4	Vibrações	29
2.4.1	Conceitos Básicos de Vibração	29
2.4.2	Vibração no Corpo Humano.....	31
2.4.3	Vibração em tratores agrícolas.....	35
2.4.4	Instrumentações de Medição de Vibrações	36
2.4.5	Legislação e Regulamentação	37
3	MATERIAL E MÉTODOS	41
3.1	Localização e Caracterização da área.....	41
3.2	Tratamentos e Croqui do experimento	43
3.3	Trator, Pneus e Semeadora.....	44
3.4	Instrumentação para aquisição e edição dos dados	51
3.5	Equipe de trabalho.....	54
3.6	Coleta de dados	55
3.7	Norma ISO 2631	56
3.8	Análise estatística.....	58
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
4.1	Análise do Valor Eficaz (RMS nos eixos X, Y, Z e Total (VTV)).....	61
4.2	Análise do Valor de Pico Máximo nos eixos X, Y e Z.....	63
4.3	Análise do Valor de Pico Máximo nos eixos X, Y e Z.....	65
4.4	Exposição diária de 8 horas.....	67

5 CONCLUSÕES	69
REFERÊNCIAS	70
APÊNDICE	76

1 INTRODUÇÃO

A mecanização agrícola é essencial quando pensamos no modelo de produção da agricultura moderna. Atividades como o preparo do solo, adubação, pulverização, colheita e até o transporte dos produtos agrícolas, fazem parte de qualquer propriedade rural que se dedica à lavoura. Neste contexto, uma das máquinas que pode ser considerada como a base da agricultura atual, é o trator agrícola, uma vez que é utilizado na maior parte das operações agrícolas citadas anteriormente.

Com o crescente aumento da demanda por alimentos, a utilização de novas tecnologias em máquinas e o aumento das áreas cultiváveis no país, foi crescente. Outro fato relevante foi que, trabalhadores rurais, na maior parte pequenos agricultores, dedicam cada vez mais horas de trabalho à atividade agrícola. Em consequência disto, o elevado número de horas diárias que os operadores dedicam às suas atividades no campo operando máquinas agrícolas, faz com que problemas, de ordem física e psicológica, se agravem significativamente ao longo dos anos.

Durante esta jornada de trabalho, conforto e segurança são de fundamental importância para os operadores. No entanto, o mercado consumidor de tratores agrícolas no Brasil não está preparado para pagar por tecnologias capazes de reduzir os fatores nocivos que incidem no corpo humano durante as operações com máquinas agrícolas. Atualmente o Brasil possui uma Normativa Regulamentadora, a NR 15, que estabelece os procedimentos obrigatórios, nas atividades ou operações insalubres que são executadas acima dos limites de tolerância previstos na Legislação, comprovadas através de laudo de inspeção do local de trabalho. Assim como as vibrações, outros agentes de risco são cobertos pela norma, tais como ruído, calor, radiações, pressões, frio, umidade, agentes químicos, etc.

Esta exposição a níveis elevados de vibrações pode causar problemas irreversíveis de ordem muscular, óssea, sensitiva, de visão, entre outros. A redução desta exposição, além de diminuir os problemas no ambiente de trabalho, o aumento da capacidade operacional dos operadores, uma vez que os mesmos se sentem mais confortáveis durante as atividades. Uma vez dito isto, entender como as vibrações comportam-se no sistema homem-máquina durante as atividades

realizadas no campo, é de extrema importância para poder desenvolver máquinas que reduzam estes fatores.

Diversos trabalhos foram realizados nos últimos anos, buscando-se entender o comportamento do corpo humano em diferentes atividades agrícolas, com diferentes tipos de assentos, configurações de pneus, tipos de cabines, entre outros. Estas maneiras de configurar o trator para a operação são as alternativas mais rápidas, e de menor custo, que existem para obter resultados satisfatórios em relação à redução da incidência de vibrações no corpo do operador.

Equipamentos utilizados para medições de acelerações possibilitam medir e analisar como as vibrações agem no sistema máquina-homem. Uma vez que conhecemos como as vibrações se comportam, é possível agir de forma consciente nas causas do problema. Para realizar tal intervenção, torna-se necessário não somente a medição dos níveis de vibração como também a comparação com valores previamente estabelecidos. Para tal comparação, normas internacionais recomendam métodos de medição que possibilitam classificar os valores obtidos, de forma a avaliar os reais danos provocados pelas vibrações ao corpo humano.

1.1 Objetivo Geral

Avaliar as vibrações de corpo inteiro incidentes em um operador de trator agrícola utilizando pneus radiais e diagonais, com três diferentes pressões em operação de semeadura.

1.2 Objetivos Específicos

- A) Determinar se os níveis de vibrações eficazes (RMS) nas diferentes configurações do trator (pneu e pressão) ultrapassam os níveis limitados pela norma ISO 2631 para uma jornada de 8 horas de trabalho.
- B) Determinar qual configuração do trator (variando tipo de pneu e pressão) possibilita a menor e a maior incidência de vibração RMS no operador;
- C) Determinar em qual dos 3 eixos (X, Y e Z) o operador sofre mais incidência de vibração, e ao nível mais alto de vibração.

1.3 Hipótese do trabalho

A hipótese deste trabalho é de que quanto maior a pressão interna nos pneus agrícolas, maiores serão os níveis de vibração.

Outra hipótese é de que a utilização do pneu radial é capaz de reduzir as vibrações incidentes no operador, uma vez que o tipo de construção do pneu possibilita a utilização de baixas pressões no pneu.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Trator Agrícola e Semeadora

A mecanização agrícola é essencial na agricultura moderna. Atividades como o preparo de solo, adubação, pulverização e colheita, que eram realizadas somente com trabalho manual e animal, hoje são desenvolvidas com o auxílio de máquinas. Isso ajuda a garantir melhores produtividades e permite o cultivo de maiores áreas (CUNHA et al., 2009).

O trator agrícola destaca-se neste processo de desenvolvimento da agricultura brasileira devido à sua versatilidade na execução de inúmeras tarefas no meio rural, servindo como fonte de potência e tração de diversos equipamentos e implementos agrícolas (ROZIN, 2004). Para Márquez (1990) o trator agrícola é considerado a base da mecanização agrícola moderna. Segundo dados do IBGE (2006), o número de tratores presentes nos estabelecimentos agropecuários no Brasil, passava de 820 mil tratores (Figura 1).

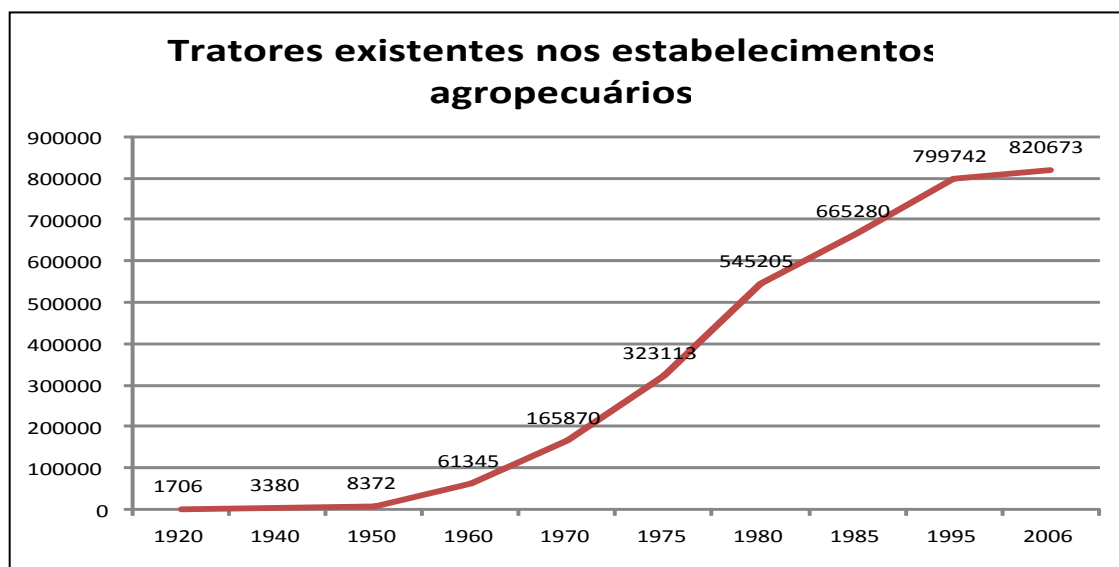


Figura 1 – Tratores existentes nos estabelecimentos agropecuários. Fonte: (IBGE, 2006).

No entanto, este número indica o total de tratores agrícolas em propriedades brasileiras, não diferenciando tratores inoperantes e operantes. ANFAVEA (2006), estima que no ano de 2006, o número de tratores agrícolas em uso nas propriedade brasileiras era de 336.589 unidades.



Figura 2 – Tratores vendidos no Brasil entre 1960 e 2011. Fonte: ANFAVEA (2012).

Debiasi et al. (2002) relatam que a presença de itens relacionados ao conforto e ergonomia é menor quanto mais antigos forem os tratores agrícolas, implicando numa maior severidade dos efeitos dos fatores ambientais sobre operador, nessas condições.

Em uma pesquisa realizada na região central do Rio Grande do Sul, Ereno (2008) concluiu que 58,58% dos 128 tratores amostrados em sua pesquisa tinham mais de 11 anos de uso.

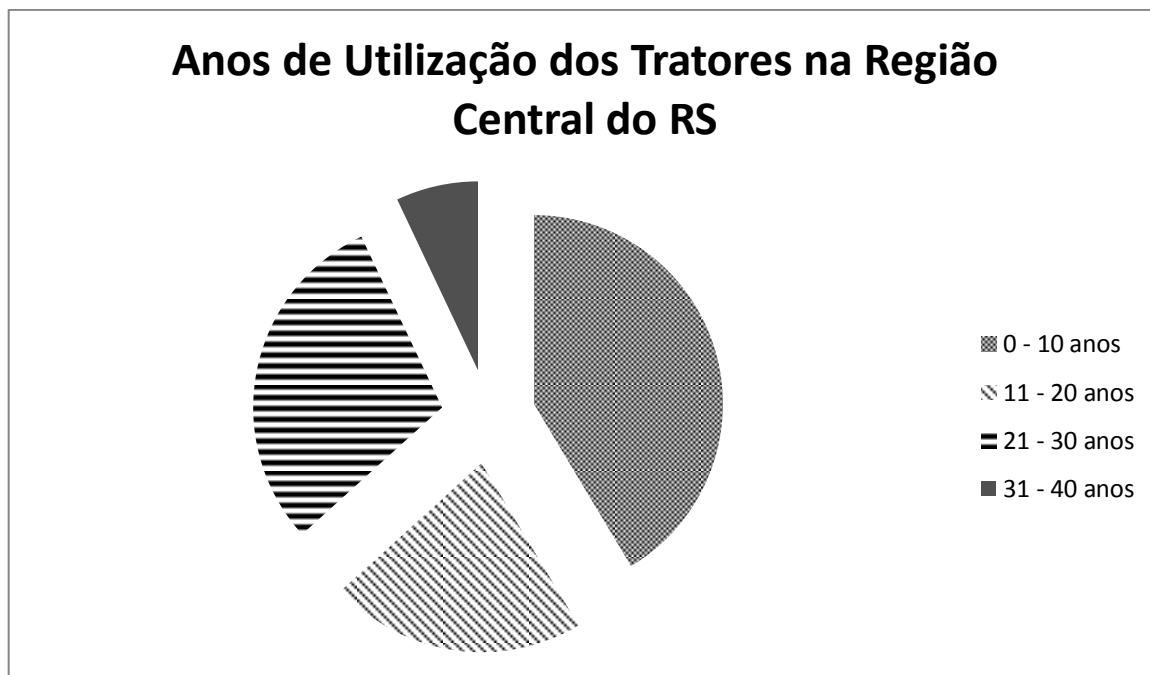


Figura 3 – Anos de utilização dos tratores na Região Central do RS. Fonte: Ereno, (2008).

Além dos efeitos nocivos causados pela falta de qualidade ergonômica dos tratores agrícolas, a elevada jornada de trabalho que o operador permanece nas atividades agrícolas, principalmente durante a época de safra, torna-se bastante árdua, uma vez que o mesmo está sujeito a poeiras, vibrações, intempéries e ruídos (IIDA, 2005).

Para verificar o conforto do operador, pode-se fazer análises subjetivas ou objetivas. A análise subjetiva é feita através de um ou mais trabalhadores que tenham experiência na área. A análise objetiva é feita pela determinação das amplitudes, direções, frequências e duração das vibrações. Embora o principal meio de transmissão da vibração seja o assento, outros mecanismos influenciam na magnitude da vibração como: plataforma, pneus, coxins, amortecedor, utilização de implementos, entre outros (ROTH, 2010).

O objetivo da semeadura de precisão é obter uma implantação uniforme de sementes, com regularidade geométrica na distância, tanto no espaçamento como ao longo do sulco, e na profundidade de semeadura, de acordo com os requisitos agrônômicos do cultivo, de maneira a maximizar os rendimentos. Devido às

oscilações impostas pelas irregularidades do perfil do solo, as mesmas produzem vibrações aleatórias (GARGICEVICH & MARONI, 1997).

Um trabalho realizado por Pessina (1986), e citado por Berasategui (2000), teve por objetivo relacionar as vibrações sobre os assentos de tratores agrícolas com implementos engatados. O trator deslocou-se sobre uma pista agrícola acidentada e uma normalizada para ensaios de assento, constituída de blocos de madeiras, normalmente chamada de pista ISO 5007. Nesse trabalho concluiu-se que, as acelerações verticais no assento do tratorista predominaram sobre as longitudinais e laterais, e que os implementos de arrasto geraram níveis maiores de aceleração no assento do tratorista do que os implementos levantados.

Neste mesmo contexto, Hostens & Ramon (2003), concluíram que o incremento de velocidade, em tratores utilizando implementos pesados, resulta em aumentos consideráveis de vibrações indesejadas, acarretando na diminuição da vida útil do trator e no desconforto aos operadores de tratores agrícolas.

2.2 Pneus

2.2.1 Conceitos de pneus agrícolas

Segundo Neujahr (1999) a roda tem como seu princípio de funcionamento rodar sobre o seu próprio eixo conferindo movimento e/ou transmitindo-o a um determinado elemento e, se este giro ocorre sobre uma superfície, denominamos de rolamento da roda. A roda utilizada nos veículos tem como principais funções: apoiar o peso do veículo sobre o terreno, sustentar este peso com a mínima penetração de recalque, transmitir a força oriunda do torque aplicado ao eixo na região de interação e proporcionar dirigibilidade ao veículo.

Os pneus dos tratores agrícolas são responsáveis pelo amortecimento das vibrações, uma vez que os tratores agrícolas não são equipados com sistemas de amortecimentos mais sofisticados serem muito limitados, em nível comercial (HILBERT et al., 2004). A utilização de suspensões, por exemplo, afetaria diretamente o rendimento do trator, uma vez que o mesmo perderia a aderência com

o solo, afetando diretamente a força de tração. Sharma & Pandey (1996) afirmaram que as características de eficiência de um rodado dependem, em grande parte, não somente da pressão de contato, mas também do tamanho e da forma da área de contato, concluindo que, para um rodado pneumático, a aproximação elíptica é o melhor estimador para a área de contato pneu-superfície.

Wittcott & Reuben (1980) relataram que um pneu é constituído de quatro componentes principais conforme mostra a Figura 4:

- banda de rodagem: parte que está em contato com a superfície de rolamento;
- flancos: paredes laterais;
- talão: parte responsável pelo assento do pneu no aro;
- carcaça: corresponde ao conjunto de camadas ou lonas.

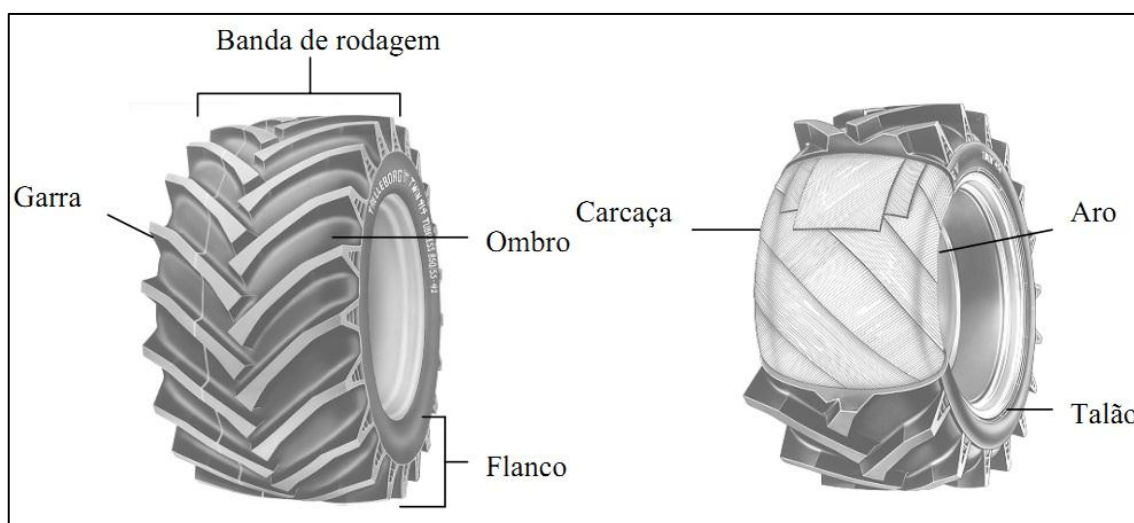


Figura 4 – Partes constituintes do pneu. Fonte: adaptado de Trelleborg (2000).

2.2.2 Pneu Diagonal e Radial

As lonas podem ser posicionadas de diferentes formas, afetando as características operacionais consideravelmente. As lonas diagonais são as de construção normal dos pneus agrícolas. Ambos os flancos e a banda de rodagem

são rígidas para cargas laterais e longitudinais. O grau de rigidez pode ser alterado pela modificação do ângulo das lonas. As lonas radiais fornecem flexibilidade lateral provenientes dos flancos, junto com um reforço da banda, fornecendo uma maior vida útil da banda sobre superfícies rígidas e um menor ângulo de inclinação para uma dada carga lateral (INNS & KILGOUR, 1978).

Wulfsohn & Upadhyaya (1996), afirmam que as características de construção do pneu radial permitem maiores vantagens de tração, sendo resultado da maior deflexão e melhor distribuição de pressão. Os pneus radiais, normalmente, apresentam área de contato maior que os diagonais de mesmo tamanho, nas mesmas condições de carga e de pressão de insuflagem.

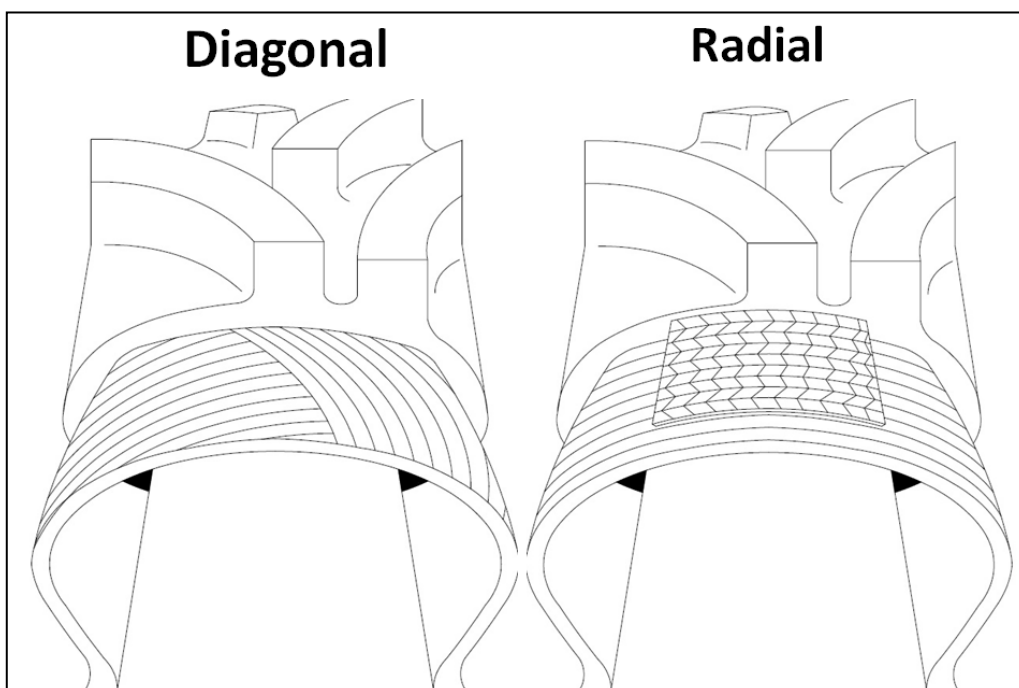


Figura 5 – Tipo de construção da carcaça do pneu diagonal e radial. Fonte: Ferreira (2007).

Ellis (1977) relata ainda que por causa das características diferentes na flexão, as vibrações no trator quando operado sobre uma superfície rígida é reduzida com o uso da construção da carcaça radial. Entretanto, esta diferença nas características da flexão é também responsável por uma sensação de instabilidade em muitas situações particulares com os tratores de tração nas 4 rodas.

Em relação à magnitude de vibração, Barbosa et al. (2005) observou que pneus diagonais excedem na magnitude de vibração em relação aos pneus radiais, isto para velocidade de 10 km/h (2,78 m/s), com o uso de outras velocidades não houve variação dos tratamentos.

2.2.3 Pressão de insuflagem

De acordo com a pressão interna do pneu as suas características dimensionais são alteradas, entre elas o raio estático, raio dinâmico, diâmetro geral, seção largura do pneu e a deflexão (FERREIRA et al., 2000).

Goodyear (1990) afirma que a menor pressão interna dos pneus diagonais proporciona melhores índices de tração em algumas condições de solo. Isso não é o caso da maioria das situações, não compensando riscos de danos aos pneus porque os mesmos são projetados para que se possa transportar uma determinada carga a certa pressão interna, quando são montados sob certo modelo de aro. Nessas condições sim, são assegurados o seu bom desempenho.

Franchini (2007) obteve alguns resultados em relação à pressão dos pneus diagonais e velocidade de deslocamento, e concluiu que as pressões de insuflagem e diferentes velocidades de deslocamento influenciam nas vibrações transmitidas ao operador, apresentando ainda diferença significativa entre a interação destes dois fatores.

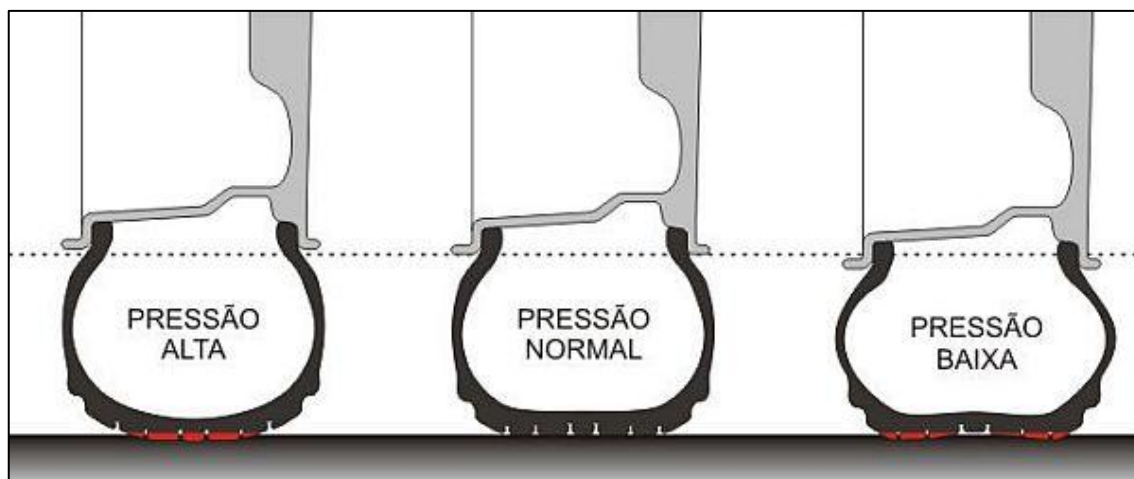


Figura 6 – Área de contato dos pneus com diferentes pressões internas. Fonte: FENERICH (2012).

2.3 Ergonomia

A ergonomia é a ciência que estuda a atividade do homem que utiliza máquinas com o objetivo de otimizar as condições de trabalho, considerando os efeitos entre o homem e a máquina (MÁRQUEZ, 2012). Segundo Dul & Weerdmeester (2001), a ergonomia se aplica ao projeto de máquinas, equipamentos, sistemas e tarefas, com objetivo de melhorar a segurança, saúde, conforto e eficiência no trabalho.

A operação de tratores agrícolas é uma atividade que engloba basicamente dois fatores: o homem (operador) e a máquina (trator). Estes dois fatores interagem entre si, formando o sistema homem-máquina (GRANDJEAN, 1998). A eficiência com que o sistema homem-máquina executa suas funções depende de diversos fatores.

IIDA (2005) comenta que essa nova ciência deve ter como objetivo, aspectos do comportamento humano e outros fatores como, o homem (características físicas, fisiológicas, psicológicas e sociais do trabalhador, influência de sexo, idade, treinamento e motivação), máquina (todas as ajudas materiais que o homem utiliza no seu trabalho, englobando equipamentos, ferramentas, mobiliários e instalações), ambiente (as características físicas que envolvem o homem durante o trabalho,

como temperatura, ruídos, vibrações, luz, cores, gases e outros), entre outros. A ergonomia age sobre estes fatores, buscando otimizá-los para aumentar a eficiência do sistema de forma a beneficiar o homem.

2.4 Vibrações

2.4.1 Conceitos Básicos de Vibração

Vibrações são “oscilações mecânicas regulares ou irregulares de um corpo em torno de um ponto de repouso” (SELL, 2002, p. 237). Para Saliba et al. (2002, p. 44), o conceito de vibrações é “um movimento oscilatório de um corpo devido a forças desequilibradas de componentes rotativos e movimentos alternados de uma máquina ou equipamento”. Quando um determinado corpo vibra, descreve um movimento oscilatório e periódico, envolvendo deslocamento durante um tempo determinado. Tem-se, então, envolvidas no movimento, uma velocidade, uma aceleração e uma frequência (número de ciclos completos/minuto).

Há quatro fatores físicos importantes para determinar a vibração no corpo humano que são: a intensidade, a frequência, a direção e a duração (tempo de exposição) da vibração (ANFLOR, 2003). Na Figura 7, é possível observar os parâmetros característicos de um movimento senoidal.

Para o entendimento de vibrações, torna-se, primeiramente, necessário o conhecimento básico de alguns parâmetros:

- **Pico:** indica o valor máximo, mas não traz qualquer informação em relação à duração ou o tempo de movimento, é usado na indicação de níveis de impacto de curta duração.

- **Raiz Média Quadrática (RMS) ou Valor Eficaz:** é a raiz quadrada dos valores quadrados médios dos movimentos. É a mais importante e a mais utilizada medida da amplitude porque mostra a média da energia contida no movimento vibratório, ou seja, indica o potencial destrutivo da vibração.

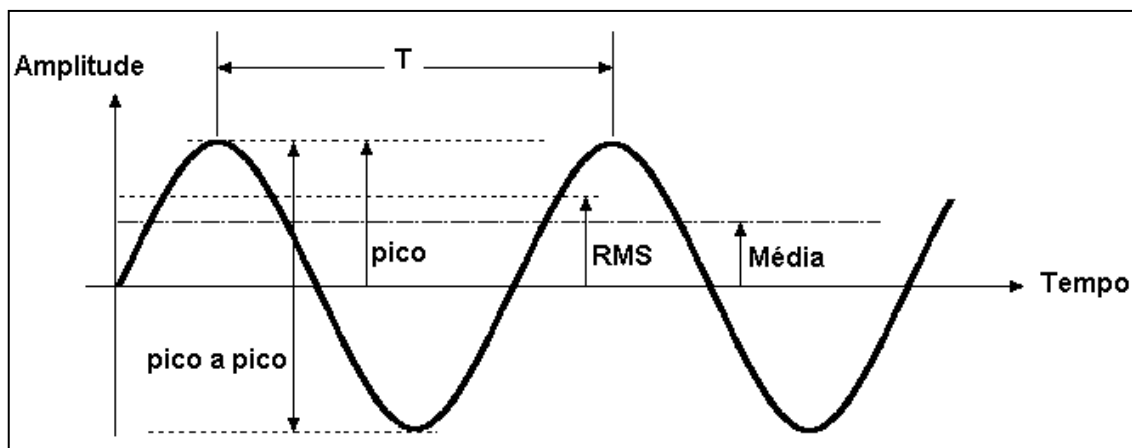


Figura 7 – Parâmetros característicos de um movimento senoidal. Fonte: Brüel & Kjær (1988).

- **Média:** indica apenas a média da exposição sem qualquer relação com a realidade do movimento, é usado quando se quer levar em conta um valor da quantidade física da amplitude em um determinado tempo.

- **Pico a pico:** indica a dupla amplitude da onda e é usado, por exemplo, onde o deslocamento vibratório da máquina é parte crítica na tensão máxima de elementos de máquina.

- **Amplitude:** é o deslocamento máximo do corpo em relação a sua posição de equilíbrio, sendo que a intensidade da vibração está associada ao deslocamento, velocidade e aceleração.

Na prática, as vibrações consistem de uma mistura complexa de diversas ondas, com frequências e direções diferentes. A partir da análise desses componentes, é possível calcular o nível médio das vibrações (CUNHA et al., 2009), e diferentemente de outros agentes físicos ou químicos, onde o trabalhador atua de forma passiva, na exposição ao risco, no caso de vibrações caracteriza-se pelo contato entre o trabalhador e o equipamento ou máquina que transmite a vibração. Para Prasad et al. (1995), as vibrações são resultantes das interações entre o trator e o micro-relevo do solo onde ele opera e, também, com a sua fonte de potência.

O RMS é o parâmetro mais utilizado para a verificação da aceleração, pois corresponde o valor eficaz da vibração, sendo definido de acordo com a Equação 1.

$$a_w(rms) = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) \times dt} \quad \text{Equação 1}$$

Onde $a_w(t)$ é a aceleração ponderada em m/s^2 no movimento vibratório de translação, ou rad/s^2 no rotacional, t é o tempo de duração da medição em segundos e T é a posição onde a onda completa um período.

2.4.2 Vibração no Corpo Humano

Os efeitos causados pela vibração ao corpo humano (WBV) dependem da frequência de excitação, da aceleração, do deslocamento e da velocidade. As principais frequências de excitação a qual o corpo humano é exposto, as quais são geradas através de veículos pesados, pontes rolantes entre outros (ANFLOR, 2003).

As vibrações de corpo inteiro (VCI) são de baixa frequência e alta amplitude, e situam-se na faixa de 1 a 80 Hz, mais especificamente 1 a 20 Hz. A VCI acontece quando há uma vibração dos pés (posição em pé) ou do assento (posição sentada). Estas vibrações ocorrem mais nas atividades de transporte e vibrações transmitidas por máquinas industriais, e são normatizadas pela ISO 2631 (1997).

O corpo humano reage às vibrações de forma diferente. A sensibilidade às vibrações longitudinais é distinta da sensibilidade transversal. Em cada direção, a sensibilidade também varia com a frequência, isto é, a aceleração tolerável para determinada frequência é diferente daquela em outra frequência. Frequências abaixo de 1 Hz causam enjôos, enquanto as frequências entre 3 Hz e 8 Hz afetam os intestinos e a coluna vertebral, e aquelas entre 15 Hz e 24 Hz podem interferir na visão, diminuindo a fixação e a percepção visual (BERASATEGUI, 2000).

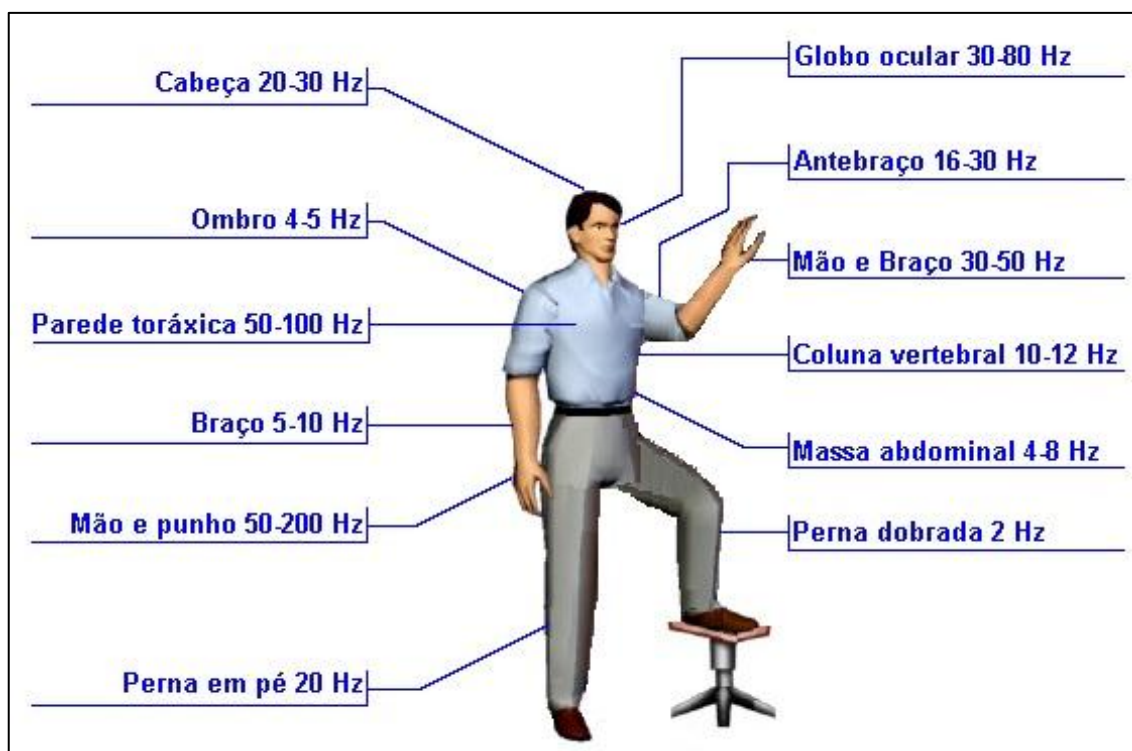


Figura 8 – Esquema básico de sistema biodinâmico. Fonte: Brüel & Kjær (1988).

No corpo humano, a vibração pode ser medida através dos três eixos ortogonais (X, Y e Z), de acordo com esta análise, a direção (Z) é vinculada aos valores de vibração vertical dos pés ou nádegas para a cabeça, na direção (X) estão os valores correspondentes ao longo do eixo longitudinal das costas ao peito e no eixo (Y) estão os valores correspondentes na direção transversal da direita para a esquerda, conforme a ISO 2631 (1997), visualiza-se a representação gráfica do corpo na Figura 9.

Ponderação nas Frequências	Aplicação
W_k	Ponderação de corpo inteiro no eixo z – ISO 2631.
W_d	Ponderação de corpo inteiro nos eixos x e y – ISO 2631.

Quadro 1 – Identificação dos fatores de ponderação e suas aplicações. Fonte: adaptada de ISO 5349 (2001).

A sensibilidade humana à vibrações é diferente nas diversas faixas de frequência. Assim, na avaliação ocupacional os valores das acelerações são ponderados, ou corrigidos, em função da frequência, dos eixos espaciais X, Y e Z e do tipo de vibração (extremidades e corpo inteiro).

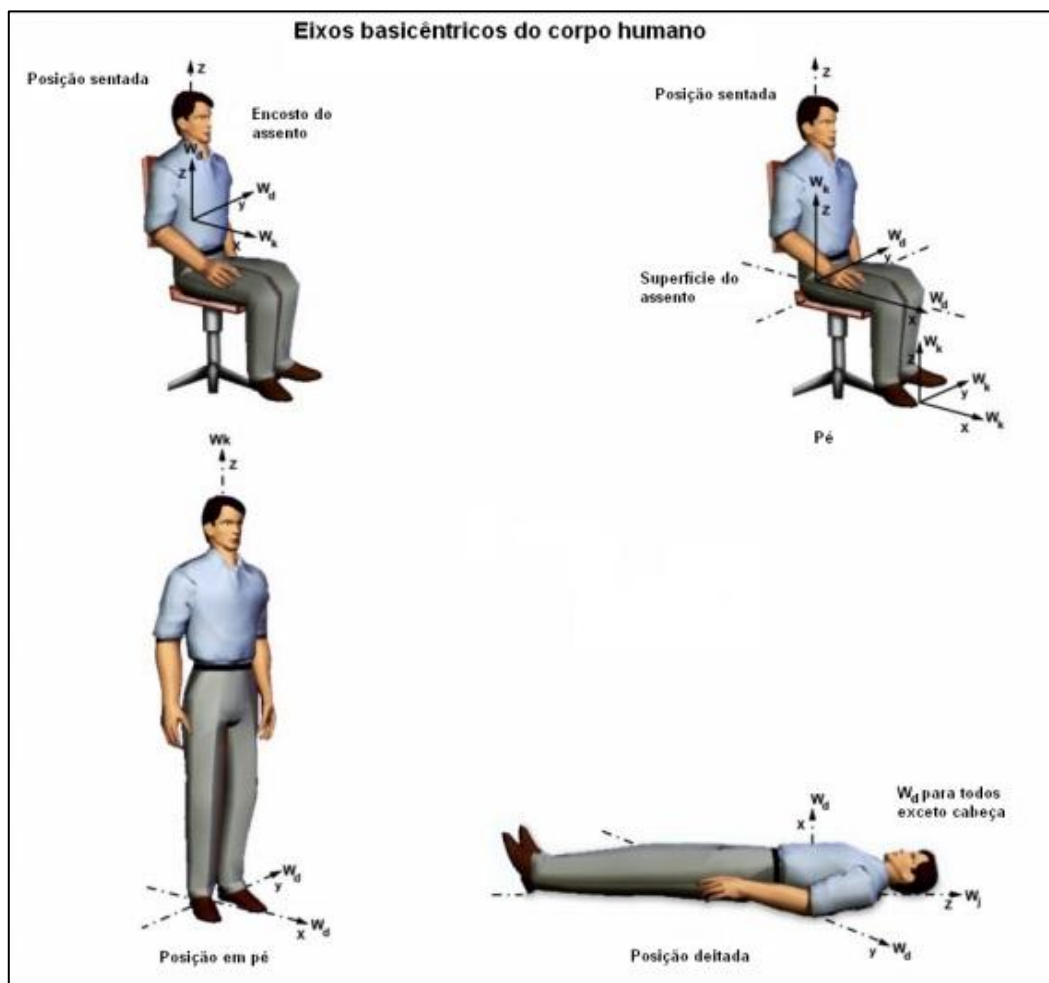


Figura 9 – Eixos basicêntricos do corpo humano. Fonte: B&K (1988).

Os valores de aceleração obtidos nos três eixos podem ser somados de forma a se obter a aceleração total, com base na seguinte Equação 2.

$$A_t = \sqrt{k_x^2 \times a_{wx}^2 + k_y^2 \times a_{wy}^2 + k_z^2 \times a_{wz}^2} \quad \text{Equação 2}$$

Onde a_{wx} , a_{wy} e a_{wz} são as acelerações RMS ponderadas nas direções dos eixos ortogonais X, Y e Z e k_x , k_y e k_z são fatores multiplicadores dos respectivos eixos ortogonais X, Y e Z (Figura 10).

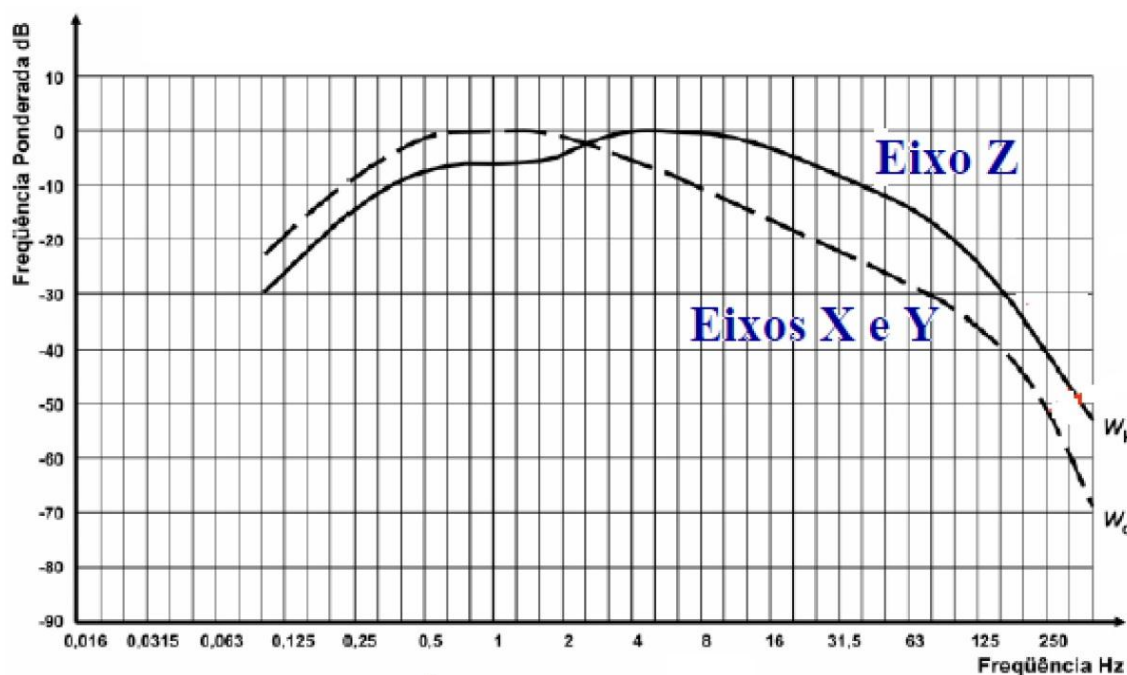


Figura 10 – Fatores de ponderação na frequência - Vibrações de Corpo Inteiro.
Fonte: ISO 2631 (1997)

Ximenez (2006) cita que, o método A (8) leva em conta choques ocasionais e vibração transiente usando um tempo constante de curta integração. O valor da aceleração medido usa unidades em m/s^2 , sendo normalizado para 8 horas. Este método produz uma exposição cumulativa usando uma aceleração média ajustada para representar um dia de trabalho de 8 horas. Através da Equação 3 calcula-se, pelo método RMS, a aceleração ponderada em frequência

$$a_p(t_0) = \left[\frac{1}{\tau} \int_{t_0-\tau_0}^{t_0} (a_p(t))^2 dt \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{Equação 3}$$

Onde $a_p(t)$ é a aceleração ponderada em frequência instantânea, τ é o tempo de integração (normalmente recomenda-se τ de 1 segundo), t é o tempo (variável de integração) e t_0 o tempo de observação (tempo instantâneo).

O mesmo autor cita também que o método VDV é mais sensível a picos que o método de avaliação básico, porque usa a quarta potência em vez de segunda potência do histórico de aceleração. O valor de VDV de quarta potência é expresso em $m/s^{1.75}$.

$$VDV = \left\{ \int_0^T [a_p(t)]^4 dt \right\}^{\frac{1}{4}} \quad \text{Equação 4}$$

Onde VDV é o valor da dose de vibração, $a_p(t)$ é a aceleração ponderada em frequência instantânea, T é a duração da medição e \int é integral de zero para T segundos.

2.4.3 Vibração em tratores agrícolas

Os tratores agrícolas, em geral, produzem vibrações de baixa frequência, que são transmitidas para o posto do operador (SERVADIO et al. 2007). Níveis de vibração excessivos, em tratores agrícolas, geram uma sensação incômoda no operador, aumentando sua fadiga física e mental (FERNANDES et al., 2003). Segundo Roldán et al. (1999), as vibrações que o tratorista é submetido durante seu trabalho têm origem de duas principais fontes.

A primeira delas é através das vibrações produzidas pelo motor e pela transmissão do trator, e que se caracteriza por ser de alta frequência e pequena amplitude e é transmitida ao operador através do assento, do volante e dos comandos de operação. Seus efeitos sobre a saúde são de pouca importância já que são amortizadas pelos braços e pelas pernas.

A segunda é a vibração produzida devido a irregularidade do terreno. Estas vibrações caracterizam-se por serem de baixa frequência e grande amplitude, e são

transmitidas ao operador sem mais isolamento que o proporcionado pelo assento ou cabine, se for suspensa. Estas vibrações são especialmente nocivas ao coincidir suas frequências com as de ressonância da região lombar da coluna vertebral e de diversos órgãos internos, dando lugar, após um longo período de exposição, a efeitos patológicos de gravidade variável.

Fernandes et al. (2003) explicam que os níveis de vibração excessivos, nos tratores agrícolas são bastante desconfortáveis para o operador, que conseqüentemente aumenta sua fadiga física e mental. O operador no posto de trabalho, não mantém uma postura estável, pois o contato dos membros do corpo no piso da cabina, na direção e no assento, faz com que haja propagação das vibrações para o corpo durante a execução das tarefas. Desta forma a exposição do corpo humano às vibrações, proporcionam inúmeros problemas na coluna vertebral, tais como hérnia de disco e degeneração da região lombar (IIDA, 2005).

2.4.4 Instrumentações de Medição de Vibrações

Pela definição do Vocabulário Internacional de Metrologia (2000) um sistema de medições compreende o conjunto completo de instrumentos de medição e outros equipamentos acoplados para executar uma medição. É composto de três blocos, um transdutor (ou captador), um dispositivo de amplificação (elétrico, mecânico ou óptico) e um indicador ou registrador de amplitude ou de nível, que serão analisados separadamente, podendo ainda ser composto de filtros passa bandas para selecionar frequências específicas (Figura 11).

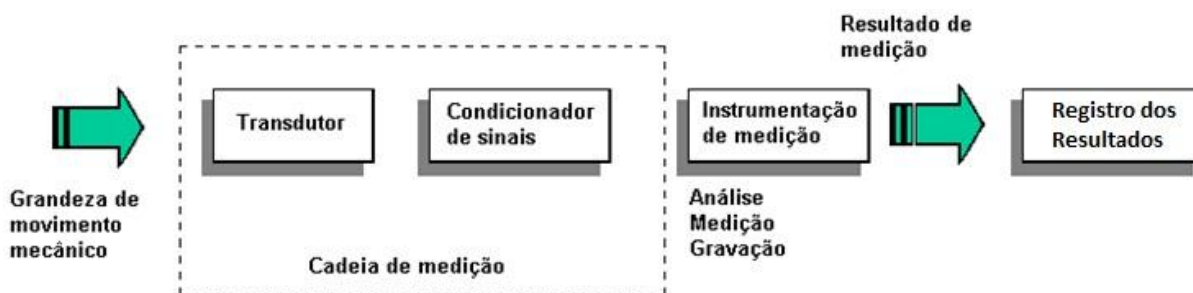


Figura 11 – Esquema básico de sistema de medições de vibrações. Fonte: Adaptado de Ximenez (2006).

O transdutor é a interface entre a vibração e o sistema de medição. Responde à vibração mecânica e a transforma em um sinal elétrico que pode ser interpretado pelo instrumento de medição. Os tipos mais comuns de acelerômetros são: piezoelétricos; piezoelétricos com eletrônica integrada (ICP); piezoresistivo; capacitância variável; servoacelerômetro.

Condicionadores de sinais são definidos como os elementos responsáveis pela adequação do sinal fornecido pelo transdutor aos requisitos da instrumentação de registro e/ou análise. São alguns exemplos de condicionadores de sinais: amplificadores diferenciais para acelerômetros piezoresistivos; amplificadores de tensão e amplificadores de carga para acelerômetros piezoelétricos; etc.

Os filtros de ponderação de frequência são usados para comparar as a vibração medida com as normas, sendo só permitindo a passagem de certos componentes de frequência pela função passa-bandas (XIMENEZ, 2006).

A norma internacional ISO 8041 (1999) na cobertura da instrumentação especificada mostra que há a necessidade de se ter pelo menos um dos métodos de medição recomendados pelas normas ISO 2631 (1997).

2.4.5 Legislação e Regulamentação

Conforme Walber & Tamagna (2010), a Norma ISO 2631 estabelece curvas de limite de aceleração máxima recomendadas para cada tempo de exposição. O corpo pode ser submetido a vibrações em várias direções e posições, em pé,

sentado ou deitado. Esta mesma norma estabelece que a medida preliminar do valor da vibração será em termos de aceleração RMS. A frequência de vibrações é expressa em ciclos por segundo (Hz) e incide sobre a extensão dos objetos que transmitem vibrações.

Ximenez (2006) comenta que, os valores obtidos na avaliação devem ser comparados com base nas zonas de precaução, contido no Anexo B da ISO 2631 (1997), representado na Figura 12, onde a zona hachurada indica o potencial de risco à saúde. Sendo que, para exposições abaixo da zona hachurada, os efeitos à saúde não foram claramente documentados e/ou observados objetivamente e acima da zona hachurada indica-se prováveis riscos à saúde.

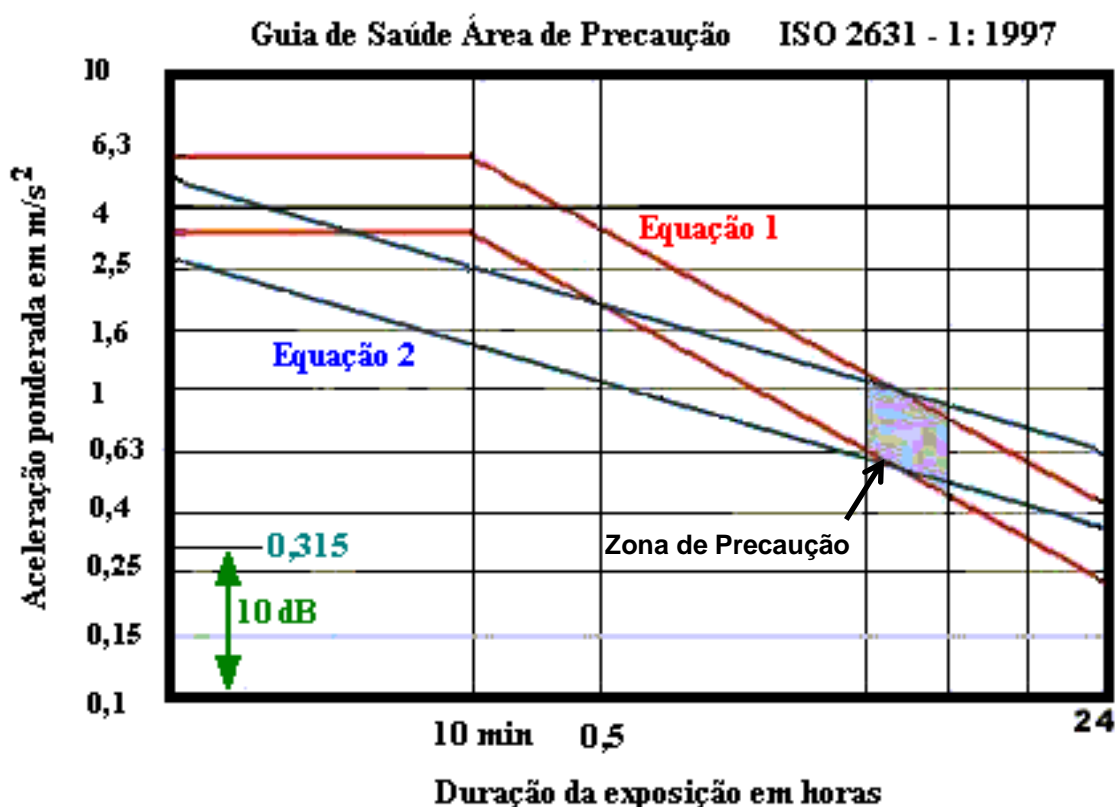


Figura 12 – Zonas de Precaução da Norma 2631 (1997). Fonte: Adaptado da Norma 2631 (1997).

O mesmo autor também comenta que, os limites de exposição são também dependentes da classificação das áreas. Nas áreas especiais ou residenciais estes limites são mais restritivos por caracterizar um local de ausência de fontes de vibração. A ISO 2631 não faz discriminação entre áreas urbanas, rurais ou qualquer tipo de zoneamento.

Outra norma que estabelece limites para vibrações de corpo inteiro é da *American Conference of Governmental Industrial Hygienists – ACGIH* (1999). Esta norma utiliza como base a norma ISSO 2631 de 1985 e não a última versão de 1997. Na versão de 1985, a norma definia três tipos de limites, os quais foram excluídos na versão atual. Para estabelecer seu limite de tolerância, a ACGIH (1999) utilizou a experiência de vários estudos, chegando à conclusão de que os limites da ISO 2631 (2001) não eram suficientemente seguros; assim, optou por adotar os limites de proficiência reduzida por fadiga, que equivale à metade do limite de exposição (XIMENEZ, 2006).

A união Europeia também estabelece limites através da Diretiva 2002/44/EC de 2002. Esta norma indica que é proibida a exposição do operador aos limites definidos pela norma. No Quadro 2, é possível observar que o limite de exposição é a vibração permissível para os valores totais associados com o tempo de 8 horas, sendo o valor de limite de exposição diário de 5,0 m/s², e o limite inferior é a vibração permissível dos valores totais associados com 8 horas, sendo o valor de ação de exposição diária de 2,5 m/s².

Tipo de Vibração	Nível de Ação	Limite de Exposição
Mão e Braços	2,5 m/s ² A(8)	5,0 m/s ² A(8)
Corpo Inteiro	0,5 m/s ² A(8) ou 9,1 VDV	1,15 m/s ² A(8) ou 21 VDV

Quadro 2 – Valores limites da Diretiva 2002/44/EC. Fonte: Diretiva/2002/44 EC (2002).

No Brasil, a Norma Regulamentadora do Ministério do Trabalho e Emprego, NR-15, anexo 8, faz referência à necessidade de medição da exposição às

vibrações no trabalhador e indica a Norma ISO 2631 (1997) como referência para os limites de exposição.

Para quantificar a exposição às vibrações, a NR 15 determina a emissão de um Laudo Técnico. Neste deve conter os seguintes pontos: critério adotado, instrumental utilizado, metodologia de avaliação, descrição das condições de trabalho e o tempo de exposição às vibrações, resultado da avaliação quantitativa e as possíveis medidas para eliminação e ou neutralização da insalubridade, quando houver.

Em relação à insalubridade, o anexo 8 da NR 15, determina que:

a) As atividades e operações que exponham os trabalhadores, sem a proteção adequada, às vibrações localizadas ou de corpo inteiro, serão caracterizadas como insalubres, através de perícia realizada no local de trabalho.

b) A perícia, visando à comprovação ou não da exposição à vibração, deve tomar por base os limites de tolerância definidos pelas normas ISO 2631 (1997) ou suas substitutas e para os fins da NR 15, a concentração ou intensidade máxima ou mínima, relacionada com a natureza e o tempo de exposição ao agente, que não causará dano à saúde do trabalhador, durante a sua vida laboral.

c) A insalubridade, quando constatada, será de grau médio, isto é, deve-se conceder ao empregado um adicional de 20% do salário mínimo aos seus proventos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

As avaliações foram conduzidas pela equipe do Laboratório de Agrotecnologia (Agrotec), localizado no Campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, sendo parte integrante do Núcleo de Ensaios de Máquinas Agrícolas (NEMA).

3.1 Localização e Caracterização da área

A área experimental localiza-se no Campus da UFSM (Figura 13). O tipo de solo predominante na área é o Argissolo Vermelho distrófico com relevo plano suavemente ondulado.



Figura 13 – Imagem representativa da localização do NEMA e da área experimental

A umidade do solo foi determinada através da coleta de seis amostras de solo (0 – 20 cm), nos quais foram pesadas antes e depois de serem colocadas na estufa a 60°C até massa constante, chegando-se ao resultado de 11,33% de umidade no solo.



Figura 14 – Imagem representativa da área experimental.

Outra avaliação realizada foi referente ao índice de matéria seca, no qual se coletou o equivalente a uma área de 1 m² de matéria vegetal e posteriormente foi realizada a pesagem da amostra, antes e depois de serem colocadas na estufa a 60° C. Após obter o valor referente à 1 m², foi transformada o valor para 1 ha e chegou-se ao valor de 10.500 kg/ha de matéria seca. A vegetação presente no terreno é conhecida como capim-annoni (*Eragrostis plana*), sendo de difícil controle e que pode apresentar touceiras.

3.2 Tratamentos e Croqui do experimento

O trabalho foi dividido em 2 experimentos, totalizando seis tratamentos avaliados, nos quais variou-se tipo de pneu e pressão de insuflagem do pneu. O experimento 1 foi configurado com os pneus diagonais, trabalhando em três diferentes pressões (baixa, recomendada e alta), totalizando três tratamentos (T1, T2 e T3). Já o experimento 2 foi configurado com pneus radiais, trabalhando com as mesmas pressões que o experimento 1, totalizando três tratamentos (T4, T5 e T6). Para cada um dos tratamentos, foram realizadas quatro repetições, totalizando 24 unidades experimentais (UEs). No Quadro 2 é possível visualizar as configurações utilizadas em cada tratamento.

A marcha escolhida para cada uma das repetições foi a 2ª com o grupo C selecionado, a 2000 RPM. Quando utilizou-se o tipo de pneu diagonal, o patinamento encontrado foi de 22,47% quando estava com Pressão Baixa, 20,61% para a Pressão Recomendada e 21,83% para a Pressão Alta. Já para o tipo de pneu radial o patinamento foi de 13,46% quando utilizado em Pressão Baixa, 11,00% para a Pressão Recomendada e 21,83% para a Pressão Alta. Desta forma, mantendo-se a marcha e a rotação, devido ao maior patinamento, o pneu diagonal manteve a velocidade estabilizada em torno de 5,5 km/h, diferentemente dos pneus radiais, que na maior parte do tempo manteve uma velocidade de 6,4 km/h.

	Pneu Diagonal			Pneu Radial		
Patinamento	22,47%	20,61%	21,83%	13,46%	11,00%	21,83%
Pressão	Baixa	Recomend.	Alta	Baixa	Recomend.	Baixa
kPa	96	138	179	41	69	96
PSI	14	20	26	6	10	14

Quadro 3 – Distribuição dos tratamentos.

Na Figura 15 é possível visualizar o croqui do experimento, que foi dividido em 24 UEs.

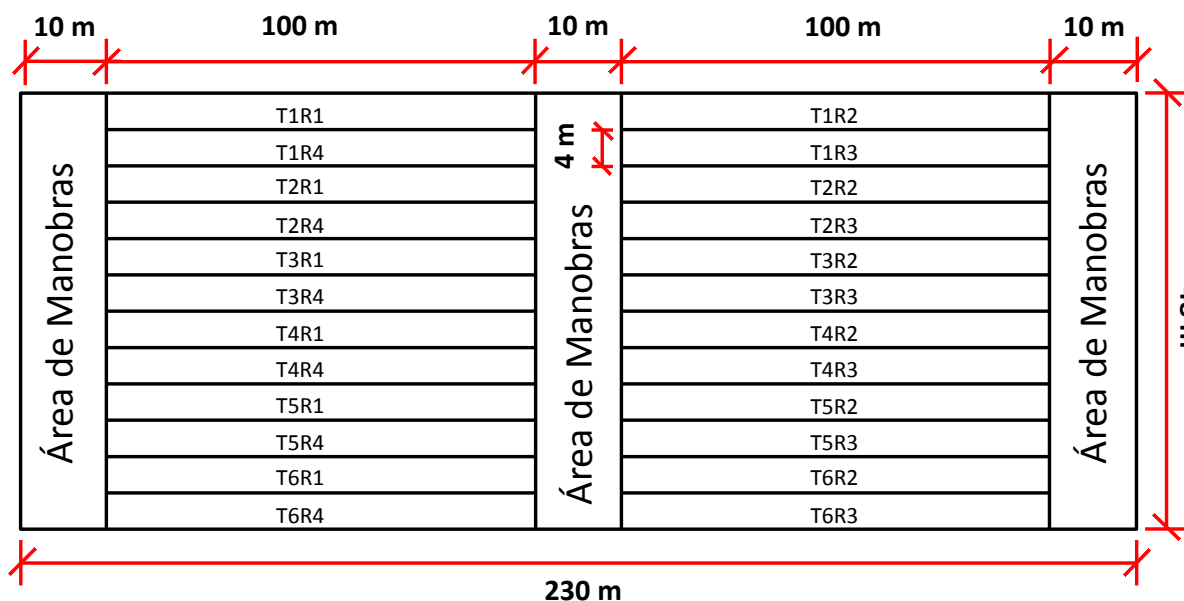


Figura 15 – Croqui representativo da área experimental.

Os espaços referentes a 10 m serviram como área de estabilização do conjunto trator-semeadora, ou seja, a semeadora foi acionada nesta área para que quando entrasse na UE, a velocidade estivesse estabilizada.

3.3 Trator, Pneus e Semeadora

Na Figura 16, é possível visualizar o trator utilizado, da marca Massey Ferguson, modelo 5450, com 75 kW de potência bruta no motor, 4x2 TDA, já configurado com os pneus radiais Michelin, bem como a semeadora Massey Ferguson modelo 509 (Figura 18). Posteriormente o trator foi pesado em uma balança da marca Toledo (Figura 17), para determinação da distribuição de peso e relação peso/potência. Seguem, na Tabela 1, as especificações detalhadas de cada um destes equipamentos.

Tabela 1 – Especificações do Trator, Pneus e Semeadora.

Trator	Massey Ferguson - Dyna 4 5450 (75 kW)			
	Diagonal Dianteiro	Diagonal Traseiro	Radial Dianteiro	Radial Traseiro
Peso (kg)	2020	2620	2270	2900
Lastro (kg)	280	300	-	-
Peso Bruto (kg)		5220		5170
Relação Peso/Potência (kg/kW)		70		70
Distribuição de Peso (%)	44	56	44	56
Pneus	Pirelli TM 95	Goodyear Dyna Torque II	Michelin	Michelin
	Diagonal Dianteiro	Diagonal Traseiro	Radial Dianteiro	Radial Traseiro
Modelo	12.4-24 R1	18.4-30 R1	VF 480/60 R28	VF 600/60 R38
Pressão Mín (kPa)	96	96	41	41
Pressão Méd (kPa)	138	138	69	69
Pressão Máx (kPa)	179	179	96	96
Semeadora	Massey Ferguson 509			
	Informações Fabricante		Utilizado no Experimento	
Peso - 7 linhas (kg)	3000		3000	
Cap. Sementes (kg)	350		250	
Cap. Adubo (kg)	1350		1250	
Peso Total (kg)	4700		4500	



Figura 16 – Trator Massey Ferguson Dyna 4, 4x2 TDA, modelo 5450.

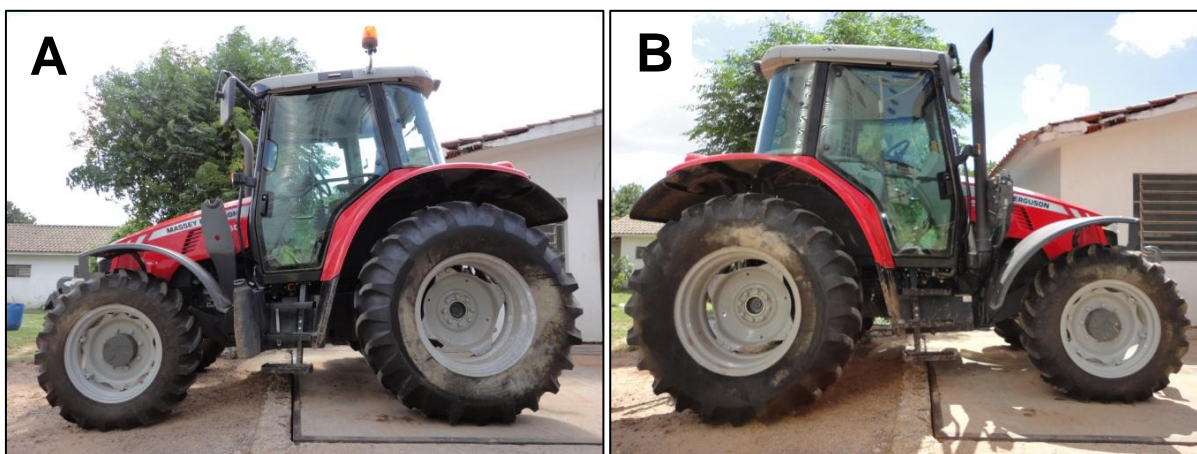


Figura 17 – Pesagem do eixo traseiro (A) e dianteiro (B) em uma balança tipo plataforma da marca Toledo, com capacidade para 50 ton e precisão de 10 kg.



Figura 18 – Semeadora Massey Ferguson, modelo 509 com 9 linhas.

A área de contato dos pneus foi determinada através da impressão dos rodados em cartolina (Figura 19 e 20). Pintou-se com tinta preta parte da banda de rodagem do rodado, aplicando-se, após, um carregamento estático sobre a cartolina posicionada entre os pneus e a superfície do pavimento. Na Tabela 2 estão apresentados os valores encontrados, e nas Figuras 21 e 22 as áreas de contato em relação às diferentes pressões de insuflagem.

Tabela 2 – Valores das áreas de contato (cm²) dos pneus Radiais e Diagonais.

	Diagonal		Radial	
	Dianteiro	Traseiro	Dianteiro	Traseiro
Pressão Baixa	599	701	1603	2305
Pressão Recomendada	407	672	1400	2237
Pressão Alta	367	599	1260	1699

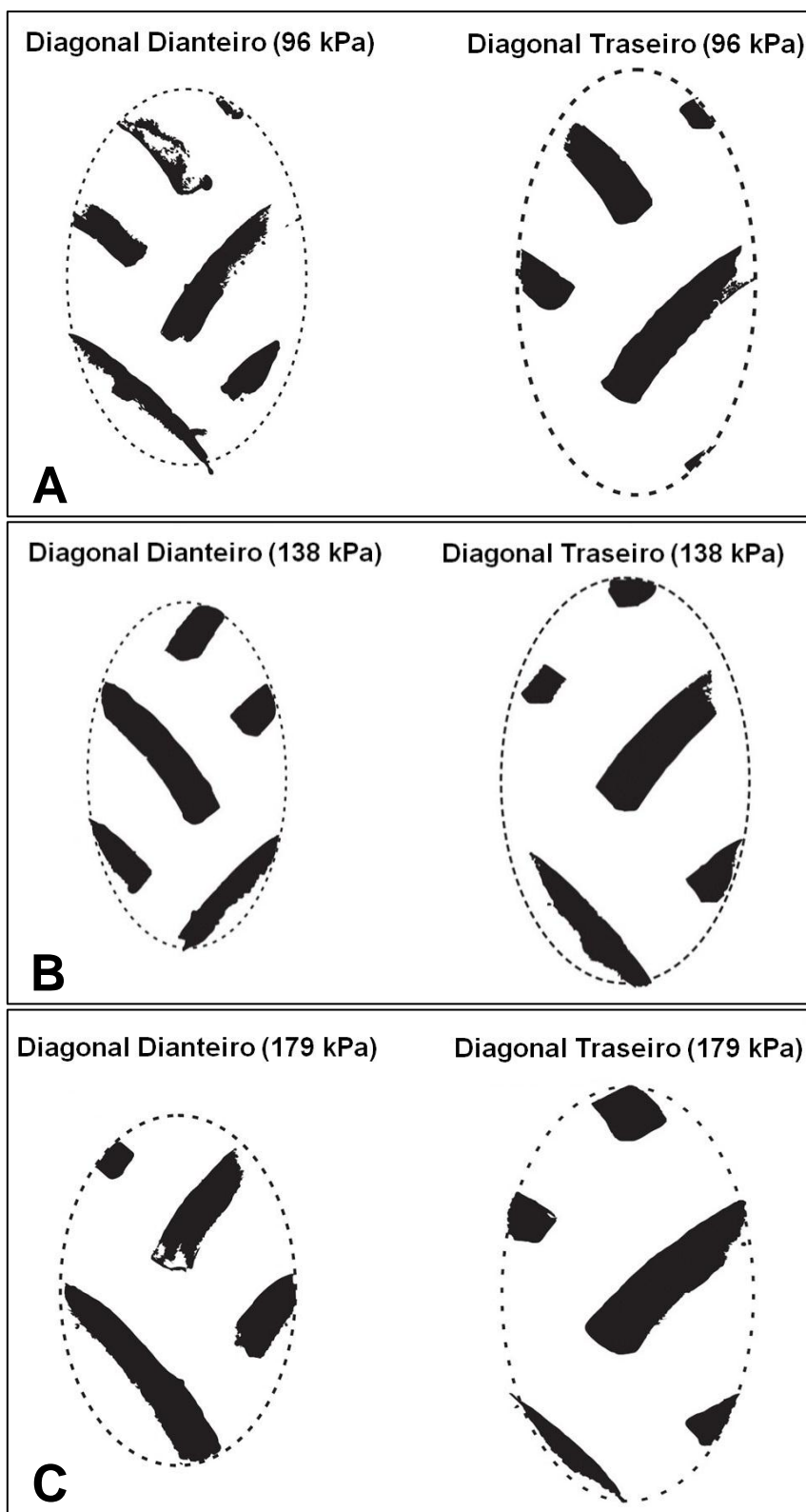


Figura 19 – Área de contato dos pneus Diagonais – A (96 kPa), B (138 kPa) e C (179 kPa)

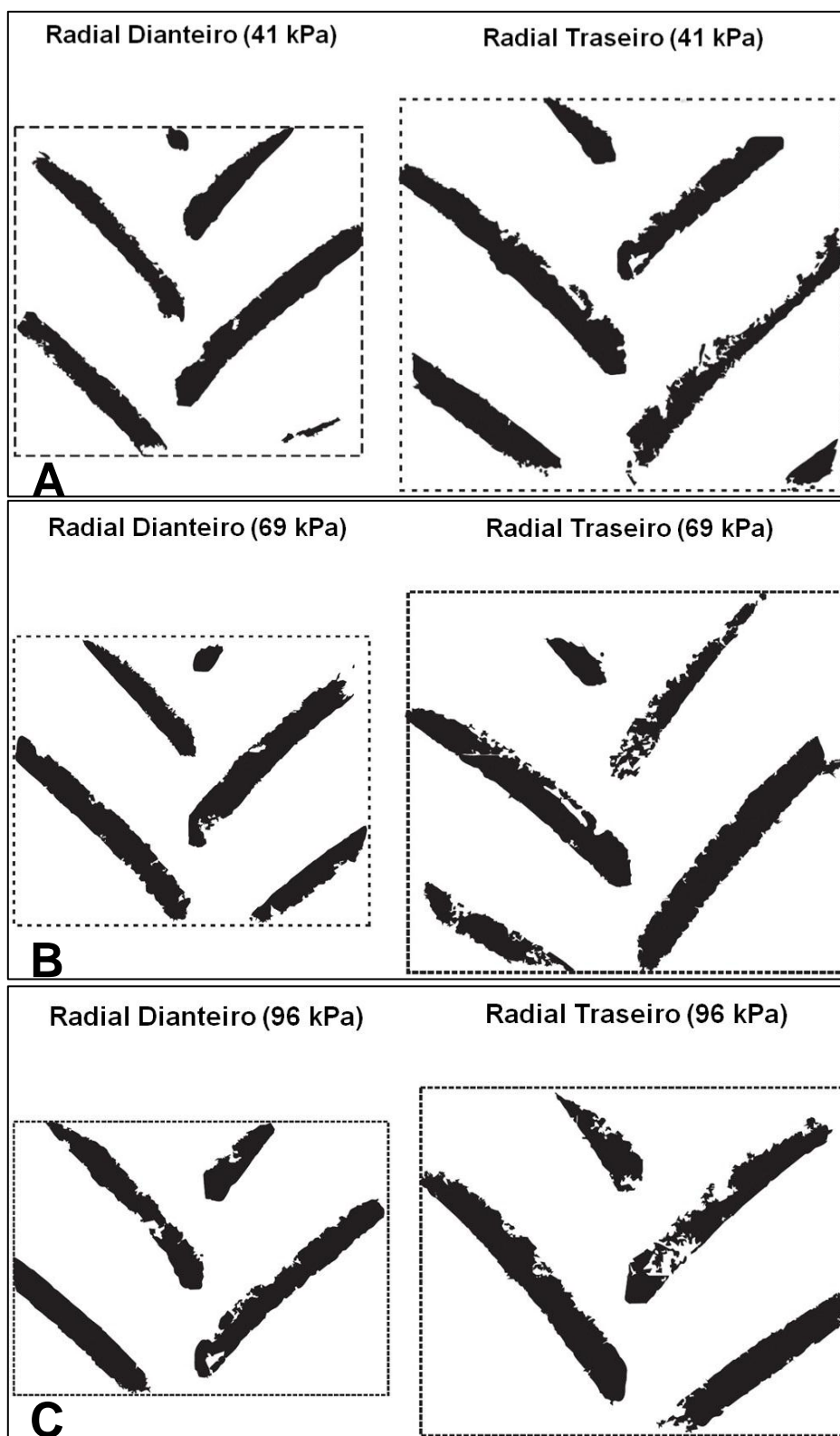


Figura 20 – Área de contato dos pneus Diagonais – A (41 kPa), B (69 kPa) e C (96 kPa)

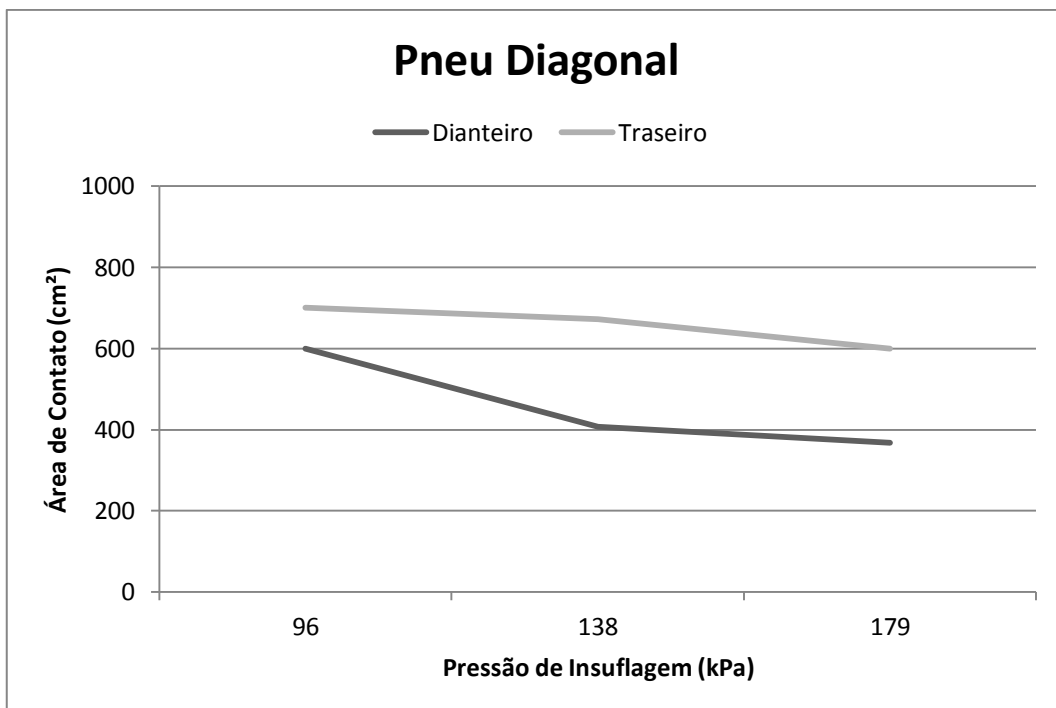


Figura 21 – Relação da área de contato dos pneus diagonais com a pressão de insuflagem.

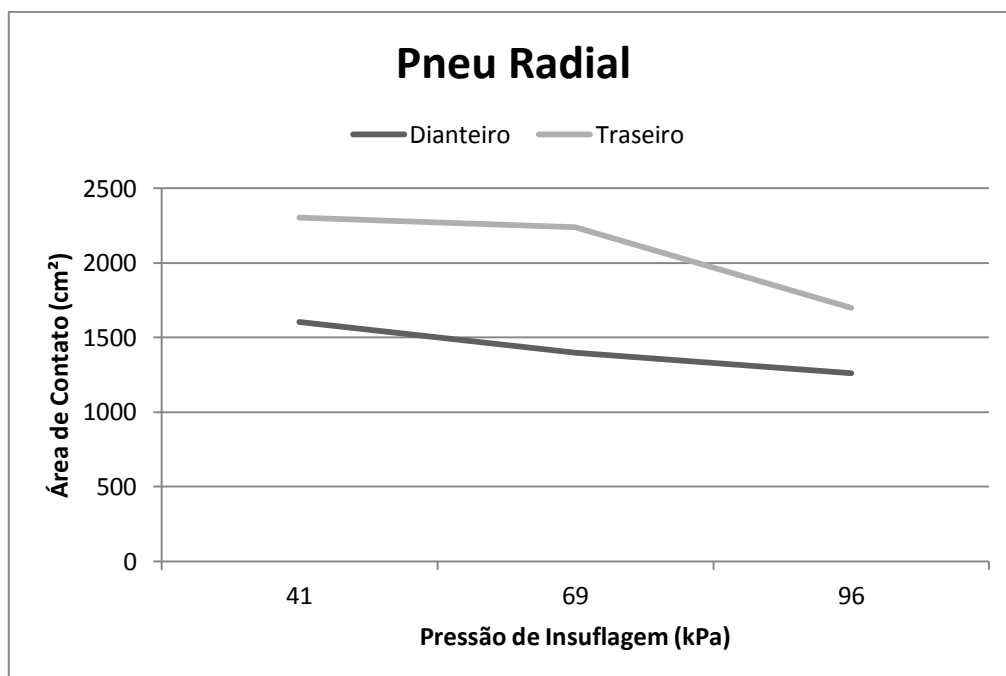


Figura 22 – Relação da área de contato dos pneus radiais com a pressão de insuflagem.

3.4 Instrumentação para aquisição e edição dos dados

Para a aquisição dos dados, foi utilizado o Analisador de Vibrações no Corpo Humano, modelo 4447, da Brüel & Kjær (Figura 23), que possibilita efetuar medições das vibrações transmitidas ao Corpo Humano Inteiro situadas na faixa de 1 a 80 Hz (*WBV - Whole Body Vibration*). Este equipamento satisfaz as Normas ISO 8041 (2005), que determina os padrões a serem seguidos pelas instrumentações de medição.



Figura 23 – Analisador de Vibrações no Corpo Humano, modelo 4447, da Brüel & Kjær.

A Norma ISO 2631 (1997) indica que a vibração do corpo humano na posição sentada pode ser avaliada em três regiões do corpo: o cóccix, as costas e os pés.

Conforme a mesma norma é necessária que, a coleta dos dados seja realizada na interface entre a região do corpo e a superfície vibrante, neste caso, o acelerômetro deve estar inserido na interface do assento, encosto e piso. Para isto, utilizou-se um suporte circular semi-rígido (*Seat Pad*), composto de borracha com interior vazado, para o posicionamento do acelerômetro e para que a pressão seja constante na superfície de contato assento-operador, conforme as Figuras 24 e 25.

O assento do operador, também representado na Figura 24, foi configurado nas posições médias relativos à pressão de mola e altura do assento. O mesmo possuía o apoio para os braços e um revestimento estofado, fatores estes que contribuem para minimizar as vibrações incidentes no operador.



Figura 24 – Analisador de Vibrações no Corpo Humano, modelo 4447, da Brüel & Kjær.

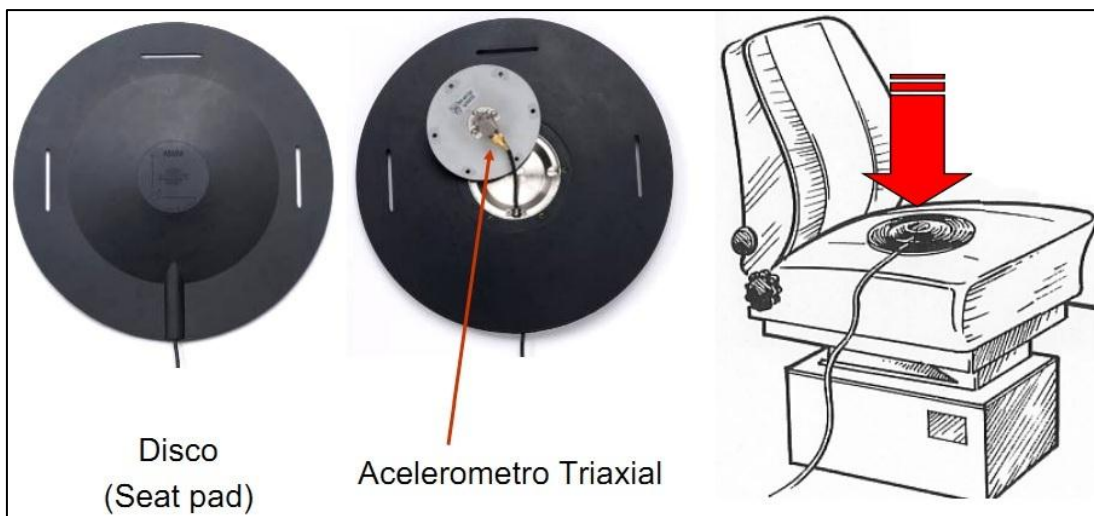


Figura 25 – Detalhe do acelerômetro no *Seat Pad*, bem como a montagem do mesmo no banco do operador. Fonte: Brüel & Kjær (2009).

Após a coleta dos dados, os mesmos foram exportados para o programa 4447 Vibration Explorer 2.0.1, também da Brüel & Kjær. O programa permite trabalhar com os dados de uma forma muito simples, sendo possível importar/exportar os dados com diferentes programas, além de simular a exposição do operador a uma jornada de trabalho de 8 horas. Foi realizada a exportação dos dados para o programa Microsoft® Office Excel® 2007, e feita a organização dos dados e gráficos.

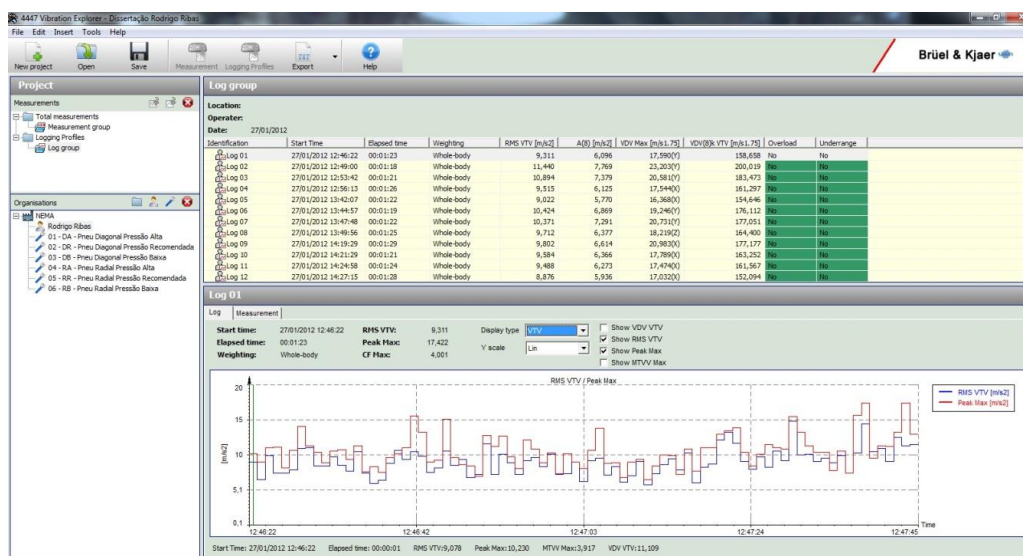


Figura 26 – Interface gráfica do Software 4447 Vibration Explorer, da Brüel & Kjær.

No Quadro 4 estão apresentadas as variáveis analisadas com ajuda do Software Type 4447.

Variável	Descrição
RMS X	Valor Eficaz do movimento vibratório e que indica o potencial destrutivo da vibração na direção do eixo X.
RMS Y	Valor Eficaz do movimento vibratório e que indica o potencial destrutivo da vibração na direção do eixo Y.
RMS Z	Valor Eficaz do movimento vibratório e que indica o potencial destrutivo da vibração na direção do eixo Z.
RMS VTV	Valor Eficaz do movimento vibratório e que indica o potencial destrutivo total da vibração nas 3 direções (X, Y e Z).
Peak X	Indica o valor mais alto da aceleração durante a medição na direção do eixo X.
Peak Y	Indica o valor mais alto da aceleração durante a medição na direção do eixo Y.
Peak Z	Indica o valor mais alto da aceleração durante a medição na direção do eixo Z.
VDV X	Valor da Dose de Vibração acumulada durante a medição na direção do eixo X.
VDV Y	Valor da Dose de Vibração acumulada durante a medição na direção do eixo Y.
VDV Z	Valor da Dose de Vibração acumulada durante a medição na direção do eixo Z.
VDV VTV	Valor da Dose de Vibração Total acumulada durante a medição na 3 direções (X, Y e Z).
A(8)	Exposição à vibrações em uma jornada de trabalho de 8 horas.

Quadro 4 – Variáveis analisadas no experimento

3.5 Equipe de trabalho

A equipe de trabalho foi integrada por alunos em nível de graduação e de pós-graduação do Agrotec. Buscando diminuir o erro, as mesmas pessoas desempenhavam sempre as mesmas tarefas durante a execução da coleta dos dados em campo. Um aluno da pós-graduação desempenhou a função do operador

agrícola, uma vez que possui medidas aproximadas à média dos operadores agrícolas (174 cm de altura e 65 kg) apresentadas por Schlosser (2002).

3.6 Coleta de dados

Para a correta configuração do conjunto, foi realizada a calibração dos pneus. Primeiramente, em temperatura ambiente de aproximadamente 28°C, calibrou-se a pressão mais alta de insuflagem do pneu, e posteriormente reduzia-se para a pressão recomendada e pressão baixa.



Figura 27 – Procedimento de calibração da pressão de insuflagem dos pneus.

O primeiro conjunto de pneus utilizado foi do tipo diagonal, no qual adicionou-se peso para obter-se a configuração de 70kg/kW. Posteriormente, foi feita a troca dos pneus e realizado os mesmos procedimentos, que neste caso foi a remoção dos lastros colocados anteriormente (Figura 27).

Como mostrado no croqui da área, após percorrer a área de 10 m para estabilização da velocidade com a semeadora em trabalho, iniciava-se a coletada dos dados através do equipamento Type 4447. Depois de percorrido os 100 m,

referentes à UE, concluía-se a medição fazendo o armazenamento dos dados no equipamento.



Figura 28 – Trator configurado com pneus radiais em operação no momento de uma das medições realizadas.

Depois de realizadas as 24 medições, os dados foram exportados para os softwares de análise (Type 4447 e Excel), organizados, analisados e discutidos com equipe, sendo possível então concluir sobre os resultados encontrados.

3.7 Norma ISO 2631

Para avaliar o nível de exposição humana às vibrações, seguiram-se as orientações impostas pela Norma 2631 (1997). Esta norma apresenta valores máximos de vibrações suportáveis para tempos de um minuto a 12 horas de exposição, abrangendo três critérios de severidade: limite de conforto, limite de fadiga e limite de exposição, correspondente ao limiar do risco à saúde (Figura 29).

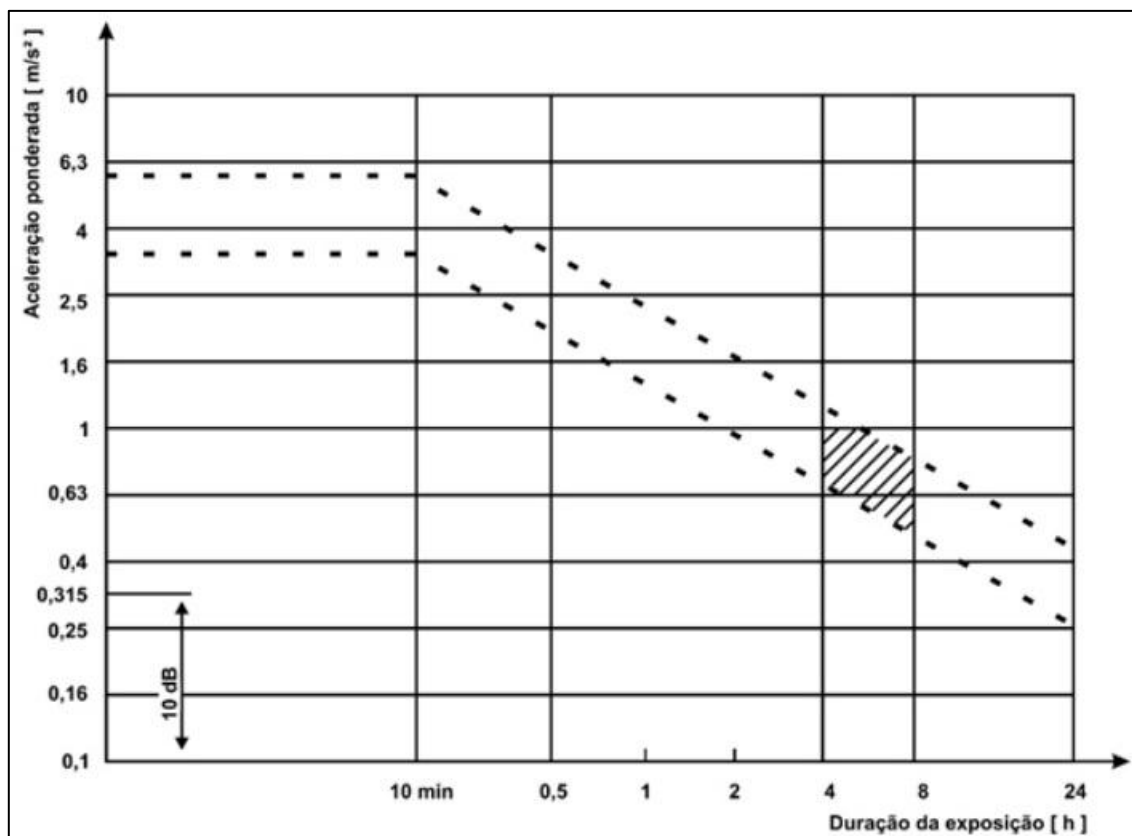


Figura 29 – Limites de aceleração ponderada impostas pela norma 2631. Fonte: ISO 2631 (1997).

O critério de severidade avaliado foi o limite de conforto do operador. No Quadro 5 estão indicados os limites de acordo com a norma.

Aceleração	Reações com relação ao conforto
< 0,315 m/s ²	confortável
0,315 m/s ² a 0,63 m/s ²	pouco desconfortável
0,8 m/s ² a 1,6 m/s ²	desconfortável
1,25 m/s ² a 2,5 m/s ²	muito desconfortável
> 2,0 m/s ²	extremamente desconfortável

Quadro 5 – Limites de exposição do corpo humano à vibração. Fonte: ISO 2631 (1997)

3.8 Análise estatística

O programa utilizado para a análise estatística foi o software Sisvar da Universidade Federal de Lavras (FERREIRA, 2008), o qual permitiu analisar a interação dos fatores (tipo de rodado x pressão de insuflagem). Para análise, realizou-se o teste de Tukey a 1% de probabilidade de erro significativo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com as análises feitas, tanto para o Experimento 1 como para o Experimento 2, entre a interação do tipo de pneu e pressão de insuflagem do pneu, é possível afirmar que não existe interação significativa, em nível de 1% de erro, entre estes dois fatores em nenhuma das variáveis avaliadas.

No Quadro 6, seguem os principais valores obtidos através da ANOVA realizada para o tipo de pneu diagonal. Como é possível observar, em nenhum dos fatores obteve-se diferença significativa nos valores quando modificado a pressão de insuflagem do pneu.

(continua)

Variável	Tratamento	Média	CV (%)	Fc	Pr>Fc
RMS X	T1	4,5325 a	6,78	0,120	0,8883
	T2	4,4350 a			
	T3	4,4500 a			
RMS Y	T1	4,8725 a	11,24	1,736	0,2303
	T2	4,5650 a			
	T3	4,2000 a			
RMS Z	T1	4,3575 a	7,16	2,018	0,1888
	T2	4,2400 a			
	T3	3,9450 a			
RMS VTV	T1	10,2800 a	7,55	1,308	0,3171
	T2	9,8800 a			
	T3	9,4375 a			
Pico Máx X	T1	20,7850 a	15,99	0,976	0,4133
	T2	17,6450 a			
	T3	15,7700 a			
Pico Máx Y	T1	20,7850 a	21,19	1,752	0,2277
	T2	17,6450 a			
	T3	15,7700 a			
Pico Máx Z	T1	16,1800 a	11,68	1,093	0,3759
	T2	15,8450 a			
	T3	14,4025 a			
VDV X	T1	17,7075 a	7,77	0,603	0,5678
	T2	17,2500 a			
	T3	18,3175 a			
VDV Y	T1	19,5555 a	11,96	1,605	0,2535
	T2	18,0800 a			
	T3	16,8075 a			

(continua)

VDV Z	T1	16,7325 a	7,13	1,171	0,3530
	T2	16,6450 a			
	T3	15,6000 a			
VDV VTV	T1	40,5875 a	7,93	0,649	0,5452
	T2	38,8100 a			
	T3	38,1700 a			
A(8)	T1	6,8450 a	9,79	0,725	0,510
	T2	6,5775 a			
	T3	6,2975 a			

Quadro 6 – ANOVA do valores de RMS (X, Y, Z e VTV), Pico Máx (X, Y e Z), VDV (X, Y, Z e VTV) e A(8) para o pneu diagonal.

No Quadro 7, encontram-se os principais valores obtidos através da ANOVA realizada para o tipo de pneu radial. Assim como o Experimento 1, nenhum dos fatores obteve-se diferença significativa nos valores quando modificada a pressão de insuflagem do pneu.

(continua)

Variável	Tratamentos	Média	CV (%)	Fc	Pr>Fc
RMS X	T4	5,7800 a	5,95	1,586	0,2570
	T5	5,6400 a			
	T6	5,3675 a			
RMS Y	T4	5,2850 a	6,61	4,621	0,0416
	T5	5,0325 a			
	T6	4,5875 a			
RMS Z	T4	4,3375 a	8,52	0,361	0,7064
	T5	4,1600 a			
	T6	4,1425 a			
RMS VTV	T4	11,7950 a	4,39	4,690	0,0402
	T5	11,3825 a			
	T6	10,7300 a			
Pico Máx X	T4	21,6375 a	18,37	0,107	0,8993
	T5	20,5475 a			
	T6	20,5475 a			
Pico Máx Y	T4	19,0200 a	14,20	0,865	0,4534
	T5	18,5800 a			
	T6	16,7625 a			
Pico Máx Z	T4	16,9025 a	11,54	1,458	0,2604
	T5	16,8450 a			
	T6	14,8475 a			

(continua)

VDV X	T4	22,0725 a	6,35	0,696	0,5237
	T5	21,3825 a			
	T6	20,9450 a			
VDV Y	T4	20,2175 a	7,30	3,252	0,0865
	T5	19,1200 a			
	T6	17,7200 a			
VDV Z	T4	16,6900 a	9,09	0,488	0,6292
	T5	15,9375 a			
	T6	15,7125 a			
VDV VTV	T4	45,1475 a	4,50	3,239	0,0872
	T5	43,1650 a			
	T6	41,6500 a			
A(8)	T4	8,0900 a	5,67	1,836	0,2144
	T5	7,9525 a			
	T6	7,5125 a			

Quadro 7 – ANOVA do valores de RMS (X, Y, Z e VTV), Pico Máx (X, Y e Z), VDV (X, Y, Z e VTV) e A(8) para o pneu diagonal.

4.1 Análise do Valor Eficaz (RMS nos eixos X, Y, Z e Total (VTV))

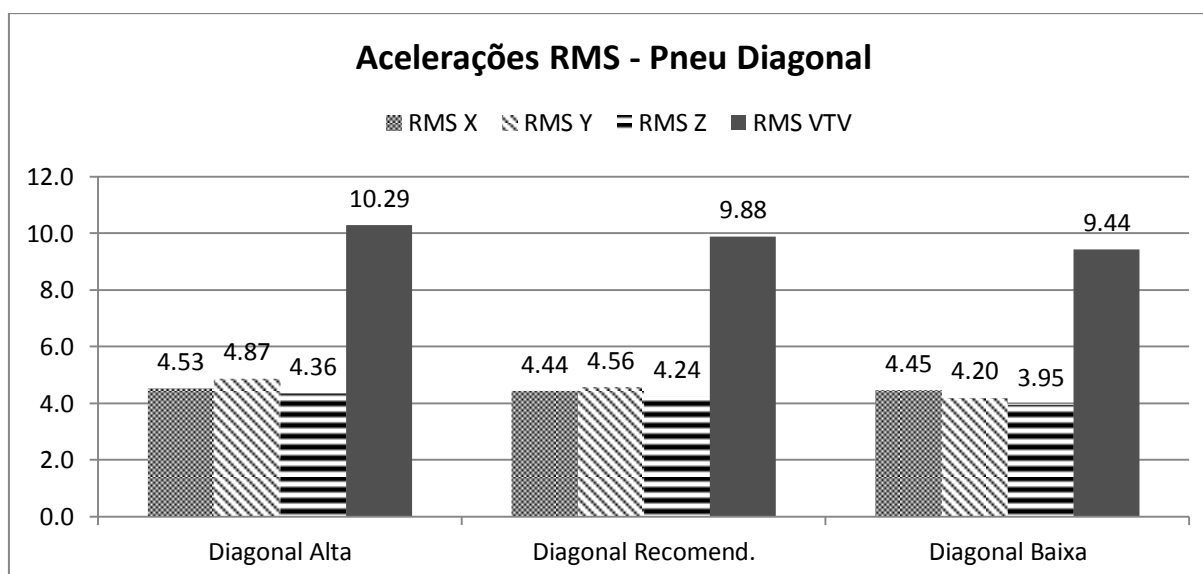


Figura 30 – Valores das acelerações RMS nos três eixos (X, Y e Z), com três diferentes pressões para o pneu diagonal.

Para o Experimento 1, os valores da aceleração RMS VTV variaram entre 9,44 m/s² e 10,29 m/s². Observando a Figura 30 é possível observar uma tendência no aumento da vibração quanto maior for a pressão de insuflagem do pneu, no entanto, estatisticamente, esta diferença não é significativa.

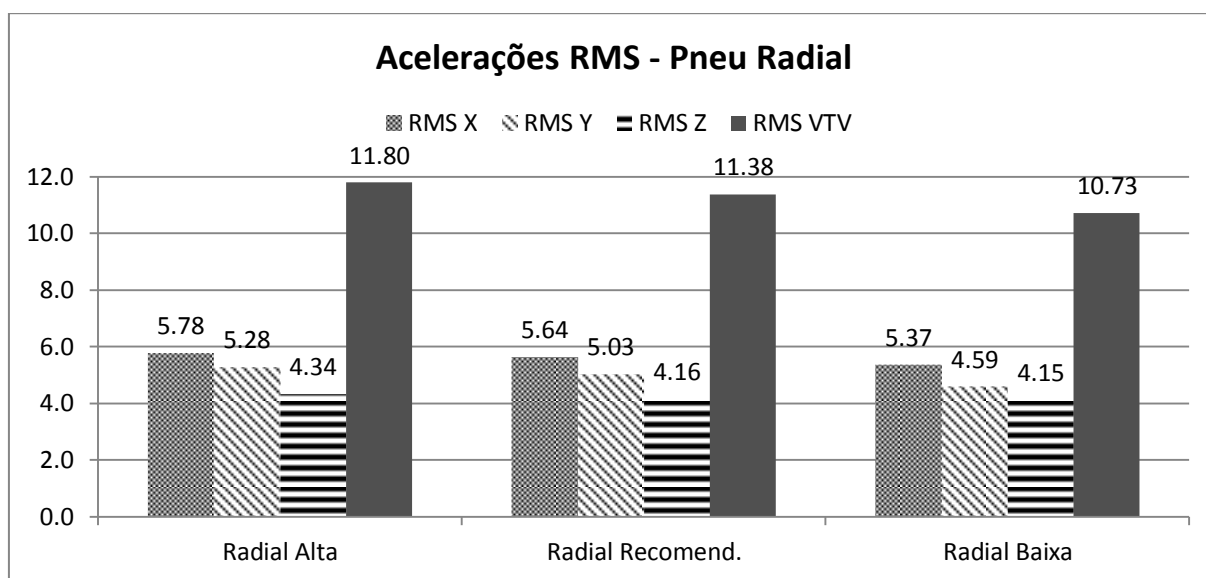


Figura 31 – Valores das acelerações RMS nos três eixos (X, Y e Z), com três diferentes pressões para o pneu radial.

No Experimento 2, os valores de aceleração RMS VTV variaram entre 10,73 m/s² e 11,80 m/s². Na Figura 31, observa-se o mesmo comportamento que foi encontrado no Experimento 1, ou seja, quanto maior a pressão de insuflagem do pneu, maiores são os índices de vibrações incidentes nos operadores. Porém, quando fazendo uma análise estatística, não se identificou diferença significativa entre os tratamentos.

Para os valores médios das acelerações eficazes (RMS), tanto para o Experimento 1 como para o experimento 2, todos os tratamentos apresentaram resultados que ficaram na faixa de Extremamente Desconfortável, segundo os limites considerados pela Norma 2631 (1997). Um dos fatores que pode ter contribuído para estes altos valores, é a utilização da semeadora como implemento.

Pinho (2012) comenta a necessidade de reduzir a magnitude de vibração tridimensional no assento de tratores, quando executam operações de escarificação,

uma vez que nos três eixos houve ultrapassagem dos limites estabelecidos pela ISO 2631 (1997), devido à sensibilidade que o corpo humano tem quando submetido aos efeitos vibratórios. A utilização da semeadora mostrou-se uma atividade que transmite altos níveis de vibração ao operador, de acordo com os resultados obtidos. A utilização de facões e discos torna a atividade de semeadura muito similar à escarificação, atividade esta que exige uma grande força de tração e movimentação do solo.

Em relação a pressão de trabalho Franchini (2007) obteve melhores resultados utilizando pressões maiores de insuflagem no pneu, divergindo dos resultados encontrados neste trabalho. Já Deboli et al. (2008) estudou três diferentes pressões, e os resultados mostraram que quanto menor a pressão de trabalho, menores são as acelerações.

Nas medições realizadas neste experimento as acelerações nos três eixos não apresentaram diferença significativa entre si. Cunha et al. (2009) obteve resultados no qual, as acelerações no sentido do deslocamento do trator (eixo X), mostraram-se bem superiores às acelerações verticais (eixo Z) e transversais (eixo Y) ao sentido de deslocamento do trator, ultrapassando os valores toleráveis, segundo a ISO 2631 (1997).

4.2 Análise do Valor de Pico Máximo nos eixos X, Y e Z

No Experimento 1, os valores de Pico Máximo observados nas três direções (vertical, longitudinal e transversal) neste trabalho, ficaram entre 14,4 m/s² e 20,79 m/s², valores estes considerados altos (Figura 32). No entanto, a análise estatística dos valores de Pico Máximo não apresentou diferença significativa entre si.

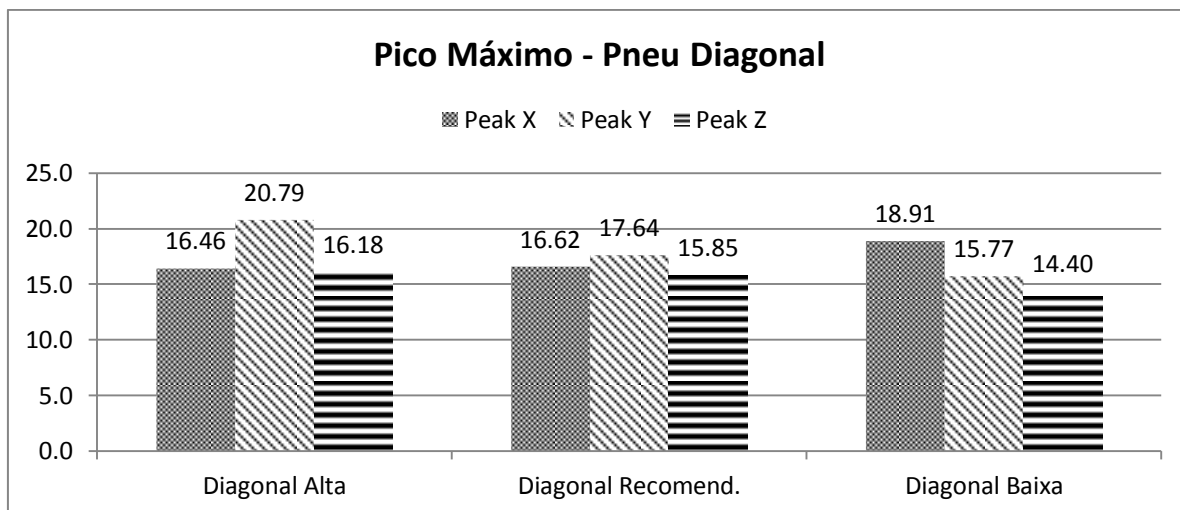


Figura 32 – Valores do Pico Máximo das acelerações nos três eixos (X, Y e Z), com três diferentes pressões para o pneu diagonal.

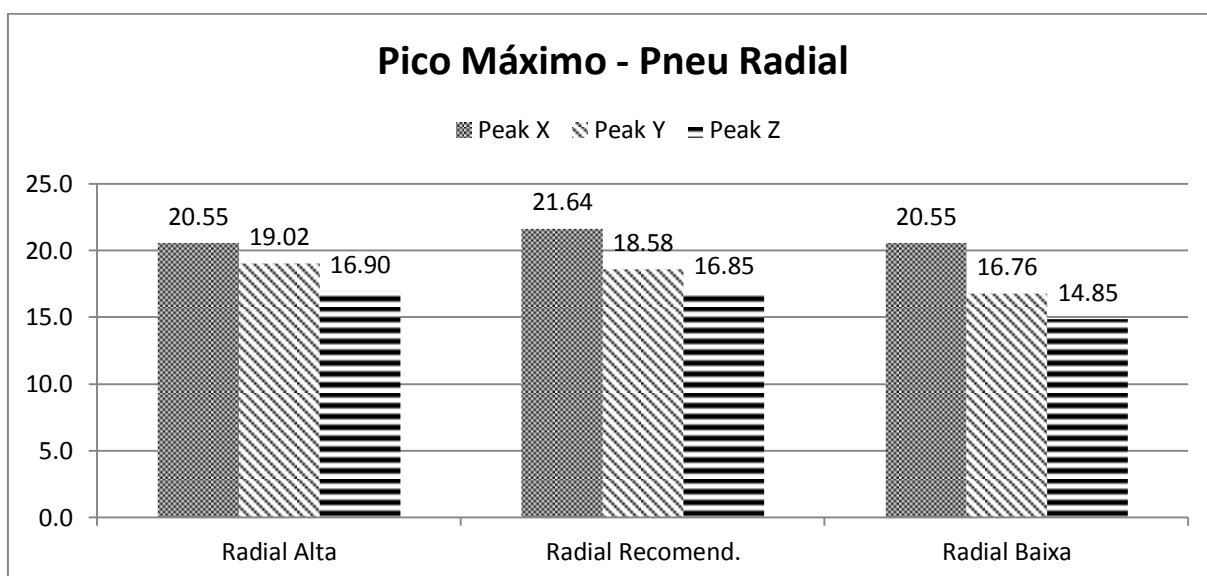


Figura 33 – Valores do Pico Máximo das acelerações nos três eixos (X, Y e Z), com três diferentes pressões para o pneu radial.

No experimento 2, os valores de Pico Máximo também atingiram um alto nível nas três direções (vertical, longitudinal e transversal), ficando com os valores entre 14,85 m/s² e 21,64 m/s². Apesar deste dados mostrarem uma tendência de maiores valores para a pressão mais alta, estatisticamente não foi encontrada diferença significativa.

Para Solecki (2007) a análise dos valores máximos e mínimos de pico, de aceleração de vibração confirma que, no ambiente de trabalho agrícola ocorre uma variação considerável nos valores registrados de vibração, e que também é evidenciado pelos coeficientes de pico de elevado, por vezes superior a 10 m/s^2 . A ocorrência de uma distribuição de grande aceleração de vibração pode ser explicada por choques mecânicos induzidos em assentos de tratores.

Estes são fenômenos perigosos para o organismo humano, levando a um dano considerável da coluna vertebral, particularmente na região lombar. A vibração analisada é caracterizada por uma variação elevada (devido à contribuição de choques mecânicos), com valores máximos observados dentro da gama de frequências baixas.

4.3 Análise do Valor de Pico Máximo nos eixos X, Y e Z

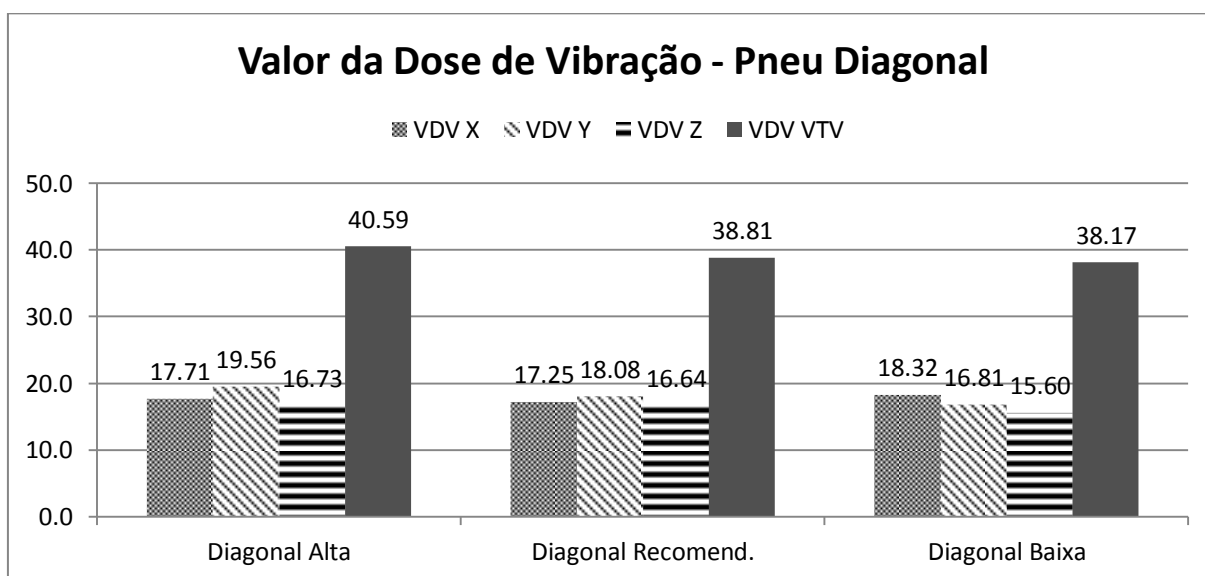


Figura 34 – Valores da Dose de Vibração nos três eixos (X, Y e Z), com três diferentes pressões para o pneu diagonal.

No Experimento 1, os resultados de VDV mostram que não há diferença significativa nas acelerações incidentes no operador quando utiliza-se de diferentes

pressões de insuflagem. Mesmo com uma variação de 38,17 m/s² e 40,49 m/s², estatisticamente estes valores não tiveram diferença significativa (Figura 34).

No Experimento 2, os valores encontrados situaram-se entre 41,65 m/s² e 45,15 m/s². No entanto, estes valores não apresentaram diferença significativa quando analisados estatisticamente.

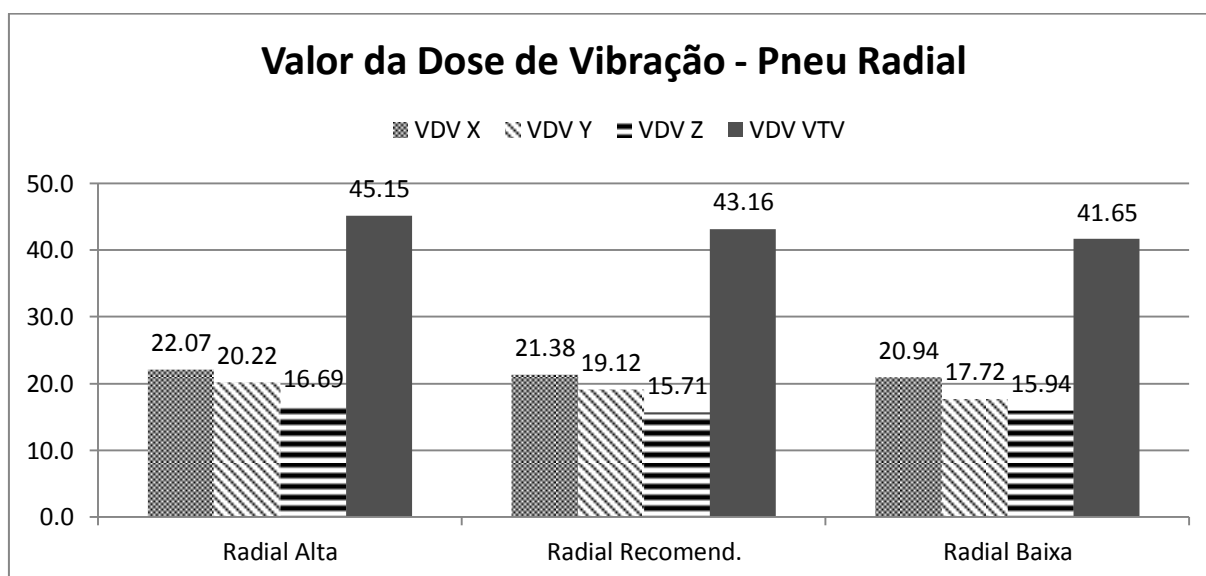


Figura 35 – Valores da Dose de Vibração nos três eixos (X, Y e Z), com três diferentes pressões para o pneu radial.

Pinho (2012) comenta que valores de VDV acima de 15 m.s^{-1,75} proporcionam severo desconforto ao operador, e que os valores encontrados em seu trabalho variaram de 60 a 202 m.s^{-1,75} e, de acordo com os dados analisados, verifica-se que todos os valores ficaram acima do limite estabelecido pelas normas BS 6841 (1987) e BS 7085 (1989).

Franchini (2007) encontrou valores de VDV em seu experimento com tratores agrícolas no qual varia pressão de insuflagem do pneu e velocidade de deslocamento, e concluiu que tanto no assento quanto no seu suporte, estes valores não foram superiores a 8,5 m/s^{1,75}.

Balbinot (2001) salienta que valores de VDV em torno de 15 m/s^{1,75}, usualmente, causam severo desconforto, dores e ferimentos e na faixa acima de 8,5

$m/s^{1,75}$, existe a possibilidade de desconforto médio. O mesmo autor salienta que VDV também indica a severidade da exposição à vibração, porém, não existe um consenso na comunidade científica da relação precisa entre VDV e o risco de ferimentos a que o corpo humano está sujeito.

4.4 Exposição diária de 8 horas

Tanto para o Experimento1 como para o Experimento 2, todos os tratamentos avaliados apresentaram valores acima do limite estabelecidos pela Norma ISO 2631 (1997), ficando situados na zona Extremamente Desconfortável. Os valores encontrados são tão elevados, que estes níveis de vibrações permitiriam que operador pudesse ficar no máximo 20 minutos na operação de semeadura. (Figura 36)

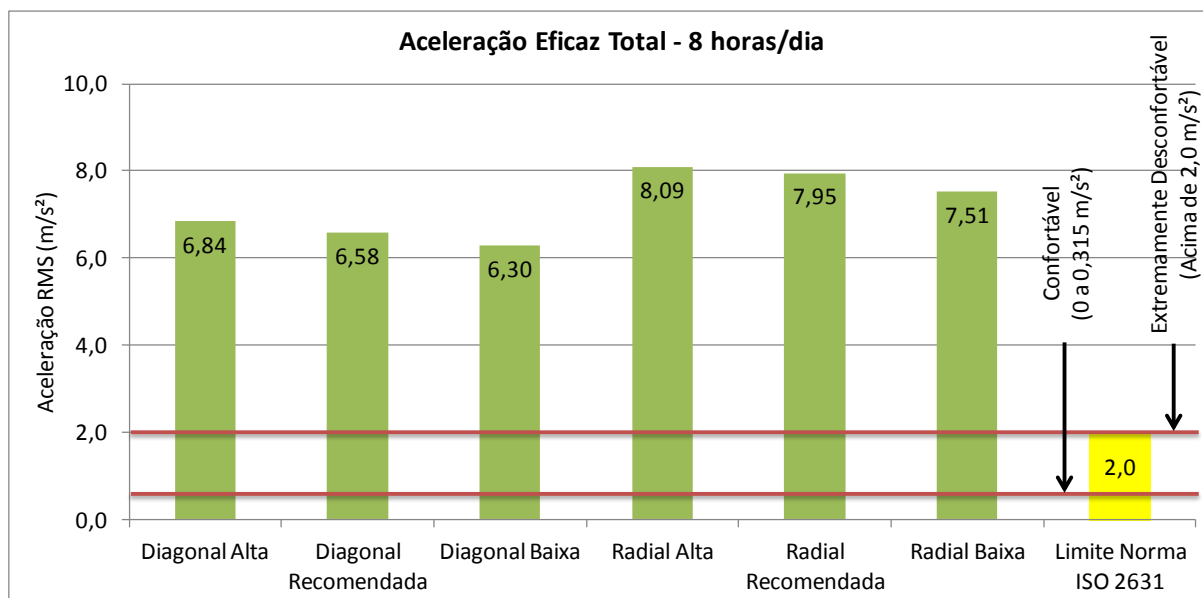


Figura 36 – Acumerações eficazes na frequência de 1 a 80 Hz, no tempo de exposição de 8 horas.

Walber (2009) constatou que passageiros de ônibus estão expostos a níveis vibratórios que ultrapassam os valores estabelecidos pela Norma 2631 (1997) para limites de conforto para um tempo igual ou superior a 8 horas. Saliba & Corrêa (2012) citam que o anexo 8 da NR-15 determina que a perícia de insalubridade por exposição a vibração deve ser feita de acordo com os critérios das normas ISO ou suas substitutas. Na avaliação ocupacional da vibração de corpo inteiro, visando a caracterização ou não da insalubridade, a perícia deve tomar como base a norma ISO 2631 (1997). Os mesmos autores comentam que de acordo com a Súmula n. 460 do Tribunal Superior do Trabalho (TST), Orientação Jurisprudencial n.4;TST e art. 191 da CLT, a competência para adotar os critérios de caracterização de insalubridade, limites, entre outros é do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE).

Calculando a delimitação da zona de precaução da Norma ISO 2631 (1997) para 8 horas, esta delimitação ficou entre 0,43 e 0,86 m/s². Desta forma, o valor de A(8) acima de 0,43 m/s² significa cautela em relação ao risco à saúde, enquanto o valor superior a 0,86 m/s² indica que os riscos são prováveis. Como a ISO 2631 fornece somente um guia com zonas de precaução e riscos para a saúde, a interpretação mais coerente desse guia é considerar o valor de 0,86 m/s² como referência para fins de caracterização de insalubridade, pois, segundo a norma ISSO, a aceleração A(8) superior a esse valor, os riscos são prováveis (Saliba & Corrêa, 2012)

Para tratores agrícolas, Pinho (2012) avaliou 36 tratamentos e constatou que, as magnitudes das acelerações eficazes obtidas na interface assento-operador ficaram acima do limite de conforto na frequência de 1 a 80 Hz estabelecidas pela norma ISO 2631 para exposição de 8h diária.

A atividade agrícola é caracterizada por ser de grande esforço físico para o operador agrícola. Diferentes tipos de solo e terreno afetam nas vibrações incidentes no operador, como por exemplo, um solo lavrado caracteriza-se por apresentar um perfil desuniforme, o que pode afetar mais do que um solo preparado para lavoura.

Por outro lado, mesmo a atividade agrícola sendo desgastante para o operador, os limites da Norma ISO 2631 (1997) são extremamente rígidos, uma vez que trabalhos realizados com ônibus urbanos ultrapassaram os limites estabelecidos por esta norma (BALBINOT, 2001).

5 CONCLUSÕES

- a) Tanto no Experimento 1 como no Experimento 2 os níveis limitados pela Norma ISO 2631 (1997), de limites de conforto do operador, foram extrapolados situando-se na faixa de extremamente desconfortável pelo método RMS;
- b) A configuração que apresentou os melhores resultados nos Experimento 1 e 2, foi quando cada um dos tipos de pneus estava com a pressão baixa. No entanto, em nenhum dos experimentos é possível afirmar qual o melhor, pois não foi observada diferença estatística entre os tratamentos.
- c) A direção longitudinal (eixo X) foi a que proporcionou os maiores valores de acelerações RMS e Pico máximo ao operador;

REFERÊNCIAS

ANFAVEA – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotivos. **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira**. São Paulo, 2012, 155 p.

ANFLOR, C. T. M. **Estudo da transmissibilidade da vibração no corpo humano na posição vertical e desenvolvimento de um modelo biodinâmico de quatro graus de liberdade**. 2003. 121 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

BALBINOT, A. **Caracterização dos níveis de vibração em motoristas de ônibus: Um enfoque no conforto e na saúde**. 2001. 281 f. Tese (Doutorado em Biomecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

BERASATEGUI, M. B. R. **Modelización y simulación del comportamiento de un sistema mecánico con suspensión aplicado a los asientos de los tractores agrícolas**. 2000. 264 f. Tese (Doutorado em Engenharia rural) – Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2000.

BRUEL & KAJER. **Human Vibration**, Booklet, 1988, 32 p.

BRUEL & KAJER. **Training Type 4447 - Ensuring Good Human Vibrations**. 2009, 64 p.

BS 6841. **Measurement and evaluation of human exposure to whole-body mechanical vibration and repeated shock**. London: British Standard Guide, 1987.

BS 7085. **Safety aspects of experiments in which people are exposed to mechanical vibration and shock**. London: British Standard Guide, 1989.

CUNHA, J. P. A. R. da; DUARTE, M. A. V.; RODRIGUES, J. C. Avaliação dos níveis de vibração e ruído emitidos por um trator agrícola em preparo de solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical** (UFG), v. 39, p. 348-355, 2009.

DEBIASI, H.; SCHLOSSER, J. F.; WILLES, J. A. Acidentes de trabalho envolvendo conjuntos tratorizados em propriedades rurais do Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência Rural**, v. 34, n: 3, p. 779-784, 2004.

DEBOLI, R. et al. Whole Body Vibration (WBV) transmitted to the operator by tractors equipped with radial tires. In: INTERNATIONAL CONFERENCE: INNOVATION TECHNOLOGY TO EMPOWER SAFETY, HEALTH AND WELFARE IN AGRICULTURE AND AGRO-FOOD SYSTEMS, 2008, Ragusa. **Anais eletrônicos...** Ragusa, 2008. Disponível em: <http://www.ragusashwa.it/CD_2008/lavori/TOPIC7/poster/DEBOLI-1.pdf>. Acesso em: 16/11/2012.

DUL, J; WEERDMEEESTER, B. **Ergonomia Prática**. 3^o ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2001.

ELLIS, R. W. **Agricultural tire design requirements and selection considerations**. American Society of Agricultural Engineers, Chicago, nº 3, 1997. 10p.

ERENO, L. H. Z.. **Estudo comparativo entre a utilização real e a determinada pelo planejamento da mecanização agrícola em empresas rurais de soja e arroz**. 2008. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

FERNANDES, H. C.; FILHO, P. F. dos Santos, QUEIROS, D. M. de, CAMILO, A. J.; REIS, E. F. dos. Vibração em tratores agrícolas: caracterização das faixas de Frequência no assento do operador. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.11, n.1-4, Jan./Dez., 2003.

FERREIRA, M. F.; NEUJAHR, E. B.; SCHLOSSER, J. F.; SCHNEIDER, V. Influência da pressão interna em pneus diagonais na força de tração de um trator 4x2 em duas condições de superfície. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.6 nº1, 66-70. Jan-abr, 2000.

FERREIRA, O. G. L. **Apostila de tratores agrícolas**. Pelotas: UFPEL, 2007, 80 p.

FMO. **Seguridad en la maquinaria agrícola**. Moline: Deere & Company, 1974. 326 p.

FRANCHINI, D. **Análise do nível de vibrações verticais no assento de um trator agrícola**. 2007. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

GARGICEVICH A., J. MARONI. **La máquina sembradora y la densidad poblacional del maíz**. INTA - CERSAN; 1997.

GOODYEAR. **Guia de comprador de pneus agrícolas**. 19p. 1990.

GRANDJEAN, Etienne. **Manual de ergonomia –adaptando o trabalho ao homem**. Trad. João Pedro Stein. ed. 4ª. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998. 338p.

Griffin, M.J. **Handbook of human vibration**. Published: Academic Press, London, 1990, ISBN: 0-12-303040-4.

HILBERT, J.; BARCELÓ, L.; AUCANA, M. **Estudio de impacto utilizando diferentes presiones de inflado sobre las vibraciones de cuerpo intero en tractores agrícolas**. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33., 2002. São Pedro, SP. Anais. Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2004. CD Rom.

HOSTENS, I., RAMON, H. Descriptive analysis of combine cabin vibrations and their effect on the human body. **Journal of Sound and Vibration**. v. 266, n. 3, p. 453–464, 2003.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Tratores existentes nos estabelecimentos agropecuários**. Rio de Janeiro, 2006, 146 p.

IIDA, I. **Ergonomia: Projeto e Produção** - 2ª edição. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2005. v. 1. 614p .

INNS, F.M. & KILGOUR, J. Agricultural Tyres. **Dunlop Limited**, London, 1978, p.70.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 2631**: Mechanical Vibration and Shock - Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration - Part 1: General Guidelines. Geneva, 1997.

_____. **ISO 5349**: Mechanical Vibration - Measurement and Evaluation of Human Exposure to Hand-Transmitted Vibration - Part 1: General Guidelines. Geneva, 2001, 24 p.

_____. **ISO 8041**: Human Response to Vibration - Measuring Instrumentation, Geneva, 2005, 91 p.

MACHADO, A. A.; CONCEIÇÃO, A. R. **Sistema de análise estatística para Windows. Winstat**. Versão 2.0. Pelotas: UFPel, 2003.

MARCELO, F.. O. **O pneu ideal para cada terreno**. São Paulo, 21.outubro.2012. Disponível em: <http://blogs.estadao.com.br/jornal-do-carro/o-pneu-ideal-para-cada-terreno/>. Acesso em 15 nov de 2012.

MÁRQUEZ, L. **Solo tractor'90 - Cap.4: Ergonomía y seguridad en los tractores**. Madrid: Laboreo, p.146-207, 1990.

MÁRQUEZ, L. **Tractores agrícolas: tecnología y utilización**. 1ª ed. Madrid: B&H, 2012, 815 p.

EUJAHR, E. B.; **Comparação em tração e flutuação de pneus agrícolas radiais e diagonais**. 1999. 120p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1999.

PESSINA, D. Assessment of the vibration at the driver place of an agricultural tractor during transport. **Rivista di Ingegneria Agraria**, v. 17, n. 4, p. 227-241, 1986.

PINHO, M. da Silva. **Vibrações em um trator agrícola cabinado: Magnitude das acelerações no assento e transmissibilidade através do coxim**. 2012. 158 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Santa Maria, 2012.

PIRELLI. Manual Técnico. **Pneus para Agricultura**. 1998, p.66.

PRASAD, N.; TEWARI, V. K.; YADAV, R. Tractor ride vibration: a review. **Journal of Terramechanics**, Silsoe, p. 205-219. 1995.

ROLDÁN, G. B.; ROMERO, J. R. J.; RIBES, J. G. Vibración en los asientos de tractores agrícolas. **Revista Vida Rural**, Ed. Eumedia, Madrid, 1999.

ROTH, C. W. **Transmissibilidade da vibração e distribuição da pressão na interface assento-operador de tratores agrícolas em condições dinâmicas**. 2010. 142 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, 2010.

ROZIN, D. **Conformidade do posto de operação de tratores agrícolas nacionais com Normas de ergonomia e segurança**. 2004. 204 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

SALIBA, T. M.; CORRÊA, M. A. C. **Insalubridade por exposição à vibração de corpo inteiro**. Suplemento Trabalhista 067/12. São Paulo, n. 48, p. 325-329, 2012.

SALIBA, T. M.; CORRÊA, M. A. C.; AMARAL, L S. **Higiene do trabalho: Programa de prevenção de riscos ambientais**. 3. ed. São Paulo: Ltr, 2002. 262 p.

SCHLOSSER, J. F.; DEBIASI, H.; PARCIANELLO, G.; RAMBO, L. Antropometria aplicada aos operadores de tratores agrícolas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n.6, p. 61-72, 2002.

SELL, I. **Projeto do trabalho humano: Melhorando as condições de trabalho**. Florianópolis: UFSC, 2002. 470 p.

SERVADIO, P.; MARSILI, A.; BELFIORE, N. P.. Analysis of driving seat vibrations in high forward speed tractors. **Biosystems Engineering**, Kidlington, v. 97, n. 2, p. 171-180, 2007.

SHARMA, A. K.; PANDEY, K. P.. A review on contact area measurement of pneumatic tyre on rigid and deformable surf aces. **Journal of Terramechanics**, Oxford, v.33, n.5, p.253-64, 1996.

SOLECKI, L. Preliminary recognition of whole body vibration risk in private farmers' working environment. **Ann Agric Environ Med**, v. 14, p. 299-304, 2007.

TRELLEBORG. **Agricultural tyres manual**. 2000, 20p.

VALE, W.G.; GARCIA, R.F.; VASCONCELOS Jr, J.F.S.; FERNANDES, P.G.; AZEVEDO, E.B.; KLAVER, P.P.. Desempenho de conjunto trator e semeadora-adubadora na semeadura direta de *Crotalaria juncea*. **Global Science and Technology**, v. 03, n.02, p. 78-86, 2010.

XIMENES, G. M. **Gestão Ocupacional da Vibração no corpo humano, aspectos técnicos e legais relacionados à saúde e segurança**. 2006. 158 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Gestão). Universidade Federal Fluminense, 2006.

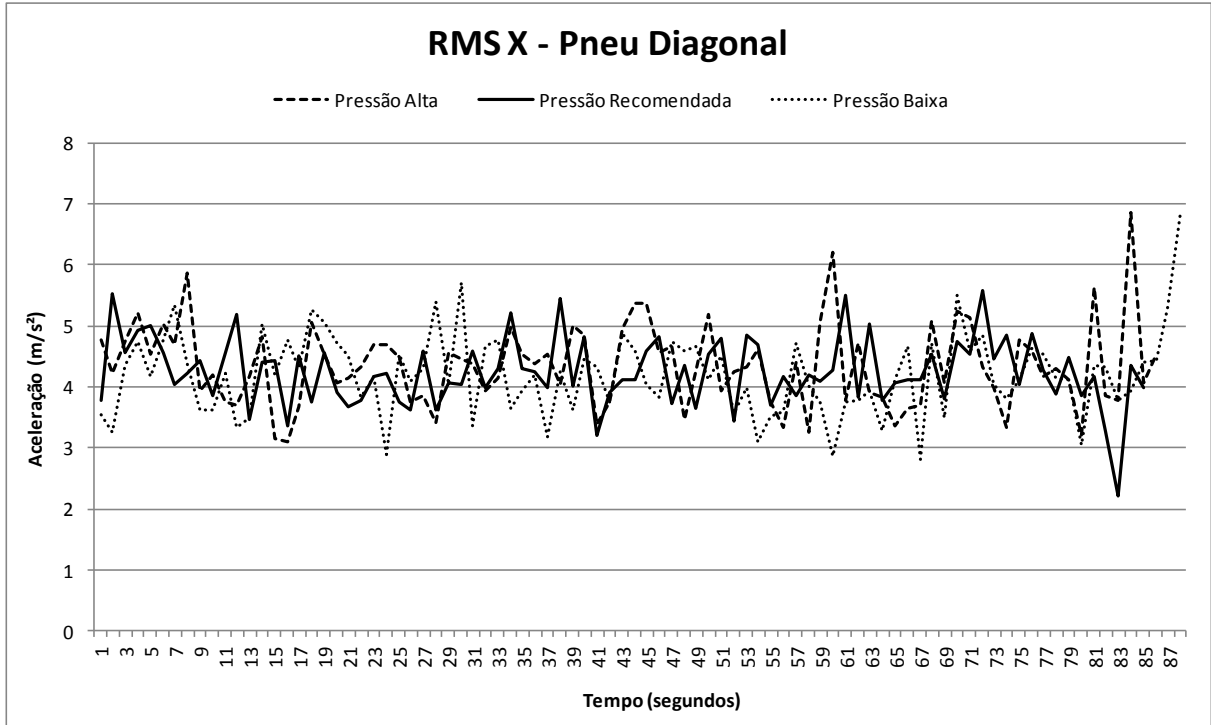
WALBER, M.; TAMAGNA, A. Avaliação dos níveis de vibração existentes em passageiros de ônibus rodoviários intermunicipais, análise e modificação projetual. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v. 11, n. 15, p. 1-88, 2010.

WALBER, M. **Avaliação dos níveis de vibração existentes em passageiros de ônibus rodoviários intermunicipais, análise e modificação projetual**. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

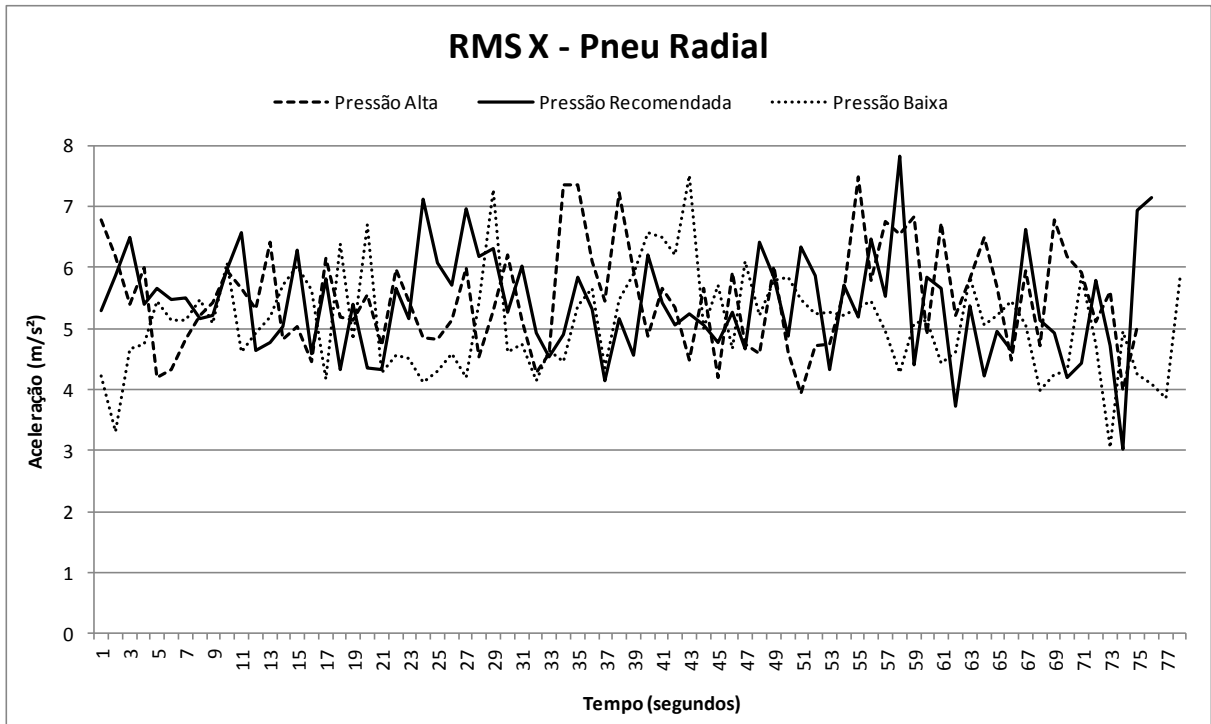
WULFSOHN, D.; UPADHYAIA, S.K.; CHANCELLOR, W.J. Tractive characteristics of radial ply and bias ply tyres in a Califórnia soil. **Journal of Therramechanics**, Great Britain, v.25, n.2, p.111-34, 1988.

APÊNDICE

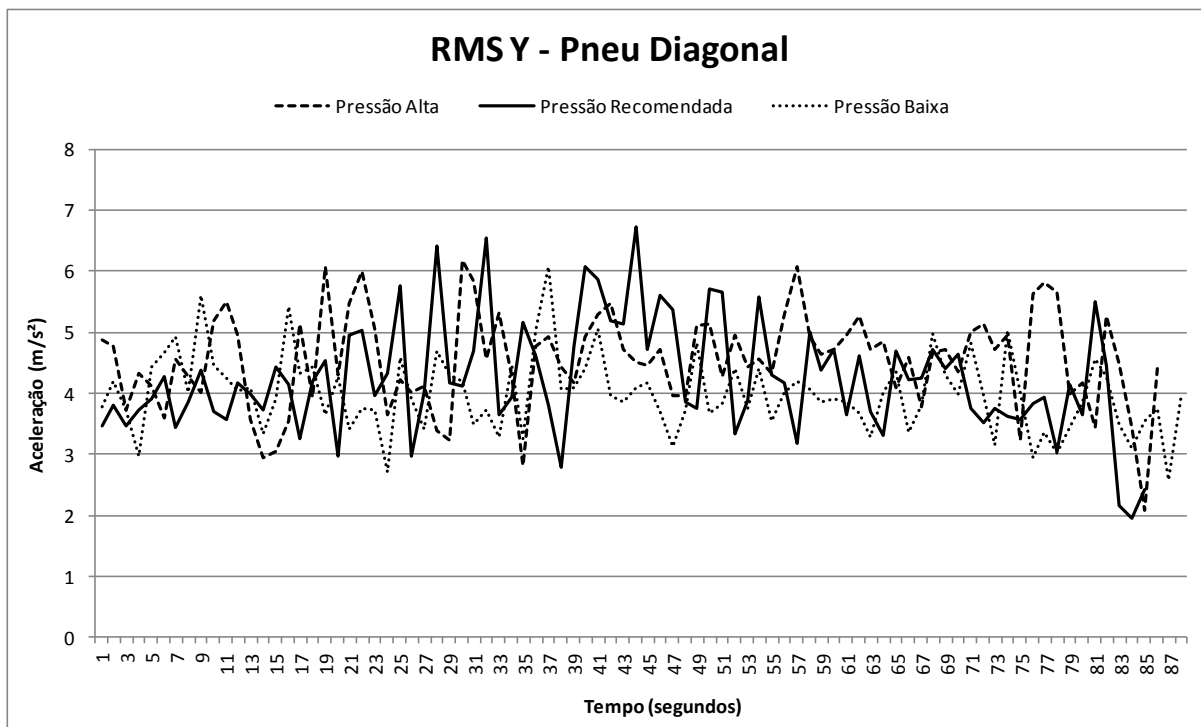
Apêndice A – Valores de RMS no eixo X (Pneu Diagonal)



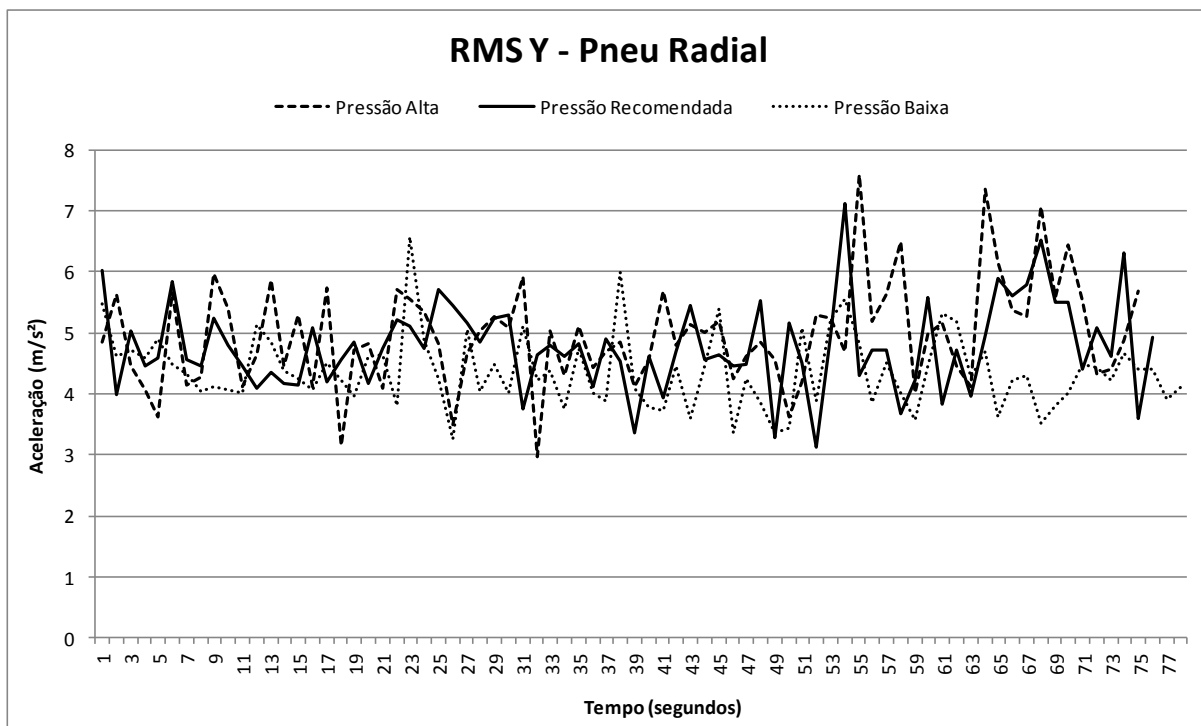
Apêndice B – Valores de RMS no eixo X (Pneu Radial)



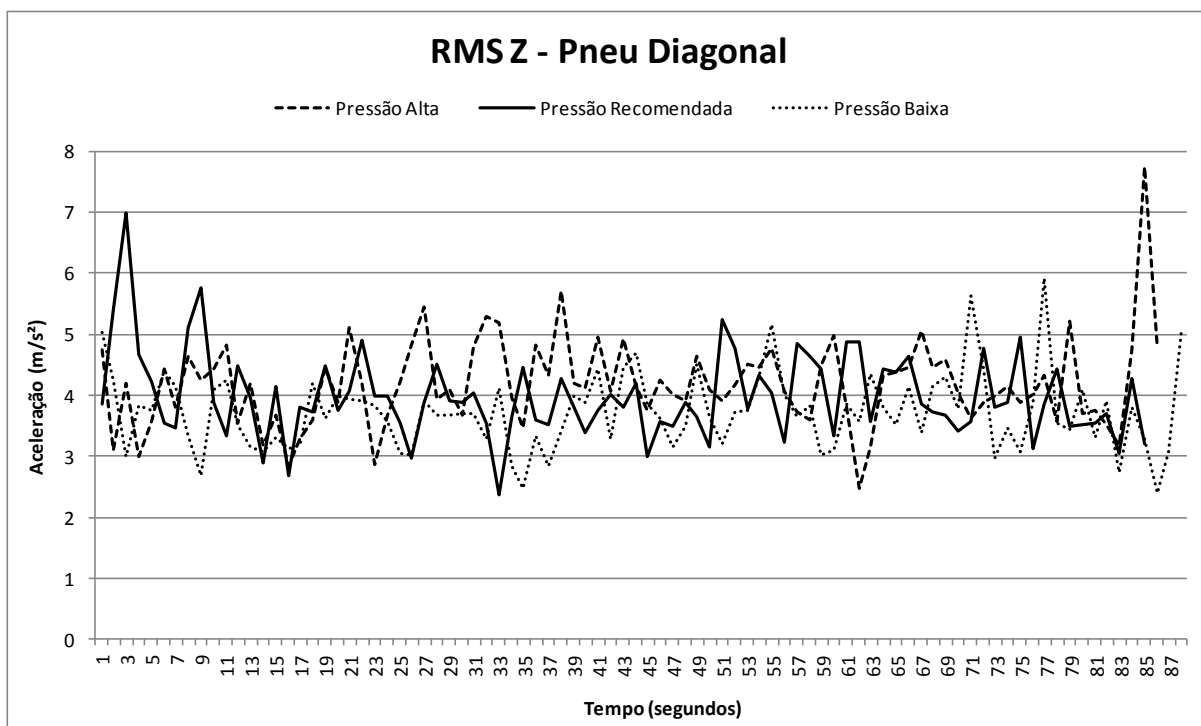
Apêndice C – Valores de RMS no eixo Y (Pneu Diagonal)



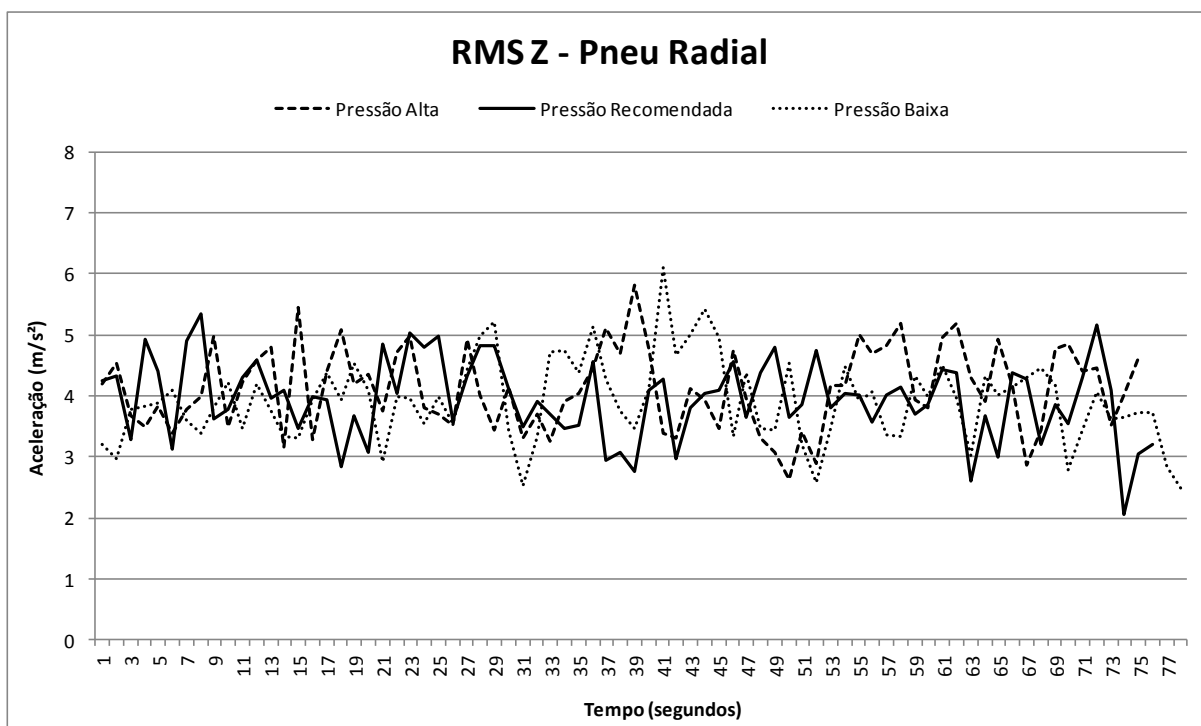
Apêndice D – Valores de RMS no eixo Y (Pneu Radial)



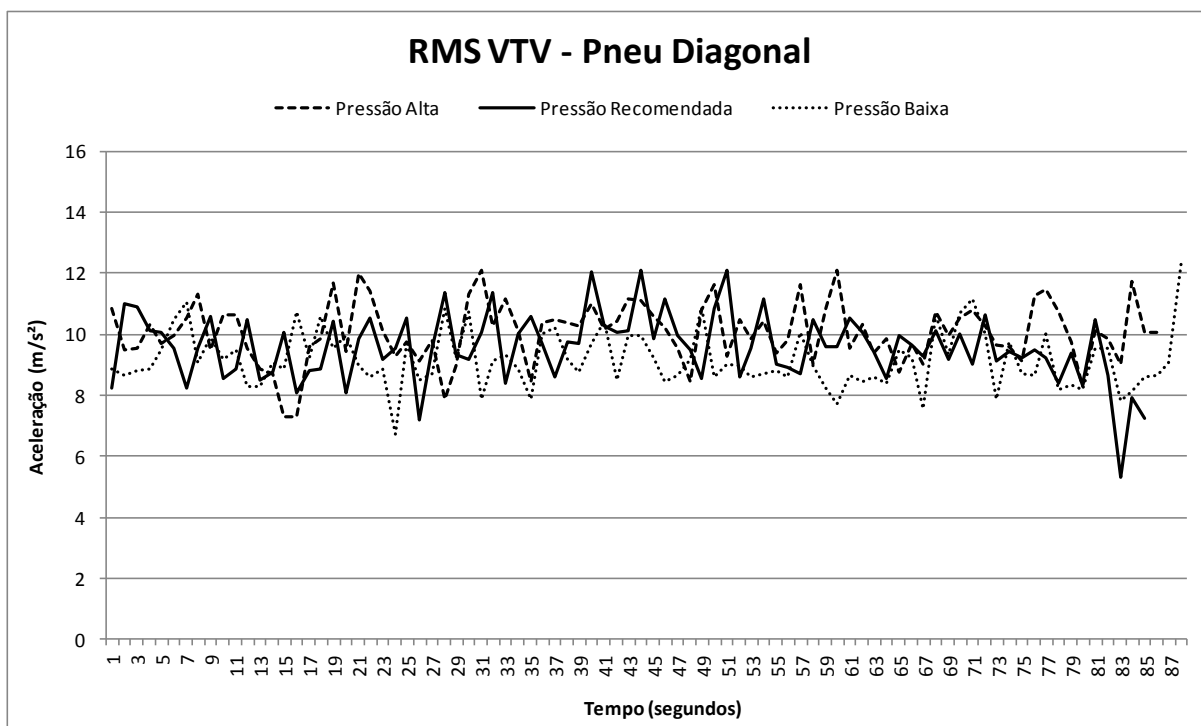
Apêndice E – Valores de RMS no eixo Z (Pneu Diagonal)



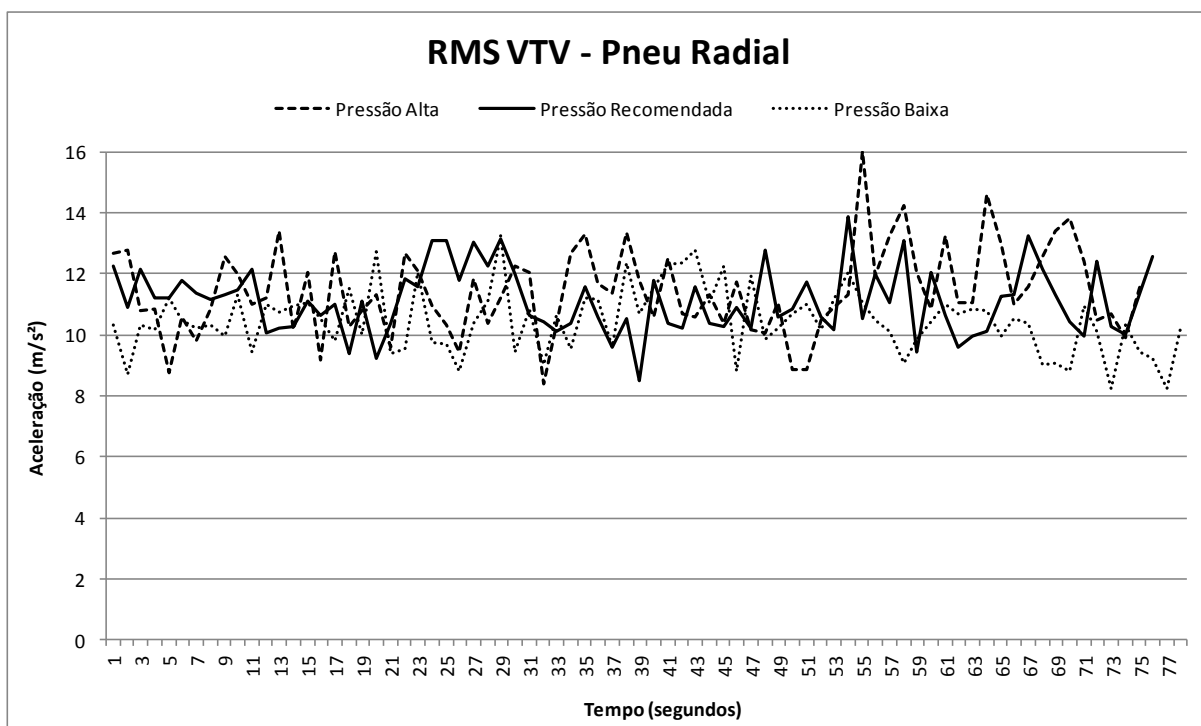
Apêndice F – Valores de RMS no eixo Z (Pneu Radial)

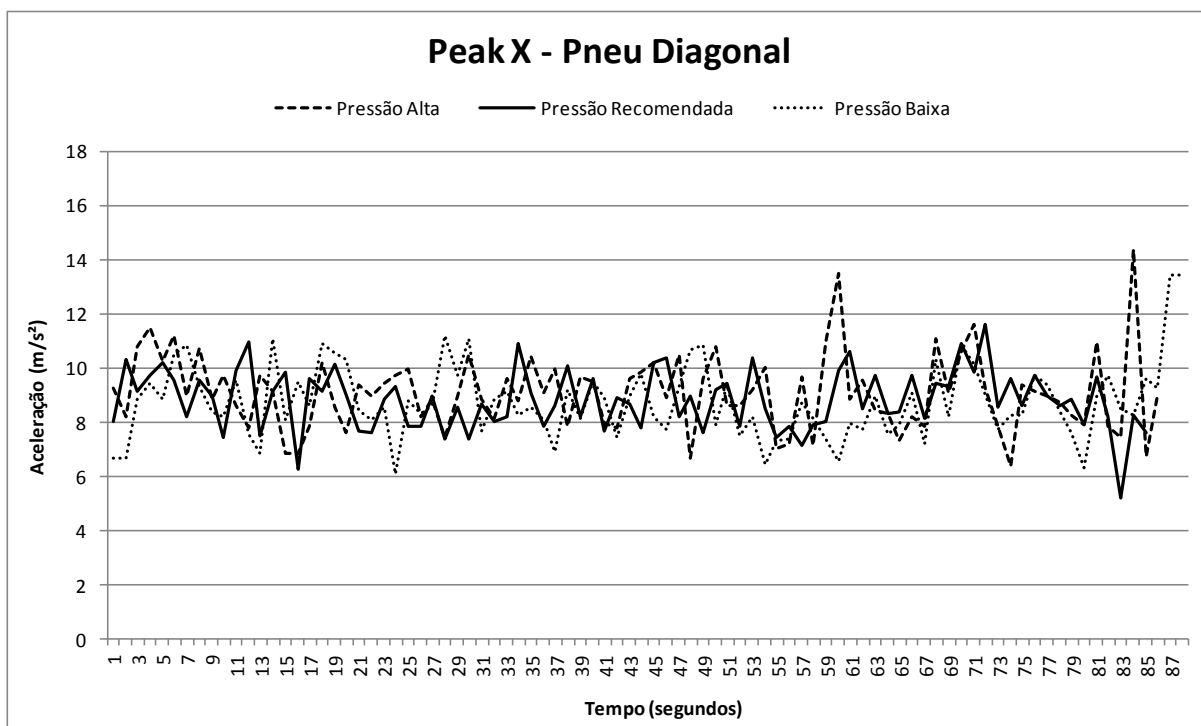
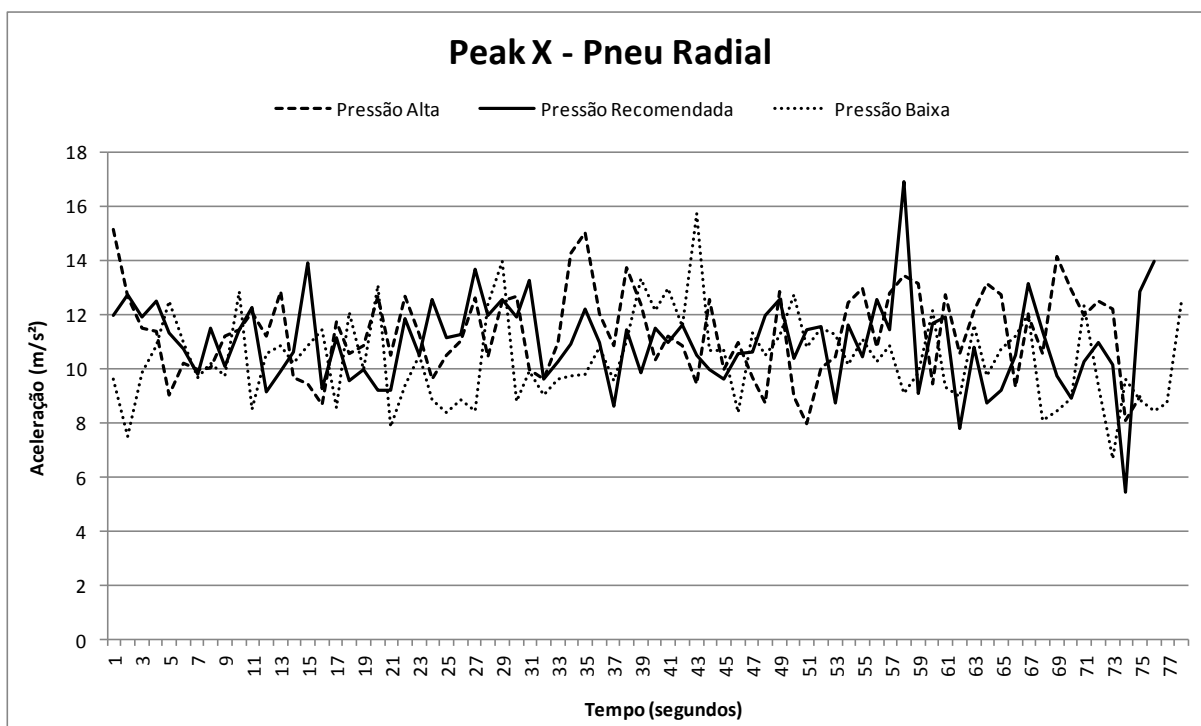


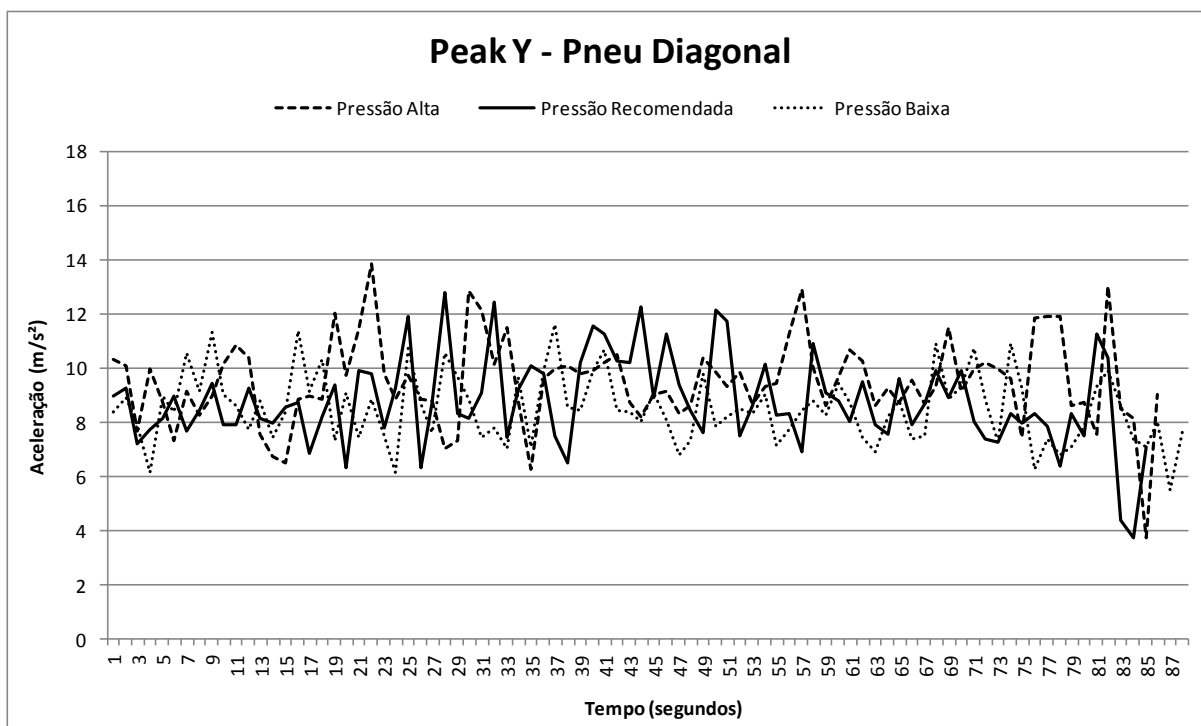
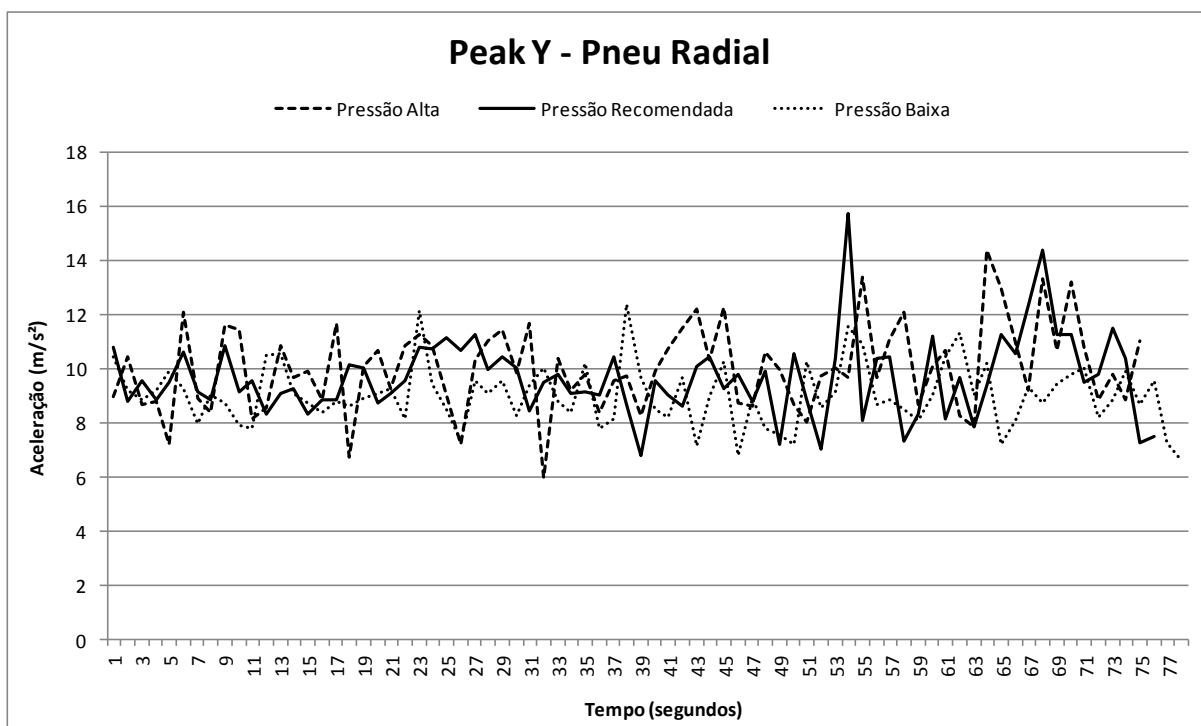
Apêndice G – Valores de RMS VTV (Pneu Diagonal)



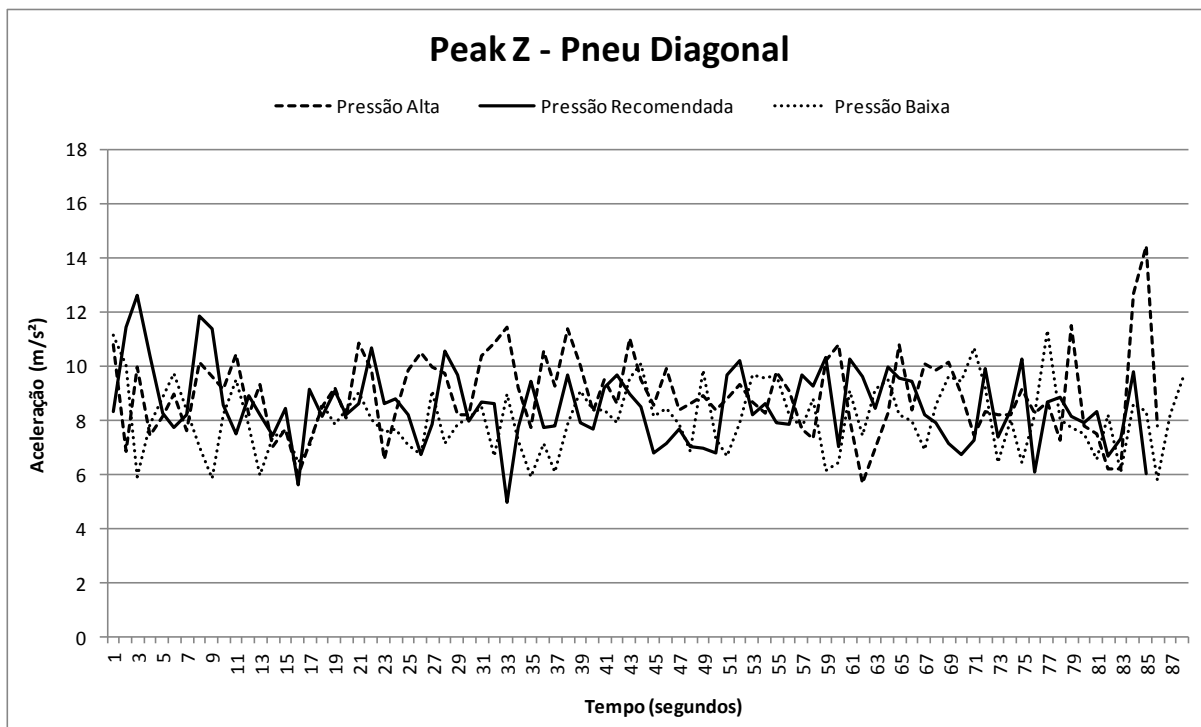
Apêndice H – Valores de RMS VTV (Pneu Radial)



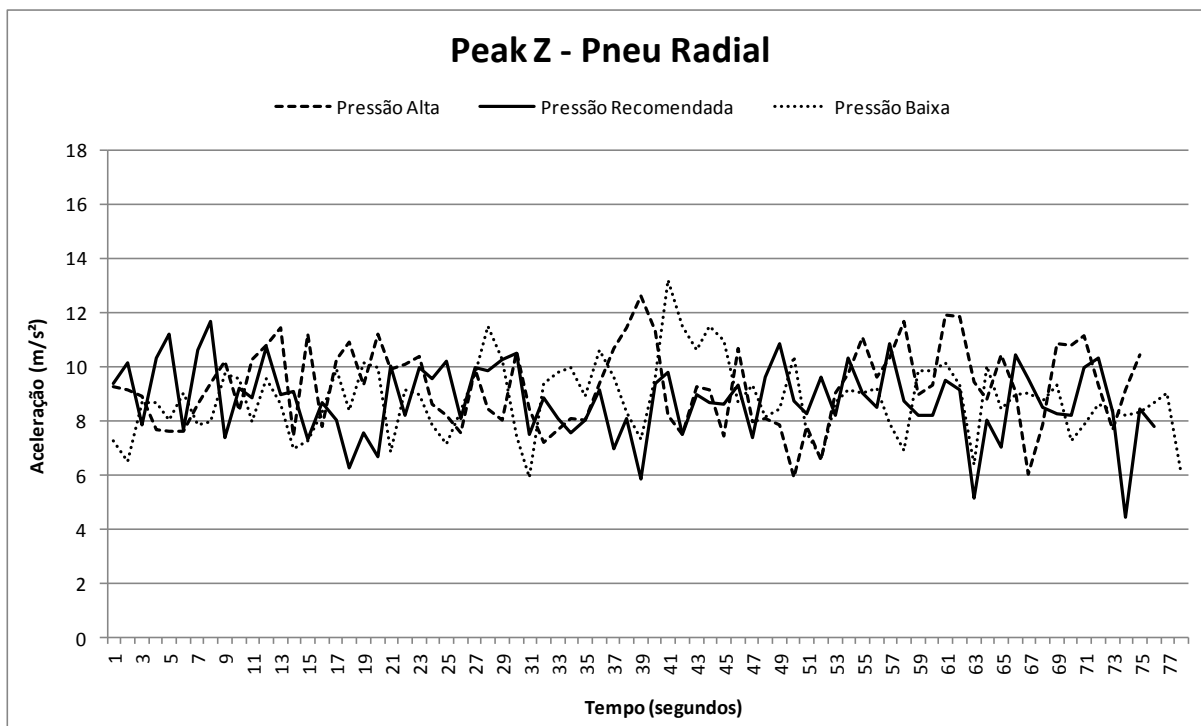
Apêndice I – Valores de Peak no eixo X (Pneu Diagonal)**Apêndice J – Valores de Peak no eixo X (Pneu Radial)**

Apêndice K – Valores de Peak no eixo Y (Pneu Diagonal)**Apêndice L – Valores de Peak no eixo Y (Pneu Radial)**

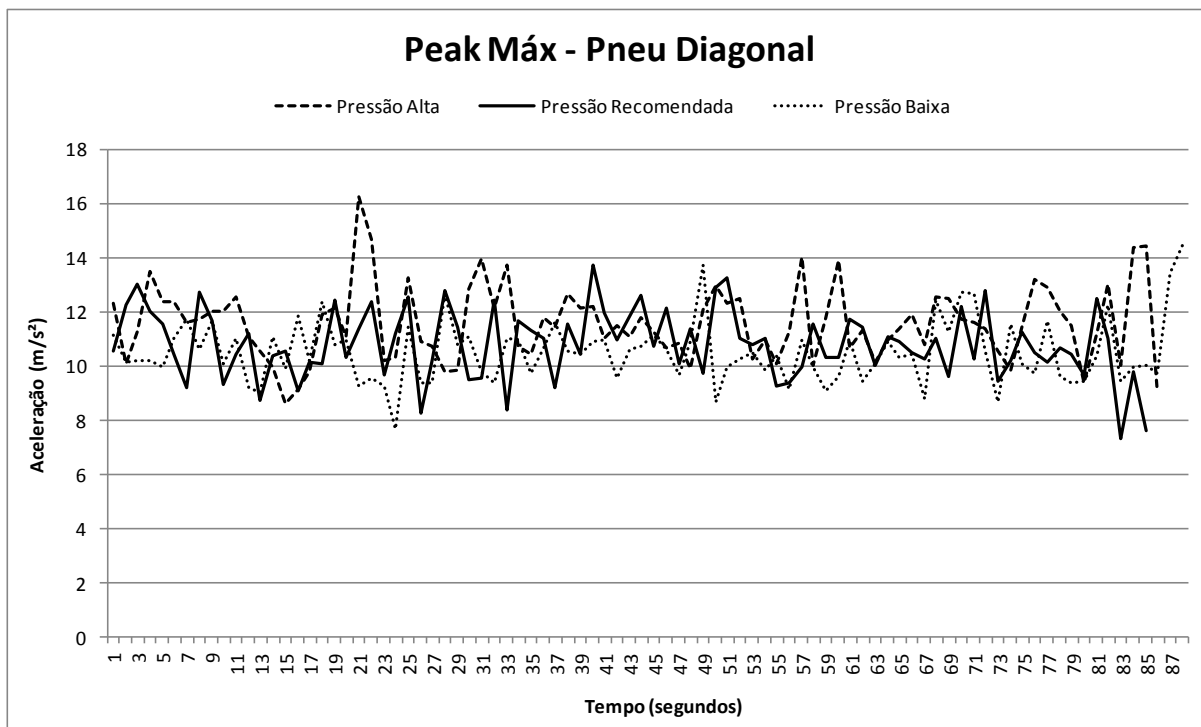
Apêndice M – Valores de Peak no eixo Z (Pneu Diagonal)



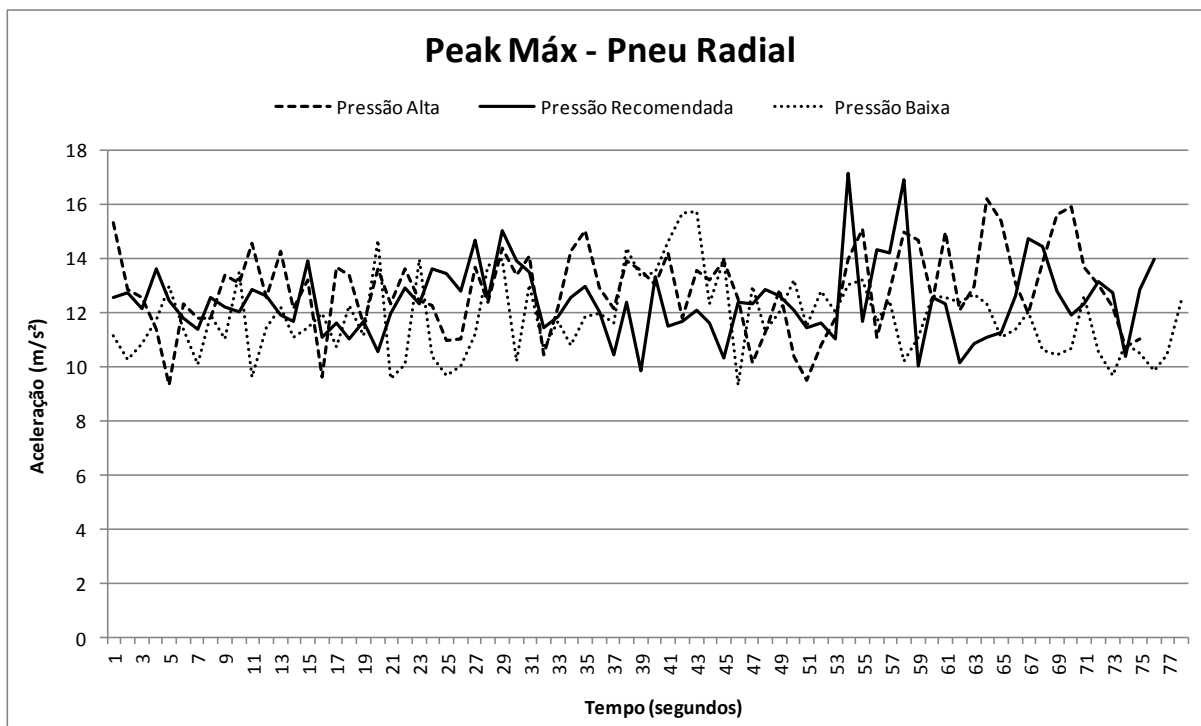
Apêndice N – Valores de Peak no eixo Z (Pneu Radial)



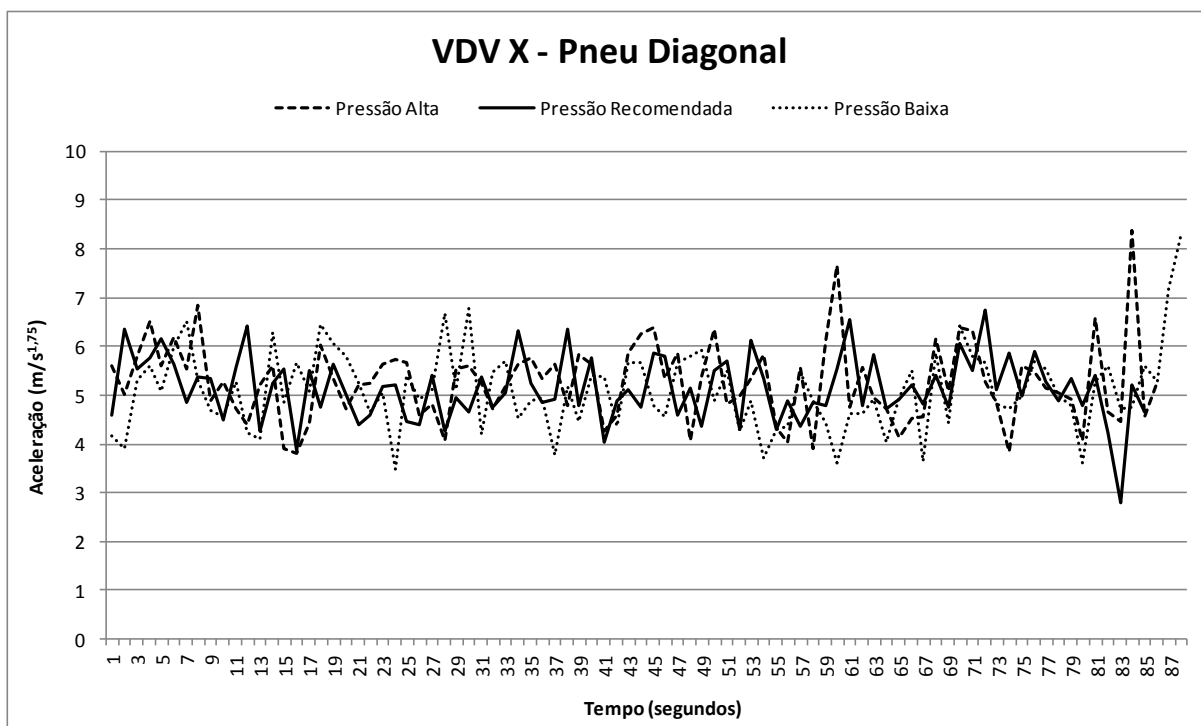
Apêndice O – Valores de Peak Máx (Pneu Diagonal)



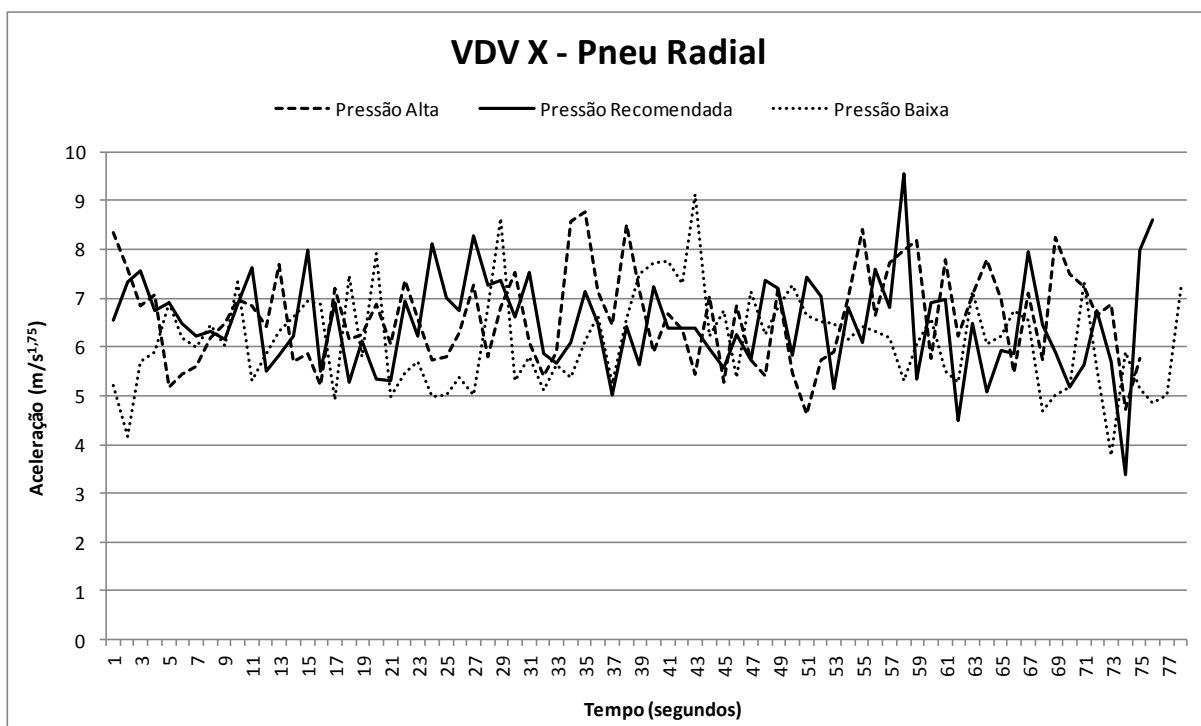
Apêndice P – Valores de Peak Máx (Pneu Radial)



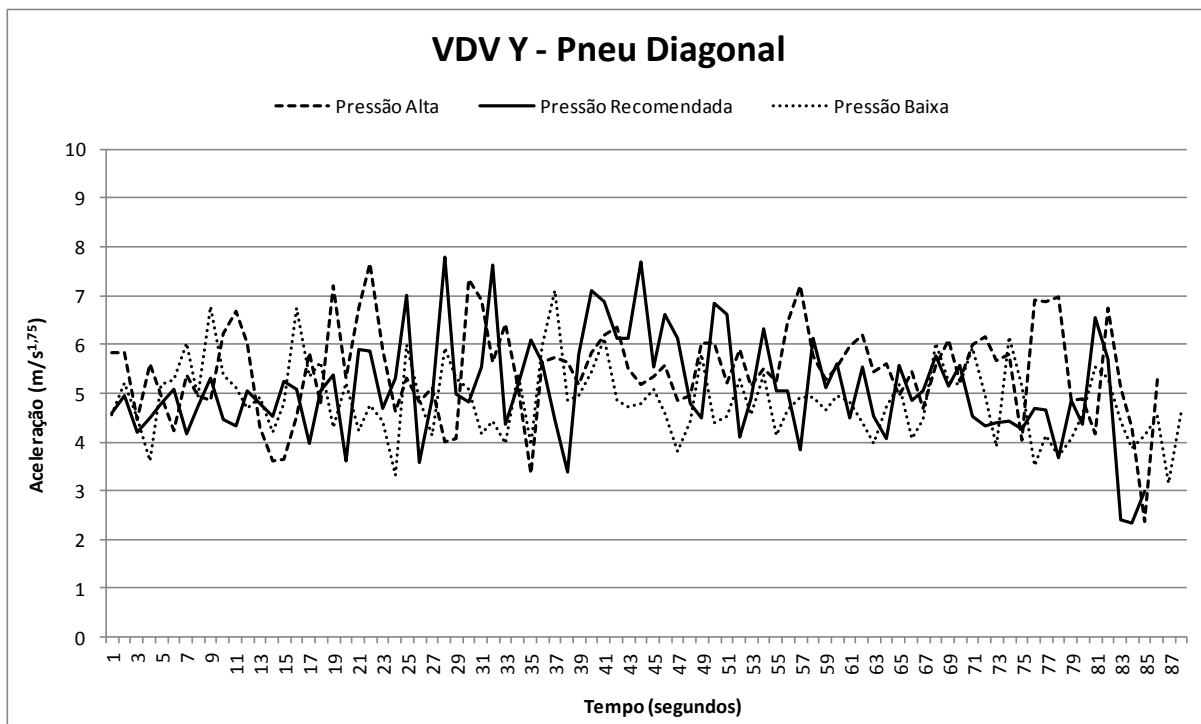
Apêndice Q – Valores de VDV no eixo X (Pneu Diagonal)



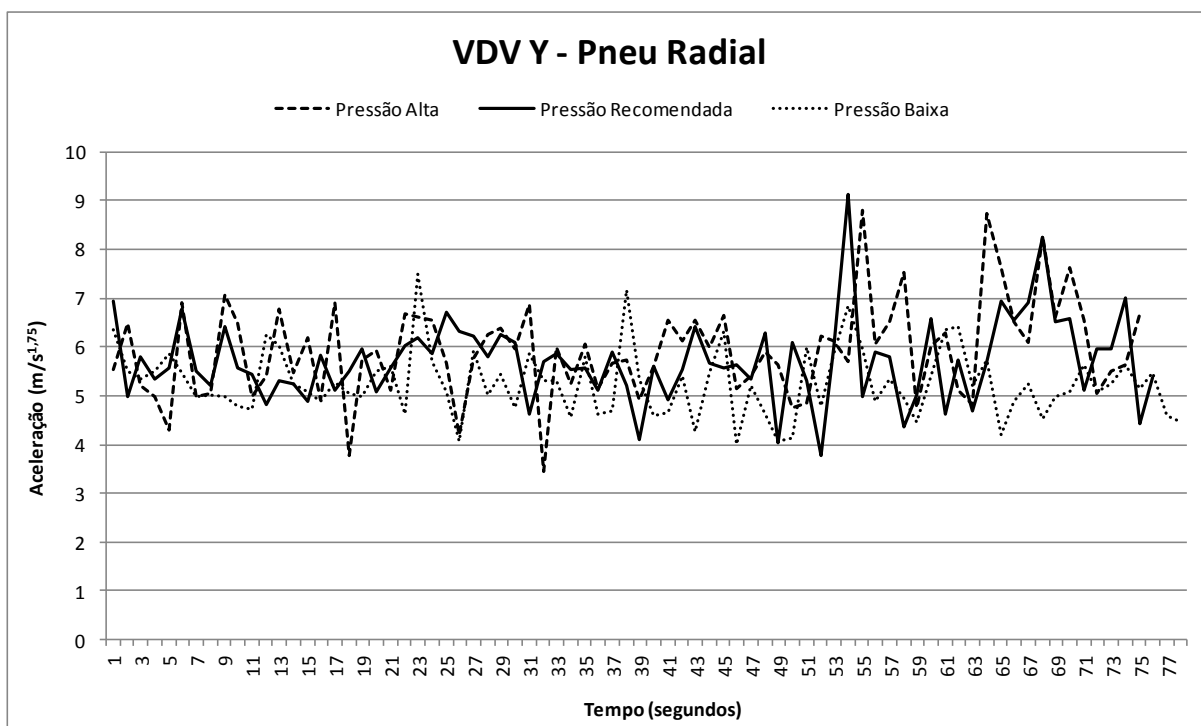
Apêndice R – Valores de VDV no eixo X (Pneu Radial)



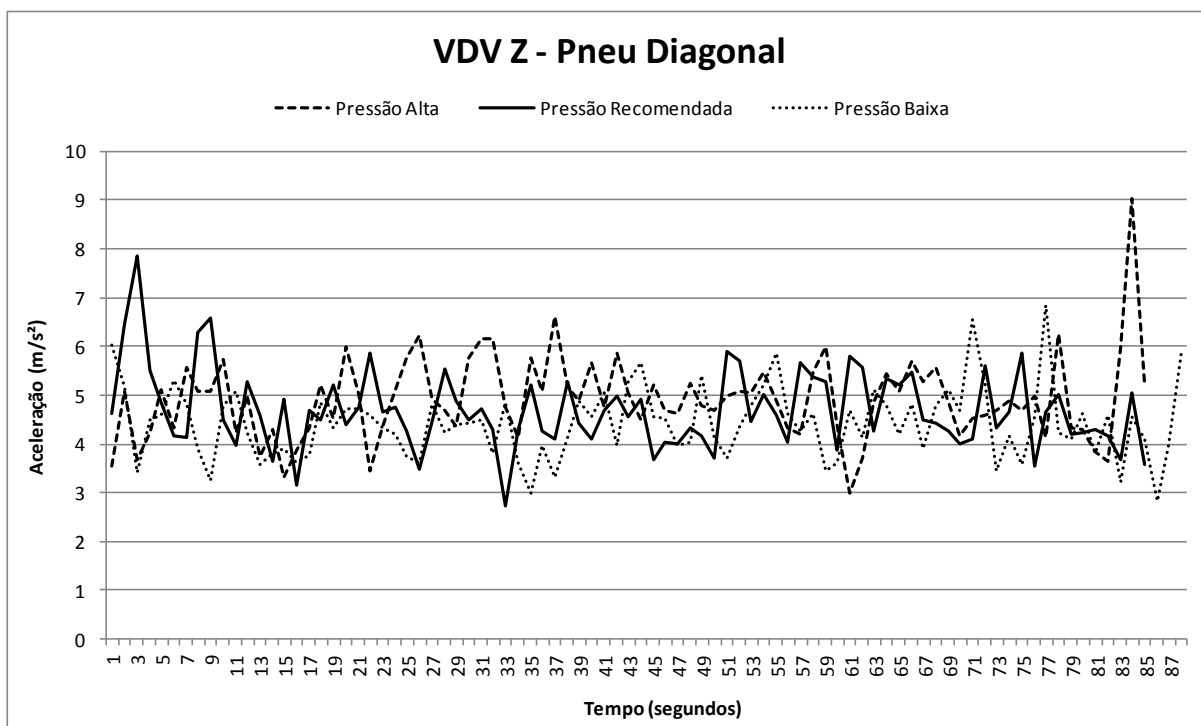
Apêndice S – Valores de VDV no eixo Y (Pneu Diagonal)



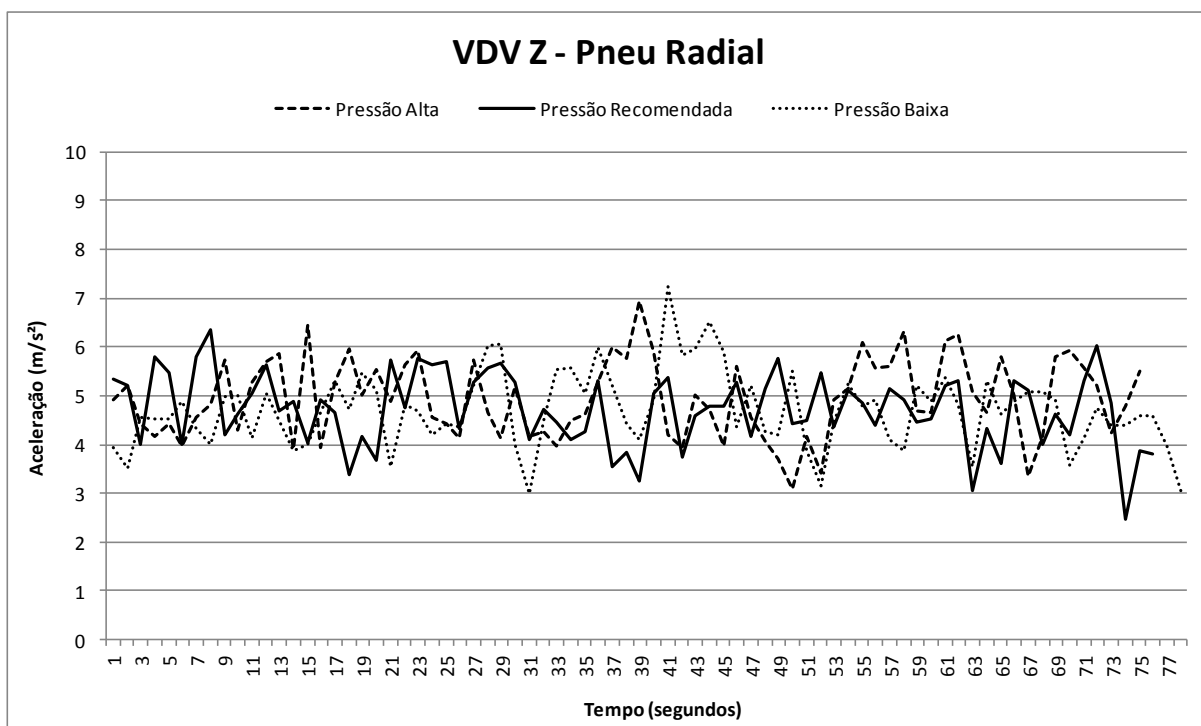
Apêndice T – Valores de VDV no eixo Y (Pneu Radial)



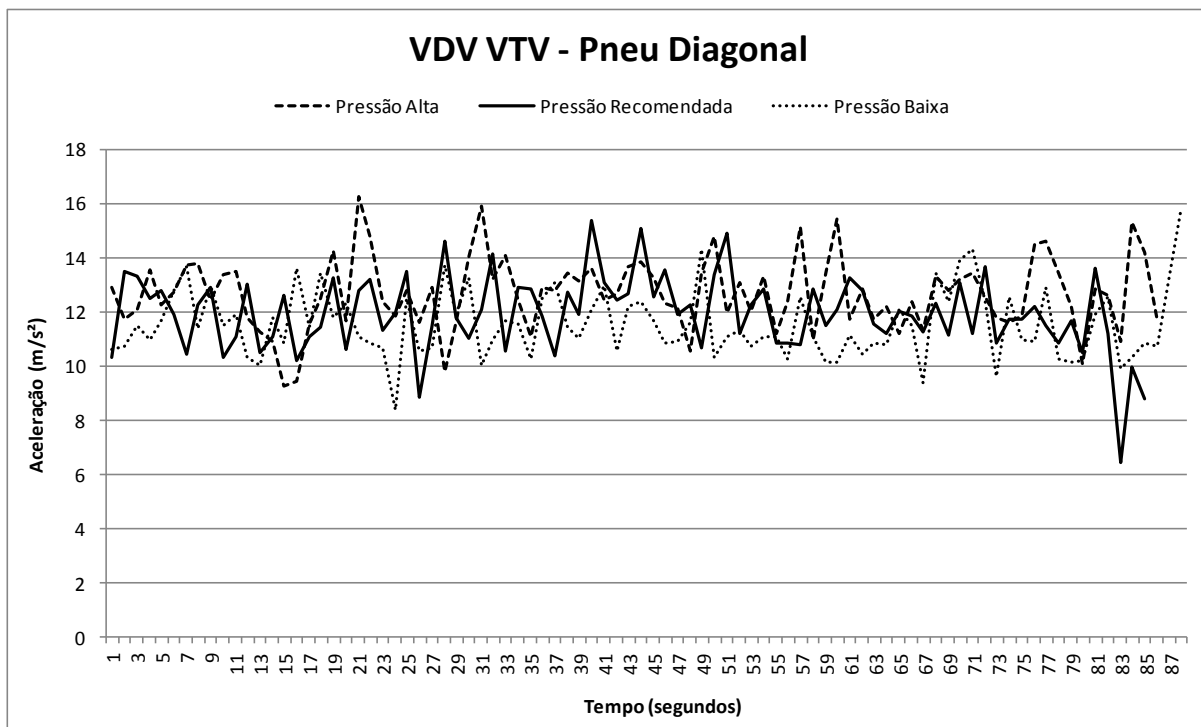
Apêndice U – Valores de VDV no eixo Z (Pneu Diagonal)



Apêndice V – Valores de VDV no eixo Z (Pneu Radial)



Apêndice X – Valor de VDV VTV (Pneu Diagonal)



Apêndice Z – Valores de VDV VTV (Pneu Radial)

