

PAULO ROBERTO FORASTIERE

**PARÂMETROS DE DESEMPENHO DO TRATOR AGRÍCOLA
MODIFICADO “TRANSFORMAX”**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Agrícola, para
obtenção do título de *Magister
Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2016

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

F692p
2016 Forastiere, Paulo Roberto, 19-
Parâmetros de desempenho do trator agrícola modificado
"Transformax" / Paulo Roberto Forastiere. – Viçosa, MG, 2016.
x,78f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Haroldo Carlos Fernandes.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f.71-78.

1. Máquinas agrícolas . I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de
Pós-graduação em Engenharia Agrícola. II. Título.

CDD 22. ed. 631.372

PAULO ROBERTO FORASTIERE

**PARÂMETROS DE DESEMPENHO DO TRATOR AGRÍCOLA
MODIFICADO “TRANSFORMAX”**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Agrícola, para
obtenção do título de *Magister
Scientiae*.

APROVADA: 19 de fevereiro de 2016.

Luciano Baião Vieira

Geice Paula Villibor

Haroldo Carlos Fernandes
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ser essencial em minha vida, autor de meu destino. Aos meus pais, irmão, minha namorada, Camila Cristina Bombana ao meu tio Norivaldo Forastiere e família, pelo apoio incondicional, confiança e incentivo.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Agrícola pela oportunidade e suporte na realização do mestrado em Engenharia Agrícola.

Ao professor Haroldo Carlos Fernandes pelas oportunidades, orientação, ensinamentos e contribuição para realização deste trabalho. Aos professores coorientadores Mauri Martins Teixeira e Paulo Roberto Cecon, pelos ensinamentos, sugestões e esclarecimentos.

Aos colegas e funcionários do Laboratório de Mecanização Agrícola: Marconi, Paulo, Daniel, Diego, Juliana, Jardênia, Larissa, Danilo, Flávio, Raquel, Humberto, Christiam, Raphael, Júlio, Matheus, Ronaldo, Édilus, Robson, Gracielly, Emanuel, Amélia, Anderson Costa, Flora, Denis, Remo, Nara, Cristina, Michael, Frederico, Gregory, Marcelo, Vantuil, Danilo. Geraldo e Gil, pelo apoio e companheirismo.

A capes, pelo auxílio financeiro, concedido por meio da bolsa de pesquisa, durante o curso de mestrado.

Aos demais familiares, colegas e amigos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

PAULO ROBERTO FORASTIERE, filho de Pedro Forastiere e Elza Virginia Ferreira Forastiere, nasceu no dia 17 de julho de 1990 no, Município de Peabiru, Paraná.

Em 2007 concluiu o ensino médio pela Escola Estadual Olavo Bilac, em Peabiru, Paraná.

Graduou-se em Agronomia pela Faculdade Integrado de Campo Mourão, Campo Mourão, Paraná em 2013.

Em 2014, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração Mecanização Agrícola, em nível de mestrado, pelo Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa.

Em fevereiro de 2016, submeteu-se à defesa pública de dissertação, para a obtenção do título de Magister Scientiae.

RESUMO

Atualmente o sistema de produção necessita cada vez mais de novas máquinas e equipamentos de alto desempenho em campo, para atender os atuais patamares de produção. Na segunda metade do século XX, o trator tornou-se um fator de produção fundamental para o desenvolvimento da atividade rural, portanto, a intensificação do uso de máquinas agrícolas vem exigindo novos investimentos em tratores com maior potência e tecnologia. Nesse conjunto, o *Transformax*[®] foi criado e construído para oferecer uma nova opção de maquinários totalmente equipados. Para tal, parâmetros como características dimensionais e ponderais, devem ser considerados na análise do projeto mecânico de um trator, assim como a determinação do seu desempenho, sendo que os resultados determinam características operacionais importantes e podem ser influenciados por diversas variáveis. Além disso, o conjunto pneumático de um trator constitui um dos seus mais importantes componentes, não podendo esquecer os aspectos ergonômicos que afetam a máquina e o operador como o ruído e a vibração que se relacionam com a segurança e conforto do operador. Desta forma, objetivou-se com esse trabalho avaliar parâmetros de desempenho e características dimensionais e ponderais do trator agrícola *Transformax*[®] equipado com um conjunto de pneus 13.6 e 18.4. Com o aumento da força aplicada na barra de tração e da rotação do eixo motriz, ocorreu um acréscimo do percentual de patinagem dos rodados motrizes, de forma mais acentuada no pneu 13.6. Enquanto que os maiores valores de potência na barra de tração foram obtidos tracionando a maior carga aplicada na barra de tração e deslocando-se na maior rotação do eixo motriz, com o pneu 18.4. Com o aumento da força de tração e rotação do eixo motriz, o consumo horário do trator aumentou com o rodado 18.4, ao contrário, o consumo específico diminuiu em função do aumento dessas variáveis. O rendimento na barra de tração foi favorecido com o rodado 18.4. A força de tração e rotação do eixo motriz não apresentaram efeito significativo nos níveis de ruído no posto de

operação do trator, entretanto, os níveis médio de ruído foram mais elevados quando o trator estava equipado com pneu 18.4. Houve acréscimos, da aceleração vertical e longitudinal no posto de operação do trator quando equipado com pneu 13.6 e 18.4, em razão do aumento da força de tração e rotação do eixo motriz.

Forastiere, Paulo Roberto, M. Sc, Universidade Federal de Viçosa, February 2016.
Operating Performance parameter tractor modified *Transformax*[®]. Advisor:
Haroldo Carlos Fernandes.

Abstract

Currently the production system increasingly needs new machinery and high-field performance equipment to meet current production levels. In the second half of the twentieth century, the tractor became a key production factor for the development of rural activities; therefore, the increased use of agricultural machinery has required new investments in tractors with increased power rating and technology. In this set, the *Transformax*[®] was designed and built to offer a new option of fully equipped machinery. To do this, parameters such as dimensional and weight characteristics should be considered in the analysis of the mechanical design of a tractor, as well as measurement of their performance, and the results determine important operating characteristics and may be influenced by many variables. In addition, the pneumatic ensemble of a tractor is one of its most important components, and may not forget the ergonomic aspects that affect the machine and the operator and the noise and vibration that relate to safety and operator comfort. Thus, the objective of the study was to evaluate performance parameters and dimensional and weight characteristics of the agricultural tractor *Transformax*[®] equipped with a set of tires 13.6 and 18.4. With increasing force applied to the drawbar and the rotation of the drive shaft, there was a skating percentage of increase of the wheeled, more sharply in the tire 13.6. While the highest values of power rating in the drawbar were obtained pulling the highest load applied to the drawbar and moving in the largest rotation of the drive shaft, with the tire 18.4. With increasing tensile strength and rotation of the drive shaft, the tractor hourly consumption increased with 18.4 rotated, on the contrary, the specific consumption decreased due to the increase of these variables. The yield on the drawbar was favored to run in the tire 18.4. The tensile strength and rotation of the drive shaft showed no significant effect on noise levels in tractor operator station, however, the average noise levels were higher when the tractor was equipped with tire 18.4. There was an increase, the vertical and longitudinal

acceleration in the tractor operator station when equipped with tire 13.6 and 18.4, due to the increased traction force and rotation of the drive shaft.

SUMÁRIO

RESUMO	iv
Abstract.....	vi
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. Trator agrícola	3
2.2. Desempenho dos tratores agrícolas	4
2.3. Relação entre o raio e o espaço de giro	5
2.4. Razão de redução de percurso – Patinagem.....	6
2.5. Consumo horário e específico de combustível	7
2.6. Potência na Barra de tração	8
2.7. Pneus.....	9
2.8. Rendimento de tração.....	10
2.9. Avaliações ergonômicas: vibração e ruído no posto de operação..	11
3. MATERIAL E MÉTODOS	15
3.1. Área experimental.....	15
3.2. Caracterização do Transformax®	15
3.2.1. Caracterização dimensional e ponderal	17
3.2.2. Tamanho do protótipo	17
3.2.3. Vão livre vertical e horizontal	17
3.2.4. Ângulos de entrada e saída	18
3.2.5. Raio e espaço de giro	19
3.2.6. Relação entre raio e espaço de giro.....	20
3.2.7. Peso do trator avaliado	20
3.2.8. Centro de gravidade do trator	21
3.2.9. Declividade operacional limite e máxima	22
3.2.10. Transferência de peso.....	22
3.2.11. Carga dinâmica	23
3.3. Parâmetros de desempenho do trator	24
3.3.1.1. Trator avaliado.....	24
3.3.1.2. Trator carga	25
3.3.2. Pneus utilizados	26
3.3.3. Pista utilizado no ensaio de tração.....	27

3.3.4.	Instrumentação eletrônica de aquisição de dados	28
3.3.5.	Parâmetros obtidos diretamente	29
3.3.5.1.	Força de tração.....	29
3.3.5.2.	Velocidade de deslocamento.....	29
3.3.5.3.	Rotação das rodas motrizes.	30
3.3.5.4.	Determinação do consumo de combustível.....	31
3.3.6.	Dados obtidos indiretamente.....	32
3.3.6.1.	Determinação do raio de rolamento.....	32
3.3.6.2.	Potência disponível na barra de tração	33
3.3.6.3.	Consumo horário de combustível	33
3.3.6.4.	Consumo específico de combustível	34
3.3.6.5.	Patinagem.....	34
3.3.6.6.	Rendimento de tração	35
3.3.7.	Avaliações ergonômicas	35
3.3.7.1.	Vibração no posto de operação.....	35
3.3.7.2.	Espectro de frequência	36
3.3.7.3.	Ruído no posto de operação.....	37
3.3.8.	Procedimento para realização do experimento	38
3.4.	Análise dos dados	38
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
4.1.	Caracterização dimensional e ponderal.....	39
4.1.1.	Tamanho do Transformax®	39
4.1.2.	Vão livre vertical e vão livre horizontal	39
4.1.3.	Ângulo de entrada e saída	40
4.1.4.	Raio e espaço de giro	40
4.1.5.	Relação entre raio e espaço de giro.....	41
4.1.6.	Peso estático do trator.	41
4.1.7.	Centro de Gravidade	41
4.1.8.	Transferência de peso.....	44
4.2.	Parâmetros de desempenho do trator	47
4.2.1.	Raio de rolamento	47
4.2.2.	Razão de redução de percurso – Patinagem	47
4.2.3.	Potência na Barra de Tração	50
4.2.4.	Consumo horário de combustível.....	52

4.2.5.	Consumo específico de combustível.....	54
4.2.6.	Rendimento na barra de tração.....	56
4.3.	Avaliações ergonômicas.....	57
4.3.1.	Vibração no posto de operação do Transformax [®] equipado com pneu 13.6.....	57
4.3.2.	Vibração no posto de operação do Transformax [®] equipado com pneu 18.4.....	59
4.3.3.	Análise espectral das vibrações vertical e longitudinal do Transformax [®] com o pneu 13.6 e 18.4.....	62
4.3.4.	Ruído no posto de operação.....	67
5.	CONCLUSÕES.....	69
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71

1. INTRODUÇÃO

A mecanização agrícola é indispensável na agricultura moderna, já que atividades como preparo do solo, adubação, pulverização e colheita são desenvolvidos com auxílio de máquinas, garantindo melhor produtividade e permitindo o cultivo de áreas maiores. Na segunda metade do século XX, o trator tornou-se um dos responsáveis pelo avanço das atividades agrícolas, sendo utilizado, desde o plantio a operações do processo de pós-cultivo, sem ele o sistema de produção não se sustentaria de forma a atender os atuais patamares de produção já que este necessita cada vez mais de novas máquinas e equipamentos de alto desempenho em campo (RUSSINI, 2012; TAGHAVIFAR, 2015).

Assim, a intensificação do uso de máquinas agrícolas vem exigindo novos investimentos em tratores com maior potência e tecnologia. Do ponto de vista da empresa, à medida que a complexidade das máquinas aumenta, mais importante se torna o impacto do gerenciamento desse sistema sobre a rentabilidade do negócio. Nesse contexto, o *Transformax*[®], foi criado e construído para oferecer uma nova opção de maquinários totalmente equipados, com várias funções em um mesmo equipamento, otimizando o desempenho do sistema mecanizado.

Dessa forma parâmetros, como características dimensionais e ponderais, devem ser considerados na análise do projeto mecânico de um trator para que potencialmente reflita em uma maior capacidade operacional.

A determinação do desempenho é uma tarefa bastante complexa, pois inúmeros são os fatores que afetam o desempenho operacional do trator. Os resultados são influenciados por variáveis como: tipo de solo, pneu e pressão interna, lastro (relação peso-potência), cobertura vegetal, transferência de peso, e a velocidade de deslocamento (GABRIEL FILHO et. al., 2004; MONTEIRO, et al., 2008). Estes fatores sozinhos ou combinados determinam características operacionais importantes, tais como a razão de redução de percurso (patinagem) das rodas, a eficiência de tração, o consumo de combustível, entre outros (YANAI, et al., 1999). Conhecer essas características permite avaliar situações de desempenho do trator para melhor adequá-lo ao trabalho.

Os conjuntos pneumáticos do trator constituem um de seus mais importantes componentes, pois tem a função de permitir equilíbrio, vão-livre para passagem sobre a cultura, deslocamento, direcionamento e esforço tratório. Várias indagações ocorrem sobre o efeito positivo ou negativo no desempenho de tração, quando se varia o tipo construtivo dos rodados pneumáticos dos tratores, já que um trator equipado com pneus adequados para diferentes condições superficiais de solo resulta em melhor desempenho geral com conseqüente aumento da capacidade operacional.

Entre os fatores ergonômicos que afetam a máquina e o operador, o ruído e a vibração se destacam entre os principais, mas há poucos estudos destinados a avaliar estes parâmetros e suas implicações para a saúde ocupacional.

Nesse sentido, objetivou-se com o presente trabalho avaliar parâmetros de desempenho e características dimensionais e ponderais no maquinário transformado *Transformax*[®] equipado com um conjunto de pneus 13.6 e 18.4. Para isso foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Obter o raio de rolamento, patinagem dos rodados motrizes, potência na barra de tração, consumo horário e específico de combustível, rendimento na barra de tração;
- Calcular o vão livre vertical e horizontal, ângulo de entrada e saída, raio e espaço de giro, relação entre raio e espaço de giro, peso estático, centro de gravidade, declividade operacional limite, declividade máxima operacional, transferência de peso e carga dinâmica;
- Avaliar aspectos ergonômicos (ruído e vibração no posto de operação).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Trator agrícola

Como principal investimento, fonte de potência de uma propriedade agrícola e devido a sua versatilidade em realizar diversas operações, o trator se tornou um fator de produção fundamental para o desenvolvimento da atividade rural, responsável por transformar energia química contida nos combustíveis, em energia mecânica, (MONTANHA, 2012). Para Taghavifar et al. (2015) os tratores agrícolas são responsáveis por uma diversidade muito grande de tarefas mecanizadas em áreas agrícolas que vão, desde o preparo do solo, implantação da cultura, colheita até o transporte da produção para comercialização.

Já Mialhe (1980) conceituou o trator agrícola como sendo uma máquina dinâmica e multifuncional provida de componentes que, além de darem apoio estável sobre a superfície capacitam-na a tracionar, transportar e fornecer potência mecânica para movimentar máquinas e implementos agrícolas.

Assim sendo, o trator agrícola além do motor, que é responsável por fornecer potência para seu deslocamento é provido de componentes fundamentais, como: barra de tração, tomada de potência e engate de três pontos, com a finalidade de tracionar, acionar, transportar máquinas e implementos agrícolas nas mais diversas operações, superando distintas condições de trabalho, com maior eficiência e aproveitando o máximo de energia produzida pelo motor (SIMIKIC et al.2014).

Através da barra de tração, que se desenvolve a força exigida pelos equipamentos por meio da transferência de energia do motor para os rodados, através das transmissões, que por fim transformam o torque do eixo motriz do trator em força disponível na barra de tração, isto é, a força de tração resultante da interação do trator com o meio, sendo gerado no motor, chega ao solo pelas rodas. Sendo que o encontro desses dois elementos, formando o conjunto roda-solo, resulta o fenômeno da tração (RINALDI, 2011).

Desta forma Mialhe (1980), classifica os tratores agrícolas de acordo com o dispositivo de tração e conformação do chassi. Quanto ao rodado de pneus distinguem-se três categorias: tratores 4x2 apresentam apenas duas rodas que desenvolvem tração; os 4x4 onde todas as rodas promovem tração e os 4x2 (TDA) são aqueles em que os rodados dianteiros necessitam ser acionados para desenvolverem tração.

Segundo Silveira e Sierra (2010), força de tração, potência disponível na barra de tração, conforto, segurança, manobrabilidade e eficiência de tração, patinagem das rodas motrizes e consumo de combustível são parâmetros que devem ser levados em consideração na caracterização operacional de um trator agrícola.

2.2. Desempenho dos tratores agrícolas

De acordo com Schlosser et al. (2004) o objetivo da avaliação do desempenho de tratores agrícolas, em ensaios de campo, tem sido gerar informações que possibilitem dimensionar e racionalizar o uso de conjuntos motos-mecanizados na agricultura, entretanto é uma tarefa bastante complexa, pois a quantidade de variáveis a serem controladas e analisadas é muito grande. O conjunto mecânico possui diversos pontos que devem ser monitorados, seja por instrumentação e/ou metodologias específicas de controle, o que pode proporcionar subsídios para analisar seu desempenho. Entretanto, esse monitoramento pode ser difícil e bastante trabalhoso, e quando se inclui o terreno onde se está desenvolvendo tração, percebe-se uma maior dificuldade em medir e quantificar todas as variáveis.

A avaliação de desempenho de tratores agrícolas, levando-se em consideração a condição do solo, é importante para identificar a máxima capacidade de tração e o consumo de combustível de acordo com os níveis de esforços exigidos. Neste sentido, Fiorese et. al. (2015) estimaram o desempenho de tratores agrícolas sobre uma pista de solo firme sem cobertura vegetal. Foram avaliados três modelos de tratores 4x2 TDA, e seis níveis de esforços na barra de tração (5, 10, 15, 20, 25 e 27 kN), resultando em um menor desempenho energético representado pelo consumo de combustível, por parte do trator que operava com o maior regime de rotação.

Para Molin et al. (2006) as informações sobre o desempenho e a capacidade de trabalho das máquinas agrícolas são de grande importância no gerenciamento dos sistemas mecanizados agrícolas, auxiliando na tomada de decisões. A obtenção de informações sobre o desempenho é normalmente realizada de modo manual, por meio da análise dos tempos e movimentos, consumindo recursos, mão-de-obra e tempo.

Os tratores agrícolas são máquinas básicas usadas na produção de campo, operando em condições variadas devido à diversidade e deformação do solo, bem como a alteração das cargas exercidas de acordo com o trabalho realizado, sendo monitorados através do seu desempenho a campo, utilizando-se de forma racional o uso de sensores que monitorem todo seu comportamento (KOLATOR; BILOBRZEWSKI, 2011).

Assim a utilização correta de pneus em tratores, tanto em relação ao seu tipo quanto à calibração de sua pressão interna e a lastragem ideal para cada condição de carga são fatores que influem significativamente no desempenho do trator. Monteiro et al. (2011) ao analisarem o desempenho de um trator equipado com pneus radiais e pneus diagonais, para três condições de lastragem líquida (0%, 40% e 75% de água), explanaram que os pneus radiais, proporcionaram melhor desempenho do trator na condição de lastragem com 40% de água, contribuindo para maiores velocidades de deslocamento, menores percentuais de patinagem, menores consumos horários e específico de combustível, maior potência e rendimento na barra de tração.

2.3. Relação entre o raio e o espaço de giro

A determinação do raio e espaço de giro são características dimensionais que refletem as características de manobrabilidade das máquinas autopropelidas. O raio de giro (R_g) representa o raio do menor círculo descrito por um ponto da intersecção do plano vertical médio da roda mais externa da máquina a ser avaliada. Já o espaço de giro (E_g) pode ser definido como o espaço circular, expresso através do raio de sua circunferência como “raio do espaço de giro”. Este parâmetro é delimitado

pelo deslocamento do ponto de intersecção da perpendicular baixada pelo ponto mais externo do trator. (MIALHE 1996).

Segundo Mialhe (1985) o parâmetro quantificador da relação entre o raio de giro e o espaço de giro, é o índice de relação entre eles que, leva em consideração os valores de espaço de giro à esquerda (EGE), espaço de giro à direita (EGD), raio de giro à esquerda (RGE) e o raio de giro à direita (RGD).

2.4. Razão de redução de percurso – Patinagem

Pode ser entendida como o deslizamento entre o pneu e a superfície do solo, sendo que a mesma ocorre devido à deformação do pneu e o cisalhamento do solo. Diversos são os fatores que influenciam na patinagem, dentre eles: pressão interna do pneu, tipo e umidade do solo, tipo de pneu e a carga aplicada sobre os rodados.

Este deslizamento dos pneus das máquinas agrícolas pode provocar a compactação do solo, aumento do consumo de combustível, aumento do desgaste do pneu e redução da capacidade operacional da máquina.

Segundo Goering et.al. (2003) a patinagem dos rodados motrizes, deve estar entre 8 e 15%, pois um valor muito baixo significa que a eficiência com que o torque aplicado ao rodado para converter em esforço de tração é usado apenas para vencer a resistência ao rolamento e não para produzir trabalho útil (GOERING et al. 2003). Já, se a razão de redução de percurso for muito alta significa que a eficiência com que a velocidade teórica se converte em velocidade real de deslocamento da roda é muito baixa. Neujahr e Schlosser (2001) afirmaram que a eficiência de tração é maior, tanto para pneus diagonais como para radiais, quando a razão de redução de percurso está entre 5 e 20%.

Essa redução de percurso (patinagem) pode ser determinada através da diferença entre a rotação das rodas com e sem carga na barra de tração (MIALHE, 1996), ou ainda através da relação entre velocidade translacional e rotacional para cada um dos rodados da máquina.

Spagnolo et al. (2013) concluíram que o aumento da pressão de insuflação dos pneus provoca o aumento da redução de percurso dos

rodados, sendo que tal característica esta associada a diminuição da área de contato entre o pneu e o solo. Os mesmos autores verificaram que o aumento de 25% na lastragem de pneus com água ocasiona uma redução de 2,11% na patinação.

Em pesquisa desenvolvida por Jesuino (2007), foi analisado o deslocamento da máquina em solo firme e mobilizado, verificando-se que em solo mobilizado houve um aumento de 5% no índice de patinação do rodado que ocasionou um aumento de 3.12 L h^{-1} no consumo horário de combustível.

2.5. Consumo horário e específico de combustível

O consumo de combustível pode ser entendido como a quantidade consumida em um determinado período de tempo, sendo expresso em litros por hora, e pode ser obtido por leitura direta de instrumentos de medição, como por exemplo, fluxômetros. Porém, uma desvantagem desse parâmetro é que o mesmo não considera a potência gerada.

A forma mais técnica e eficiente de expressar o consumo de máquinas agrícolas é em gramas de combustível por unidade de potência, por hora de trabalho ($\text{g h}^{-1} \text{ kW}^{-1}$), sendo esse parâmetro denominado consumo específico de combustível. Quanto menor o consumo específico de combustível mais eficiente é o motor, devido à razão entre a quantidade de combustível utilizada e a quantidade de energia útil produzida (GOERING et al., 2003).

Diversas são as variáveis que influenciam no consumo de combustível das máquinas agrícolas, entre elas: o tipo de pneu, pressão de insuflação do pneu, lastragem e velocidade de deslocamento.

Lopes et al. (2003) observaram que pneus do tipo radial apresentaram maior consumo horário de combustível, quando comparados com pneus diagonais. Os mesmos autores verificaram que o aumento de lastros nos tratores resultou no aumento do consumo de combustível, devido o aumento da demanda de potência.

Enquanto que Vale et al. (2014) ao avaliarem o desempenho operacional de um trator e uma plantadora, em três velocidades de

deslocamento (3,0, 5,0 e 8,0 km h⁻¹) observaram que com o acréscimo da velocidade no deslocamento do conjunto influencia no consumo específico de combustível do trator avaliado, ou seja, com o aumento da velocidade de 3,0 para 8,0 km h⁻¹ ocorreu uma queda de 65,42% na variável analisada.

Atualmente tem-se buscado na agricultura a otimização do processo produtivo, principalmente a redução dos custos. Para tal é necessário à realização de estudos que determinem a representatividade de cada dispêndio no custo operacional das máquinas. Em estudos desenvolvido por Simões et al. (2011) o custo com combustível representou 39% do custo operacional de um trator de 103 kW de potência nominal.

2.6. Potência na Barra de tração

Tração é definida como a força, no sentido contrário da direção do deslocamento, produzida por um trator em sua barra de tração (ASABE, 1999). Desta forma a potência na barra de tração é o produto da velocidade de deslocamento pela força aplicada na barra de tração da máquina a ser testada.

Assim, o desempenho na barra de tração de um trator depende, principalmente, da potência do motor, dos mecanismos de transmissão, da distribuição de peso sobre os rodados, da altura e posição dos engates da barra e da superfície do solo. (GABRIEL FILHO et al., 2010a). Segundo a American Society of Agricultural Engineers (ASAE, D497.4, 1999), na transmissão de potência do motor para a barra de tração ocorrem perdas que, dependendo das condições de operação do trator, distribuição de peso sobre as rodas motrizes e tipo de acoplamento, podem atingir níveis bastante comprometedores.

Conforme Acuna et al. (1995) a tração sofre influencia diretamente pelo sistema rodado/solo. Dentre as propriedades do solo que mais influenciam o desempenho de tração de um trator agrícola, pode-se mencionar a textura, as condições de superfície e a umidade. Os rodados influenciam no desempenho pelas suas características construtivas, como largura da banda de rodagem, capacidade de carga sobre o rodado e pressão interna. Segundo Barbosa et al. (2005) o uso de pneus radiais

proporcionou incrementos nos valores de capacidade de tração e potência na barra, diminuição nos valores de consumo específico de combustível e não causou variações no consumo horário de combustível.

Já para Yanai et al. (1999), a influência de diferentes pressões internas nos pneus e carga sobre o rodado motriz, combinados com e sem o uso da tração dianteira auxiliar em um trator submetido a uma força constante na barra de tração, concluíram que a pressão interna e o uso da tração dianteira apresentaram influência significativa na potência na barra de tração.

Em contrapartida Furlani et al. (2005) observaram que a potência na barra de tração apresentou interação significativa entre diferentes sistemas de preparo do solo (convencional, plantio direto e reduzido), e observaram que o preparo convencional exigiu maior potência em relação ao preparo reduzido. Isso pode ser explicado pela maior patinação e, conseqüentemente, menor velocidade nesse sistema.

Para Cortez et al. (2007) a potência na barra é influenciada diretamente pela velocidade, apresentando aumento de 31% na potência com o aumento da velocidade de 3,6 para 6,6 km h⁻¹, ou seja, 45,5% de variação na velocidade.

2.7. Pneus

O sistema de rodado que equipa um trator agrícola é o principal elemento responsável pelo amortecimento entre as irregularidades do solo e a máquina, além de garantir o equilíbrio, propulsão, direcionamento, e desenvolvimento de força na barra de tração (LOPES et al., 2003). Os resultados de desempenho operacional do trator são influenciados pelo tipo de construção, pela pressão de inflação, pela carga aplicada, tipo de dispositivo de tração e desgaste dos rodados pneumáticos (MONTEIRO et al., 2011).

Para exercer a tração, os pneus dos tratores apresentam banda de rodagem com garras que, em contato com o solo, aumentam a eficiência desse rodado; entretanto Gabriel Filho et al. (2010b) avaliaram um trator agrícola equipado com um conjunto de pneus diagonais com garras altas e

outro conjunto de pneus diagonais de mesma dimensão, com garras mais baixas, em solo com cobertura vegetal (palha de milho). Utilizaram-se as velocidades teóricas de 4, 5, 6 e 7 km h⁻¹ e, uma força de tração constante de 25 kN, concluindo que, em solo com cobertura vegetal o desempenho do trator foi semelhante para ambas as alturas de garra dos pneus.

Para Goering et al. (2003) a seleção do pneu é dada de acordo com o tamanho do mesmo, ou seja, quanto maior, melhor ele será, pois pneus de maior diâmetro tem melhor desempenho que pneus de maior largura, suportando a mesma carga e operando com menor pressão. Os pneus devem trabalhar com a pressão indicada para a carga imposta a eles, sendo que pressões abaixo da indicada reduzem a compactação e o movimento vibratório que envolve o deslocamento vertical e angular denominado como efeito “power hop”, comprometendo assim, o controle da direção da máquina.

As características de tração de um pneu agrícola dependem da geometria do pneu (peso, diâmetro, altura e seção), características construtivas (radial, diagonal), pressão interna, carga dinâmica sobre o eixo, tipo de terreno e solo (EKINCI et al., 2015).

Segundo a ASABE (2011) a tração líquida do pneu deve ser estimada com base no índice de mobilidade do mesmo, que leva em consideração fatores como: largura da banda de rodagem, carga aplicada no eixo, entre outros fatores.

2.8. Rendimento de tração

Um dos meios de aproveitamento da potência do trator é a barra de tração, que se destina também a desenvolver força, a qual é comumente direcionada para tração de máquinas e implementos, que precisam ser deslocados ao longo da área de trabalho. A partir de ensaios com a barra de tração, diversos parâmetros quantitativos podem ser obtidos, como à força de tração, velocidade, consumo específico, patinagem, potência disponível na barra de tração, coeficiente de tração e rendimento na barra de tração (MIALHE, 1996; SRIVASTAVA et al., 1996; MASSIERO et al., 2011).

Rendimento na barra de tração é o quanto da potência do motor está sendo convertida em potência na barra de tração, sendo a eficiência de tração o fator mais importante no desempenho de tratores agrícola (SMERDA e CUPERA, 2010).

Este parâmetro é frequentemente usado para comparar ou avaliar tratores. Entretanto, o rendimento na barra de tração é influenciado pelas condições de superfície, pela relação de transmissão e pela relação entre peso e potência do trator (MASSIERO et al., 2011). Pesquisas indicam que cerca de 20-55% da energia transferida para as rodas do trator é desperdiçado na interação pneu-solo, enquanto que aumento da eficiência de tração significa uma utilização mais eficaz do trabalho mecânico do motor de combustão interna para os dispositivos de tração dos tratores (SMERDA; CUPERA, 2010).

De acordo com Monteiro et al. (2013b) o rendimento na barra de tração é usado para comparar ou avaliar tratores. Entretanto, o rendimento na barra de tração é afetado pelas condições da superfície de deslocamento, pela relação de engrenagens e pela relação entre o peso e a potência do trator. Os autores avaliaram as relações entre o peso do trator e diferentes potências: 50; 55 e 60 N kW⁻¹, onde para cada uma dessas relações utilizaram intervalos de força na barra de tração. Foi observado então que o maior rendimento da barra de tração foi obtido para a carga de 25 a 30 kN, onde a média foi de 50,9 e 54,1% respectivamente.

Corroborando com Massiero et al. (2011), que ao avaliarem diferentes superfícies tratativas observaram que os valores médios de rendimento na barra variam em função do modelo e potência do trator, além de variar também em função do tipo de pneu, pressão de inflação, velocidade de deslocamento e relação entre peso e potência do motor.

2.9. Avaliações ergonômicas: vibração e ruído no posto de operação

Considerando-se a tendência de ocupação de grandes áreas e perspectivas de grande expansão do cultivo de importantes produtos agrícolas, a utilização de máquinas agrícolas é de extrema importância.

Assim, o processo de mecanização exige que o operário esteja plenamente adaptado ao posto de trabalho para poder exercer sua função e vice-versa.

Desta forma a ergonomia é definida como a adaptação do trabalho ao homem. Sendo que o trabalho abrange as máquinas, os equipamentos e também toda a situação em que ocorre o relacionamento entre o homem e seu trabalho (LIDA, 2003; FERNANDES et al., 2010)

Os estudos ergonômicos visam adaptar o trabalho ao homem, através da análise da tarefa, da postura e dos movimentos do trabalhador, assim como de suas exigências físicas e psicológicas, a fim de reduzir a fadiga e o estresse, proporcionando um posto de trabalho confortável e seguro. Com isso, reduzindo o cansaço mental e físico dos operadores e, conseqüentemente, aumentando a eficiência no trabalho (KILESSE, et. al., 2006).

Segundo Dhingra et al. (2003) a palavra conforto pode ser “uma harmonia agradável entre fatores fisiológicos, psicológicos e físicos, entre um ser humano e o ambiente” ou, ainda, a “ausência de desconforto”. Um local de trabalho deve ser sadio e agradável, proporcionando o máximo de proteção, sendo o resultado de fatores materiais ou subjetivos, que previne acidentes, doenças ocupacionais, além de proporcionar melhor relacionamento entre a empresa e o empregado.

Além disso, o desconforto extremo acaba por diminuir o rendimento e aumenta a fadiga, o que leva, muitas vezes, o trabalhador ao estresse. Diversos trabalhadores executam suas atividades em ambientes inadequados, expostos a elevados níveis de ruído e vibração, iluminação deficiente e mal distribuída, condições climáticas desfavoráveis (temperatura, umidade relativa, direção e intensidade do vento) e elevados níveis de gases de exaustão, fuligens e poeiras. Esses fatores influenciam, de forma direta, no desempenho, segurança e saúde dos mesmos (FIEDLER et al. 2010).

Um dos fatores indesejáveis que ocorre em tratores agrícolas é a vibração, não só por causa do desconforto produzido, e possível degradação da saúde do operador, mas também por causa do aumento das tensões dinâmicas que podem levar à fadiga e insuficiência dos elementos do trator, (METHA et al. 2000 , LOUTRIDIS et al.,2011).

De acordo com Kroemer e Grandjean (2005), as vibrações são oscilações da massa em função de um ponto fixo, produzidas por movimentos periódicos regulares ou irregulares de uma ferramenta, veículo ou outro mecanismo em contato com o corpo humano, deslocando-o da sua posição de repouso.

Estudos realizados por Santos Filho et al. (2003) objetivaram determinar os níveis de vibração vertical no assento e na base do mesmo de um trator agrícola na operação de gradagem para diferentes velocidades de trabalho, caracterizando a faixa de frequência que apresenta os maiores picos de vibração vertical no assento do operador do trator e analisar o conforto do operador, comparando os níveis de vibração obtidos com as principais normas vigentes. Assim, concluíram que os níveis de aceleração encontrados na parte superior do assento foram consideravelmente inferiores aos níveis da base para as três velocidades (1,39 m/s, 1,67 m/s e 1,95 m/s, para 1a, 2a e 3a marchas, respectivamente), sendo a terceira marcha a que apresentou os maiores níveis de vibração; a faixa de frequência que apresentou os maiores picos de vibração vertical foi entre 2 e 4 Hz; os valores de aceleração ponderada global encontraram-se bem acima dos limites definidos pela norma ISO 2631 para um período de 8 horas de trabalho; e houve crescimento dos níveis de vibração com o aumento da velocidade do sistema trator-implemento.

Normalmente, as vibrações são reduzidas usando-se, no assento uma suspensão de amortecimento de vibração. Particularmente para tratores agrícolas, soluções integradas que são capazes de reduzir as vibrações transmitidas ao operador podem ser adotadas como, sistemas de suspensão com molas e amortecedores para os eixos dianteiros e traseiros e suspensão no posto de operação de tratores agrícolas, (MARSILI et al., 2002; BOAUZARA et al., 2006; SCARLETT et al., 2007).

Já o ruído excessivo pode causar diminuição ou perda da capacidade auditiva quando o tempo de exposição for muito longo. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) estabelece os níveis de ruído para conforto acústico, sendo o nível de ruído de 85 dB permitido por 8 horas de exposição (Brasil, 2014).

Analisando o nível de ruído em um trator com 8 anos de uso Silveira et al. (2008) concluíram que o nível de ruído no valor de 96,7 dB foi superior ao permitido, sendo que o operador só deve ser exposto sem o uso de protetores de ouvido a esse nível por um período de 1 h 15 min, sem causar efeitos nocivos.

Silvestrini et al. (2015) objetivando avaliar a variação espacial do nível de ruído emitido por dois tratores agrícolas com diferentes anos de fabricação (1989 e 2011, respectivamente) e sua influência no conforto do operador, observou que a variabilidade espacial do ruído tinha um nível maior no modelo mais antigo do que no mais novo, sendo prejudicial em quatro metros de distância do trator. Sendo necessário o uso de proteção auditiva durante a jornada de 8 horas de trabalho.

Da mesma forma, Santos et al. (2014) avaliando os níveis de ruído e vibração de um conjunto mecanizado trator-pulverizador, em função da velocidade de trabalho, concluíram que todos os níveis de ruído encontrados foram superiores ao estabelecido pela norma NR-15 de 85 dB para uma jornada de trabalho de 8 horas por dia, sendo que o aumento da velocidade culminou na redução dos níveis de ruído. Já a vibração do espécime estudado obteve valores acima dos definidos pelos limiares da Diretiva europeia de $0,5 \text{ m s}^{-2}$ em todas as velocidades avaliadas, também sendo influenciada pela velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área experimental

Os experimentos foram realizados na fazenda São Domingos, no município de Engenheiro Beltrão – PR, com latitude 23° 50' 53" Sul e longitude 52° 19' 27" Oeste segundo *datum* horizontal WGS84.

3.2. Caracterização do *Transformax*[®]

O trabalho teve como alvo um trator agrícola modificado denominado *Transformax*[®], construído a partir do chassi monobloco de um trator FORD, modelo 6600 4x2, com 56,6 kW (77 cv) de potência nominal no motor.

A estrutura do chassi monobloco é formada pela união dos próprios componentes do trator (motor, transmissão, diferencial). Esses componentes recebem diretamente os esforços de torção devido à tração desenvolvida pelo trator. O modelo 6600 passou por modificações em sua estrutura original como: substituição do eixo dianteiro, por um eixo com maior articulação e um novo chassi com a finalidade de sustentar equipamentos e a cabine e apoiar o chassi monobloco. Essas modificações o tornaram uma máquina mais dinâmica e versátil nas mais diversas operações agrícolas.

O *Transformax*[®], classificado como trator porta ferramentas foi desenvolvido para trabalhar como uma máquina autopropelida capaz de realizar as operações de pulverização, aplicação de fertilizantes e corretivos agrícolas, sem perder a característica de tracionar outros equipamentos e implementos agrícolas (Figura 1).



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 1. *Transformax*[®] com as diferentes configurações: distribuidora de corretivos (a); adubadora a lanço (b); trator agrícola (c) e pulverizador de barras (d).

Durante os testes a máquina foi analisada na configuração trator agrícola (Figura 2).



Figura 2. *Transformax*[®] configuração trator agrícola.

3.2.1. Caracterização dimensional e ponderal

Trata-se das dimensões lineares, de superfície, volumétricas e angulares que caracterizam o espécime ou que tenha influência direta sobre seu comportamento e interações, sob condições operacionais limites e distribuição de massa dos tratores, aplica-se a todas as classes de máquinas agrícolas.

3.2.2. Tamanho do protótipo

Foram realizadas coletas de dados, que definem dimensões externas lineares, indicando características morfológicas do espécime, ou seja, a forma geral externa da máquina denominada “constantes construtivas” (H: altura; C: comprimento e L: largura) de acordo com a metodologia proposta por Mialhe (1996).

3.2.3. Vão livre vertical e horizontal

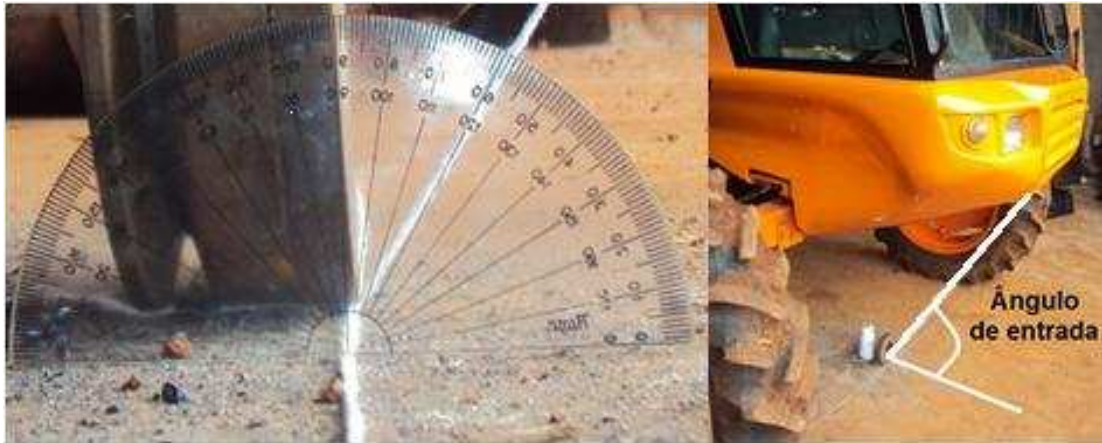
O vão livre vertical (VLV Figura 3a), foi adquirido medindo-se, com uma fita métrica, entre o plano de apoio e o ponto mais baixo da parte central da máquina com todos os componentes levantados. Já o vão livre horizontal (VLH Figura 3b) foi, obtido utilizando-se uma fita métrica, medindo-se a distância entre a parte interna dos pneus traseiros e dianteiros (Figura 3a).



Figura 3. Medição do vão livre vertical (a) e vão livre horizontal (b)

3.2.4. Ângulos de entrada e saída

Estes parâmetros referem-se ao ângulo de inclinação das tangentes às rodas (ou esteiras) traçadas a partir dos pontos extremos (dianteiro e traseiro) mais baixos do chassis do trator. O ângulo de entrada determina o desnível frontal máximo que o trator ou máquina autopropelida é capaz de ultrapassar. O ângulo de saída determina a inclinação máxima do talude que pode ser ultrapassado sem que a máquina ou implemento acoplado ao trator toque o solo. Foram estimados utilizando um transferidor, barbantes e uma câmera fotográfica digital, marca Sony, modelo dsc-wx100 (Figura 4).



(a)



(b)

Figura 4. Medição do ângulo de entrada (a) e ângulo de saída (b).

3.2.5. Raio e espaço de giro

O raio e espaço de giro foram determinados com o volante de direção da máquina totalmente esterçado à esquerda e a direita. Logo o raio de giro foi determinado medindo-se o raio do menor círculo descrito por um ponto da intersecção do plano vertical médio da roda mais externa do trator, metodologia proposta por Mialhe (1996) (Figura 5).

Já o espaço de giro é delimitado pelo deslocamento do ponto de intersecção da perpendicular baixada pelo ponto mais externo do trator.

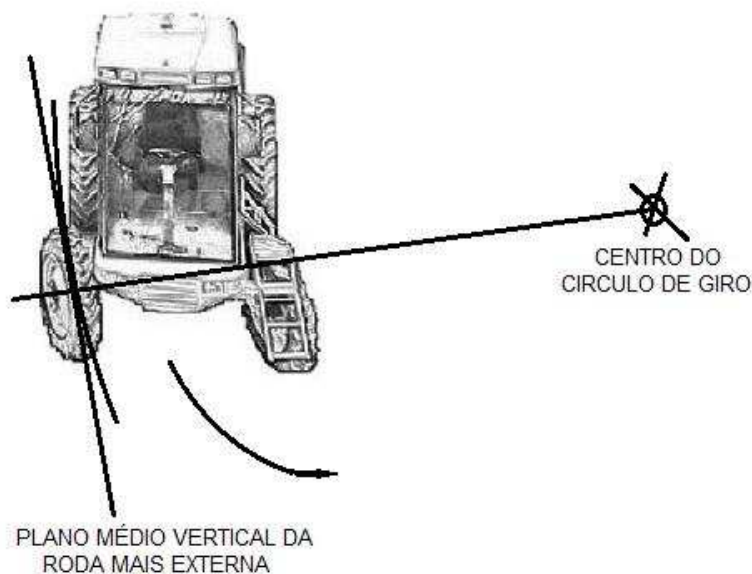


Figura 5. Representação esquemática do raio de giro à esquerda do espécime *Transformax*[®].

3.2.6. Relação entre raio e espaço de giro

A relação entre o raio e o espaço de giro foi determinada conforme proposto por Mialle (1985), utilizando-se a Equação 1:

$$RE\% = \left[\frac{EGE+EGD}{2 (RGE+RGD)} - 1 \right] 100 \quad (1)$$

em que,

RE = Relação do raio e espaço de giro %;

EGE = Espaço de giro à esquerda (m);

EGD = Espaço de giro à direita (m);

RGE = Raio de giro a esquerda (m); e,

RGD = Raio de giro a direita (m).

3.2.7. Peso do trator avaliado

Foi utilizado uma balança de sapata, marca Celmi, modelo CM 1002 com capacidade para 28 toneladas (7 toneladas por sapata), desta forma foi obtido o peso total do espécime, colocando o trator completamente em cima

da mesma, e o peso de cada eixo posicionado o rodado traseiro e posteriormente o rodado dianteiro, na configuração em que o espécime foi analisado (Figura 6). O peso de embarque correspondeu ao trator com tanque cheio de combustível (60 litros), sem lastros líquidos nos pneus e lastros metálicos nos eixos.



Figura 6. Peso total estático do *Transformax*[®].

3.2.8. Centro de gravidade do trator

A determinação do centro de gravidade do espécime foi realizada pelo método das pesagens conforme metodologia disponível em Goering et al. (2003), (Figura 7).



Figura 7. Determinação do centro de gravidade do *Transformax*[®] pelo método da pesagem.

3.2.9. Declividade operacional limite e máxima

Foi determinada a declividade operacional limite do trator na bitola recomendada pelo fabricante, pois o espécime apresenta limitações quanto à regulagem de sua bitola. Sendo calculada pela Equação 2, (MIALHE, 1980).

$$d = \frac{\frac{D_e}{2y}}{\frac{D_e}{2y} + D_e} 100 \quad (2)$$

em que,

d = Declividade operacional limite (%);

D_e = Distância entre eixos (m);

y = Altura do centro de gravidade (m); e,

A declividade máxima operacional foi determinada de acordo com a Equação 3:

$$d_{max} = 0,5 d \quad (3)$$

em que,

d_{max} = Declividade máxima operacional (%); e,

d = Declividade operacional limite.

3.2.10. Transferência de peso

Corresponde à quantidade de peso frontal do trator transferido para o eixo traseiro, fenômeno intrínseco de qualquer veículo que desenvolva força de tração, conforme ilustrado na Figura 8.

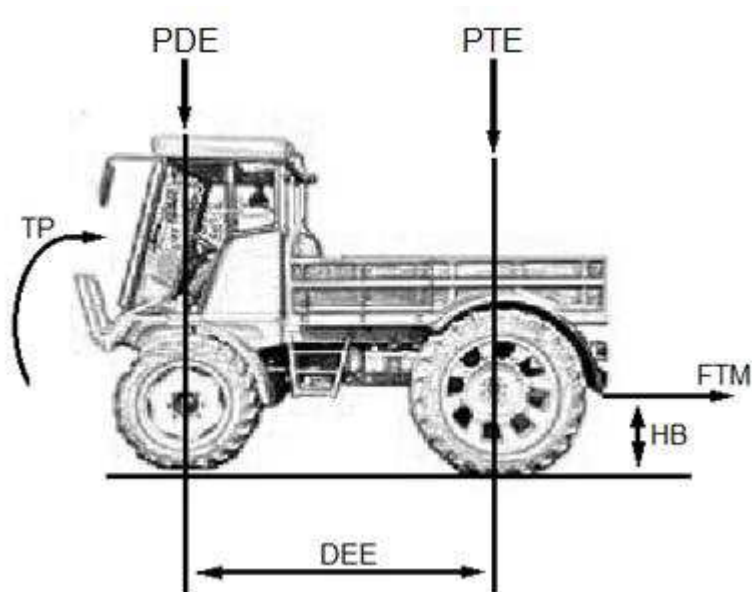


Figura 8. Representação esquemática da transferência de peso do espécime *Transformax*[®]. PDE: Peso dianteiro estático, PDP: Peso traseiro estático, DEE: Distância entre eixos, HB: altura da barra de tração, FTM: Força de tração máxima e TP: Transferência de peso.

A transferência de peso do espécime foi estimada pela Equação 4, sendo que o resultado não pode exceder 80% do PDE para que não ocorra o levantamento do eixo dianteiro do trator, conforme Mialhe (1980).

$$TP = \left(\frac{HB}{DEE} \right) FTM \quad (4)$$

em que,

TP = Transferência de peso, (kN);

HB = Altura da barra de tração (m);

DEE = Distância entre eixos (m); e,

FTM = Força de tração máxima (kN).

3.2.11. Carga dinâmica

A carga dinâmica foi determinada sobre o rodado de tração estimada pela Equação 5:

$$Cd = C_e + \frac{F_t HB}{D_e} \quad (5)$$

em que,

C_d = Carga dinâmica sobre o rodado (kN);

C_e = Carga estática no rodado de tração (kN);

F_t = Força de tração (kN);

HB = Altura da barra de tração (m); e,

D_e = Distância entre eixos (m).

3.3. Parâmetros de desempenho do trator

Para avaliação do desempenho do espécime, os tratamentos foram constituídos na combinação entre três rotações do eixo traseiro, e quatro forças na barra de tração, analisando a influência da velocidade de trabalho e da força de tração desenvolvida pelo espécime em função de dois modelos de pneus, uma vez que foram avaliadas as seguintes características: consumo horário e específico de combustível, patinagem, potência e rendimento na barra.

3.3.1. Tratores utilizados no experimento

3.3.1.1. Trator avaliado

Na configuração *Transformax*[®], acopla-se uma carreta transportadora com a finalidade de substituir os lastros, metálicos e líquidos dos pneus de tração retirados do trator que deu origem ao espécime, tendo em vista que, o peso efetivo nas rodas motrizes determina a capacidade de tração de um trator agrícola.

Para melhorar a eficiência de tração visto que os lastros são de extrema importância para o desempenho de tração de um trator foi colocado um lastro em cima da carreta que substituiu os lastros líquido e metálico.

Na Tabela 1, estão apresentadas as rotações do eixo de tração determinadas para cada modelo de pneu, obtidas com a variação das marchas do trator, no regime rotação do motor, em 2100 rpm.

Tabela 1. Marchas, rotações no eixo motriz e velocidades estimadas utilizadas no experimento, no regime de rotação nominal do motor (2100 rpm).

Marcha	Rotação (rpm)	Velocidade (km/h)	
		Pneu (13.6-38)	Pneu (18.4-34)
2° reduzida	14,33	4,02	4,63
3° reduzida	23,92	6,98	7,73
4° reduzida	32,62	9,27	10,54

3.3.1.2. Trator carga

Para fornecer esforço de tração foi utilizado um trator, marca Valtra®, modelo BM 110, 4X2 com tração dianteira assistida (TDA), e potência de 80,9 kW (110 cv) no motor a 2300 RPM (Figura 9).



Figura 9. Trator carga.

A variação da força aplicada na barra de tração do trator avaliado foi obtida a partir da seleção das marchas do trator lastro. Durante a coleta de dados o trator lastro permaneceu com o motor desligado e engrenado com a marcha que fornecia força de tração utilizada em cada tratamento. Nessa

condição, a resistência ao deslocamento do trator lastro é originária do sistema de transmissão e do torque de cada marcha selecionada para o tratamento.

As marchas do trator lastro e suas respectivas forças de tração foram determinadas em cada experimento, para cada tipo de pneu, representadas na Tabela 2.

Tabela 2. Marchas utilizadas no trator lastro com suas respectivas forças de tração padronizadas

Pneu	Força	Marcha	Força padrão (kN)	CV (%)
18.4-34	1	4° Simples	5,64	6,73
	2	1° Simples	10,54	13,62
	3	4° Reduzida	14,29	17,14
	4	3° Reduzida	18,64	12,99
Pneu	Força	Marcha	Força padrão (kN)	CV (%)
13.6-38	1	4° Simples	5,10	3,50
	2	1° Simples	9,76	10,61
	3	4° Reduzida	13,65	15,66
	4	3° Reduzida	18,57	13,12

3.3.2. Pneus utilizados

Nos testes foram utilizados dois modelos de pneus no eixo traseiro, Pirelli® TM 75 13.6-38 e Pirelli® TM 95 18.4-34, que apresentam diferentes características fornecidas pelo fabricante representadas na Tabela 3. Já no eixo dianteiro foi utilizado apenas o modelo Pirelli® 12.4-28.

Tabela 3. Características dos pneus utilizados no experimento.

Pneu	Class	Banda de rodagem (mm)	Diâmetro do aro (mm)	Carga Máxima (Kg)	Nº de lonas	Pressão de insuflação (psi)
13.6-38	R-1	345,44	965.2	2650	14	49
18.4-34	R-1	467,36	863,6	2990	10	26
12.4-24	R-1	314,96	609,60	1200	10	24

FONTE: Pirelli®

Os pneus testes foram selecionados por terem como principal diferença a largura da banda de rodagem. As pressões de insuflação dos pneus foram abaixo das recomendações 241,31 kPa (35 psi) para o modelo 13.6-38 e 137,89 kPa (20 psi) para o modelo 18.4-34, pressões que são utilizadas na maioria das máquinas autopropelidas da região e que contribuem para uma melhor eficiência de tração (Figura 10).



(a)

(b)

Figura 10. Pneus avaliados no desempenho do Transformax®: a) 13.6-38 e b) 18.4-34.

3.3.3. Pista utilizado no ensaio de tração

A avaliação do desempenho na barra de tração foi realizada em uma pista de solo compactado, com 40 metros de comprimento e 4 metros de largura, com declividade inferior a 1%. A pista foi demarcada em uma estrada que liga os municípios de Peabiru e Engenheiro Beltrão, além de permitir o acesso a diversas propriedades rurais. O solo da região segundo Embrapa (2006) é classificado como Nitossolo Vermelho Eutroférico (Figura 11).

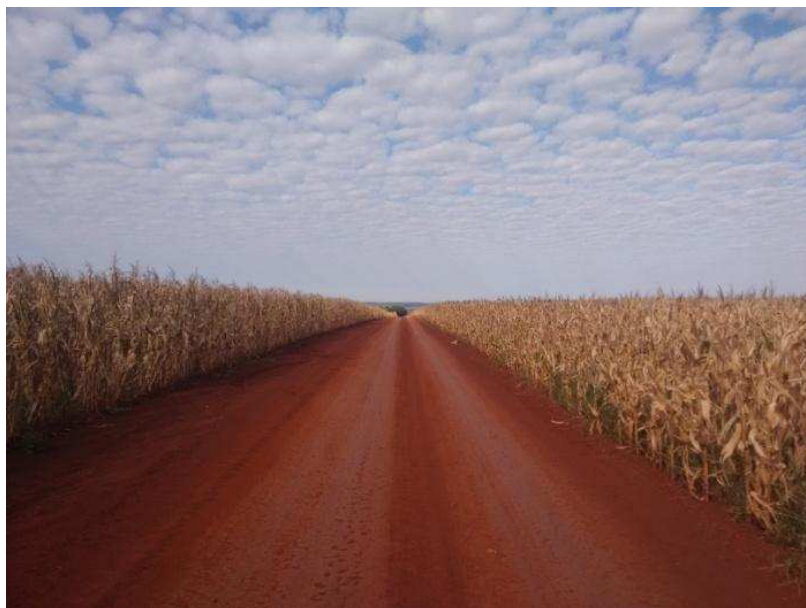


Figura 11. Pista de solo compactado utilizada no ensaio de tração.

3.3.4. Instrumentação eletrônica de aquisição de dados

Todos os dados foram coletados empregando-se um sistema de aquisição de dados, marca Hottinger Baldwin Messtechnik (HBM), modelo *Spider 8*[®], gerenciado pelo software HBM *Catman*[®] 2.2 instalado em um computador portátil embarcado no posto de operação do trator. Os dados adquiridos pelo computador foram armazenados para posterior processamento.

Após a instrumentação eletrônica realizou-se a calibração dos transdutores de modo a se conhecer sua resposta elétrica (tensão ou frequência) em função do parâmetro não elétrico medido, o que permite a configuração do software da melhor forma possível.

O sistema foi configurado para obter informações de todos os transdutores utilizados com uma taxa de amostragem de 50 Hz. No final de cada parcela o sistema era interrompido e os dados gerados pelos transdutores eram salvos numa planilha eletrônica.

3.3.5. Parâmetros obtidos diretamente

3.3.5.1. Força de tração.

A força na barra de tração fornecida pelo trator lastro foi monitorada com o auxílio de uma célula de carga, marca Kratos[®], com capacidade para 50 kN e com sinal de resposta 306,63 N Mv⁻¹ ligada ao sistema de aquisição de dados.

A célula de carga ligada entre os tratores foi acoplada em um suporte, conforme a Figura 12.



Figura 12. Célula de carga e estrutura suporte para a instalação no trator

3.3.5.2. Velocidade de deslocamento

A velocidade de deslocamento real desenvolvida pelo trator foi obtida com o uso de uma unidade de radar de efeito Doppler, marca Dickey John[®], modelo Radar II (Figura 13). O radar utilizado é capaz de medir velocidades entre 0,53 e 96,6 Km h⁻¹, apresentando uma precisão de $\pm 3\%$ para a faixa de velocidade que engloba a utilizada na condução do experimento. Antes da realização do experimento o radar foi calibrado, resultando numa frequência de 59,95 mHz para cada 1 m s⁻¹ de velocidade operacional do trator.



Figura 13. Radar utilizado para medição da velocidade instantânea do Transformax[®].

3.3.5.3. Rotação das rodas motrizes.

Foram monitoradas através de transdutores indutivos acoplados a cada uma das rodas motrizes. A alteração do campo magnético (indução) dos transdutores ocorre pela passagem de aletas equidistantes dispostas nas extremidades de uma coroa circular afixada na campana do eixo traseiro, servindo assim como sistema referencial.

O sistema de aquisição de dados foi configurado para fazer a leitura da frequência com a qual ocorria a alteração do campo magnético dos transdutores de modo que cada alteração correspondesse a 1 Hz, sendo assim o sistema foi calibrado para 45 Hz rps⁻¹. Os transdutores utilizados foram da marca Autonics, modelo PRCM 18, cilíndrico, com distância de detecção de 5 mm e 18 mm de diâmetro (Figura 14).



Figura 14. Sensor indutivo para determinação da velocidade angular dos rodados do Transformax®.

3.3.5.4. Determinação do consumo de combustível

Foi utilizado um medidor de fluxo volumétrico, instalado no sistema de alimentação de combustível do motor do trator teste, sendo o volume expresso em unidade de tempo ($L h^{-1}$).

O medidor de fluxo de combustível utilizado foi da marca FLOWMATE M-III®, modelo LSN40 (Figura 15), com sinal de saída do tipo impulso e precisão de $1 mL impulso^{-1}$.

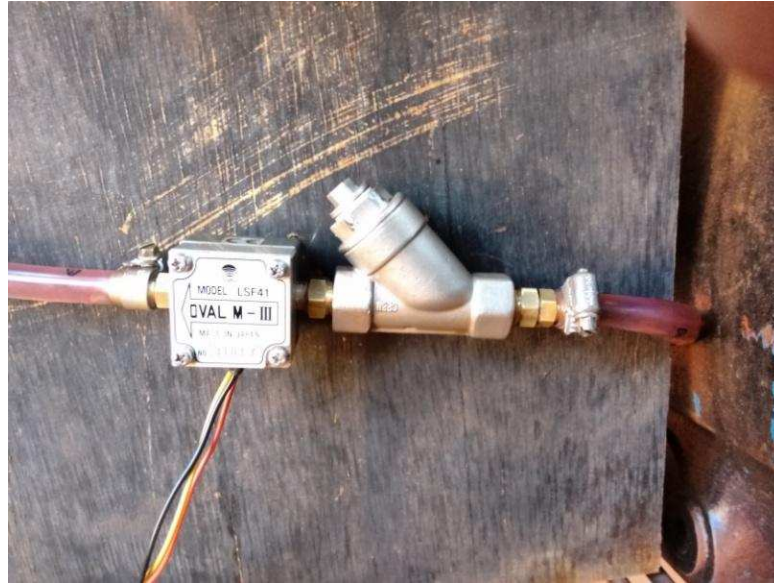


Figura 15. Fluxômetro para determinação do consumo de combustível do transformax®.

3.3.6. Dados obtidos indiretamente

De posse dos dados obtidos por condicionadores de sinais, conversores analógicos/digitais, interfaces de comunicação para transferência das informações digitais e calibração dos transdutores, foram determinados os parâmetros operacionais de forma direta.

A seguir serão relacionados parâmetros que foram obtidos a partir de equações que dependentes de alguns dos parâmetros ditos diretos e de algumas determinações realizada no trator ensaiado.

3.3.6.1. Determinação do raio de rolamento

Essa determinação foi realizada em pista com alta resistência à penetração e com o mínimo de resistência ao rolamento, empregando uma metodologia que consiste em obter a velocidade operacional média $m\ s^{-1}$, com a velocidade angular de cada eixo de tração sendo monitorada e registrada pelo computador. Os procedimentos para obter os raios de rolamentos foram realizados para cada modelo de pneu avaliado. Posteriormente calculada pela Equação 6:

$$r_r = \frac{V_{op}}{2\pi n} \quad (6)$$

em que,

r_r = Raio de rolamento (m);

V_{op} = Velocidade operacional (m s⁻¹); e,

n = Rotação do eixo motriz (rps).

3.3.6.2. Potência disponível na barra de tração

A potência demandada na BT durante os testes foi estimada pela Equação 7:

$$P = F_t V_d \quad (7)$$

em que,

P = Potência (kW);

F_t = Força de tração média requerida (kN); e,

V_d = Velocidade média do trator (m s⁻¹).

3.3.6.3. Consumo horário de combustível

Com base nos dados obtidos pelo fluxômetro instalado no sistema de alimentação de combustível do trator foi estimado o consumo horário calculado pela Equação 8:

$$C_h = \frac{Q}{T} \quad (8)$$

em que,

C_h = Consumo horário ($L h^{-1}$);

Q = Combustível consumido pelo trator (mL); e,

T = Tempo gasto pelo trator durante os testes (s).

3.3.6.4. Consumo específico de combustível

Definido como o volume de combustível consumido por unidade de potência por hora de trabalho foi calculado pela Equação 9:

$$C_e = \frac{C_h}{P} \quad (9)$$

em que,

C_e = consumo específico de combustível ($L kW^{-1} h^{-1}$);

C_h = Consumo horário de combustível ($L h^{-1}$); e,

P = Potência requerida durante a realização dos testes (kW).

3.3.6.5. Patinagem

A razão de redução de percurso foi obtida da relação entre velocidade translacional e rotacional para cada um dos rodados da máquina, determinada pela Equação 10:

$$P_t = \frac{V_r - V_t}{V_r} \quad (10)$$

em que,

P_t = Razão de redução de percurso (%);

V_r = Velocidade rotacional ($m\ s^{-1}$); e,

V_t = Velocidade translacional ($m\ s^{-1}$).

3.3.6.6. Rendimento de tração

O rendimento de tração é a fração da potência disponível no motor que é disponibilizada para a realização de esforços na barra de tração, determinado pela Equação 11, conforme Mialhe (1996).

$$Rt = \frac{P_{Bt}}{P_{Nom}} \quad (11)$$

em que,

RT = Rendimento de tração (adimensional);

Pot. BT = Potência na barra de tração (kW); e,

Pot. Nom. = Potência nominal do motor (kW).

3.3.7. Avaliações ergonômicas

Os parâmetros ergonômicos foram avaliados concomitantemente aos experimentos de desempenho operacional do espécime.

3.3.7.1. Vibração no posto de operação

As vibrações no posto de operação foram obtidas por dois acelerômetros uniaxiais da marca PCB[®], com faixa de operação de 1 a 4000 Hz com sensibilidade de 101,5 mV g^{-1} para o horizontal e 102,8 mV g^{-1} para o vertical. Os acelerômetros foram instalados perpendiculares entre si, embaixo do acento do operador (Figura16),

representados pelo valor da aceleração média quadrática (Root Mean Square – RMS).



Figura 16. Posicionamento dos acelerômetros na base do assento do operador.

A vibração média quadrática foi calculada para cada parcela conforme a Equação 12.

$$V_{RMS} = \left(\frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N a_i^2 \right) \right)^{0,5} \quad (12)$$

em que,

V_{RMS} = Vibração média quadrática ($m s^{-2}$);

N = Números de pontos amostrados (adm); e,

a_i = Vibração instantânea pontual ($m s^{-2}$).

3.3.7.2. Espectro de frequência

Foi realizada uma análise de espectro de frequências para todos os tratamentos com intuito de verificar o comportamento das vibrações verticais e longitudinais na base do posto de operação, de acordo com cada faixa de

frequência. Os espectros de frequências foram obtidos mediante a conversão dos dados de vibração instantânea do domínio do tempo para o domínio da frequência, com a utilização da transformada rápida de Fourier (TRF). A amplitude de vibração foi calculada com base na raiz da soma quadrática dos coeficientes obtidos na série trigonométrica de Fourier, que tomou um número de 2^{10} dados consecutivos de vibração para cada tratamento experimental. Esses resultados foram expressos em forma de gráficos contendo as frequências no eixo das abscissas e a amplitude em termos de vibração RMS no eixo das ordenadas.

3.3.7.3. Ruído no posto de operação

Os níveis de ruído foram determinados com auxílio de um decibelímetro digital da marca MINIPA, modelo MSL – 1350, posicionado próximo ao ouvido do operador (Figura 17), operando no circuito de compensação “A”, o qual origina níveis de pressão sonora ponderadas em “A”. Foram coletados os níveis médios de ruído ao longo das parcelas com escala para leitura em decibel (dB).



Figura 17. Posicionamento do decibelímetro no posto de operação do trator.

3.3.8. Procedimento para realização do experimento

Foi utilizado um conjunto formado pelo trator ensaiado e trator carga, denominado comboio, percorria todo o comprimento da parcela experimental com o sistema de aquisição operando. Quando o comboio chegava ao final da parcela o sistema era pausado e os dados referentes aos parâmetros operacionais de interesse eram salvos em planilha eletrônica para posterior análise.

3.4. Análise dos dados

Em cada experimento, os dados foram avaliados por análise de regressão e os modelos escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste t, ao nível de 5% de probabilidade, na falta de ajuste do modelo e no coeficiente de determinação.

Para a realização dos procedimentos estatísticos foi utilizado o programa computacional R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2012).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Caracterização dimensional e ponderal

4.1.1. Tamanho do *Transformax*[®].

As dimensões externas do trator avaliado podem ser observados no (Quadro 1).

Quadro 1. Características dimensionais do trator agrícola *Transformax*[®]

Parâmetros	Dimensões (m)
Largura (L)	2,33
Comprimento (C)	4,61
Altura (H)	3,15

A caracterização do tamanho do e trator possibilita individualizar a máquina como “amostra” de uma série de fabricação, com finalidade de levantar as constantes construtivas e especificações que particularizam o espécime, distinguindo-o de máquinas semelhantes e auxiliando no planejamento de um abrigo para o alojamento da mesma quando fora de serviço.

4.1.2. Vão livre vertical e vão livre horizontal

Os valores mensurados para vão livre vertical e vão livre horizontal, foram, respectivamente, 500 mm e 1720 mm. É interessante relatar que quanto maior o vão livre vertical, melhor o deslocamento de máquinas que operem em lavouras já implantadas, sem causar tombamento ou injúrias à mesma. Já o vão livre horizontal (VLH), deve ser ajustada para possibilitar o livre tráfego de máquinas na entre linha das culturas e permite que o mesmo trabalhe em topografia mais ou menos acidentada. Quanto maior o valor (VLH), maior a angulação do terreno que a máquina poderá trabalhar sem que ocorra o risco de capotamento lateralmente e melhor distribuição de

peso da máquina ao solo, causando menor compactação e sendo esta mais superficial.

4.1.3. Ângulo de entrada e saída

Os valores para os ângulos de entrada e saída foram, respectivamente 60° e 40°. Com base nos ângulos encontrados, o trator *Transformax*[®] é capaz de ultrapassar barrancos, camalhões, entre outros, sem que haja contato de sua parte frontal com o objeto a ser ultrapassado. Estas medidas representam significativas informações para a escolha da máquina em função da topografia da área a ser trabalhada.

4.1.4. Raio e espaço de giro

No que se refere ao raio e espaço de giro, percebeu-se uma diferença entre os valores de raio de giro à direita e à esquerda, bem como do espaço de giro (Quadro 2).

Quadro 2. Valores do raio e do espaço de giro do espécime *Transformax*[®].

Parâmetros	Valores (m)
Raio de giro à direita	6,70
Raio de giro à esquerda	6,65
Espaço de giro à direita	13,45
Espaço de giro à esquerda	13,35

Tal resultado pode ser explicado por uma possível folga no sistema de direção. De uma maneira geral, quanto menor for o valor do raio e espaço de giro, mais eficiente será a máquina em realizar manobras em estradas rurais e carregadores estreitos, manobras no interior de talhões de culturas perenes, redução dos tempos de manobras de cabeceiras e facilidade de manobras em pátios e galpões de máquinas.

4.1.5. Relação entre raio e espaço de giro

Após coleta dos valores de raio e espaço de giro, calculou-se a relação entre ambos, cujo valor observado foi de 0,37%. Segundo classificação proposta por Mialhe (1980), o valor apresentado é considerado como ótimo, onde valores <3,0% se enquadram em ótimo; 3,1 a 5,9% bom; 6,0 a 9,0% regular e >9,0% é dado como deficiente.

4.1.6. Peso estático do trator.

O peso total e o peso de cada eixo do *Transformax*[®], sem lastro líquido e lastro metálico nos eixos e nos pneus e com o tanque de combustível completo, obtidos por meio da balança de sapata estão enumerados no Quadro 3.

Quadro 3. Peso estático total do *Transformax*[®] com os diferentes pneus avaliados e de cada eixo.

Pneu	Peso total (Kg)	Peso do eixo dianteiro (Kg)	Peso do eixo traseiro (Kg)
13.6	4.130	1.790	2.340
18.4	4.320	1.803	2.517

4.1.7. Centro de Gravidade

Na Figura 18 é representado a localização do centro de gravidade (CG) da máquina equipado com dispositivo de tração 13.6 em um plano paralelo ao solo e com o seu eixo dianteiro elevado a 130 mm de altura do solo.

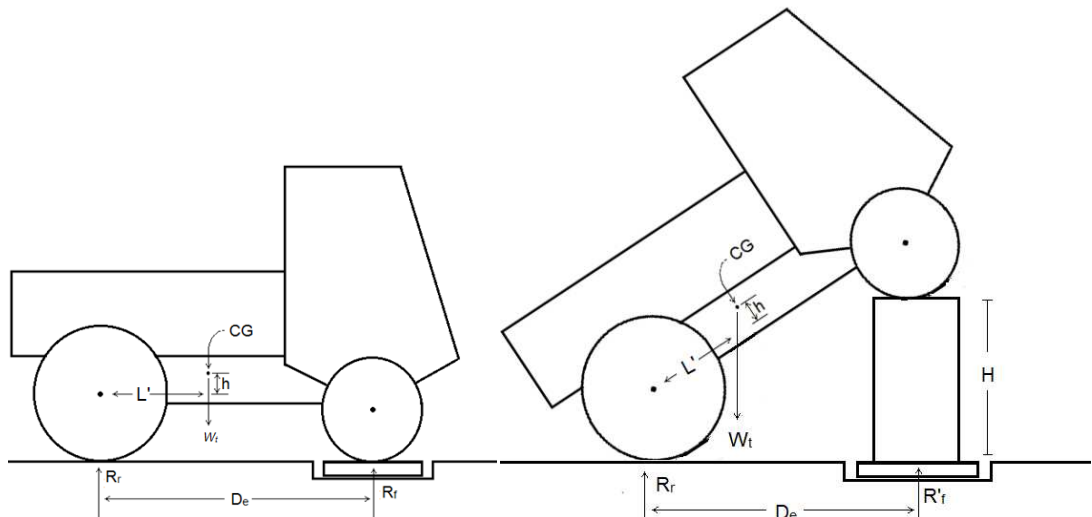


Figura 18: Localização do centro de gravidade do *Transformax*® equipado com pneu 13.6.

Os valores utilizados para calcular o CG estão disponíveis na Quadro 4. A distância vertical e horizontal em relação ao eixo traseiro foi de 245,3 mm e 1.208,8 mm, respectivamente, estimando o posicionamento do centro de massas da máquina avaliada.

Khoury Junior et al. (2009) quando simularam computacionalmente a estabilidade de tratores agrícolas visando analisar o comportamento dinâmico de um trator agrícola 4x2 em diferentes condições de operação e de terreno, verificaram que a localização do centro de gravidade na vertical foi o fator que mais afetou a estabilidade do trator em tombamentos laterais. Já, a localização do centro de gravidade na longitudinal e a distância entre eixos afetaram mais a estabilidade do trator em tombamentos para trás.

Quadro 4. Parâmetros para estimar o centro de gravidade do *Transformax*[®] equipado com pneu 13.6

Item	Descrição	Unid.	Valor
W_t	Peso total do trator	kg	4.130
R_r	Peso do eixo traseiro (Plano)	kg	2.340
R_f	Peso do eixo dianteiro (Plano)	kg	1.790
R'_f	Peso do eixo dianteiro (inclinado)	kg	1.500
H	Elevação	mm	1.300
Δr	Diferença entre altura dos eixos	mm	160,00
h	Distância vertical do CG ao eixo traseiro	mm	245,3
L	Distância horizontal do CG ao eixo traseiro (plano)	mm	1.204,8
L'	Distância horizontal do CG ao eixo traseiro (elevado)	mm	2.457,3
D_e	Distância entre eixos	mm	2.780

A representação da localização do centro de gravidade do *Transformax*[®] equipado com pneu 18.4 pode ser visualizada na Figura 19.

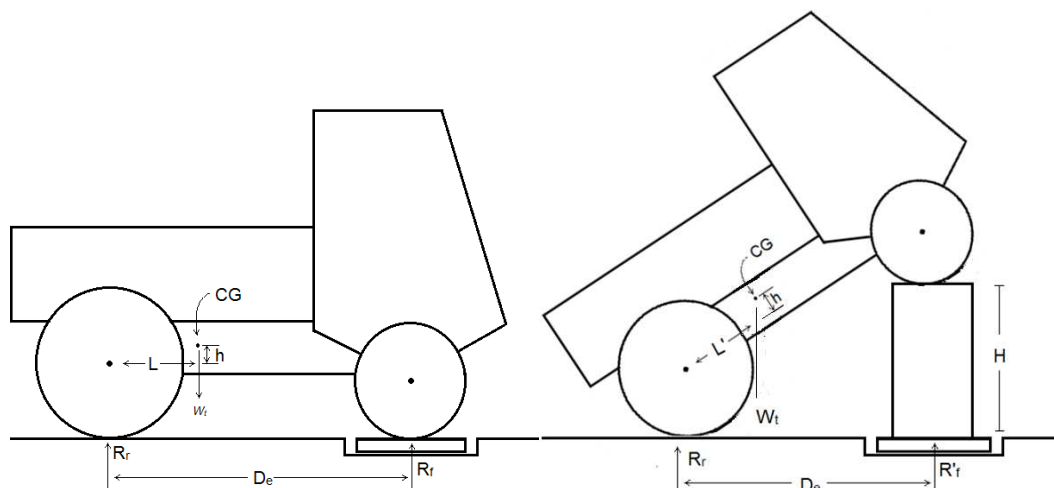


Figura19: Localização do centro de gravidade do *Transformax*[®] equipado com pneu 14.8.

A distância horizontal e vertical do CG do trator avaliado equipado com rodado 18.4 estão apresentadas no Quadro 5. Quando equipado com pneu 18.4 o espécime estudado apresentou uma distância vertical com relação ao eixo traseiro de 137,5 mm e 1.160,2 mm para distância

horizontal, valores inferiores ao encontrado na máquina equipada com pneu 13.6, possibilitando a concepção de um veículo seguro e estável.

Quadro 5. Parâmetros para estimar o centro de gravidade do *Transformax*[®] equipado com pneu 18.4

Item	Descrição	Unid.	Valor
W_t	Peso total do trator	kg	4.320
R_r	Peso do eixo traserio (Plano)	kg	2.517
R_f	Peso do eixo dianteiro (Plano)	kg	1.803
R'_f	Peso do eixo dianteriro (inclinado)	kg	1.625
H	Elevação	mm	1.300
Δr	Diferença entre altura dos eixos	mm	210,0
h	Distância vertical do CG ao eixo traseiro	mm	137,5
L	Distância horizontal do CG ao eixo traseiro	mm	1.160,2
L'	Distância horizontal do CG ao eixo traseiro (elevado)	mm	2.457,3
D_e	Distância entre eixos	mm	2.780

4.1.8. Transferência de peso

Na Figura 21 estão apresentados os valores estimados da transferência de peso em (kN) do eixo dianteiro para o traseiro do *Transformax*[®] em função da força aplicada na barra de tração.

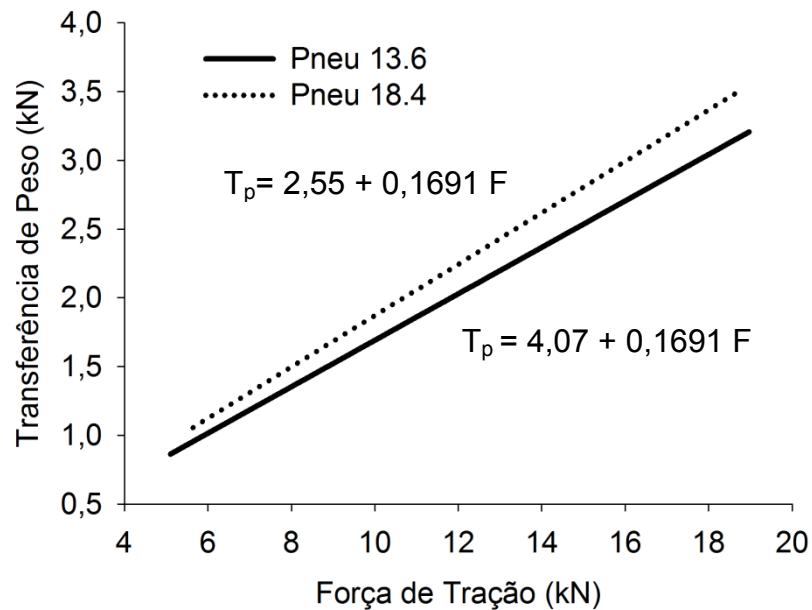


Figura 21. Transferência de peso do eixo dianteiro para o eixo traseiro em função da força de tração.

Decorrente do aumento da força aplicada na barra de tração é possível verificar que o *Transformax*[®] apresentou acréscimo da transferência de peso do eixo dianteiro para o eixo traseiro, para ambos os pneus testados com maior efeito para o dispositivo de tração 18.4, fazendo que este tenha maior coeficiente de tração, ou seja, relação entre a tração na barra e a carga dinâmica atuando no dispositivo de tração. Portanto, recebendo mais condições para melhorar o desempenho do trator em realizar tração.

Em trabalho realizado por Rinaldi (2011) avaliando parâmetros de desempenho de tratores comercializado no Brasil, concluiu que maquinários com tração dianteira auxiliar 4x2 (TDA), transferem mais peso do eixo dianteiro para o traseiro, que os tratores 4x2 devido à distribuição de peso mais equilibrada entre os eixos do trator, podendo ser mais acentuada com a adição de lastro.

4.1.9. Carga dinâmica

Os valores estimados da carga dinâmica atuando sobre o eixo motriz do trator avaliado no teste de tração com o pneu 13.6 e 18.4 podem ser visualizados na Figura 20.

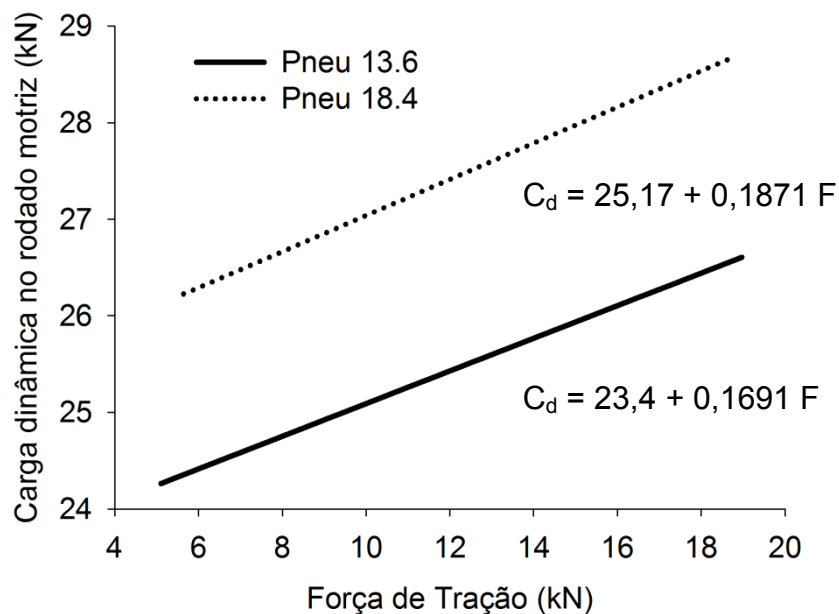


Figura 20. Carga dinâmica aplicado no eixo traseiro.

Com o acréscimo da força de tração é possível verificar o aumento da carga sobre o eixo motriz da máquina trabalhando com o pneu 18.4 e 13.6, que pode influenciar no desempenho do trator e, conseqüentemente, acelerar os desgastes dos pneus, em decorrência da variação nos valores de transferência de peso, ressaltando-se assim a importância da adequação de lastros em máquinas agrícolas.

4.1.10. Declividade operacional limite e máxima

São apresentados no Quadro 6, os valores encontrados da declividade operacional limite em porcentagem, em função dos pneus analisados.

Quadro 6. Declividade operacional limite do *Transformax*[®] com os diferentes pneus avaliados.

Pneu	Declividade operacional limite (%)
13.6	33,96
18.4	36,09

Os resultados expõem que com o pneu 18.4 o trator está apto a trabalhar com mais segurança em declives mais acentuadas. Isso provavelmente pode estar relacionado com uma maior área de contato do

rodado com o solo e com a localização do centro de gravidade mais próxima do solo, proporcionando mais estabilidade a máquina.

No Quadro 7, são expostos os valores da declividade máxima operacional em porcentagem, em função dos pneus analisados.

Quadro 7. Declividade máxima operacional do *Transformax*[®] com os diferentes pneus avaliados.

Pneu	Declividade máxima operacional (%)
13.6	16,98
18.4	18,04

4.2. Parâmetros de desempenho do trator

4.2.1. Raio de rolamento

Os resultados obtidos na determinação do raio de rolamento dos pneus utilizados no experimento estão apresentados no Quadro 8.

Quadro 8. Valores do raio de rolamento (m) e pressão de insuflação utilizada (kPa) nos pneus utilizado do experimento.

Pneu	Pressão (kPa)	Raio de rolamento (m)
13.6-38	241,31	0,8241
18.4-34	137,89	0,8573

4.2.2. Razão de redução de percurso – Patinagem

De acordo com os dados apresentados, a rotação do eixo motriz e a força de tração apresentaram efeito linear, significativo e positivo no percentual de patinagem apresentados pelos pneus avaliados (Figura 22).

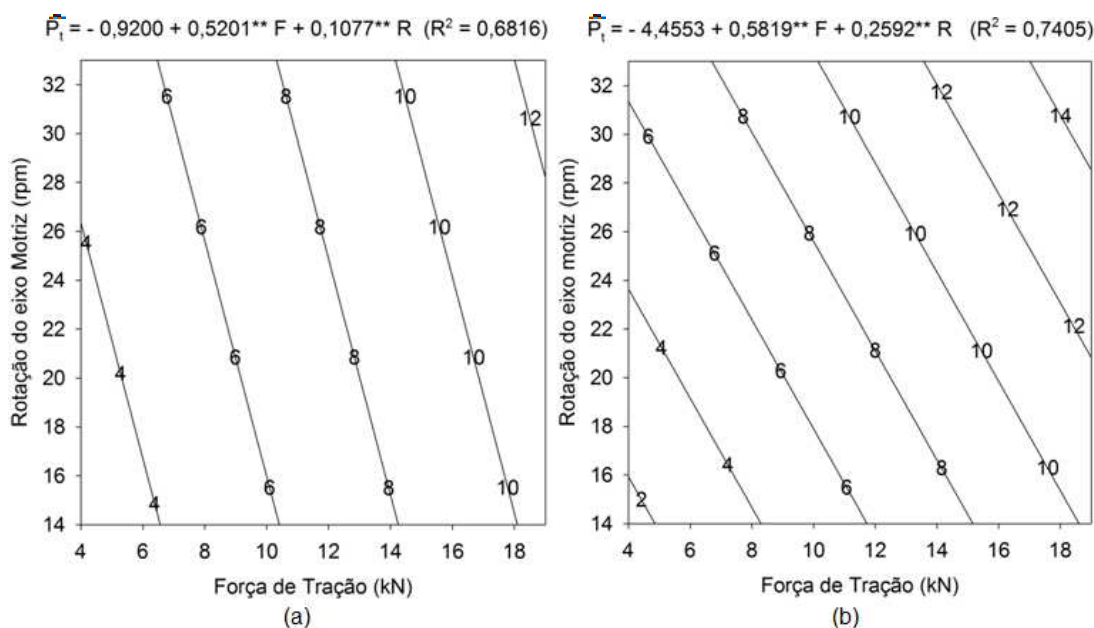


Figura 22. Patinagem (P_t - %) em função da força de tração (F - kN) e rotação do eixo motriz (R - rpm) para os pneus 18.4 (a) e 13.6 (b), equação ajustada e coeficiente de determinação (R^2) * - Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

Para uma mesma rotação do eixo motriz, o incremento de uma unidade na força de tração correspondeu a um acréscimo de 0,52% para o pneu 18.4 e 0,58% para o pneu 13.6, na patinagem dos rodados do trator estudado. A variável rotação do eixo motriz apresentou para uma mesma unidade de força de tração um aumento na patinagem dos rodados de 0,25 e 0,10 % para o pneu 13.6 e 18.4, respectivamente.

O trator equipado com pneu 13.6 apresentou maiores percentuais de patinagem (Figura 22b). Na menor força de tração 5,10 kN, e menor rotação do eixo motriz 14,33 rpm a patinagem do rodado atingiu 2,2%, já com o aumento da força de tração para 18,57 kN e a rotação do eixo motriz em 32,62 rpm a porcentagem chegou a 14,8%. Entretanto, para o dispositivo de tração 18.4, na menor força de tração 5,64 kN, e menor rotação do eixo motriz 14,33 rpm a patinagem do rodado atingiu 3,5%, e com o aumento da força para 18,64 kN e a rotação para 32,62 rpm este valor chegou a 12,28%. Os dados apresentados corroboram com o sugerido pela ASABE (2006) em solo não mobilizado.

O menor percentual de patinagem do rodado 18.4 pode ser justificada pela característica construtiva do pneu, por apresentar uma maior banda de rodagem, parte essa que proporciona maior aderência com a superfície da

pista de rolamento aumentando a capacidade do trator desenvolver tração, e fornece potência suficiente para desempenhar a operação. Esta aderência depende da carga dinâmica, que é o peso total apoiado sobre o eixo motriz do trator e da natureza e condição da zona de contato.

A relação entre a área de contato do pneu com o solo contribuiu para o estudo realizado por Monteiro et al. (2013a), na avaliação da patinagem dos rodados de um trator agrícola em função de duas pressões de insuflação nos rodados traseiros (110,4 e 138 kPa) e diferentes forças de tração (45 kN e 50 kN). Os resultados encontrados demonstraram uma queda no percentual de patinagem dos rodados do trator, para uma maior área de contato rodado/solo na pressão de 110,4 kPa e para maiores forças de tração o autor encontrou um acréscimo no percentual de patinagem dos rodados motrizes.

Palma et al. (2010), avaliaram o desempenho na barra de tração de um trator agrícola de 65,32 kW de potência nominal no motor, equipado com pneu 18.4 tracionando uma semeadora adubador em diferentes profundidades de trabalho e encontraram um aumento do percentual de patinagem nos rodados de 27,8% do trator, passando de uma força de 19,19 kN para 33,60 kN.

Para avaliar patinagem em função da força de tração e velocidade de deslocamento Cepik et al. (2005) utilizaram um trator agrícola 4x2 TDA de 53 kW de potência no motor e encontrou um acréscimo nos percentuais de patinagem dos rodados da máquina chegando a 20% com o aumento da velocidade de deslocamento e força de tração.

Concomitante, em estudo do percentual de patinagem de um trator agrícola de 82,3 kW de potência no motor (com e sem TDA acionada), Damanauskas e Janulevicius (2015) concluíram que o desempenho operacional de um trator agrícola sem tração dianteira (TDA desligada) pode ser comprometida em função da patinagem que apresentou 11% a mais em relação ao o trator com a TDA. Segundo Molari et al. (2012), Barbosa e Magalhães (2015) uma forma de reduzir o percentual de patinagem de um trator sem TDA é aumentando a área de contato do rodado com a pista, reduzindo a pressão de insuflação ou optando por rodados com maior largura de banda de rodagem.

4.2.3. Potência na Barra de Tração

Quanto à potência na Barra de tração, é possível visualizar que as variáveis rotações do eixo motriz e a força de tração apresentaram efeito linear, significativo e positivo na potência demandada na barra de tração (Figura 23).

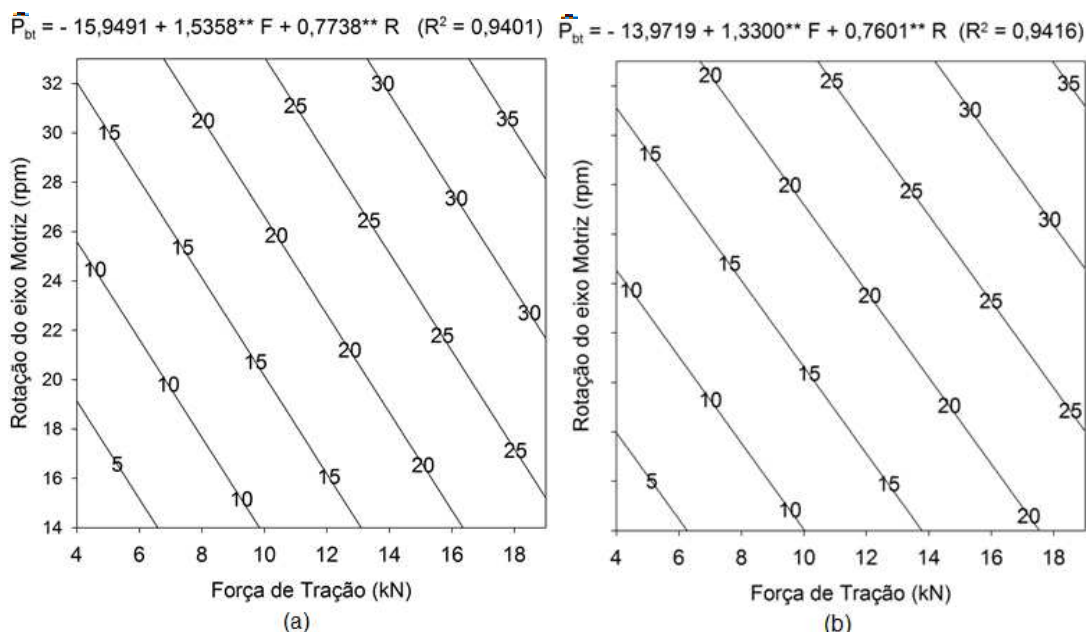


Figura 23. Potência na barra de tração (P_{bt} - kW) em função da força de tração (F - kN) e rotação do eixo motriz (R - rpm) para os pneus (a) 18.4 e (b) 13.6, equação ajustada e coeficiente de determinação (R^2) * - Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

Com o incremento de uma unidade na rotação do eixo motriz para uma mesma força de tração, ocorreu um acréscimo de 0,76 e 0,77 kW para o pneu 13.6 e 18.4, respectivamente, na potência na barra de tração. Com o aumento de uma unidade da variável força de tração para uma mesma rotação do eixo motriz promoveu um acréscimo na potência na barra de tração de 1,33 kW para o pneu 13.6 e 1,53 kW para o pneu 18.4.

Trabalhando com uma força de 5,10 kN em uma rotação do eixo motriz de 14,33 rpm, o pneu 13,6 apresentou potência na barra de tração de 3,7 kW, logo, que a força aumentou para 18,57 kN e a rotação para 32,62 rpm o resultado encontrado foi de 35,5 kW. Diferentemente, o pneu 18.4, exibiu potência na barra de tração de 3,8 kW na menor faixa de força e rotação, e 37,9 kW na maior faixa dos parâmetros expostos. O resultado

encontrado no teste com pneu 18.4 pode ser justificado pelo fato do dispositivo de tração apresentar maior raio de rolamento, que conseqüentemente contribuiu para maior velocidade de deslocamento da máquina.

A potência na barra de tração mostrou-se inversamente proporcional ao percentual de patinagem apresentado pelos rodados do trator em estudo quando equipado com pneu 13.6, pois quanto maior o percentual de patinagem dos rodados, menor é a velocidade translacional da máquina, o que condiciona a redução do resultado do produto força de tração e velocidade. Ressaltando que o trator utilizado no experimento apresenta uma potência nominal no motor de 56,6 kW, e a potência na barra de tração com pneu 18.4 atingiu 36,4 kW, ou seja, foi exigido do trator 64,3% de sua capacidade.

Monteiro et al. (2011) estudaram dois modelos de pneus (radial e diagonal) no desempenho de tração de um trator agrícola em pista de solo firme e verificaram que a potência na barra de tração não diferiu estatisticamente para ambos os pneus avaliados, mesmo apresentando diferentes características construtivas.

Já para Gabriel Filho (2010a) na avaliação do desempenho de um trator agrícola de 88 kW equipado com pneus diagonais operando em diferentes velocidades (4, 5, 7 e 8 km h⁻¹) de semeadura na cultura do milho encontrou um aumento da potência na barra em função da velocidade de deslocamento para uma mesma força de tração de 25 kN.

Para estudar a potência na barra de tração, Salvador et al. (2008) avaliaram um trator de 122 kW de potência no motor, na operação de subsolagem antes e depois do preparo periódico do solo e encontraram um acréscimo na potência na barra de tração avaliado na operação de subsolagem antes do preparo periódico do solo, que segundo o autor foi a operação que demandou maior força de tração já que a realização da subsolagem depois dos sistemas de preparo periódico requereu 15% menos de potência na barra de tração.

4.2.4. Consumo horário de combustível

As variáveis independentes, força de tração e rotação do eixo motriz apresentaram efeito linear significativo e positivo no consumo horário de combustível da máquina estudada (Figura 24).

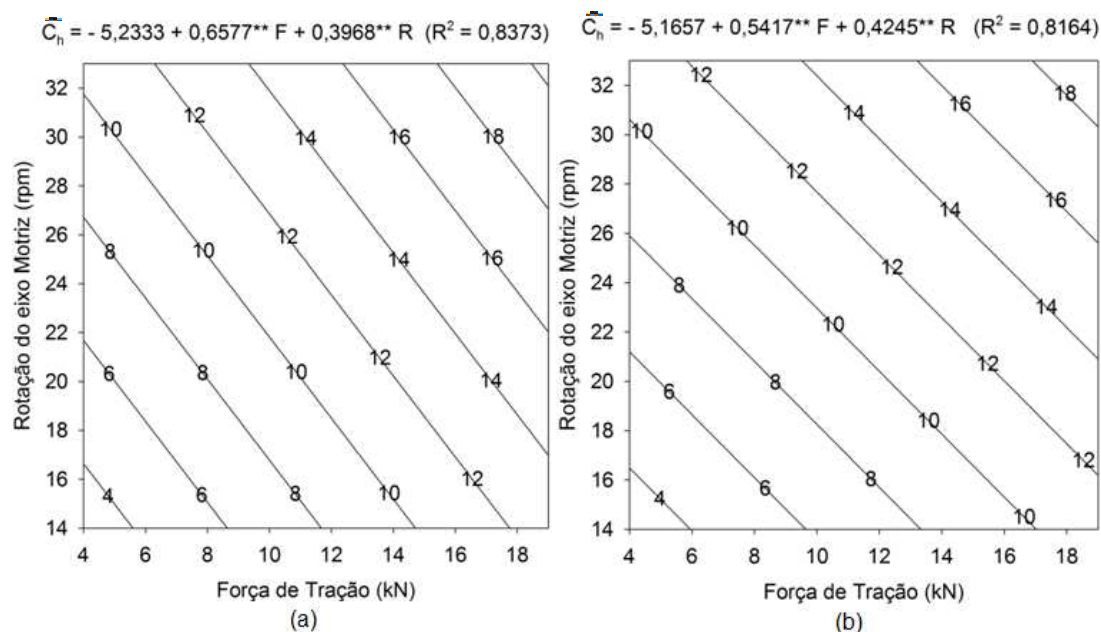


Figura 24. Consumo horário ($C_h - L h^{-1}$) em função da força de tração ($F - kN$) e rotação do eixo motriz ($R - rpm$) para os pneus 18.4 (a) e 13.6 (b), equação ajustada e coeficiente de determinação (R^2) ** - Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

O acréscimo de uma unidade de força de tração para uma mesma unidade de rotação do eixo motriz correspondeu a um aumento no consumo horário de combustível de $0,65 L h^{-1}$ e $0,54 L h^{-1}$ para o pneu 18.4 e 13.6, respectivamente. Para o incremento de uma unidade de rotação do eixo motriz para uma mesma carga aplicado na barra de tração elevou o consumo horário da máquina avaliada quando equipada com o pneu 18.4 em $0,39 L h^{-1}$ e de $0,42 L h^{-1}$ para o pneu 13.6.

O *Transformax*[®] equipado com pneu 18.4 apresentou maior consumo horário de combustível do que quando provido com o pneu 13.6. Quando se submeteu uma força de 5,10 kN em uma rotação do eixo motriz de 14,33 rpm a máquina com o pneu 13.6 apresentou consumo horário de $3,68 L h^{-1}$. Em seguida, aplicando-se uma maior força na faixa de 18,57 kN e rotação 32,62 rpm o consumo foi de $18,7 L h^{-1}$. Variavelmente, o espécime avaliado

com o pneu 18.4, exibiu consumo horário de 4,16 L h⁻¹ na menor, e 19,96 L h⁻¹ na maior faixa de força e rotação.

Provavelmente este evento é decorrente das características construtivas do dispositivo de tração, que contribuiu para o aumento da força de atrito do pneu com o solo e resistência ao rolamento do mesmo, aumentando o consumo horário de combustível da máquina para manter a rotação do motor nos níveis desejados para exercer a tração das forças avaliadas, pois o regime de rotação de um motor a diesel depende da quantidade de combustível injetada e a carga aplicada à árvore de manivela.

Essa mesma variável influenciou o trabalho realizado por Liang et al. (2013), encontraram resultados de consumo horário de combustível de um trator agrícola de 15.9 L h⁻¹ e 27,5 L h⁻¹ para as forças de 10,5 kN e 27,8 kN, respectivamente.

Da mesma forma, para analisar o desempenho de um trator agrícola John Deere[®] 6600 de (88 kW) de potência no motor a 2100 rpm, Gabriel Filho et al. (2010a) avaliaram o consumo horário de combustível em três diferentes preparos de solo em função da velocidade de deslocamento (4, 5, 7 e 8 km h⁻¹) obtidas pela seleção de marchas do trator e observaram um acréscimo no consumo horário de combustível com o aumento da velocidade de deslocamento da máquina em 4,9 L h⁻¹, 4,8 L h⁻¹ e 4,3 L h⁻¹ para solo mobilizado, solo firme e coberto com palha de milho e braquiária e solo firme e descoberto, respectivamente. Resultado semelhante encontrado por Bellé et al. (2014) no estudo do desempenho de um trator agrícola em diferentes velocidades de deslocamento (3,0; 6,0 e 9,0 km h⁻¹), o aumento da velocidade de deslocamento proporcionou acréscimo consumo horário de combustível em 6,59, 7,43 e 8,53 L h⁻¹.

Ao avaliarem o consumo de combustível de um trator 4x2 (TDA) de 82,3 kW de potência no motor em função da pressão insuflação dos pneus, Janulevicius e Damanauskas (2015), observaram que quando as pressões nos pneus dianteiro e traseiro (70 a 230 kPa), o consumo de combustível variou na gama de 3,72 a 4,35 L h⁻¹, já o maior consumo de combustível (4,3 L h⁻¹) foi notado quando a pressão nos pneus traseiros estava no seu mínimo (70 kPa), fator que segundo os autores contribuiu para o aumento na

banda de rodagem do pneu proporcionando o aumento da resistência ao rolamento dos rodados do trator.

4.2.5. Consumo específico de combustível

Os resultados, do consumo específico de combustível ($L h^{-1} kW^{-1}$) do trator avaliado, demonstraram que as variáveis independentes, força de tração e rotação do eixo motriz apresentou efeito linear significativo e negativo neste parâmetro, para ambos os pneus avaliados (Figura 25).

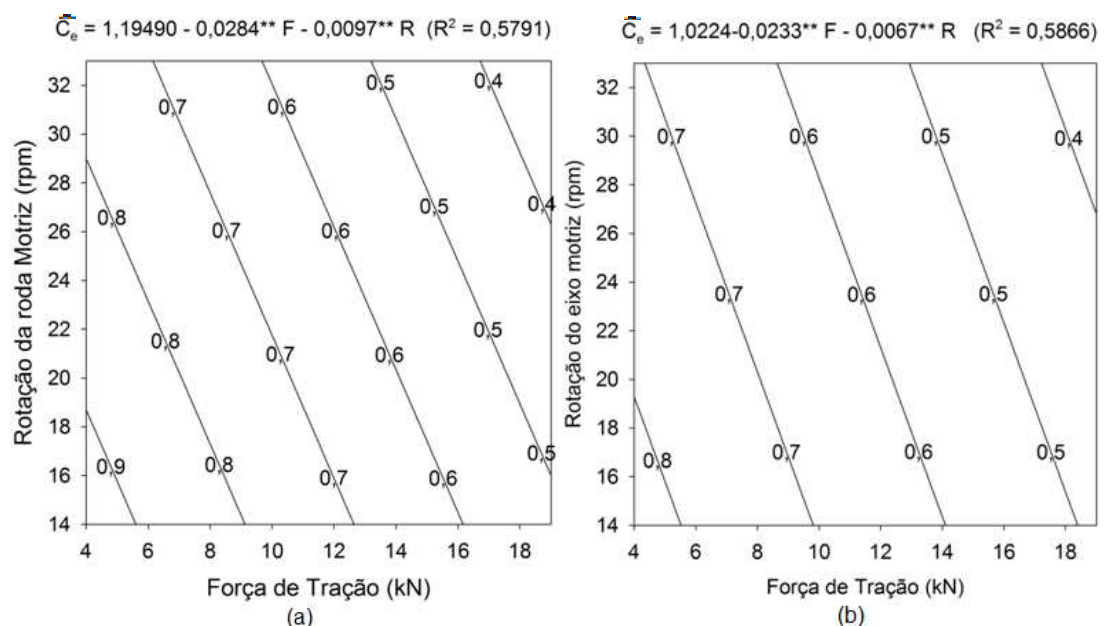


Figura 25. Consumo específico de combustível ($C_e - L h^{-1} kW^{-1}$) em função da força de tração ($F - kN$) e rotação do eixo motriz ($R - rpm$) para os pneus 18.4 (a) e 13.6 (b), equação ajustada e coeficiente de determinação (R^2) * - Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

Para uma mesma força de tração o incremento de uma unidade de rotação do eixo motriz resulta na redução de 0,0097 e 0,0067 $L h^{-1} kW^{-1}$ para o pneu 18.4 e 13.6, respectivamente, no consumo específico de combustível. O acréscimo de uma unidade de força aplicada na barra de tração do trator para uma mesma rotação do eixo motriz apresentou uma redução no consumo específico de combustível da máquina equipada com o pneu 18.4 de 0,028 $L h^{-1} kW^{-1}$ e 0,023 $L h^{-1} kW^{-1}$ para o pneu 13.6.

Na Figura 25 é possível verificar que o motor do trator, tanto equipado com o pneu 13.6 e 18.4, apresentou uma eficiência em converter a energia

contida no combustível em energia disponível na barra de tração, pois o consumo específico de combustível é dependente dos valores de potência na barra de tração e do consumo horário.

Partindo desse pressuposto, a máquina equipada com rodado 13.6, trabalhando na força de 5,10 kN e rotação do eixo motriz de 14,33 rpm apresentou um consumo específico de combustível de $0,80 \text{ L h}^{-1} \text{ kW}^{-1}$, aumentando-se os valores de força (18,57 kN) e rotação (32,62 rpm) o consumo reduziu para $0,37 \text{ L h}^{-1} \text{ kW}^{-1}$. Contudo, o pneu 18.4 operando em menor força e rotação (5,64 kN e 14,33 rpm, respectivamente) exibiu consumo específico de $0,89 \text{ L h}^{-1} \text{ kW}^{-1}$, decrescendo esse valor para $0,34 \text{ L h}^{-1} \text{ kW}^{-1}$ quando avaliado em uma maior força e rotação do eixo motriz (18,64 kN e 32,62 concomitantemente).

Este comportamento pode ser justificado pelo fato da máquina equipada com o pneu 13.6, trabalhando na maior força e maior rotação do eixo, apresentaram um percentual de patinagem que contribuiu para a redução da velocidade de deslocamento, que como consequência, ocasionou um menor valor de potência na barra e menor eficiência energética do combustível.

Almeida et al. (2010) avaliaram a demanda energética de um trator 4x2 (TDA) com potência 85 cv e encontraram um acréscimo no consumo específico de combustível trabalhando com menores velocidades de deslocamento, em 36,2%, que segundo o autor quanto menor a velocidade de deslocamento maior o tempo para percorrer as parcelas, gerando assim o aumento no consumo específico.

No estudo de desempenho de tratores, Fiorese et al. (2015) avaliaram tratores com potência entre 69,9 e 78,7 kW e diferentes níveis de força aplicada na barra de tração (5, 10, 15, 20, 25 e 27 kN), e verificaram que o aumento da força de tração proporcionou um decréscimo no consumo específico de combustível de aproximadamente $480 \text{ g h}^{-1} \text{ kW}^{-1}$ para ambos os tratores avaliados, mostrando eficiência em converter a energia presente no combustível em energia mecânica.

4.2.6. Rendimento na barra de tração

Os resultados do rendimento na barra de tração do trator avaliado quando equipado com dispositivo de tração 18.4 e 13.6, demonstrou que as variáveis, rotações do eixo motriz e força de tração apresentaram efeito linear, significativo e positivo no rendimento na barra de tração do *Transformax*[®] quando equipado com o pneu 13.6 e 18.4.

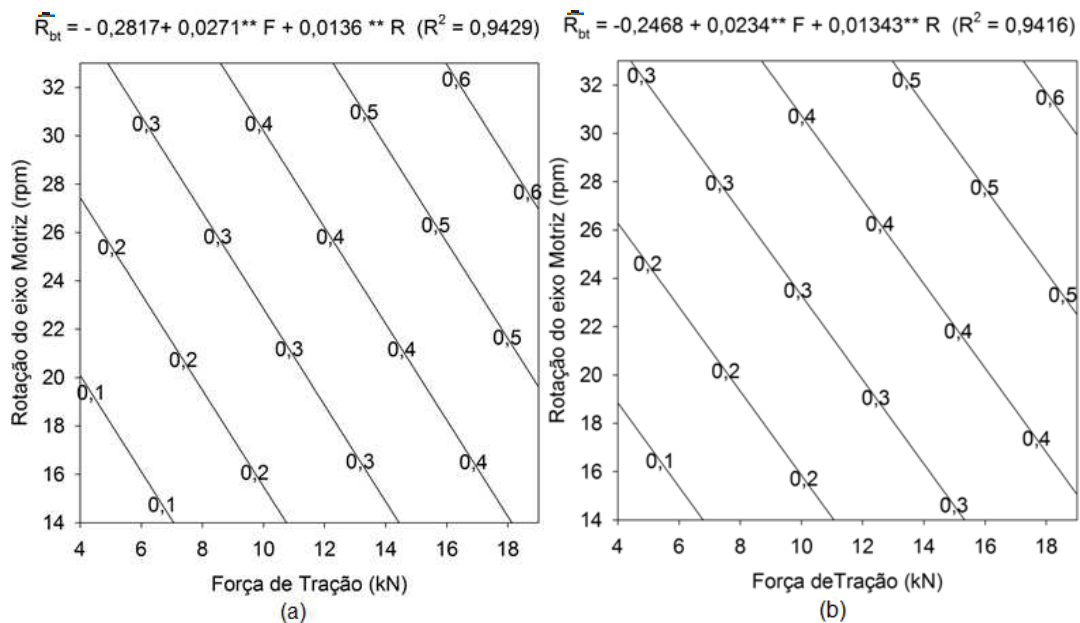


Figura 26. Rendimento na barra de tração em função da força de tração (kN) e rotação do eixo motriz (rpm) para os pneus 18.4 (a) e 13.6 (b), equação ajustada e coeficiente de determinação (R^2) * - Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

Com o rodado 13.6, operando na força de 5,10 kN e rotação do eixo motriz de 14,33 rpm o rendimento de tração foi de 0,064 (6,4%), aumentando-se os valores de força (18,57 kN) e rotação (32,62 rpm) este valor aumentou para 0,62 (62%). Porém, o pneu 18.4 atuando em menor força e rotação (5,64 kN e 14,33 rpm, respectivamente) exibiu 0,066 (6,6%) de rendimento, quando avaliado em uma maior força e rotação do eixo motriz (18,64 kN e 32,62 concomitantemente), este parâmetro foi para 0,66 (6,6%).

Diante do exposto o trator equipado com o dispositivo de tração 18.4 proporcionou maior rendimento na barra de tração, por apresentar em sua característica construtiva maior largura da banda de rodagem, o que

contribuiu para maior potência na barra de tração e menor percentual de patinagem dos rodados, visto que, é um dos fatores responsáveis para redução da velocidade de deslocamento de máquinas agrícolas.

Monteiro et al. (2013b), avaliaram o rendimento na barra de tração de um trator agrícola com diferentes relações entre o peso/potência sob diferentes regimes de carga aplicados na barra de tração e observaram que a relação de peso e potência de 50 e 55 N kW⁻¹, para as cargas aplicadas na barra de tração de 25 a 30 e 35 a 40 kN, apresentaram diferença entre médias, sendo que o maior rendimento da barra de tração foi obtido para a carga de 25 a 30 kN, onde a média foi de 50,9 e 54,1% respectivamente.

De acordo com Marques (2008), para alcançar uma eficiência de tração de 0,93 em terra firme, a patinagem deve situar-se entre 4 e 8%. No entanto, quando os valores de derrapagem crescer a eficiência diminuem significativamente, o que difere dos resultados encontrados.

4.3. Avaliações ergonômicas

4.3.1. Vibração no posto de operação do *Transformax*[®] equipado com pneu 13.6

As variáveis independentes apresentaram estatisticamente efeito linear significativo e positivo na aceleração longitudinal no posto de operação do trator avaliado (Figura 28).

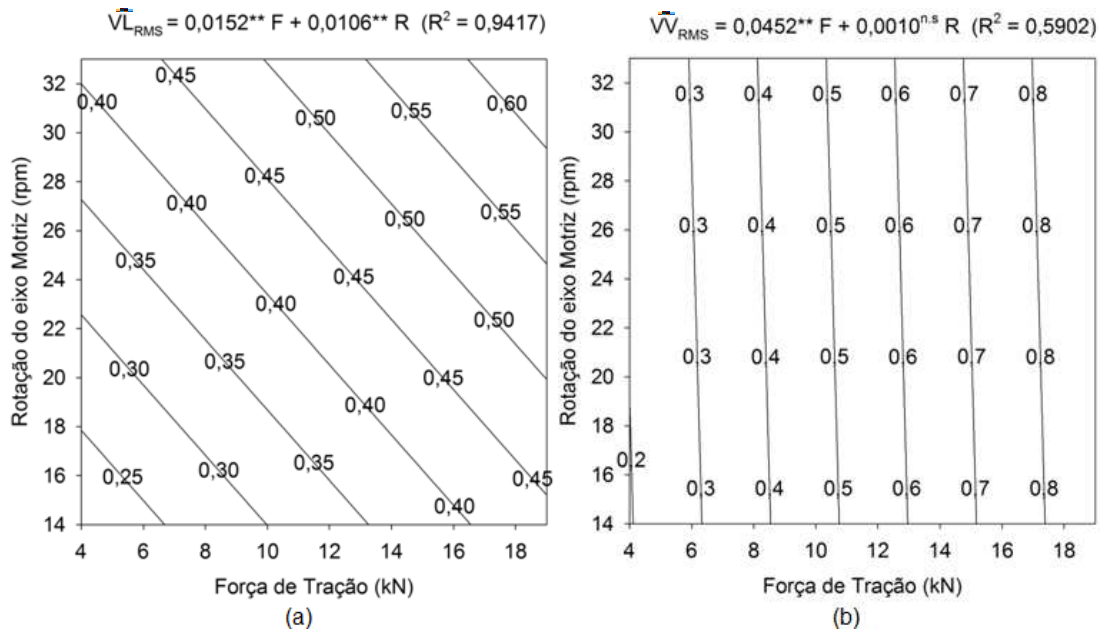


Figura 28. Vibração Longitudinal ($V_{L_{RMS}}$) (a) e Vibração Vertical ($V_{V_{RMS}}$) (b) no posto de operação do trator avaliado equipado com pneu 13.6 em função da força de tração (F - kN) e rotação do eixo motriz (R - rpm), equação ajustada e o coeficiente de determinação (R^2) ** - Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t e ^{n.s} - não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Para uma mesma força de tração o incremento de uma unidade na rotação do eixo motriz corresponde a um acréscimo de 0,010 m s⁻² na aceleração longitudinal no posto de trabalho da máquina avaliada. O acréscimo de uma unidade na força de tração para uma mesma rotação do eixo motriz apresentou um aumento de 0,015 m s⁻² na aceleração longitudinal no posto de operação do trator.

A variável independente rotação do eixo motriz apresentou efeito linear positivo, porém não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t, na vibração vertical no posto de operação do trator avaliado. Entretanto a variável força de tração apresentou efeito linear e positivo na aceleração na cabine. Com o aumento de uma unidade na força de tração para uma mesma rotação do eixo motriz houve um incremento de 0,045 m s⁻² na aceleração vertical na cabine. O acréscimo de uma unidade na rotação do eixo motriz para uma mesma força de tração apresentou um aumento de 0,001m s⁻² na aceleração vertical no posto de operação do trator avaliado equipado com pneu 13.6.

O trator equipado com rodado 13.6 operando na faixa de força 5,10 kN e rotação do eixo 14,33 rpm apresentou valor de aceleração vertical superior a longitudinal, em torno de 9%. Na condição da força de tração 18,64 kN e rotação do eixo motriz 32,62 rpm a aceleração vertical atingiu $0,87 \text{ m s}^{-2}$, enquanto que a aceleração longitudinal apresentou um valor de $0,62 \text{ m s}^{-2}$. Ao passar da menor unidade de força e rotação do eixo, para maior força e rotação do eixo motriz, tem-se um acréscimo de $0,40 \text{ m s}^{-2}$ para aceleração longitudinal e para vertical $0,63 \text{ m s}^{-2}$.

Provavelmente este comportamento superior da aceleração vertical esta relacionado com a característica construtiva do pneu avaliado, por apresentar uma reduzida banda de rodagem, que o torna mais rígido, transmitindo o impacto proveniente do contato com a pista para o sistema de suspensão adicionado à máquina, composto por molas e amortecedores, que trabalham em sentido vertical (para cima e para baixo), contribuindo para o valor superior da vibração vertical no posto de operação do trator.

Os níveis de vibração vertical na base do posto de operação foram mais pronunciados com o incremento da força de tração, que está relacionada com os índices de patinagem apresentado pelo trator equipado com o pneu 13.6. O deslizamento é fonte de instabilidade vertical, contribuindo assim com o acréscimo das acelerações verticais.

Avaliando a aceleração no posto de operação de um de um trator 4x2 (TDA) cabinado, com potência no motor de 63 kW em função da velocidade de deslocamento e profundidade de trabalho de um escarificador, Pinho et al. (2014) encontraram que a velocidade de $4,5 \text{ km h}^{-1}$ proporcionou um aumento de 13,5% maior de acelerações do que a velocidade de $3,5 \text{ km h}^{-1}$, na direção vertical, que de acordo com a norma (ISO 2631-1, 1997) estão classificadas, como máquinas extremamente desconfortáveis, cujo limite é de $2,0 \text{ m s}^{-2}$.

4.3.2. Vibração no posto de operação do *Transformax*[®] equipado com pneu 18.4

A variável, força de tração apresentou efeito linear positivo na aceleração longitudinal no posto de trabalho do trator avaliado, entretanto

não houve estatisticamente diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t (Figura 29).

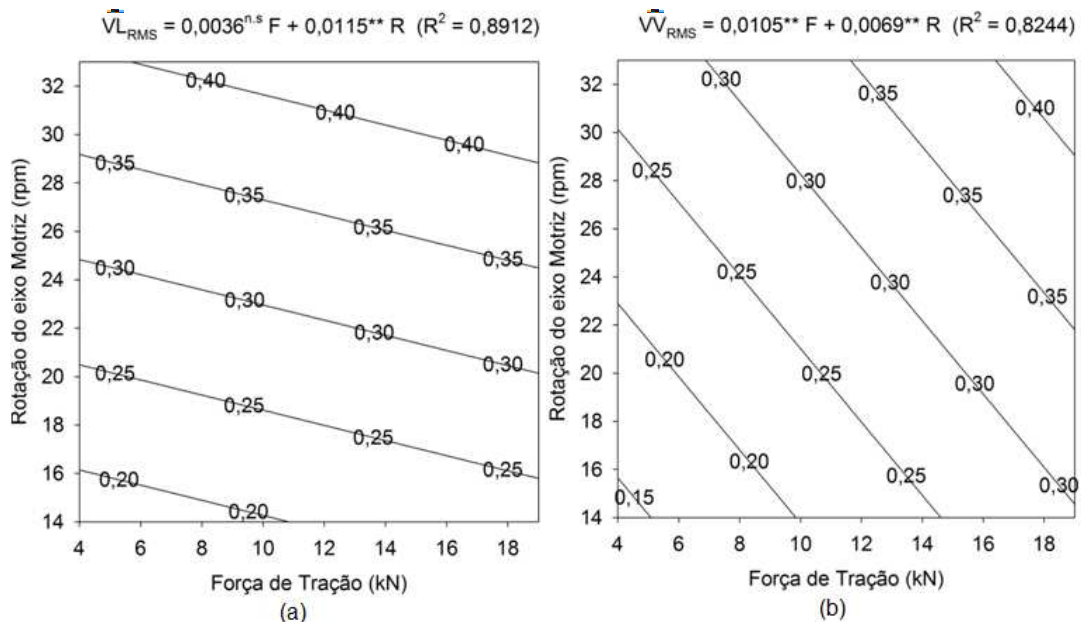


Figura 29. Vibração Longitudinal ($\bar{V}L_{RMS}$) (a) e Vibração Vertical ($\bar{V}V_{RMS}$) (b) no posto de operação do trator avaliado equipado com pneu 18.3 em função da força de tração (F - kN) e rotação do eixo motriz (R - rpm), equação ajustada e o coeficiente de determinação (R^2) ** - Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t e ^{n.s} – não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

No entanto, para uma mesma rotação do eixo motriz, o incremento de uma unidade da força de tração resultou num acréscimo dos níveis de vibração horizontal em $0,0036 \text{ m s}^{-2}$. A variável rotação do eixo motriz apresentou efeito linear positivo e significativo na vibração longitudinal no posto de operação do trator avaliado. Com o acréscimo de uma unidade na rotação do eixo motriz para uma mesma força de tração correspondeu a um incremento de $0,0115 \text{ m s}^{-2}$ na vibração longitudinal.

O mesmo comportamento não pode ser observado na vibração vertical (Figura 29(b)). As variáveis, força de tração e rotação do eixo motriz apresentou efeito linear positivo e significativo na vibração vertical no posto de operação do trator avaliado. Com o incremento de uma unidade na força de tração para uma mesma rotação do eixo motriz ocasionou um acréscimo de $0,0105 \text{ m s}^{-2}$ no nível de vibração vertical no posto de trabalho da máquina. De modo equivalente, para uma mesma força de tração, o

aumento de uma unidade na rotação do eixo motriz resultou no acréscimo $0,0069 \text{ m s}^{-2}$ na vibração vertical no posto de operação do trator avaliado.

Operando na menor rotação do eixo motriz (14,33) e tracionando a menor carga aplicada na barra de tração (5,64 kN), a aceleração longitudinal foi 20% superior a aceleração vertical no posto de operação da máquina. Na maior condição de força (18,64 kN) e rotação (32,62 rpm) que o trator foi submetido a aceleração longitudinal foi superior a aceleração vertical apenas 4,7%. Este fato pode ser explicado pela eficiência da união do conjunto, suspensão constituída de molas e amortecedores e das características construtivas do pneu 18.4, que contribuíram em absorver o impacto do rodado com a pista de rolamento, reduzindo a magnitude da vibração vertical no posto de operação do trator avaliado.

A variável rotação do eixo motriz apresentou maior influência na vibração vertical no posto de operação do trator avaliado, entretanto, este comportamento pode ser justificado pelo pneu 18.4 apresentar menor patinagem, contribuindo para maior velocidade de deslocamento, conseqüentemente, proporcionando maior instabilidade ao trator, demonstrando ineficiência da suspensão da máquina em minimizar a aceleração longitudinal no posto de operação.

Cunha et al. (2009) ao estimarem a vibração no posto de operação de um trator 4x2, com potência nominal no motor de 60,35 kW equipado com pneu 18.4, tralhando com arado de disco e uma grade, encontraram maiores valores de vibração na direção de deslocamento do trator, ultrapassando os limites aceitáveis pela ISO 2631-1 (1997), podendo trazer danos a espinha dorsal dos operadores de máquinas agrícolas. Resultados semelhantes foram encontrados por Ribas et al. (2014) que em estudos da exposição humana à vibração de corpo inteiro em um trator agrícola de 75 kW na operação de semeadura, encontraram maiores valores de vibração longitudinal, ou seja, para uma jornada de 8 horas de trabalho, o operador está exposto acima do nível limite de conforto estabelecido pela norma utilizada

Scarlett *et al.* (2007), na avaliação a vibração no posto de trabalho em tratores com potência entre 60 à 130 kW, onde os níveis de vibração são mais elevados na horizontal do que na vertical em 27%, no ensaio de diversos tratores. Os autores atribuem isso a inabilidade da suspensão dos

assentos de trator em atenuar a vibração no sentido horizontal e citam também que a intensidade da vibração está diretamente ligada à operação que está sendo realizada.

Relacionando a vibração longitudinal no posto de operação, Langer et al.(2015) avaliaram um trator agrícola com 120 kW de potência no motor com e sem acionamento da TDA, tracionando uma enfardadora, e verificaram que o acionamento da tomada de potência auxiliar não influenciou na dinâmica da vibração horizontal no posto de operação.

4.3.3. Análise espectral das vibrações vertical e longitudinal do *Transformax*[®] com o pneu 13.6 e 18.4

Vibrações mecânicas em um trator agrícola são influenciadas por diferentes fatores como o tipo de operação de campo realizada, a velocidade de trabalho do conjunto trator-implemento, as condições de lastros e a pressão nos pneus do trator, entre outros.

A partir da análise dos dados é possível identificar, de modo geral, que o trator equipado com pneu 13.6 apresentou maiores amplitudes para aceleração vertical e longitudinal estão situadas entre 4 e 6 Hz, respectivamente (Figuras 30 e 31) para. Nesta frequência, trabalhando com o *Transformax*[®], na faixa de 5 kN e 14,33 rpm, o operador pode chegar a uma jornada de trabalho diária de 16 horas, sem que ocorra danos a sua saúde segundo a ISO 2631 (1997). Passando da menor força de tração e rotação do eixo motriz para faixa de 18 kN e 32 rpm, a jornada de trabalho é reduzida para 4 horas diárias.

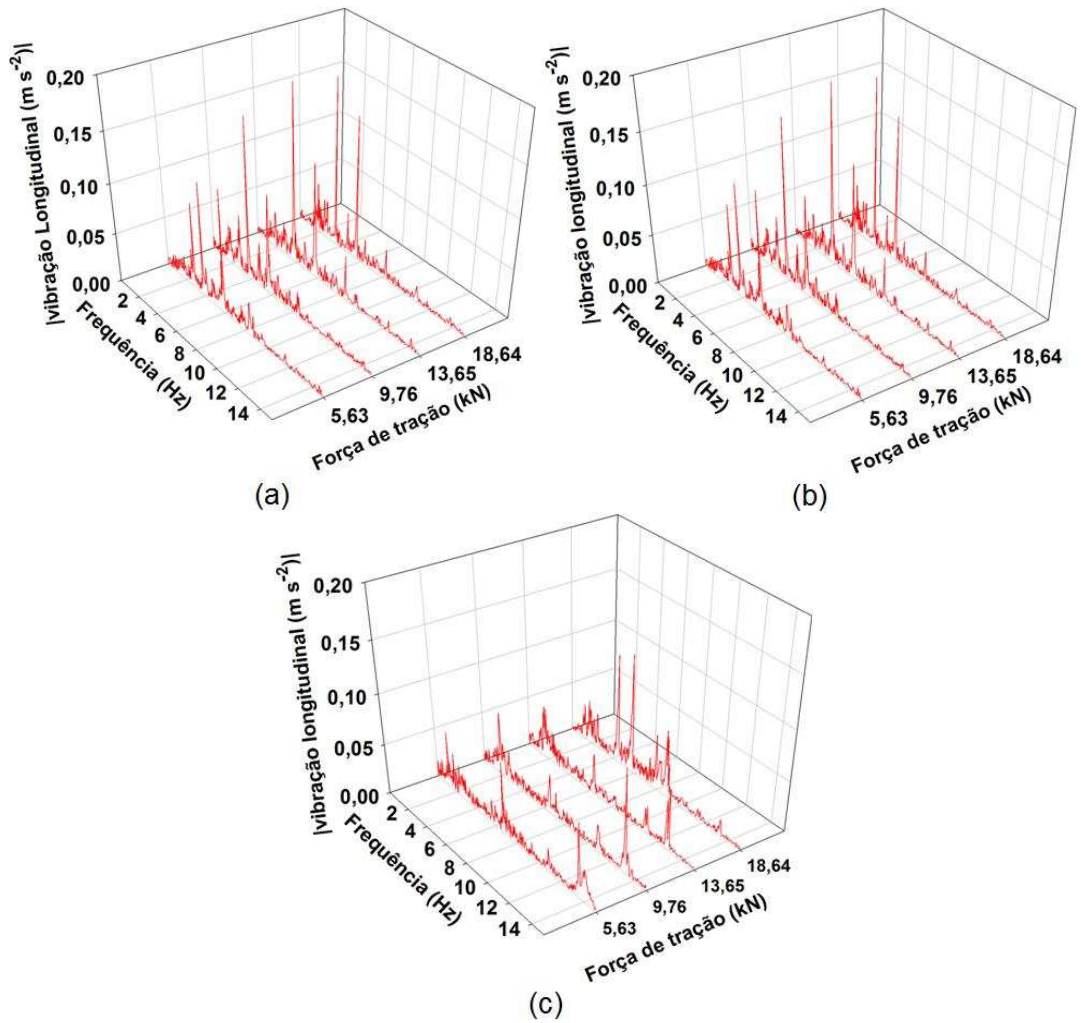


Figura 30. Espectro de frequências para a vibração Longitudinal na base do posto de operação do trator equipado com pneu 13.6 de acordo com a força de tração testada, nas rotações do eixo motriz1(a), 2 (b) e 3(c)

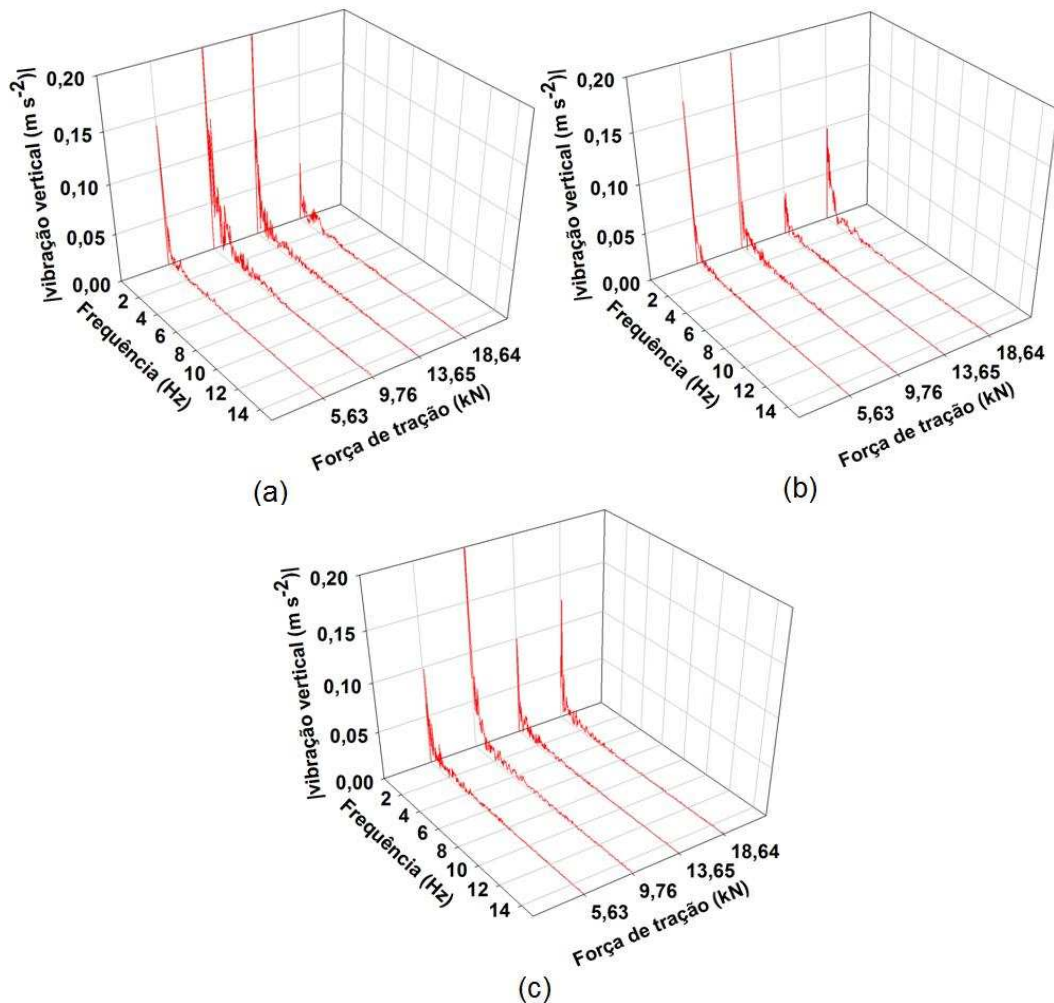


Figura 31. Espectro de frequências para a vibração vertical na base do posto de operação do trator equipado com pneu 13.6 de acordo com a força de tração testada, nas rotações do eixo motriz1(a), 2 (b) e 3(c)

De acordo com o exposto é possível identificar, de modo geral, que as maiores amplitudes de vibração longitudinal e vertical do trator equipado com pneu 18.4 estão situadas entre de 4 a 2 Hz, respectivamente, (Figuras 32 e 33). Nesta faixa, trabalhando com o trator avaliado tracionando uma força de 5 kN e deslocando-se na rotação do eixo motriz de 14,33 rpm, a jornada de trabalho do operador pode chegar a 24 horas diárias segundo a ISO 2631 (1997), entretanto na maior força e rotação avaliada a jornada de trabalho é reduzida para 8 horas diária.

Os resultados corroboram com Santos Filho et al. (2003), onde os maiores picos de vibração vertical no assento do operador, para a operação de gradagem, foram encontrados na faixa entre 2 e 4 Hz, dada pela densidade espectral de potência para as três marchas avaliadas.

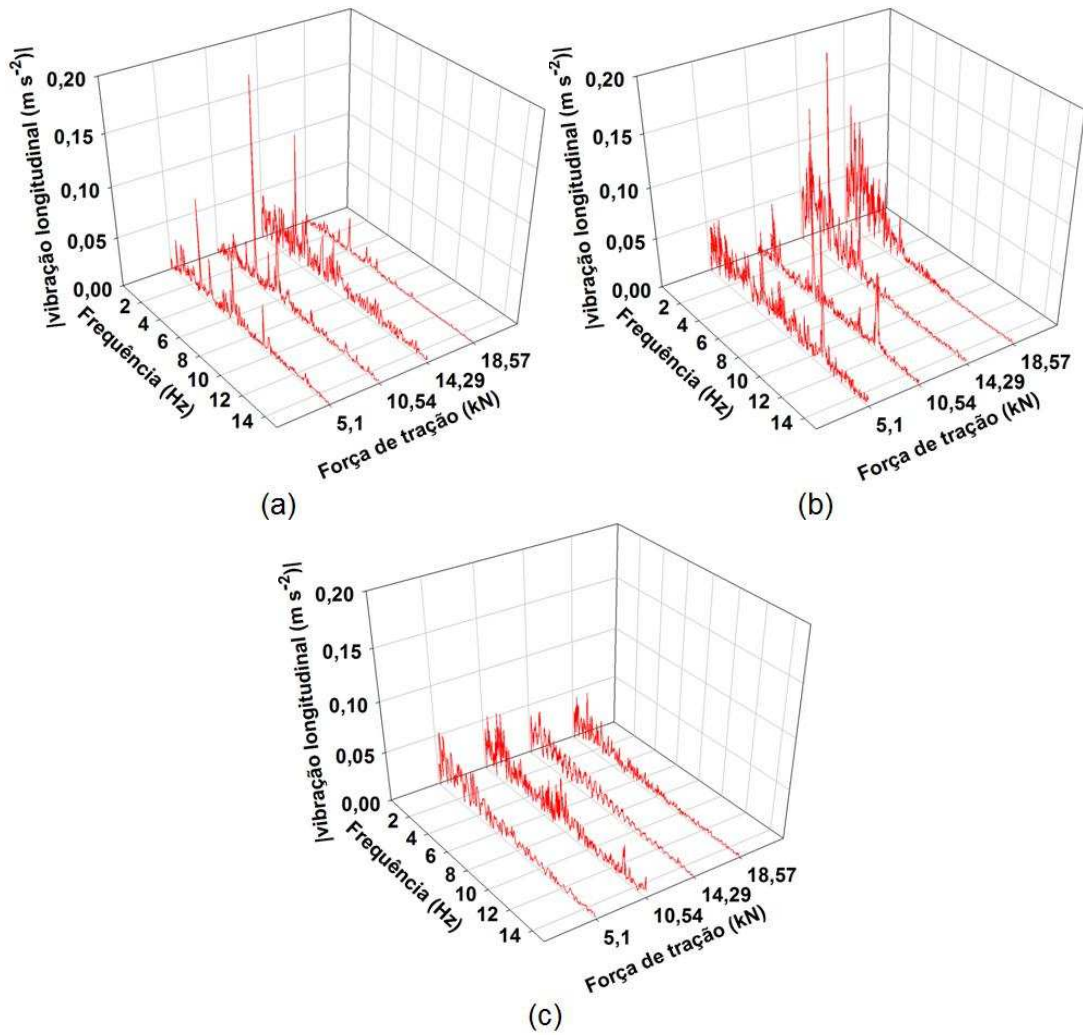


Figura 32. Espectro de frequências para a vibração longitudinal na base do posto de operação do trator equipado com pneu 18.4 de acordo com a força de tração testada, nas rotações do eixo motriz1(a), 2 (b) e 3(c)

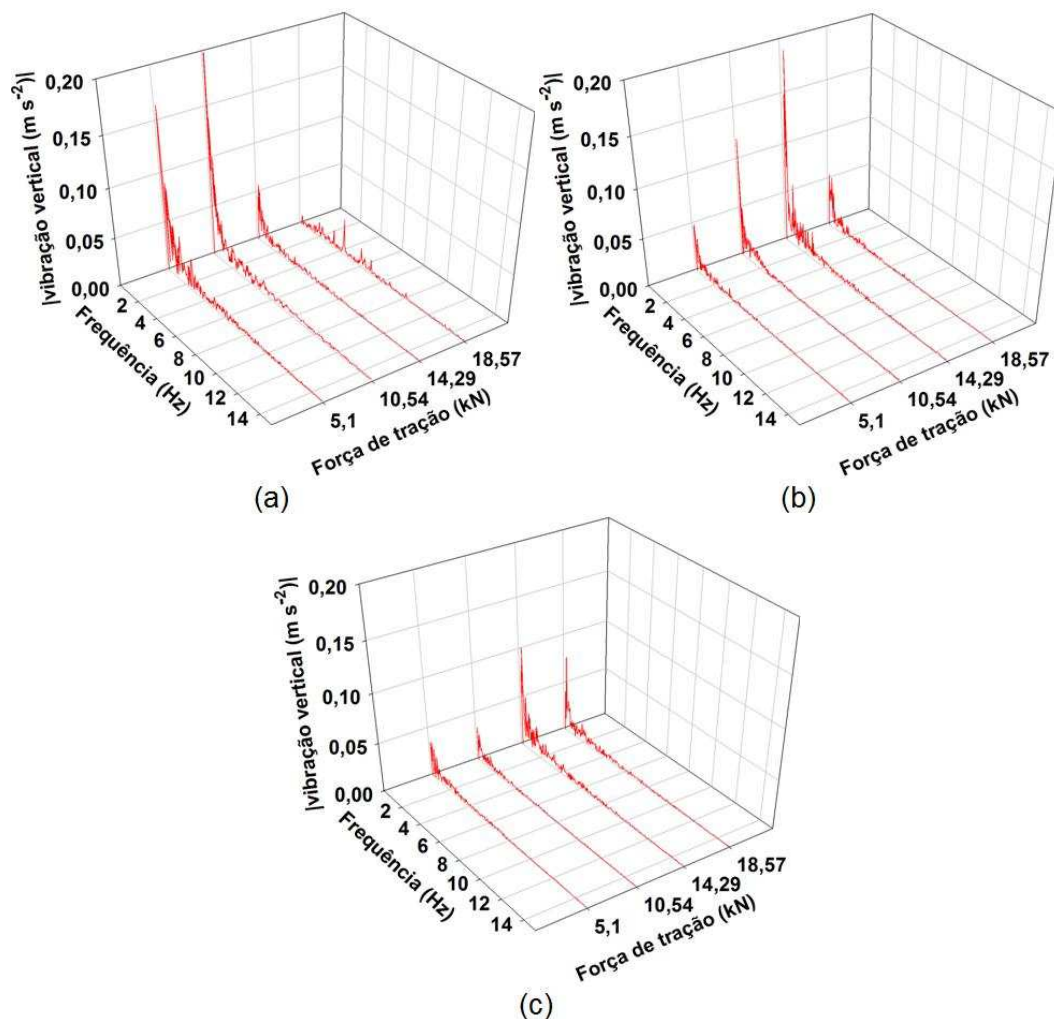


Figura 33. Espectro de frequências para a vibração vertical na base do posto de operação do trator equipado com pneu 18.4 de acordo com a força de tração testada, nas rotações do eixo motriz 1 (a), 2 (b) e 3(c)

Já objetivando determinar os níveis de vibração longitudinal e vertical no assento do operador verificando a influência da pressão de insuflação nos pneus e da velocidade de deslocamento do conjunto trator-subsolador sobre as acelerações atuantes, Villbor et al. (2015), observaram que os mais altos níveis de vibração foram observadas na gama de frequências de 0 a 2 Hz, para as vibrações longitudinal e vertical.

De acordo com pesquisas, pernas dobradas a 90° tem um resposta dinâmica na frequência de 2 Hz, o que pode ser considerado a parte do corpo humano que estaria sujeita a maiores lesões quando combinado com velocidade operacional e uma pressão de inflação de 12 psi (82,74 kPa) (BRUEL e KJAER, 2002; VILLBOR et al., 2015).

Da mesma forma estudos experimentais investigaram o desconforto que surge a partir da vibração vertical em todo o corpo sentado em assento rígido, sem encosto e com encosto. Com 8 Hz ou acima deste valor de vibração vertical, ocorreu situação de desconforto, enquanto que em frequências em torno de 5 e 6,3 Hz houve menos desconforto quando se senta com um encosto inclinado (BASRI e GRIFFIN, 2013).

4.3.4. Ruído no posto de operação

As variáveis, rotação do eixo motriz e força de tração exibiram efeito linear, significativo e positivo no ruído do posto de operação (dB) do *Transformax*® quando equipado com o pneu 13.6 e 18.4 (Figura 27).

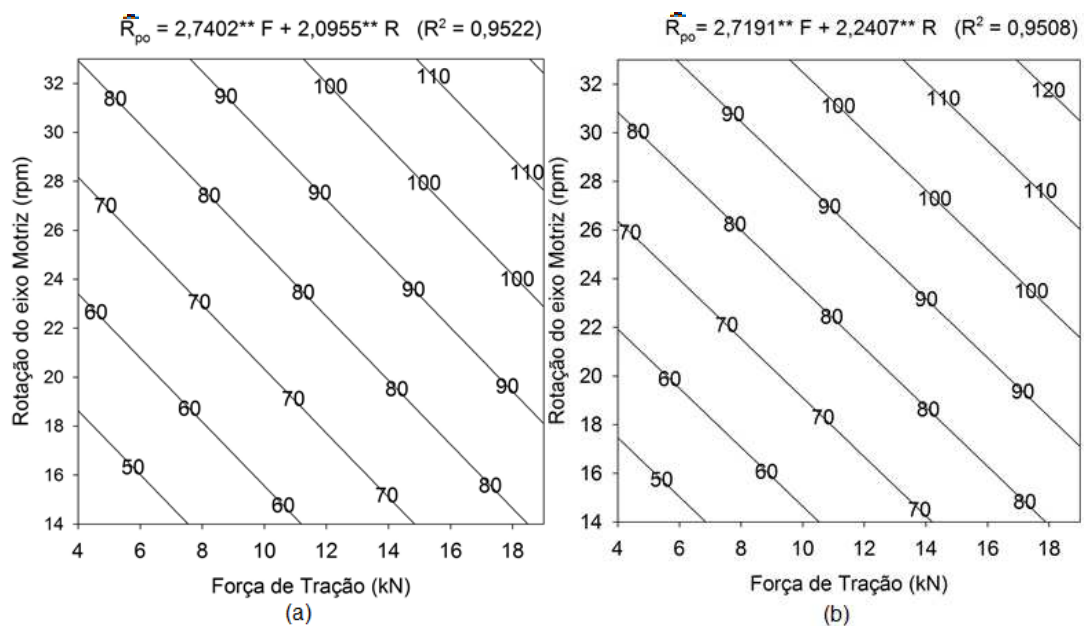


Figura 27. Ruído no posto de operação (R_{po} – dB) em função da força de tração (F - kN) e rotação do eixo motriz (R - rpm) para os pneus 18.4 (a) e 13.6 (b), equação ajustada e coeficiente de determinação (R^2) * - Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

O aumento de uma unidade de força de tração para uma mesma unidade de rotação do eixo motriz correspondeu a um aumento no ruído no posto de operação do trator avaliado de 2,74 e 2,71 dB para o pneu 18.4 e 13.6, respectivamente. Já para o incremento de uma unidade de rotação do eixo motriz para uma mesma carga aplicada na barra de tração elevou o

ruído na cabine quando o espécime estava equipado com o pneu 18.4 em 2,09 dB e de 2,24 dB quando com o pneu 13.6.

Quando equipado com o rodado 13.6, operando na força de 5,10 kN e rotação do eixo motriz de 14,33 rpm o *Transformax*[®] apresentou ruído do posto de operação de 45,97 dB, aumentando-se os valores de força (18,57 kN) e rotação (32,62 rpm) teve um incremento para 123,58 dB. Porém, o pneu 18.4 atuando em menor força e rotação (5,64 kN e 14,33 rpm, respectivamente) exibiu 45,48 dB, e em maior força e rotação (18,64 kN e 32,62 respectivamente), este parâmetro foi para 119,43 dB.

Os resultados expostos ficaram acima do limite de 85 dB quando aumentou os valores de força e rotação em ambos os pneus, para uma jornada de trabalho de 8 horas sem protetor auricular, segundo a NR-15 (MET, 2015). Entretanto, o nível de ruído mais elevado no posto de operação do trator avaliado, foi quando o mesmo estava equipado com pneu 13.6. Este comportamento pode ser justificado pela característica construtiva do rodado que contribuiu para um maior índice de patinagem, conseqüentemente a potência gerada pelo motor foi transmitida para o pneu sem apresentar queda na rotação do motor, fato esse que proporcionou um elevado índice de ruído.

Ao estudarem a influência da velocidade de trabalho e a condição do solo nas operações agrícolas na determinação dos níveis de potência sonora (ruído) emitido pelo trator agrícola de 55,2 kW de potência no motor, Arcoverde et al. (2011), verificaram que os valores mais relevantes foram encontrados no conjunto trator+grade, operação (gradagem) que apresentou elevada potência na barra de tração exigindo maior potência do motor, aumentando o nível de ruído, acima de 85 dB no posto de trabalho, considerando uma jornada de trabalho de 8 h, estabelecido pela NR-15, contrário dos resultados encontrados no *Transformax*[®].

Em equivalência, Lima Junior et al. (2014) avaliaram o ruído de um trator agrícola de 63,3 kW tracionando uma carreta durante a operação em transporte de grãos de café, observaram que o ruído mínimo foi 76,5 dB para a menor rotação do trator (800 rpm), e o ruído máximo foi 91,6 dB para a maior rotação (2.200 rpm), desta forma a rotação acima de 1.600 rpm, não

deverá ser realizada por um período de oito horas sem proteção auricular, pois, caso contrário, excederá os limites dispostos na legislação.

Na avaliação do nível do ruído no posto de trabalho de dois tratores de 55,2 kW (sem cabine) e 80,9 kW (cabinado) em função da velocidade de deslocamento, pressão interna dos pneus e tipo de pista, Tosin et al. (2009) encontraram o nível de ruído menor no trator de 80,9 kW, embora este tenha uma potência maior que o de 55,2 kW, que permite trabalhos diários por no máximo 5 horas, sem o uso de proteção auditiva, segundo o autor isto se deve ao fato de ele ser cabinado, o que funciona como uma superfície refletora e absorvedora do som. Do mesmo modo, Franklin et al. (2006) na avaliação de ruído no posto de operação de tratores com e sem cabine mostraram que as cabines nos tratores podem reduzir o nível de ruído em 16 dB.

Alves et al. (2011) ao estudarem a ruído no posto de operação de um trator agrícola de 55,2 kW (sem cabine) em condições dinâmicas (pistas x velocidade de deslocamento), verificou-se que os maiores níveis de ruído ocorreram nas duas pistas (solo firme e concreto) na maior velocidade, com um nível de ruído superior a 85 dB, indicando a necessidade do uso de protetor auricular, principalmente, na pista de concreto proporcionado, segundo o autor pelo contato do pneu com a pista.

5. CONCLUSÕES

Por ser um trator modificado o *Transformax*[®] quando equipado com pneu 18.4 e 13.6 e submetido a trabalhar nas faixas de força de tração e rotação do eixo motriz determinadas para realizar os experimentos apresentou parâmetros de desempenho como: patinagem, potência na barra de tração, consumo específico e rendimento na barra de tração considerados como satisfatório, entretanto apresentou alto consumo horário para um motor de baixa potência.

O aumento da força de tração e rotação do eixo motriz proporcionou o aumento do percentual de patinagem dos rodados motrizes, entretanto de forma mais acentuada para o pneu 13.6.

Os maiores valores de potência na barra de tração foram obtidos tracionando a maior carga aplicada na barra de tração e deslocando-se na maior rotação do eixo motriz, com valores mais elevados no teste com o pneu 18.4.

O aumento das variáveis, força de tração e rotação do eixo motriz, elevou o consumo horário do trator, de forma mais pronunciada no teste do pneu 18.4.

Em situação aposta do consumo horário, o consumo específico de combustível diminuiu em função do aumento das variáveis independentes, porém o pneu 18.4 apresentou maior eficiência.

O trator equipado com pneu com maior área de contato com o solo (18.4) apresentou maior rendimento na barra de tração

As variáveis, força de tração e rotação do eixo motriz não apresentaram efeito significativo nos níveis de ruído no posto de operação do trator, entretanto, os níveis médio de ruído foram mais elevados no trator quando equipado com pneu 18.4.

O acréscimo, da aceleração vertical e longitudinal no posto de operação do trator equipado com pneu 13.6 e 18.4, ocorreram em razão do aumento da força de tração e rotação do eixo motriz.

O rodado 18.4 obteve melhores resultados dentre as variáveis estudadas, referente ao desempenho na barra de tração, demonstrando que o *transformax*[®] além da função de pulverização, entre outras, apresentou ótimo comportamento para tracionar equipamentos de arrasto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACUNA, R.R.D.; MANTOVANI, E.C.; MARTYN, P.J.; BERTAUX, S. Comparação do coeficiente de tração e da eficiência tratorária de um trator agrícola obtidos pela equação de WISMER E LUTH e por ensaios de campo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.30, p.523-530, 1995.

ASABE American Society of Agricultural and Biological Engineers. ASAE EP 496.3 Agricultural Machinery Management. In: **ASABE Standards 2006**. St. Joseph, ASABE, p.385-390,2006.

ASABE American Society of Agricultural Engineers. Agricultural Machinery Management. EP 496.2. In: ASAE Standards: Standards engineering practices data. St. Joseph: **ASAE Standards**, p.353-358, 1999.

ASABE American Society of Agricultural and Biological Engineers. ASAE D 497.7 Agricultural Machinery Management.Data In: **ASABE Standards 2011**. St. Joseph, ASABE. p.385-390, 2011.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Agricultural machinery management data ASAE D497.4. In: **ASAE standards** , standards engineering practices data. St. Joseph, p.359–366, 1999.

ALMEIDA, R.A.S.; SILVA, C.A.T.; SILVA, S.L. Desempenho energético de um conjunto trator-semeadora em função do escalonamento de marchas e rotações do motor. **Revista Agrarian**, v.3, n.7, p.63-70, 2010.

ALVES, A.D.S.; COSTA, F.R.L.; CORTEZ, J.W.; DANTAS, A.C.S.; NAGAHAMA, H.J. Nível de potência sonora emitidos por trator agrícola em condições estáticas e dinâmicas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.41, n.1, p.110-119, 2011.

ARCOVERDE, S.N.S.; CORTEZ, J.W.; PITANGA JUNIOR, C.O.; NAGAHAMA, H.J. Nível de potência sonora emitido nas operações agrícolas. **Revista Nucleus**, v.8, n.1, p.277-287,2011.

BAESSO, M.M.; GAZZOLA, M.; BERNARDES, S.; MODOLO, A. Avaliação do nível de ruído, itens de segurança e ergonomia em tratores. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v.9, n.4, p.368-380, 2015.

BARBOSA, L.A.P.; MAGALHAES, P.S.G. Tire tread pattern design trigger on the stress distribution over rigid surfaces and soil compaction. **Journal. of Terramechanics**, v. 58, p.27–38, 2015.

BASRI, B.; GRIFFIN, M.J. Predicting discomfort from whole-body vertical vibration when sitting with an inclined backrest. **Applied Ergonomics**, v.44, n.3, p.423-34, 2013.

BARBOSA, J.A.; VIEIRA, L.B.; DIAS, G.P.; DIAS JÚNIOR, M.S.; Desempenho operacional de um trator agrícola equipado alternadamente com pneus radiais e diagonais. **Engenharia Agrícola**, v.25, p.474-480, 2005.

BELLÉ, M.P.; ALONÇO, A.S.; FRANCETTO, T.R.; ROSSATO, F.P.; FRANCK, C.J.; CARPES, D.P. Demanda energética e mobilização do solo com o uso de escarificadores em sistemas de semeadura direta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.18, n.5, p.551-558, 2014.

BOUAZARA, M.; RICHARD, M.J.; RAKHEJA, S. Safety and comfort analysis of a 3-D vehicle model with optimal non-linear active seat suspension. **Journal of Terramechanics**, v.43, p.97-118, 2006.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Atividade e operações insalubres. NR15. Disponível em: <<http://portal.mte.gov.br/legislacao/norma-regulamentadora-n-15-1.htm>>. Acesso em: 10 de jan 2015.

BRÜEL e KJAER, Human Vibration, Brüel e Kjaer Sound and Vibration Measurement: Technical Presentation, Skodsborgvej, 2002.

CEPIK, C.T.C.; TREIN, C.R.; LEVIEN, R. Força de tração e volume de solo mobilizado por haste sulcadora em semeadura direta sobre campo nativo, em função do teor de água no solo, profundidade e velocidade de operação. **Engenharia Agrícola**, v.25, n.2, p.447-457, 2005.

CORTEZ, J.W.; FURLANI, C.E. A.; SILVA, R.P.; LOPES, A.; CARVALHO FILHO, A.; DABDOUB, J.M.; Desempenho de um trator agrícola utilizando biodiesel em duas velocidades na semeadura. **Nucleus**, v.4, p.55-63, 2007.

CUNHA, J.P. Avaliação dos níveis de vibração e ruído emitidos por um trator agrícola em preparo do solo. **Revista Pesquisa Agropecuária**, v.39, n.4, p.348-355, 2009.

DAMANAUSKAS, V.; JANULEVICIUS, Differences in tractor performance parameters between single-wheel 4WD and dual-wheel 2WD driving systems. **Journal of Terramechanics**, v.60, p.63-73, 2015.

DHINGRA, H.S.; TEWARI, V.K.; SINGH, S. Discomfort, pressure distribution and safety in operator's seat – A critical review. *Agricultural Engineering International: The CIGR Journal of Scientific Research and Development*, v.5, p.1-16, 2003.

EKINCI, S.; CARMAN, K.; KAHRAMANLI, H.; Investigation and modeling of the tractive performance of radial tires using off-road vehicles. **Energy**, v.93, p.1953-1963, 2015.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPS, 2006.

FERNANDES, H.C.; BRITO, A.B.; MINETTI, L.J.; SANTOS, N.T.; RINALDI, P.C.N. Avaliação ergonômica da cabine de um trator florestal. **Revista Ceres**, v.57, n.3, p.307-314, 2010.

FIEDLER, N.C.; GUIMARÃES, P.P.; ALVES, R.T.; WANDERLEY, F.B.; Avaliação ergonômica do ambiente trabalho em marcenarias do sul do Espírito Santo. **Revista Árvore**, v.34, p.907-915, 2010.

FIGLIANO, D.A.; MARASCA, I.; FERNANDES, B.B.; SANDI, J.; MORELLI-FERREIRA, F.; LANÇAS, K.P. Desempenho de três tratores agrícolas em ensaios de tração. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 2, n. 2, p.68-76, 2015.

FRANZ, C.A.B. **Avaliação do desempenho de pneumáticos para tratores agrícolas, com diferentes níveis de desgaste**. 1988. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Federal de Santa Maria, RS.

FRANKLIN, R.C.; DEPCZYNSKI, J.; CHALLINOR, K.; WILLIAMS, W.; FRAGAR, L.J. Factors affecting farm noise during common agricultural activities. **Journal of Agricultural Safety and Health**, v.12, n.2, p.117-125, 2006.

FURLANI, C.E.A.; LOPES, A.; SILVA, R.P.; Avaliação de semeadora-adubadora de precisão trabalhando em três sistemas de preparo do solo. **Engenharia Agrícola**, v.25, p.458-464, 2005.

GABRIEL FILHO, A.; LANÇAS, K.P.; LEITE, F.; ACOSTA, J.J. B.; JESUINO, P.R. Desempenho de trator agrícola em três superfícies de solo e quatro velocidades de deslocamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.3, p.333–339, 2010 (a).

GABRIEL FILHO, A.; MONTEIRO, L. A.; LANÇAS, K. P.; GUERRA, S. P. S.; JESUINO, P. R. Influência da altura das garras dos pneus de um trator em área de plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.10, p.1123–1128, 2010 (b).

GABRIEL FILHO, A.G.; SILVA, S.L.; MODOLO, A.J.; SILVEIRA, J.C. Desempenho de um trator operando em solo com diferentes tipos de cobertura vegetal. **Engenharia agrícola**, v.24, n.3, p.781-789, 2004.

GOERING, C.E.; STONE, M.L.; SMITH, D.W.; TURNQUIST, P.K. Engine performance measures. In: **Off-Road Vehicle Engineering Principles**. St. Joseph, Mich.; ASAE. Copyright American Society of Agricultural Engineers, cap. 2, p.19-36, 2003.

ISO 2631-1. **“Mechanical vibration and shock – evaluation of human exposure to wholebody vibration – Part I: general requirements”**. Switzerland: International Standard, 1997.

JANULEVICIUS, A.; DAMANAUSKAS, V. How to select air pressures in the tires of MFWD (mechanical front-wheel drive) tractor to minimize fuel consumption for the case of reasonable wheel slip. **Energy**, v.90, p. 691 - 700, 2015.

JESUINO, P.R. **Desempenho de um trator agrícola em função do desgaste das garras dos pneus e das condições superficiais do solo.** Dissertação (Mestrado em Agronomia) – UNESP, Botucatu – SP, 2007.

KHOURY JUNIOR, J.K.; SOUZA, C.M. A.; RAFULL, L.Z.L.; VARELLA, C.A. A. Simulação da estabilidade de tratores agrícolas 4x2. **Bragantia**, , v.68, n.1, p.257-267, 2009.

KILESSE, R.; FERNANDES, H.; SOUZA, A.; MINETTE, L.; TEXEIRA, M.M. Avaliação de fatores ergonômicos em postos de trabalho de motoristas de caminhões utilizados no meio agrícola. **Engenharia na Agricultura**, v.14, n.3, p.202-211, 2006.

KOLATOR, B.; BIALOBRZEWSKI, L.; A. Simulation model of 2WD tractor performance. **Computers and Electronics in Agriculture**. v.76, p.231-239, 2011.

KROEMER, K.H.E., GRANDJEAN, E. **Manual de Ergonomia: Adaptando o trabalho ao homem**, 5º edição Artmed Editora, Porto Alegre, 2005.

LIMA JUNIOR, P.S.; CORTEZ, J.W.; NAGAHAMA, H.J.; ARCOVERDE, S.N.S. Ruído em função da rotação, raio de afastamento, velocidade de trabalho e tipo de pista de um conjunto trator-carreta cafeeira. **Revista Agraria**, v.7, n.26, p.581-582, 2014.

LIANG, A.; McLAUGHLIN, N.B; MA, B.L.; GREGORICH, E.G.; MORRISON. M.J; BURT, S.D.; PATTERSON, B.S.; EVERSON, L.I. Changes in mouldboard plough draught and tractor fuel consumption on continuous corn after 18 years of organic and inorganic N amendments. **Energy**, v.52, p.89-95, 2013.

LANGER, T. H.; EBBESEN, M. K.; KORDESTANI, A. Experimental analysis of occupational whole-body vibration exposure of agricultural tractor with large square bale. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v.47, p. 79-83,2015.

LIDA da I. **Ergonomia: projeto e produção**. 9ª ed. São Paulo, Edgard Blücher. 465p, 2003.

LOPES, F.; LANÇAS, K.P.; FURLANI, C.E.A.; NAGAOKA, A.K; CASTRO NETO, P.; GROTTA, D.C. Consumo de combustível de um trator em função do tipo de pneu, da lastragem e da velocidade de trabalho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.2, p.382-386, 2003.

LOPES, A.; LANÇAS, K.P.; SILVA, R.P.; FURLANI, C.E.A.; NAGAOKA, A.K.; REIS, G.N. Desempenho de um trator em função do tipo de pneu, da lastragem e da velocidade de trabalho. **Ciência Rural**, v.35, n.2, p.366-370, 2005.

LOUTRIDIS, S.; GIALAMAS, T. GRAVALOS, I.; MOSHOU, D. KATERIS, D. XYRADAKIS, P.; TSIROPOULOS, Z. A study on the effect of electronic engine speed regulator on agricultural tractor ride vibration behavior. **Journal of Terramechanics**, v.48, p.139-147, 2011.

MASSIERO, F.C.; LANÇAS, K.P.; MONTEIRO, L.A. Determinação do rendimento na barra de tração de tratores agrícolas com tração dianteira auxiliar (4x4 TDA). **Revista Energia na Agricultura**, vol.26, n.4, p.55-73, 2011.

MARQUÉS, L. Metodologia para cálculo rápido das dimensões de pneus de tratores agrícolas. **Engenharia Agrícola**, v.28, n.3, p.590-603, 2008.

MARSILI, A.; RAGNI, L.; SANTORO, G.; SERVADIO, P.; VASSALINI, G. Innovative systems to reduce vibrations on agricultural tractors: comparative analysis of acceleration transmitted through the driving seat. **Biosystems Engineering**, v.81, p.35-47, 2002.

MEHTA, C.; SHYAM, H.; SINGH, P.; VERMA, R. Ride vibration on tractor-implement system. **Applied Ergonomics**, v.31, p.323-328, 2000.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E DO EMPREGO (MTE). *Atividades e operações insalubres*: NR-15. 2008. Disponível em: <http://www.mtb.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_15.asp>. Acesso em: 5 out. 2015.

MIALHE, L.G. **Manual de mecanização agrícola**. V.2. São Paulo: EDU/SP, p.367, 1980.

MIALHE, L.G. **Maquinas Agrícola – Ensaio & Certificação**. Piracicaba: Fundação de estudos agrários Luiz de Queiroz, p.723, 1985.

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

MOLARI, G.; BELLENTANI, L.; GUARNIERI, A.; WALKER, M.; SEDONI, E. Performance of an agricultural tractor fitted with rubber tracks. **Biosystems Engineering**, v.111, p.57-63, 2012.

MOLIN, J.P.; MIAN, M.; NESRALLAH, M.G.T.; CASTRO, C.N.; GIMENEZ, L.M. Utilização de dados georreferenciados na determinação de parâmetros de desempenho em colheita mecanizada. **Revista Engenharia Agrícola**, v.26, p.759-767, 2006.

MONTANHA, G.K.; GUERRA, S.P.S.; SANCHEZ, P.A.; HEUN, J. e LANÇAS, K.P. Consumo de combustível de um trator agrícola em função do tipo de solo e da pressão de inflação nos pneus utilizando o equipamento canteirador. **Energia na Agricultura**, vol.27, n.2, p.44-59, 2012.

MONTEIRO, L.A.; LANÇAS, K.P.; GUERRA, S.P.S. Desempenho de um trator agrícola equipado com pneus radiais e diagonais com três níveis de lastro líquido. **Engenharia Agrícola**, v.31, n.3, p.551-560, 2011.

MONTEIRO, L.A.; ALBEIRO, D.; LANÇAS, K. P.; BUENO, A.V.; MASIERO, F.C.; Energetic efficiency of na agricultural tractor in function of tire inflation pressure. **Engenharia Agrícola**, v.33, n.4, p.758-763, 2013 (a).

MONTEIRO, L. A.; ALBIERO, D.; SOUZA, F. H.; MELO, R. P.; CORDEIRO, I. M. Rendimento na barra de tração de um trator agrícola com diferentes relações de peso e potência. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, p. 70-75, 2013 (b).

MONTEIRO, L.A., velocidade de deslocamento, lastragem líquida e condição superficial do solo. 2008. **Desempenho operacional e energético de um trator agrícola em função do tipo de pneu**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, Botucatu, SP.

NEUJAHR, E.B.; SCHLOSSER, J.F. Comportamento de pneus agrícolas radiais e diagonais em relação a tração. **Engenharia Agrícola**, v.21, n.2, p.180-189, 2001.

PALMA, M.A.Z. et al. Efeito da profundidade de trabalho das hastes sulcadoras de uma semeadora-adubadora na patinagem, na força de tração e no consumo de combustível de um trator agrícola. **Ciências. Agrotécnicas**, v.34, n.5, p.1320-1326, 2010.

PINHO, M. S.; SCHLOSSER, J.F.; FRANTZ, U.G.; FARIAS, M.S.; UHRY, D.; RIBAS, R.L. Acelerações eficazes na interface assento-operador de um trator. **Ciência Rural**, v.44, n.10, p.1797-1803, 2014.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: **A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2012.

RIBAS, R.L.; SHLOSSER, J.F.; FRANTZ, U.G.; FARIAS, M.S.; RODRIGUES, F.A. Exposição humana à vibrações de corpo inteiro em um trator agrícola com pneus radiais. **Ciência Rural**, v.44, n.9, p.1589-1595, 2014.

RINALDI, P.C.N. Parâmetros de desempenho de tratores agrícolas de pneus comercializados no Brasil. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

RUSSINI, A. Estimativa do desempenho de tratores agrícolas em campo e pista a partir do ensaio dinamométrico. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

SALVADOR, N.; BENEZ, S. H.; MION, R. L. Consumo de combustível na operação de subsolagem realizada antes e depois de diferentes sistemas de preparo periódico do solo. **Engenharia Agrícola**, v.28, n.2, p.256-262, 2008.

SANTOS, L.N.; FERNANDES, H.C.; SOUZA, A.P.; FURTADO, M.R.; SILVA, R.M.F. Avaliação dos níveis de ruído e vibração de um conjunto trator-pulverizador, em função da velocidade de trabalho. **Engenharia na Agricultura**, v.22, n.2, p.112-118, 2014.

SANTOS FILHO, P.F.; FERNADES, H.C.; QUEIROZ, D.M.; SOUZA, A.P.; CAMILO, A.J. Avaliação dos níveis de vibração vertical no assento de um trator agrícola de pneus utilizando um sistema de aquisição automática de dados. **Revista Árvore**, v.27, p.887-895, 2003.

SARLETT, A.J., PRINCE, J.S., STAYNER, R.M. Whole-body vibration: Evaluation of emission and exposure levels arising from agricultural tractors. **Journal of Terramechanics**, v.44, n.1, p. 65-73, 2007.

SCHLOSSER, J.F. LINARES, P. SOUSA FILHO, E.G. Desempenho de três teorias de simulação do comportamento de um trator agrícola em tração. **Engenharia Agrícola**, v.24, n.3, p.720-726, 2004.

SIMIKIC, M.; DEDOVIC, N.; SAVIN L.; TOMIC, M.; PONJICAN, O. Power delivery efficiency of a wheeled tractor at oblique drawbar force. **Soil and Tillage Research**, v.141, p.32-43, 2014.

SIMÕES, D.; SILVA, M.R.; FENNER, P.T. Desempenho operacional e custos na operação de subsolagem em área de implantação de eucalipto. **Bioscience**, v.27, n.5, p.692-700, 2011.

SILVEIRA, J.C.M.; TIEPPO, R.C.; GABRIEL FILHO, A. Nível de ruído emitido por um conjunto motomecanizado na operação de preparo mínimo do solo. **Global Science and Technology**, v.01, n. 08, p.60 70, 2008.

SILVEIRA, G.M.; SIERRA, J.G. Eficiência energética de tratores agrícolas fabricados no Brasil. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.4, p.418–424, 2010.

SILVESTRINI, J.C.; BRANTIS JÚNIOR, M.J; BAESSO, M.M.; FISCHER, C.; BAESSO, R.C.E. Noise Levels Evaluation of Agricultural Tractor. **International Journal of Research in Agriculture and Forestry**, v.2, n.13, p.46-50, 2015.

SRIVASTAVA, A.K.; GOERING, C.E.; ROHRBACH, R.P. Tractor hitching, traction and testing. In: SRIVASTAVA, A. K. Engineering principles of

agricultural machines. 3th. ed. St. Joseph: American **Society of Agricultural Engineers**, p.117-145, 1996.

SCARLETT, J.S.; PRICE, J.S.; STAYNER, R.M. Whole-body vibration: evaluation of emission and exposure levels arising from agricultural tractor. **Journal of Terramechanics**, v.44, p.65–73, 2007.

SMERDA, T.; CUPERA, J. Tire inflation and its influence on drawbar characteristics and performance – Energetic indicators of a tractor set. **Journal of Terramachics**, v.47, p.395-400, 2010.

SPAGNOLO, R.T.; PALMA, M.A.Z.; VOLPATO, C.E.S.; BARBOSA, J.A.; NUNES, R.A. Operational performance of an agricultural tractor as a function of weight, inflation pressure and tire life. **Engenharia na Agricultura**, v.21, n.4, 2013.

TAGHAVIFAR, H.; MARDIANI, A.; HOSSEINLOO, A.R. Appraisal of artificial neural network-genetic algorithm based model for prediction of the power provided by the agricultural tractors. **Energy**, v.93, p.1704–171, 2015.

TOSIN, R.C.; LANÇAS, K.P. ARAUJO, J.A.B. Avaliação do ruído no posto de trabalho em dois tratores agrícolas. **Revista Energia na Agricultura**, vol.24, n.4, p.108-118, 2009.

VILLIBOR, G.P.; SANTOS, F.L.; FURTADO JÚNIOR, M.R. Mechanical vibrations at the seat base of a tractor during the subsoiling operation. **Revista Agrarian**, v.8, n.27, p.64-73, 2015.

YANAI, K.; SILVEIRA, G M.; LANÇAS, K.P.; CORRÊA, I.M.; MAZIERO, J.V. G. Desempenho operacional de trator com e sem o acionamento da tração dianteira auxiliar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, n.8, p.1427-1434, 1999.