

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**RELAÇÃO MASSA/POTÊNCIA E PRESSÃO INTERNA DO
PNEU DE UM TRATOR AGRÍCOLA**

Leane Castro de Souza

Engenheira Agrônoma

2017

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**RELAÇÃO MASSA/POTÊNCIA E PRESSÃO INTERNA DO
PNEU DE UM TRATOR AGRÍCOLA**

Leane Castro de Souza

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo AngeliFurlani

Co-orientador: Prof. Dr. Jorge Wilson Cortez

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).

2017

S729r Souza, Leane Castro de
Relação massa/potência e pressão interna do pneu de um trator agrícola / Leane Castro de Souza. -- Jaboticabal, 2017
v, 34 p. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2017
Orientador: Carlos Eduardo Angeli Furlani
Banca examinadora: Fábio Alexandre Cavichioli e Cristiano
Zerbato
Bibliografia

1. Deformação do solo. 2. Desempenho operacional. 3. Resistência do solo à penetração. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.372

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

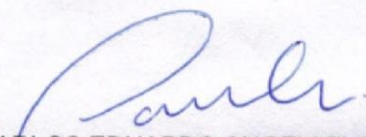
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: RELAÇÃO MASSA/POTÊNCIA E PRESSÃO INTERNA DO PNEU DE UM TRATOR AGRÍCOLA

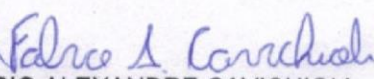
AUTORA: LEANE CASTRO DE SOUZA

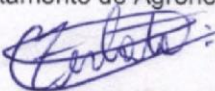
ORIENTADOR: CARLOS EDUARDO ANGELI FURLANI

COORIENTADOR: JORGE WILSON CORTEZ

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. CARLOS EDUARDO ANGELI FURLANI
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. FABIO ALEXANDRE CAVICHIOLI
Departamento de Agronegócio / FATEC - Taquaritinga, SP


Prof. Dr. CRISTIANO ZERBATO
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 07 de março de 2017

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

LEANE CASTRO DE SOUZA – Filha de Antônio Juarês Oliveira de Souza e Maria de Nazaré Oliveira de Castro, nasceu em Moju, Pará, no dia 11 de Julho de 1989. Em Fevereiro de 2011, ingressou no Curso de Agronomia pela Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, no estado do Pará. De Janeiro a Julho de 2012 foi bolsista de extensão. Além disso, foi bolsista de iniciação científica - PIBIC da Capes pela Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, campus de Capitão Poço-Pará por três anos consecutivos (2012 a 2015). Em Agosto de 2015 ingressou no curso de Mestrado na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP no programa de pós-graduação em Agronomia (Ciência do Solo).

Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.

(Charles Chaplin)

Dedico e ofereço esta dissertação,

A Deus, a minha família, meu marido,
amigos e orientador pelo apoio e força.
Sem eles nada disso seria possível.

AGRADECIMENTOS

Á Deus, por sempre me abençoar, por sempre me dar forças para que eu nunca desistisse dos meus sonhos, mesmo com todas as dificuldades. Obrigada por me proporcionar estes agradecimentos à todos que tornaram minha vida mais afetuosa, além de ter me dado uma família maravilhosa.

Aos meus pais (Maria de Nazaré e Antonio Juarez) pela determinação e luta na minha formação e dos meus irmãos, e que lutaram sem medir esforços na criação e desenvolvimento da família, sempre apoiando e incentivando-me, nos momentos felizes ou tristes dando-me apoio e segurança, sendo o chão que sustenta a planta, a água que a faz crescer, e os nutrientes que dão vida, cor e bons frutos, um grande abraço aos meus pais que sempre foram, são e será um exemplo a serem seguidos.

Aos meus irmãos (Luma Castro e Leandro Castro) pelo amor, força e confiança. Ao meu marido (Cleiton Roberto) que sempre esteve comigo, me apoiando e incentivando, e que soube entender minha ausência. A minha amada filha Lys Roberta, por ter aguentado ficar longe da mamãe durante o período que tive que retornar a Jaboticabal para minha qualificação e defesa, e por ser uma filha adorável. Amo vocês. Muito Obrigada!

A CAPES, pelo auxílio e apoio concedido, que foi essencial para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Eduardo Furlani, orientador e amigo, agradeço ao apoio, a partilha do saber e as contribuições para realização do trabalho. Obrigada por estimular o meu interesse pelo conhecimento e pela vida acadêmica, e por ter sido tão compreensivo e amigo quando soube da minha gravidez no decorrer do curso, e ter entendido minhas limitações. Lhe agradeço imensamente!

Agradeço ao meu co-orientador Dr. Jorge Wilson Cortez, que apesar de não tê-lo conhecido pessoalmente, muito me ajudou nesta etapa final. Muito obrigada!

Agradeço aos docentes da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de Jaboticabal pelos ensinamentos compartilhados nas disciplinas

que tire a honra de participar e aos discentes pelas trocas de conhecimentos dentro e fora da sala de aula. Muito Obrigada!

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Rural, em especial ao “Tiãozinho” e “Maranhão”, pela amizade, pela disponibilidade, simpatia e gentileza. Obrigada!

Aos meus amigos do Laboratório de máquinas e mecanização agrícola (LAMMA), Lucas, Franciele, Antônio Tassio, Adão Felipe, Aline, Rafael Noronha, Rafael Bertonha, Patrícia, Renata, Mailson, André e em especial ao Tiago Tavares e Matheus Borba por terem me ajudado na realização do experimento. Obrigada pela amizade, por terem me ajudado direta e indiretamente na condução e análise do meu experimento e por terem me recebido de braços abertos na família Lamma.

Finalmente, gostaria de agradecer à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de Jaboticabal por abrir as portas para que eu pudesse realizar o Mestrado, proporcionando-me a busca de conhecimento técnico e científico.

Por fim, agradeço a todas as pessoas que contribuíram de alguma forma para a concretização desse sonho, estimulando-me a buscar o conhecimento.

Obrigada!

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	ii
ABSTRACT.	iii
LISTA DE TABELAS.....	iv
LISTA DE FIGURAS.....	v
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1 Relação massa/potência, pressão interna do pneu traseiro.....	2
2.2 Resistência mecânica do solo à penetração do solo (RMSP).....	6
2.3 Pneus.....	6
2.4 Desempenho operacional dos tratores agrícolas.....	6
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	11
3.1 Localização da Área Experimental.....	11
3.2 Preparo da Área Experimental.....	11
3.3 Máquina agrícola.....	12
3.4 Delineamento experimental.....	12
3.5 Avaliações.....	15
3.5.1 Resistencia mecânica do solo à penetração (RMSP).....	15
3.5.3 Deformação que o pneu causou ao solo, largura e profundidade do recalque.....	16
3.5.4 Avanço dinâmico.....	17
3.6. Análise estatística.....	17
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
5 CONCLUSÕES.....	26
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	27

RELAÇÃO MASSA/POTÊNCIA E PRESSÃO INTERNA DO PNEU DE UM TRATOR AGRÍCOLA

RESUMO - O trator assim como qualquer máquina, necessita de alguns ajustes para que ele possa realizar determinadas operações com qualidade e eficiência. Objetivou-se avaliar as consequências que a relação massa/potência da máquina e as pressões internas dos pneus causa no solo, observando a deformação que o pneu causou ao solo, a largura do recalque, a profundidade do recalque, a resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) e o avanço dinâmico em superfície de solo mobilizado. O experimento foi montado em blocos casualizados no esquema fatorial 4 x 4, com 16 tratamentos e quatro repetições. As combinações dos tratamentos foram quatro relações massa/potência no trator (53; 50,5; 47 e 44 kg cv⁻¹) e quatro pressões de inflação dos pneus traseiros (32, 28, 24 e 20 psi). Os dados foram submetidos a análise de variância e ao teste de regressão linear. A relação massa/potência e a pressão interna do pneu não afetaram a deformação que o pneu causou ao solo e a largura do rastro do mesmo, mas influenciaram a resistência mecânica do solo à penetração, o avanço dinâmico e a profundidade do rastro do pneu. A relação massa/potência e a pressão interna do pneu traseiro afetam diretamente a resistência à penetração, na camada de 11 a 20 cm, e a profundidade do recalque. A pressão nos pneus traseiros afetou o avanço dentro das massa/potência 53, 47 e 44 kg cv⁻¹.

Palavras-chave: deformação do solo, desempenho operacional, resistência mecânica do solo à penetração.

RATIO MASS / POWER AND INTERNAL PRESSURE OF THE TIRE OF AN AGRICULTURAL TRACTOR

ABSTRACT: The tractor, like any machine, needs some adjustments so that it can perform certain operations with quality and efficiency. The objective of this study was to evaluate the effects of the mass / power ratio of the machine and the internal pressures of the tires on the ground, observing the deformation that the tire caused to the ground, the width of the repression, the depth of the repression, Penetration (RMSP) and the dynamic advance on mobilized soil surface. The experiment was assembled in randomized blocks in the 4 x 4 factorial scheme, with 16 treatments and four replications. The treatment combinations were four mass / power ratios in the tractor (53; 50.5, 47 and 44 kg cv⁻¹) and four inflation pressures of the rear tires (32, 28, 24 and 20 psi). Data were submitted to analysis of variance and linear regression. The mass / power ratio and the internal pressure of the tire did not affect the deformation caused by the tire to the ground and the track width of the tire, but influenced the mechanical resistance of the tire to penetration, dynamic advancement and tire tread depth. The mass / power ratio and the internal pressure of the rear tire directly affect the penetration resistance in the 11 to 20 cm layer and the depth of the rebound. The pressure on the rear tires affected the advance within the mass / power 53, 47 and 44 kg cv⁻¹.

Keywords: Soil of deformation, operational performance, soil mechanical resistance to penetration.

LISTA DE TABELAS

TABELA	Página
TABELA 1. Relações massa/potência e níveis de pressões interna dos pneus traseiros.....	14
TABELA 2. Resultado do teste de Fisher (F) e do coeficiente de variação (CV) em função a relação massa/potência (R) e pressão interna do pneu traseiro (P) para as variáveis avaliadas	18
TABELA 3. Desdobramento da interação entre a relação massa/potência (R) e pressão interna do pneu (P) para a deformação que o pneu causou ao solo, largura do recalque, profundidade do recalque, resistência a penetração (RP) e avanço dinâmico.....	19
TABELA 4. Resistência do solo à penetração (MPa), após a passagem do trator, medida em diferentes camadas, sob pressões interna do pneu traseiro. Letras distintas na mesma camada diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).....	22

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	Página
1. Preparo do solo na área experimental.....	11
2. Trator utilizado para realização do experimento.....	12
3. Croqui da área.	13
4. Lastragem líquida.	14
5. Procedimento de retirada dos lastros dianteiros (A) e traseiros (B).....	14
6. Penetrômetro eletrônico acoplado em quadriciclo.	15
7. Coleta das amostras para determinação da umidade do solo.	16
8. Perfilômetro	16
9. Avançômetro	17
10. Regressão linear da relação de avanço em função da variação da pressão no pneu traseiro na relação massa/potencia 53 (a), 50,5 (b), 47 (c) e 44 (d) kg cv ⁻¹ ..	25

1 INTRODUÇÃO

Desde o principio a agricultura vem avançando e ganhando destaque, principalmente devido a evolução das máquinas e dos equipamentos agrícolas. Além disso, a demanda por alimentos fez com que o produtor buscasse utilizar máquinas e equipamentos agrícolas mais modernos, visando aumentar a produção em um curto período de tempo. Assim, com a multiplicação dos implementos agrícolas, o trator é sem dúvida uma máquina indispensável na agricultura. No entanto, o trator assim como qualquer maquina, necessita de alguns ajustes para que ele possa realizar determinadas operações com qualidade e eficiência. E existem alguns fatores que interferem no desempenho do trator, tais como a quantidade de lastro e a pressão interna dos pneus.

Dessa forma, a utilização adequada da pressão interna do pneu pode trazer benefícios em relação ao aumento do rendimento do trator, a patinagem e também em relação a reduções em perdas de tração, propiciando o melhor desempenho operacional do trator. Além disso, o uso adequado da pressão interna do pneu pode melhorar a condição física do solo, com a redução da resistência a penetração de raízes e conseqüentemente, reduzir o risco de compactação do solo, pois este é um processo físico que dificulta o crescimento das culturas.

Assim, a uniformização da pressão interna do pneu é importante para garantir uma distribuição adequada da pressão, contribuindo para reduzir os riscos com a compactação. Além disso, o contato do pneu com a superfície do solo é outro fator fundamental para minimizar o processo de compactação. A pressão interna dos pneus causam alterações na patinagem e no avanço dinâmico, e estas variáveis são fundamentais para avaliar o rendimento do trator agrícola.

Por isso, é importante também estudar como essas variáveis atuam visando com isso melhorar o uso adequado de diferentes níveis de pressões, bem como avaliar se estas estão influenciando o avanço dinâmico, a deformação que o pneu causa ao solo, a largura do recalque, a profundidade do recalque e a resistência a penetração de raízes.

Além disso, para o desempenho do trator a campo, a massa do mesmo influi diretamente no seu desempenho, sendo bastante importante também na definição da aptidão na execução de determinadas operações, portanto, o correto ajuste da lastragem de um trator é essencial para a execução de determinadas tarefas e fundamental para um maior rendimento da máquina.

Portanto, surgem à necessidade de avançar cada vez mais com informações consolidadas sobre os efeitos de um adequado ajuste dos tratores agrícolas, visando uma maior eficiência operacional e conseqüentemente maior vida útil.

Diante do exposto este trabalho testa a seguinte hipótese: A regulagem adequada do trator promove menor compactação do solo, sem que o trator perca sua eficiência.

Objetivou-se avaliar as conseqüências que a relação massa/potência da máquina e as pressões internas dos pneus causa no solo, observando a deformação que o pneu causou ao solo, a largura do recalque, a profundidade do recalque, a resistência mecânica do solo a penetração (RMSP) e o avanço dinâmico em superfície de solo mobilizado.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Relação massa/potência e pressão interna do pneu

No Brasil, o crescente uso de máquinas agrícolas começou a partir da década de 60, fruto do processo de modernização da agricultura, sendo o trator agrícola considerado o eixo da mecanização na agricultura moderna (JESUINO, 2007). Para o mesmo autor, o uso do trator agrícola quando relacionado ao trabalho manual, reduziu de forma significativa a atividade antes exercida pelo homem, tornando-se assim, responsável por uma parcela expressiva do aumento da capacidade de produção agrícola. Porém, também se tornou o responsável pelo aumento do consumo de energia nas atividades de campo.

O avanço da agricultura esteve desde o princípio associado à evolução das ferramentas que estavam disponíveis e, em tempos modernos, ao progresso

evolutivo do maquinário agrícola (JADOSKI et al., 2016) e com a multiplicação dos implementos agrícolas, o trator é sem dúvida uma máquina indispensável na agricultura. Para Kathirvel et al. (2001), a eficiência de um trator agrícola está relacionada com a habilidade de fornecer energia mecânica para uma série de equipamentos e desempenhar operações inerentes ao processo produtivo.

Nesse contexto, os tratores agrícolas podem ser configurados e regulados pelo usuário, com o objetivo de melhorar as suas condições de trabalho, eficiência e economia durante as operações agrícolas (MONTEIRO, 2011). Entre estas configurações pode-se destacar o tipo construtivo dos pneus, a sua pressão de inflação e o lastro líquido e sólido, além do arranjo e distribuição do peso no trator (MONTEIRO, 2011). Contudo, de acordo com o mesmo autor, quando alguns destes fatores são alterados, modifica-se também o avanço do trator.

Denomina-se avanço de um trator a percentagem da diferença de rotação da roda dianteira, com e sem a tração dianteira acionada, para um mesmo deslocamento da roda traseira, sendo baseada na relação mecânica de distribuição de torque na dianteira e traseira do trator e o raio de cada roda (LINARES et al., 2006).

Um dos principais componentes do trator e da maioria das máquinas agrícolas autopropelidas são os pneus agrícolas, tendo relevante importância nos custos operacionais de campo e, sobretudo, nos custos finais de sua fabricação (MONTEIRO, 2008). Assim, o emprego correto de pneus, tanto em relação ao seu tipo quanto a calibração de sua pressão interna, são fatores que influem significativamente no seu desempenho (MONTEIRO, 2008). Para esse autor, outros fatores de regulagem do trator; tais como, a lastragem e a velocidade de deslocamento também modificam sua eficiência trativa.

Logo, a pressão interna dos pneus é um fator relevante nas operações com tratores agrícolas, onde por meio da variação da pressão interna é possível alterar a área de contato do pneu com o solo e, dessa forma, conseguir ajustar a capacidade de tração de acordo com a operação realizada. Segundo Paula (2008), baixas pressões de inflação ou altas cargas podem levar a uma sobrecarga nos pneus, provocando grandes deformações no solo. Estas deformações no solo são a área de solo mobilizada e a profundidade do recalque do pneu no solo. Além disso, a

pressão interna dos rodados são importantes na distribuição de tensões influenciando o tamanho da área de contato dos pneus (BIRIS et al., 2011), contribuindo para a determinar as pressões de contato do pneu, determinar a relação tensão-deformação do pneu e o risco de compactação (TAGHAVIFAR; MARDANI, 2013).

Segundo Spagnolo et al. (2012) com o uso de pressão interna e lastragem apropriadas, obtém-se a maior capacidade operacional do conjunto trator máquina, além de aumentar a vida útil do rodado, reduzindo perda de tração, patinagem em excesso e elevado consumo de combustível. Taghavifar e Mardani (2012) avaliando a área de contato de um pneu sob diferentes cargas e inflado com pressões de 100; 150 e 290 kPa, concluíram que para uma mesma carga, a área de contato do rodado é maior na pressão de 100 kPa.

Para esses autores isso ocorreu porque houve o aumento da deflexão do rodado quando a pressão interna diminuiu. Em trabalho realizado por Feitosa et al. (2015) a área de contato teve um aumento de 25% para os rodados traseiros quando a pressão interna dos rodados diminuiu, de 124 para 83 kPa. Esses mesmos autores, verificaram que a variação em uma unidade na pressão interna dos rodados resultou na elevação (0,279 kPa) da pressão de contato e rodados dianteiros, não houve efeito significativo da pressão interna na área de contato do solo.

Para Jadoski et al. (2016) a pressão interna do rodado pode influenciar o rendimento operacional do trator. Segundo Misiewicz et al. (2015) a distribuição da pressão interna dos rodados tem que ser uniforme para se obter uma relação de equilíbrio dinâmico. Assim, Schjonning et al. (2008) destacam a importância de se distribuir a pressão interna e a importância do contato da banda do pneu com a superfície do solo, no qual este é considerando fundamental para reduzir o processo de compactação. Mion et al. (2016) estudando diferentes pressões do pneu de um trator observaram que pressões altas favorecem reduções na área de contato do pneu com a superfície do solo.

A pressão interna dos rodados e a velocidade dos tratores utilizados em operações agrícolas causam mudanças na patinagem dos pneus e no avanço cinemático, os quais estes são importantes para se avaliar o rendimento tratório (FEITOSA et al., 2015). Desse modo, ao estudar a utilização do avanço cinemático

do trator esses autores verificaram que quanto maior a pressão aplicada (110; 124 kPa), maior foi o valor médio do avanço (1,27%) e em pressões mais baixas observaram que o avanço apresentou valores negativos, indicando que a velocidade dos rodados do eixo dianteiro é menor do que a dos rodados traseiros. Para esses mesmos autores, isso ocorreu devido o aumento no raio de rolamento dos rodados do trator quando estes foram inflados com maiores pressões. Segundo Linares et al. (2006), quando o avanço cinemático alcança uma faixa entre 1 e 5%, o desempenho do trator é otimizado, porém para que isso ocorra a patinação dos rodados não pode ultrapassar 20%.

Desse modo, ao estudar a utilização de elevadas pressões de inflação dos pneus, Serrano (2008) concluiu que houve redução da ordem de 3 a 5% na capacidade de trabalho e aumento significativo, entre 10 e 25%, do consumo de combustível por hectare, ainda que em condições de boa aderência dos pneus, refletidas no intervalo de 7 a 15% de patinação.

A pressão de inflação tem papel fundamental na área de contato entre o pneu e o solo, além da distribuição de pressão na sua superfície, sendo que para uma menor compactação do solo e maior eficiência trativa deve-se ter uma maior área de contato do pneu com o solo, utilizando-se menores pressões de inflação dos pneus (MASIERO; LANÇAS; MONTEIRO, 2011).

Yanay et al. (1999), realizaram um trabalho com o objetivo de avaliar, em condições normais de campo, a influência dos fatores da pressão de inflação e da carga sobre o rodado motriz (sob quatro níveis), nas duas condições de tração dianteira auxiliar (acionada ou não).

Os mesmos autores concluíram que a pressão de inflação influenciou significativamente nos parâmetros de patinação, velocidade de deslocamento e potência na barra. O uso da tração dianteira auxiliar – TDA, mostrou vantagens significativas em relação aos mesmos parâmetros anteriores (YANAY et al., 1999). A interação entre os fatores pressão de inflação e carga sobre o rodado mostrou que determinadas combinações de pressão foram mais favoráveis para o desenvolvimento de maior velocidade e menor patinação. As características relacionadas ao desempenho do motor (consumo horário de combustível e rotação

do motor) não foram afetadas por nenhum dos fatores ou suas interações (YANAY et al., 1999).

A adequação de um trator agrícola visando à utilização de pneus ajustados para diferentes condições superficiais de solo resulta em melhor desempenho geral com conseqüente aumento da capacidade operacional, aumento da vida útil, melhor qualidade de serviço e menor custo operacional (SOUZA, 2013).

2.2 Resistência mecânica do solo à penetração do solo (RMSP)

Atributos físicos do solo vem sendo utilizado para caracterizar o processo de compactação, dentre esses atributos destacando-se a densidade do solo, a porosidade total, a macroporosidade, a microporosidade e a resistência do solo à penetração (MORAES et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2012).

Um dos atributos físicos do solo que influenciam diretamente no crescimento radicular e na parte aérea das plantas é a resistência do solo à penetração (RP), onde esta característica é a que melhor representa as condições para o desenvolvimento radicular das culturas (FURLANI et al., 2003).

O processo em que a porosidade e a permeabilidade são reduzidas e a resistência é aumentada, devido às cargas ou pressões aplicadas, denomina-se de compactação do solo. Dessa forma, esse processo afeta o crescimento e o desenvolvimento radicular, além disso, aumenta a densidade do solo, as perdas de nitrogênio por desnitrificação, o consumo de combustível das máquinas no preparo dos solos e a erosão do solo pela menor infiltração de água (ABREU et al., 2004; SILVA et al., 2006; BOTTA et al., 2008). Também por reduzir a macroporosidade, faz com que a água retida nos microporos permaneça sob altas tensões, apresentando baixa disponibilidade para as plantas.

Com a compactação do solo a resistência do solo à penetração aumenta, sendo restritiva ao crescimento radicular acima de certos valores que variam de 1,5 a 4,0 MPa, admitindo-se valores superiores em plantio direto, na ordem de 5,0 MPa. De acordo com Beutler et al. (2001), este aspecto está relacionado com a permanência da continuidade dos poros, resultante da decomposição das raízes,

liberação de exsudados radiculares, atividade biológica do solo mais efetiva, propiciando maior estabilidade dos agregados. Segundo Silva et al. (2004) a resistências à penetração em torno de 3,5 a 6,5 MPa, aparentemente, são as mais corretas para considerar que um solo está com possíveis problemas de impedimento mecânico.

Para o crescimento de raízes, o valor de resistência à penetração de 2000 kPa tem sido aceito como limite crítico impeditivo. Entretanto, em função da cultura trabalhada esse valor pode variar (WATANABE et al., 2000). O sistema radicular das plantas é afetado quando os valores observados forem maiores do que os críticos para cada cultura.

Os problemas com compactação começam a chamar atenção para o aumento no custo de produção por unidade de área e diminuição do potencial produtivo do solo, isso porque a correção da compactação do solo exige máquinas com potências elevadas, além de equipamentos específicos como subsoladores ou escarificadores, e também bom conhecimento técnico, para avaliação da melhor hora para proceder às operações.

Para se avaliar a resistência mecânica do solo à penetração (RP), utiliza-se um penetrômetro, no qual é um equipamento composto por uma haste com ponteira cônica (CARBONERA, 2007). A RP mensurada por meio da penetrometria (BENGOUGH; MULLINS, 1990; TORMENA; ROLOFF, 1996) é determinada pelo índice de cone (IC), definido como a força de resistência do solo à penetração do cone de ângulo sólido de 30° com área basal conhecida, sendo expresso em unidade de pressão (Pascal) que representa a força por unidade de área da base do cone (CUNHA et al., 2002; ALMEIDA et al., 2008).

Tem sido uma das formas mais adotadas de se caracterizar o estado de compactação de um solo a utilização de penetrômetros para determinar a resistência mecânica do solo à penetração (MOLINA JR et al., 2013; FOUNTAS et al., 2013; GAO et al., 2012; SILVEIRA et al., 2010).

Segundo Acosta (2007) o conhecimento da resistência a penetração existente em cada talhão promoveria a informação específica das práticas de manejo utilizadas em cada área. Assim, garantiria menor impacto às propriedades físicas

dos solos aonde as práticas seriam desnecessárias e, ainda, uma economia de combustíveis no caso da não recomendação do manejo destas.

Para Vaz et al. (2011) a resistência à penetração é alterada por parâmetros do solo relativamente constantes ao longo do tempo mas que apresentam significativa heterogeneidade espacial, tais como a distribuição de tamanho das partículas, mineralogia do solo e matéria orgânica. Varia ainda em função das propriedades do solo que são altamente dinâmicas temporal e espacialmente, como o teor de água, a densidade, a porosidade total e o potencial matricial. Além disso, a RMSP é bastante afetada pelo tráfego dos tratores agrícolas, aumentando a resistência mecânica do solo a penetração.

2.3 Pneus

Os pneus apresentam grande importância nos tratores agrícolas por proporcionar o equilíbrio, o direcionamento, o deslocamento e o amortecimento das vibrações, originadas das irregularidades do solo, e que podem interferir no desempenho operacional (MONTEIRO et al., 2011).

Segundo Mialhe, (1980) o rodado pneumático apresenta estrutura em forma de tubo circular, de modo que ao se inflar com uma determinada pressão, resiste, dentro dos limites normais de trabalho, as cargas nele aplicadas e as solicitações dinâmicas e estáticas que agem sobre o mesmo. De acordo com o mesmo autor, o pneu é composto basicamente por borracha vulcanizada e camadas de cordões, também chamadas de lonas (malhas de fibras de algodão, de aço, nylon, poliéster, etc), que se estendem ao longo de sua estrutura.

Em relação à sua forma construtiva ou estrutural, têm-se os pneus radiais e diagonais, onde nos radiais os fios das lonas da carcaça formam arcos transversais ao sentido de deslocamento ou rotação, sendo que sua estabilidade ao piso é proporcionada por meio de uma cinta composta de lonas sobrepostas, formando uma carcaça única que permite apenas flexão, e não fricção entre as lonas (LEITE, 2015). Já nos diagonais ou convencionais, os fios das lonas são cruzadas umas em relação às outras. Nesta forma estrutural, os flancos contribuem com a banda de rotação, sendo que a flexão dos flancos quando a roda se movimenta, é

transmitida à banda de rodagem, adequando-se com a superfície do solo (LEITE, 2015).

A capacidade de tração e fornecimento de potência suficiente para desempenhar grande parte das operações necessárias na agricultura depende, em parte, do tipo de dispositivo de tração. Quando os dispositivos são pneumáticos, o tamanho, a pressão de inflação, a carga aplicada sobre o eixo motriz, a transferência de peso, entre outros, interferem na capacidade de tração do trator (NAGAOKA et al., 2002; ZOZ & GRISSE, 2003).

De acordo com Mialhe, (1980), os pneus utilizados em tratores e máquinas agrícolas devem suportar, com segurança, o peso do trator ou da máquina em condição estática e dinâmica, agir como um sistema de amortecimento dos impactos provocados pelas irregularidades do solo, além de garantir, com eficiência, a transmissão das forças motrizes e frenantes do trator ao solo e vice-versa.

Segundo Yanai et al. (1999), dentre as características dos pneus que afetam o desempenho operacional do trator, estão o tipo de construção, a configuração da banda de rodagem, a largura e o diâmetro dos rodados e a carga normal sobre as rodas motrizes.

Correa (1999a) destaca que o rodado é a última parte de ligação do motor do trator com o solo e seu estudo é de fundamental importância para o desempenho do trator, havendo, portanto, a necessidade de conhecê-lo melhor, utilizando a pressão de inflação indicada pelo fabricante e tomando os devidos cuidados com a sua manutenção.

2.4 Desempenho operacional dos tratores agrícolas

A utilização de máquinas e implementos agrícolas é uma parcela considerável dos custos de produção agrícola, sobretudo no que diz respeito a uma das principais unidades de potência da agricultura, o trator agrícola. A otimização de seu desempenho global e, mais especificamente, a melhor utilização do potencial de seu motor, reduzindo o consumo de combustível, que por ser um dos fatores importantes na redução de custos de produção, torna-se um requisito fundamental (SILVA, 1997).

Lopes et al. (2005) ao estudarem o desempenho de um trator agrícola 4x2 TDA de 89 Kw (121 cv), variando o tipo de pneu (radial, diagonal e baixa pressão), combinando duas condições de lastragem do trator (com e sem água nos pneus) e quatro velocidades de deslocamento, concluíram que a combinação do tipo de pneu e marcha selecionada evidenciou a superioridade do pneu radial para a variável potência na barra, operando com o trator na marcha M3 ($4,57\text{km h}^{-1}$).

Yanai et al. (1999) avaliaram em situação de campo, a influência dos fatores inflação e carga sobre o rodado motriz, combinados com e sem o uso da tração dianteira auxiliar, e observaram que as combinações de pressão de inflação influenciam significativamente a patinação, a velocidade de deslocamento e a potência na barra, não mostrando, porém, tendência de aumento ou redução com seu decréscimo.

Ao avaliar desempenho de um trator em função do tipo de pneu (radial, diagonal e BPAF) em condições de campo, Cordeiro (2000), verificou-se que houve menor consumo de combustível para os pneus radiais ensaiados sob pressão de inflação de 110 kPa (16 psi) e carga no pneu traseiro variando de 18.000 N a 22.500 N. O pneu diagonal, com pressão de inflação 124 kPa (18 psi) e carga no pneu traseiro variando de 17.000 N a 22.000 N, apresentou maior capacidade de tração, com menor patinação para os níveis de força de tração na barra, sob maiores lastragens.

Nagaoka et al. (2002) em seus estudos concluíram que as condições da superfície do solo também afetam o consumo de combustível do trator, pois ao comparar o consumo de combustível de um trator em diferentes tipos de preparo do solo, observaram que o maior consumo de combustível do trator se deu quando se utilizou o método convencional em relação à área sob o sistema de plantio direto.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização da Área Experimental

O experimento foi realizado em área agrícola localizada próximo às coordenadas geodésicas: 21°15' S e 48°18' W, com altitude média de 570 m e declividade média de 4%, apresentando o clima Cwa de acordo com a classificação de Koeppen, ou seja, subtropical úmido, com estiagem no período do inverno. Acrescenta-se, também, que a temperatura média é de 22,2 °C, precipitação média anual de 1.425 mm, umidade relativa média de 71% e pressão atmosférica de 94,3 kPa (UNESP, 2006). O solo foi classificado como Latossolo Vermelho Eutroférico típico, apresentando relevo suave ondulado (ANDRIOLI; CENTURION, 1999).

3.2 Preparo da Área Experimental

Para a instalação do experimento a área foi previamente preparada com grade de discos de dupla ação, classificada como pesada, com discos recortados, modelo GAI-CR da marca Maksolo, com 18 discos de 0,66 m, e 2,25 m de largura de corte, sendo efetuadas três operações de gradagem na profundidade média de 0,20 m para adequar a uniformidade da área (Figura 1). Após o preparo da área foi realizada a demarcação dos blocos e tratamentos, sendo as avaliações iniciadas no dia seguinte.



FIGURA 1. Preparo do solo na área experimental

3.3. Máquina agrícola

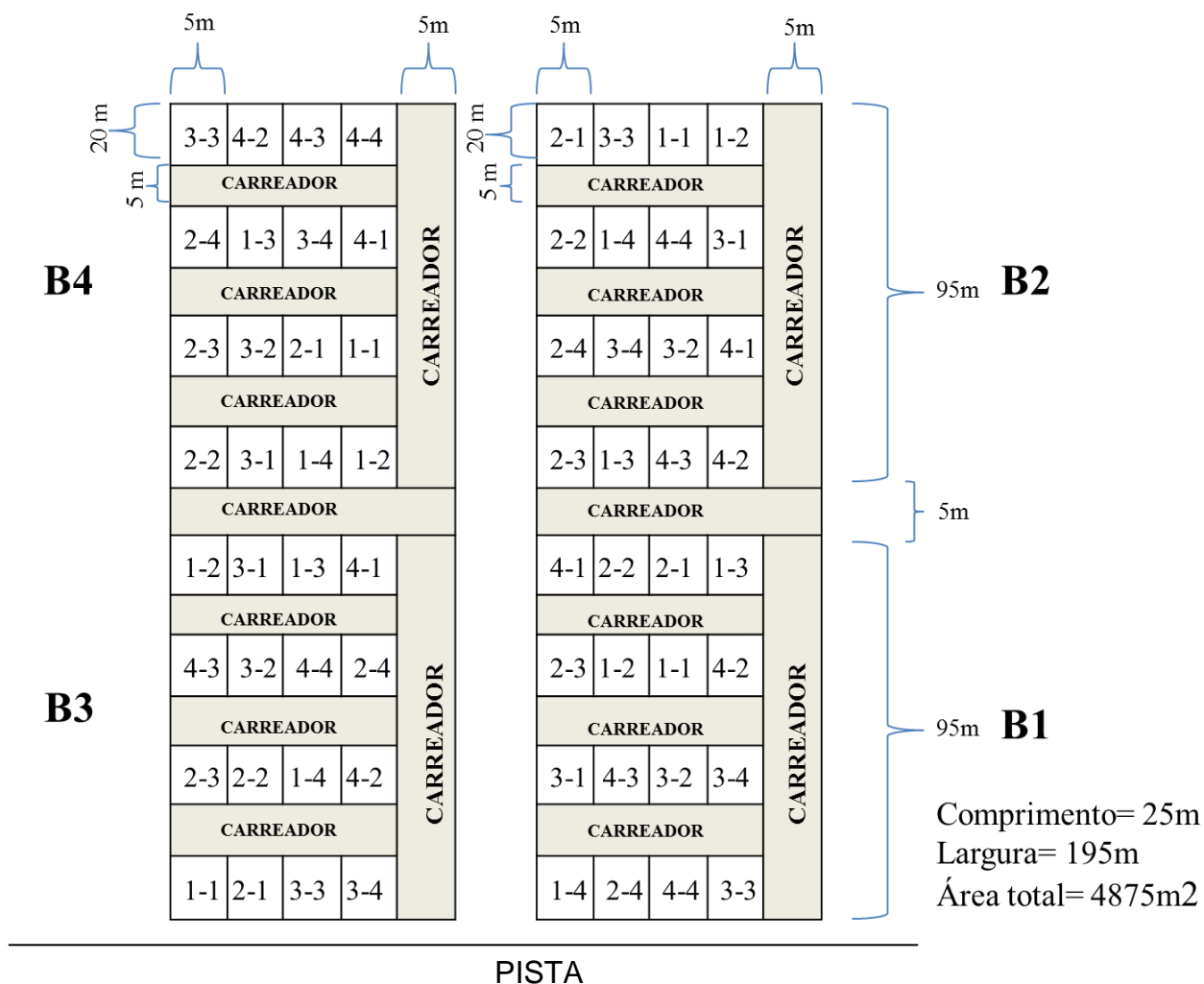
O trator utilizado foi da marca Case Farmall, 4x2 TDA (tração dianteira auxiliar), 69,87 kW (95cv) de potência máxima a 2500 rotações no motor (Figura 2). A massa do trator sem lastro foi de 3348 kg. O motor do trator trabalhou com combustível óleo diesel S10. Foram utilizados pneus diagonais modelos Pirelli® TII 95 18.4-34 no eixo traseiro e Goodyear® Dyna Torque II 14.9-24 no eixo dianteiro do trator. Ressalta-se ainda que para a realização das avaliações o trator trabalhou sem implemento agrícola.



FIGURA 2. Trator utilizado para realização do experimento

3.4. Delineamento experimental

Foi utilizado o delineamento experimental em blocos casualizados, em esquema fatorial 4 x 4 e quatro repetições, totalizando 64 observações (Figura 3).



Os números ilustrados no croqui correspondem a relação massa/potência e pressão interna dos pneus traseiros respectivamente.

FIGURA 3. Croqui da área

As combinações dos 16 tratamentos foram quatro relações massa/potência no trator e quatro relações de pressão de inflação do pneu traseiro (Tabela 1). A pressão interna do pneu dianteiro foi mantida em 97kPa (14psi) para a adequação da relação. A lastragem líquida (Figura 4) e metálica (Figura 5) foi realizada para manter o trator com uma relação próximo de 40% e 60%, ou seja, aproximadamente 40% de massa na dianteira e 60% de massa no eixo traseiro.

TABELA 1. Relações massa/potência e níveis de pressões interna dos pneus traseiros

Relação massa/potência (kg kW ⁻¹ / kg cv ⁻¹)	Pressão interna do pneu traseiro (kPa / psi)	Lastragem nos pneus (água) %		Lastragem nos pneus (metálica) kg	
		Dianteiro	Traseiro	Dianteiro	Traseiro
72,0 / 53	P1 221 / 32	75	66	270	300
68,6 / 50,5	P2 193 / 28	75	66	180	300
63,0 / 47	P3 165 / 24	75	66	0	100
59,8 / 43	P4 138 / 20	60	50	0	100

Na Figura 4 observamos os procedimentos de lastragem líquida realizado nos pneus traseiros. Assim como na Figura 5 os procedimentos de lastragem realizados nos eixos dianteiros e traseiros do trator.



FIGURA 4. Lastragem líquida



FIGURA 5. Procedimento de retirada dos lastros dianteiros (A) e traseiros (B)

3.5. Avaliações

3.5.1 Resistência mecânica do solo à penetração (RMSP)

Para avaliar a resistência mecânica do solo à penetração (RMSP), utilizou-se um penetrômetro eletrônico (Figura 6) acoplado em um quadriciclo, denominado de PNT-Titan, constituído de célula de carga com capacidade nominal de 150 kgf (1500 N) e haste com ponteira cônica.



FIGURA 6. Penetrômetro eletrônico acoplado em quadriciclo

Os dados foram coletados e armazenados pelo próprio aparelho em intervalos de 1 em 1 cm até a profundidade de 40 cm. Após a passagem do trator coletou-se dois pontos por tratamento no centro do rodado, para verificar se o solo estava compactado.

As amostras de solo deformadas para determinação do teor de água no solo foram coletadas nas camadas de 0-20 cm de profundidade, sendo acondicionadas em recipientes de alumínio e fechado, posteriormente levadas ao laboratório, onde permaneceram por 24 horas em estufa a 105 °C.

O valor médio de umidade gravimétrica na camada de 0-20 cm de profundidade foi de 31% (Figura 7).



FIGURA 7. Coleta das amostras para determinação da umidade do solo

3.5.2 Deformação que o pneu causou ao solo, largura e profundidade do recalque

Para a determinação da deformação que o pneu causou ao solo foi utilizado um perfilômetro (Figura 8) constituído de 45 varetas, espaçadas de 1 cm e altura máxima de 30 cm. Ao fundo do perfilômetro colocou-se um quadro de linhas na horizontal com espaçamento de 0,5 cm para facilitar a leitura, sendo a mesma analisada por 64 imagens fotográficas, uma por parcela.

Além disso, também analisou-se a largura do recalque do pneu, definida da primeira até a última vareta a qual, ao caírem no solo, apresentaram medidas distintas a do perfil natural do solo.

E a profundidade do recalque máxima que o perfilômetro atingiu, definida pela vareta que apresentou maior medida.



FIGURA 8. Perfilômetro

Após as leituras das imagens fotográficas os dados foram lançados em uma planilha eletrônica em que se obteve a área da seção transversal de solo mobilizada pelo trator, em cm^2 , resultante da integral da regra dos trapézios proposto por Ruggiero e Lopes (1996).

3.5.3 Avanço dinâmico

O avanço dinâmico foi obtido após duas repetições com o trator em movimento a uma velocidade constante em local plano e firme, com e sem a TDA acionada, utilizando conforme as recomendações do fabricante do equipamento (avançômetro). Esse equipamento é formado por um módulo eletrônico digital microprocessado, dois sensores de roda e chave sinalizadora, conforme Figura 9.



FIGURA 9. Avançômetro

O trator foi condicionado a quatro tipos de lastragem e diferentes pressões internas nos pneus traseiros (Tabela 1), mantendo a pressão interna mínima dos pneus dianteiros, avaliando assim o avanço dinâmico. Para cada condição de lastragem, inicialmente foi estabelecida a pressão máxima 221 kPa (32 psi) permitida nos pneus traseiros, e realizada a medição do avanço. Sempre ao termino de cada variável avaliada, a pressão interna dos pneus traseiros foi reduzida até que se chegasse a pressão mínima 138 kPa (20 psi).

3.6. Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância e quando significativo no teste de F a 5% de probabilidade, foi realizada a comparação de médias pelo teste

de Tukey, ao nível de 5% de significancia. Os dados da variável avanço foram submetidos a análise de regressão linear.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise de variância para a deformação que o pneu causou ao solo e para a largura do recalque, demonstrou que não houve efeito significativo da interação e dos fatores isolados (Tabela 2), indicando que a relação massa potência e a pressão de inflação do pneu traseiro não interagem entre si, portanto, não influenciaram essas variáveis.

TABELA 2. Resultado do teste de Fisher (F) e do coeficiente de variação (CV) em função a relação massa/potência (R) e pressão interna do pneu traseiro (P) para as variáveis avaliadas

Fator	Deformação		Largura do recalque		Profundidade do recalque		RMSP		Avanço	
	F	p	F	p	F	P	F	p	F	p
R	1,97	0,1326	2,37	0,0831	1,3	0,285	24,69	< 0,0001**	0	1
P	0,03	0,9942	0,95	0,4241	0,56	0,6433	0,55	0,6495	0	1
R x P	1,3	0,2634ns	0,62	0,7728 ns	2,98	0,0415*	2,9	0,0085*	17,07	<0,0001**
CV (%)	43,82		11,5		32,14		39,18		10,14	

ns: não significativo ($P > 0,05$); *: significativo ($P \leq 0,05$); **: significativo ($P \leq 0,01$); C.V.: coeficiente de variação (%).

Esse resultado deve-se provavelmente ao fato de talvez a interação entre relação massa potência e a pressão do pneu traseiro neste trabalho, tenha proporcionado uma distribuição de pressão no solo de forma homogênea o que não causou uma deformação acentuada na superfície do solo e, conseqüentemente, a largura de deformação também não foi afetada, fato este também corroborado por ser um trator de médio porte.

Para Mion et al. (2016) a distribuição das tensões causadas por pneus dos maquinários usados na agricultura depende da carga sobre o pneu e da pressão interna do mesmo, e também depende das condições do solo.

Assim, a pressão interna é importante na distribuição da pressão no solo, pois para se ter uma menor compactação do solo e uma maior eficiência do trator, a área de contato do rodado com o mesmo tem que ser grande, e para isso usa-se menores pressões interna dos pneus. Resultados semelhantes foram observados por Mazetto et al. (2005), no qual baixas pressões interna proporcionaram maior área de contato.

Na Tabela 2 observa-se que para o parâmetro profundidade do recalque, não houve diferença para a pressão dentro de todas as relações massa potência. Enquanto que para esta mesma variável, as relações massa potência 53 e 44 kg cv⁻¹ apresentaram diferença significativa dentro da pressão 28 psi.

A relação massa potência 53 kg cv⁻¹ apresentou um maior valor médio (7,63 cm) de profundidade na pressão 28 psi (Tabela 3).

TABELA 3. Desdobramento da interação entre a relação massa/potência (R) e pressão interna do pneu (P) para a deformação que o pneu causou ao solo, largura do recalque, profundidade do recalque, resistência a penetração (RP) e avanço dinâmico

Massa/potência kg cv ⁻¹	Pressão interna do pneu traseiro (psi)			
	20	24	28	32
	Profundidade do recalque (mm)			
53	4,63 Aa	4,88 Aa	7,63 Aa	5,13 Aa
50,5	5,38 Aa	5,50 Aa	5,00 ABa	5,62 Aa
47	6,75 Aa	5,38 Aa	5,50 ABa	5,75 Aa
44	6,13 Aa	4,50 Aa	4,13 Ba	4,00 Aa
	Resistência à penetração (MPa)			
53	4,55 Aa	4,04 Aa	4,74 Aa	4,66 Aa
50,5	3,71 Aa	5,28 Aa	3,85 ABa	4,12 ABa
47	4,86 Aa	1,71 Bb	2,20 BCb	1,32 BCb
44	0,72 Ba	1,36 Ba	0,96 Ca	2,02 Ca
	Avanço dinâmico (%)			
53	3,35 Aa	2,65 Ab	2,42 Abc	2,05 Ac
50,5	3,35 Aa	2,65 Ab	2,42 Abc	2,05 Ac
47	3,35 Aa	2,65 Ab	2,42 Abc	2,05 Ac
44	3,35 Aa	2,65 Ab	2,42 Abc	2,05 Ac

Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem entre si, pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Este resultado pode ter ocorrido provavelmente porque a carga aplicada entre os eixos foi maior, o que proporcionou uma maior pressão dos rodados no solo, favorecendo o aumento da profundidade. Já o menor valor médio (4,13 cm) ocorreu na relação massa potência 44 kg cv⁻¹ com a pressão 28 psi, possivelmente devido a menor carga aplicada. Segundo Paula (2008), baixas pressões interna ou altas cargas podem levar a uma sobrecarga nos pneus, provocando grandes deformações no solo. Estas deformações no solo estão relacionadas à área de solo mobilizada e a profundidade do recalque do pneu no solo.

A resistência mecânica do solo à penetração (RMSP), indicou significância para a interação entre a relação massa potência e a pressão do pneu traseiro, demonstrando que a relação massa potência e a pressão interagem entre si, portanto, influenciou essa variável analisada (Tabela 2). Para esta variável, observou-se maior valor médio de RP (4,86 MPa) na relação massa potência 47 kg cv⁻¹ dentro da pressão 20 psi quando comparado com as demais pressões avaliadas. Esse resultado pode ter ocorrido provavelmente devido o solo avaliado nesse tratamento, apresentar maior susceptibilidade a forças externas (Tabela 3).

Mazetto et al. (2005) em seu estudo sobre avaliação das áreas de contato de pneus agrícolas em função das cargas e pressões interna dos pneus, observaram que baixas pressões interna dos pneus proporcionaram maior susceptibilidade ao aumento de carga em relação a área de contato. Além disso, altas pressões interna segundo Hallonborg (1996), proporcionam menores áreas de contato do pneu com o solo, pois pressões mais altas favorecem a formação de geometria circular quando o rodado entra em contato com o solo.

Ao se avaliar as pressões dentro de cada relação massa potência, observa-se que na pressão 20 psi a relação massa potência 44 kg cv⁻¹ foi a que apresentou o menor valor médio de RP (0,72 MPa) (Tabela 3). Esse resultado deve-se possivelmente devido a menor pressão aplicada proporcionada pela maior área de contato, o que pode ter distribuído ao massa do trator favorecendo menor resistência mecânica do solo à penetração. Segundo Hallonborg (1996) e Mion et al. (2016), pressões mais altas proporcionam menores áreas de contato do pneu com o solo.

Na pressão de 24 psi os menores valores médios foram observados nas relações massa potência 47 kg cv⁻¹ (1,71 MPa) e 44 kg cv⁻¹ (1,36 MPa) (Tabela 3).

Provavelmente isso ocorreu devido estas relações massa potencia compactarem menos o solo, e a pressão mais baixa favorece também maior distribuição da massa do trator por proporcionar maior área de contato do pneu com o solo. Tolon-Becerra et al. (2011), estudando a influência de um trator leve e um pesado no processo de compactação do solo por meio da pressão aplicada ao solo, verificaram valores de índice de cone e de densidade do solo mais elevados para o trator leve, devido a menor área de contato entre o pneu e o solo apresentada pelo trator leve. Feitosa et al. (2015) não encontraram efeito significativo para o índice de cone nas combinações entre as pressões internas dos pneus e a velocidades de deslocamento do trator, devido a heterogeneidade do solo.

Ao se avaliar as pressões de 28 e 32 psi observa-se que as relações massa potência 53 e 50,5 kg cv⁻¹ apresentou em ambas as pressões os maiores valores médios de RP (pressão 28 psi e relação massa potencia 53 kg cv⁻¹ = 4,74 MPa; pressão 28 psi e relação massa potencia 50,5 kg cv⁻¹ = 3,85 MPa; pressão 32 psi e relação massa potencia 53 kg cv⁻¹ = 4,66 MPa; pressão 32 psi e relação massa potencia 50,5 kg cv⁻¹ = 4,12 MPa) (Tabela 3). Esse resultado deve-se possivelmente a menor área de contato proporcionada pelas maiores pressões aplicadas ao solo, favorecendo o aumento da RP, o que pode causar compactação do solo.

Segundo Machado et al. (2004) a elevação da pressão ocasiona a redução da área de contato do rodado com a superfície do solo, favorecendo um aumento na força de contato, resultando em elevação da resistência à penetração do solo e consequentemente aumento da compactação. Feitosa et al. (2015), verificaram que o aumento de uma unidade de pressão interna dos pneus traseiros resultou na diminuição da área de contato do pneu com o solo em 0,001 m.

Em relação ao avanço dinâmico observou-se neste estudo que não houve diferença de cada pressões dentro de todas as relação mssa potência aplicado. No entanto, o avanço variou significativamente em função da relação massa potência empregado dentro de cada pressão, ou seja, a medida que a pressão de inflação do pneu traseiro aumentou o avanço foi reduzindo (Tabela 3).

Resultado diferente foi encontrado por Feitosa et al. (2015), que estudando o avanço cinemático do trator verificaram que quanto maior a pressão aplicada (combinação de pressões: 110 pneu dianteiro; 124 pneu traseiro kPa), maior foi o

valor médio do avanço (1,27%). Para esses autores, isso se deve ao aumento no raio de rolamento dos rodados quando inflados com altas pressões. Enquanto, Furtado Júnior (2013), estudando também o avanço cinemático do trator obtiveram avanços cinemáticos de -0,1387%, -0,2461% e -0,0717% quando aplicados pressões internas de 83; 96 e 110 kPa, respectivamente.

Observa-se na Tabela 4 que os tratamentos não diferiram na camada de 0-10 cm de profundidade, porém houve diferença significativa para as camadas de 11-20 cm. A ausência de significância ocorreu devido possivelmente essa camada ter sofrido o mesmo efeito independente do tratamento aplicado. Os valores de RP nessa camada não ultrapassaram o limite considerado crítico (2MPa) (BEUTLER et al., 2004, CUNHA et al., 2009). Para Moraes et al. (2014), esse limite deve permanecer para o sistema preparo convencional.

TABELA 4. Resistência do solo à penetração (MPa), após a passagem do trator, medida em diferentes camadas, sob pressões interna do pneu traseiro. Letras distintas na mesma camada diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

Massa potência/pressão	Camadas (cm)			
	0-10		11-20	
53/32	0,65 a		7,31 a	
53/28	0,66 a		5,82 abc	
53/24	0,75 a		5,29 abcd	
53/20	0,75 a		4,64 abcde	
50,5/32	0,54 a		5,00 abcde	
50,5/28	0,85 a		4,26 abcde	
50,5/24	0,78 a		5,84 abc	
50,5/20	0,49 a		3,06 bcde	
47/32	1,28 a		1,77 de	
47/28	1,50 a		2,35 cde	
47/24	0,91 a		2,09 de	
47/20	0,83 a		6,22 ab	
44/32	1,18 a		1,92 de	
44/28	1,23 a		1,65 e	
44/24	0,94 a		2,32 cde	
44/20	1,24 a		1,58 e	
	F	p	F	p
Trat	1,26	0,2673	7,65	0,0001
CV (%)	57,33		35,33	

Na camada de 11-20 cm observa-se o maior valor médio de RP foi observado quando se utilizou a maior relação massa potencia com a maior pressão no pneu traseiro (7,31 MPa), embora não tenha diferido dos tratamentos (53/28; 53/24; 53/20

50,5/32; 50,5/28; 50,5/ 24 e 47/20 e o menor valor médio foi verificado no tratamento que se utilizou a menor relação massa potencia com a menor pressão no pneu traseiro (1,58 MPa), embora não tenha diferido dos tratamentos 53/20 50,5/32; 50,5/28; 50,5/20; 47/32; 47/28; 47/24; 44/32; 44/28; 44/24.

Isso ocorreu provavelmente devido a lastragem aplicada, o que proporcionou uma maior pressão dos rodados no solo, favorecendo assim a reorganização das partículas do solo e conseqüentemente o aumento da RP. Além disso, pode ter ocorrido um aumento da densidade do solo, reduzindo, dessa forma, a porosidade e conseqüentemente aumentando à resistência a penetração devido o aumento da pressão exercida pelos rodados do trator. Para Seraut (1990) a pressão observada na superfície do solo é similar à pressão interna do pneu. Esse autor afirma que a pressão dentro do solo (a 30 cm), está relacionada diretamente com a usada no pneu.

Diante do exposto, provavelmente quanto maior for a pressão aplicada no solo maior será a resistência a penetração das raízes. Ressalta-se ainda que esses valores estão acima do limite crítico para resistência à penetração (2 MPa) (BEUTLER et al., 2004; CUNHA et al., 2009). O aumento da resistência (> 2,0 MPa) ocasiona a diminuição da porosidade do solo, bem como da continuidade de poros, da permeabilidade e da disponibilidade de nutrientes e água (MODOLO et al., 2008). Segundo esses autores, esse processo afeta o crescimento e o desenvolvimento das raízes, eleva a densidade do solo, favorece elevado consumo de combustível nas operações de preparo dos solos compactados e eleva o potencial de erosão do solo devido reduzir a infiltração de água.

A umidade do solo (camada 0-20 cm: 0,31 g g⁻¹) pode ter influenciado a resistência mecânica do solo a penetração, o que pode explicar os valores de RP elevadas. Quando o solo está com alta umidade, ocorre o aumento da atuação das forças de coesão entre as partículas do solo e o atrito interno, causando o aumento da RP (CUNHA et al., 2002). Para os mesmos autores, o solo com baixa umidade diminui a força de coesão entre as partículas existente no solo, resultando em redução da RP.

Assis et al. (2009), verificou em todos os solos avaliados uma dependência da resistência à penetração com a umidade do solo, isto é, à medida a umidade

aumenta a resistência à penetração decresce. Cunha et al. (2009) afirma que o processo de compactação subsuperficial ocorre principalmente em função da carga total por eixo das máquinas. Segundo Raper (2005) é recomendado diminuir ao máximo a carga por eixo, e utilizar pneus radiais com baixa pressão interna, além de controlar o tráfego para evitar a compactação. A compactação é uma das causas que inibe o desenvolvimento das raízes, conseqüentemente, dificulta a busca por água e nutrientes em maiores profundidades.

Nos tratamentos em que a relação massa potência foram menores o solo foi afetado, porém com baixa intensidade, por isso nesses tratamentos os valores de RP foram na maioria baixos. Esse resultado deve-se possivelmente a maior área de contato proporcionada pelas menores pressões aplicadas ao solo, favorecendo a redução da RP.

Observando a Figura 10 constata-se que apenas para a relação massa/potência de $50,5 \text{ kg cv}^{-1}$ o avanço não foi afetado pela pressão dos pneus traseiros. Para as demais relações, como era esperado, o avanço diminuiu com o aumento da pressão. Feitosa et al. (2015) também verificaram que o avanço cinemático do trator avaliado com TDA variou significativamente em função das pressões empregadas P1 (83; 96 kPa), P2 (96; 110 kPa) e P3 (110; 124 kPa). Onde a combinação, cujas pressões aplicadas aos pneus foram as mais altas (P3), apresentou o maior valor médio de avanço cinemático, em função do aumento no raio de rolamento dos pneus quando inflados com pressões maiores.

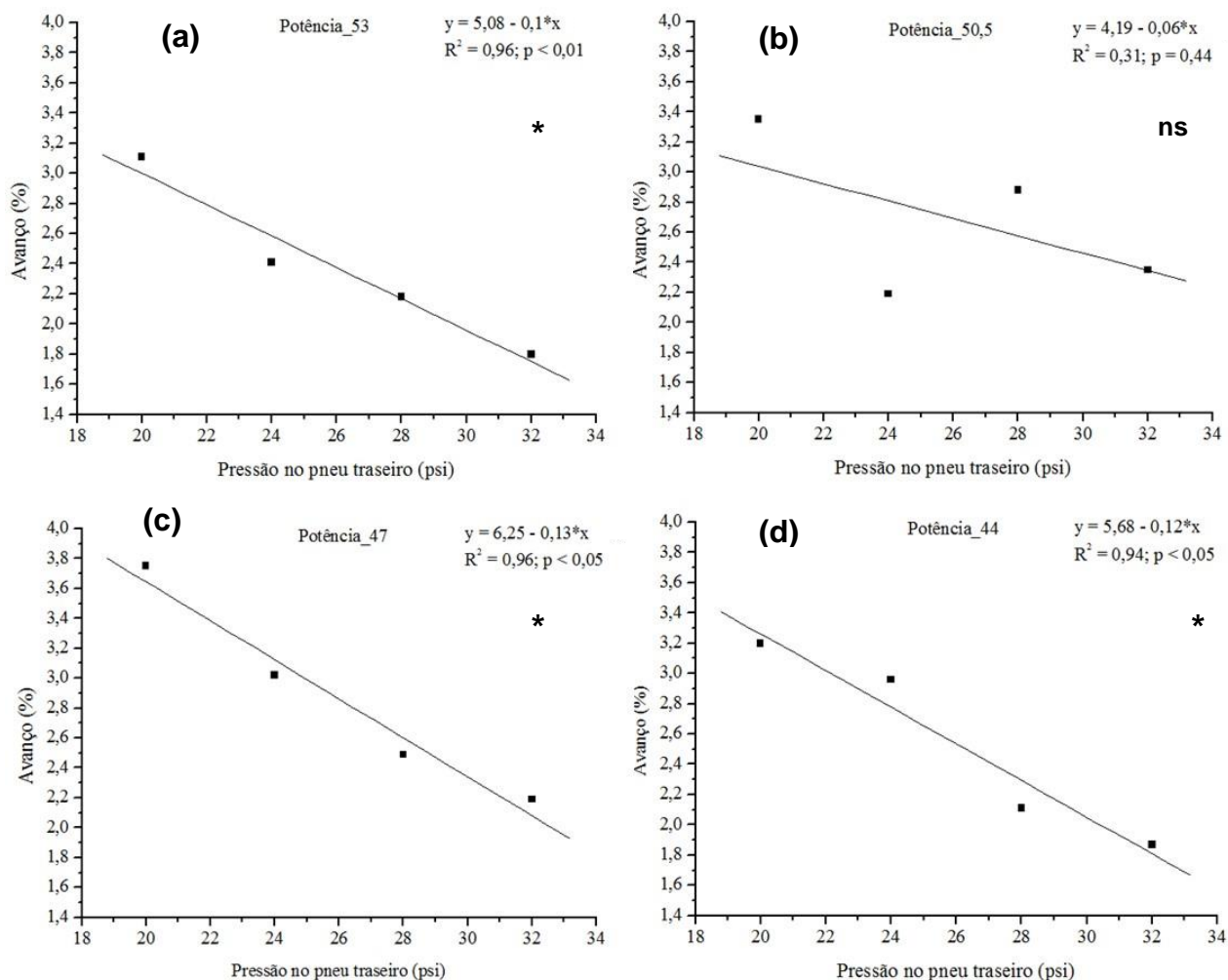


FIGURA 10. Regressão linear da relação de avanço em função da variação da pressão no pneu traseiro na relação massa/potencia 53 (a), 50,5 (b), 47 (c) e 44 (d) kg cv^{-1} .

Observa-se que na medida em que se aumentou a pressão do pneu traseiro, ocorreu uma redução na relação de avanço (Figura 10 a, b, c; d), isso ocorre devido o aumento da circunferência dos rodados traseiros, o que consequentemente reduziu o número de voltas que esses deram em relação aos rodados do eixo dianteiro.

Também se observa que quando se utilizou a pressão máxima nos rodados traseiro e mínima nos dianteiros, obteve-se a relação de avanço mais próximo do ideal (1,2-1,8%), com 1,8% para a potência 53, 2,35%; 2,19% e 1,87% para as

potências 50,5, potência 47 e potência 44, respectivamente. Segundo Linares et al. (2006) o desempenho do trator é otimizado quando o avanço cinemático fica entre 1 e 5%, desde que o deslizamento não exceda 20%. Schlosser et al. (2004) trabalhando com pneus inflados com diversas combinações de pressões (100 e 220 kPa; 160 eixos dianteiro e 160 kPa; 220 e 160 kPa eixos traseiro), verificaram que os valores de avanço cinemático variou entre -2,5 e 8,8%. Esses autores, afirmaram que essa variação ocorreu devido os raios estáticos oriundos da variação na pressão interna dos pneus.

Nesse contexto, cabe salientar que após se definir a relação massa/potência, a principal alternativa para o ajuste do avanço é feita a partir da variação de pressão de ar nos pneus dianteiros e/ou traseiros. Entretanto, é de fundamental importância sempre levar em consideração as pressões máximas e mínimas que são recomendadas pelos fabricantes, para cada tipo de pneu, tanto diagonais como radial. Assim, a pressão interna tem papel fundamental na área de contato entre o pneu e o solo, além da distribuição de pressão na sua superfície, sendo que para uma menor compactação do solo e maior eficiência tratoria deve-se ter uma maior área de contato do pneu com o solo, utilizando-se menores pressões interna dos pneus (MASIERO; LANÇAS; MONTEIRO, 2011).

5. CONCLUSÕES

A relação massa/potência e a pressão interna do pneu traseiro afetam diretamente a resistência a penetração, na camada de 11 a 20 cm, e a profundidade do recalque;

A pressão nos pneus traseiros afetou o avanço dentro das massa/potência 53, 47 e 44 kg cv⁻¹.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 3, p. 519-531, 2004.

ACOSTA, J. J. B. **Correlação entre o índice de cone (IC) e o modelo de capacidade de suporte de carga de solo de quatro solos da fazenda experimental lageado, FCA/UNESP-Botucatu**. Dissertação (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.

ALMEIDA, C. X.; CENTURION, J. F.; FREDDI, O. S.; JORGE, R. F.; BARBOSA, J. C. Funções de pedotransferência para a curva de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2235-2243, 2008.

ANDRIOLI, I.; CENTURION, J.F. Levantamento detalhado dos solos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27. 1999, Brasília. **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. T025 CD_ROM.

ASSIS, R. L. DE; LAZARINI, G. D.; LANÇAS, K. P.; CARGNELUTTI FILHO, A. Avaliação da resistência do solo à penetração em diferentes solos com a variação do teor de água. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 4, p. 558-568, 2009.

BARBOSA, J. C.; MALDONADO JR, W. **AgroEstat - Sistema para Análises Estatísticas de Ensaios Agrônômicos**. Versão 1.1.0.714, 2014.

BENGOUGH, A. G.; MULLINS, C. E. Mechanical impedance to root growth: A review of experimental techniques and root growth responses. **Journals in Soil Science** v. 41, p. 341-358, 1990.

BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, L. A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho Distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 1, p. 167-177, 2001.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; DA SILVA, A. P.; ROQUE, C. G.; FERRAZ, M. V. Compactação do solo e intervalo hídrico ótimo na produtividade de arroz de sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 575-580, 2004.

BIRIS, S.S.; UNGUREANU, N.; MAICAN, E.; MURAD, E.; VLADUT, V. FEM model to study the influence of tire pressure on agricultural tractor wheel deformations. **Engineering for Rural Development**, v. 10, p. 223-228, 2011.

BOTTA, G. F.; RIVERO, D.; TOURN, M.; MELCON, F. B.; POZZOLO, O.; NARDON, G.; BALBUENA, R.; BECERRA, A. T.; ROSATTO, H.; STADLER, S. Soil compaction produced by tractor with radial and cross-ply tyres in two tillage regimes. **Soil and Tillage Research**, v. 101, n. 1, p. 44-51, 2008.

CARBONERA, L. **Comparação entre diferentes penetrômetros para diagnósticos de compactação de solo**. 2007. 19 f. Relatório (Projeto de iniciação científica – PIBIQ) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007. Disponível em: www.ler.esalq.usp.br/download/gmap/iniciacao/Lucelha.pdf>. Acesso em: 10 de fevereiro 2017.

CORDEIRO M.A.L. **Desempenho de um trator agrícola em função do pneu, da lastragem e da velocidade de deslocamento**. 2000. 153 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

CORRÊA, I.M.; MAZIERO, J.V.G.; YANAI, K; LOPES, A. **Técnicas de determinação da patinação das rodas motrizes de tratores agrícolas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1999a. 15 p. Boletim Técnico nº 179.

CUNHA, J. P. A. R. da; VIEIRA, L. B.; MAGALHÃES, A. C. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes densidades e teores de água. **Engenharia na Agricultura**, v.10, n.1-4, p.1-7, 2002.

CUNHA, J. P. A. R. da; CASCÃO, V. N.; REIS, E. F. dos. Compactação causada pelo tráfego de trator em diferentes manejos de solo. **Acta Scientiarum. Agronomy**. v. 31, n. 3, p. 371-375, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA — EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.

FEITOSA, J. R.; FERNANDES, H. C.; TEIXEIRA, M. M.; CECON, P. R. Influência da pressão interna dos pneus e da velocidade de deslocamento nos parâmetros operacionais de um trator agrícola e nas propriedades físicas do solo. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n.1, p.117-127, 2015.

FINGER, F. R. O Avançometro, medidor dos índices de avanço e patinagem em tratores e distâncias. 2007. Disponível em: <https://www.escavador.com/patentes/393974/avancometro-medidor-dos-indices-de-avanco-e-patinagem-em-tratores-e-distancias>

FOUNTAS, S.; PARAFOROS, D.; CAVALARIS, C.; KARAMOUTIS, C.; GEMTOS, T. A.; ABU-KHALAF, N.; TAGARAKIS, A. A five-point penetrometer with GPS for measuring soil compaction variability. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 96, p. 109-116, 2013.

FURLANI, C. E. A.; GAMERO, C. A.; LEVIEN, R.; LOPES, A. Resistência do solo à penetração em preparo convencional, escarificação e semeadura direta em diferentes manejos da cobertura vegetal. **Engenharia Agrícola**, v.23, n.3, p.579-587, 2003.

FURLANI, C. E. A.; CORTEZ, J. W.; TOLEDO, A. D.; SILVA, R. P. D.; GROTTA, D. C. C.; REIS, G. N. D. Tractor performance as a function of speed and seeder s tire inflation pressure. **Ciência Rural**, v. 40, p. 1726-1731, 2010.

FURTADO JÚNIOR, M. R. **Análise operacional de um trator agrícola em função da pressão interna dos pneus e inclinação da linha de tração**. 2013. 126f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola – Mecanização Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

GAO, W.; WATTS, C. W.; REN, T; WHALLEY, W. R. The effects of compaction and soil drying on penetrometer resistance. **Soil and Tillage Research**, v. 125, p. 14-22, 2012.

HALLONBORG, U. Super e ellipse as tyre-ground contact área. **Journal Terramechanics**, v. 33, n. 3, p. 125-132, 1996.

JADOSKI, G. S.; PINHEIRO, T. D.; SANTOS JÚNIOR, P. DA S.; RODRIGUES, F. R. M. Influência das características do pneu na performance do trator. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, v.9, n.2, p.115-120, 2016.

JESUINO, P. R. **Desempenho de um trator agrícola em função do desgaste das garras dos pneus e das condições superficiais do solo.** 2007. 64f. (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP - Botucatu, 2007.

KATHIRVEL, K.; MANIAN, R.; BALASUBRAMANIAN, M. Tractive Performance of Power Tiller Tyres. **Agric Mech Asia Afr Lat Am**, v. 32, n. 2, p. 32-36, 2001.

LEITE, D. M.. **Desempenho de um conjunto trator-grade em função da velocidade do trator, pressão interna e tipo de construção dos pneus.** 2015. 97 f. Tese(Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa. 2015.

LINARES, P.; CATALÁN, H.; MÉNDEZ, V. **Teoria de Iatracción de tractores agrícolas.** Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. 215p. Madrid, 2006.

LOPES, A., LANÇAS, K.P., SILVA, R.P.; CARLOS EDUARDO ANGELI FURLANI, C.E.A., ALBERTO KAZUSHI 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**, Santa Maria, v.35, n.2, p.366-370, 2005.

MACHADO, A. L. T.; REIS, A.; FERREIRA, M.; MACHADO, R.; MACHADO, A.; BAUER, G. Influência da pressão de inflação do pneu do trator na resistência do solo à penetração. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 11, n. 4, p. 481-486, 2004.

MASIERO, F. C.; LANÇAS, K. P.; MONTEIRO L. A. **Adequação de conjuntos: Pressão de inflação dos pneus.** 2011. Disponível em: < <http://www.nempa.com.br/artigo/adequao-de-conjuntos-presso-deinflao-dos-pneus->> Acesso em: 10 de Outubro de 2016.

MAZETTO, F.R.; LANÇAS, K. P.; SAILVA, R. B. da. Avaliação das áreas de contato de pneus agrícolas em função das cargas e pressões de inflação em superfície rígida. **Energia na Agricultura**, v. 20, n. 4, p. 20-35, 2005.

MIALHE, L.G. **Máquinas Motoras na Agricultura.** São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, v. 2, 1980. 366 p.

MION, R. L.; HOLANDA, Á. S. de; BARROSO, S. H. de A.; SILVA, S. de A. T. E. Tensões aplicadas no solo pelas diferentes pressões do pneu de um trator agrícola. **Engenharia Agrícola**, v.36, n.1, p.63-77, 2016.

MISIEWICZ, P. A.; BLACKBURN, K.; RICHARDS, T. E.; BRIGHTON, J. L.; GODWIN, R. J. The evaluation and calibration of pressure mapping system for the measurements of the pressure distribution. **Biosystems Engineering**, v. 130, p. 81-91, 2015.

MODOLO, A. J.; FERNANDES, H. C.; SCHAEFER, C.E.G.; SILVEIRA, J.C.M. Efeito da compactação do solo sobre a emergência de plântulas de soja em sistema plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 4, p. 1259-1265, 2008.

MOLARI, G.; BELLENTANI, L.; GUARNIERI, A.; WALKER, M.; SEDONI, E. Performance of an agricultural tractor fitted with rubber tracks. **Biosystems Engineering**, v. 111, n. 1, p. 57-63, 2012.

MOLINA JR, W. F.; PIEDADE, S. M. S.; AMARAL, J. R. Penetration resistance in a latosol under diferente moisture and penetration speeds. **Revista Ceres**, v. 60, n. 5, p. 715-721, 2013.

MONTEIRO, L. A. **Desempenho operacional e energético de um trator agrícola em função do tipo de pneu, velocidade de deslocamento, lastragem líquida e condição superficial do solo**. Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP - Botucatu, 2008, p.69. (Dissertação de Mestrado).

MONTEIRO, L. A. **Desempenho operacional e energético, segundo a norma oecd – code 2 de dois tratores agrícolas 4x2 TDA com motores de 132 kW em pista concreto e solo agrícola**. Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP - Botucatu, 2011, p.85. (Tese de Doutorado).

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 lastros líquidos. **Engenharia Agrícola**, v.31, n.3, p.551-560, 2011. ISSN 0100-6916.

MORAES, M. T.; DEBIASE, H.; FRANCHINI, J. C.; SILVA, V. R. Soil penetration resistance in a rhodic eutrudox affected by machinery traffic and soil water content. **Engenharia Agrícola**, v. 33, n. 4. p. 748-757, 2013.

MORAES, M. T. de.; DEBIASI, H.; CARLESSO, R.; FRANCHINI, J. C.; SILVA, V. R. da. Critical limits of soil penetration resistance in a rhodic eutrudox. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 288-298, 2014.

NAGAOKA, A. K.; NOMURA, R. H. C.; BRÖRING, N.; KITANO, N.; JASPER, S. P. Avaliação do consumo de combustível, patinagem e capacidade de campo operacional na operação de semeadura da cultura de aveia preta (*Avena strigosa*) em três sistemas de manejo do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002. Salvador. **Anais...** Salvador: UFB, 2002. CD-ROM.

NAGAOKA, A. K.; LANÇAS, K. P.; CASTRO NETO, P.; LOPES, A.; GUERRA, S. P. S. Projeto, construção e avaliação de um equipamento para ensaio dinâmico de pneu agrícola individual. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, 2002.

OLIVEIRA, P. R.; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. C.; FRANCO, H. B. J.; PEREIRA, F. S.; BÁRBARO JÚNIOR, L. S.; ROSSETI, K. V. Qualidade física de um Latossolo Vermelho cultivado com soja submetido a níveis de compactação e de irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.2, p. 587-597, 2012.

PAULA, C. A. **Desenvolvimento de um perfilômetro laser para determinação da área e volume de contato entre o pneu e o solo**. 2008. 96 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 2008.

RAPER, R. L. Agricultural traffic impacts on soil. **Journal of Terramechanics**, v. 42, n. 3, p. 259-280, 2005.

RUGGIERO, M.A.G.; LOPES, V.L.R. **Cálculo numérico: aspectos teóricos e computacionais**. 2ed. São Paulo: Makron Books, 1996. p 406.

SAFA, M.; SAMARASINGHE, S.; MOHSSEN, M. Determination of fuel consumption and indirect factors affecting it in wheat production in Canterbury, New Zealand. **Energy**, v. 35, n. 12, p. 5400-5405, 2010.

SAS Institute. **SAS – Statistical Analysis System: system for elementary statistical analysis**. Cary, SAS Institute, 1987. 416p.

SCHJONNING, P.; LAMANDE, M.; TOGERSEN, F. A.; ARVIDSSON, J.; KELLER, T. Modelling effects of tyre inflation pressure on the stress distribution near the soil e tyre interface. **Biosystems Engineering**, v. 99, p. 119-133, 2008.

SCHLOSSER, J. F.; LINARES, P.; MÁRQUEZ, L. Influência do avanço cinemático das rodas dianteiras sobre a eficiência em tração de tratores com quatro rodas motrizes não isodiamétricas. **Ciência Rural**, v. 34, n. 6, p. 1801- 1805, 2004.

SERRANO, J. M. P. R. Pressão de insuflagem dos pneus no desempenho do conjunto trator-grade de discos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.2, p.227-233, 2008.

SILVEIRA, D. C.; MELO FILHO, J. F.; SACRAMENTO, J. A. A. S.; SILVEIRA, E. C. P. Relação umidade *versus* resistência à penetração para um Argissolo Amarelo distrocoeso no Recôncavo da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 659-667, 2010.

SILVA, R.B.; DIAS JÚNIOR, M.S.; SANTOS, F.L.; FRANZ, C.A.B. Resistência ao cisalhamento de um Latossolo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 1, p. 165- 173, 2004.

SILVA, A. R.; DIAS JÚNIOR, M. S.; GUIMARÃES, P. T. G.; ARAÚJO JÚNIOR, C. F. Modelagem da capacidade de suporte de carga e quantificação dos efeitos das operações mecanizadas em um Latossolo Amarelo cultivado com cafeeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 2, p. 207-216, 2006.

SILVA, S. L. **Projeto e construção de um sistema de aquisição de dados para avaliação do desempenho energético de maquinas e implementos agrícolas.** 1997. 148 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1997.

SOUZA, F. H. **Desempenho energético de um trator agrícola 4x2 - TDA, em função da pressão de inflação dos pneus em pista de concreto e em solo mobilizado, conforme a norma OECD – Código 2.** 2013. 12f. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Ceará, - UFC – Fortaleza, 2013.

SPAGNOLO, R. T.; VOLPATO, C. E. S.; BARBOSA, J. A.; PALMA, M. A. Z.; BARROS, M. M. Fuel consumption of a tractor in function of wear, of ballasting and tire inflation pressure. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 1, p. 131-139, 2012.

SERAUT, A. Le pneumatique basse pression. Bulletin Tech. March. Equip. Agric. CEMAGREF. **Parc de Tourvoie**, v. 50, p. 33-37, 1990.

TAGHAVIFAR, H.; MARDANI, A. Investigating the effect of velocity, inflation pressure, and vertical load on rolling resistance of a radial ply tire. **Journal of Terramechanics**, v. 50, n. 2, p. 99-106, 2013.

TAGHAVIFAR, H.; MARDANI, A. Contact área determination of agricultural tractor wheel with soil. **Cercetari Agronomice in Moldova**, v. 45, n. 2, p. 15-20, 2012.

TOLON-BECERRA, A.; LASTRA-BRAVO, X. B.; BOTTA, G. F.; TOURN, M.; LINARES, P.; RESSIA, M.; BALBUENA, R. Traffic effect on soil compaction and yields of wheat in Spain. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 9, n. 2, p. 395-403, 2011.

TORMENA, C.A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, p. 333-339, 1996.

UNESP. UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO” – CÂMPUS DE JABOTICABAL. Departamento de Ciências Exatas: Estação meteorológica - Dados normais. 2006. Disponível em: <www.fcav.unesp.br>. Acesso em: 15 de Novembro. 2016.

VAZ, C. M. P.; MANIERI, J. M.; MARIA, I. C.; TULLER, M. Modelling and correction of soil penetration resistance for varying soil water content. **Geoderma**, v. 166, n. 1, p. 92-101, 2011.

WATANABE, S. H.; TORMENA, C. A.; ARAÚJO, M. A.; GONÇALVES, A. C. A.; SILVA, A. P.; PINTRO, J. C.; COSTA, A. C. S.; VIDIGAL FILHO, P. S. Resistência do solo à penetração e porosidade de aeração de um latossolo vermelho distrófico sob plantio direto por dois anos. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 22, n. 4, p. 1055-1060, 2000.

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

ZOZ, F., GRISSO, R.D. **Traction and tractor performance**. St Joseph: ASAE. 2003. 46p.