

DESEMPENHO EM TRAÇÃO DE UM TRATOR AGRÍCOLA UTILIZANDO DIFERENTES CONFIGURAÇÕES DE RODADOS E PNEUS

MARCELO SILVEIRA DE FARIAS¹, JOSÉ FERNANDO SCHLOSSER²,
ROVIAN BERTINATTO³, DANIELA HERZOG⁴, LEONARDO CASALI⁵,
JUNIOR GARLET OSMARI⁶

¹ Eng. Agrônomo, Prof. Adjunto, Depto. de Ciências Agronômicas e Ambientais, Universidade Federal de Santa Maria, Campus de Frederico Westphalen, UFSM, Frederico Westphalen – RS. Fone: (55) 3744-0748, silveira_farias@hotmail.com.

² Eng. Agrônomo, Prof. Titular, Depto. de Engenharia Rural, UFSM, Santa Maria – RS.

³ Eng. Agrícola, Aluno de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, UFSM, Santa Maria - RS.

⁴ Eng. Agrônoma, Aluna de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, UFSM, Santa Maria - RS.

⁵ Aluno do curso de Agronomia, Centro de Ciências Rurais, UFSM, Santa Maria – RS.

⁶ Aluno do curso de Eng. Mecânica, Centro de Tecnologia, UFSM, Santa Maria – RS.

Apresentado no
XLIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2020
23 a 25 de novembro de 2020 – Congresso On-line

RESUMO: Este trabalho teve por objetivo avaliar o desempenho em tração de um trator agrícola com potência máxima no motor de 92,4 kW (125,6 cv), equipado com diferentes configurações de rodado e pneus. O experimento foi realizado a campo, com delineamento experimental blocos ao acaso em arranjo trifatorial, sendo avaliadas duas configurações de rodados e pneus (rodado duplo com pneu diagonal; e rodado simples com pneu radial), três relações massa/potência (61, 67 e 74 kg.kW⁻¹), e três níveis de cargas parciais impostas na barra de tração (24, 27 e 36 kN), em solo firme com cobertura vegetal. Os dados foram registrados por meio de instrumentação eletrônica instalada no trator. Os resultados indicam que a configuração de rodado duplo com pneu diagonal apresentou melhor desempenho referente à força de tração, potência de tração e eficiência de tração, bem como menor consumo específico de combustível, enquanto a configuração de rodado simples com pneu radial obteve os menores valores de patinamento das rodas motrizes. Quando o trator foi equipado com rodado duplo e pneu diagonal o melhor desempenho em tração foi obtido para a relação massa/potência de 67 kg.kW⁻¹, enquanto para a configuração rodado simples com pneu radial foi de 61 kg.kW⁻¹.

PALAVRAS-CHAVE: consumo volumétrico de combustível; eficiência de tração; interação solo-máquina.

TRACTION PERFORMANCE OF AN AGRICULTURAL TRACTOR USING DIFFERENT WHEELSET AND TIRE CONFIGURATIONS

ABSTRACT: This study aimed to evaluate the traction performance of an agricultural tractor with engine maximum power of 92.4 kW (125.6 hp), equipped with different wheelset and tire configurations. The experiment was carried out in the field, using a randomized block design in a tri-factorial arrangement. The treatments analyzed consist of two wheelset and tire configurations (double wheelset with diagonal tire; and single wheelset with radial tire), three mass/power ratios (61, 67 e 74 kg.kW⁻¹), and three load levels imposed on drawbar (24, 27 e 36 kN), on firm soil with vegetal cover. The data were recorded by electronic instrumentation installed at the tractor. The results indicate that the double wheelset with diagonal tire configuration presented better performance regarding the traction force, traction power and traction efficiency, as well as lower specific fuel consumption, while the simple wheelset with radial tire configuration obtained the lowest values of slippage. When the tractor was equipped

with double wheelset with diagonal tire, the best traction performance was obtained for the mass/power ratio of 67 kg.kW^{-1} , while for the single wheelset with radial tire configuration was 61 kg.kW^{-1} .

KEYWORDS: volumetric fuel consumption; traction efficiency; soil-machine interaction.

INTRODUÇÃO:

Nas últimas décadas, a mecanização agrícola tem se intensificado resultando em aumento na carga aplicada ao solo pelas máquinas agrícolas (YAVUZCAN et al., 2005); onde os efeitos da interação solo-máquina podem ser negativos para o desempenho de tratores (FIORESE et al., 2015). Toledo et al. (2010) afirmam que as operações agrícolas mecanizadas devem ser planejadas para que haja aumento da rentabilidade no campo. Neste sentido, a mecanização pode ser considerada como o principal fator, para redução dos custos de produção (PELOIA e MILAN, 2010).

Zoz e Grisso (2003) destacam que o principal ponto a ser observado nos tratores é o desempenho na barra de tração; podendo, segundo Monteiro et al. (2013), ser um parâmetro utilizado para comparar e avaliar tratores agrícolas. Ao avaliar a força na barra de tração, a velocidade do trator e calculando-se a potência disponível na barra de tração, é possível detectar quais são as condições de trabalho que oferecem maior e menor eficiência para o conjunto mecanizado (JASPER et al., 2016).

O desempenho na barra de tração de um trator pode variar em função das condições da superfície de trabalho, como textura, umidade e cobertura existente; e ainda, pela distribuição de massa sobre os rodados, característica do rodado e pela relação entre a massa e a potência do trator (GABRIEL FILHO et al., 2010; MONTEIRO et al., 2013). O conjunto dessas inter-relações explica perfeitamente porque um trator não consegue utilizar na barra de tração toda a potência produzida pelo motor (RUSSINI et al., 2018).

A massa do trator influi diretamente no seu desempenho em campo (MÁRQUEZ, 1990). Além disso, é um importante parâmetro na definição da aptidão na execução de determinadas tarefas (BIONDI et al., 1996; LINARES et al., 2006). Além da potência do motor e da eficiência do sistema de transmissão, o trator agrícola se caracteriza por suas dimensões e pela sua massa (ESTRADA et al., 2016). Com o passar dos anos, os tratores vêm se tornando mais leves, bem como a relação massa/potência vem sendo reduzida, fazendo com que essas máquinas sejam cada vez mais dependentes de lastro (SCHLOSSER et al., 2005).

Em meados dos anos 40, foi desenvolvido o pneu de construção radial, que dispõe suas lonas formando um ângulo de 90° com o eixo de rotação, enquanto o pneu diagonal apresenta ângulo de 45° (NEUJHR e SCHLOSSER, 2001). Ainda, segundo os autores, o modelo radial somente passou a fazer parte do meio agrícola a partir dos anos 70, nos Estados Unidos e em alguns países europeus; enquanto que no Brasil, começaram a ser introduzidos a partir de 1994. Frantz (2011) afirma que, a colocação de rodados duplos surge como uma possível alternativa para melhorar a interação solo-máquina, aumentando a eficiência em tração e uma série de outros parâmetros de desempenho do trator.

A introdução do pneu radial no meio agrícola brasileiro e o uso de rodado duplo requer uma série de estudos sobre o desempenho para as diferentes condições de trabalho no país. Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho em tração de um trator agrícola utilizando diferentes configurações de rodados e pneus.

MATERIAL E MÉTODOS:

O trabalho foi realizado em um Argissolo Vermelho distrófico arênico, localizado no estado do Rio Grande do Sul. O clima é do tipo Cfa, segundo a classificação de Köppen. A temperatura média anual é de 19,2 °C, e o regime pluvial anual médio de 1.708 mm (Maluf, 2000). O relevo é plano, com inclinação de 2°, e o teor de água no solo era de 0,31 kg.kg⁻¹. A cobertura de solo era composta por aveia preta (*Avena strigosa*), sendo que para determinação do índice de matéria seca, coletou-se o equivalente a uma área de 1m² chegando ao valor de 3.000 kg.ha⁻¹.

Utilizou-se o trator agrícola MF 6713R Dyna-4 (Massey Ferguson, Canoas, Brasil), denominado trator teste, equipado com motor de ciclo Diesel da marca AGCO Power, com 142 horas de uso, de quatro tempos, modelo 44DTIC2, com quatro cilindros, volume deslocado de 4.400 cm³ e de aspiração sobrealimentada. A bomba de injeção de combustível do motor é mecânica do tipo rotativa, da marca Delphi. De acordo com o teste dinamométrico, a potência máxima do motor é de 92,4 kW (125,6 cv) a 2.100 rpm, sob a norma DIN 70020.

Para impor à barra de tração cargas controladamente dosadas foi utilizado o trator freio MF 7219 (Massey Ferguson, Canoas, Brasil), com 50 horas de uso, potência máxima do motor de 122,7 kW (166,8 cv) a 1.950 rpm, segundo teste dinamométrico. O trator possuía massa total de 10.040 kg (98,49 kN), com distribuição de massa estática de 56% sobre o eixo traseiro e 44% sobre o dianteiro, sendo 884 kg (8,67 kN) de lastro metálico. A representação esquemática do experimento pode ser observada na Figura 1.

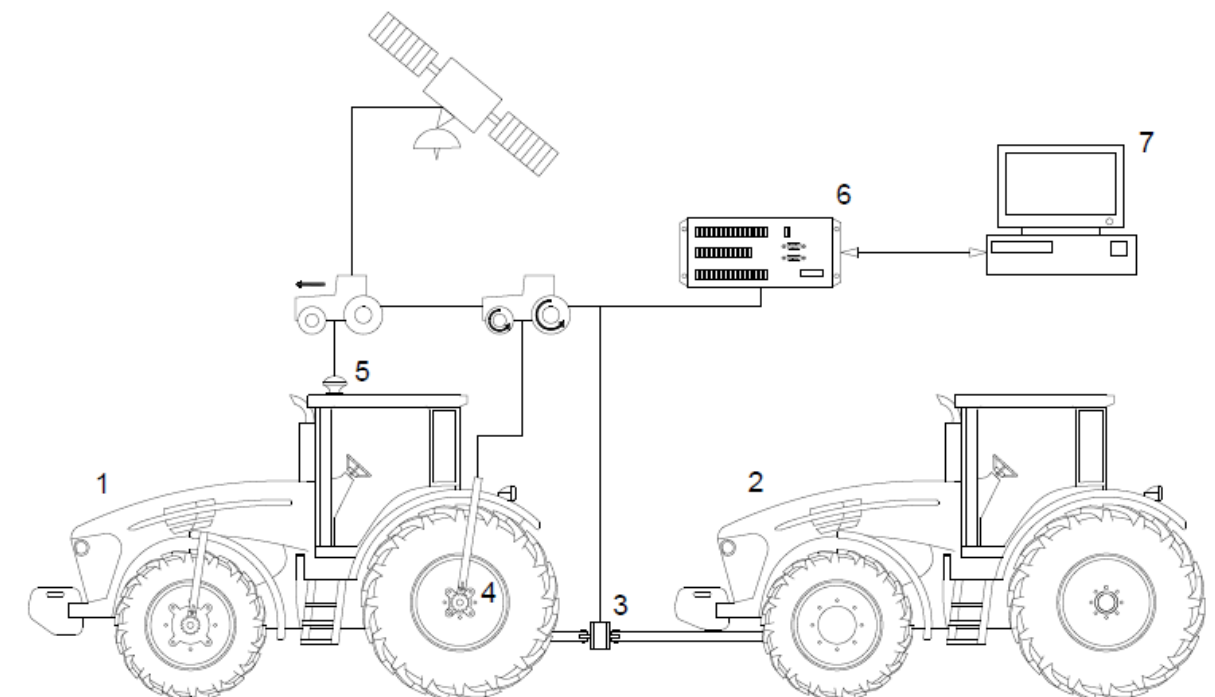


FIGURA 1 - Representação esquemática do experimento (1. trator teste; 2. trator freio; 3. força de tração; 4. patinamento das rodas motrizes; 5. velocidade real; 6. central para aquisição de dados; 7. *software* para coleta e análise dos dados).

Foi realizado um experimento trifatorial, em que os fatores avaliados foram: configuração de rodado e pneu (dois níveis); relação massa/potência (três níveis); e cargas parciais impostas ao trator teste (três níveis), em um delineamento experimental inteiramente casualizado, com três repetições, totalizando 54 unidades experimentais.

Para a configuração de rodado e pneu, primeiramente o trator teste foi avaliado com pneus R1W de construção radial, com as seguintes dimensões: dianteiros 480/65 R28 e traseiros 600/65 R38 TM 800, ambos da marca Trelleborg, na configuração rodado simples. Após, foi alterado para pneus R1 de construção diagonal, da marca Goodyear: dianteiros 14.9-28 e traseiros 18.4-38 Dyna Torque II, sendo os traseiros na configuração de rodado duplo. A determinação das áreas de contato dos pneus com o solo, para as três relações massa/potência, se deu por meio do método direto, descrito por Frantz (2011).

As relações massa/potência foram estabelecidas com base no estudo realizado por Estrada et al. (2016); obtidas por meio de diversas pesagens, em balança portátil da marca Toledo, modelo BPV-830, com capacidade para 294,30 kN (30.000 kg). Para atingir os três níveis de relação massa/potência foram alteradas as quantidades e o posicionamento das massas metálicas (lastros) do trator teste, levando-se em consideração próximo de 40% da massa total sobre o eixo dianteiro e 60% sobre o eixo traseiro. A massa final do trator teste foi de: 6.020 kg para a relação de 61 kg.kW^{-1} ; de 6.610 kg para a relação de 67 kg.kW^{-1} ; e de 7.320 kg para a relação massa/potência de 74 kg.kW^{-1} . Valores superiores ao proposto por Schlosser et al. (2005), onde a relação massa/potência recomendada para operações agrícolas de maiores exigências de força de tração deve ficar em torno de 60 kg.kW^{-1} .

As cargas parciais aplicadas ao trator teste foram obtidas a partir de ensaios prévios em campo, onde se obteve 48,29 kN (4.923 kgf) como força de tração (Q0) correspondente à potência máxima na barra de tração do trator teste, utilizando rodado duplo e pneu diagonal. A partir deste valor, determinaram-se as três cargas parciais: 24 kN (2.462 kgf); 27 kN (2.708 kgf); e 36 kN (3.692 kgf), correspondentes a 35, 55 e 75% de Q0. Tais cargas foram impostas alterando a marcha de trabalho e a rotação do motor do trator freio, onde o trator teste tracionou o trator freio sob carga constante, por uma distância de 50 m.

A velocidade teórica do trator teste foi fixada em $5,60 \text{ km.h}^{-1}$, obtida à 1.920 rpm do motor para a marcha 2B. A pressão interna dos pneus seguiu a recomendação dos fabricantes, sendo que para os pneus diagonais foi de 179,26 kPa (26 psi) e para os radiais foi de 158,58 kPa (23 psi). Durante as avaliações, a tração dianteira auxiliar e o bloqueio do diferencial traseiro estavam permanentemente acionados. Além disso, sempre os mesmos operadores conduziram os tratores.

Para a determinação do desempenho em tração, foi utilizada a instrumentação eletrônica, desenvolvida por Russini (2009). A partir desta instrumentação, obtiveram-se valores de força de tração, patinamento das rodas motrizes e consumo volumétrico de combustível. Com os dados obtidos, indiretamente, calculou-se o coeficiente dinâmico de tração e a eficiência de tração, complementando as variáveis avaliadas.

Para a estatística, os dados foram analisados quanto a sua normalidade e homocedasticidade. Após a coleta, todas as variáveis foram submetidas à análise de variância ($p \leq 0,05$). Em caso de significância, as médias foram analisadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$), com o auxílio do programa estatístico Sisvar, versão 5.3 (Ferreira, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Após a ANOVA dos resultados de força de tração, potência na barra de tração, patinamento e consumo específico de combustível para as duas configurações de rodados e pneus avaliadas (Fator P), para as diferentes relações massa/potência (Fator R) e cargas parciais (Fator C), verificou-se que as variáveis supracitadas apresentaram variação significativa (Tabela 1).

TABELA 1 - Resumo da ANOVA para os parâmetros força de tração (kN), potência na barra de tração (kW), patinamento (%) e consumo específico de combustível (gkWh⁻¹).

Fontes de variação	Graus de liberdade	Quadrados médios			
		Força de tração	Potência na barra de tração	Patinamento	Consumo específico
Pneu (P)	1	23,46	15,64	47,15	7566,71
Relação (R)	2	12,90	9,27	25,63	8737,60
Carga (C)	2	746,39	856,59	624,61	19027,97
P x R	2	7,74	15,61	3,05	24886,97
P x C	2	3,00	0,84	9,96	1494,63
R x C	4	5,23	1,60	18,81	1758,69
P x R x C*	4	2,23	3,20	6,09	220,00
Resíduo	36	0,40	0,92	0,77	240,49
Fc (P x R x C)		5,54	3,47	7,94	0,92
CV (%)		3,32	3,77	6,60	6,63
Média geral		19,13	25,43	13,27	233,89

*Difere estatisticamente ($p \leq 0,05$).

Ao observar a tabela 2, pode-se verificar que os valores médios de força de tração são inferiores às cargas parciais impostas pelo trator freio. Isto se deve a limitação das próprias cargas parciais impostas, sendo que estas não promovem uma interação rodado-solo suficiente para que se obtenham valores médios de força de tração iguais ou superiores às cargas impostas na barra de tração.

TABELA 2 - Parâmetros de desempenho em tração (força de tração, potência na barra de tração, patinamento e consumo específico de combustível) nas diferentes configurações de rodados e pneus, para as três relações massa/potência e cargas avaliadas.

kgkW ⁻¹	Diagonal Duplo (DD)			Radial Simples (RS)			DD Total	RS Total
	24 kN	27 kN	36 kN	24 kN	27 kN	36 kN		
	Força de tração (kN)							
61	12,78 ^a	19,90 ^a	28,09 ^a	12,37 ^a	18,76 ^a	25,74 ^a	20,26 ^b	18,96 ^a
67	13,84 ^a	20,29 ^a	28,73 ^a	12,18 ^a	18,62 ^a	24,15 ^b	20,96 ^a	18,32 ^b
74	13,20 ^a	17,96 ^b	23,33 ^b	11,99 ^a	18,86 ^a	23,59 ^b	18,16 ^c	18,15 ^b
	Potência na barra de tração (kW)							
61	18,44 ^a	26,73 ^a	32,56 ^b	17,83 ^a	25,45 ^a	32,48 ^a	25,91 ^b	25,26 ^a
67	19,92 ^a	27,46 ^a	35,49 ^a	17,61 ^a	25,21 ^a	30,71 ^a	27,62 ^a	24,51 ^a
74	18,73 ^a	24,19 ^b	30,24 ^c	17,54 ^a	25,97 ^a	31,26 ^a	24,39 ^c	24,92 ^a
	Patinamento (%)							
61	7,43 ^a	13,84 ^a	25,61 ^a	7,49 ^a	12,95 ^a	19,01 ^a	15,63 ^a	13,15 ^a
67	7,66 ^a	13,19 ^a	20,74 ^b	7,25 ^a	13,13 ^a	18,42 ^a	13,86 ^b	12,93 ^a
74	8,97 ^a	13,55 ^a	16,82 ^c	6,12 ^a	11,65 ^a	14,97 ^b	13,11 ^b	10,91 ^b
	Consumo específico de combustível (gkWh ⁻¹)							
61	380,50 ^a	266,11 ^a	280,72 ^a	239,11 ^a	180,27 ^b	189,04 ^a	309,11 ^a	202,81 ^b
67	217,79 ^c	188,36 ^c	172,70 ^b	247,50 ^a	230,05 ^a	214,96 ^a	192,95 ^c	230,84 ^a
74	281,93 ^b	225,58 ^b	197,87 ^b	259,45 ^a	229,46 ^a	208,64 ^a	235,13 ^b	232,52 ^a

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

Na configuração rodado duplo e pneu diagonal houve diferença para todas as relações massa/potência para a variável força de tração, sendo que para a configuração rodado simples e pneu radial diferiu apenas para a relação massa potência de 61 kg.kW⁻¹. Os valores de força de tração foram superiores para a configuração rodado duplo e pneu diagonal em relação ao rodado simples e pneu radial, mesmo a área de contato sendo 17,84% inferior à configuração rodado simples e pneu radial (4.956 cm²).

Este comportamento é devido ao aumento da pressão exercida pelo rodado sobre o solo, em função da menor área de contato que, em boas condições de trafegabilidade, faz com que o rodado duplo e pneu diagonal tenha maior aderência e, conseqüentemente, desenvolva maior força de tração, para uma mesma relação massa/potência. Schlosser et al. (2005) alertam para a necessidade de adição de lastro em tratores de potência elevada e baixa relação massa/potência, para execução de trabalhos pesados.

O tipo de cobertura de solo também pode influenciar no resultado, pois foram observados valores representativos de matéria seca, sendo que a configuração rodado duplo e pneu diagonal permitiu, devido à maior pressão exercida sobre o solo, desempenhar maior capacidade de tração. A aplicação de cargas dinâmicas sobre os rodados no solo produz tensões na interface solo-pneu tanto em superfície quanto em profundidade, que afetam a compactação do solo e o desenvolvimento de tração (Horn & Lebert, 1994).

Conforme Frantz (2011), para rodados duplos e pneus diagonais, ambos com mesma pressão interna, ocorre melhor distribuição da banda de rodagem sobre o solo, com aumento da área de contato, proporcionando maiores valores de força de tração, em relação aos rodados simples e pneus diagonais. Para ambas as configurações de rodados e pneus avaliadas neste trabalho, os menores valores de força de tração foram obtidos na maior relação massa/potência (74 kg.kW^{-1}). Tal fato se deve ao aumento da resistência ao rolamento e a aproximação da velocidade crítica, velocidade mínima de trabalho do trator para que utilize toda a potência do motor em relação a sua massa, conforme descrito por Russini et al. (2018), ressaltando-se a tendência em diminuir o patinamento das rodas motrizes.

A partir deste resultado pode-se inferir que, nas condições em que o experimento foi realizado, o coeficiente dinâmico de tração, obtido a partir da relação entre a força de tração e a massa aderente, foi maior para a menor relação massa/potência, sendo de 34,30% para o rodado duplo e pneu diagonal e 32,10% para a configuração rodado simples e pneu radial, decrescendo à medida que a relação massa/potência aumenta, alcançando valores de 25,28% e 25,27% para rodado duplo e pneu diagonal, e rodado simples e pneu radial, respectivamente. No experimento, as cargas parciais aplicadas foram inferiores a carga máxima (Q_0), porém esta apresenta coeficiente dinâmico de tração de 49%, similar ao proposto por Márquez (2012).

Para os valores médios de potência na barra de tração, nota-se o mesmo comportamento da força de tração. Na tabela 2, observa-se valor 13,47% superior para a configuração rodado duplo e pneu diagonal na carga parcial de 36 kN e relação massa/potência de 67 kg.kW^{-1} , comparado à configuração rodado simples pneu radial (30,71 kW), para a mesma configuração. Ao avaliarem o desempenho de um trator com pneus diagonais e radiais, em diferentes marchas de trabalho e lastragem, Monteiro et al. (2011) não obtiveram diferença entre os tipos construtivos de pneus e as variações de lastro líquido.

O maior valor de potência de tração obtido na configuração rodado simples e pneu radial foi de 32,48 kW, mesmo assim 8,48% menor em relação à configuração rodado duplo e pneu diagonal, para mesma carga aplicada (36 kN) e relação massa/potência (61 kg.kW^{-1}), não diferindo das demais cargas parciais e relações massa/potência (Tabela 2). Estes valores representam uma eficiência na transformação da potência do motor em potência de tração de 36,06% e 32,91%, para a configuração rodado duplo e pneu diagonal, e rodado simples e pneu radial, respectivamente. Para esta condição de superfície, são valores inferiores em relação ao proposto por Márquez (2012), 68%, devido às cargas parciais impostas ao trator teste serem inferiores à força de tração (Q_0) correspondente à potência máxima na barra de tração.

Com relação aos valores de patinamento das rodas motrizes, ambas as configurações de rodados e pneus estavam dentro dos valores aceitáveis visto que, segundo Neujahr & Schlosser (2001), os valores de patinamento compreendidos entre 5 e 20% promovem as maiores eficiências de tração. Observa-se que os menores valores de patinamento não coincidem com os maiores valores de força de tração; resultado semelhante foi obtido por Russini et al. (2018).

O melhor desempenho referente ao patinamento foi verificado para a configuração rodado simples e pneu radial, tanto em função da variação das cargas parciais aplicadas, quanto para as relações de massa/potência. Este resultado vai ao encontro do observado por Monteiro et al. (2011), onde observaram menores valores de patinamento para um trator agrícola utilizando pneus radiais com lastragem de 40% de água, em comparação aos pneus diagonais.

Os menores valores de consumo específico correspondem às maiores potências e rendimentos na barra de tração, mesmo comportamento observado por Monteiro et al. (2011). O menor valor de consumo específico para as diferentes cargas parciais, foi observado na configuração rodado duplo e pneu diagonal, na relação massa/potência de 67 kg.kW^{-1} ($192,95 \text{ gkWh}^{-1}$), diferindo das demais configurações. Já para a condição rodado simples e pneu radial o menor valor de consumo específico ($202,81 \text{ gkWh}^{-1}$) foi obtido na relação massa/potência de 61 kg.kW^{-1} , diferindo das demais. Quanto maior o valor do consumo específico de combustível, menor é a eficiência na conversão de energia (Salvador et al. 2009).

CONCLUSÕES:

A configuração rodado duplo e pneu diagonal apresentou o melhor desempenho em tração (força, potência e eficiência de tração) em relação à configuração rodado simples e pneu radial. Os menores valores de patinamento foram observados para a configuração rodado simples e pneu radial. E, os menores valores de consumo específico de combustível foram observados para a relação massa/potência de 67 kg.kW^{-1} para a configuração rodado duplo e pneu diagonal, e 61 kg.kW^{-1} para a configuração rodado simples e pneu radial.

AGRADECIMENTOS:

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de produtividade do segundo autor. Também à *Your Agriculture Company* (AGCO do Brasil) pela disponibilização do trator freio e dos rodados e pneus agrícolas utilizados neste trabalho.

REFERÊNCIAS:

BIONDI P, MARAZITI F, MONARCA D. **Technical trends of tractors and combines (1960-1989) based on Italian type-approval data.** Journal of Agricultural Engineering Research 65(1):1-14, 1996.

ESTRADA JS, SCHLOSSER JF, FARIAS MS, MARTINI AT, SANTOS GO. **Mass of agricultural tractors available in the brazilian market.** Ciência Rural 46(8):1390-1394, 2016.

FERREIRA DF. Sisvar: **A computer statistical analysis system.** Ciência e Agrotecnologia 35(6):1039-1042, 2011.

FIORESE DA, MARASCA I, FERNANDES BB, SANDI J, MORELLI-FERREIRA F, LANÇAS KP **Desempenho de três tratores agrícolas em ensaios de tração.** Revista de Agricultura Neotropical 2(2):68-76, 2015.

FRANTZ UG. Análise de desempenho em tração de rodado simples e duplo em um trator agrícola. **Dissertação de mestrado em Engenharia Agrícola.** Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2011.

GABRIEL FILHO A, MONTEIRO LA, LANÇAS KP, GUERRA SPS, JESUINO PR. **Influência da altura das garras dos pneus de um trator em área de plantio direto.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 14(10):1123-1128, 2010.

HORN R, LEBERT M. **Soil compactability and compressibility.** In: Soane BD, Ouwerkerk CV Soil compaction in crop production, developments in agricultural engineering 1st edn, Elsevier. p.45-69, 1994.

JASPER SP, BUENO LSR, LASKOSKI M, LANGHINOTTI CW, PARIZE GL **Desempenho do trator de 157 kW na condição manual e automático de gerenciamento de marchas.** Revista Scientia Agraria 17(3):55-60, 2016.

LINARES P, CATALÁN H, MÉNDEZ V. **Teoría de la tracción de tractores agrícolas.** ETSIA. 215p, 2006.

MALUF JRT. **Nova classificação climática do estado do Rio Grande do Sul.** Revista Brasileira de Agrometeorologia 8(1):141-150, 2000.

MÁRQUEZ L. **Solo Tractor'90.** Laboreo. 231p, 1990.

MÁRQUEZ L. **Tractores agrícolas: tecnología y utilización.** B&H Grupo Editorial. 844p, 2012.

MONTEIRO LA, LANÇAS KP, GUERRA SPS. **Desempenho de um trator agrícola equipado com pneus radiais e diagonais com três níveis de lastros líquidos.** Revista Engenharia Agrícola 31(3):551-560, 2011.

MONTEIRO LA, ALBIERO D, SOUZA FH, MELO RP, CORDEIRO IM. **Rendimento na barra de tração de um trator agrícola com diferentes relações de peso e potência.** Revista Ciência Agronômica 44(1):70-75, 2013.

NEUJHR EB, SCHLOSSER JF. **Comportamento de pneus agrícolas radiais e diagonais em relação à tração.** Engenharia Agrícola 21(2):180-189, 2001.

PELOIA PR, MILAN M. **Proposta de um sistema de medição de desempenho aplicado à mecanização agrícola.** Engenharia Agrícola 30(4):681-691, 2010.

RUSSINI A. Projeto, construção e teste de instrumentação eletrônica para avaliação do desempenho de tratores agrícolas. **Dissertação de mestrado em Engenharia Agrícola.** Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, 2009.

RUSSINI A, SCHLOSSER JF, FARIAS MS **Estimation of the traction power of agricultural tractors from dynamometric test.** Ciência Rural 48(4):1-7, 2018.

SALVADOR N, MION RL, BENEZ SH. **Consumo de combustível em diferentes sistemas de preparo periódico realizados antes e depois da operação de subsolagem.** Ciência e Agrotecnologia 33(3):870-874, 2009.

SCHLOSSER JF, DEBIASI H, WILLES JA, MACHADO ODC. **Análise comparativa do peso específico dos tratores agrícolas fabricados no Brasil e seus efeitos sobre a seleção e uso.** Ciência Rural 35(1):92-97, 2005.

TOLEDO A, FURLANI CEA, SILVA RP, LOPES A, DABDOUB MJ. **Comportamento espacial da demanda energética em semeadura de amendoim em Latossolo sob preparo convencional.** Engenharia Agrícola 12(30):459-467, 2010.

ZOZ FM, GRISSO RD **Traction and tractor performance.** ASAE. 46p, 2003.

YAVUZCAN HG, MATTHIES D, AUERNHAMMER H. **Vulnerability of Bavarian silty loam soil to compaction under heavy wheel traffic: impacts of tillage method and soil water content.** Soil and Tillage Research 84(2):200-215, 2005.