

ENSAIO DE BARRA DE TRACÇÃO DE DOIS TRATORES AGRÍCOLAS EM PISTA DE CONCRETO

JEFFERSON SANDI¹, EMANUEL RANGEL SPADIM², MURILO BATTISTUZZI MARTINS¹, BARBARA BARRETO FERNANDES¹, KLEBER PEREIRA LANÇAS³.

¹ Mestrando(a) em Agronomia (Energia na Agricultura) - FCA - UNESP - Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho (Rodovia Alcides Soares, Km 3, CEP: 18.610-307 - Botucatu, SP.

² Graduando, Universidade Paulista – UNIP/BAURU

³ Professor Doutor - FCA - UNESP - Botucatu, SP.

Apresentado no

XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014
27 a 31 de julho de 2014- Campo Grande- MS, Brasil

RESUMO: As operações mecanizadas na agricultura ocorrem em todas as etapas de cultivo com máquinas cada vez mais eficientes. Este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho em pista de concreto de dois tratores agrícolas 4x2 TDA (tração dianteira auxiliar) com 132 kW de potência operando em diferentes velocidades, submetidos a diferentes forças na barra de tração. Os ensaios foram realizados no Núcleo de Ensaios de Máquinas e Pneus Agroflorestais (NEMPA), da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, localizado em Botucatu – SP. Os ensaios foram realizados em pista de concreto empregando-se como carro dinamométrico a Unidade Móvel de Ensaio na Barra de Tração (UMEB). Foram instalados sensores para coleta dos dados no sistema de alimentação de combustível, arrefecimento e lubrificação, na tomada de potência, nos rodados do trator e no cabeçalho e roda odométrica da UMEB. Os dados coletados serviram para obter a patinação o gasto energético, o coeficiente de tração e a potência na barra. O trator T1 teve melhores coeficientes de tração nas velocidades V1, V2 e V3, maior rendimento na barra de tração em todas as velocidades e alcançou melhor eficiência energética nas velocidades V2 e V3. O trator T2 apresentou menor patinação na velocidade V1.

PALAVRAS-CHAVE: mecanização agrícola, máquinas, desempenho operacional.

DRAWBAR TEST OF TWO AGRICULTURAL TRACTORS IN CONCRETE RUNWAY

ABSTRACT: The mechanized agricultural operations occur at all stages of cultivation with ever more efficient machines. This study aimed to evaluate the performance on concrete runway of two tractors 4x2 FWA (front wheel assist) with 132 kW of power at different speeds, subjected to different forces on the drawbar. The tests were performed in the Núcleo de Ensaios de Máquinas e Pneus Agroflorestais (NEMPA), Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, located in Botucatu - SP. The tests were performed on concrete runway is employing as the car dynamometer Mobile Unit Essay on Drawbar (UMEB). Sensors for data collection were installed in the fuel, lubrication and cooling system, the power take off, the wheels of the tractor and header and odometer wheel of UMEB. The data collected were used for slipping, energy expenditure, the coefficient of traction and power in the drawbar. The T1 tractor had better traction coefficients in speed V1, V2 and V3, higher yield drawbar in all speeds and achieved better energy efficiency in speeds V2 and V3. The tractor T2 showed minor slipping in speed V1.

KEYWORDS: agricultural mechanization, machinery, operating performance.

INTRODUÇÃO: A avaliação do desempenho operacional de uma máquina ocorre através da análise feita sobre suas características quali-quantitativas durante a realização das atividades para que foram projetadas (MIALHE, 1974). Para avaliação dos tratores empregam-se ensaios que permitem a obtenção de resultados importantes sobre o seu desempenho operacional através de medições em laboratório e ou campo.

Os ensaios são fundamentais para embasar a tomada de decisão sobre as mudanças que devem ser feitas na máquina visando melhorar a sua capacidade de trabalho (MIALHE, 1996). Estas decisões são feitas com base nos dados gerados pelos instrumentos utilizados durante as avaliações e permitem a obtenção do melhor desempenho produtivo e menor custo operacional do trator.

Para Liljedahl et al. (1996), os rendimentos máximos obtidos na barra de tração apresentam grande valor por serem o mais útil critério de desempenho mensurável dos tratores agrícolas. Isso se deve à versatilidade deste equipamento, representada pelo grande número de implementos e máquinas acionados pelo mesmo. Porém, segundo Soranso (2006), apesar da grande versatilidade, a barra de tração é menos eficiente que a tomada de potência e o sistema hidráulico para fornecimento da potência disponibilizada pelo motor.

A barra de tração de tratores agrícolas se caracteriza por ser um elemento específico deste veículo, permitindo o engate de máquinas e implementos que necessitam serem tracionados para realizarem trabalho ou para transporte (ABNT, 1993).

Na avaliação do desempenho do trator utilizando a barra de tração deve-se considerar os vários fatores que podem interferir no resultado, como o tipo de superfície (solo, concreto, etc.), de rodado (pneus, esteiras, etc.), peso do trator, sua distribuição em situação estática e dinâmica, a seleção das velocidades, a altura e comprimento da barra e principalmente as perdas de energia pela máquina, que ocorrem principalmente no sistema de transmissão, pela resistência ao rolamento e pela patinagem.

Quando o veículo está em movimento a patinagem ocorre como resposta ao deslocamento, sendo muitas vezes apenas perceptíveis por aparelhos. Segundo Lanças & Upadhyaya (1997), a patinagem é fundamental para que a tração aconteça, porém os seus valores não devem ultrapassar determinados limites para que não ocorram perdas de aderência que resultam na redução da tração dos rodados. Segundo a norma OCDE - Code 2 (2012), a patinagem máxima durante o ensaio de tratores agrícolas com rodados pneumáticos deve ser limitada em 15%.

Isso ocorre devido a fatores que atuam diretamente sobre a capacidade de realização de tração pelo trator com rodados pneumáticos. Entre os principais fatores estão o tipo de pneu, o tipo de tração (4x2, 4x2 com tração dianteira auxiliar e 4x4) e o peso do trator (bem como sua distribuição entre os eixos).

Cordeiro (2000), avaliando o desempenho operacional de um trator John Deere – SLC modelo 6600, 4x2, TDA, utilizando pneus diagonais, radiais e BPAF (Baixa Pressão e Alta Flutuação), obteve com o pneu diagonal maior capacidade de tração e menor patinagem nas classes de maior força de tração na barra e maiores níveis de lastro. Por sua vez, Corrêa et al. (1997), em experimento utilizando pneus radiais e diagonais em um trator 4x2 TDA com a tração dianteira desligada, obteve melhores rendimentos com pneus radiais utilizando baixa pressão de inflação.

A distribuição da tração pelos rodados do trator também afeta sua capacidade de trabalho e eficiência energética. Yanai et al. (1999), comparou tratores agrícolas (do mesmo modelo) com tração simples e com tração dianteira auxiliar, obtendo aumento de aproximadamente 33% na força de tração e 13,9% no consumo horário de combustível dos tratores com TDA.

Porém é necessário ficar atento a calibração e o tipo de pneu, pois a utilização errônea destes componentes pode anular ou tornar prejudicial o uso da tração auxiliar. Segundo Wong

(1978), quando a relação de voltas entre as rodas dianteiras e traseiras são iguais a um, obtém-se a sua máxima eficiência, pois a patinagem das rodas traseiras e dianteiras são iguais.

Quanto ao peso do trator e sua distribuição, Schlosser et al. (2005), apontou a utilização de relações peso/potência de aproximadamente 50 kg.cv⁻¹ para realização de atividades leves, que permitam maiores velocidades e necessitem de maior potência na barra de tração, e relações peso e potência em torno de 60 kg.cv⁻¹ para atividades mais pesadas, que demandem menores velocidades e maior exigência de força de tração. Para adequar o peso e distribuição de massas deve-se trabalhar com a adição ou remoção dos lastros líquidos e/ou sólidos do trator, buscando adequá-lo à necessidade da tarefa a ser desempenhada.

Estudos realizados por Monteiro et al. (2009), demonstraram que quando respeitados as corretas relações de peso e potência para as diferentes atividades agrícolas, são obtidos melhores desempenhos operacionais, aumento da eficiência tratorial, manutenção da patinagem em um nível desejável e menor ruptura do solo por cisalhamento, fatores estes que contribuem para uma melhor desempenho energético do trator.

Além de contribuir com a alteração do peso total do trator, a lastragem também deve servir para manter uma distribuição de massas adequada para permitir maior eficiência tratorial. Corrêa e Lanças (2000), obteve melhores resultados de desempenho de tração com 40% da massa do trator no eixo dianteiro.

Dessa forma, um dos objetivos fundamentais dos ensaios é apontar formas de diminuir as perdas energéticas que ocorrem nos componentes e devido a erros de adequação/regulagem das máquinas, garantindo o uso cada vez mais racional deste fundamental recurso.

O experimento buscou determinar a potência máxima disponibilizada na barra de tração, a capacidade trativa, a patinagem dos rodados e a eficiência energéticas de dois tratores agrícolas através de ensaio em pista de concreto.

MATERIAL E MÉTODOS: O experimento foi realizado pelo Núcleo de Ensaios de Máquinas e Pneus Agroflorestais em pista de concreto (22°51'S e 48°25'W) localizada na Fazenda Experimental Lageado, pertencente à FCA/UNESP de Botucatu – SP. Esta pista foi construída seguindo-se as normas para ensaios de tratores da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE) que possui retas paralelas com 200 metros de comprimento (apresentando declividade de 1%) e 4 metros de largura.

Adotou-se o delineamento completamente casualizado, empregando-se dois Tratores (T1 e T2) e três velocidades (V1: 7,4; V2: 8,7 e V3: 10,1 km.h⁻¹). Para aplicação das cargas na barra de tração, utilizou-se a Unidade Móvel de Ensaio na Barra de Tração (UMEB), munida de freio pneumático com controle variável de frenagem. O procedimento consiste em realizar frenagem na BT do trator com este em movimento e na aceleração máxima, até a atingir a carga desejada.

Empregou-se uma célula de carga SODMEX N400 (capacidade máxima de 10 kN), para verificação da carga na BT; dois medidores de fluxo modelo OVAL M-III LSF41L0-M2, para determinação do consumo de combustível (o primeiro instalado entre o filtro de combustível e a entrada da bomba injetora e o segundo na mangueira de retorno do combustível para o tanque); duas termoresistências de platina (pt 100) fabricados pela S&E Instrumentos de Testes e Medições para medir a temperatura do diesel (instaladas juntamente com cada fluxômetro), seis sensores de rotação modelo S&E E2A1A 24V para determinação da patinagem dos rodados (um em cada roda do trator), para distância real junto a uma roda odométrica e para aquisição da rotação do motor (instalado na tomada de potência, transformando-se o valor obtido em rotação real do motor através da relação de transmissão existente entre os dois), e sistema de aquisição de dados tipo CLP 24V modelo Vision 230TM, para captação e armazenamento dos dados. Os tratores utilizaram o mesmo tipo de

pneu e pressão de inflação, variando apenas as peculiaridades de cada modelo, conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Especificações básicas dos dois tratores utilizados nos ensaios de tração sobre concreto.

Trator	T1	T2
Classificação	4x2 TODA	
Motor	6 cilindros turbo	
Cilindrada (cm ³)	6600	
Potência do motor (kW)	132,4	132,4
Torque máx. do motor (Nm)	640	650
Massa total aderente (kN)	98,50	97,70
Distribuição de peso (%)	60 % eixo traseiro / 40 % eixo dianteiro	
Transmissão	16 frente + 4 ré	
Pneus diagonais	24,5 – 32 tras./18.4 – 26 diant.	
Pressão dos pneus (kPa)	137,90 - tras./ 137,9 - diant.	

Os parâmetros avaliados, relacionados com a interação solo-máquina, foram: patinagem, eficiência na barra de tração, consumo específico e coeficiente de tração. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade,

RESULTADOS E DISCUSSÃO: O coeficiente de tração é o resultado da força horizontal tracionada pelo trator em relação ao sua massa total. Na Tabela 2, é possível observar que o trator T1 apresentou maiores coeficientes de tração que o trator T2 devido as melhores realação entre o peso do trator e a força horizontal tracionada nas velocidades V1, V2 e V3. Estas diferenças são ocasionadas pelas características construtivas particulares de cada trator, uma vez que ambos apresentaram condições semelhantes para o ensaio. Assim, pode-se afirmar que o trator T1 apresentou melhor capacidade de transmissão e aplicação da força disponibilizada pelo motor para realizar tração que o trator T2 nas velocidades ensaiadas. Para Zoz e Brixius (1979), os fatores que mais influenciam na capacidade de tração dos tratores ensaiados em pista de concreto são os pneus e as condições ambientais do local, o que explica em parte a diferença entre os valores obtidos nestes ensaios e os dados presentes na literatura. Também houve diferença na patinagem dos rodados, onde o trator T1 apresentou maior patinagem em relação ao trator T2 na velocidade V1.

Tabela 2. Médias do coeficiente de tração e patinagem dos tratores nas velocidades ensaiadas.

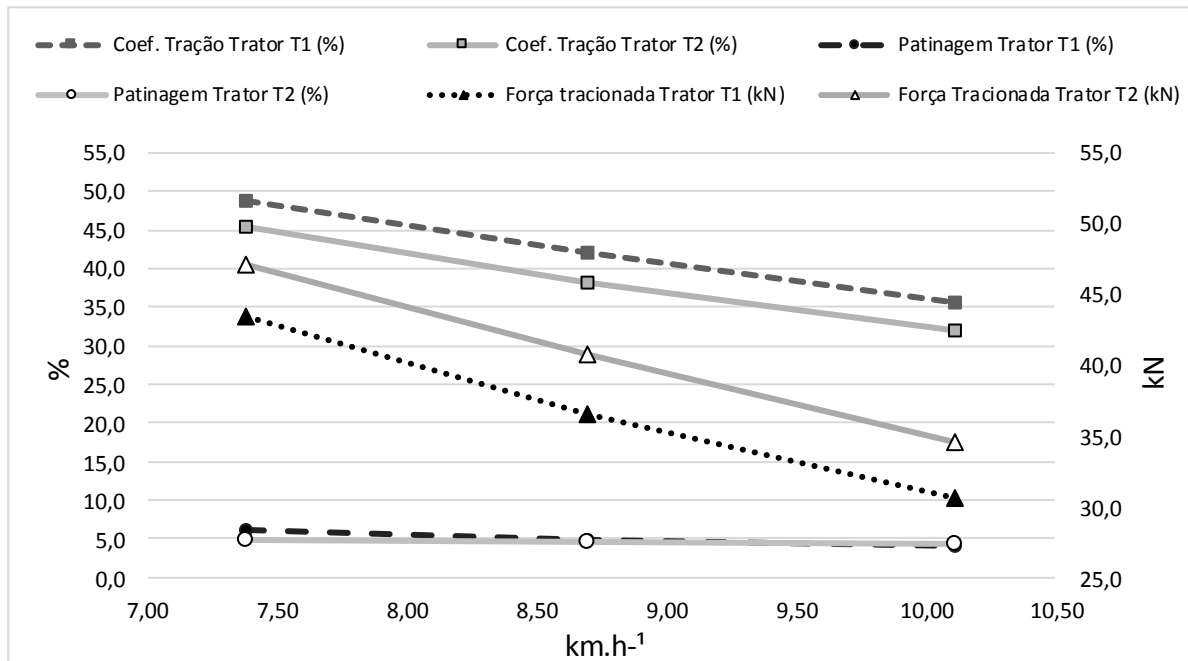
Velocidade	Trator	Coeficiente de tração (%)	CV (%)	Patinagem (%)	CV (%)
V1	T1	48.71 a	1,81	6.22 a	3,63
	T2	45.32 b		4.75 b	
V2	T1	42.19 a	3,06	4.82 a	6,95
	T2	38.19 b		4.73 a	
V3	T1	35.72 a	2,40	4.37 a	8,64
	T2	31.94 b		4.17 a	

Médias com letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P > 0,05). C.V. – coeficiente de variação.

Na Figura 1 é possível observar as curvas do coeficiente de tração e patinagem do trator T1 e T2. O comportamento de ambos os tratores é semelhante para as duas variáveis, pois com o

aumento da velocidade ocorre uma diminuição da força tracionada pelos dois tratores. Isso ocorre devido a alteração da relação de transmissão (através da troca de marchas), para conseguir maiores velocidades, o que leva a diminuição da força disponível para ser aplicada na superfície de deslocamento. Quanto a patinagem, esta tende a decair juntamente com a diminuição do valor de forças horizontais aplicadas na barra de tração. Entre as velocidades ensaiadas os maiores valores de forças tracionadas (e por consequência os maiores coeficientes de tração) foram atingidos na velocidade V1 (próximo a 7,50 Km.h¹).

Figura 1. Curvas do coeficiente de tração, força tracionada e patinagem dos tratores nas velocidades ensaiadas.



Brixius (1987), aponta que a máxima eficiência tratória acontece com índices de patinagem variando entre 5 e 20%, pois, com valores menores que 5%, uma grande quantidade da potência é utilizada para vencer a resistência ao rolamento e, acima de 20% a potência é consumida com a própria patinagem do rodado. Assim, pode-se afirmar que as velocidades V1, V2 e V3 do trator T2 e as velocidades V2 e V3 do trator T1 ocasionaram perdas de desempenho pela patinagem abaixo de 5%. A patinagem é muito dependente da interação com um grande número de fatores que não podem ser controlados (como a interação entre rodados e a superfície de deslocamento), dessa forma, tanto os tratores quanto as velocidades podem apresentar uma grande amplitude nos valores desta variável.

O trator T1 apresentou maior rendimento na barra de tração que o trator T2 em todas as velocidades ensaiadas. Isso resultou em um menor consumo específico de combustível (e portanto melhor eficiência energética) para o trator T1 nas velocidades V2 e V3 (Tabela 3). Observa-se que os melhores consumos específicos de combustível dos tratores são obtidos nas velocidades com maiores rendimentos na barra de tração. Para o trator T1 foi obtida uma potência máxima na barra de tração na faixa de 100,0 kW, o que resultou em um rendimento na barra de tração de 74.96 % e um consumo específico de 318.02 g.kW¹.h⁻¹ para a velocidade próxima a 8,5 Km.h⁻¹. No trator T2, a melhor eficiência energética (351.73 g.kW¹.h⁻¹), melhor rendimento (66.83 %) e potência (aproximadamente 88 kW) na barra de tração ocorreram na velocidade V1 (próxima a 7,5 Km.h⁻¹), sendo que, o aumento da velocidade resultou em um pior desempenho nestes parâmetros para este trator.

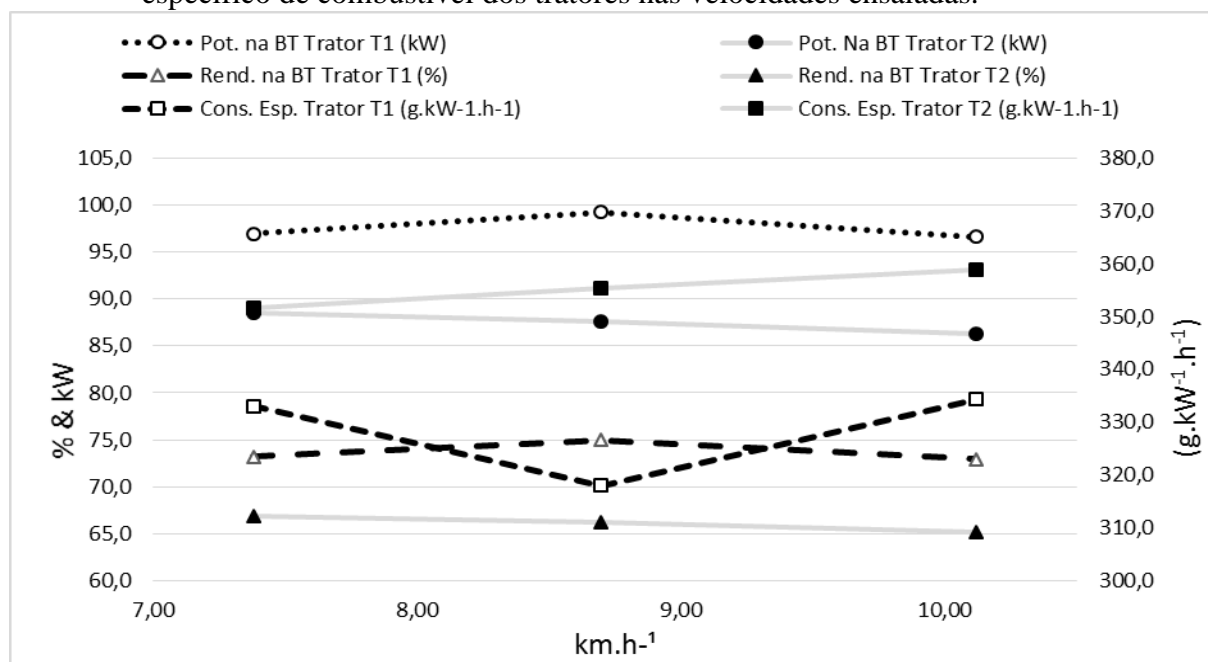
Tabela 3. Médias de rendimento na barra de tração e consumo específico de combustível dos tratores nas velocidades ensaiadas.

Velocidade	Trator	Rendimento na barra (%)	CV (%)	Consumo específico (g.kW ⁻¹ .h ⁻¹)	CV (%)
V1	T1	73.24 a	1,31	333.06 a	2,95
	T2	66.83 b		351.73 a	
V2	T1	74.96 a	1,20	318.02 a	1,28
	T2	66.20 b		355.37 b	
V3	T1	72.98 a	2,00	334.29 a	2,26
	T2	65.18 b		358.97 b	

Médias com letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P > 0,05). C.V. – coeficiente de variação.

Na Figura 2, observam-se os comportamentos do consumo específico de combustível, potência e rendimento na barra de tração dos dois tratores.

Figura 2. Curvas de rendimento na barra de tração, potência na barra de tração e consumo específico de combustível dos tratores nas velocidades ensaiadas.



Zoz e Grisso (2003), apontam que para se obter um rendimento entre 77% e 80% na barra de tração em ensaio no concreto, os pneus devem atingir sua máxima eficiência de transmissão da força (aproximadamente 92,5% da força recebida do sistema de transmissão), na superfície de deslocamento. Estes valores somente serão obtidos quando a regulagem e interação dos rodados for a melhor possível com as condições existentes no local de ensaio.

Nem sempre é possível obter o máximo rendimento dos rodados, pois cada tipo de rodado apresenta características próprias que os fazem exigir diferentes condições de regulagem e ambientais que são difíceis de serem obtidas, resultando em menor eficiência deste importante componente dos tratores agrícolas. Isso pode explicar por que os rendimentos de potência na barra de tração abaixo dos valores citados pela literatura.

Por sua vez o consumo de combustível é dependente da eficiência energética do trator na transformação, transmissão e aplicação da energia obtida. Assim várias medidas podem ser tomadas para melhorar cada um destes sistemas, permitindo tornar o trator mais econômico.

Kim et al. (2005), apontam que entre 1959 e 2000 ocorreu uma melhoria média de 23,4% no consumo de combustível dos tratores. Isso se deve aos avanços tecnológicos, de engenharia e de capacitação dos operadores alcançados no decorrer do tempo, que permitem ao trator trabalhar nas condições em que é mais eficiente. Barbosa et al. (2005), obtiveram um consumo específico 23,39% menor utilizando pneu radial em relação pneu diagonal em ensaio de tratores no solo. Por sua vez, Juostas e Janulevičius (2008), obtiveram 5% de economia de combustível apenas alterando o regime de rotação do motor para desempenhar o mesmo trabalho em atividades de menor exigência de potência.

Assim, os ensaios permitem conhecer em quais condições são obtidos os melhores desempenhos do trator, permitindo aos engenheiros dimensionar máquinas e implementos para trabalhar dentro dos limites dos tratores, resultando em melhor uso dos mesmos.

CONCLUSÕES: O trator T1 obteve melhores coeficientes de tração que o trator T2 em todas as velocidades ensaiadas.

O trator T2 apresentou menores índices que o trator T1 na velocidade V1.

O trator T1 apresentou maiores rendimentos na barra de tração em relação ao trator T2 em todas as velocidades.

A maior potência disponibilizada pelo trator T1 se refletiu em melhor eficiência energética (devido ao menor consumo específico de combustível) em relação ao trator T2 nas velocidades V2 e V3.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR7011 – Tratores agrícolas – características e posição da barra de tração.** Rio de Janeiro: ABNT, 1993. 3p.

BARBOSA, J. A.; VIEIRA, J. B.; DIAS, G. P.; DIAS JÚNIOR, M. de S.. Desempenho operacional de um trator agrícola equipado alternadamente com pneus radiais e diagonais. **Engenharia Agrícola.** 2005, vol.25, n.2, pp. 474-480. ISSN 0100-6916.

BRIXIUS W.W. Traction prediction equation for bias ply tires. St. Joseph, Michigan: ASAE. 1987 (**ASAE Paper, 83-1067**).

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

CORRÊA, I. M.; YANAI, K.; MOLINA JUNIOR, W. F.; MAZIERO, J. V. G.. Pneu radial de baixa pressão versus pneu diagonal: desempenho em operação agrícola. **Engenharia Agrícola,** Jaboticabal, v. 16, n. 4, p. 22-26, jun, 1997.

CORRÊA, I. M.; LANÇAS, K.P. Desempenho operacional de pneus radiais de baixa pressão e pneus diagonais em trator 4x2 Aux. com a tração dianteira desligada. **Energia na Agricultura,** Botucatu, v. 15, n. 4, p. 44-55, 2000.

JUOSTAS, A.; JANULEVICIUS, A. Investigation of tractor engine power and economical working conditions utilization during transport operation. **Transport: Research Journal of Vilnius Gediminas Technical University and Lithuanian. Academy of Sciences.** Volume: 23. pp 37-43. 2008. ISSN: 1648-4142.

KIM, K. U.; BASHFORD, L. L.; SAMPSON, B. T. Improvement of Tractor Performance. **Applied Engineering in Agriculture**, 21(6), 949-954. 2005.

LANÇAS, K. P.; UPADHYAYA, S. K. **Pneus radiais para tratores: Guia para a seleção correta da pressão de inflação**. Energia na Agricultura, FCA/UNESP, Botucatu, 1997. 33p. Boletim Técnico no 1.

LILJEDAHL, J. B.; et al. **Tractors and their power units**. 4. ed. St. Joseph: ASAE Textbook, 1996. 463 p.

MIALHE, L. G. **Maquinas agrícolas: ensaios & certificados**. Piracicaba: FEALQ, 1996. 722p. ISBN 85-7133-001-0

MIALHE, L. A. **Máquinas motoras na agricultura**. São Paulo: EPU: USP, 1974. 367p.

MONTEIRO, L. A.; LANÇAS, K. P.; GABRIEL FILHO, A. Desempenho de um trator agrícola em função do tipo construtivo do pneu e da lastragem líquida em três velocidades de deslocamento na pista com superfície firme. **Revista Energia na Agricultura**, v.24, n.1, p.68-84, 2009.

OCDE CODE 2. **Standard code for the official testing of agricultural and forestry tractor performance**. 2012. 91 p.

SCHLOSSER, J. F.; DEBIASI, H.; WILLES, J. A.; MACHADO, O. D. da C.. Análise comparativa do peso específico dos tratores agrícolas fabricados no Brasil e seus efeitos sobre a seleção e uso. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 1, p. 92-97, jan/fev. 2005.

SORANSO A. M. **Desempenho de um trator agrícola utilizando biodiesel destilado etílico e metílico**. 2006. 68 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Paraná –UNIOESTE, Cascavel.

WONG, J.Y. **Theory of ground vehicles**. New York : John Wiley & Sons, 1878. 330p.

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**, Brasília, v.34, n.8, p.1427-34, 1999.

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

ZOZ, F.M.; BRIXIUS, W. W.. Traction prediction for agricultural tires on concrete. **ASAE Paper 79-1046**. 1979.5 pp.