

## PARÂMETROS ENERGÉTICOS E DE DESEMPENHO DE TRATORES AGRÍCOLAS EM ENSAIOS DE TRAÇÃO SOBRE SOLO FIRME

JEFFERSON SANDI<sup>1</sup>, DIEGO AUGUSTO FIORESE<sup>2</sup>, JOÃO VITOR PAULO TESTA<sup>1</sup>, FRANCIELLE MORELLI FERREIRA<sup>3</sup>, KLEBER PEREIRA LANÇAS<sup>4</sup>.

<sup>1</sup> Mestrando 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.

<sup>2</sup> Doutorando em Agronomia (Energia na Agricultura) - FCA - UNESP - Botucatu, SP.

<sup>3</sup> Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura).

<sup>4</sup> 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:** O comportamento de uma máquina agrícola sobre determinado tipo e condição de solo depende fundamentalmente da interação entre ambos. O objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho em solo firme de três tratores agrícolas (76,7; 71,5; 76,1 kW de potência), avaliando-se os seguintes parâmetros: patinagem, eficiência na barra de tração, consumo de combustível, energia específica e coeficiente de tração. Foi realizado no Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agroflorestais – NEMPA da FCA/UNESP em Botucatu-SP. Utilizou-se delineamento de blocos ao acaso em esquema fatorial com três tratores e seis cargas na barra de tração (5, 10, 15, 20, 25 e 27 kN), aplicadas por um carro dinamométrico com frenagem variável. O ensaio foi realizado sobre Nitossolo Vermelho Distroférico com estrutura superficial e subsuperficial firme sem vegetação. As médias entre os tratores foram comparadas pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ), e as médias das cargas por equações de regressão. Houve interação significativa entre os tratores. Observou-se comportamento linear para o rendimento na barra de tração e o consumo horário de combustível, e não linear para a patinagem e energia específica. O coeficiente de tração máximo foi de 50%, limitado pela interação entre o solo e o rodado.

**PALAVRAS-CHAVE:** máquinas, interação solo-máquina, mecanização agrícola.

## ENERGY AND PERFORMANCE PARAMETERS OF AGRICULTURAL TRACTORS TESTED ON SOLID SOIL

**ABSTRACT:** The behavior of a particular type of agricultural machine and soil condition depends crucially on the interaction between both. The objective of this study was to evaluate the performance of three tractors (76,7; 71,5; 76,1 kW of power) on firm ground by evaluating the following parameters: slip, drawbar efficiency, fuel consumption, specific energy and traction coefficient. Was carried out at the trials Machines and Tires Agroforestry - NEMPA FCA/UNESP in Botucatu. Was used a randomized block design in a factorial arrangement with three tractors and six loads (5, 10, 15, 20, 25 and 27 kN) applied to the drawbar by a dynamometer car with variable braking. The test was performed on Nitossolo Vermelho Distroférico with firm surface and subsurface structure without vegetation. The mean values of the tractors were compared by Tukey test ( $P \leq 0.05$ ), and average loads through regression equations. There was a significant interaction between the tractors. There was a linear to yield to the drawbar and the hourly fuel consumption behavior, and nonlinear for slipping and specific energy. The maximum coefficient of traction was 50 %, limited by the interaction between the soil and rotated.

**KEYWORDS:** machines, ground to machine interaction, agricultural mechanization.

**INTRODUÇÃO:** Alterações ocasionadas a partir da interação solo-máquina, podem ser negativas para o solo e as culturas, caso da compactação, ou negativo para o desempenho das máquinas, caso de

solos que oferecem pouca aderência e de solos de difícil rompimento pelos órgãos ativos de máquinas e implementos.

Segundo Gabriel Filho et al. (2010), o desempenho na barra de tração de um trator, depende de muitos fatores, entre eles, a distribuição de peso sobre os rodados e da superfície do solo. Em complemento, Yanai et al. (1999), ressaltam que a eficiência de tração pode variar em função de algumas propriedades do solo, como a textura e umidade, além da cobertura existente.

De acordo com a ASABE (2011), um solo na condição firme oferece eficiência média na barra de tração (BT), na ordem de 68%, considerada intermediária, se comparado com pista padrão de concreto e no outro extremo, com solos cultivados e mobilizados. Neste limiar, Gabriel Filho et al. (2004), realizou trabalhos de tração em solos agrícolas, e os autores concluíram que os índices de patinagem são menores com consequente aumento da eficiência de tração para condições superficiais onde se tenha menor quantidade de matéria seca. Zoz & Grisso (2003), analisando parâmetros relacionados com a teoria da tração, obtiveram gráficos de patinagem com comportamento exponencial em função da carga na barra de tração do trator, reduzindo a eficiência trativa para condições de alta patinagem.

O objetivo deste trabalho foi avaliar através de parâmetros energéticos e de desempenho, a interação solo-máquina de três tratores agrícolas submetidos a ensaios de tração sobre Nitossolo Vermelho distroférico firme.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Os ensaios foram realizados sobre solo classificado de acordo com a Embrapa (1999) como Nitossolo Vermelho Distroférico, de textura argilosa, com teor de argila superior a 50%. A área possui estrutura superficial e subsuperficial denominada como pista de solo firme, com teor de água inferior a 10% e índice de cone superior a 10 MPa na profundidade de 0 – 0,1m), em toda a extensão da área (400 x 30 m) onde foram montadas as parcelas. O local pertence ao Núcleo de Ensaios de Máquinas e Pneus Agroflorestais (NEMPA), situado na FCA/UNESP de Botucatu-SP, com a localização geográfica nas coordenadas 22°50'21.04"S e 48°25'19.83"O.

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso (DBC), em esquema fatorial 3x6 com três tratores agrícolas munidos de tração dianteira auxiliar (TDA) e seis cargas na barra de tração (5, 10, 15, 20, 25 e 27 kN). Foram adotadas três repetições em parcelas de 30 m de comprimento e largura de 2,5 m. Utilizou-se uma marcha de trabalho em cada trator (buscando velocidades entre 6 e 7 km.h<sup>-1</sup>). Para aplicação das cargas na BT, 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 Líder 10t (capacidade máxima de 100 kN), para verificação da carga na BT; dois medidores de fluxo modelo OVAL M-III LSF41L0-M2, para determinação do consumo de combustível; cinco sensores de rotação modelo S&E E2A1A 24V para determinação da patinagem dos rodados e para velocidade real junto a uma roda odométrica; 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 três tratores utilizados nos ensaios de tração sobre solo firme.

|                           | Trator T1                     | Trator T2 | Trator T3 |
|---------------------------|-------------------------------|-----------|-----------|
| Classificação             | Monobloco - 4x2 TDA           |           |           |
| Motor                     | 4 cilindros turbo             |           |           |
| Potência do motor (kW)    | 76,7                          | 71,5      | 76,1      |
| Torque máx. do motor (Nm) | 403                           | 363       | 428       |
| Massa total aderente (kN) | 52,2                          | 55,2      | 56,6      |
| Pneus                     | 18.4-34 tras./ 14.9-24 diant. |           |           |
| Pressão dos pneus (kPa)   | 124,16- tras./ 137,9-diant.   |           |           |

Os parâmetros avaliados, relacionados com a interação solo-máquina, foram: patinagem (Pat.), eficiência na barra de tração (Ef. BT), energia específica (ENE) e coeficiente de tração ( $\mu_t$ ).

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A análise de variância mostrou interação significativa entre os fatores. Na Tabela 2 pode-se observar os resultados na análise de variância para o fator “trator”, mostrando diferenças significativas entre ambos, para quatro parâmetros de desempenho.

TABELA 2. Resultados médios da análise de variância para o fator qualitativo trator.

| Trator   | Pat. (%) | EN <sub>E</sub> (kWh L <sup>-1</sup> ) | Chv (L h <sup>-1</sup> ) | Ef. BT (%) |
|----------|----------|--|--------------------------|------------|
| T1       | 6,65 a   | 1,96 a                                 | 13,72 c                  | 39,34 ab   |
| T2       | 6,24 b   | 1,72 c                                 | 15,90 a                  | 40,37 a    |
| T3       | 6,28 b   | 1,92 b                                 | 14,78 b                  | 38,63 b    |
| F        | 8,32     | 151,87                                 | 209,32                   | 6,08       |
| C.V. (%) | 5,29     | 2,36                                   | 2,16                     | 3,81       |
| DMS      | 0,28     | 0,036                                  | 0,26                     | 1,23       |

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

O comportamento da interação rodado solo, representado pela patinagem, foi crescente de forma exponencial ( $p \geq 0,05$ ), em função do aumento da carga aplicada na barra de tração (Figura 1), concordando com Zoz & Grisso (2003). A eficiência na BT dos três tratores teve comportamento linear, explicado devido ao limite do coeficiente de tração ter sido baixo quando comparado com a literatura, e a máxima eficiência na BT foi inferior ao valor médio sugerido pela ASABE (2011). Em condições de maior capacidade trativa e para velocidades maiores, a eficiência na BT tem comportamento não linear (logarítmico). Os tratores obtiveram resultados bastante semelhantes, podendo ser verificado nas equações da regressão inseridas junto a Figura 1.

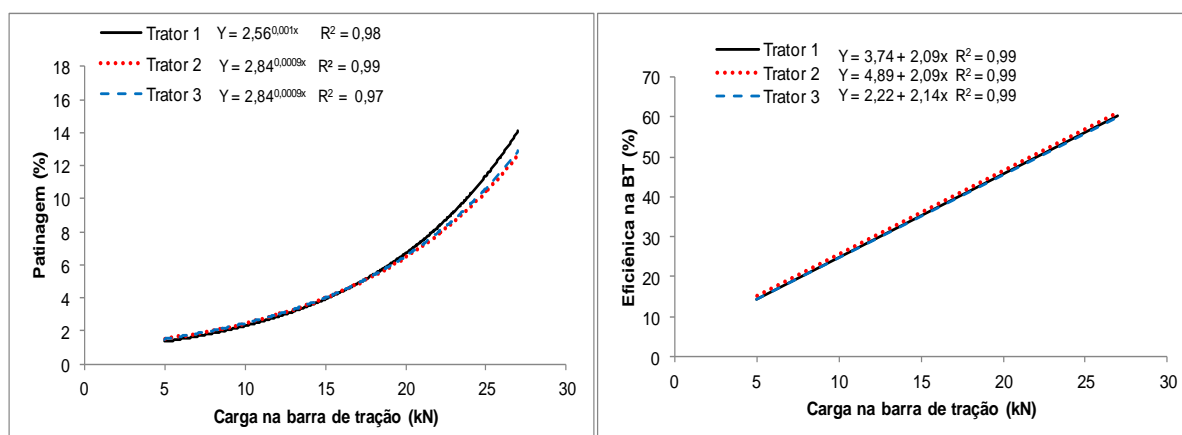


FIGURA 1. Patinagem e eficiência na BT em função da carga aplicada na barra de tração para os três tratores.

Em geral, nos motores agrícolas, o maior consumo de combustível é atingido próximo a rotação de potência máxima e com as condições do solo e a velocidade adotada, o Chv apresentou ascendência linear (Figura 2) de acordo com o aumento da carga na BT, similar com resultados publicados por Serrano (2007). A energia específica, conceituada como a quantidade e energia produzida por unidade de volume de combustível consumido (kWh L<sup>-1</sup>), está diretamente relacionada com a eficiência global do trator e tende a estabilizar de acordo com a queda de rotação do motor, incidindo assim em linhas com ajuste logarítmico (Figura 2), similar a resultados citados por Márquez (2012).

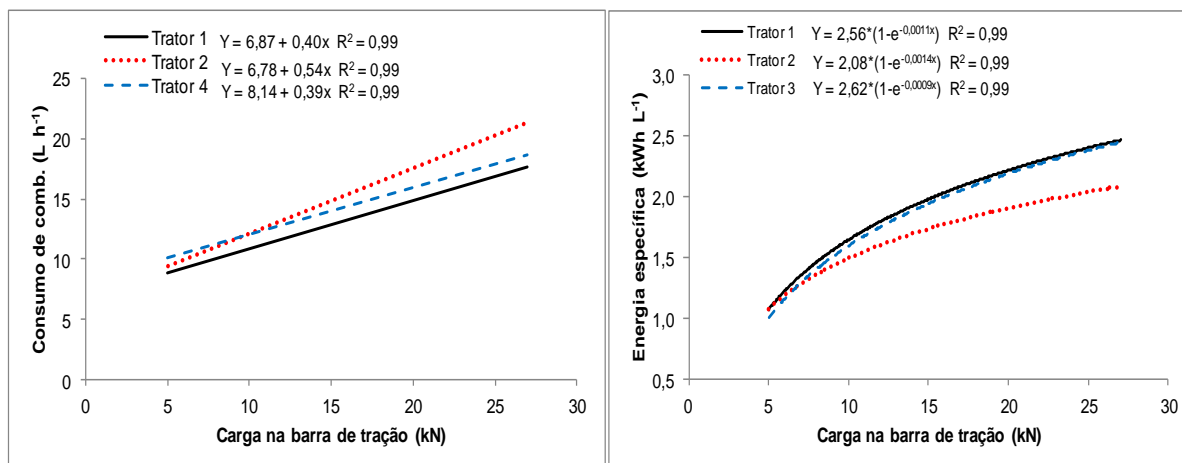


FIGURA 2. Consumo de combustível e energia específica em função da carga aplicada na BT para os três tratores.

Observou-se que o coeficiente de tração limite, foi de aproximadamente 50%, valor inferior aos citados por Linares et al. (2006) e ASABE (2011), para a condição de solo firme. Os resultados mostram que para os fatores energéticos (Chv e ENE) o trator 2 teve o pior desempenho devido ao maior consumo de combustível. Os parâmetros de desempenho (Pat. e Ef. BT) foram muito similares entre os três tratores.

**CONCLUSÕES:** Não foi possível adicionar maior carga na barra de tração do trator devido ao limitado coeficiente de tração proporcionado pelo solo, próximo a 50%.

A interação solo-máquina para a velocidade utilizada e para a condição de solo firme, não permite que os parâmetros energéticos e de desempenho atinjam o máximo rendimento.

## REFERÊNCIAS

- ASABE. AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. ASAE D497.7 Agricultural machinery management data. St. Joseph: **ASABE Standards**, 2011. 8p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa, 412p. 1999.
- GABRIEL FILHO, A.; MONTEIRO, L. A.; LANÇAS, K. P.; GUERRA, S. P. S.; JESUINO, P. R. Influência da altura das garras dos pneus de um trator em área de plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. 14:1123–1128, 2010.
- GABRIEL FILHO, A.; SILVA, S. L.; MODOLO, A. J.; SILVEIRA, J. C. M. Desempenho de um trator operando em solo com diferentes tipos de cobertura vegetal. **Engenharia Agrícola**. 24:781-789, 2004.
- LINARES, P.; CATALÁN, H.; MÉNDEZ, V. **Teoría de la tracción de tractores agrícolas**. 2.ed. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. 2006, 215p.
- MÁRQUEZ, L. **Tractores Agrícolas: Tecnologías y utilización**. Madrid: B&h Editores, 2012. 844p.
- SERRANO, J. M. P. R. Desempenho de tratores agrícolas em tração. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, 42:1021-1027, 2007.
- 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**, 34:1427-1434, 1999.
- ZOZ, F. M. & GRISSO, R. D. **Traction and Tractor Performance**. Louisville: ASAE, 2003. 46p.