

## **CONSUMO DE COMBUSTÍVEL DE UM TRATOR AGRÍCOLA EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO, PRESSÃO INTERNA E TIPO DE CONSTRUÇÃO DE PNEUS**

**DANIEL MARIANO LEITE<sup>1</sup>, HAROLDO CARLOS FERNANDES<sup>2</sup>, MARCONI RIBEIRO FURTADO JÚNIOR<sup>3</sup>, ANDERSON CANDIDO DA SILVA<sup>3</sup>, PAULO ROBERTO FORASTIERE<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Lic. em Ciências Agrícolas, Doutorando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, e-mail: daniel.mariano@ufv.br

<sup>2</sup> Engenheiro Agrícola, Professor Titular do Departamento Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa.

<sup>3</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutorando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa.

<sup>4</sup> Engenheiro Agrônomo, Mestrando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa.

Apresentado no  
XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2015  
13 a 17 de setembro de 2015- São Pedro – SP, Brasil

**RESUMO:** O consumo de energia nas operações agrícolas pode ser alterado em função de parâmetros técnicos como operacionais, como, da interação pneu/solo, tipo de serviço, do maquinário, entre outros fatores. Objetivou-se com este trabalho, avaliar consumo de combustível de um trator 4x2 TDA, em função da velocidade do trator, da pressão interna e do tipo de construção dos pneus. Para cada tipo de construção de pneus (radial e diagonal) foi montado um experimento utilizando o delineamento composto central rotacional, um fatorial 2<sup>3</sup>, incluindo 6 pontos axiais e 5 repetições no ponto central, totalizando 19 ensaios, a faixa avaliada de velocidade foi de 1,11 a 2,22 m s<sup>-1</sup>, para os pneus diagonais a pressão interna foi a faixa entre 68,9 a 137,9 kPa e para os pneus radiais, entre 137,9 a 206,84 kPa. Com base nos resultados, foi constatado que apenas a velocidade de deslocamento influenciou na variação no consumo horário do trator, onde o menor consumo foi encontrado nos pneus radiais. Já, o menor consumo específico de combustível ocorreu quando o trator portava pneus diagonais sob uma menor pressão interna dos pneus traseiros (138 kPa), operando na maior velocidade de deslocamento (2,22 m s<sup>-1</sup>).

**PALAVRAS-CHAVE:** grade aradora, instrumentação, desempenho de tração

### **FUEL CONSUMPTION OF AN AGRICULTURAL TRACTOR ACCORDING TO THE TRAVEL SPEED, INTERNAL PRESSURE AND TYPE OF TIRE CONSTRUCTION**

**ABSTRACT:** Energy consumption in agricultural operations can be changed based on technical and operational parameters, such as, the interaction tire / soil, type of service, the machinery, among other factors. The objective of this study was to evaluate fuel consumption of a tractor 4x2 FWD, according to the tractor speed, the internal pressure and the type of construction of the tires. For each type of tire construction (radial and diagonal) an experiment was conducted using a central composite design, a factor 2<sup>3</sup>, including 6 axial points and 5 repetitions at the central point, totaling 19 trials evaluated the speed range was 1, 11 to 2.22 m s<sup>-1</sup>, bias tires for the internal pressure range was between 68.9 to 137.9 kPa and radial tires, between 137.9 to 206.84 kPa. Based on the results, it was found that only the travel speed influence the variation in tractor hourly consumption, where the lowest consumption was found in radial tires. Already, the lowest specific fuel consumption occurred when the tractor carried bias tires under a lower internal pressure of the rear tires (138 kPa) operating in the largest travel speed (2.22 m s<sup>-1</sup>).

**KEYWORDS:** harrow, instrumentation, traction performance

**INTRODUÇÃO:** O consumo de energia nas operações agrícolas varia em função da interação pneu/solo, da operação, do maquinário, entre outros fatores. Para Jenane et al. (1996), uma forma de minimizar o consumo de energia, é operar o conjunto mecanizado a uma relação de tração mínima e na sua máxima eficiência trator, para assegurar o mínimo consumo específico de combustível.

O uso adequado da marcha e rotação do motor otimiza o consumo de combustível, podendo aumentar a eficiência do uso do combustível em até 17%, isso em uma mesma velocidade de operação, que apenas torna possível através do escalonamento apropriado de marcha e redução da rotação do motor (HUNT, 1995). Em qualquer operação com máquinas agrícolas deve-se levar em consideração a velocidade de operação do conjunto motomecanizado, uma vez que esta variável está intimamente ligada ao consumo de combustível, a demanda de tração e, principalmente, a qualidade do serviço. Sendo assim, objetivou-se com este trabalho, avaliar consumo de combustível de um trator 4x2 TDA, em função da velocidade do trator, da pressão interna e do tipo de construção dos pneus.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O experimento foi conduzido em uma área experimental pertencente à Universidade Federal de Viçosa, localizada no município de Viçosa-MG, à 20° 45' 16" latitude sul e 42° 50' 21" de longitude oeste, com altitude de 660 m. O solo classificado como Argissolo Vermelho Amarelo distrófico segundo a classificação da Embrapa (2013), com declividade média de 1%.

Seguindo a metodologia proposta por Embrapa (2011), o solo foi classificado como textura argilosa, contendo 53 dag Kg<sup>-1</sup> de argila em composição, no momento do trabalho o solo apresentou um teor de água no solo de 0,19 kg kg<sup>-1</sup>, e densidade de 1,17, 1,22 e 1,16 g cm<sup>-3</sup>, respectivamente nas faixas de 0 – 0,10, 0,10 – 0,20 e 0,20 – 0,30 m de profundidade.

Foi utilizado um conjunto mecanizado, composto por trator John Deere<sup>®</sup>, modelo 5705 4x2 com tração dianteira auxiliar (TDA), com potência de 62,56 kW (85 cv) no motor a 2400 rpm, e uma grade aradora de dupla ação produzida pela Tatu Marchesan<sup>®</sup>, modelo ATCR de 14 discos de 24", acoplada ao trator pela barra de tração, com os discos espaçados à 0,23 m, no momento dos ensaios foi mantido a abertura entre as seções na posição intermediária, o que proporcionou uma profundidade de trabalhando de 0,3 m.

O trator foi equipado com dois tipos de construção de pneus, sendo eles diagonais e radiais. Os pneus diagonais utilizados foram os modelos Goodyear<sup>®</sup> Dyna Torque II 12.4-24 no eixo dianteiro e Pirelli<sup>®</sup> TM 95 18.4-30 no eixo traseiro. Já, os radiais foram os modelos 320/85R24 no eixo dianteiro e o 460/85R30 no eixo traseiro, ambos da linha OPTITRAC da Goodyear<sup>®</sup>.

Com auxílio de um sistema de aquisição de dados da marca Hottinger Baldwin Messtechnik (HBM), modelo Spider 8<sup>®</sup>, gerenciado pelo software HBM Catman<sup>®</sup> 2.2 instalado em um computador portátil embarcado no trator, os dados adquiridos pelo computador foram armazenados para posterior processamento. Durante a execução dos ensaios o sistema foi gerenciado para uma taxa de amostragem de 50 Hz.

A velocidade desenvolvida pelo conjunto mecanizado durante a operação foi obtida com auxílio de um radar de efeito Doppler, da marca Dickey John<sup>®</sup>, modelo Radar II.

Com a finalidade de mensuração pressão interna dos pneus, foram utilizados transdutores de pressão, da marca Sensata Technologies<sup>®</sup>, modelo 100CP7-1, acoplados em cada pneu do trator por meio de um rotor cinemático.

Para determinação do volume de combustível consumido foi utilizado um medidor de fluxo volumétrico da marca FLOWMATE M-III<sup>®</sup>, modelo LSF41C, onde o volume foi expresso em unidade de tempo.

Conhecendo-se a força requerida para tracionar a grade aradora e a velocidade de deslocamento do conjunto durante a operação, calculou-se a potência demandada durante a execução dos ensaios.

O consumo específico de combustível foi determinado pela razão do consumo horário de combustível em relação à potência demandada.

O trator utilizado foi lastrado com 75% de água nos pneus diagonais e 40% nos radiais, sendo que em todos os ensaios a tração dianteira auxiliar (TDA) foi mantida acionada, buscando alcançar a máxima tração possível do trator avaliado.

Cada unidade experimental apresentava 40,0 m de comprimento e 2,0 m de largura, sendo a área útil de 80 m<sup>2</sup>, demarcando-se 15,0 m entre as mesmas no sentido longitudinal para manobras, tráfego de implementos e estabilização do conjunto antes da aquisição de dados.

Para cada tipo de construção de pneus de foi montado um experimento. Os experimentos foram instalados utilizando o delineamento composto central rotacional (DCCR), um fatorial  $2^3$ , incluindo 6 pontos axiais e 5 repetições no ponto central, totalizando 19 ensaios, conforme as Tabela 1.

Tabela 1 – Valores utilizados no DCCR para os fatores em estudo.

Pneu	Variáveis	Código	-1,68	-1	0	1	1,68
Diagonal	Velocidade ( $\text{m s}^{-1}$ )	$x_1$	1,11	1,34	1,67	2,00	2,22
	Pressão dianteira (kPa)*	$x_2$	68,95	82,94	103,42	123,90	137,90
	Pressão traseira (kPa)*	$x_3$	68,95	82,94	103,42	123,90	137,90
Radial	Velocidade ( $\text{m s}^{-1}$ )	$x_1$	1,11	1,34	1,67	2,00	2,22
	Pressão dianteira (kPa)*	$x_2$	137,90	151,89	172,37	192,85	206,84
	Pressão traseira (kPa)*	$x_3$	137,90	151,89	172,37	192,85	206,84

\* 68,95 kPa = 10,0 psi; 82,94 kPa = 12,0 psi; 103,42 kPa = 15 psi; 123,90 kPa = 18,0 psi; 137,90 kPa = 20,0 psi; 151,89 kPa = 22,0 psi; 172,37 kPa = 25,0 psi; 192,85 kPa = 28,0 psi e 206,84 kPa = 30,0 psi.

Os dados de cada experimento foram analisados por meio de análise de regressão. Os modelos foram escolhidos baseados na significância dos coeficientes de regressão, no coeficiente de determinação, na falta de ajustamento e no comportamento do fenômeno em estudo. Para a realização destes procedimentos estatísticos foi utilizado o programa computacional R.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Para o consumo horário de combustível nas duas formas construtivas de pneus, somente o termo linear velocidade de deslocamento foi estatisticamente significativo (Tabela 2), gerando-se um modelo que apresentou uma porcentagem de variação explicada entorno de 65%.

Tabela 2 – Equações de regressão ajustadas para consumo horário de combustível.

Pneu	Equação	$R^2$
Diagonal	$C_h = 2,951337^{**} + 5,539446^{*}V$	0,6550
Radial	$C_h = 3,481302^{**} + 4,725592^{*}V$	0,6541

\* e \*\* - Significativo ao nível de 1% e 5%, respectivamente, pelo teste t.  $C_h$  - Consumo horário de combustível ( $\text{L h}^{-1}$ ); V - Velocidade de deslocamento ( $\text{m s}^{-1}$ ).

Ao comparar o consumo de combustível pelo trator quando equipado com pneus diagonais e radiais, observa-se que quando o trator utilizou pneus diagonais ( $8,491 \text{ L h}^{-1}$ ) houve um maior consumo médio de  $0,284 \text{ L h}^{-1}$ , acima do consumo ocasionado com uso de pneus radiais ( $8,206 \text{ L h}^{-1}$ ), ou seja, baseado nos modelos de predição, o uso de pneus radiais pode levar a uma economia de 3,34% de combustível. O consumo horário está intimamente relacionado com a potência demandada ao motor, que será convertida em força de tração e velocidade de deslocamento desenvolvida pelo trator, pois quanto maior a demanda de torque maior será o fluxo de combustível direcionado para o motor.

O modelo para rodados diagonais apresentou um maior percentual de variação explicada (91,70%) do que o obtido para os radiais (87,66%) (Tabela 3). Isso ocorreu devido ao maior número de variáveis significativas relacionadas ao modelo de consumo específico de combustível para rodados diagonais.

Tabela 3 – Equações de regressão ajustadas para consumo específico de combustível.

Pneu	Equação	$R^2$
Diagonal	$CEs = 1,271649^{*} - 0,7334^{*}V - 0,0006^{**}Pt + 0,163603^{*}V^2$	0,9170
Radial	$CEs = 1,385^{*} - 0,8485^{*}V + 0,193348^{*}V^2$	0,8766

\* e \*\* - Significativo ao nível de 1% e 5%, respectivamente, pelo teste t. CEs - Consumo específico de combustível ( $\text{L kW}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ); V - Velocidade de deslocamento ( $\text{m s}^{-1}$ ); Pt - Pressão interna dos pneus traseiros (kPa).

Na condição em que o trator foi equipado com pneus diagonais, observou-se o efeito da velocidade de deslocamento e da pressão interna dos pneus traseiros. Embora seja pequena a implicação da pressão interna dos pneus traseiros, cada acréscimo de unidade de pressão promoveu em média um decréscimo de  $0,0006 \text{ L kW}^{-1} \text{ h}^{-1}$  no consumo específico de combustível.

A velocidade de deslocamento promoveu efeito quadrático no consumo específico de combustível em ambas as formas de construção de pneus. O ponto de menor consumo específico para o pneus diagonais foi de  $0,367 \text{ L kW}^{-1} \text{ h}^{-1}$ , o que ocorreu com a velocidade operacional de  $2,24 \text{ m s}^{-1}$  e a pressão interna dos pneus traseiros de  $138,0 \text{ kPa}$ . Como essa velocidade operacional se encontra fora do intervalo avaliado adota-se  $2,22 \text{ m s}^{-1}$ .

Já, o menor valor de consumo específico de combustível para os pneus radiais foi de  $0,454 \text{ L kW}^{-1} \text{ h}^{-1}$ , que ocorreu na velocidade máxima avaliada que foi de  $2,22 \text{ m s}^{-1}$ .

O consumo de combustível é extremamente dependente da potência demandada. Ao decompor a potência temos a relação entre a velocidade de deslocamento e a força demandada, ou seja, qualquer variação nestas variáveis resulta na alteração do consumo, o que confirma que a seleção adequada entre marcha e rotação do motor é de enorme importância na busca de menores valores do consumo específico de combustível.

### **CONCLUSÕES:**

- Apenas a velocidade de deslocamento influenciou na variação no consumo horário do trator, onde o menor consumo foi encontrado quando utilizados os pneus radiais.
- O menor consumo específico de combustível ocorreu com o uso dos pneus diagonais sob uma menor pressão interna dos pneus traseiros ( $138 \text{ kPa}$ ) e maior velocidade de deslocamento ( $2,22 \text{ m s}^{-1}$ ).

### **REFERÊNCIAS**

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro, 2011. 230p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. Brasília, 2013. 353p.

HUNT, D. **Farm power and machinery management**. 9. ed. Ames: Iowa State University Press, 1995. 336 p.

JENANE, C.; BASHFORD, L.L.; MONROE, G. Reduction of fuel consumption through improved tractive performance. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.64, p.131-138, 1996. ISSN 1095-9246