

## DESEMPENHO DO TRATOR COM TRANSMISSÃO CONTINUAMENTE VARIÁVEL

LEONARDO LEONIDAS KMIECIK<sup>1</sup>, EDUARDO GRACIETTI<sup>2</sup>, LAURO STRAPASSON NETO<sup>3</sup>, GUNTHER HUGO GRUDTNER<sup>4</sup>, SAMIR PAULO JASPER<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Engenheiro Agrônomo, Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, UFPR/Curitiba-PR, leonidas.km@gmail.com

<sup>2</sup>Graduando do Curso de Agronomia da Universidade Federal do Paraná - UFPR/Curitiba-PR, gracietti35@gmail.com

<sup>3</sup>Graduando do Curso de Agronomia da Universidade Federal do Paraná - UFPR/Curitiba-PR, laurostrapasson@gmail.com

<sup>4</sup>Engenheiro Agrônomo, Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, UFPR/Curitiba-PR, guinther\_grudtner@hotmail.com

<sup>5</sup>Engenheiro Agrônomo, Professor Doutor Adjunto A, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola (DSEA), UFPR/Curitiba-P, samir@ufpr.br

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

**RESUMO:** Com a crescente demanda energética na agricultura, indicadores como o consumo horário de combustível passam a ganhar maior atenção, levando a adoção de tecnologias para melhorar seu aproveitamento como a transmissão Continuamente Variável (CVT). O objetivo do presente trabalho foi avaliar a relação, e gerar uma equação entre o consumo de combustível (CHC), a velocidade operacional (VO) e força exercida na barra de tração (FBT) em trator de potência nominal de 283 kW (385 cv) com sistema de transmissão CVT. O experimento foi realizado em pavimento de concreto usando o método de comboio, através de frenagens controladas na barra de tração para se atingir as forças desejadas, delineado em faixas com cinco repetições. O trator teste foi instrumentado com sensores específicos para mensurar o consumo horário de combustível, força na barra de tração e velocidade operacional. Com os dados tabulados, submeteu-se a análise de regressão e a geração de gráfico com a utilização do software SigmaPlot. Gerou-se uma equação significativa ( $CHC = -25,8461 + 5,6969*VO + 0,0046*FBT$ ) determinando (87,8% de acurácia) o consumo horário de combustível em razão da velocidade operacional e força solicitada na barra de tração.

**PALAVRAS-CHAVE:** Consumo de combustível, barra de tração, velocidade operacional

## TRACTOR PERFORMANCE WITH CONTINUOUSLY VARIABLE TRANSMISSION

**ABSTRACT:** With the growing energy demand in agriculture, indicators such as hourly fuel consumption are gaining more attention, leading to the adoption of technologies to improve their use, such as Continuously Variable Transmission (CVT). The objective of the present work was to evaluate the relationship, and to generate an equation between the fuel consumption (CHC), the operational speed (VO) and the force exerted on the drawbar (FBT) in a tractor with a nominal power of 283 kW (385 hp) with CVT transmission system. The experiment was carried out on concrete pavement using the train method, through controlled braking on the drawbar to achieve the desired forces, outlined in tracks with five repetitions. The test tractor was instrumented with specific sensors to measure hourly fuel consumption,

drawbar strength and operational speed. With the tabulated data, regression analysis and graph generation were performed using the SigmaPlot software. A significant equation was generated ( $CHC = -25.8461 + 5.6969 * VO + 0.0046 * FBT$ ) determining (87.8% accuracy) the hourly fuel consumption due to the operational speed and force required on the bar traction.

**KEYWORDS:** Fuel consumption, drawbar, operating speed

**INTRODUÇÃO:** A mecanização é parte fundamental no desenvolvimento da agricultura, buscando cada vez mais elevar os índices de eficiência. Desta forma, pesquisadores e fabricantes têm trabalhado para reduzir o consumo de combustível de equipamentos agrícolas sem comprometer a funcionalidade e a performance (BORGUI et al, 2014), e uma das maneiras é através do investimento em novas transmissões. A transmissão é responsável pela transferência de rotação, força e torque vinda do motor para o rodado do trator, sendo sua principal função a variação de torque e velocidade através de uma série de combinações. Para Li et al (2019) a economia de combustível nas operações tratorizadas pode ser otimizada com transmissões que fazem o uso de relações de transmissão baseadas na velocidade de trabalho em específico, haja visto que a grande maioria das transmissões disponíveis apresentam um range de 4 a 20 km/h com relações fixas, com variações na velocidade de deslocamento proporcionais a rotação do motor. Atualmente as transmissões existentes para tratores são mecânicas e/ou hidráulicas, e eletro-hidráulica-mecânicas, além da Continuamente Variável (CVT), que pode ser dividida em hidrostática ou hidromecânica (PARK et al, 2016). Cavallo et al (2014) descreve que a introdução da transmissão CVT foi um marco na produção de tratores, devido as transmissões tradicionais apresentarem uma quantidade limitada de relações, enquanto na CVT estas são infinitas. A CVT tem a vantagem de operar o motor com elevada eficiência térmica, de maneira independente da velocidade de deslocamento do equipamento, reduzindo assim o consumo de combustível e os gases de escape (CHOI et al, 2013). Caffaro et al (2017) descreve este tipo de transmissão para tratores como uma combinação da mecânica com a hidrostática, sendo que há a presença de uma unidade de controle ECU para fazer o gerenciamento dos componentes hidráulicos e mecânicos. Para Lovarelli et al (2018) os dados coletados sobre um contexto de trabalho específico para o equipamento possibilitam após o devido processamento, a geração de um modelo para as variáveis relacionadas, podendo ser utilizados para melhorar o processo e a adequada escolha do conjunto para o trabalho, como ressaltado por Garcia-Alcaraz et al. (2016). Desta forma, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a relação entre o Consumo Horário de Combustível e as variáveis velocidade operacional e força exercida na barra de tração em trator agrícola de 283 kW (385 cv) de potência nominal com transmissão continuamente variável (CVT), possibilitando gerar uma equação que relacione estas variáveis.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O trabalho foi realizado na Fazenda Experimental Canguiri, pertencente a Universidade Federal do Paraná (UFPR), em pavimento de concreto com declividade de 1%, conforme norma ASAE (EP 496.2, 2003). O delineamento experimental adotado foi em faixas, em esquema fatorial duplo (4x4), sendo quatro cargas alvo na barra de tração (3.500; 7.000; 10.500; 14.000 kgf) e quatro velocidades de deslocamento (4; 6; 8 e 10 km/h), com quatro repetições cada, sendo cada repetição a coleta de vinte segundos de ensaio. O trator utilizado neste teste foi o modelo Magnum 380, Case IH, com potência nominal de 283 kW (385 cv) pela norma ISO 14396, motor diesel common rail de 6 cilindros e 8,7 litros, com turbina de geometria variável (eVGT), intercooler e transmissão continuamente variável (CVT) hidromecânica. Foram utilizados pneus Goodyear 710/70R42, duplados no eixo traseiro com pressão de insuflagem de 68,9 kPa (10 PSI), enquanto no eixo dianteiro, utilizou-

se pneus Goodyear 780/70R34, também duplados, com pressão de insuflagem de 82,7 kPa (12 PSI), promovendo índice de antecipação de 1,68% quando a tração dianteira auxiliar acionada. A lastragem utilizada foi de 40% de água em todos os pneus (internos e externos), 18 placas de 55 kg de lastro sólido na dianteira e 2180 kg de lastro sólido no eixo traseiro, fazendo com que a massa do trator fosse de 21164 kg, distribuídos 40% no eixo dianteiro e 60% no eixo traseiro. As velocidades alvo (4; 6; 8; 10 km h<sup>-1</sup>) foram selecionadas no painel do trator, e trabalhou-se no modo automático de gerenciamento, deixando-se a cargo da ECU do motor e transmissão o controle objetivando o menor consumo de combustível e a manutenção da velocidade nas diferentes cargas na barra tracionadas. Foi acoplado ao trator teste, através de cabo de aço, um trator freio modelo Steiger 370 Case IH, com 275 kW de potência nominal, transmissão 16x2, full PowerShift, dotado de pneus dianteiro e traseiros duplados, modelo Goodyear 710/70R42, conduzido na forma de comboio que através de frenagens controladas forneceu as cargas na barra de tração do trator teste. O trator teste foi instrumentado com os sensores descritos abaixo, ligados a sistema de aquisição de dados (SAD) em placa de circuito impresso (Jasper et al., 2016). A frequência de aquisição de dados foi de um hertz e os valores coletados foram armazenados diretamente em disco rígido, para posterior tabulação e análise.

A partir de dois fluxômetros Flowmate OVAL MIII, modelo LSF 45, instalados no sistema de alimentação de combustível do trator (entrada e retorno a tanque), mediu-se o consumo de combustível. O consumo é dado pela diferença do número de pulsos emitidos por estes fluxômetros, e convertida em volume, considerando-se 10 mL por pulso, segundo a Eq. 1.

$$CHC = \left( \frac{V_{FET} - V_{FRT}}{t} \right) \times 3,6 \quad (1)$$

em que,

CHC – consumo horário de combustível, L h<sup>-1</sup>;

V<sub>FET</sub> – volume de combustível no fluxômetro de entrada, mL s<sup>-1</sup>;

V<sub>FRT</sub> – volume de combustível no fluxômetro de retorno ao tanque, mL s<sup>-1</sup>.

Com o uso de célula de carga Bermann de capacidade 300 kN, sensibilidade 2,0±0,002 mV V<sup>-1</sup> e precisão 0,01 kN devidamente aferida e instalada na barra de tração acoplada ao trator, pode-se determinar a força na barra de tração, conforme a Eq. 2.

$$FTM = \frac{\sum_{i=1}^n F_i}{n} \quad (2)$$

em que,

FTM – força de tração média, kgf;

F<sub>i</sub> – força de tração instantânea, kgf;

n – número de dados registrados.

A velocidade de operação (VO) foi monitorada com radar da marca Vansco, modelo 740030<sup>a</sup>. Este sensor foi instalado no chassi, com o intuito de se ter a menor interferência do movimento de deslocamento do trator.

Todos os dados coletados foram submetidos ao teste F e posteriormente análise de regressão e a geração de gráfico com a utilização do software SigmaPlot.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Os parâmetros avaliados Velocidade Operacional (VO) e Força de Tração Média (FTM) geraram uma equação significativa, ao nível 1%, pelo teste F (39,59), Figura 1, descrevendo o comportamento do consumo horário de combustível (CHC).

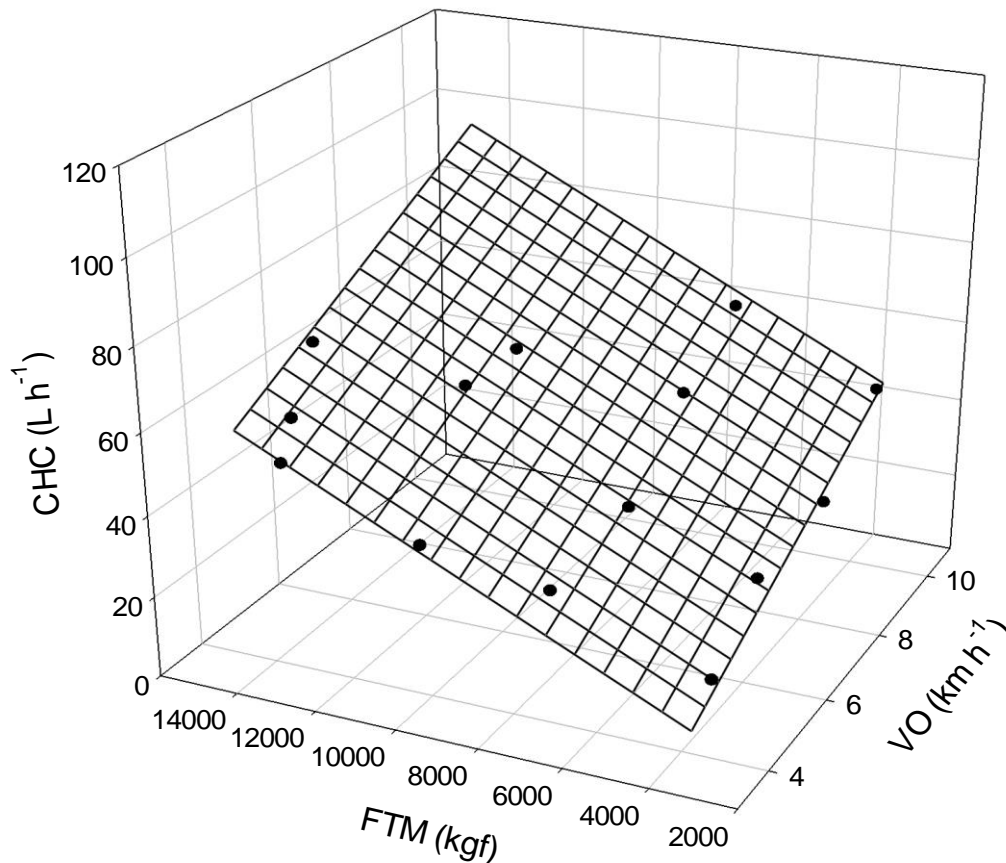


Figura 1: Gráfico da relação Consumo Horário de Combustível (CHC) x Força de Tração Média (FTM) x Velocidade Operacional (VO)

Através da análise das médias dos parâmetros obtidos durante o ensaio, pode-se observar maior consumo horário de combustível com o acréscimo da força exercida na barra de tração e demanda da velocidade. Não foi possível atingir todas as cargas alvo na barra de tração nas diferentes velocidades, principalmente nas velocidades mais altas do experimento. Todavia, através das coletas de dados realizadas, foi possível relacionar a variável consumo horário de combustível com os parâmetros força na barra de tração e velocidade operacional através da equação  $CHC = -25,8461 + (5,6969*VO) + (0,0046*FTM)$ , apresentando coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 87,8%.

Lee et al (2016) em simulação computadorizada visando maximizar a eficiência de combustível nas operações tratorizadas, relaciona a rotação do motor e a carga tracionada como as variáveis que apresentam maior dependência com o gasto de combustível. HIMOD (2019) observou que o incremento da força na barra de tração ocasionado pelo aumento da velocidade em preparo de solo aumentou o consumo de combustível do trator. SARAUSKIS et al (2017) comprovaram que ao aumentar a velocidade, mantendo-se as configurações do implemento utilizado, há relação direta de dependência no aumento do consumo horário de

combustível do trator, e o mesmo ocorre com o incremento da força necessária na barra de tração. Estudos como de Howards et al (2013) demonstram que tratores com transmissão do tipo CVT, conduzida no modo automático são mais eficientes que aqueles com transmissão mecânica em determinadas faixas de tração, pois há redução na rotação do motor com manutenção da velocidade requerida, devido as mudanças na relação de transmissão do conjunto, promovendo uso eficiente do combustível. Farias et al (2017) em estudo com trator de transmissão CVT comprovou que esta transmissão permite ao conjunto alcançar maiores velocidades mesmo com maiores cargas na barra de tração, fazendo com que o consumo específico seja menor, otimizando o gasto energético da operação.

**CONCLUSÕES:** No trator de 283 kW (385 cv) com transmissão CVT foi possível concluir que o consumo horário de combustível é influenciado diretamente pela força na barra de tração e pela velocidade. Através dos dados gerados, foi possível estabelecer uma equação que, em 87,8% das vezes explica o consumo horário de combustível da transmissão CVT utilizando-se da velocidade de deslocamento e da força na barra de tração.

#### **REFERÊNCIAS:**

- BORGHI, M.; ZARDIN, B.; PINTORE, F.; BELLUZZI, F.; Energy savings in the hydraulic circuit of agricultural tractors. **Energy Procedia**, v. 45, p. 352-361; 2014
- CAFFARO, F.; BISAGLIA, C.; CUTINI, M.; MICHELETTI CREMASCO, M.; CAVALLO E.; A method to evaluate the perceived ease of use of human-machine interface in agricultural tractors equipped with Continuously Variable Transmission (CVT). **Spanish Journal of Agricultural Research**; v.15, n. 4, 2017
- CAVALLO, E.; FERRARI, E.; BOLLANI, L.; COCCIA, M.; Strategic management implications for the adoption of technological innovations in agricultural tractor: the role of scale factors and environmental attitude. **Technology Analysis and Strategic Management**; v. 26, n. 7; p. 765-779, 2014.
- CHOI, S. H.; KIM, H. J.; AHN, S. H.; HONG, S. H.; CHAI, M. J.; KWON, O. E.; KIM, S. C.; KIM, Y. J.; CHOI, C. H.; KIM, H. S.; Modeling and Simulation for a Tractor Equipped with Hydro-Mechanical Transmission **Journal of Biosystems Engineering**; v. 38, n. 3, p. 171-179 2013
- FARIAS, M. S. de; SCHLOSSER, J. F.; LINARES, P.; BARBIERI, J. P.; NEGRI, G. M.; OLIVEIRA, L. F. V. de; RÜDEL, I. I. P.; Fuel consumption efficiency of na agricultural tractor equipped with continuously variable transmission. **Ciencia Rural**. V. 47; n. 06; 2017
- GARCIA-ALCARAZ, J. L.; MALDONADO-MACIAS, A. A.; HERNANDEZ-ARELLANO, J. L.; BLANCO-FERNANDEZ, J.; JIMENÉZ-MACÍAS, E.; MURO, J. C. S. D.; Agricultural tractor selection: a Hybrid and Multi-Attribute approach. **Sustainability**, v. 8, n. 157, 2016
- HOWARD, C.N.; KOCHER, M. F.; HOY, R. M.; BLANKENSHIP, E. E.; Testing the fuel efficiency of tractors with continuously variable and standard geared transmissions. Transactions of the **ASABE**, v.56, n.3, p.869-879, 2013
- HIMOUD, M. S.; Evaluation of some performance indicators for the tractor (CASE JX75T). **Iraqi Journal of Agricultural Sciences**; v. 49; n. 5; p. 906-912; 2018
- LEE, J. W.; KIM, J. S.; KIM, K. U. Computer simulations to maximise fuel efficiency and work performance of agricultural tractors in rotovating and ploughing operations. **Biosystems Engineering**, v. 142, p. 1–11, 2016
- LI, B., SUN, D., HU, M., ZHOU, X., LIU, J., & WANG, D. Coordinated control of gear shifting process with multiple clutches for power-shift transmission. **Mechanism and Machine Theory**, v. 140, p. 274–291, 2019

LOVARELLI, D.; FIALA, M.; LARSSON, G.; Fuel consumption and exhaust emissions during on-field tractor activity: A possible improving strategy for the environmental load of agricultural mechanization. **Computers and electronics in agriculture**, v. 151, p. 238-248, 2018

PARK, Y.-J.; KIM, S.-C.; KIM, J.-G.; Analysis and verification of power transmission characteristics of the hydromechanical transmission for agricultural tractors. **Journal of Mechanical Science and Technology**; v. 30; n. 11; p. 5063-5072; 2016

ŠARAUSKIS, E.; VAITAUSKIENĖ, K.; ROMANECKAS, K.; JASINSKAS, A.; BUTKUS, V.; KRIAUCIŪNIENĖ, Z.; Fuel consumption and CO<sub>2</sub> emission analysis in diferente strip tillage scenarios. **Energy**; v. 118; p. 957-968; 2017