



DESEMPENHO OPERACIONAL E ENERGÉTICO DE UM PROTÓTIPO DE QUADRICICLO AGRÍCOLA EM PISTA DE CONCRETO

Mara Alice Maciel dos Santos¹, Leonardo de Almeida Monteiro², José Evanaldo Lima Lopes³, Carlos Alessandro Chioderoli⁴ & Elivânia Maria Sousa Nascimento⁵

RESUMO: Os ensaios realizados em pista de concreto fornecem importantes informações sobre o desempenho operacional e energético de máquinas, permitindo realizar o uso de forma eficiente e adequada. Objetivou-se com este trabalho avaliar o desempenho do quadriciclo agrícola em pista de concreto utilizando quatro marchas (1^a, 2^a, 3^a e 4^a), três variações de cargas (0, 200 e 400 kg) e duas rotações no motor (2.800 e 3.600 rpm). O experimento foi conduzido no Laboratório de Investigação de Acidente com Máquinas Agrícolas (LIMA) da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE. Utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado, arranjo fatorial, 4x3x2 com cinco repetições para cada tratamento. Avaliou-se o patinamento dos rodados traseiros, a velocidade de deslocamento, consumo horário de combustível, força na barra de tração e potência na barra de tração. O patinamento do rodado traseiro do quadriciclo agrícola apresentou valores crescentes conforme o aumento de escalonamento das marchas. O consumo horário de combustível na rotação de 3.600 rpm aumentou em média 60% em relação a rotação de 2.800 rpm. À medida que aumentou a rotação houve acréscimo na força na barra de tração. Na rotação de 2.800 rpm obteve-se menor exigência de potência na barra de tração.

PALAVRAS-CHAVE: Ensaios, rotação no motor, eficiência.

ENERGETIC AND OPERATIONAL OF AN AGRICULTURAL QUADRICYCLE PROTOTYPE ON CONCRETE TEST TRACK

ABSTRACT: The tests conducted on concrete test track provide important information about energetic and operational machine performance, allowing the use in an efficient and adequate way. The aim of this work was to evaluate the performance of the agricultural quadricycle in a concrete test track using four gears (1st, 2nd, 3rd and 4th), three load variations (0, 200 and 400 kg) and two engine speeds (2,800 and 3,600 rpm). The experiment was conducted at the Agricultural Machinery Accident Investigation Laboratory (LIMA) of the Federal University of Ceará, Fortaleza-CE, Brazil. A completely randomized design, factorial design 4x3x2, with five replicates for each treatment. It was evaluated the rear wheels slippage, displacement speed, hourly fuel consumption, force on the drawbar and power on the drawbar. The rear wheel slippage of agricultural quadricycle presented increasing values according to staggering the gears. The hourly fuel consumption in the engine speeds of 3,600 rpm increased an average of 60% in relation to 2,800 rpm. As long as the speed raised there was a raise in the force on the drawbar. In the engine, speed of 2,800 rpm a lower power requirement was obtained in the drawbar.

KEYWORDS: Essay, engine speed, efficiency.

1 INTRODUÇÃO

A agricultura familiar ocupa principalmente pequenas unidades de terra e torna-se a maior parte do número total de estabelecimentos rurais no país. Seu maior desafio é adaptar e organizar no seu sistema de produção as tecnologias disponíveis no mercado (Medeiros et al., 2015).

O uso de quadriciclo dentro da propriedade rural, principalmente, no Nordeste, facilita o trabalho dos operadores dando agilidade nos sistemas de produção, devido ser mais leve do que um trator e por isso não compacta o terreno.

A utilização do trator dentro da propriedade agrícola é muito diversificada e a busca otimizada de seu desempenho se justifica pela necessidade cada vez mais atual em alto desempenho de máquinas agrícolas (Vale et al., 2011).

A falta de conhecimento sobre o desempenho dessas máquinas faz com que esses equipamentos sejam utilizados fora das recomendações, contribuindo para um maior consumo de combustível e conseqüentemente, na elevação dos custos de produção (Nascimento et al., 2016).

Para avaliar o desempenho do quadriciclo é necessário que se estabeleçam condições semelhantes àquelas em que os tratores são utilizados no campo reproduzindo situações de que tenham maior exigência de desempenho (Jasper et al., 2016).

¹ ² ³ ⁴ ⁵ E-mails: maraallice@yahoo.com.br ;
aiveca@gmail.com ; evanaldolopes@yahoo.com.br ;
ca.chioderoli@uol.com.br ; elivania_sousa@yahoo.com.br

Na realização de ensaios são avaliadas inúmeras variáveis, entre elas, patinamento dos rodados, consumo de combustível, velocidade de deslocamento, força de tração e potência na barra de tração (Mialhe, 1996).

A patinagem é um dos problemas que afeta o desempenho nos tratores, contribuindo para a diminuição da força de tração e o aumento no consumo de combustível (Gabriel Filho et al., 2002). A velocidade de trabalho altera o desempenho do trator, visto que afeta diretamente o consumo de combustível (Nascimento et al., 2016).

Diante disso objetivou-se com este trabalho avaliar o desempenho operacional e energético de um quadriciclo de uso agrícola em pista de concreto.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi realizado na pista de concreto para ensaio de tratores do Laboratório de Investigação de Acidentes com Máquinas Agrícolas – LIMA, pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola na Universidade Federal do Ceará, coordenadas geográficas latitude 3°74' Sul e longitude 138°34'Oeste, a uma altitude de 25 metros do nível do mar. O clima da região é do tipo climático Aw', conforme classificação de Köppen (1948).

A pista de concreto possui 200 metros de comprimento com 4 metros de largura com uma área de 800 m² declividade de 1% no sentido do comprimento, a mesma foi construída segundo a Norma OECD-Code 2 (2008).

O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado (DIC), arranjo fatorial 4x3x2, sendo utilizando quatro marchas (1^a, 2^a, 3^a e 4^a), três variações de cargas (0, 200 e 400 kg) e duas rotações no motor do quadriciclo agrícola (2.800 rpm e 3.600 rpm) com cinco repetições por tratamento, totalizando 120 parcelas experimentais. Cada parcela experimental ocupou uma área de 30 x 3 m (90 m²).

Os ensaios foram realizados com um protótipo de quadriciclo agrícola, movido a diesel, tração 4x2, partida elétrica, motor Toyama® de um cilindro e potência bruta de **6,61 kW** (9 cv), dimensões aproximadas de 1650 mm de comprimento por 800 mm de largura, câmbio manual com 5 (cinco) marchas sincronizadas sendo 4 à frente e 1 de ré.

Na avaliação da eficiência energética do quadriciclo utilizou-se um sistema de comboio composto por um microtrator da marca Yanmar Agritech®, modelo TC14S, tração 2 x 2, potência de 10,3 kW a 2.400 rpm, massa total de 498 kg e um pulverizador de barra, marca Yanmar Agritech® acoplado a barra de tração do quadriciclo com capacidade de 400 litros (400 kg). O pulverizador foi utilizado para dar estabilidade de frenagem ao quadriciclo e oferecer cargas diferentes durante os ensaios.

O patinamento do rodado traseiro, lado esquerdo, foi obtido contabilizando o número de voltas do rodado do quadriciclo com carga (microtrator + pulverizador) e do quadriciclo sem carga, conforme Mialhe (1996) calculado por meio da Equação 1.

$$PR = \left[\frac{n^1 - n^0}{n^1} \right] \times 100 \quad (1)$$

Em que:

PR = Patinamento do rodado (%);

n⁰ = Número de voltas do rodado sem carga;

n¹ = Número de voltas do rodado com carga.

A velocidade média de deslocamento foi realizada cronometrando-se o tempo necessário para o conjunto quadriciclo- comboio (microtrator-pulverizador de barra) levou para percorrer cada parcela, sendo os valores da velocidade expressos em km h⁻¹, obtidos por meio da Equação 2.

$$Vm = \frac{S}{T} \times 3,6 \quad (2)$$

Em que:

Vm= Velocidade média (km h⁻¹);

S = Espaço percorrido (m);

T = Tempo decorrido (s);

3,6= Fator de conversão de unidade.

O consumo horário de combustível foi determinado utilizando duas provetas, uma instalada próxima a saída do tanque de combustível e a outra no retorno do combustível do bico para o tanque. As provetas foram instaladas na mesma altura em que se encontrava o tanque para medir exatamente o volume consumido. O valor era obtido de forma direta na proveta graduada, esse valor foi dividido pelo tempo que o comboio levou para percorrer a parcela calculada conforme Equação 3.

$$C_H = \left(\frac{q}{t} \right) \times 3,6 \quad (3)$$

Em que:

C_H = Consumo horário de combustível (L h⁻¹);

q = Volume lido na proveta (mL);

t = Tempo para percorrer a parcela (s);

3,6 = Fator de conversão de unidade.

Para a força na barra de tração empregou-se uma célula de carga da marca HBM, modelo RSCC com capacidade de 10 kN, precisão de ± 1%, sensibilidade nominal de 2mV/V e tensão de excitação de 10 V inserida o trator instrumentado e o sistema de comboio. O sinal gerado pela célula de carga foi armazenado no sistema de aquisição de dados e com os valores obtidos foi possível determinar a força de tração média utilizando a Equação 4.

$$F = \left(\frac{\sum Fi}{\sum n} \right) \times 0,0098 \quad (4)$$

Em que:

F = Força média na barra tração (kN);

Fi = Força de tração instantânea (kgf);

n = Número de dados registrados;

0,0098= Fator de adequação.

A determinação da potência disponível na barra de tração do quadriciclo agrícola foi efetuada em função da força de tração e da velocidade de deslocamento, conforme a Equação 5.

$$Pb = \frac{Fm \times V}{3,6} \quad (5)$$

Em que:

Pb = Potência na barra (kW);

Fm= Força de tração média (kN);

V= Velocidade de deslocamento (km h⁻¹).

3,6= Fator de conversão de unidade

Os dados foram submetidos à estatística descritiva para analisar os seguintes parâmetros: média, desvio padrão, coeficiente de variância, simetria e curtose, por meio do coeficiente de assimetria e curtose determinou-se a normalidade dos dados, em seguida, foram submetidos a análise de variância e teste de médias, a 5% de probabilidade utilizando o Software Assisat versão 7.7 beta®.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, encontram-se os resultados da análise de variância para a variável patinamento dos rodados traseiros do quadriciclo agrícola, velocidade de deslocamento e consumo horário de combustível.

Tabela 1 - Valores médios da análise de variância das variáveis patinamento, velocidade de deslocamento e consumo horário de combustível.

Causas de Variação	Patinamento (%)	Velocidade (km h ⁻¹)	Consumo horário de combustível (L h ⁻¹)
Rotação (R)			
R1 – 2.800 rpm	2,52 a	7,65 b	2,49 b
R2 – 3.600 rpm	2,43 a	10,17 a	6,25 a
Carga (C)			
C1 - 0 kg	1,94 c	8,66 b	4,15 b
C2 - 200 kg	2,37 b	8,58 b	4,22 b
C3 - 400 kg	3,12 a	9,49 a	4,73 a
Marcha (M)			
M1 - 1 ^a	1,30 d	4,64 d	2,49 d
M2 - 2 ^a	1,65 c	7,58 c	3,31c
M3 - 3 ^a	2,61 b	10,97 b	5,43 b
M4 - 4 ^a	4,35 a	12,45 a	6,25 a
Valor de F			
R	1,99 ns	397,17 *	1448,91 *
C	128,43 *	21,02 *	13,80 *
M	505,66 *	770,26 *	318,92 *
DMS			
R	0,12	0,25	0,19
C	0,17	0,37	0,29
M	0,22	0,47	0,36
CV (%)	13,42	7,76	12,37

Médias seguidas de mesma letra ou sem letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *- significativo (p<0,05); NS- não significativo (p>0,05), DMS - diferença mínima significativa e CV- coeficiente de variação.

Conforme a Tabela 1, verificou-se que, o patinamento dos rodados traseiros do quadriciclo agrícola apresentou valores crescentes com o aumento de escalonamento das marchas, sendo 1,30%, 1,64%, 2,60% e 4,30% na marcha 1, 2, 3 e 4 respectivamente. A marcha 4 proporcionou maior patinamento.

O patinamento é um dos problemas que contribui para o baixo desempenho dos microtratores, isso foi verificado por Nascimento et al. (2016) ao avaliar o desempenho de um microtrator em diferentes superfícies do solo.

Observou-se com a Tabela 1 para velocidade de deslocamento que os maiores valores foram encontrados

com o aumento da rotação, e com escalonamento das marchas, sendo a rotação 2 e as marchas 3 e 4 que apresentaram respectivamente valores médios de 10,97 e 12,44 km h⁻¹, consideradas elevada velocidade de deslocamento para atividade agrícola, sendo recomendadas apenas para deslocamento ou em atividade de pulverização. Para a variável velocidade em função da carga, verificou-se que houve pouca variação entre as médias encontradas, contudo houve diferença significativa nos resultados encontrados.

Um dos fatores que influencia diretamente no desempenho de sistemas mecanizados é a velocidade de

deslocamento pela sua importância no planejamento e na execução das operações agrícolas (Molin et al., 2005).

De acordo com as marchas utilizadas houve aumento da média dos valores de consumo horário de combustível, as marchas 1, 2, 3 e 4 apresentaram consumo médio de 2,48 L h⁻¹, 3,30 L h⁻¹, 5,42 L h⁻¹ e 6,24L h⁻¹ respectivamente. Em ensaios de campo realizados avaliando o desempenho operacional de um conjunto microtrator-rotoencanteirador Nascimento et. al. (2016) encontrou consumo de combustível médio de 3,24L h⁻¹, 4,19 L h⁻¹ e 5,30 L h⁻¹ respectivamente, para as marchas utilizadas 1, 2 e 3.

Corroborando com os resultados encontrados, Fiorese et al. (2015) afirmam que, em geral, nos motores agrícolas, o maior consumo de combustível é atingido próximo a rotação de potência máxima e com o acelerador totalmente acionado, tendendo a reduzir o consumo com a queda de rotação do motor.

Na Tabela 2 encontram-se os resultados da análise de variância para as variáveis forças na barra de tração e potência na barra de tração do quadriciclo agrícola.

Tabela 2 - Valores médios da análise de variância das variáveis forças na barra de tração e potência na barra de tração.

Causas de Variação	Força (kN)	Potência (kW)
Rotação (R)		
R1 – 2.800 rpm	0,50 b	1,01 b
R2 – 3.600 rpm	0,59 a	1,84 a
Carga (C)		
C1 – 0 kg	0,47 c	1,15 c
C2 – 200 kg	0,54 b	1,39 b
C3 – 400 kg	0,62 a	1,73 a
Marcha (M)		
M1 – 1 ^a	0,42 c	0,55 d
M2 – 2 ^a	0,46 c	0,89 c
M3 – 3 ^a	0,57 b	1,73 b
M4 – 4 ^a	0,74 a	2,54 a
Valor de F		
R	17,38 *	347,74 *
C	15,02 *	57,64 *
M	41,63 *	405,93 *
DMS		
R	0,04	0,08
C	0,06	0,12
M	0,08	0,16
CV (%)	22,11	16,99

Médias seguidas de mesma letra ou sem letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. * - significativo ($p < 0,05$); NS - não significativo ($p > 0,05$), DMS - diferença mínima significativa e CV - coeficiente de variação.

Para variável força na barra de tração, verifica-se que os resultados apresentaram valores significativos para os fatores rotação, carga e marchas. Observou-se que as médias diferiram estatisticamente para o fator rotação e cargas, contudo para o fator marchas, verificou-se que entre as marchas 1 e a marcha 2 não houve diferenças estatísticas entre as médias avaliadas.

Verificou-se que à medida que aumentou a rotação aumentou a força na barra de tração. Contudo Almeida, Silva e Silva (2010) em ensaios utilizando diferentes marchas e rotação do motor, verificou que a força de tração e o patinamento dos rodados não foram afetadas pela variação da rotação do motor.

Monteiro et al. (2013), afirmam que, uma das maneiras de se obter informações, principalmente no que diz respeito ao seu desempenho de tração, o rendimento na

barra de tração é frequentemente o mais usado para comparar ou avaliar tratores.

Observou-se ainda conforme a Tabela 2 que a força na barra de tração aumentou conforme o escalonamento das marchas e aumento da carga aplicada na barra de tração.

Conforme a Tabela 2, para a variável potência na barra de tração é possível identificar que na rotação de 3.600 rpm juntamente com o acréscimo de carga proporcionaram acréscimo de demanda de potência na barra de tração. Em relação ao escalonamento de marcha, da 1^a para 4^a houve aumento de cerca de 78,34% de exigência de potência na barra de tração.

Verificou-se ainda que houve diferença significativa para os três fatores avaliados, indicando que as mudanças nas rotações, nas cargas e escalonamento das marchas,

influenciam significativamente na potência na barra do quadriciclo agrícola.

Na transmissão de potência do motor dos tratores para a barra de tração, ocorrem perdas de energia que, dependendo das condições de operação do trator, podem atingir níveis bastante comprometedores de perda de potência apresentando condições inadequadas para a tração. (Gabriel Filho et al., 2010).

Segundo Fiorese et al. (2015) nos ensaios de tratores agrícolas em pista se consegue detectar, a partir da obtenção do desempenho na barra de tração, as condições de trabalho que oferecem maior eficiência.

4 CONCLUSÕES

O patinamento do rodado traseiro do quadriciclo agrícola apresentou valores crescentes conforme o aumento de escalonamento das marchas.

O consumo horário de combustível na rotação de 3.600 rpm aumentou em média 60% em relação a rotação de 2.800 rpm.

À medida que aumentou a rotação houve acréscimo na força na barra de tração.

Quanto a potência na barra de tração, verificou-se que na rotação de 2.800 rpm obteve-se menor exigência de potência na barra de tração.

5 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. A. S. SILVA, C. A. T. SILVA, S. L. Desempenho energético de um conjunto trator- semeadora em função do escalonamento de marchas e rotações do motor. **Revista Agrarian**, v.3, n.7, p.63-70, 2010.

FIGEISE, D. A.; SANDI, J.; MARASCA, I.; FERREIRA F. M.; SPADIM, E. R.; LANÇAS, K. P. Torque nos rodados motrizes de um trator agrícola submetido a ensaios de tração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.19, n.9, p.903-909, 2015.

FIGEISE, D. A.; MARASCA, I.; FERNANDES, B. B.; SANDI, J.; MORELLI-FERREIRA, F.; LANÇAS, K. P. Desempenho de três tratores agrícolas em ensaios de tração. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 2, n. 2, p. 68-76, 2015.

GABRIEL FILHO, A. SILVA, S. L.; MODOLO, A. J.; DYKSTRA, M. Desempenho operacional de trator em solo com três tipos de cobertura vegetal. In: CONGRESSO BRASILEIRO ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31. 2002. Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002. p.1-4.

GABRIEL FILHO, A.; LANÇAS, K. P.; LEITE3, F.; ACOSTA, J. J. B.; JESUINO, P. R. Desempenho de trator agrícola em três superfícies de solo e quatro velocidades de deslocamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.3, p.333-339, 2010

JASPER, S. P.; BUENO, L. S. R.; LASKOSKI, M.; LANGHINOTTI, C. W.; PARIZE, G. L. Desempenho do trator de 157kw na condição manual e automático de gerenciamento de marchas. **Revista Scientia Agrária**, Curitiba, v. 17, n. 3, p. 55-60, 2016.

KÖEPPEN, W. Climatologia: com um estúdio de los climas de la Tierra. México: Fondo de Cultura Economica, 1948. 478p.

MEDEIROS, F. A. REIS, A. V. MACHADO, A. L. T. MACHADO, R. L. T. STEFANELLO, G. Uso de sulcadores rotativos acionados por trator de rabiças em semeadura direta. **Revista Ciência Agrônômica, Fortaleza**, v.46, n.1, p.54-63, 2015.

MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas**: ensaios e certificação. Piracicaba, SP: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1996. 722p.

MOLIN, J. P.; SOUZA, A. B. M.; FONTANA, G.; NAGUMO, G. K. Avaliação de sensores de velocidade de deslocamento em função da superfície. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n.3, p. 768-773, 2005.

MONTEIRO, L. A.; ALBIERO, D.; SOUZA, F. E.; MELO, R. P.; CORDEIRO, I. M. Rendimento na barra de tração de um trator agrícola com diferentes relações de peso e potência. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p. 70-75, 2013.

NASCIMENTO, E. M. S.; AMORIM, M. Q.; ARAUJO, K. L. B.; CHIODEROLI, C. A.; OLIVEIRA, J. L. P. Desempenho operacional do conjunto microtrator- rotoencanteirador. **Nucleus**, Ituverava, v.13, n.2, p. 291-300, 2016.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT - OECD. About the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). Disponível em: <http://www.oecd.org/pages/0,3417,en_36734052_3_6734103_36734243_1_1_1_1,00.html>. Acesso em: 26 abr. 2017.

VALE, W. G.; GARCIA, R. F.; CORREA, D. J.; GRAVINA, G. A.; SOUZA, E. F. Desempenho operacional e energético de um trator agrícola durante a operação de roçagem. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v.4, n.2, p. 68-75, 2011.