

DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE UM TORCIÔMETRO PARA DETERMINAÇÃO DO TORQUE NOS RODADOS MOTRIZES DE TRATORES AGRÍCOLAS

DIEGO AUGUSTO FIORESE¹, ANDRÉ R. K. BENDER², EMANUEL RANGEL SPADIM³, JEFFERSON SANDI⁴, KLÉBER PEREIRA LANÇAS⁵

¹ Professor, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Campus Sinop-MT, (66) 9908-0267, dafiorese@yahoo.com.br

² Mestrando, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Campus de Santa Maria-RS.

³ Graduando, Universidade Paulista, Bauru – SP.

⁴ Mestrando, Universidade Estadual Paulista, FCA/UNESP, Campus de Botucatu-SP.

⁵ Professor Titular, Universidade Estadual Paulista, FCA/UNESP, Campus de 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 trabalho teve por objetivo desenvolver um protótipo de torciômetro, do tipo eletromecânico, para determinação do torque, potência e tração bruta nos rodados motrizes de tratores agrícolas, e validá-lo através de ensaios de tração. O trabalho foi conduzido no Núcleo de Ensaios de Máquinas e Pneus Agroflorestais (NEMPA) na Faculdade de Ciências Agrônomicas (FCA/UNESP), em Botucatu-SP. O protótipo foi projetado com programas computacionais específicos e, construído para ser instalado no eixo traseiro de tratores agrícolas. O funcionamento baseia-se no princípio do braço de alavanca, obtendo-se os valores de força com uma célula de carga e os demais parâmetros por equações matemáticas. Os ensaios de tração para validação, foram realizados em pista de concreto, com um trator de 89 kW, utilizando-se uma marcha, e oito cargas na barra de tração (tração líquida), e os resultados obtidos foram analisados estatisticamente através de equações de regressão. Os resultados mostraram linearidade entre a tração bruta (obtida a partir do torque) e a tração líquida, com diferença média entre ambos de 1,9%. A máxima eficiência entre a potência no eixo e na barra de tração foi de 91%. Esses resultados estão de acordo com a literatura, e desta forma, valida o funcionamento do torciômetro.

PALAVRAS-CHAVE: tração bruta, eficiência trativa, trator.

DEVELOPMENT AND VALIDATION OF A TORQUE METER FOR DETERMINING THE TORQUE IN WHEEL DRIVE OF AGRICULTURAL TRACTORS

ABSTRACT: The study aimed to develop a prototype torque meter the electromechanical type, to determination the torque, power and gross traction in the wheel drive of agricultural tractors, and validate it through traction tests. The work was conducted at the Agroforestry Machine and Tire Testing Center (NEMPA) at the Faculty of Agricultural Sciences (FCA/UNESP) in Botucatu-SP, Brazil. The prototype was designed with specific computer programs and built to be installed on the rear axle of agricultural tractors. The operation is based on the principle of the lever arm, getting the values of force with a load cell and other parameters by mathematical equations. The traction tests for validation were performed on concrete surface with a tractor of 89 kW, using one gear, and eight in drawbar loads (net

traction), and the results were statistically analyzed using regression equations. The results showed linearity between gross traction (obtained from the torque) and net traction, with a mean difference between them of 1.9%. The maximum efficiency between axle power and drawbar power was 91%. These results are in agreement with the literature, and thus validates the operation of torque meter.

KEYWORDS: gross traction, tractive efficiency, tractor

INTRODUÇÃO

A mensuração de torque nos rodados motrizes permite a determinação da tração bruta, da potência no eixo e da eficiência trativa, sendo esta última, uma das principais informações a ser estudada em sistemas de tração. A tração bruta, que é o quociente entre o torque no eixo e o raio dinâmico dos rodados motrizes (ZOZ e GRISSO, 2003), é responsável pela realização da tração líquida e pelo vencimento da resistência ao rolamento do próprio trator. Para LINARES et al. (2006), a tração líquida é o resultado da tração bruta menos a resistência ao rolamento, sendo esta última, equivalente a 2% da massa total do trator, quando este estiver em movimento sobre superfície de concreto plana.

A potência no eixo dos rodados motrizes dos tratores é considerada como a potência de entrada, e a potência na BT é tida como de saída (ZOZ e GRISSO, 2003). De acordo com a ASAE (2003), a máxima eficiência entre a potência do eixo e da BT (eficiência trativa), fica entre 92 e 93%. Já para ZOZ e GRISSO (2003), a máxima eficiência trativa é de 91%.

Outros índices de eficiência são usuais para avaliação do desempenho de tratores. De acordo com a ASAE (2003), a máxima eficiência entre a BT e TDP tem amplitude entre 86 e 89%, e a máxima eficiência entre o eixo e a TDP, varia de 94 a 96%. A ASABE (2011a) indica que a máxima potência entre a BT e TDP é de 87% (tratores 4x2 e 4x2 com TDA). Esses valores são tidos como referência e auxiliam na validação de novos equipamentos.

Trabalhos com mensuração direta de torque nos eixos motrizes de tratores agrícolas têm sido pouco realizados, tanto em pistas de ensaio como em campo, tendo-se maior ênfase em ensaios com rodados individuais e que utilizam equipamentos específicos, como nos trabalhos desenvolvidos por UPADHYAYA et al. (1986); SHMULEVICH et al. (1996), NAGAOKA (2001); SHMULEVICH E OSETINSKYA (2003); KAWASE et al. (2006) e WAY et al. (2009). SHMULEVICH E OSETINSKYA (2003) realizaram ensaios de rodados sobre pista de concreto, e os resultados mostraram grande precisão entre o torque medido no eixo, versus a força de tração líquida, com excelente ajuste linear ($R^2 = 0,998$).

Os equipamentos disponíveis no mercado utilizados com a finalidade de mensuração de altas demandas de torque, denominados “torquímetros”, “torciômetros” ou ainda “transdutores de torque”, são utilizados para aplicações específicas, atrelados a mecanismos estáticos, sendo então, difícil adaptá-los às máquinas agrícolas. Os torciômetros comerciais de grande porte possuem alto custo de aquisição e, se utilizados em tratores agrícolas, podem sofrer danificações prematuras, tendo em vista as condições adversas no campo.

O desenvolvimento de um torciômetro específico para eixos motrizes de tratores, propicia a realização de estudos complementares aos estudos já realizados. De acordo com BACK et al. (2008), novos produtos podem ser definidos de acordo com a tipologia de projeto, podendo estes, ser variantes dos produtos existentes, inovativos ou criativos. Independente da tipologia de projeto, o desenvolvimento de máquinas agrícolas passa por diversas etapas, incluindo o desenvolvimento projetual, a construção de um protótipo e a concepção do produto no mercado. Conforme ROMANO (2003), a fase de projeto de uma máquina agrícola ou de um componente, pode ser dividida em quatro subfases, sendo elas, o projeto informacional, o projeto conceitual, o projeto preliminar e o projeto detalhado.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um protótipo de um torciômetro para ser acoplado ao eixo e à roda motriz traseira de tratores agrícolas para determinação do torque, potência e tração bruta, bem como validá-lo através de ensaios de tração.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Núcleo de Ensaios de Máquinas e Pneus Agroflorestais (NEMPA) na Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA/UNESP), em Botucatu-SP. O projeto seguiu a metodologia descrita por ROMANO (2003), que sugere o atendimento de quatro fases (projeto informacional, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado) para que o produto gerado tenha concepção adequada, viabilidade, qualidade e desempenho satisfatório, sendo ainda, útil para a organização sequencial do projeto.

No projeto informacional, foram estabelecidos os fatores de influência no projeto, a partir de pesquisas exploratórias, observando parâmetros mecânicos, econômicos e outros conhecimentos específicos. Foram levadas em conta as características funcionais, de segurança, de confiabilidade e de aparência, tanto dos tratores agrícolas quanto do torciômetro a ser desenvolvido.

Na segunda fase, no projeto conceitual, foi estabelecida a estrutura funcional e concluída a concepção estrutural do torciômetro, tendo-se ainda, o início dos estudos voltados aos processos de fabricação.

Na fase de projeto preliminar, estabeleceu-se o “layout” final, com determinação da viabilidade técnica e econômica do equipamento. Foi criado um modelo virtual em sistema CAE/CAD, com estabelecimento das dimensões, forma, massa, material e melhor processo de fabricação. Com a modelagem final, obteve-se um protótipo virtual, onde foram realizadas simulações computacionais para verificação da funcionalidade dos componentes, estudos de forma, posicionamento e resistência. Esta fase foi concluída com a aprovação do modelo final, material, elaboração dos desenhos técnicos em 3D e 2D, bem como o melhor processo de fabricação de cada item.

A última fase, no projeto detalhado, destinou-se a construção física do protótipo. Na sequência, o equipamento foi submetido a testes, ensaios de laboratório e ensaios de pista, no intuito de validar sua função, medir o torque. A construção do protótipo permitiu a melhor compreensão da funcionalidade e demais características do torciômetro, incluindo sua otimização e melhorias de alguns componentes.

Por se tratar de um protótipo e com aplicação inicial direcionada exclusivamente à pesquisa, o equipamento foi estruturado para atender tratores de pequeno e médio porte (até 90 kW), de maneira que possa receber adaptações conforme peculiaridades de cada marca ou modelo. O princípio de funcionamento é por braço de alavanca, com medição de força através de uma célula de carga cilíndrica modelo DTS 20T, e transmissão de sinal através de um conector rotativo a base de vapor de mercúrio modelo 430 da Mercotac®, montado no centro da roda.

Durante os ensaios, o trator utilizado modelo SLC/John Deere 6600, estava sem lastro, com bloqueio de diferencial ligado e a tração dianteira auxiliar (TDA) permaneceu desligada, tendo em vista que o torciômetro foi montado apenas no eixo traseiro. Na Tabela 1, observam-se as principais especificações do trator.

Os ensaios preliminares foram realizados no intuito de obter informações que auxiliassem na validação do torciômetro. Primeiramente avaliou-se a deformação elástica do pneu utilizando uma prensa hidráulica vertical. O valor da deformação obtido na prensa foi utilizado para o cálculo do raio dinâmico do rodado e, por conseguinte, o cálculo da tração bruta conforme Equação 1.

$$TB = T/(r_0 - def) \quad (1)$$

em que,

TB - tração bruta ou força tangencial, kN;

T - torque obtido pelo torçômetro no eixo motriz, m.kN;

r_0 - raio estático sem carga ou indeformado do rodado traseiro, m;

def - deformação do pneu em função da transferência de massa (m).

TABELA 1. Especificações técnicas e ponderais do trator SLC/John Deere 6600. **Techniques and weight specifications of tractor SLC/ John Deere 6600.**

Especificações do motor	
Marca (modelo)	John Deere (6059T)
Número de cilindros (cm ³)	6 (5900)
Aspiração	Turbo alimentado
Potência máxima de catálogo (kW/cv)	89/121
Rotação nominal (rpm)	2300
Especificações da transmissão	
Cambio	Sincronizado (SyncroPlus™)
Nº de marchas	12 a frente e 4 a ré
Velocidades (km h ⁻¹)	2,2 a 29,6 @ 2300 rpm
Características pondero dimensionais (sem lastro)	
Distância entre eixos	2680
Altura da barra de tração	505
Massa estática total, kN (kg)	44,0 (4485)
Massa estática sobre eixo traseiro, kN (kg) %	27,6 (2815) 62,8%
Massa estática sobre eixo dianteiro, kN (kg) %	16,4 (1670) 37,2%
Pneus traseiros - Modelo (pressão psi/kPa)	23.1-30 (18 psi/ 124,1 kPa)
Pneus dianteiros - Modelo (pressão psi/kPa)	14.9-26 (18 psi/ 124,1 kPa)

A fim de conhecer o desempenho do motor do trator avaliado, realizou-se ensaio dinamométrico mediante uso da TDP, na configuração 540 rpm. Foram determinadas as curvas de torque e potência, com a alavanca de aceleração manual totalmente acionada. Foi utilizado um dinamômetro com frenagem mecânica por atrito, modelo NEB 400 da fabricante AW. Com a curva de torque, foi possível prever o torque teórico máximo nos eixos motrizes, valor usado no dimensionamento do eixo do torçômetro.

Ainda nos ensaios preliminares, realizou-se a calibração da célula de carga (sentido de compressão), já ligada ao conector rotativo e a interface de coleta de dados via computador portátil. Utilizou-se de uma prensa hidráulica marca EMIC, munida de uma célula de carga aferida. A calibração do torçômetro completo e montado no eixo foi feita com auxílio de um macaco hidráulico e com uma célula de carga aferida, acoplada entre o macaco e uma extremidade da roda, formando um ângulo reto (90°).

Após realização da montagem do torçômetro e dos ensaios preliminares, realizou-se a instrumentação do trator, permitindo assim, a aquisição de dados e monitoramento de informações de interesse, conforme detalhes mostrados na Figura 1.

Para realização dos ensaios de validação do torçômetro utilizou-se uma pista de concreto com 4 metros de largura e 200 metros de comprimento (coordenadas: 22°50'18.47"S e 48°25'22.21"O). Para aplicação das cargas controladas na BT (TL), foi utilizada a Unidade Móvel de Ensaio na Barra de Tração (UMEB), descrita por GABRIEL FILHO et al. (2008), munida de seis rodados com freios pneumáticos, controlados por computador (Figura 2).

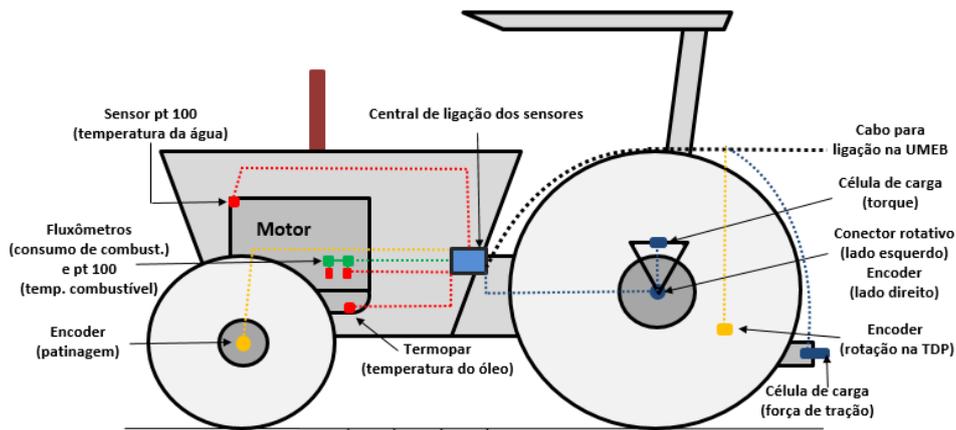


FIGURA 1. Vista lateral do esquema de ligação da instrumentação utilizada no trator.



FIGURA 2. Trator instrumentado e com torçômetro montado na roda, acoplado a UMEB através da barra de tração sobre pista de concreto.

Os ensaios de tração foram separados em duas partes. Na primeira adotou-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC), avaliando-se uma marcha (B2, 7 km h^{-1}), oito cargas na BT, com cinco repetições, totalizando 40 unidades experimentais. De acordo com STORCK et al. (2004) o DIC é utilizado em experimentos onde as unidades experimentais são uniformes ou homogêneas, e a variação entre as unidades experimentais é irrelevante. Neste caso, compreende-se que o material (trator, pista de ensaio, pneus, entre outros) e ambiente não possuem variações relevantes.

As cargas adotadas na barra de tração (tração líquida - TL) foram de 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28 e 30 kN, e assim permitiram a construção de curvas comparativas. A carga máxima (30 kN), foi utilizada em função de ser o limite de tração com cerca de 15% de patinagem, conforme recomenda o Código 2 da OECD (2012). Embora tenha se adotado a TL como tratamentos, as variáveis respostas também serão comparadas com a patinagem e com o torque dos rodados motrizes os quais variam em função da alteração da TL. Utilizou-se a rotação de arranque máxima (2450 rpm) e coletou-se a rotação final com sensores de pulso ligado na TDP, em cada parcela de ensaio de 25 m.

Na segunda parte dos ensaios, obteve-se os máximos valores de potência para assim permitir a determinação das máximas eficiências entre a barra de tração e eixo traseiro (PBT/PET), entre barra de tração e tomada de potência (PBT/PTDP), e entre eixo traseiro e tomada de potência (PET/PTDP). Utilizou-se a marcha B3 (9 km h^{-1}) e os resultados obtidos foram comparados com a ASAE (2003) e ASABE (2011a).

Os parâmetros avaliados nos ensaios de pista foram: torque no eixo traseiro (TET), tração bruta (TB), tração líquida (TL), potência no eixo traseiro (PET), potência na barra de

tração (PBT), patinagem (Pat), e eficiência trativa (ET). Esta última calculada conforme ASABE (2011a) pela Equação 2.

$$ET=[TL/TB.(1-Pat)].100 \quad (2)$$

em que,

ET - eficiência trativa, %;

TL - tração líquida, kN;

TB - tração bruta, kN;

Pat - patinagem, decimal;

100 - constante para conversão em percentual.

Através de um programa computacional para análise estatística, procedeu a análise de variância (ANAVA), bem como testes de regressões ($P \geq 5\%$), conforme modelo de melhor ajuste.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após os cálculos do dimensionamento do torçômetro, optou-se em utilizar o Aço AISI 1045, o qual possui média resistência, boa usinabilidade e baixo custo. O eixo principal foi dimensionado para um torque máximo teórico de 13,5 m.kN, ficando com 100 mm de diâmetro. Na Figura 3, tem-se o desenho completo do torçômetro no formato 3D. A tipologia do projeto pode ser classificada de acordo com BACK et al. (2008), como inovativo ou criativo, pois não possui variação de nenhum outro modelo existente no mercado utilizado para determinação de torque em eixos de rodados motrizes.

Com os desenhos virtuais do torçômetro, definiu-se que a determinação do torque deveria ser realizada a partir da força obtida na célula de carga e com parâmetros dimensionais do torçômetro, e aplicando-se a Equação 3.

$$T = F_{CC} \cdot b \cdot \text{sen}\alpha \quad (3)$$

em que,

T - torque obtido pelo torçômetro, m.kN;

F_{CC} - força na célula de carga obtido pelo sistema de aquisição de dados, kN;

b - comprimento do braço de alavanca (m);

$\text{sen}\alpha$ - seno do ângulo entre o braço de alavanca e a célula de carga.

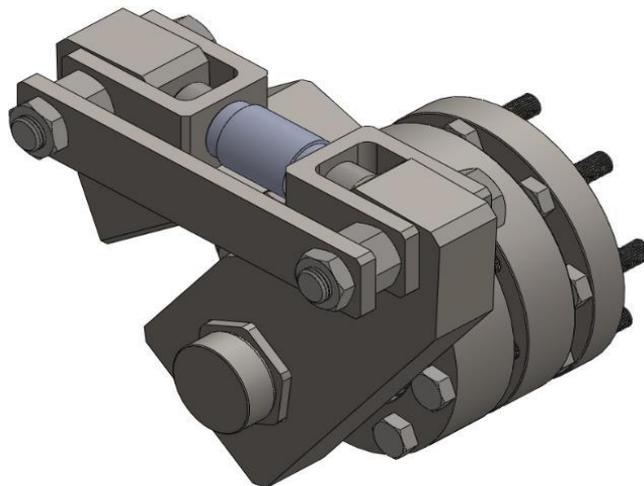


FIGURA 3. Desenho em 3D do torçômetro montado, elaborado a partir do princípio do braço de alavanca.

Não será fornecido maiores detalhes, devido ao registro de patente estar em andamento.

A tração bruta é calculada em função do torque e do raio dinâmico dos rodados motrizes (Equação 1 do Material e Métodos). O raio dinâmico leva em consideração a transferência de massa aos rodados traseiros e a consequente deformação dos pneus. Para o cálculo da massa dinâmica utilizou-se a Equação 4 de MIALHE (1980) e também utilizada por GABRIEL FILHO et al., 2010. Na Tabela 2 tem-se os valores da deformação e do raio dinâmico em função da tração líquida.

$$R1=W1+[TL(y/x)] \quad (4)$$

em que,

R1 - massa estática traseira, kN;

W1 - massa estática traseira, kN;

TL - tração líquida na BT (força de tração), kN;

y - altura da barra de tração, mm;

x - distância entre eixos, mm.

TABELA 2. Massa dinâmica, deformação, e raio dinâmico dos rodados em função da tração líquida. **Mass dynamics, deformation, and dynamic radius of wheelsets according on net traction.**

Tração líquida (kN)	Massa dinâmica traseira (kN)	Massa dinâmica traseira individual (kN)	Deformação* (mm)	raio dinâmico (m)
4	29,89	14,95	47,46	0,81
8	30,62	15,31	48,43	0,81
12	31,36	15,68	49,41	0,81
16	32,09	16,05	50,39	0,81
20	32,81	16,41	51,34	0,80
24	33,62	16,81	52,42	0,80
28	34,32	17,16	53,34	0,80
30	34,91	17,46	54,14	0,80

* Deformação em relação ao raio estático sem carga = 856 mm (0,86 m).

Com os resultados dos ensaios dinamométricos via TDP, obteve-se uma potência máxima na TDP de 71 kW a 2200 rpm. Considerando um aumento de 13% para compensar as perdas na transmissão, conforme ASAE (2003), o torque máximo do motor foi de 461 Nm, na rotação de 1400 rpm. Já a potência máxima no motor foi equivalente a 81,6 kW (111 cv) a 2200 rpm, estando esta, abaixo da potência de catálogo, indicada como 89 kW (121 cv).



FIGURA 4. Torciômetro montado no eixo e na roda traseira do trator.

Os componentes metálicos do torciômetro foram construídos através do uso de equipamentos de usinagem de alta precisão, permitindo desta forma, a obtenção exata das dimensões projetadas e excelente acabamento. Na Figura 4, observa-se o torciômetro montado ao centro da roda motriz traseira do trator, estando toda a parte mecânica e eletrônica em funcionamento.

A partir da observação da Figura 5, consegue-se afirmar que a mensuração do torque no eixo traseiro está dentro do esperado, já que houve linearidade (ajuste linear e crescente) entre os torques obtidos e as variáveis TL e TB, uma vez que, são diretamente dependentes do torque aplicado ao eixo motriz. Resultados semelhantes foram encontrados por SHMULEVICH e OSETINSKYA (2003), pesquisadores que avaliaram um rodado equipado com torciômetro, de forma individual e sobre pista de concreto.

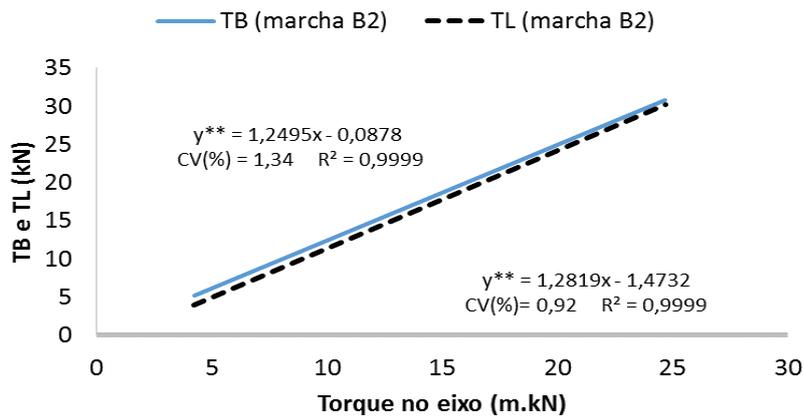


FIGURA 5. Tração bruta (TB) e líquida (TL) em função do torque no eixo para marcha B2.
 CV – Coeficiente de variação; ** Significativo a 1% de probabilidade.

A diferença entre a TB e a TL foi de 0,90 kN, equivalente a 1,9% da massa total do trator. Esta diferença representa a resistência ao rolamento, e está próxima de 2%, valor tido como referência na literatura (LINARES et al., 2006; MÁRQUEZ, 2008; e GABRIEL FILHO et al., 2010).

Observa-se na Figura 6, que a potência no eixo é sempre maior que a potência na barra de tração (em função da patinagem), ficando a menor diferença entre os valores das duas curvas, em cerca de 8 e 9%, conforme ASAE (2003).

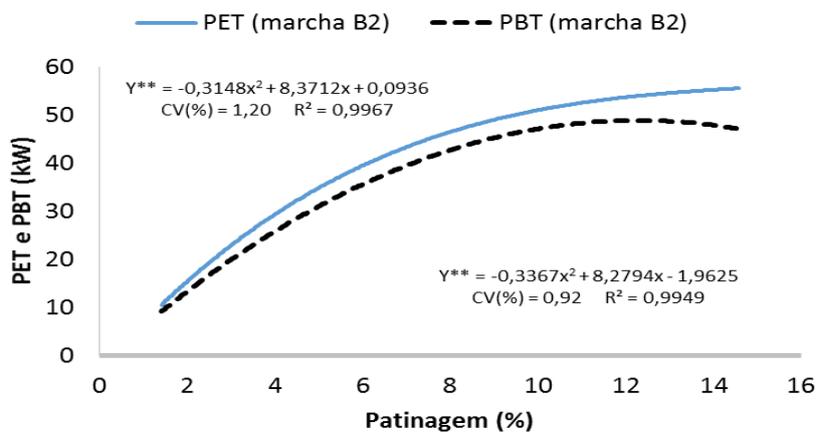


FIGURA 6. Potência no eixo traseiro (PET) e na barra de tração (PBT) em função da patinagem.

Os valores de patinagem onde se obteve maior ET ficaram dentro do recomendado pela ASAE (2003) e ASABE (2011b), que é de 4 a 8%, e concordam com Zoz e Grisso (2003), que apontam maior ET com patinagem entre 4 e 6% para tratores de pneus sobre pista de concreto (Figura 7). Quanto ao máximo valor da ET encontrado neste trabalho (91%), os resultados foram similares com os valores apresentados nas divulgações da ASAE (2003) (92 a 93%) e ZOZ e GRISSO (2003) (91%).

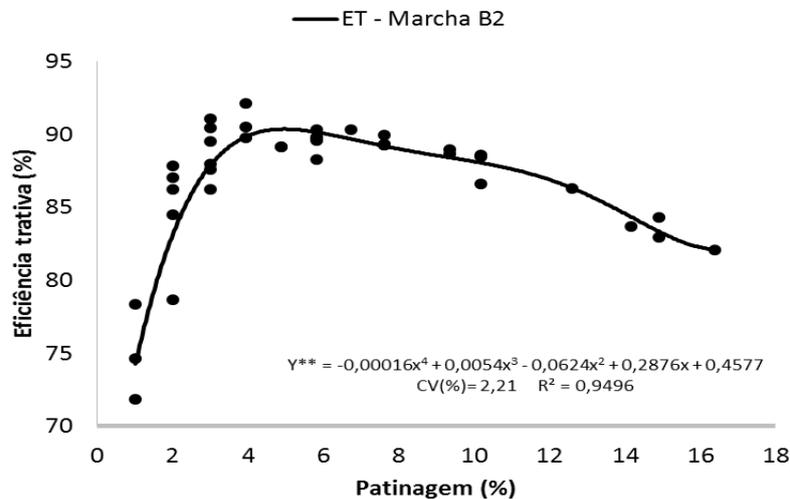


FIGURA 7. Eficiência trativa (ET) em função da patinagem dos rodados motrizes.

Para a eficiência entre a BT e TDP, o máximo valor encontrado foi de 82% e está abaixo dos valores informados pela ASAE (2003) e ASABE (2011a). Já a eficiência entre o eixo traseiro e a TDP (95%) está de acordo com a ASAE (2003).

CONCLUSÕES

O projeto do torciômetro foi totalmente inovador, não possuindo variante de nenhum outro equipamento disponível no mercado para mensuração de torque em condições de pista ou campo. O protótipo mostrou-se com funcionalidade adequada aos objetivos propostos e com custo total abaixo dos equipamentos comerciais do mercado. Os resultados dos ensaios para a validação do torciômetro foram satisfatórios, tornando-o válido e com potencialidades para avaliação de tratores agrícolas para as mais diversas condições operacionais.

REFERÊNCIAS

ASAE. AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **ASAE EP496.2** Agricultural machinery management. In: ASAE Standards. 2003. St. Joseph: 2003. p. 366-372.

ASABE. AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. **ASAE D497.7** Agricultural machinery management data. ASABE Standards 2011a. St. Joseph, 2011. 8 p.

ASABE. AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. **ASAE EP496.3** Agricultural machinery management. In: ASABE Standards. 2011b. St. Joseph: 2011. 7 p.

BACK, N.; OGLIARI, A.; DIAS, A.; SILVA, J. C. **Projeto Integrado de Produtos: Planejamento, Concepção e Modelagem**. Barueri: Manole, 2008. 601 p.

GABRIEL FILHO, A.; LANÇAS, K. P.; GUERRA, S. P.; PAULA, C. A.; MONTEIRO, L. A. UMEB - Unidade Móvel Para Ensaio da Barra de Tração. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v.28, n.4, p.782-789, out/dez. 2008.

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

KAWASE, Y. NAKASHIMA, H. OIDA, A. An indoor traction measurement system for agricultural tires. **Journal of Terramechanics**, n.43, p. 317-327, 2006.

LINARES, P.; CATALÁN, H.; MÉNDEZ, V. **Teoría de la tracción de tractores agrícolas**. 2. ed. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. 2006, 215 p.

MÁRQUES, L. Metodologia para cálculo rápido das dimensões de pneus de tratores agrícolas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 590-603, jul./set. 2008.

MIALHE, L. G. **Máquinas motoras na agricultura**. São Paulo: Ed. da Universidade de São Paulo, 1980. v.1, 289 p.

NAGAOKA, A. K.; LANÇAS, K. P.; CASTRO NETO, P.; LOPES, A.; GUERRA, S. P. S. Projeto, construção e avaliação de um equipamento para ensaio dinâmico de pneu agrícola individual. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, 2002.

OECD - ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. Code 2. **OECD standard code for the official testing of agricultural and forestry tractor performance**. February 2012. 90 p.

ROMANO, L. N. **Modelo de Referência para o Processo de Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas**. 2003. 266 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

SHMULEVICH, I.; OSETINSKY, A. Traction performance of a pushed/pulled drive wheel. **Journal of Terramechanics**, Great Britain, v. 40, p. 35-50, 2003.

SHMULEVICH, I.; RONAI, D.; WOLF, D. A New Field Single Wheel Tester. **Journal of Terramechanics**, Great Britain, v.33, n.3, p. 133-141, 1996.

STORCK, L.; LOPES, S. J.; LÚCIO, D. A. **Experimentação II**. Universidade Federal de Santa Maria: Centro de Ciências Rurais, 2004. 205 p.

UPADHYAYA, S. K.; WULFSOHN, D.; GLANCEY, J. L. Development of a Unique, Mobile, Single Wheel Traction Testing Machine. **Transaction of the ASAE**, v.29. n.5, p. 1243-1246, Sep./Oct. 1986.

WAY, T. R. Three Single Wheel Machines for Traction and Soil Compaction Research. **Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript**, Auburn, v. 11, n.1534, p.1-24, Dec. 2009.

ZOZ, F. M. & GRISSO, R. D. **Traction and Tractor Performance**. Louisville, ASAE, 2003, 46 p.