

## PREDIÇÃO DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL EM OPERAÇÕES COM TRATOR AGRÍCOLA

Rafael C. Tieppo<sup>1</sup>, João C. M. Silveira<sup>2</sup>, Marcos Milan<sup>3</sup>, Thiago L. Romanelli<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Eng. Agrícola, Doutorando em Engenharia de Sistemas Agrícolas - ESALQ-USP, Universidade do Estado de Mato Grosso, UNEMAT *Campus* Tangará da Serra – MT, Departamento de Agronomia, fone: (65)-3211-4229, e-mail: tiepporc@unemat.br

<sup>2</sup> Professor Doutor, Instituto Federal Goiano, IF-GOIANO *Campus* Rio Verde.

<sup>3</sup> Professor Livre-docente, Universidade de São Paulo, ESALQ, Departamento de Engenharia de Biosistemas.

Apresentado no  
XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014  
27 a 31 de julho de 2014- Campo Grande- MS, Brasil

**RESUMO:** O consumo de combustível é um dos principais fatores na composição dos custos operacionais agrícolas. O planejamento das operações agrícolas define as metas operacionais e gerencia os custos visando minimizá-los. Para auxiliar no planejamento, modelos são utilizados para a predição do consumo de combustível nas operações mecanizadas. Assim, modelos para predição do consumo de combustível propostos por: Milan (1992), Molin e Milan (2002), ASAE (2003) e ASABE (2011), foram testados nesse trabalho. Para verificar a eficiência de cada método, dados sobre a demanda energética da operação mecanizada de semeadura do milho, foram processados por meio dos referidos métodos, onde se obtiveram estimativas de consumo de combustível. O desempenho dos métodos foi verificado pelo somatório dos quadrados dos erros, assumindo como variável observada o consumo de combustível mensurado e como variável estimada a resposta de cada método. De acordo com as situações avaliadas, o método mais indicado para predição de combustível é o ASABE (2011). Contudo, para situações que a relação entre a potência requerida e a disponível na tomada de potência é superior a 0,50, os métodos Milan (1992) e ASAE (2003) também são indicados.

**PALAVRAS-CHAVE:** óleo diesel, gerenciamento, modelagem, custo.

## FUEL CONSUMPTION PREDICTION FOR AGRICULTURAL TRACTORS

**ABSTRACT:** Fuel consumption is one of main factors in agricultural operational costs. Machinery management defines the period for the operations to be performed and minimizes the costs. Fuel consumption prediction is used as a tool to support machinery management. Therefore, this study aimed to test four models for fuel consumption prediction: MILAN (1992), MOLIN and MILAN (2002), ASAE (2003) and ASABE (2011). Data from the energy demand of corn sowing were processed by the models, which provided the predicted values. The sum of the squared errors was used to compare the performance of the models. The results indicated the ASABE (2011) showed the best performance. However, when the ratio of equivalent PTO (power take-off) power required by an operation to that maximum available from the PTO is higher than 0.5, the methods by Milan (1992) and ASAE (2003) are also indicate.

**KEYWORDS:** diesel oil, management, modelling, cost.

**INTRODUÇÃO:** A sobrevivência dos setores produtivos depende da eficiência dos sistemas de produção que os compõem. No caso da agricultura, além da obtenção de lucro, o mercado globalizado e cada vez mais competitivo, requer produtos com características específicas e cumprimento dos prazos da entrega. A mecanização agrícola é um recurso, que deve auxiliar os gestores no atendimento das exigências do mercado. As operações mecanizadas visam à melhoria dos sistemas de produção, preconizando a agilidade e a qualidade dos processos, tendo como um dos limitadores o orçamento financeiro da empresa. Entre os materiais consumidos nos sistemas de produção agrícola, o consumo de combustível é um dos principais componentes dos custos operacionais. O planejamento das operações agrícolas define as metas operacionais e gerencia os custos visando minimizá-los. Para auxiliar no planejamento, modelos são utilizados para a predição do consumo de combustível, que ocorre nas operações mecanizadas. Devido à importância do gerenciamento dos custos operacionais e a utilização de modelos como um recurso da administração, o objetivo desse trabalho foi o estudo de modelos para predição do consumo de combustível.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Os métodos estudados foram: Milan (1992), Molin e Milan (2002) por apresentarem praticidade em seu uso. Além desses, também foram comparados com os métodos ASAE (2003) e ASABE (2011), pois são os métodos padrões da American Society of Agricultural and Biological Engineers. Entende-se que o método ASABE (2011) seria um aprimoramento do método ASAE (2003), mas como o último tem utilização relativamente mais simples, optou-se em verificar seu desempenho, com o intuito de constatar se é interessante ou não, sua substituição. Para verificar o desempenho de cada método proposto, foram utilizados dados de Silveira (2008). O desempenho dos métodos foi verificado pelo somatório dos quadrados dos erros e pelo coeficiente determinístico, assumindo como variável observada o consumo de combustível mensurado por Silveira et al. (2013) e como variável estimada a resposta de cada método.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Os tratamentos testados por Silveira et al. (2013) indicaram um consumo médio de combustível igual a  $11,06 \text{ L h}^{-1}$ , com diferença estatística significativa quando é alterada a rotação de trabalho do motor. O referido autor também constatou aumento do consumo horário de combustível, quando há incremento da rotação do motor para uma mesma velocidade de operação (Figura 1a). Em concordância com Silveira et al. (2013), percebe-se que ao analisar individualmente as velocidades de operação, o menor consumo horário de combustível ocorre na menor rotação, sugerindo que essas rotações proporcionam menor custo. Evidenciando o conceito “Gear Up and Throttle Down” de Grisso et al. (2011), que visa a economia de combustível. Ao adotar o conceito da redução da rotação do motor para realizar uma determinada operação, deve-se atentar ao fato de que rotações próximas à rotação de torque máximo podem reduzir a reserva de torque, ocasionando perdas no rendimento e desgaste no motor, corroborando com (ALMEIDA, SILVA; SILVA, 2010). Para a maioria dos tratamentos testados, os valores de consumo de combustível preditos pelos métodos ASAE (2003), Milan (1992) e Molin e Milan (2002) foram superiores aos valores observados, indicando que os referidos métodos tendem a superestimar a predição. Para o método Molin e Milan (2002), tal situação é reduzida a partir dos tratamentos que solicitam potência na barra de tração superior a aproximadamente 22 kW. O método ASABE (2011) apresentou em todos os tratamentos, valores estimados inferiores ou próximos aos valores observados, indicando que o método tende a subestimar os valores preditos. A Figura 1a indica que o método ASABE (2011) é o que prediz o consumo horário de combustível com menor erro em relação aos demais. O somatório do quadrado da diferença para os métodos Milan (1992), Molin e Milan (2002), ASAE (2003), ASABE (2011) foram 288,39, 330,93, 736,71 e 119,32  $\text{L h}^{-1}$ , respectivamente. A soma do quadrado da diferença demonstra que globalmente o método ASABE (2011) proporciona melhores resultados, seguido pelo método Milan (1992), Molin e Milan (2002) e ASAE (2003). Contudo, não é possível identificar em qual situação cada método proporciona melhores respostas. Uma análise mais criteriosa foi a comparação entre os valores observados e estimados por cada método, isolando para cada velocidade o comportamento do consumo de combustível em função da rotação (Figura 1b).

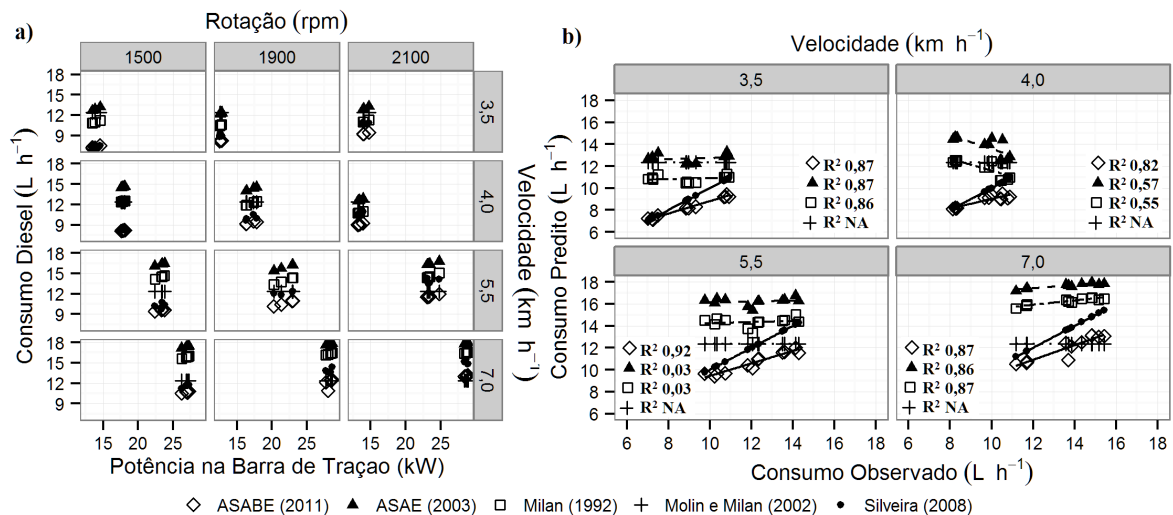


FIGURA 1. a) Consumo horário de combustível estimado e observado com sua respectiva potência requerida na barra de tração para rotação do motor e velocidade de operação ajustada. b) Comportamento entre variável predita e estimada pelos métodos para velocidades de operação ajustadas.

Analisando individualmente o método Molin e Milan (2002) percebe-se que o mesmo resulta em valores constantes, independentemente da velocidade de operação ou rotação do motor. Esse comportamento se deve ao fato, de que o referido método estima o consumo de combustível, unicamente em função da potência líquida do motor. Ainda tratando-se desse método, observa-se que o valor constante estimado é igual a  $12,35 \text{ L h}^{-1}$ , que por sua vez é muito próximo a média de todos os valores observados, que é igual a  $11,06 \text{ L h}^{-1}$ . Os valores preditos pelo método ASAE (2003) foram os que apresentaram maior diferença em relação aos valores observados. Esse método foi desenvolvido para tratores e colhedoras que trabalham com carga superior a 20 %, possuindo como variáveis de entrada a potência requerida e a disponível na tomada de potência do trator ASAE (2003). A norma ainda adverte que esse modelo superestima os resultados em 15,0% em relação testes de desempenho realizados no Laboratório de Nebraska. Ao fazer essa correção nos resultados, a somatória do quadrado da diferença para o referido método foi de 109,23, passando a ter segundo esse critério de avaliação o melhor desempenho. Justifica-se a semelhança do ângulo de inclinação da reta do método Milan (1992), com o ASAE (2003), pelo fato de que ambos além de usar as mesmas variáveis de entrada, usam a mesma relação entre as mesmas. Tendo como diferença os coeficientes ajustados que compõem cada método. Salienta-se que os dados utilizados por ASAE (2003) são oriundos do Laboratório de Nebraska e os dados de Milan (1992) são provenientes do CENEA (Centro Nacional de Engenharia Agrícola) extinto pelo governo Collor. A análise gráfica (Figura 1b) indica que o método que melhor representa os valores observados por meio de predição, é o método ASABE (2011). O referido método utiliza a mesmas variáveis dos métodos Milan (1992) e ASAE (2003), contudo efetua uma relação entre a rotação máxima do motor da máquina e sua rotação de operação. Haja vista que o método em questão compreende a rotação de trabalho do motor da máquina, sua sensibilidade ao identificar o consumo de combustível, tende a ser melhor em operações de baixa rotação, quando comparado aos demais métodos. Os coeficientes determinísticos calculados sustentaram os indicativos da análise gráfica. Em relação ao método Molin e Milan (2002), não foi possível calcular o valor do referido coeficiente, pois o método em questão estima valores constantes para todas as condições. Ao observar os resultados dos ajustes dos métodos Milan (1992) e ASAE (2003), apenas nas velocidades 4,0 e 7,0  $\text{km h}^{-1}$  percebe-se que os mesmos apresentam representatividade superior a 0,50. Isso se justifica devido à dependência da relação entre potência requerida e disponível na tomada de potência (RRA), em ambos os métodos. Nas velocidades 3,5 e 5,5  $\text{km h}^{-1}$ , entre 1500 e 1900 rpm, a RRA é decrescente e de 1900 até 2100 rpm é crescente (Figura 2a). Como o consumo de combustível aumenta simultaneamente com o acréscimo da rotação (Figura 2b), os métodos em questão, tendem a estimar valores não satisfatórios, pois geram resultados com o mesmo comportamento da RRA.

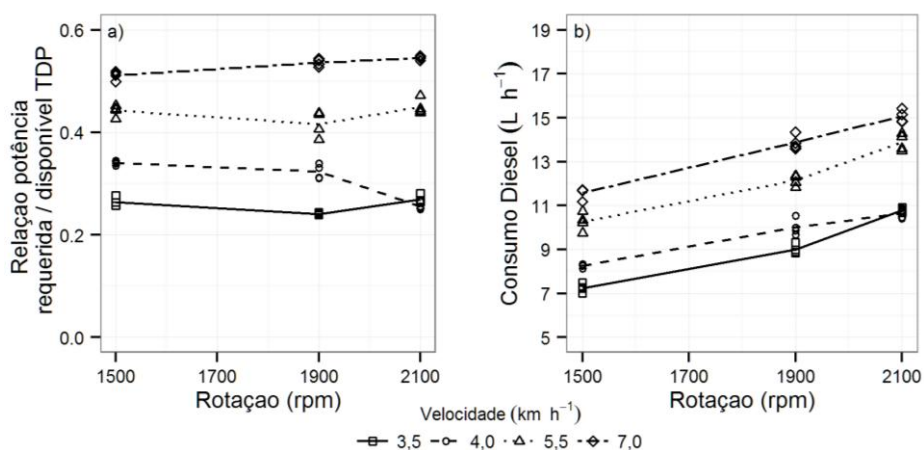


FIGURA 2. a) Relação da potência requerida e disponível na TDP em função da rotação nas velocidades de operação. b) Consumo de combustível observado em função da rotação nas velocidades de operação

O método ASABE (2011), foi o único que apresentou valores satisfatórios de coeficiente determinístico em todas as condições avaliadas. Uma justificativa desse fato é que além de utilizar a RRA para a predição do consumo de combustível, o referido método também considera a rotação do motor da máquina. Dessa forma, apesar da descontinuidade da RRA em determinadas situações, como nas velocidades 3,5; 4,0; e 5,5  $\text{km h}^{-1}$ , o referido método suaviza esse efeito na predição dos valores, estimando comportamento mais similar ao dos valores observados, em relação aos demais métodos.

**CONCLUSÕES:** De acordo com as situações avaliadas, o método mais indicado para predição de combustível é o ASABE (2011). Contudo, para situações que a relação entre a potência requerida e a disponível na tomada de potência é superior a 0,50, os métodos Milan (1992) e ASAE (2003) também são indicados.

**AGRADECIMENTOS:** Pelo apoio da FAPEMAT - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso - (Processo nº: 402387/2012). Bolsista CAPES (Processo BEX8634/13-0).

## 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, 2010.
- ASABE. **Agricultural Machinery Management**. ASABE standards. St. Joseph: ASABE. D497.7: 8 p. 2011.
- ASAE. **Agricultural machinery management data**. ASAE Standards. St. Joseph: ASAE. D497.4: 7 p. 2003
- GRISSE, R. et al. **“Gear up and throttle down” to save fuel**. Blacksburg, VA: Virginia Cooperative Extension Publication: 442-450 p. 2011.
- IMEA. **Custo de Produção Soja - Safra 10/11**. Instituto Mato-Grossense de Economia Agropecuária, p.2. 2012a
- MILAN, M. **Improving operational management of harvest, transport and mechanization for sugar cane in Brazil** 1992. 226 (Ph.D). Cranfield Institute of Technology, Silsoe.
- MOLIN, J. P.; MILAN, M. Trator e implemento: dimensionamento, capacidade operacional e custo In: GONÇALVES, J. L. M. e STAPE, J. L. (Ed.). **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais** Piracicaba: IPEF, 2002. cap. 13, p.46.
- SILVEIRA, J. C. M. D. et al. Demanda energética de uma semeadora-adubadora em diferentes velocidades de deslocamento e rotações do motor. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, p. 44-52, 2013.