



## LEVANTAMENTO DE CURVA ESPECÍFICA DO MOTOR DE UM TRATOR AGRÍCOLA.

Ana Maria Pietrobon Tirapelle\*, Daniel Albiero, Cezario Benedito Galvão.

### Resumo

As máquinas agrícolas foram introduzidas no campo a fim de gerar aumento de produtividade e eficiência nas operações. A otimização das atividades mecanizadas intensificou o gerenciamento dessas máquinas, a fim de controlar o consumo de combustível, que corresponde à maior parcela dos custos de hora-máquina, variando com o tipo de combustível e tempo de operação. Este consumo está relacionado com a energia requerida pela máquina (kW/h), tido com um indicador para calcular o esforço da máquina agrícola no campo. Desta forma, a coleta e análise de informações apropriadas são necessárias para tomada de decisão na manipulação de máquinas agrícolas, a fim de ajustar sua condução para um consumo mínimo de combustíveis. Visto isso, o objetivo desse projeto é fazer o levantamento da curva de desempenho do motor de um trator agrícola, para que seja possível obter o melhor manejo com o menor consumo de combustível.

### Introdução

Atualmente, é possível perceber o crescimento da produção agrícola interligado à implantação de novas tecnologias, atreladas diretamente às máquinas agrícolas. Essas máquinas fornecem a energia, a eficiência e a produtividade necessária às operações, além de suprirem a diminuição no número de trabalhadores rurais no país. Ao visualizar o cenário agrícola atual, é imprescindível equiparar produtividade à maquinário e tecnologia, juntamente com um baixo custo (MONTANHA *et al.*, 2017).

A agricultura é um setor que demanda alto consumo de combustível e, desse modo, afeta diretamente a poluição ambiental (SILVEIRA *et al.*, 2017). Peloia e Milan (2010) indicam que a mecanização agrícola é atualmente um dos principais fatores que podem diminuir os custos de produção. Siemens e Bowers (1999) apresentam dados onde os custos com combustíveis representam entre 16 a 45% dos custos totais por hora de um trator.

É fundamental possuir um bom entendimento das principais características de desempenho de um motor agrícola. Desta forma, torna-se possível falar sobre maior rendimento, uma vez que se torna a selecionar adequadamente a rotação do motor e a relação de transmissão na caixa de redução, minimizando o consumo específico de combustível. Com isso, os gastos totais e o custo específico por hora-máquina trabalhada do motor são diminuídos (FORASTIERE, 2019).

### Objetivo

O objetivo desta pesquisa é traçar as curvas de desempenho do motor de um trator agrícola, já disponível na Faculdade de Engenharia Agrícola, e com isto avaliar seu desempenho, através da demanda de potência, torque, consumo horário e consumo específico.

### Materiais e Métodos

Para os ensaios, a NBR ISO 1585 (1996) regulamenta um fator  $\alpha$  para a correção da

potência e dos dados para as condições atmosféricas de referência (temperatura de 25°C e pressão seca de 99 kPa), gerando comparações de valores. Tal fator entra na Equação 1, descrita abaixo.

$$P_{ref} = \alpha * P_y \quad (1)$$

Onde:  $P_{ref}$ =potência corrigida (kW),  $\alpha$ =fator de correção;  $P_y$ =potência média observada (kW).

O  $\alpha$  utilizado é conhecido como  $\alpha_c$ , pois o motor utilizado é de ignição por compressão. Este fator é calculado de acordo com a Equação 2. O fator atmosférico de tal equação inclui o efeito causado pela pressão, pela temperatura e pela umidade ao ar utilizado pelo motor. Tal fator é calculado de acordo com a Equação 3. Já o parâmetro característico de cada motor, que também compõe o equacionamento do fator de correção, é obtido através da Equação 4 onde a vazão corrigida  $q_c$  é definida pela Equação 5.

$$\alpha_c = (f_a)^{f_m}; 0,9 \leq \alpha_c \leq 1,1 \quad (2)$$

Onde:  $\alpha_c$ =fator de correção para motores de ignição por compressão,  $f_a$  = fator atmosférico;  $f_m$ =parâmetro característico de cada motor.

$$f_a = (99/p_d) * (T/298)^{0,7} \quad (3)$$

Onde:  $p_d$ =pressão seca (kPa); T=temperatura absoluta do ar de admissão (K).

$$f_m = 0,036 * q_c - 1,14 \quad (4)$$

Onde:  $q_c$ =vazão corrigida de combustível [mg/(L\*ciclo)].

$$q_c = (Z * \text{consumo do combustível} [g/s]) / (\text{deslocamento} [L] * \text{rotação motor} [\text{min}^{-1}] * r) \quad (5)$$

Onde: Z = 120.000 para motores de quatro tempos; r = relação entre pressão estática absoluta na saída do sobrealimentador (r = 1 para motores de aspiração natural).

O torque foi calculado a partir da força gerada na célula de carga do dinamômetro multiplicado pelo braço de torque (equação 6). Já a potência desenvolvida pelo motor foi calculada a partir da equação 7.

$$T = F * d \quad (6)$$

Onde: T = torque (N.m); F = força (N); d = distância/braço de torque (m).

$$P = (2 * \pi * T * \omega) / (60 * 1000) \quad (7)$$

Onde: P = potência produzida (kW); T = torque (N.m);  $\omega$  = velocidade angular (rpm).

Com a potência produzida e o fator  $\alpha$  para a correção desta, foi possível calcular a potência corrigida, juntamente com o torque corrigido, uma vez que ambos estão relacionados.

A densidade do combustível varia em função da temperatura do diesel, sendo assim, foi utilizada a equação 8 obtida por LOPES et al. (2003) para calcular a densidade de cada ensaio.

$$D = 863,22 - 0,72T \quad (8)$$

Onde: D = densidade do combustível em função da temperatura (g L-1); T = temperatura do combustível (°C); R2 = coeficiente de determinação da regressão, 0,9946.

## Montagem dos Equipamentos

Foi montado um arranjo de instrumentação para coleta de dados para obtenção da potência, torque e consumo de combustível do trator Massey Ferguson modelo MF 265. Para

mensurar a força, foi utilizado um dinamômetro de freio hidráulico modelo AW NEBRASKA 400® em um braço com comprimento de 0,33 metros. Introduziu-se a ele uma célula de carga da VINCERE DO BRASIL® modelo ST-500. O sensor de velocidade de rotação RED LION® modelo MP62TA acoplado no dinamômetro gerou os dados de rotação para calcular o torque e potência do trator. Utilizando-se do tacômetro, alocado abaixo do trator, coletou-se a relação de transmissão entre o motor e a tomada de potência do trator (TDP), para obtenção da rotação do motor a partir do levantamento da rotação da TDP.

O consumo de combustível foi determinado a partir de um becker sob uma célula de carga da R&S. Neste becker, além da entrada para a bomba injetora, havia outra para o retorno do diesel, que não era utilizado nos bicos injetores do trator (assim, somente os dados do diesel consumido foram levantados). Instalou-se também um sensor de temperatura PT-100 para coleta da temperatura do combustível dentro neste becker.

Foi fixado próximo da chaminé de admissão de ar do motor um sensor de temperatura que coletava a temperatura de entrada do ar e um sensor baro/termo/higrométrico modelo BTHR918N da Oregon Scientific®. Este informava a pressão, temperatura e umidade atmosférica.

Utilizou-se ainda um condicionador de sinal QUANTUM X® e o software de captação de dados CATMAN®. Neste, foram criados canais para a coleta de dados para cada sensor do arranjo de instrumentação.

Todas as células de carga foram testadas e calibradas utilizando pesos-padrões, juntamente com o software CATMAN. Ao verificar as condições atuais do trator, foi necessário uma manutenção devido ao estado do trator, principalmente no filtro de ar, que estava muito sujo.



**Figura 1.** Registro dos ensaios sendo coletados.

### **Coleta de Dados**

Para conhecer a eficiência energética e comparar os diversos modelos, foi necessário basear-se em ensaios normalizados. Os procedimentos experimentais deste projeto seguirão as normas do código 2 da empresa OECD (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico) e a NBR ISO 1585 (1996). A primeira norma (OECD, 2017) estabelece que a potência disponível para produzir o trabalho na Tomada de Potência (TDP) é a potência líquida.

O motor do trator ficou ligado por um período de aproximadamente 1 hora, a fim de estabilizar a potência, conforme a NBR ISO 1585 (1996). Feito isto, posicionou-se o arranjo de instrumentação e acoplou-se o dinamômetro na TDP do trator. A partir do máximo de débito da bomba do motor do trator, foi introduzida uma força resistente gerada no dinamômetro, em subseqüentes ensaios com intervalos de 50 rpm de rotação da TDP. Com

isso, foram obtidos variados pontos de força e rotação, e estes dados foram armazenados para o software CATMAN.

Ainda, a temperatura de admissão do ar ambiente no motor também foi mensurada a até 15 cm a montante do conduto de admissão. Os dados foram mensurados somente após ser constatada a constância mínima de 1 minuto, de temperatura, torque, rotação (mantendo-se no desvio máximo de  $\pm 1\%$  ou  $\pm 10 \text{ min}^{-1}$ ; a que for maior). O torque foi calculado a partir da célula de carga que mede a força do dinamômetro no braço de 0,33m de reação.

## Resultados

A partir dos dados coletados, foi construída a tabela 1, com resultados que foram calculados para a obtenção da curva de desempenho do motor. Foram feitos 9 ensaios.

**Tabela 1.** Dados calculados para a obtenção da curva de desempenho dos 9 ensaios.

Pontos observados	Unidade	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Rotação - TDP</b>	rpm	705.4	657.1	673.1	530.02	475.3	438.47	386.55	334.9	276.17
<b>Torque calculado</b>	N.m	129.47	594.54	692.29	720.49	739.82	751.45	762.49	762.82	732.89
<b>Potência</b>	kW	9.6	40.9	48.8	40	36.8	34.5	30.9	26.8	21.2
<b>Umidade</b>	%	42.00	42.00	39.00	35.00	35.00	34.00	33.00	33.00	33.00
<b>Temperatura - Bulbo Seco</b>	°C	26.5	26.8	27.3	28	28.4	28.7	28.6	28.6	28.3
<b>Barômetro</b>	mbar	944	944	944	941	944	944	944	944	944
<b>Temperatura de admissão</b>	°C	27.87	28.51	29.58	28.47	29.06	28.84	28.32	28.23	28.85
<b>Temperatura do Combustível</b>	°C	30.59	32.89	32.68	36.14	32.9	35.97	33.3	35.71	38.39
<b>Densidade do Combustível</b>	g/L	841.20	839.54	839.69	837.20	839.53	837.32	839.24	837.51	835.58
<b>Consumo</b>	g/s	1.35	2.84	2.77	2.55	2.33	2.19	1.97	1.73	1.46
<b>Consumo específico</b>	g/kWh	471.2	230.5	186.2	211.7	209.5	209.2	211.6	208.2	227.4
<b>Fator de correção <math>\alpha C</math></b>	-	1.09	1.09	1.10	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09
<b>Pontos corrigidos</b>	Unidade	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
<b>Rotação - Motor</b>	rpm	2351.09	2189.81	2243.44	1766.55	1584.17	1461.42	1288.37	1116.22	920.47
<b>Torque</b>	N.m	140.48	645.07	759.44	781.73	804.92	819.08	829.59	830.71	798.85
<b>Potência</b>	kW	10.38	44.39	53.53	43.39	40.06	37.61	33.58	29.13	23.10

Na figura 2, observamos as curvas de desempenho do motor do trator, através da demanda de potência, torque, consumo horário e consumo específico. É possível analisar a potência desenvolvida na TDP do trator em detrimento da velocidade de rotação do mesmo, em diferentes faixas de rotação e torque.

Porém, a região próxima e após à máxima potência apresenta pouca exatidão e precisão devido a falta de repetição do ensaio, na qual não foi possível devido a COVID-19, que resultou na suspensão das atividades presenciais da faculdade. E também, deveríamos ter coletado mais pontos nesta região crítica, que ocasionou em curvas pouco precisas. O comportamento qualitativo das curvas está adequado, porém não possui precisão na transição. O motivo desta imprecisão é indeterminado, pois só fizemos um único ensaio e com isto não temos dados comparativos para outras calibrações e condições de ensaio.

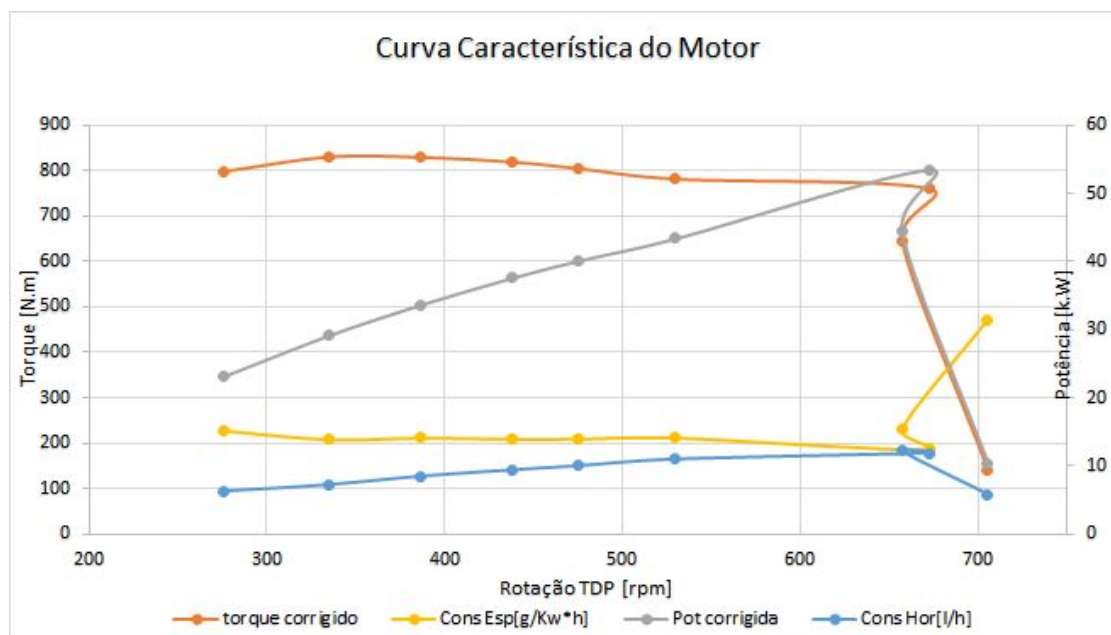


Figura 2. Curva de desempenho do trator Massey Ferguson modelo MF 265.

## Conclusões

Conforme apresentado no decorrer do projeto, a aplicação da norma para a condução dos ensaios, bem como para retificação dos dados coletados, foi seguida, porém, devido às dificuldades causadas pela atual pandemia de COVID-19, o gráfico de desempenho do motor não ficou com as curvas similares às do exemplo citado na figura 2, pois não foi possível fazer repetições do ensaio, que são exigidas pela norma OECD (2017).

Foi realizada a construção das curvas de desempenho do motor agrícola do trator MF 265, que nos forneceu dados sobre o motor em questão, e com isto é possível analisar as curvas e trabalhar com as faixas de rotação e torque nas quais o motor apresenta menor consumo de combustível específico e maior potência gerada.

## Bibliografia

FORASTIERE, P. R. **Desempenho operacional de um conjunto trator-semeadora-adubadora em plantio direto da soja**. 2019. 90 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2019.

MONTANHA, Gustavo Kimura et al. CONSUMO DE COMBUSTÍVEL DE UM TRATOR AGRÍCOLA NO PREPARO DO SOLO. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 26, n. 1, p.39-51, 2011.

PELOIA, P. R.; MILAN, M. Proposta de um sistema de medição de desempenho aplicado à mecanização agrícola. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 4, p. 681–691, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v30n4/12.pdf>>. Acesso em 28 nov. 2019.

SIEMENS, J. C; BOWERS. W. W. Machinery management: how to select machinery to fit the real needs of farm managers. **Farm Business Management (FMB) series**, East Moline: John Deere Publishing, 1999.

SILVEIRA, M.; JOSÉ, D. F.; SCHLOSSER, F.; LINARES, P.; PAULO, J. Fuel consumption efficiency of an agricultural tractor equipped with continuously variable transmission. **Ciência Rural**, v. 47, n. 6, p. 1–7, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20160814>>. Acesso em 28 nov. 2019.