

NOTA TÉCNICA

DESENVOLVIMENTO DE UMA PLANILHA ELETRÔNICA PARA A DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA DISPONÍVEL NA BARRA DE TRACÇÃO DE TRATORES AGRÍCOLAS

Fabio Lúcio Santos¹, Haroldo Carlos Fernandes², Paula Cristina N. Rinaldi³

RESUMO

Neste trabalho, desenvolveu-se uma planilha eletrônica, implementada a partir de um algoritmo desenvolvido em Visual Basic, para determinação da potência disponível na barra de tração. Adotou-se um procedimento que permite determinar da força de tração, velocidade, potência disponível na barra de tração, consumo horário, consumo específico, patinagem e coeficiente de tração do trator ensaiado. Possibilita, ainda, o cálculo da potência disponível na barra de tração, considerando regra baseada no “Fator 0,86”, proposta por Wendel Bowers, equação de rendimento de tração e a norma ASAE D497 – 4. Essa planilha pode ser considerada como uma ferramenta eficiente e rápida para análises relativas à potência disponível na barra de tração de um trator.

Palavras-chave: ensaio, tratores, simulação.

ABSTRACT

Developing an electronic sheet for determination of the available draw power in agricultural tractors

In this study, an electronic sheet was developed and implemented from algorithm developed in Visual Basic, in order to determine the available draw power. The adopted procedure allows for determination of the traction force, speed, available draw power, fuel consumption, specific fuel consumption, skidding, and tractor traction coefficient. Besides, it allows for calculating the available draw power, by considering the “Factor 0,86”, based rule proposed by Wendel Bowers, traction yield equation and the rule ASAE D497 – 4. This electronic sheet can be considered as a fast and efficient tool for those analysis related to the drawbar effective power in the tractor.

Keywords: trial, tractors, simulation.

¹Eng. Agrícola, Doutorando, DEA – UFV, Bolsista CAPES, Viçosa – MG. E-mail: ffabiolss@yahoo.com.br

² Eng. Agrícola, Prof. Adjunto, UFV – DEA, Viçosa/MG. E-mail: haroldo@ufv.br

³Eng. Agrícola, DEA – UFV, Viçosa – MG.

INTRODUÇÃO

A barra de tração é um dos meios de aproveitamento da potência do trator e destina-se a desenvolver força, a qual é comumente direcionada para tração de máquinas e implementos, que necessitam ser deslocados ao longo da área de trabalho. A potência disponível na barra de tração pode ser determinada, a partir do ensaio na barra de tração, sendo este realizado em pista de concreto para tratores de pneus (Mialhe, 1996). A partir deste ensaio, pode-se obter parâmetros quantitativos relativos à força de tração, velocidade, consumo específico, patinagem e potência disponível na barra de tração.

Segundo Liljedahl et al. (1995), a transmissão de potência por meio da barra de tração, embora menos eficiente em relação à tomada de potência e ao sistema hidráulico, é a forma mais comum de utilização do trator agrícola devido sua versatilidade. Fatores como o tipo de solo, a geometria do trator e a distribuição de peso sobre os rodados durante a operação contribuem para o baixo desempenho da transmissão de potência por meio da barra de tração, sendo a patinagem o principal motivo para o mesmo.

De acordo com Mialhe (1991), dependendo das condições de operação do trator, as perdas na transmissão de potência do motor para a barra de tração podem atingir altos níveis, comprometendo o desempenho do trator. A tração é, diretamente, influenciada pelo sistema rodado-solo, o qual varia em função do tipo de solo e do pneu empregado, sendo esta influência devida à patinagem (YANAI et al., 1999). A patinagem ocorre, quando existe deslizamento entre a superfície da banda de rodagem e o solo, durante a operação, sendo facilmente visualizada a partir do movimento giratório das rodas motrizes do trator com pequeno ou nenhum avanço das mesmas (Mialhe, 1991; Gamero & Lanças, 1996; Corrêa et al., 1999).

Portanto, torna-se imprescindível conhecer a força e, conseqüentemente, a

potência disponível na barra de tração dos tratores agrícolas, uma vez que, a partir do conhecimento desta potência, pode-se dimensionar implementos adequados à capacidade do trator. Alguns trabalhos têm sido desenvolvidos no sentido de determinar a potência disponível na barra de tração, considerando-se variados tipos e condições de solo, como a regra sugerida por Wendel Bowers conhecida como “Fator 0,86”, a equação do rendimento de tração e a norma ASAE D497 – 4 (2000).

Este trabalho teve, como principal objetivo, a elaboração de uma planilha eletrônica a partir do desenvolvimento de um algoritmo implementado em *Visual Basic*, para a determinação de informações referentes à força de tração, velocidade, potência disponível na barra de tração, consumo horário, consumo específico, patinagem e coeficiente de tração de um trator, a partir de dados relativos ao ensaio na barra de tração do mesmo, bem como possibilitar o cálculo da potência efetiva na barra de tração calculada, considerando a regra do “Fator 0,86” proposta por Wendel Bowers (Santos Filho & Santos, 2001), a equação de rendimento de tração (Mialhe, 1996) e a norma ASAE D497 – 4.

MATERIAL E MÉTODOS

A planilha eletrônica foi desenvolvida a partir da elaboração de programa em *Visual Basic*, considerando-se a entrada de dados referentes às características do trator, bem como informações obtidas durante o ensaio na barra de tração, tais como o tempo de duração do “tiro” (teste em determinada carga), consumo de combustível (mL), número de voltas da roda motora e leitura da célula de carga utilizada. A partir desses dados, pode-se calcular a força de tração (N), velocidade (m/s), potência disponível na barra de tração (kW), consumo horário (L/h), consumo específico (g/kW h), patinagem (%) e coeficiente de tração (%), durante o ensaio de tração, para tratores 4x2 e 4x4.

A planilha eletrônica, para cada carga empregada no ensaio da barra de tração, fornece as curvas de desempenho do trator, relacionando velocidade, potência, patinagem, consumo horário e consumo específico à força na barra de tração do trator ensaiado, além do valor do coeficiente de tração do trator ensaiado, que é definido como a relação entre a máxima tração na barra e o peso dinâmico nas rodas de tração, ou seja, corresponde ao percentual de seu peso traseiro dinâmico que este trator pode tracionar.

Para o cálculo da estimativa da potência efetiva na barra de tração, considerando-se

diferentes tipos e condições de solo, foram implementados os seguintes métodos: regra baseada no “Fator 0,86”, proposta por Wendel Bowers; equação de rendimento de tração; e a norma ASAE D497 – 4, conforme apresentado a seguir.

- **“Fator 0,86”**

A partir das Equações (1) a (6), apresentadas a seguir, pode-se calcular a potência disponível na barra de tração, segundo o método proposto por Wendel Bowers:

$$Pot. TDP = Pot. Motor \times 0,86 \quad (1)$$

$$Pot. Max. BT, concreto = Pot. TDP \times 0,86 \quad (2)$$

$$Pot. Max. BT, solo firme = Pot. Max. BT, concreto \times 0,86 \quad (3)$$

$$Pot. Utilizável, BT, solo firme = Pot. Max. BT, solo firme \times 0,86 \quad (4)$$

$$Pot. Utilizável, BT, solo arado = Pot. Utilizável, BT, solo firme \times 0,86 \quad (5)$$

$$Pot. Utilizável, BT, solo solto = Pot. Utilizável, BT, solo arado \times 0,86 \quad (6)$$

- **Equação de rendimento de tração**

Potência na Barra de Tração (BT), com base no Quadro 2.

$$N_b = N_m \cdot \eta_b, \text{ em que:} \quad (7)$$

η_b = rendimento de tração;

N_b = potência na barra de tração; e

N_m = potência do motor.

O rendimento de tração pode ser determinado considerando o Quadro 1, apresentado abaixo:

Para validação da planilha desenvolvida, foram utilizados dados obtidos a partir de um ensaio na barra de tração, realizado na Universidade Federal de Viçosa, em uma pista plana de concreto. O trator ensaiado foi um Valmet modelo 65id, com aproximadamente 42,66 kW (58 cv) de potência nominal, deslocando-se a 2ª marcha reduzida e 1700 rpm. Um trator Massey Ferguson modelo MF – 265 foi empregado como trator de lastro. Para obtenção da força na barra de tração, foi utilizada uma célula de carga da marca KRATOS, com capacidade de 5.000 kgf, instalada entre os tratores. Para medição do consumo de combustível, foi utilizado um fluxômetro, o qual permitiu quantificar o volume de combustível, gasto durante o teste.

- **Norma ASAE D497 – 4**

$$Potência na TDP = Pot. Nominal \times 0,83 \quad (8)$$

Considerando a potência na TDP obtida a partir da equação (8), pode-se determinar a

Foi estabelecida uma distância de 30 metros para a realização dos testes. Primeiramente foi determinado o número de voltas da rota motora com o trator livre, a partir de uma marcação efetuada no pneu da roda motora. Esta informação foi empregada para o cálculo da patinagem, durante os testes com carga. Foram

estabelecidas 6 cargas, a partir do trator de lastro, conforme indicado no Quadro 3.

Para cada carga, foi obtido o tempo de duração do “tiro” (teste em determinada carga), consumo de combustível (mL), número de voltas da roda motora e leitura da célula de carga correspondente à carga utilizada, conforme apresentado na Figura 1.

Quadro 1. Rendimento de tração para diferentes tipos de solo

Tipo de superfície	η_b, (%)
Concreto	74 – 85
Solo Firme	55 – 64
Solo Arado	47
Solo Solto	40
Solo Argiloso	55
Solo Franco	60 – 65
Solo Arenoso	70

Quadro 2. Norma ASAE D497 – 4 para a determinação da potência na BT

Trator	concreto	Condição do solo		
		firme	arado	fofo
4x2	0,87	0,72	0,67	0,55
4x2 TDA	0,87	0,77	0,73	0,65
4x4	0,87	0,78	0,78	0,70
esteiras	0,87	0,82	0,80	0,78

Quadro 3. Cargas utilizadas no ensaio

Cargas – trator de lastro		
Carga	Marcha	Condição
1	livre (não engrenado)	desligado
2	10 ^a simples	desligado
3	9 ^a simples	desligado
4	7 ^a simples	desligado
5	3 ^a reduzida	ligado
6	2 ^a reduzida	ligado

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Obteve-se uma planilha eficiente e de fácil utilização. Desta forma, análises relativas à potência disponível na barra de tração podem ser efetuadas, com base em dados provenientes do ensaio na barra de tração e/ou com base na regra baseada do “Fator 0,86”, na equação de rendimento de tração e na norma ASAE D497 – 4, conforme abaixo.

Descrição e operação do sistema

A planilha foi estruturada para possibilitar o cálculo dos parâmetros relativos ao ensaio na barra de tração (força de tração, velocidade, potência disponível na barra de tração, consumo horário, consumo específico, patinagem e coeficiente de tração) separadamente da estimativa de potência na barra de tração (regra baseada no “Fator 0,86” proposta por Wendel Bowers, equação de rendimento de tração e a norma ASAE D497 – 4). Na Figura 1, está representada a tela de entrada de dados, obtidos durante o ensaio de tração.

Na Figura 1, observa-se que os dados de entrada, obtidos durante o ensaio na barra de tração, correspondem ao

número de voltas completas e o número de garras complementares entre o início e o fim de cada carga considerada, o tempo (s), o consumo (mL) e a leitura obtida na célula de carga para cada “tiro” considerado.

Na Figura 2, apresenta-se a tela de entrada de dados complementares, em que devem constar a potência do trator ensaiado, o número de garras do pneu, a distância empregada no ensaio, a constante da célula de carga e o número de cargas ensaiadas.

Para o cálculo do coeficiente de tração, é necessário que tal função seja escolhida e que dados como a altura da barra de tração, distância entre eixos, peso traseiro estático e peso dianteiro estático sejam fornecidos, além da escolha adequada do tipo de tração do trator ensaiado, conforme apresentado na Figura 2. O botão “Calcula” possibilita a obtenção da força de tração, velocidade, potência disponível na barra de tração, consumo horário, consumo específico, patinagem e coeficiente de tração durante o ensaio de tração, bem como as curvas que relacionam velocidade, potência, patinagem, consumo horário e consumo específico com força na barra de tração do trator ensaiado são obtidas, automaticamente, conforme apresentado nas Figuras 3 a 7.

Dados de Entrada -- Ensaio na Barra de Tração					
Carga	Voltas Completas	Número de Garras Complementares	T, (s)	Consumo, (ml)	Leitura Célula de Carga
sem carga	7	14	26.35	10.00	0.00
1	7	22	27.44	20.00	0.36
2	8	11	26.98	20.00	0.75
3	8	10	26.53	40.00	0.93
4	8	9	30.63	70.00	3.34
5	9	14	35.60	90.00	3.53
6	15	14	59.08	115.00	3.32

Figura 1. Tela de entrada de dados do ensaio na barra de tração

Dados de Entrada	
Potência Nominal, (cv) =	58
Número de Garras do Pneu =	28
Distância Percorrida no Ensaio, (m) =	30
Constante -- Célula de Carga =	563.84
Número de Cargas Ensaaiadas =	6
Cálculo dos Parâmetros -- Ensaio na Barra de Tração (B. T.)	
<input checked="" type="checkbox"/> Cálculo do Coeficiente de Tração	
<input checked="" type="radio"/> Tração -- 4x2 <input type="radio"/> Tração -- 4x2 TDA <input type="radio"/> Tração -- 4x4	
Altura da Barra de Tração, (m) =	0.4
Distância entre Eixos, (m) =	2.08
Peso Traseiro Estático (PTE), (kgf) =	2070
Peso Dianteiro Estático (PDE), (kgf) =	1250
Calcula	
Cálculo da Potência na Barra de Tração	
<input checked="" type="checkbox"/> Cálculo da Potência Disponível na Barra de Tração	
Métodos:	
<input checked="" type="checkbox"/> Norma ASAE D497 - 4 (2000) <input checked="" type="checkbox"/> Fator "0.86" (W. Bowers) <input checked="" type="checkbox"/> Equação do Rendimento de Tração	
Calcula	
Limpa -- Planilhas	

Figura 2. Tela de entrada de dados complementares

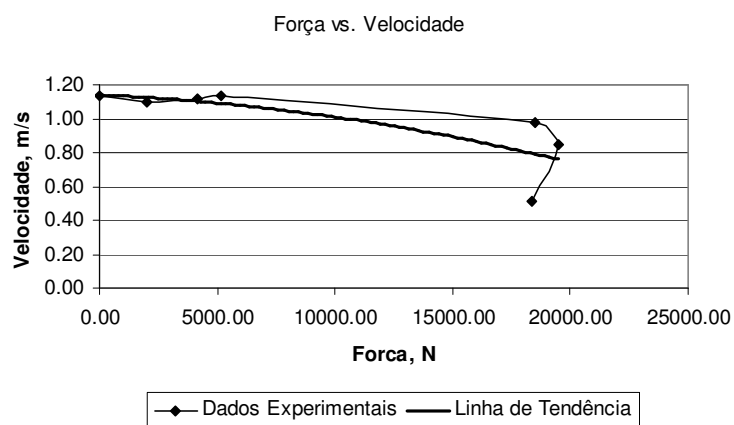


Figura 3. Ensaio na barra de tração – Força vs. Velocidade

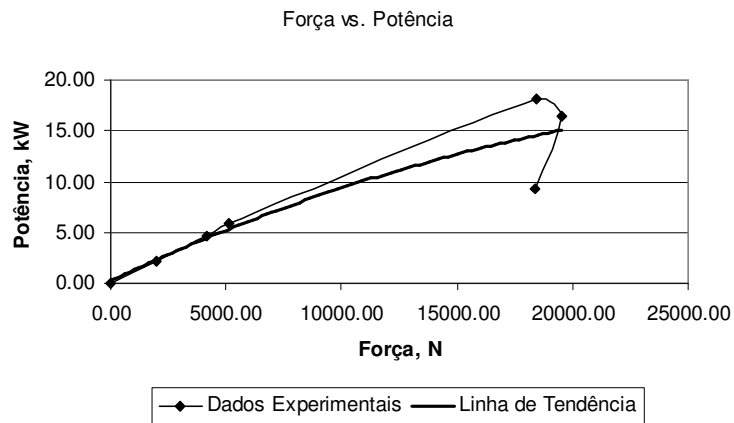


Figura 4. Ensaio na barra de tração – Força vs. Potência

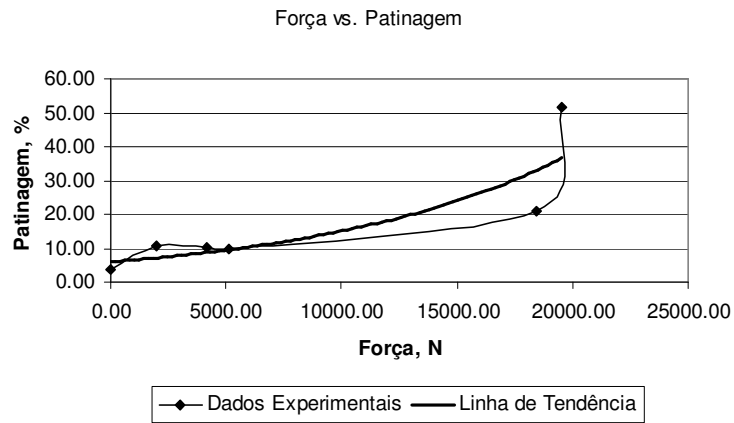


Figura 5. Ensaio na barra de tração – Força vs. Patinagem

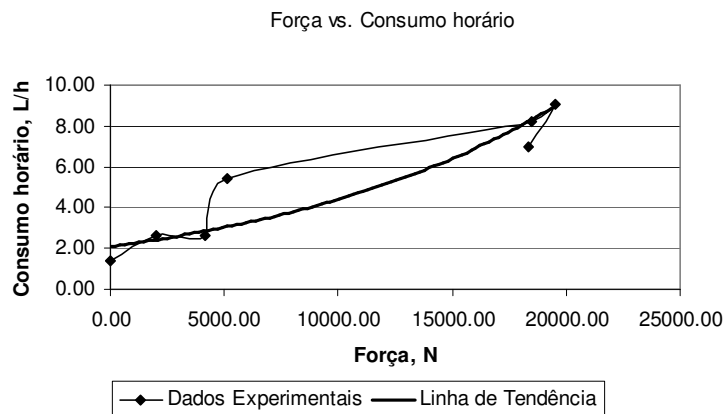


Figura 6. Ensaio na barra de tração – Força vs. Consumo horário

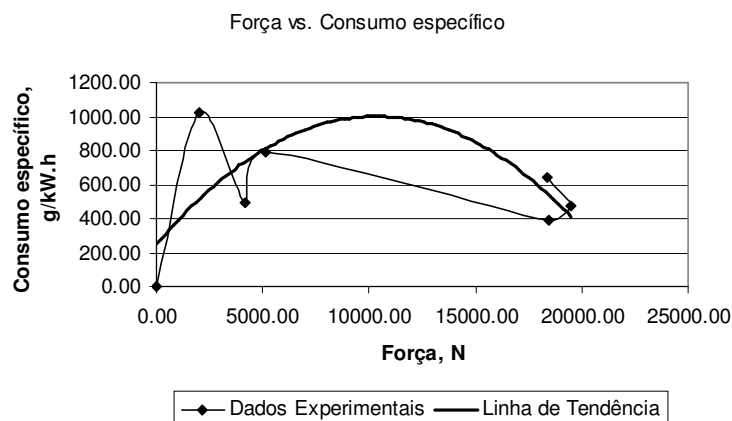


Figura 7. Ensaio na barra de tração – Força vs. Consumo específico

RESULTADOS -- ENSAIO NA BARRA DE TRAÇÃO							
Carga	Força de tração, (N)	Velocidade, (m/s)	Potência disponível, (kW)	Consumo horário, (L/h)	Consumo específico, (g/kW.h)	Patinagem, (%)	Coefficiente de tração, (%)
sem carga	0.00	1.14	0.00	1.37	0.00	0.00	81.15
1	1991.26	1.09	2.18	2.62	1024.48	3.67	
2	4148.45	1.11	4.61	2.67	491.75	10.64	
3	5144.08	1.13	5.82	5.43	793.14	10.26	
4	18474.44	0.98	18.09	8.23	386.48	9.87	
5	19525.38	0.84	16.45	9.10	470.16	21.05	
6	18363.82	0.51	9.32	7.01	638.76	51.61	

Figura 8. Tela de resultados obtidos a partir do ensaio na barra de tração

Potência Disponível na Barra de Tração		
Norma ASAE D497 - 4 (2000)		
	(cv)	(kW)
Potência na TDP =	48.14	35.41
Potência na BT - concreto =	41.88	30.80
Potência na BT - solo firme =	34.66	25.49
Potência na BT - solo arado =	32.25	23.72
Potência na BT - solo solto =	26.48	19.47
Fator "0.86" - W. Bowers		
	(cv)	(kW)
Potência na TDP =	49.88	36.69
Potência, máxima, na BT - concreto =	42.90	31.55
Potência, máxima, na BT - solo firme =	36.89	27.13
Potência, utilizável, na BT - solo firme =	36.89	27.13
Potência, utilizável, na BT - solo arado =	31.73	23.33
Potência, utilizável, na BT - solo solto =	27.28	20.07
Equação do Rendimento de Tração		
	(cv)	(kW)
Potência na BT - concreto =	46.11	33.91
Potência na BT - solo firme =	34.51	25.38
Potência na BT - solo arado =	27.26	20.05
Potência na BT - solo solto =	23.20	17.06
Potência na BT - solo argiloso =	31.90	23.46
Potência na BT - solo franco =	36.25	26.66
Potência na BT - solo arenoso =	40.60	29.86

Figura 9. Tela de resultados de potência disponível na barra de tração

Selecionando o item “Cálculo da Potência Disponível na Barra de Tração” e os métodos adequados (Norma ASAE D497-4, “Fator 0,86”, Equação de Rendimento de Tração), pode-se obter a potência disponível na barra de tração, pressionando-se o botão “Calcula”, conforme apresentado na Figura 2. O botão “Limpa – Planilhas” possibilita que os dados de entrada e os resultados gerados sejam apagados, automaticamente, permitindo que a planilha seja utilizada para novos cálculos e análises.

Nas Figuras 8 e 9 estão representadas as telas de saída de resultados, sendo que na Figura 8 estão os resultados provenientes do ensaio de tração e na Figura 9 as estimativas da potência disponível na barra de tração, por métodos previamente selecionados, no caso específico do trator ensaiado e analisado.

Na Figura 9 pode-se observar uma redução considerável na potência disponível na barra de tração, dependendo do tipo e condição de solo a ser trabalhado. Portanto, para um bom desempenho do conjunto trator-implemento tracionado, deve-se conhecer a potência disponível na barra de tração, bem como a potência requerida pelo implemento para uma maior eficiência no desenvolvimento do trabalho a ser efetuado por tal conjunto.

CONCLUSÕES

A planilha desenvolvida mostrou-se uma ferramenta eficiente e rápida para o cálculo da força de tração, velocidade, potência disponível na barra de tração, consumo horário, consumo específico, patinagem e coeficiente de tração do trator ensaiado. Também possibilita, com versatilidade, o cálculo da potência disponível na barra de tração, considerando-se a regra baseada no “Fator 0,86”, proposta por Wendel Bowers, equação de rendimento de tração e a norma ASAE D497 – 4.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Agricultural machinery management. In: **ASAE standards 2000 standards engineering practices data**. San Joseph, 2000. p. 349 – 357 (ASAE D497 – 4).

CORRÊA, I.M.; MAZIERO, J.V.G.; YANAI, K.; LOPES, A. **Técnicas de determinação da patinagem das rodas motrizes de tratores agrícolas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1999. 15 p. (Boletim Técnico, 179).

GAMERO, C.A.; LANÇAS, K.P. Ensaio e certificação das máquinas de mobilização periódica dosolo. In: Mialhe, L.G. **Máquinas agrícolas: ensaio e certificação**. Piracicaba: CNPq-PADCT/TIBFEALQ, 1996. p. 463-514.

MIALHE, L.G. **Gerência de sistema tratorizado vs operação otimizada de tratores**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1991. 30 p.

MIALHE, L.G. **Máquinas agrícolas: ensaio e certificação**. Piracicaba: CNPq-PADCT/TIBFEALQ, 1996. 722 p.

LILJEDAHL, J.B.; CARLETON, W.M.; TURNQUIST, P.K.; SMITH, D.W. Traction. In: **Traction and their power units**. Connecticut: Avi Publish Company, n.2, 1995. p.219-26.

SANTOS FILHO, A.G.; SANTOS, J.E.G. **Apostila de Máquinas Agrícolas**. Bauru: Universidade Estadual Paulista, UNESP. Faculdade de Engenharia, Departamento de Engenharia Mecânica. Agosto, 2001. 88 p.

YANAI, K.; SILVEIRA, G.M.; LANÇAS, K.P.; CORRÊA, I.M.; MAZIERO, J.V.G. Desempenho operacional de trator com e sem acionamento da tração dianteira auxiliar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.8, p.1427-34, 1999.