

INFLUÊNCIA DO DESGASTE DAS GARRAS DOS PNEUS E DAS CONDIÇÕES SUPERFICIAIS DO SOLO NAS OPERAÇÕES DE CAMPO DE UM TRATOR AGRÍCOLA¹

PAULO ROBERTO JESUINO², KLÉBER PEREIRA LANÇAS³, ANTONIO GABRIEL FILHO⁴ & FABRÍCIO CAMPOS MASIERO⁵

RESUMO: Esse trabalho foi realizado com o objetivo de comparar o desempenho de um trator equipado com pneus diagonais novos e pneus diagonais desgastados (dianteiros 63,4% e pneus traseiros 41,2% de desgaste), em três condições de superfície: pista com solo mobilizado, pista com cobertura vegetal e pista com solo firme. Foram coletados os dados para o cálculo da velocidade de deslocamento, patinagem das rodas traseiras e dianteiras, força de tração, potência disponível na barra de tração e consumo horário de combustível do trator. Os resultados mostraram que tanto as condições dos pneus quanto as condições do solo interferiram na capacidade do trator em desenvolver força de tração, sendo que o pior desempenho obtido foi na pista com solo mobilizado. O melhor desempenho do trator foi na pista com solo firme. Na pista com solo mobilizado os resultados mostraram que a velocidade foi menor, devido à patinagem nos rodados dianteiro e traseiro ter sido maior que na pista com cobertura vegetal como também na pista com solo firme. Os valores de consumo horário de combustível, para o solo mobilizado, foram maiores com relação às pistas com cobertura vegetal e com solo firme. Os níveis estudados de desgaste dos pneus diagonais apresentaram alterações significativas no desempenho do trator na pista de ensaio com solo mobilizado, indicando que, nessa condição, é necessária a substituição desses pneus. Para operações em solo com cobertura vegetal e também em solo firme o desgaste dos pneus não comprometeu o desempenho do trator.

Palavras-chave: Eficiência, força de tração, patinagem, consumo de combustível.

¹ Parte da dissertação de mestrado do 1º autor intitulada: Desempenho de um trator agrícola em função do desgaste das garras dos pneus e das condições superficiais do solo.

^{2, 5} Alunos do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Energia na Agricultura – Departamento de Engenharia Rural FCA/UNESP, Botucatu/SP, Brasil, Rua José Barbosa de Barros, nº 1780, Caixa Postal 237, CEP 18610-307

³ Prof. Titular, Departamento de Engenharia Rural, FCA/UNESP, Rua José Barbosa de Barros, nº 1780, Caixa Postal 237, CEP 18610-307, kplancas@fca.unesp.br

⁴ Co-orientador e docente do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas – UNIOESTE – Cascavel/PR

INFLUENCE OF TIRE LUG WASTE AND SOIL SURFACE CONDITIONS ON FIELD OPERATIONS OF AN AGRICULTURAL TRACTOR

SUMMARY: *The objective of this work was to compare the performance of a tractor equipped with used and new bias-ply tires (63.4% and 41.2%, front and rear tire waste, respectively), in three surface conditions: tillage soil, vegetal covered soil and firm soil. Field data were collected to calculate: forward speed, front and rear slippage tires, drawbar pull, available power at drawbar bar and fuel consumption. Results showed that both, tires and soil conditions, changed tractor capacity on developing drawbar traction. The worst performance was observed on tillage soil. The best performance of the tractor was observed at firm soil track. On the track with tilled soil, results showed that the forward speed was the lowest among the three soil conditions due to the front and rear slippage tires which was higher than vegetal covered and firm soil tracks. Fuel consumption results showed higher values on tilled tracks when compared with firm and vegetal covered tracks. The fuel consumption levels evaluated on bias-ply tires lead to significant changes on tractor's performance at tilled soil, indicating that, at this condition, it's necessary to replace the used tires by new tires. For vegetal covered soil operations, and also on firm soil conditions, used tires, at studied levels, indicated that these tires might still be used without tractor performance changing.*

Keywords: *Efficiency, drawbar traction, slippage tires, fuel consumption.*

1 INTRODUÇÃO

Os rodados pneumáticos de um trator agrícola possuem diversas funções importantes, tais como permitir o equilíbrio, deslocamento, direcionamento, desempenho operacional e amortecimento entre as irregularidades do solo e o trator. Esses rodados influenciam o desempenho operacional do trator em função do tipo de construção, da pressão de inflação, da carga aplicada, do tipo de tração e do desgaste.

A capacidade de tração e fornecimento de potência suficiente para desempenhar a maioria das operações necessárias na agricultura depende, em parte, do tipo de dispositivo de tração. Nos casos em que esses dispositivos são pneumáticos, o tamanho, a pressão de inflação, a carga aplicada sobre o eixo motriz e a transferência de peso, entre outros, interferem na capacidade de tração do trator (ZOZ e GRISSO, 2003).

Várias são as situações e condições que podem influenciar na tração e algumas das principais são as propriedades e as condições da superfície do solo. Dentre as condições do solo que afetam a eficiência

de tração de um trator agrícola pode-se mencionar a sua textura, o teor de água e o tipo de cobertura existente sobre esse solo (YANAI et al., 1999 e GABRIEL FILHO et al., 2004).

O desempenho na barra de tração de um trator depende, primariamente, da potência do motor, da distribuição de peso sobre os rodados, da altura e posição dos engates da barra e da superfície do solo (ASAE D497.4, 1999). A eficiência no uso dessa força é limitada pela ação dos dispositivos de tração, que nos tratores agrícolas, geralmente, são rodas pneumáticas (WISMER e LUTH, 1974; SRIVASTAVA et al., 1996; CORREA et al., 2000; ZOZ et al., 2002 e ZOZ e GRISSO, 2003)

As avaliações diretas do desempenho de tratores em condições de campo são obtidas através da instrumentação e monitoramento dos mesmos, permitindo assim a determinação de fatores diretamente relacionados com a eficiência de trabalho do trator (SILVA e BENEZ, 1997; CORDEIRO, 2000; SILVA et al., 2001).

Conforme Herzog et al. (2002), nos tratores agrícolas a patinagem dos rodados ocorre devido a diversos fatores, entre eles o esforço de tração necessário para deslocar determinado implemento e o tipo de superfície que está em contato com a banda de rodagem dos pneus motrizes. A declividade e teor de água do solo também afetam a patinagem das rodas motrizes do trator (LANÇAS e UPADHYAIA, 1997).

Para que ocorra tração é necessário que exista patinagem, entretanto, se esta ultrapassar determinados limites, pode ocorrer perda da aderência e redução da tração dos rodados (LANÇAS e UPADHYAIA, 1997). A patinagem das rodas motrizes nos tratores pode ser obtida através da diferença entre as suas rotações com e sem carga no trator, representando os percursos do trator tracionando um implemento e aquele nas mesmas condições sem o implemento (MIALHE, 1996; CORRÊA et al., 1999 e SCHLOSSER et al., 2004).

Conforme Jenane et al. (1996), dependendo da superfície do solo, o menor consumo de combustível será obtido quando a patinagem estiver entre 10 e 30%. Entretanto, conforme a ASAE EP496.2 (1999) em solos firmes, o melhor desempenho dos tratores ocorre quando a patinagem está entre 8 e 10 %.

Na implantação de culturas agrícolas, o consumo de combustível varia como uma função de vários fatores tais como: adequação e condição do conjunto trator-implemento, profundidade da operação, tipo e condição de solo, tempo de manobras e, principalmente, do número de operações agrícolas adotadas no processo de produção (CORRÊA et al., 1999; CORDEIRO, 2000; NAGAOKA et al., 2002).

Em vista do exposto, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o desempenho de um trator agrícola equipado com um conjunto de pneus diagonais novos e outro conjunto de pneus diagonais desgastados, operando em três condições superficiais de solo (pistas): solo mobilizado, solo com cobertura vegetal (restos da cultura de milho) e solo firme e em quatro velocidades de deslocamento (quatro marchas diferentes).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material

O experimento foi desenvolvido na Fazenda Experimental Lageado, pertencente à Faculdade de Ciências Agrárias – FCA, da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - UNESP, Campus de Botucatu, Estado de São Paulo.

Os ensaios foram realizados no NEMPA – Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus agroflorestais, do Departamento de Engenharia Rural, da Faculdade de Ciências Agrônômicas – FCA, em três pistas de campo com 400 metros de comprimento e 20 metros de largura, totalizando 24.000 m² de área. As pistas tinham declividade de 0,3% no sentido do comprimento e niveladas na largura. As coordenadas geográficas da área experimental, onde estão as pistas são: 22°51'S e 48°25'W e a altitude do local é de 770m. O solo da área experimental (pistas), classificado por Carvalho et. al. (1983), e de acordo com a Embrapa (1999), é um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico com relevo plano e textura argilosa.

As pistas foram definidas e preparadas com o objetivo de caracterizá-las conforme as condições pré-estabelecidas.

Pista de solo mobilizado: Para a mobilização do solo nesta área foi efetuada uma dessecação da vegetação existente e após uma escarificação com rolo destorroador para romper a camada compactada e, em seguida, utilizou-se uma grade média para acabamento final. A resistência à penetração no solo nesta pista, para uma profundidade de 0 a 15 cm foi um Índice de Cone de 750 kPa.

Pista com cobertura vegetal: foi obtida deixando-se os resíduos da colheita da cultura do milho e pela infestação de plantas invasoras (braquiária) que germinaram durante a fase final de produção do milho. A resistência à penetração no solo nesta pista, para uma profundidade de 0 a 15 cm, apresentou um Índice de Cone de 1684 kPa.

Pista de solo firme: para esta pista foram realizadas dessecações da vegetação presente na área e depois utilizada uma moto niveladora para laminar e uniformizar a superfície e retirar os restos da vegetação. O Índice de Cone dessa área, para uma profundidade de 0 a 15 cm, foi de 3629 kPa.

Todos os ensaios de tração foram realizados com um trator marca John Deere, SLC modelo 6600, com 88 kW de potência no motor, operando a 2300 rpm, com a tração dianteira auxiliar ligada. Para aferição da massa do trator foi utilizada uma balança de plataforma, marca J-Star Eletronics modelo 6000, com capacidade para 3000N e precisão de 1%. O trator foi pesado com todos os lastros metálicos e com 75% de água nos pneus, conforme a recomendação de lastragens metálica e líquida do fabricante. Na Tabela 1 estão apresentados os valores da massa do trator.

Tabela 1 – Massa do trator John Deere 6600 equipado com pneus diagonais novos e desgastados.

RODADO	PNEU NOVO		PNEU DESGASTADO	
	(kg)	(%)	(kg)	(%)
Dianteiro	2.756	41	2.746	41
Traseiro	3.967	59	3.951	59
TOTAL	6.723	100	6.697	100

Foram utilizados dois conjuntos de pneus, tanto para os rodados traseiros quanto para os dianteiros, sendo um dos conjuntos composto por pneus diagonais novos e o outro com pneus diagonais desgastados, conforme apresentado na Tabela 2. Os ensaios foram realizados com pressões de inflação dos pneus de 82,7 kPa (12 psi) nos rodados traseiros e 110 kPa (16 psi) no dianteiro, a lastragem manteve a proporção de 59% da massa do trator sobre o eixo traseiro.

Tabela 2 - Características dos pneus diagonais novos e desgastados utilizados nos ensaios.

	Fabricante	Código	Largura (mm)	Diâmetro externo (mm)	Raio estático (mm)	Circunferência de rolamento (mm)	
Dianteiro	Goodyear	Dina Torque II	14.9-26	378	1316	615	3982
Traseiro	Goodyear	Dina Torque II	23.1-30	602	1722	775	5106

Para a coleta de amostragem do solo, determinações do seu teor de água, da densidade das suas partículas, da sua granulometria e dos seus limites de Atterberg, foram utilizados os materiais descritos em Kiehl (1979) e Embrapa (1997). Para determinar a resistência do solo à penetração foi utilizada a Unidade Móvel de Amostragem de Solo – UMAS composta pelo: Penetrômetro Hidráulico-Eletrônico e Amostrador de Solo, conforme descrito em Lanças (2006), que possibilitou o cálculo do Índice de Cone.

Para a aquisição e monitoramento dos sinais obtidos pelos sensores instalados nos rodados pneumáticos, na tomada de potência, no sistema de alimentação de combustível e na barra de tração foi utilizado um painel com instrumentos eletrônicos indicadores e um indicador de força instantânea tipo “MICRO-P”. Esses sinais também foram enviados para um coletor de dados - Datalogger “CR23X - micrologger” da CAMPBELL SCIENTIFIC.

Para obtenção da força de tração na barra do trator foi utilizada a Unidade Móvel de Ensaio na Barra de Tração – UMEB pertencente ao NEMPA, que operou como um carro dinamométrico instrumentado, utilizado na avaliação de desempenho de trator submetido a ensaio de tração.

O valor da força solicitada na barra de tração foi coletado através de uma célula de carga marca SODMEX, modelo N400, com sensibilidade de 2,16 mV/V e escala nominal de 100 kN. Essa célula foi instalada no cabeçalho da UMEB para permitir um controle da força de tração necessária para o deslocamento da unidade móvel de acordo com a força desejada para os ensaios.

A determinação da patinagem das quatro rodas do trator foi realizada utilizando-se geradores de pulsos, modelo GIDP-60-U-12V, com uma frequência de 60 pulsos por volta.

A medição do consumo horário de combustível foi feita com um fluxômetro volumétrico M-III, da FLOWMATE fabricado pela OVAL Corporation do Japão, modelo LSN41L8-M2, vazão de 1 mL/pulso.

As medidas das garras dos pneus foram obtidas utilizando-se de um medidor de garras construído no NEMPA – FCA/UNESP.

2.2 Métodos

Durante a realização dos ensaios foram coletadas amostras deformadas de solo com dez repetições por faixa, sendo que as amostragens de teor de água do solo foram obtidas nas camadas de 0 a 10 cm. Foi utilizado o método gravimétrico padrão, com base na massa de solo seco em estufa numa temperatura de 105 a 110°C até massa constante, de acordo com EMBRAPA (1997).

Utilizou-se o método do anel volumétrico para se determinar a densidade do solo, realizado em amostras retiradas na camada de 0 a 10 cm de profundidade, conforme descrito em EMBRAPA (1997).

As amostras de solo foram coletadas nas pistas de ensaios antes da preparação do solo, sendo retiradas dez amostras por faixa e acondicionadas em cápsulas de alumínio, lacradas com fita plástica até a sua chegada ao laboratório. Para se obter a resistência de penetração do solo foram realizadas dez repetições por parcela, de forma aleatória, na camada de 0 a 15 cm, utilizando a Unidade Móvel de Amostragem do Solo – UMAS. Essas medições foram realizadas logo após o término dos ensaios efetuados em cada pista.

A granulometria e os limites de Atteberg foram obtidos seguindo a metodologia da EMBRAPA (1997), com dez amostras retiradas de cada uma das pistas, misturadas, homogeneizadas e enviadas ao laboratório. As garras dos pneus foram medidas segundo a ASAE S296.4 (1999) utilizando um medidor de garra (Figura 1), sendo os dados apresentados na Tabela 3.



Figura 1 - Medição da altura das garras dos pneus dianteiro e traseiro desgastados.

Tabela 3 – Dimensões da altura das garras dos pneus diagonais utilizados.

Modelos	Altura da garra (mm)					Média	Desgaste (%)
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4			
Goodyear Dina Torque II							
Dianteiro	NOVO	41	41	41	40	41	0
	DESGASTADO	14	16	16	14	15	63,4
Traseiro	NOVO	51	50	50	51	51	0
	DESGASTADO	29	31	31	30	30	41,2

Todos os dados gerados pelos sensores instalados no trator e na UMEB foram armazenados no coletor com uma frequência de aquisição de 2 Hz. Foram desenvolvidas rotinas de leitura, aquisição e armazenamento de dados para o Datalogger CR 23X, utilizando o programa computacional PC208. Para a alimentação de todos os equipamentos e sensores eletrônicos foi utilizado uma bateria automotiva chumbo-ácido de 12VDC e capacidade de 45 Ah. Foram monitoradas e registradas a força de tração, a rotação das rodas traseiras e dianteiras do trator, as velocidades de deslocamento e o consumo horário do combustível.

A massa total da UMEB durante os ensaios foi de 8.000 kg, sustentados por um conjunto de quatro rodados duplos. A unidade foi acoplada ao trator através de um cabeçalho com uma célula de carga, onde um sistema de frenagem pneumático permitiu obter uma força de tração estável, necessária para a realização dos ensaios. Os sinais gerados pela célula de carga foram armazenados no coletor de dados e posteriormente transferidos para um computador para serem analisados. Com os valores obtidos, a força de tração média foi determinada pela Equação 1:

$$F_m = \frac{\sum_{i=1}^n F_i}{t_p} \quad (1)$$

onde:

F_i = força de tração instantânea ($\text{kN}\cdot\text{s}^{-1}$)

F_m = força de tração média (kN)

t_p = tempo de percurso na parcela (s)

O valor de 25 kN adotado em todos os ensaios como força de tração constante, foi ajustado e controlado através da pressão aplicada no sistema de frenagem da UMEB e monitorado através de um indicador eletrônico de força instantânea, instalado nesta unidade.

A velocidade média de deslocamento foi determinada cronometrando-se o tempo necessário para percorrer cada parcela de 25 metros de comprimento e calculada de acordo com a Equação 2. Em cada extremidade da parcela foi colocada uma baliza para permitir a cronometragem no momento exato em que o trator iniciasse e terminasse o percurso e os valores de velocidade foram expressos em $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$.

$$V_m = \frac{s}{t} \quad (2)$$

onde:

V_m = velocidade média

s = espaço percorrido (m)

t = tempo decorrido (s)

Com os sinais recebidos dos geradores de pulsos instalados nos rodados, dianteiro e traseiro e utilizando a Equação 3, foi possível determinar a patinação tanto nas rodas dianteiras como nas rodas traseiras. Esses geradores foram ligados ao painel indicador e ao coletor de dados através de um cabo elétrico, onde foram efetuadas as medições do número de pulso total obtido em cada parcela e em cada roda.

$$Pat = \frac{N1 - N0}{N0} \quad (3)$$

onde:

Pat = patinação das rodas motrizes (%)

$N0$ = Número de pulsos sem carga

$N1$ = Número de pulsos com carga

A potência disponível na barra de tração foi calculada em função da força de tração e da velocidade de deslocamento, conforme a Equação 4:

$$Pb = \frac{Fm \times V}{3,6} \quad (4)$$

onde:

Pb = potência na barra (kW)

Fm = força de tração média (kN)

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

Os pulsos gerados pelo fluxômetro volumétrico foram convertidos em volume, considerando a vazão de 1 mL/pulso. O cálculo do consumo horário foi feito de acordo com a Equação 5:

$$Ch = \frac{Np \times 3,6}{t} \quad (5)$$

onde:

CH = consumo horário (L.h⁻¹)

Np = número de pulso do medidor de combustível

t = tempo de percurso da parcela (s)

Foi utilizado o delineamento experimental em faixas (PIMENTELGOMES, 1982; BANZATTO e KRONKA, 1995 e PIMENTEL-GOMES e GARCIA, 2002), denominadas pistas e definidas pelas três condições da superfície do solo (mobilizado, com cobertura vegetal e firme).

Em cada pista foram dispostos os tratamentos em blocos ao acaso com um arranjo fatorial de 2x4, definidos pelos dois tipos de pneus (diagonal novo e diagonal desgastado) e quatro condições de deslocamento distinguidas pela mudança de marchas, perfazendo oito tratamentos com três repetições em cada faixa, totalizando 72 unidades experimentais.

Os tratamentos foram definidos em função das condições dos pneus e da marcha escolhida no trator e estão representados na Tabela 4. No console do trator as marchas A3, B1, B2 e C1 correspondiam às velocidades de 4, 5, 7 e 8 km.h⁻¹, respectivamente, selecionadas por serem as mais utilizadas em operações de campo (preparo do solo, semeadura, cultivo e pulverização). Em todos os ensaios e marchas o trator operou com uma rotação do motor de 2300 rpm, sendo a recomendada pelo fabricante.

Tabela 4 – Descrição dos tratamentos compostos pela marcha (A3, B1, B2 e C1) e pelas condições dos pneus (pneu diagonal novo - PN e pneu diagonal desgastado - PD).

TRAT.	DESCRIÇÃO	TRAT.	DESCRIÇÃO
A3PN	1ª marcha com pneu novo	A3PD	1ª marcha com pneu desgastado
B1PN	2ª marcha com pneu novo	B1PD	2ª marcha com pneu desgastado
B2PN	3ª marcha com pneu novo	B2PD	3ª marcha com pneu desgastado
C1PN	4ª marcha com pneu novo	C1PD	4ª marcha com pneu desgastado

Na tabela 5 estão apresentados os dados do solo nas pistas no período de realização dos ensaios.

Tabela 5 – Caracterização do solo: Pista 1 - solo mobilizado, Pista 2 - solo com cobertura vegetal e Pista 3 - solo firme.

Característica		Pista 1	Pista 2	Pista 3
Areia (%)		42,83	42,12	41,01
Silte (%)		18,87	16,92	17,11
Argila (%)		38,30	40,96	41,88
Limite de liquidez (%)		33,45	31,76	31,99
Limite de plasticidade (%)		25,81	26,16	25,32
Densidade dos sólidos (g.cm ⁻³)		3,00	3,10	2,99
Teor de água (%)*	0 – 10 cm	19,09	21,85	19,46
	10 – 20 cm	19,81	22,01	19,78
Teor de água (%)**	0 – 10 cm	19,31	19,74	18,85
	10 – 20 cm	20,00	20,13	20,05
Índice de cone (kPa)	0 – 15 cm	750,00	1.684,00	3.629,00
Massa de matéria seca (kg.ha ⁻¹)		-	10.089,00	-

*Teor de água avaliado durante o ensaio com pneus diagonais desgastados.

**Teor de água avaliado durante o ensaio com pneus diagonais novos.

Os valores obtidos nos ensaios foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 6, os valores do teste F, mostraram que os resultados da comparação entre blocos apresentaram diferenças significativas para todas as variáveis estudadas (velocidade, patinagem, consumo horário de combustível e potência na barra) excetuando-se a força de tração, mostrando que o sistema de

frenagem da UMEB, realmente forneceu uma força de tração constante para o trator. Entre os tratamentos houve variação significativa para a velocidade, o consumo horário de combustível e a potência disponível na barra de tração. Na interação dos blocos com os tratamentos não houve diferença significativa entre os parâmetros analisados.

Nas condições da superfície do solo, definidas pelas pistas, houve variação significativa da velocidade, do consumo horário de combustível, da força de tração e da potência disponível na barra. A análise de variância para a interação entre os blocos e as pistas apresentou diferença significativa na patinagem do rodado dianteiro, na patinagem do rodado traseiro e na força de tração. Na interação do tratamento com as pistas, os resultados mostraram que houve variação significativa para a velocidade, o consumo horário de combustível e a potência disponível na barra.

Esses resultados mostraram que o desempenho do trator pode ser alterado pelos tratamentos compostos entre as marchas, os pneus e pelas condições superficiais do solo (pistas), pois a maioria das variáveis relacionadas com o desempenho apresentou diferenças significativas, concordando com os resultados obtidos nos estudos realizados por Cordeiro (2000).

Tabela 6 - Valores do teste F para a velocidade de deslocamento (V), patinagem do rodado dianteiro (PTd), patinagem do rodado traseiro (PTt), consumo horário de combustível (CO), força de tração (TR) e potência disponível na barra de tração (PO) em relação aos fatores de variação bloco, tratamento (TRAT) e condições da superfície do solo (PISTA).

Fonte	V	PTd	PTt	CO	TR	PO
BLOCO	10,65**	58,72**	62,09**	23,33**	2,37	7,25**
TRAT.	19,24**	0,45	0,32	16,65**	0,56	15,38**
BLOCOS*TRAT.	1,25	0,59	0,55	1,22	0,80	0,84
PISTA	78,75**	1,31	0,89	43,61**	4,84	72,79**
BLOCOS*PISTA	1,94	3,42*	4,14**	2,51	2,74	2,48
TRAT.*PISTA	51,79**	0,96	1,07	41,97**	1,19	40,65**

*Significativo a 5%.

**Significativo a 1%.

Na Tabela 7, estão apresentados os resultados dos ensaios realizados em cada condição de superfície do solo: pista 1 – solo mobilizado; pista 2 – solo com cobertura vegetal e pista 3 – solo firme.

Na pista 1, de solo mobilizado, os resultados mostraram que a velocidade, nesta condição, foi a menor entre as três condições de solo, sendo esse resultado justificado pela patinagem no rodado dianteiro ter sido, na média, 48,76% maior do que na pista 2 – solo com cobertura vegetal e 120,42% maior que na pista 3 – solo firme. Com relação ao rodado traseiro, a patinagem média foi 48,02% maior nesta pista em relação a pista 2 e maior 117,61% em comparação à pista 3. Analisando os dados de consumo horário de

combustível na pista 1, este foi 18,97% maior com relação à pista 2 e 19,33% maior em relação à pista 3. Os dados de potência na barra de tração não mostraram uma diferença significativa entre as pistas 1 – solo mobilizado e pista 2 – solo com cobertura vegetal; porém, essa diferença foi significativa entre as pistas 2 e 3 e 4,20% menor em relação a pista 3, confirmando que esses resultados foram obtidos em função da maior patinagem nos rodados dianteiros e traseiros, para essa condição (pista 1 – solo mobilizado).

Tabela 7 – Valores médios de velocidade (V), patinagem do rodado dianteiro (PTd), patinagem do rodado traseiro (PTt), consumo horário de combustível (CO), força de tração e potência disponível na barra de tração (PO) na pista 1 – solo mobilizado; pista 2 – solo com cobertura vegetal e pista 3 – solo firme.

PISTA	V (km.h ⁻¹)	PTd (%)	PTt(%)	CO (L.h ⁻¹)	Tração (kN)	PO (kW)
1	4,44 b	15,65 a	15,69 a	19,57 a	25,52	31,42 b
2	4,58 a	10,52 b	10,60 b	16,45 b	25,13	31,99 b
3	4,75 a	7,10 c	7,21 c	16,40 b	25,29	33,32 a

Médias com letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

As análises de resistência do solo à penetração mostraram que, a pista 3, obteve os maiores valores de índice de cone (3629 kPa), a pista 2, alcançou valor intermediário (1684 kPa) e a pista 1, obteve os menores valores (750kPa). Observou-se que quanto maiores os valores de índice de cone observados na camada superficial do solo menor é a resistência ao rolamento e o recalque dos pneumáticos do trator no solo, evidenciado pelos menores valores de patinagem dos rodados observados e maiores valores de potência disponível na barra de tração conforme foi maior o valor de índice de cone da superfície.

No solo com cobertura vegetal – pista 2, os resultados mostraram uma patinagem média menor que os valores encontrados no solo mobilizado, confirmando a interferência direta da cobertura vegetal na interação rodado/solo. Com relação ao consumo horário de combustível não houve diferença significativa dos resultados ao se comparar a pista 2 com a 3; porém, foi significativa e menor 18,97 % comparado à pista 1. Com relação à potência disponível na barra a diferença de resultado para esta pista foi 4,20% menor do que para a pista 3, e não apresentou diferença significativa em relação à pista 1.

Para o solo firme - pista 3, os resultados mostraram-se favoráveis ao desempenho do trator com maior velocidade de deslocamento do que na pista 1, menor patinagem nos rodados dianteiro e traseiro, menor consumo horário de combustível do que na pista 1 e maior potência disponível na barra de tração. Os estudos desenvolvidos por Corrêa et al. (2000), mostraram resultados semelhantes aos obtidos neste trabalho.

Esses resultados mostraram também que as condições da superfície do solo podem alterar o esforço tratório de equipamentos agrícolas e influenciar no desempenho do trator, pois a tração está diretamen-

te relacionada com a patinação nos rodados, ou seja, diferentes condições de superfície resultam em diferentes condições de patinação do rodado do trator. Esses resultados estão de acordo com os relatados por Mialhe (1996), Lanças e Upadhyaya (1997) e Herzog (2002).

Os valores médios dos resultados dos ensaios obtidos em função das condições dos pneus, realizados nas três pistas estão apresentados na Tabela 8.

Nos ensaios na pista 1 - solo mobilizado, as diferenças dos resultados médios de velocidade não foram significativas; porém, a velocidade média com o pneu novo foi 1,14% maior que a velocidade média do pneu diagonal desgastado. As diferenças dos resultados na patinação, tanto para os rodados dianteiros como para os traseiros, foram significativas entre si, sendo que os pneus desgastados apresentaram valores 19,97% maiores para os rodados dianteiros e de 24,79% para os rodados traseiros. Os valores médios da patinação dos rodados dianteiros (15,64%) e traseiros (15,69%) ficaram de acordo com os valores percentuais recomendados pela ASAE EP496.2 (1999) para um melhor desempenho do trator. Com relação aos resultados de consumo horário de combustível e potência disponível na barra as diferenças foram significativas entre as variáveis pelo teste de Tukey a 5%. Esses resultados mostraram que para os pneus novos, devido à diminuição da patinação dos rodados, dianteiro e traseiro houve um aumento de 1,14% na velocidade média, resultando um aumento no consumo horário de combustível de 3,33% e um ganho de potência disponível na barra de tração de 3,37%, em relação aos pneus desgastados.

Na pista 2 – solo com cobertura vegetal, os resultados dos ensaios mostraram que não houve variação estatisticamente significativa para a patinação dos rodados dianteiros, consumo horário de combustível e potência disponível na barra de tração. As diferenças dos resultados para patinação dos rodados traseiros foram significativas entre si e 8,89% maior para os pneus desgastados. Para o parâmetro velocidade houve diferença significativa entre os pneus novos e os pneus desgastados podendo ser explicada pela diferença de diâmetros entre os pneus.

Esses resultados mostraram que os pneus desgastados apresentaram valores 3,32% maiores para a velocidade e uma tendência de decréscimo no consumo horário de combustível e acréscimo na potência disponível na barra de tração. Esses valores indicaram que, na pista 2, os pneus desgastados tiveram um desempenho melhor que os pneus novos. Isto pode ser justificado pelo fato dos pneus desgastados apresentarem uma maior área de contato com a superfície de rodagem, em função da maior facilidade de contato das garras na cobertura vegetal, permitindo uma interferência do corpo do pneu (fundo das garras) com essa superfície, aumentando sensivelmente a real área de contato entre o pneu e a superfície, o que pode não ter ocorrido com os pneus novos em função da maior altura das garras. Esses resultados mostraram que, a colocação de pneus novos em um trator, nem sempre, é garantia de um melhor desempenho operacional do conjunto moto-mecanizado.

Na pista 3 - solo firme, os resultados estatísticos mostraram diferenças significativas entre as velocidades de deslocamento, patinagem dos rodados dianteiros e traseiros, consumo horário de combustível e potência disponível na barra. Os resultados dos pneus desgastados foram 3,65% maior para a velocidade; 38,65% menor para a patinagem dos rodados dianteiros; 23,22% menor para a patinagem dos rodados traseiros; 12,73% menor para o consumo de horário de combustível e 3,60% maior para a potência disponível na barra de tração. Para esta pista, os resultados também foram favoráveis aos pneus desgastados, com um desempenho melhor do que os pneus diagonais novos. Esses resultados confirmam aqueles obtidos na pista 2 – com cobertura vegetal, uma vez que também houve uma maior área de contato pneu/superfície para os pneus desgastados, em função da forma construtiva (conicidade) da garra ao longo de sua altura.

Os resultados dos ensaios na pista 2 - solo com cobertura vegetal e na pista 3 - solo firme, mostraram que os percentuais de desgaste dos rodados dianteiros (63,4%) e dos rodados traseiros (41,2%) provocaram modificações nos parâmetros estudados e relacionados com o desempenho do trator (velocidade de deslocamento, patinagem no rodado dianteiro e traseiro, consumo horário de combustível, potência disponível na barra de tração) indicando que as modificações na área de contato pneu/superfície, no raio de rolamento, na resistência ao rolamento e na capacidade tratória influíram os resultados.

Tabela 8 – Valores médios da velocidade (V), da patinagem do rodado dianteiro (PTd), patinagem do rodado traseiro (PTt), da força de tração, consumo horário de combustível (CO) e potência disponível na barra de tração (PO), nas pistas 1; 2 e 3 em função das condições dos pneus.

Tratamento	V (km.h ⁻¹)	PTd (%)	PTt (%)	Tração (kN)	CO (L.h ⁻¹)	PO (kW)
Pista 1 – solo mobilizado						
Pneu Novo	4,45 a	14,22 b	13,96 b	25,78	17,35 a	31,94 a
Pneu Desgastado	4,40 a	17,06 a	17,42 a	25,26	16,79 b	30,90 b
Pista 2 – solo com cobertura vegetal						
Pneu Novo	4,51 b	10,24 a	10,12 b	25,29	17,07 a	31,71 a
Pneu Desgastado	4,66 a	10,80 a	11,07 a	24,96	15,74 a	32,28 a
Pista 3 – solo firme						
Pneu Novo	4,66 b	8,25 a	7,96 a	25,30	17,44 a	32,74 b
Pneu Desgastado	4,83 a	5,95 b	6,46 b	25,27	15,47 b	33,92 a

Médias com letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05) para cada uma das pistas.

Os resultados da análise de variância da Tabela 9, mostraram que as diferenças dos dados de velocidade de deslocamento para a 1ª, 3ª e 4ª marcha foram significativas entre os pneus novos e desgastados e não significativas entre si na 2ª marcha.

Os valores médios de patinagem dos rodados dianteiros e traseiros, não apresentaram diferenças estatísticas significativas em função do desgaste das garras dos pneus, nas quatro marchas analisadas.

O desgaste das garras dos pneus ensaiados não influenciou estatisticamente os resultados do consumo horário de combustível, para a 1ª e 2ª marcha; porém, os valores médios dos resultados desse consumo foram estatisticamente diferentes para a 3ª e 4ª marcha. O resultado da potência disponível na barra de tração, só foi significativo, pela análise de variância, para as condições de desgaste dos pneus para a 1ª marcha.

Tabela 9 – Valores médios da velocidade (V), da patinagem do rodado dianteiro (PTd), patinagem do rodado traseiro (PTt), da força de tração, consumo horário de combustível (CO) e potência disponível na barra de tração (PO) em função das marchas do trator e das condições dos pneus.

Tratamento	V (km.h ⁻¹)	PTd (%)	PTt (%)	Tração (kN)	CO (L.h ⁻¹)	PO (kW)
1ª Marcha (A3)						
Pneu Novo	3,43 b	10,73 a	10,78 a	25,22	13,39 a	24,02 b
Pneu Desgastado	3,50 a	11,60 a	12,53 a	25,28	13,82 a	24,55 a
2ª Marcha (B1)						
Pneu Novo	3,76 a	10,35 a	10,03 a	25,47	15,07 a	26,61 a
Pneu Desgastado	3,79 a	10,98 a	10,82 a	24,98	14,49 a	26,30 a
3ª Marcha (B2)						
Pneu Novo	5,10 b	10,90 a	11,39 a	25,68	19,75 a	36,36 a
Pneu Desgastado	5,28 a	10,89 a	11,47 a	25,35	17,27 b	37,24 a
4ª Marcha (C1)						
Pneu Novo	5,87 b	11,64 a	10,53 a	25,46	21,76 a	41,51 a
Pneu Desgastado	5,95 a	11,63 a	11,78 a	25,34	18,42 b	41,36 a

Médias com letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05) para cada marcha.

4 CONCLUSÕES

- Os níveis de desgaste dos pneus diagonais, respectivamente de 63,4% para os dianteiros e 41,2% para os traseiros, provocaram alterações significativas no desempenho do trator na pista 1 - solo mobilizado, indicando que, para esse nível de desgaste, torna-se necessário um estudo econômico que complemen-

te as informações obtidas visando permitir uma análise detalhada da necessidade ou não de substituição dos pneus; porém na pista 3 - com solo firme e pista 2 - solo com cobertura vegetal o conjunto de pneus desgastados ainda pode ser utilizado sem alterações de desempenho do trator.

- Os resultados médios dos ensaios para as três pistas utilizadas mostraram que o melhor desempenho do trator aconteceu na pista de solo firme, pista 3, fornecendo maior velocidade de deslocamento, menor patinagem nos rodados dianteiros e traseiros, menor consumo horário de combustível e maior potência disponível na barra de tração, para ambos os pneus utilizados (desgastados e novos).

- Os resultados na pista de solo mobilizado, pista 1, mostraram que esta condição superficial de solo foi responsável pelo pior desempenho do trator.

- As condições superficiais do solo, das três pistas, interferiram diretamente na relação entre o rodado e o solo, sendo que nas condições específicas estudadas da pista 2 - solo com cobertura vegetal, os resultados mostraram uma interferência positiva da cobertura vegetal no desempenho do trator.

5 REFERÊNCIAS

ASAE S296.4 DEC95 Uniform terminology for traction of agricultural tractors, self-propelled implements, and other traction and transport devices. In: ASAE Standards: standards engineering practices data. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 119-121p. 1999.

ASAE EP 496.2 DEC98. Agricultural Machinery Management. In: ASAE Standards: standards engineering practices data. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 353-358p. 1999.

ASAE D 497.4. Agricultural Machinery Management Data. In: ASAE Standards: standards engineering practices data. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 359 - 366p. 1999.

BANZATTO, D.A., KRONKA, S.E. Experimentação agrícola. 3 ed. Jaboticabal: Funep, 247p. 1995.

CARVALHO, W.A.; ESPÍNDOLA, C.R.; PACCOLA, A.A. Levantamento de solos da Fazenda Lageado - Estação Experimental "Presidente Médici". Boletim Científico da Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, Botucatu, n.1, p.1-85, 1983.

CORDEIRO M.A.L. Desempenho de um trator agrícola em função do pneu, da lastragem e da velocidade de deslocamento. Botucatu, UNESP-FCA, 2000. 153p. Tese (Doutorado em Agronomia - AC Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, 2000.

CORRÊA, I. M. , LANÇAS, K. P. , MAZIERO, J. V. G., YANAI, K. Desempenho operacional de trator 4x2 (aux.) com pneus radiais de baixa pressão e diagonais com a tração dianteira desligada. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE INGENIERIA AGRÍCOLA, X, 2000, Guanajuato, México. *Anales...* Guanajuato: ALIA, 2000. CD-ROM.

CORRÊA, I. M. ; YANAI, Kiyoshi ; MAZIERO, José Valdemar Gonzalez ; LANÇAS, K. P. . Determinação da circunferência de rolamento de pneus agrícolas utilizando dois métodos: manual e eletrônico. *Bragantia*, Campinas, v. 58, n. 1, p. 179-184, 1999.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPq, 212p. 1997.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: Embrapa, 412p. 1999.

GABRIEL FILHO, A., SILVA, S. L., MODOLO, A. J., SILVEIRA, J.C. Desempenho de um trator operando em solo com diferentes tipos de cobertura vegetal. *Engenharia Agrícola*. Jaboticabal. V. 24, n. 3, p.781-789, 2004.

HERZOG, R. L. S., LEVIEN, R., BEUTLER, J. F., TREIN, C. R. Patinagem das rodas do trator em função da profundidade do sulcador e doses de resíduos sobre o solo na semeadura da soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002. Salvador. *Anais...* Salvador: UFB, 2002. CD-ROM.

JENANE, C., BASHFORD, L. L., MONROE, G. Reduction of fuel consumption through improved tractive performance. *Journal of Agricultural Engineering Research*. (1996) Ed. 64 p. 131 – 138.

KIEHL, E. J. *Manual de edafologia*. São Paulo: CERES, 1979, 267p.

LANÇAS, K. P., UPADHYAYA, S. K. Pneus radiais para tratores. Guia para a seleção correta da pressão de inflação. *Energia na Agricultura*, FCA/UNESP, Botucatu, 1997. 33p. Boletim Técnico nº 1.

LANÇAS, K. P. Nova Ferramenta. *Cultivar Máquinas*, no 49, p.26 – 28, 2006.

MIALHE, L. G. *Maquinas Agrícolas – Ensaio & Certificação*. Piracicaba: Fundação de estudos agrários Luiz de Queiroz, 1996, 723 p.

NAGAOKA, A. K., NOMURA, R. H. C., BRÖRING, N., KITANO, N., JASPER, S. P. Avaliação do consumo de combustível, patinagem e capacidade de campo operacional na operação de semeadura da cultura de aveia preta (*Avena strigosa*) em três sistemas de manejo do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002. Salvador. Anais... Salvador: UFB, 2002. CD-ROM.

PIMENTEL-GOMES, F. Curso de estatística experimental. 10 ed. Piracicaba: Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1982. 430p.

PIMENTEL-GOMES, F., GARCIA, C. H. Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: Exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba: Fealq, 2002. 309p.

SCHLOSSER, José Fernando, LINARES, Pilar and MARQUEZ, Luis. Influence of the kinematics advance on the traction efficiency of the front wheel assist tractor. *Ciência. Rural*, vol.34, nº.6, p.1801-1805, 2004.

SILVA, S.L., BENEZ, S.H. Construção de um sistema de aquisição de dados para avaliação do desempenho energético de máquinas e implementos agrícolas em ensaios de campo. *Energia na agricultura. Botucatu*, v.12, n.3, p.10-18, 1997.

SILVA, S. L., RICIÉRI, R. P., PEREIRA, J. O., BENEZ, S.H. Sistemas de aquisição de dados para ensaios de campo: comparação da força de tração média obtida com micrologger 21x e milivoltímetro na operação de escarificação. In: IV CONGRESSO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA, 6, Chillán. Anales...Chillán: 2001.

SRIVASTAVA, A.K., GOERING, C.E., ROHRBACH, R.P. Tractor hitching, traction and testing. In: *Engineering principles of agricultural machines*. 3 ed. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, p.117-145, 1996.

WISMER, R.D. & LUTH, H.J. Off-road traction prediction for wheeled vehicles. *Transactions of the ASAE*, v.17, n.1, p. 8-14, 1974.

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.

ZOZ, F. M., R. L. TURNER, L. R. SHELL. Power delivery efficiency: A valid measure of belt and tire tractor performance. Transactions of the ASAE, v.45, p.509-518. 2002.

ZOZ, F., GRISSO, R.D. Traction and tractor performance. St Joseph: Asae. 2003. 46p.