

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONOMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**DESEMPENHO DE UM TRATOR AGRÍCOLA EM FUNÇÃO DO
DESGASTE DAS GARRAS DOS PNEUS E DAS CONDIÇÕES
SUPERFICIAIS DO SOLO**

PAULO ROBERTO JESUINO

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU-SP
FEVEREIRO – 2007

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONOMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**DESEMPENHO DE UM TRATOR AGRÍCOLA EM FUNÇÃO DO
DESGASTE DAS GARRAS DOS PNEUS E DAS CONDIÇÕES
SUPERFICIAIS DO SOLO**

PAULO ROBERTO JESUINO

Orientador: Kléber Pereira Lanças

Co-orientador: Antonio Gabriel Filho

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp - Campus de Botucatu, para
obtenção do título de Mestre em Agronomia (Energia
na Agricultura).

BOTUCATU-SP
FEVEREIRO – 2007

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO -
SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO
UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

J58d Jesuino, Paulo Roberto, 1956-
Desempenho de um trator agrícola em função do desgaste das garras dos
pneus e das condições superficiais do solo/ Jesuino Paulo Roberto. -
Botucatu : [s.n.], 2007.
xi, 64 f. : il., color., tabs.

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2007
Orientador: Kléber Pereira Lanças
Co-orientador : Antonio Gabriel Filho
Inclui bibliografia

1. Tratores agrícolas. 2. Maquinas agrícolas - tração. 3. Tratores - Pneus.
4. Patinagem. I. Lanças, Kléber Pereira. II. Gabriel Filho, Antonio.
III. Universidade Estadual Pau- lista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de
Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. IV. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: “DESEMPENHO DE UM TRATOR AGRÍCOLA EM FUNÇÃO DO
DESGASTE DAS GARRAS DOS PNEUS E DAS CONDIÇÕES
SUPERFICIAIS DO SOLO”**

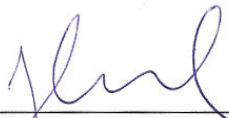
ALUNO: PAULO ROBERTO JESUINO

ORIENTADOR: PROF. DR. KLÉBER PEREIRA LANÇAS
CO-ORIENTADOR: PROF. DR. ANTONIO GABRIEL FILHO

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. KLÉBER PEREIRA LANÇAS



PROF. DR. ULISSES ROCHA ANTUNIAS



PROF. DR. ALBERTO KAZUSHI NAGAOKA

Data da Realização: 28 de fevereiro de 2007.

OFERECIMENTO

À DEUS sob todas as coisas !

À minha esposa Claudia

e aos meus filhos Daniel e Aline

pelo carinho, compreensão e paciência que tiveram
em todo tempo desta pesquisa.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Kléber Pereira Lanças e ao Prof. Dr. Antonio Gabriel Filho pelas orientações firmes e seguras, além do apoio, amizade, dedicação e paciência.

Ao amigo e Prof. Dr. Saulo Philipe Sebastião Guerra pela colaboração, incentivo, apoio, atenção e amizade.

Aos amigos do curso de Pós Graduação de Energia na Agricultura: Cristiano Alberto de Paula, Juan Acosta Bonin, Fabrício Leite, Leonardo de Almeida Monteiro.

À supervisão, encarregados, operadores e aos funcionários das Fazendas de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNESP, Campus de Botucatu, sempre atenciosos aos nossos pleitos e que nos deram todo apoio necessário e trabalharam incansavelmente na construção das pistas de ensaios para o bom andamento da pesquisa.

Aos técnicos do Departamento de Engenharia Rural da UNESP, Botucatu que nos auxiliaram na determinação das características físicas do solo, calibração, testes e aferição dos equipamentos e sensores utilizados nos ensaios.

Aos encarregados e funcionários do Setor de Manutenção na confecção de suportes e acessórios utilizados na pesquisa.

Às secretárias do Departamento de Engenharia Rural pela solicitude e presteza no atendimento.

Às funcionárias da Seção de Pós-Graduação da Faculdade de Agronomia da UNESP, Botucatu, pela paciência, consideração e apoio recebidos.

À Coordenação do Curso de Pós Graduação em Agronomia, área de concentração Energia na Agricultura, Departamento de Engenharia Rural e Faculdade de Ciências Agronômicas pela oportunidade de execução deste trabalho.

Enfim, a todas as pessoas, instituições e empresas que, de uma forma ou de outra contribuíram para a realização deste trabalho de pesquisa.

SUMÁRIO

1 RESUMO	1
2 SUMMARY	3
3 INTRODUÇÃO.....	5
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
4.1 Mecânica da força de tração	8
4.2 Desempenho do trator.....	11
4.3 Desempenho dos pneus	13
4.4 Patinagem	14
4.5 Consumo de combustível	16
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	18
5.1 MATERIAL.....	18
5.1.1 Local do experimento	18
5.1.1.1 Pista de solo mobilizado.....	19
5.1.1.2 Pista de solo com cobertura vegetal.....	19
5.1.1.3 Pista de solo firme	20
5.1.1.4 Demarcação da área.....	20
5.1.2 Trator	22
5.1.3 Balança de plataforma	22
5.1.4 Pneus.....	23
5.1.5 Amostragem e caracterização física da área experimental.	23
5.1.6 Resistência do solo à penetração	24
5.1.7 Sistema de aquisição de dados.....	24
5.1.8 Força de tração na barra.....	25
5.1.9 Patinagem do rodado do trator.....	26
5.1.10 Consumo de combustível	27
5.2 MÉTODOS.....	27
5.2.1 Determinação do teor de água do solo.....	27
5.2.2 Determinação da densidade do solo	28

5.2.3 Determinação da resistência do solo à penetração.....	28
5.2.4 Determinação da granulometria do solo e limites de Atteberg.....	28
5.2.5 Medição das garras dos pneus	28
5.2.6 Sistema de aquisição de dados.....	29
5.2.7 Força de tração na barra.....	30
5.2.8 Velocidade de deslocamento.	30
5.2.9 Patinagem do rodado do trator.....	31
5.2.10 Potência disponível na barra de tração.	31
5.2.11 Consumo horário do combustível.....	32
5.2.12 Delineamento experimental.....	32
5.2.13 Descrição dos tratamentos.	33
5.2.14 Pré-ensaios.....	35
5.2.15 Tratamento estatístico dos dados.....	35
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
6.1 Resultado Geral obtido nas três pistas.....	36
6.2 Resultados obtidos em cada pista.....	37
6.2.1 Resultados obtidos para as quatro marchas do trator.....	39
6.2.2 Resultados obtidos em função dos desgastes das garras dos pneus.....	42
6.3 Resultados obtidos para as quatro marchas do trator em cada pista.....	44
6.4 Resultados obtidos para as quatro marchas do trator em função do nível de desgaste dos pneus.....	47
7 CONCLUSÕES	48
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50
APÊNDICES	55

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
1 – Massa do trator John Deere 6600 equipado com pneus diagonais novos e desgastados.....	23
2 – Características dos pneus diagonais novos e desgastados utilizados nos ensaios..	23
3 – Dimensões da altura das garras dos pneus diagonais utilizados.....	29
4 – Descrições dos tratamentos compostos pela marcha (A3, B1, B2 e C1) e pelas condições dos pneus (pneu diagonal novo - PN e pneu diagonal desgastado - PD)	33
5 – Caracterização do solo: Pista 1 - solo mobilizado, Pista 2 - solo com cobertura vegetal e Pista 3 - solo firme	34
6 - Valores do teste F para velocidade (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).	37
7 – Valores médios de velocidade (V), patinagem do rodado dianteiro (PTd), patinagem do rodado traseiro (PTt), consumo horário de combustível (CO), força de tração (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.	38
8 – Valores médios de velocidade (V), patinagem do rodado dianteiro (PTd), patinagem do rodado traseiro (PTt), força de tração (Tração), consumo horário de combustível (CO) e potência na barra de tração (PO) em função da marcha, no solo mobilizado.	40
9 – Valores médios de velocidade (V), patinagem do rodado dianteiro (PTd), patinagem do rodado traseiro (PTt), força de tração (Tração), consumo horário de combustível (CO) e potência disponível na barra de tração (PO) em função da marcha, no solo com cobertura vegetal.	41
10 – Valores médios de velocidade (V), patinagem do rodado dianteiro (PTd), patinagem do rodado traseiro (PTt), força de tração (Tração), consumo horário de combustível (CO) e potência disponível na barra de tração (PO) em função da marcha, no solo firme.	42
11 – Valores médios de velocidade (V), patinagem do rodado dianteiro (PTd), patinagem do rodado traseiro (PTt), força de tração (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.....	44

- 12 – 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) na 1ª marcha (A3) do trator em função das pistas 1, 2 e 3..... 45
- 13 – 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) na 2ª marcha (B1) do trator em função das pistas 1, 2 e 3..... 45
- 14 – Valores médios de velocidade (V), patinagem do rodado dianteiro (PTd), patinagem do rodado traseiro (PTt), força de tração (Tração), consumo horário de combustível (CO) e potência disponível na barra de tração (PO) na 3ª marcha (B2) do trator em função das pistas 1, 2 e 3..... 46
- 15 – Valores médios de velocidade (V), patinagem do rodado dianteiro (PTd), patinagem do rodado traseiro (PTt), força de tração (Tração), consumo horário de combustível (CO) e potência disponível na barra de tração (PO) na 4ª marcha (C1) do trator em função das pistas 1, 2 e 3..... 46
- 16 – Valores médios de velocidade (V), patinagem do rodado dianteiro (PTd), patinagem do rodado traseiro (PTt), força de tração (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..... 47

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1 – Forças que atuam em uma roda deformável em solo solto,(ZOZ & GRISSO, 2003)..	9
2 – Vista aérea da área experimental.	20
3 – Pista 1 - Solo mobilizado.....	21
4 – Pista 2 - Solo com cobertura vegetal.	21
5 – Pista 3 - Solo firme.	22
6 – Vista geral da Unidade Móvel de Amostragem de Solo – UMAS; à esquerda e Penetrômetro Hidráulico Eletrônico operando; à direita.....	24
7 – Sistema de monitoramento e coleta de dados, composto pelo Micrologger CR23X e painéis com indicadores eletrônicos.....	25
8 – Conjunto trator e Unidade Móvel para Ensaio de Tração - UMEB.	25
9 – Célula de carga marca SODMEX, modelo N400.....	26
10 – Geradores de pulsos instalados no trator para determinar a patinação dos rodados.	26
11 – Fluxômetro volumétrico para medição do consumo de combustível.	27
12 – Medição da altura das garras dos pneus dianteiro e traseiro desgastados.....	29
13 – Croqui da área experimental, sem escala, representando as pistas, a disposição dos tratamentos em cada uma delas, as dimensões da área, das pistas e das parcelas.....	34

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE	Página
1. Rotinas de leitura, aquisição e armazenamento de dados para o Datalogger CR23X, utilizando o programa computacional PC208	58
2. Dados originais obtidos nos ensaios Pneus Diagonais Novos.	61
3. Dados originais obtidos nos ensaios Pneus Diagonais Desgastados.....	63

1 RESUMO

Esse trabalho foi realizado com o objetivo de comparar o desempenho de um trator equipado com pneus diagonais novos e pneus diagonais desgastados, em três condições de superfície: pista com solo mobilizado, pista com cobertura vegetal e pista com solo firme. Foi utilizado o delineamento experimental em faixas, sendo que em cada faixa (pista) foram dispostos os tratamentos em blocos ao acaso, com um arranjo fatorial de 2x4, definidos pelos dois conjuntos de pneus diagonais (novos e desgastados) e quatro condições de deslocamento, distinguidas pela mudança de marcha do trator, totalizando oito tratamentos, com três repetições cada, perfazendo 72 unidades experimentais.

Foram coletados os dados para o cálculo da velocidade de deslocamento, patinagem das rodas traseiras e dianteiras do trator e consumo horário de combustível. Também foram coletados os dados de força de tração, sendo calculada a potência disponível na barra de tração em função da velocidade de deslocamento. Foi utilizado como carro dinamométrico a Unidade Móvel de Ensaio na Barra de Tração – UMEB, pertencente ao Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agroflorestais - NEMPA, do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrônômicas – FCA da UNESP, Campus de Botucatu - SP.

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 o

pior desempenho obtido na pista com solo mobilizado. O melhor desempenho do trator foi na pista com solo firme; porém, na pista com cobertura vegetal ocorreram as melhores condições de força de tração do trator em relação ao solo mobilizado, mostrando que a presença da cobertura vegetal entre o rodado e o solo interferiu diretamente na relação rodado/solo.

Na pista com solo mobilizado os resultados mostraram que a velocidade foi a menor entre as três condições de solo, devido a patinagem no rodado 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 dados de potência disponível na barra de tração foram estatisticamente iguais nas pistas de solo mobilizado e no solo com cobertura vegetal; porém, esses resultados foram menores que os resultados da pista de solo firme.

Em função do desgaste dos pneus dianteiros (63,4%) e dos pneus traseiros (41,2%), o resultado da velocidade média na pista com solo mobilizado, para o pneu diagonal novo, foi maior que a velocidade média do pneu diagonal desgastado, pois a patinagem do rodado dianteiro e traseiro com pneus diagonais desgastados foi maior quando comparado com os pneus diagonais novos. Na pista com cobertura vegetal os resultados de velocidade e potência disponível na barra de tração, para os pneus diagonais desgastados foram maiores que os pneus diagonais novos e menores para o consumo horário de combustível. Na pista com solo firme os pneus diagonais desgastados apresentaram: velocidade maior, menor patinagem no rodado dianteiro e traseiro, menor consumo horário de combustível e maior potência disponível na barra de tração.

Os níveis de desgaste dos pneus diagonais estudados provocaram alterações significativas no desempenho do trator na pista 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, nos níveis estudados, indicou que esses pneus ainda podem ser utilizados, sem que haja comprometimento do seu desempenho.

PERFORMANCE ANALYSIS OF AN AGRICULTURAL TRACTOR DUE TO TIRE LUNGS CONSUMPTION AND SOIL CONDITIONS. Botucatu, 2006. 64p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: PAULO ROBERTO JESUINO
Adviser: KLÉBER PEREIRA LANÇAS
Co-adviser: ANTONIO GABRIEL FILHO

2 SUMMARY

The objective of this work was to compare the performance of a tractor equipped with used and new bias-ply tires, operating in three surface conditions: tillage soil, vegetal covered soil and firm soil. The experimental design were tracks and, in each track, treatments were disposed in blocks to the chance in a 2x4 factorial arrangement, defined by the two groups of tires (used and new bias-ply) and four speed conditions, distinguished by tractor's gear change, totaling eight treatments, with three repetitions each, completing 72 experimental units.

There were collected data to calculate: speed, front and rear tires slippage and fuel consumption. There were also collected data of traction strength to calculate available power at traction bar versus speed. The dynamometric car used was the Mobile Drawbar Test Unit – UMEB, owned by the Facility of Agricultural and Forestry Tires and Machines Assays (NEMPA) of Rural Engineering Department in the Agronomics Science College – FCA, UNESP, Botucatu campus.

Results showed that both, tires and soil conditions, changed tractor capacity on developing traction strength. The worst performance was observed on the tillage soil. On the track with soil covered with vegetal residues, occurred better tractor traction strength conditions than on track with tillage soil, showing the presence of vegetal cover between tire and soil interfered directly on the tires/soil relation ship.

On the track with tillage soil, results showed that the forward speed was the lowest among the three soil conditions due to the front and rear tires slippage which is higher than vegetal covered and firm soil tracks. Fuel consumption results showed higher values on tilled tracks when comparing with firm and vegetal covered tracks. Data of available power at the drawbar were statistically equal on tilled and vegetal-covered soil tracks, however, the values were inferior than the ones collected on firm soil track.

Due to the fact of front and back tire being consumed (63.4% and 41.2%, respectively), the average speed on tillage soil was lower than the speed developed by new bias-ply tires, due to the higher slippage rates on front and back consumed bias-ply tires.

On vegetal covered track, the forward speed and available power at drawbar, were higher for used bias-ply tires than on the new bias-ply tires and the fuel consumption results were lower. On the track with firm soil used bias-ply tires presented: higher forward speed, lower front and back tires slipping rates, lower fuel consumption and higher available power at the drawbar.

The 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: bias-ply tires, traction strength, tires slippage.

3 INTRODUÇÃO

A intensificação do uso de máquinas agrícolas, no Brasil, começou a partir da década de 60, fruto do processo de modernização da agricultura, sendo o trator agrícola considerado o eixo da mecanização na agricultura moderna. Em relação ao trabalho manual, o uso do trator agrícola reduziu de forma significativa a carga física à qual o trabalhador encontrava-se submetido, tornando-se responsável por uma parcela significativa do aumento da capacidade de produção agrícola e, por outro lado, também pelo aumento do consumo de energia nas atividades de campo.

Considerando que, numa propriedade agrícola, a utilização do trator é muito diversificada, a busca otimizada de seu desempenho se justifica, principalmente quando levamos em conta que o tráfego de máquinas pesadas é um fator negativo para a maioria das operações agrícolas, podendo provocar compactação do solo como também aumento no consumo de energia.

Os rodados pneumáticos de um trator agrícola possuem diversas funções importantes tais como permitir 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. O tipo de solo, o teor de água, a

cobertura e a declividade do solo em que são submetidos influenciam tanto na qualidade, como na quantidade dos serviços executados no campo.

Os pneus agrícolas são um dos principais componentes do trator e da maioria das máquinas agrícolas, tendo relevante importância nos custos operacionais de campo e, principalmente, nos custos finais de sua fabricação, podendo chegar até a um terço do seu valor final.

Um trator equipado com pneus adequados para diferentes condições superficiais de solo, resulta em melhor desempenho geral com conseqüente aumento da capacidade operacional, aumento da vida útil, melhor qualidade de serviço, menor custo e ainda preserva as condições estruturais do solo.

Dentro de uma economia global, na qual se insere a agricultura brasileira, a importância e a difusão de informações são essenciais para tomada de decisões, principalmente quando estão relacionadas a otimização da relação custo/benefício. Entretanto, pesquisas que informem em nível nacional, novas técnicas que possam ser incorporadas nas atividades operacionais de campo como melhorias estratégicas, são limitadas, embora sejam de fundamental importância para a redução de alguns fatores dos custos da produção agrícola.

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).

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A transformação da energia química contida nos combustíveis, em energia mecânica, possibilita que um trator possa fornecer energia através da tomada de potência ou por meio de seu sistema hidráulico; porém, é através da barra de tração que a utilização dessa energia gerada é mais comum, pois permite tracionar máquinas e implementos agrícolas (SRIVASTAVA et al., 1996).

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, a transferência de peso, entre outros, interferem na capacidade de tração do trator (ZOZ & GRISSO, 2003).

Como ocorre em todo sistema de transmissão de energia, no sistema de transmissão de potência do motor para a barra de tração existem perdas que, dependendo das condições de operação do trator, podem atingir níveis bastante comprometedores de seu desempenho. Nas avaliações de perda de potência efetuadas por Zoz (1987), nos diferentes mecanismos do trator e diferentes condições de solo para tratores 4x2 estas podem variar de 20% em pistas de concreto até 53 % em solo solto.

Várias são as situações e condições que podem influenciar na tração, e uma das principais são as propriedades e a condição 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 o mesmo (YANAI et al., 1999).

Outro ponto importante na avaliação do desempenho do trator e que está relacionado com o desempenho na barra de tração é o consumo de combustível. Conforme Jenane et al. (1996), dependendo da superfície do solo, o menor consumo de combustível é obtido quando a patinagem está entre 10 e 30%. Entretanto, a ASAE EP496.2 (1999) relata que, em solos firmes, o melhor desempenho de trator ocorre quando a patinagem está entre 8 e 10%.

Devido ao complexo conjunto de fatores que envolvem a interação do rodado com o solo, vários estudos e modelos foram propostos visando avaliar a eficiência de tração, procurando quantificar ou avaliar esses mecanismos de interação rodado-solo. Em seus estudos, Wismer & Luth (1974) desenvolveram uma equação largamente utilizada para avaliar a eficiência de tração, em condições de campo, para pneus de constituição diagonal. Visando aperfeiçoar a equação de Wismer & Luth, várias alterações foram propostas ao longo dos anos por vários autores. A equação de Brixius (1987) tem sido a mais utilizada e adotada pela American Society of Agricultural Engineers (ASAE D497. 4, 1999).

4.1 Mecânica da força Tração

De acordo com a definição da ASAE S296. 4 (1999), a tração pode ser definida como a força, na mesma direção e sentido do deslocamento, produzida por um trator na barra de tração. O desempenho na barra de tração de um trator depende, primariamente, da potência do motor, da distribuição de peso sobre os rodados, 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 (SRIVASTAVA et al., 1996).

Uma roda em movimento pode ser considerada de três maneiras distintas: movida, quando há somente uma força externa para seu deslocamento não existindo torque em seu eixo; autopropelida, quando seu eixo possui torque suficiente apenas para o seu deslocamento e motriz, quando esta desenvolve tração (WISMER & LUTH, 1974). Segundo

esses autores, a passagem de uma situação para outra ocorre em função do aumento da patinagem, que será positivo quando houver torque na roda e o desenvolvimento de tração, sendo que essa capacidade de tração na roda motriz aumenta com a patinagem, até atingir um valor máximo.

O estudo da interação de uma roda no solo pode ser realizado considerando: roda sólida sobre superfície sólida, roda deformável em superfície sólida e roda deformável em superfície não sólida, sendo esta última a condição real de trabalho que se encontra no campo (ZOZ & GRISSO, 2003). Em seus estudos, Brixius (1987) e Zoz et al. (2002) explicaram que, na condição de roda deformável em superfície não sólida, o torque aplicado na roda motriz do trator (T) gera a força total (GT) na barra de tração, que age em um braço de alavanca (r), definido como o raio de rolamento da roda. Parte da tração total é necessária para vencer a resistência ao rolamento (MR), que é a resistência ao movimento da roda sobre o solo e o restante é a força de tração útil na barra (NT). A Figura 1 apresenta as forças envolvidas em uma roda de tração.

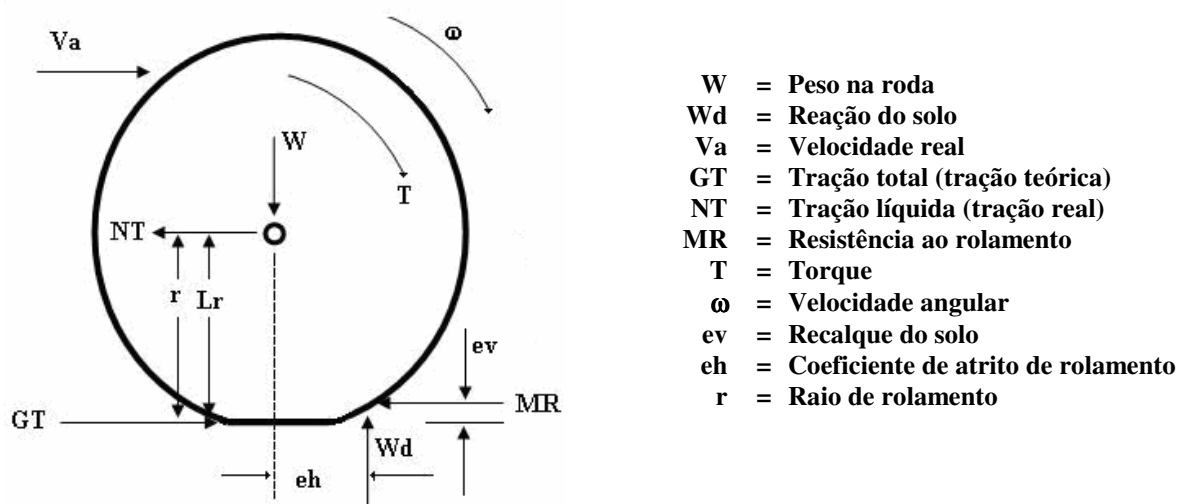


Figura 1 – Forças que atuam em uma roda deformável em solo solto, (ZOZ & GRISSO, 2003).

Brixius (1987) explica que a velocidade de deslocamento teórica (Vt) depende do raio de rolamento (r) e da velocidade angular (ω). A potência na eixo motriz é o produto da velocidade teórica com a tração total, enquanto que a potência disponível é dada

pelo produto da velocidade real com a tração útil. A razão entre essas potências define a eficiência trativa (ET), Equação 1.

$$ET = (NT \, V_a) / (GT \, V_t) \quad (1)$$

Dividindo esses termos pela carga dinâmica sobre o rodado temos:

GT/W_d = coeficiente de tração total (GTR)

NT/W_d = coeficiente de tração útil (NTR)

A eficiência trativa fica definida pela Equação 2:

$$TE = \left(\frac{NTR}{GTR} \right) \left(\frac{V_a}{V_t} \right) \quad (2)$$

De acordo com Zoz et al. (2002) e Zoz e Grisso (2003), existe uma importante diferença entre o desempenho de tração e o desempenho do trator. O desempenho do trator é proporcional ao desempenho dos mecanismos de tração, mas não igual a ele; portanto, para se obter o desempenho de tração é necessário conhecer a potência disponível no dispositivo de tração. Um trator pode operar com uma combinação de dispositivos de tração diferentes, ou seja, pneus de tamanho diferentes nas árvores dianteiras e traseiras. Devido a transferência de peso durante a operação de campo, mesmo um trator com a mesma configuração de pneus na frente e na parte traseira (tratores 4x4), o peso dinâmico nos pneus será, provavelmente, diferente entre as árvores dianteiras e traseiras, requerendo pressões diferentes dos pneus.

Nas últimas décadas os estudos da teoria de tração têm apresentado progressos consideráveis, conforme explicou Zoz (1997), sendo desenvolvidos critérios para avaliar o desempenho do trator com base nos resultados de ensaios realizados em pista de concreto. Entretanto para as condições de campo, são necessários mais pesquisas para fornecer as informações necessárias e estimar o desempenho de tratores.

4.2 Desempenho do trator

Segundo Silva et al. (1997), o objetivo da avaliação do desempenho de tratores agrícola, em ensaios de campo, tem sido gerar informações que possibilitem dimensionar e racionalizar o uso de conjuntos motos-mecanizados na agricultura.

A instrumentação de máquinas agrícolas para a realização de ensaios de campo tem por finalidade a geração de informações, através de sensores instalados nestas e nos implementos, proporcionando o conhecimento de parâmetros que possibilitem dimensionar e racionalizar o uso desses conjuntos (SILVA et al., 2001).

Silva & Benez (1997) construíram um sistema de aquisição de dados para medir, exibir e gravar os dados necessários à avaliação do desempenho energético de máquinas e implementos agrícolas em trabalhos de campo, usando um sistema eletrônico de aquisição de dados e instrumentos indicadores digitais. Concluíram esses autores que, a grande vantagem do sistema eletrônico de aquisição de dados é a variação na taxa de amostragem e a grande quantidade de dados coletados durante a realização dos ensaios, possibilitando o estudo da grandeza monitorizada de modo detalhado.

Cordeiro (2000) mostrou que 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 relacionado com a eficiência de trabalho do trator. O autor realizou um estudo de desempenho de um trator agrícola em função do pneu, da lastragem e da velocidade de deslocamento e concluiu que estes fatores alteraram significativamente a conversão energética, a patinagem e a força de tração do trator.

Os efeitos da velocidade de deslocamento e das condições da superfície do solo no rendimento de tração, a relação entre a carga sobre o eixo motriz, a tração e a potência disponível foram estudados por Jenane & Bashford (2000), tendo concluído que a máxima eficiência tratória foi de 90% para solo firme e 70% para solo solto e que, na velocidade de trabalho, a relação entre a carga sobre a árvore motriz e a potência disponível, para rendimento máximo de tração, foi entre 105 e 145 kg/kW, para o solo arado e solo firme, respectivamente.

Yanay et al. (1999) analisaram os fatores que podem influenciar o desempenho de tração do trator agrícola, destacando-se a pressão de inflação e a carga sobre o rodado motriz. Os autores realizaram um trabalho com o objetivo de avaliar, em condições normais de campo, a influência dos fatores da pressão de inflação e da carga sobre o rodado motriz (sob quatro níveis), combinado com e sem o uso da tração dianteira auxiliar. Os resultados evidenciaram a influência significativa da lastragem nos parâmetros patinagem e coeficiente de tração, que aumentaram com a redução da carga sobre o rodado.

Os mesmos autores concluíram que a pressão de inflação influenciou significativamente nos parâmetros de patinagem, velocidade de deslocamento e potência na barra sem, no entanto, apresentar tendência de comportamento. O uso da tração dianteira auxiliar - TDA mostrou vantagens significativas em relação aos mesmos parâmetros anteriores. A interação dos fatores pressão de inflação e carga sobre o rodado mostrou que determinadas combinações de pressão foram mais favoráveis para o desenvolvimento de maior velocidade e menor patinagem. As características relacionadas ao desempenho do motor (consumo horário e rotação do motor) não foram afetadas por nenhum dos fatores ou suas interações.

Correa et al. (2000) analisaram quatro condições de peso total do trator Agrale Deutz BX 4150, com tração dianteira auxiliar, (73,7; 74,9; 75,7 e 79,5 kN) e a distribuição desses pesos em ensaios em pista de concreto e concluíram que o trator ensaiado, pode ser utilizado com peso total entre 73,7 e 75,7 kN, o que representou uma redução de 5,9 kN em relação ao máximo lastro permissível. Além disso, segundo os autores, a montagem que proporcionou o melhor desempenho de tração foi uma distribuição percentual em torno de 40% do peso total no eixo dianteiro.

Na avaliação do desempenho operacional de um trator agrícola, em área coberta com diferentes tipos de cobertura vegetal, Gabriel Filho et al. (2004) concluíram que a maior quantidade de matéria seca na superfície do solo tende a aumentar a patinagem e, com isso, diminuir a eficiência de tração.

4.3 Desempenho dos pneus agrícolas

Os pneus utilizados em tratores e máquinas agrícolas devem suportar, com segurança, o peso do trator ou da máquina em condição estática e dinâmica, agir como um sistema de amortecimento dos impactos provocados pelas irregularidades do solo, além de garantir, com eficiência, a transmissão das forças motrizes e frenantes do trator ao solo e vice-versa (MIALHE, 1980).

De acordo com Franz (1988), os conjuntos pneumáticos do trator constituem um de seus mais importantes componentes, pois têm a função de permitir equilíbrio, vão-livre para passagem sobre a cultura, deslocamento, direcionamento e esforço tratório.

Correa (1999), destaca que o rodado é a última parte de ligação do motor do trator com o solo e seu estudo é de fundamental importância para o desempenho do trator, havendo, portanto, a necessidade de conhecê-lo melhor, utilizando a pressão de inflação indicada pelo fabricante e tomando os devidos cuidados com a sua manutenção. Segundo a autora, todo pneu é projetado para suportar determinadas cargas com uma pressão de ar especificada, sendo que a correta calibração dos pneus, lhe garante maior vida útil.

A pressão de inflação tem papel fundamental na área de contato entre o pneu e o solo, além da distribuição de pressão na sua superfície (LEE & KIM, 1997). Esses autores analisaram o efeito da pressão de inflação no desempenho da capacidade tratória de um trator usando pneus diagonais e concluíram que a máxima diferença na eficiência de tração foi verificada na velocidade de deslocamento de $5,5 \text{ km.h}^{-1}$; entretanto, os autores não puderam afirmar que, com o aumento da velocidade de deslocamento, houve aumento da eficiência de tração. O melhor desempenho dos rodados de um trator foi obtido pelo ajuste da pressão de inflação dos pneus de acordo com o tipo de solo e com as condições de uso deste solo.

Cordeiro (2000), ao avaliar o desempenho operacional de um trator John Deere – SLC modelo 6600, 4x2, TDA, utilizando três modelos de pneus: diagonal, radial e BPAF (Baixa Pressão e Alta Flutuação), observou que o pneu diagonal apresentou maiores

capacidades de tração do que os pneus radiais e BPAF, com menor patinagem nas classes de maior força de tração na barra e maiores níveis de lastro.

Em trabalho realizado com trator 4X2 TDA (tração dianteira auxiliar), com pneus radiais de baixa pressão e diagonais trabalhando com a TDA desligada, Correa et al. (1997) mostraram que o pneu radial de baixa pressão melhorou significativamente o rendimento do trator quando comparando com o uso de pneus diagonais. Os resultados indicaram uma redução, em média, de 28,4% na patinagem das rodas motrizes com pneus radiais; porém o uso de pneus de construção diagonal proporcionou menores valores de esforço na barra de tração (19,4 kN).

Pneus com baixa pressão de inflação tendem a ter maior área de contato com o solo, fornecendo ao trator maior capacidade tratória. Correa et al. (2000) observaram uma tendência de melhoria na capacidade tratória, quando os pneus estavam inflados na pressão recomendada pelo fabricante. Os resultados obtidos pelos autores evidenciaram diferenças expressivas com o uso da pressão correta em relação as altas pressões de inflação, em que houve redução de 11,5% na patinagem e de 3,2% no consumo de combustível. Observaram ainda um aumento de 3,7% na potência na barra de tração e de 4,4% na capacidade operacional. O uso da pressão recomendada pelo fabricante de pneus comparado com a pressão baixa em pneus diagonais não afetou o desempenho do trator, quando este trabalhava em solo firme ou mobilizado.

4.4 Patinagem

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, conforme relatado por Herzog et al. (2002). Lanças & Upadhyaya (1997) concluíram que, além dos fatores já citados (tipo de pneu, a pressão de inflação, carga sobre o rodado, tipo da banda de rodagem e condições do solo) a declividade e teor de água do solo também afetam a patinagem das rodas motrizes do trator.

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 depois de desacoplado o implemento (MIALHE, 1996).

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 & UPADHYAIA, 1997).

Herzog et al. (2002), ao avaliarem a patinagem do trator na operação de semeadura em duas profundidades de deposição de adubo (6 e 12 cm), observaram que a patinagem das rodas motrizes do trator foi 56 % maior na profundidade de 12 cm em relação à profundidade de 6 cm.

Durante os trabalhos de análise da exigência de tração e a patinagem do trator na operação de semeadura, com semeadora-adubadora de precisão, trabalhando com duas velocidades de deslocamento e duas profundidades de deposição de adubo, Cepik et al. (2001) concluíram que o aumento da profundidade de trabalho demandou uma força de tração maior por parte do trator resultando em maior patinagem das rodas motrizes.

Nos estudos com um trator Massey Ferguson 292 (4x2) turbo, Acuña et al. (1995) a patinagem dos rodados ficou entre 10,7 e 26,4 %, operando em solos com e sem preparo do solo. Os valores menores foram encontrados com o trator operando em solo sem preparo inicial, isto pode ser atribuído à maior concentração de restos da cultura, uma vez que o contato pneu-solo está diretamente relacionado com o desempenho dos rodados.

Gu & Kushwara (1994) analisaram a distribuição de carga dinâmica e desempenho tratório de um trator 4x4, operando com pressão de inflação nos pneus de 124 kPa, em 7 (sete) condições de patinagem (0 – 25%) obtidas de acordo com sete marchas do trator lastrado, concluindo que se a patinagem for maior que 7%, a distribuição de potência é afetada somente pela distribuição da carga dinâmica. Esta distribuição de carga dinâmica deve ser de cerca de 48% para solo cultivado e de 54% para solo sem preparo para reduzir o esforço de tração e manter uniforme a distribuição de peso sobre os rodados.

Para se obter a máxima eficiência de tração com um menor consumo específico de combustível em um trator Massey Ferguson 3080, Jenane et al. (1996)

recomendaram que o trator deveria trabalhar com um valor mínimo de 0,4 para o coeficiente de tração dinâmico.

Schlosser et al (2004) verificaram que, na condição de solo mobilizado, as menores patinagens ocorreram nas condições dos tratamentos com menor peso nas rodas dianteiras e maiores raios estáticos destes pneus. Porém, o consumo mínimo de combustível foi obtido quando a patinagem encontrava-se entre 10 e 30 %.

4.5 Consumo de combustível

Na implantação de culturas agrícolas, o consumo de combustível é 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) analisou o consumo de combustível de um trator em função do tipo de pneu e observou que o pneu radial, em comparação com o pneu diagonal e de configuração mista, apresentou melhor conversão energética de combustível e considerou que o consumo específico de combustível foi um indicador consistente para avaliação do desempenho.

Nos ensaios de um trator operando com escarificador em solo com e sem preparo inicial, Acuña et al. (1995) concluíram que o consumo específico de combustível decresceu à medida que aumentou a potência na barra. Os dados obtidos pelos mesmos autores evidenciaram ainda que, sob uma carga dinâmica de aproximadamente 35 kN na barra de tração, o consumo específico de combustível foi menor em relação ao trator operando com carga dinâmica de aproximadamente 38 kN, o que pode ser explicado, segundo os autores, pela maior demanda de potência do trator na condição de maior carga dinâmica.

Bernardes & Balastreire (1999), durante a realização de ensaios de campo na barra de tração de um trator agrícola, medindo o consumo de combustível em diversas condições de esforço trativo e potência na barra para a determinação das curvas de iso-consumo de combustível, observaram que, para uma redução significativa do consumo de combustível, é necessário que o trator tenha, no mínimo, 16 marchas para que existam regiões

mais econômicas de trabalho, uma vez que há maior possibilidade de escalonamento de velocidades.

Ao avaliar o consumo de combustível e a capacidade de campo operacional na semeadura de aveia, em três manejos do solo (plantio direto, plantio convencional e escarificação), Nagaoka et al. (2002) concluíram que o consumo de combustível e a patinação do trator foram maiores onde a operação de semeadura foi realizada em sistema convencional e com escarificação, onde houve maior exigência de força do trator, uma vez que nestes manejos há maior mobilização do solo quando comparado ao sistema de plantio direto.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 MATERIAL

5.1.1 Local do experimento

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.

5.1.1.1 Pista de solo mobilizado

Para possibilitar a mobilização do solo nesta área, foi efetuada uma dessecação da vegetação existente e utilizado um escarificador 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 – 15 cm foi de 750 kPa.

5.1.1.2 Pista de solo com cobertura vegetal

A cobertura vegetal foi obtida com os resíduos da colheita da cultura do milho e pela infestação de plantas invasoras (braquiária) que germinou durante a fase final de produção do milho. A preparação do solo para a semeadura do milho nesta pista envolveu as seguintes operações:

- amostragem do solo para análise química,
- aplicação de calcário,
- dessecação das plantas existentes na área da pista e ao redor,
- trituração dos restos das plantas dessecadas,
- adubação realizada no sulco, com adubo formulado (5-20-20) na dose de 350 kg/ha.

A semeadura do milho ocorreu em dezembro, utilizando-se sementes de milho Dekalb 747 e uma semeadora modelo PST2 tracionada por um trator Valmet 128-TDA. Após a semeadura, foram realizadas as atividades de condução da cultura sendo as principais:

- controle seletivo da plantas invasoras,
- aplicação de uréia,
- controle de pragas – principalmente a Lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*).

A colheita foi realizada no final do mês de abril e início de maio com uma colhedora autopropelida, sendo que para uniformizar essa distribuição foi utilizado um ancinho enleirador/espalhador; após essa operação foi efetuada a dessecação dos restos da

cultura do milho e da braquiária. A resistência à penetração no solo nesta pista, para uma profundidade de 0 – 15 cm foi de 1684 kPa.

5.1.1.3 Pista de solo firme

Para adequação desta pista às condições pré-estabelecidas foram realizadas dessecações da vegetação presente na área e depois utilizada uma moto niveladora para uniformizar a superfície e retirar os restos da vegetação. A resistência à penetração no solo nesta pista, para uma profundidade de 0 – 15 cm foi de 3629 kPa.

5.1.1.4 Demarcação da área

A demarcação da área ocorreu no início de junho, utilizando-se uma Estação Total, marca Elta R55_Carl Zeiss para delimitar cada unidade experimental com 25 m para realização de manobras e estabilização do conjunto trator/UMEB e 25m de distância útil para os ensaios de desempenho, demarcadas com estacas de madeiras, 24 unidades experimentais. A Figura 2 mostra uma visão aérea do local das pistas e as Figuras 3, 4 e 5 as pistas nas condições em que os ensaios foram realizados.

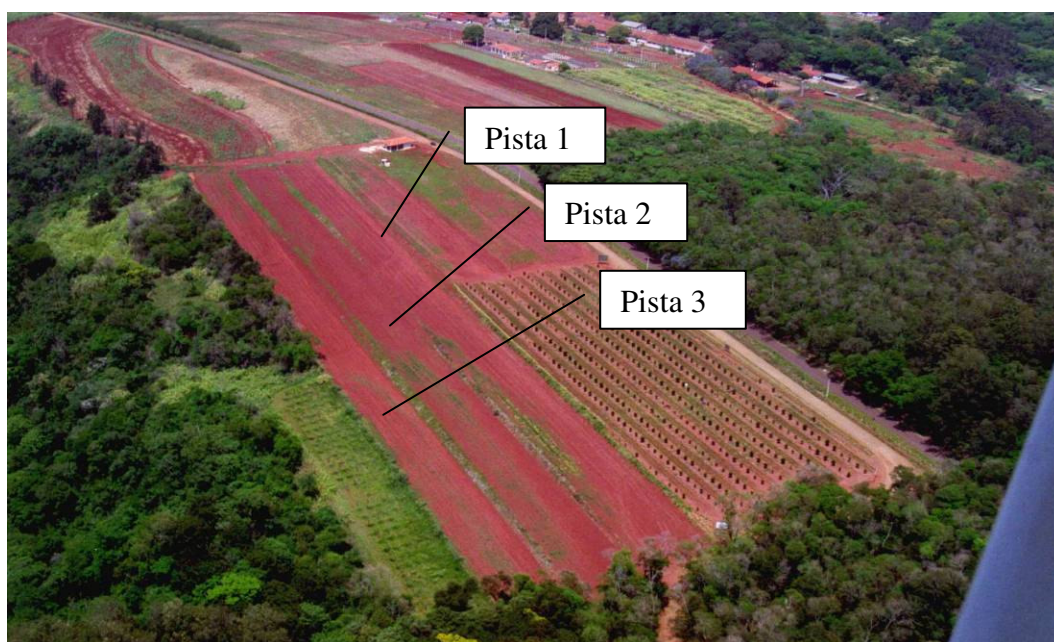


Figura 2 – Vista aérea da área experimental .



Figura 3 – Pista 1 - Solo mobilizado



Figura 4 – Pista 2 - Solo com cobertura vegetal.



Figura 5 – Pista 3 - Solo firme.

5.1.2 Trator

Todos os ensaios 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.

5.1.3 Balança de plataforma

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

5.1.4 Pneus

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	Dina Torque II	14.9-26	378	1316	615	3982
Traseiro	Dina Torque II	23.1-30	602	1722	775	5106

5.1.5 Amostragem e caracterização física de solo da área experimental

Para a coleta de amostragem de solo, determinação do teor de água, da densidade das partículas, da granulometria e dos limites de Atteberg do solo, foram utilizados os materiais descritos em Kiehl (1979) e Embrapa (1997).

5.1.6 Resistência do solo à penetração

Para determinar a resistência do solo à penetração foi utilizada a Unidade Móvel de Amostragem de Solo – UMAS (Figura 6), composta pelo: Penetrômetro Hidráulico-Eletrônico e Amostrador de Solo, conforme descrito em Lanças (2006).



Figura 6: Vista geral da Unidade Móvel de Amostragem de Solo – UMAS, à esquerda e Penetrômetro Hidráulico Eletrônico operando, à direita.

5.1.7 Sistema de aquisição de dados

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 - com capacidade para armazenar até 1.000.000 de dados, conforme apresentado na Figura 7.



Figura 7: Sistema de monitoramento e coleta de dados, composto pelo Micrologger CR23X, e painéis com indicadores eletrônicos.

5.1.8 Força de tração na barra

Para obtenção da força de tração na barra do trator foi utilizada a Unidade Móvel de Ensaio na Barra de Tração – UMEB (Figura 8) pertencente ao NEMPA, que opera como um carro dinamométrico instrumentado, utilizado na avaliação de desempenho de trator submetido a ensaio de tração.



Figura 8: Conjunto trator e Unidade Móvel para Ensaio de Tração – UMEB.

O valor da força solicitada na barra de tração foi obtido através de uma célula de carga marca SODMEX, modelo N400, com sensibilidade de 2,16 mV/V e escala nominal de 100 kN (Figura 9). 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.

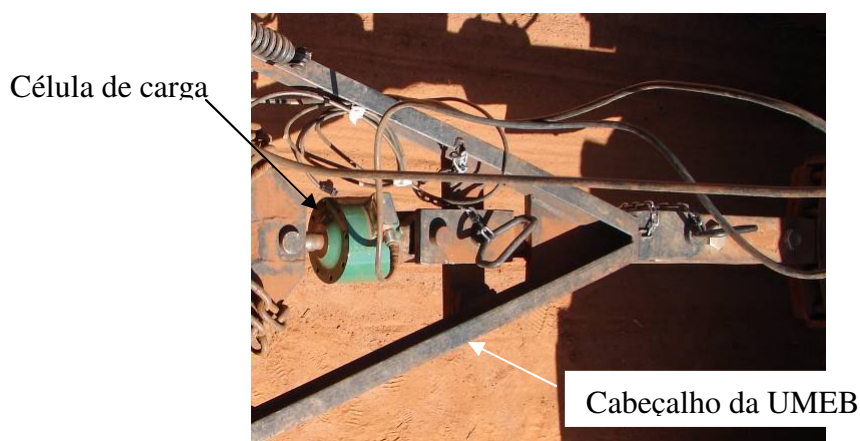


Figura 9: Célula de carga marca SODMEX, modelo N400.

5.1.9 Patinagem do rodado do trator

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, conforme Figura 10.



Figura 10: Geradores de pulsos instalados no trator para determinar a patinagem nos rodados

5.1.10 Consumo de combustível

Para medição do consumo horário de combustível foi utilizado um fluxômetro volumétrico M-III, da FLOWMATE fabricado pela OVAL Corporation do Japão e distribuído no Brasil pela K&K do Brasil, modelo LSN41L8-M2, vazão de 1 mL/pulso, conforme Figura 11 .

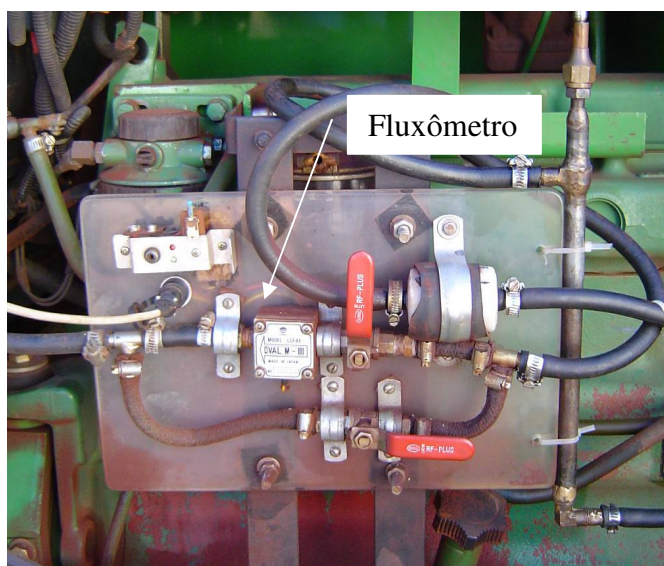


Figura 11: Fluxômetro volumétrico para medição do consumo de combustível.

5.2 MÉTODOS

5.2.1 Determinação do teor de água do solo

Durante a realização dos ensaios foram coletadas amostras 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 105-110°C até massa constante, de acordo com (EMBRAPA, 1997).

5.2.2 Determinação da densidade do solo

Utilizou-se o método do anel volumétrico para se determinar a densidade do solo, realizado em amostras retiradas na camada de 0-10 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.

5.2.3 Determinação da resistência do solo à penetração

Para se obter a resistência de penetração do solo foram realizadas dez repetições por parcela, de forma aleatória, na camada de 0-15 cm, utilizando a Unidade Móvel de Amostragem de Solo – UMAS. Essas medições foram realizadas logo após o término dos ensaios efetuados em cada pista.

5.2.4 Determinação da granulometria do solo e limites de Atteberg

A granulometria e os limites de Atteberg foram obtidos seguindo a metodologia da Embrapa (1997), com as amostras retiradas (dez) de cada uma das pistas, misturadas, homogeneizadas e enviadas ao laboratório.

5.2.5 Medição das garras dos pneus

As garras dos pneus foram medidas segundo a ASAE S296.4 (1999) utilizando um medidor de garra* (Figura 12), sendo os dados apresentados na Tabela 3.

* Medidor de garras construído no NEMPA/FCA/UNESP/Botucatu



Figura 12 : 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)					Desgaste
Goodyear Dina Torque II		Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Média	(%)
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

5.2.6 Sistema de aquisição de dados

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, conforme mostrado no Apêndice 1. 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, rotação das rodas traseiras e dianteiras do trator, velocidades de deslocamento e consumo horário do combustível.

5.2.7 Força de tração na barra

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 3:

$$F_m = \frac{\sum_{i=1}^n F_i}{t_p} \quad (3)$$

onde:

F_i = força de tração instantânea (kN/s)

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.

5.2.8 Velocidade de deslocamento

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 4. 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 km h^{-1} .

$$Vm = \frac{s}{t} \quad (4)$$

onde:

Vm = velocidade média

s = espaço percorrido (metros)

t = tempo decorrido (segundos)

5.2.9 Patinagem do rodado do trator

Com os sinais recebidos dos geradores de pulsos instalados nos rodados, dianteiro e traseiro e utilizando a Equação 5, foi possível determinar a patinagem tanto nas rodas dianteiras como nas rodas traseiras, conforme apresentado na Figura 11. Esses geradores foram ligados ao painel indicador e ao coletor de dados através de um cabo elétrico até os painéis, onde foram efetuadas as medições do número de pulso total obtido em cada parcela e em cada roda.

$$Pat = \frac{N_1 - N_0}{N_0} \quad (5)$$

onde:

Pat = patinagem das rodas motrizes (%)

N_0 = Número de pulsos sem carga

N_1 = Número de pulsos com carga

5.2.10 Potência disponível na barra de tração

A potência disponível na barra de tração foi calculada em função da força de tração e da velocidade de deslocamento, conforme a Equação 6:

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

onde:

Pb = potência na barra (kW)

Fm = força de tração média (kN)

V = velocidade de deslocamento (km h^{-1})

5.2.11 Consumo horário do combustível

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 7:

$$CH = \frac{Np \times 3,6}{t} \quad (7)$$

onde:

CH = consumo horário (L h^{-1})

Np = número de pulso do medidor de combustível

t = tempo de percurso da parcela (s)

5.2.12 Delineamento experimental

Foi utilizado o delineamento experimental em faixas (PIMENTEL-GOMES, 1982, BANZATTO e KRONKA, 1995 e PIMENTEL-GOMES & 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.

5.2.13 Descrição dos tratamentos

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 correspondem à velocidade 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 2300 rpm.

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

A figura 13 representa um croqui, sem escala, da distribuição dos tratamentos nos blocos dentro das faixas. Cada faixa com 400 m de comprimento foi dividida em seis blocos e cada bloco com quatro parcelas. Em cada parcela de 25 m de comprimento por 3 m de largura um tratamento e, entre um bloco e outro uma área de manobra de 20 m. O número que antecede o tratamento no croqui representa um seqüencial das parcelas.

Pista 1 – Solo mobilizado

01- A3PD	05- C1PN	09- B2PN	13- B2PD	17- C1PD	21- B1PN	3 E
02- B2PN	06- B1PD	10- C1PD	14- C1PN	18- A3PD	22- C1PN	
03- B1PN	07- B2PD	11- A3PD	15- B1PD	19- B2PN	23- B2PD	
04- C1PD	08- A3PN	12- B1PN	16- A3PN	20- A3PN	24- B1PD	
25m		20m				

Pista 2 – Solo com cobertura vegetal

25 - C1PN	29 - A3PD	33 - B2PN	37 - A3PD	41 - B1PD	45 - A3PD
26 - B2PD	30 - B2PN	34 - B1PD	38 - B2PD	42 - C1PN	46 - B2PN
27 - B1PD	31 - B1PN	35 - A3PN	39 - B1PN	43 - B2PD	47 - C1PD
28 - A3PN	32 - C1PD	36 - C1PD	40 - C1PN	44 - A3PN	48 - B1PN

Pista 3 – Solo firme.

49 - B1PN	53 - C1PD	57 - B1PD	61 - A3PD	65 - B2PN	69 - A3PN
50 - B2PD	54 - C1PN	58 - B2PD	62 - C1PD	66 - B2PD	70 - C1PN
51 - B1PD	55 - A3PN	59 - B2PN	63 - B1PN	67 - B1PN	71 - B1PD
52 - B2PN	56 - A3PD	60 - A3PN	64 - C1PN	68 - A3PD	72 - C1PD
400 m					

Figura 13 – Croqui da área experimental, sem escala, representando as pistas, a disposição dos tratamentos em cada uma delas, as dimensões da área, das pistas e das parcelas.

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
Umidade (%) [*] 0 – 10 cm	19,09	21,85	19,46
10 – 20 cm	19,81	22,01	19,78
Umidade (%) ^{**} 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	3629,00
Massa de matéria seca (kg.ha ⁻¹)	-	10.089,00	-

^{*}Umidade avaliada durante o ensaio com pneus diagonais desgastados.

^{**}Umidade avaliada durante o ensaio com pneus diagonais novos.

5.2.14 Pré-ensaios

Antes da realização dos ensaios definitivos foram efetuados ensaios de tração definidos como pré-ensaios, tendo sido realizados em área localizada ao lado das pistas onde foram realizados os ensaios definitivos, visando avaliar as reais condições de campo durante a utilização da UMEB.

Os ensaios mostraram que os dispositivos de controle de frenagem, instalados na unidade móvel, permitiram obter uma força de tração superior a 50 kN com uma variação linear dessa força com carga mínima de 0,25 kN.

Todos os equipamentos e sensores eletrônicos utilizados foram calibrados previamente em laboratório e, nos ensaios de campo, apresentaram bom desempenho e sem falhas. Esses ensaios foram necessários para aferição de todos os sistemas e do conjunto, servindo de treinamento da equipe de trabalho, para que os riscos de erros e falhas nos instrumentos fossem minimizados.

Os instrumentos de indicação e registros de dados instalados no trator, e necessários para os ensaios foram instalados dentro da UMEB, facilitando os trabalhos no campo.

Os ensaios foram realizados com pressões de inflação iguais, tanto para os pneus novos como para os pneus desgastados, sendo que nos rodados traseiros a pressão de inflação foi 82,7 kPa (12 psi) e nos rodados dianteiros foi 110 kPa (16 psi). A massa do trator foi determinada com todos os lastros metálicos e com 75% de água nos rodados pneumáticos, conforme a recomendação dos fabricantes.

5.2.15 Tratamento estatístico dos dados

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

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados encontrados foram analisados, discutidos e estão apresentados em figuras e tabelas dentro de tópicos, conforme segue:

- Resultado geral obtido nas três pistas.
- Resultados obtidos em cada pista.

Resultados obtidos para as quatro marchas do trator.

Resultados obtidos para os dois níveis de desgastes dos pneus.

- Resultados obtidos para as quatro marchas do trator em função do nível de desgaste dos pneus.

6.1 Resultado Geral obtido nas três pistas

Na Tabela 6 os valores do teste F mostraram que os resultados da comparação entre blocos apresentou 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 1%

* significativo a 5%

6.2 Resultados obtidos em cada pista

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 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 mesma pista, 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).

Pista 1 – solo mobilizado

Pista 2 – solo com cobertura vegetal

Pista 3 – solo firme

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 teve diferença significativa em relação à pista 1.

Para solo firme - pista 3, os resultados mostraram-se favoráveis ao desempenho do trator com maior velocidade de deslocamento, menor patinagem nos rodados dianteiro e traseiro, menor consumo horário de combustível 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 diretamente relacionada com a patinagem nos rodados, ou seja, diferentes condições de superfície resultam em diferentes condições de patinagem do rodado do trator. Esses resultados estão de acordo com os relatados por Gu & Kushwara (1994), Mialhe (1996), Lanças & Upadhyaya (1997), Herzog (2002).

6.2.1 Resultados obtidos para as quatro marchas do trator

Nos ensaios realizados no solo mobilizado, Tabela 8, houve diferença entre os resultados de velocidade; porém, os valores de velocidades foram menores do que aqueles indicados na cabine do trator. As marchas A3 (1ª), B1 (2ª), B2 (3ª) e C1 (4ª) correspondem às velocidades de 4, 5, 7 e 8 km.h⁻¹, respectivamente, para o trator sem carga.

Os resultados da patinagem nos rodados, dianteiro e traseiro, não foram significativos pelo teste de Tukey a 5%, nas quatro marchas utilizadas. Analisando o consumo horário de combustível, não houve variação significativa entre as 1ª e 2ª marchas e entre as 3ª e 4ª marchas; porém, houve variação significativa entre as 3ª e 4ª marchas comparando com as 1ª e 2ª marchas .

A análise dos resultados da potência disponível na barra de tração mostrou que o melhor desempenho do trator foi obtido na 4ª marcha; pois, embora houve um aumento de consumo de combustível de 12,07% em relação à 3ª marcha, houve um ganho de 15,11% de potência disponível na barra de tração e de 14,60% na velocidade de deslocamento, mostrando que nessa marcha houve um melhor aproveitamento da energia mecânica desenvolvida pelo motor do trator.

Para uma solicitação de 25 kN, na condição de solo mobilizado, o trator manteve a patinagem próxima a 15%, nível este recomendado pela ASAE EP496.2 (1999), que considera a patinagem adequada entre 14 e 16% quando a operação é realizada com o trator em solo solto.

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) em função da marcha, no solo mobilizado.

Tratamento	V (km h ⁻¹)	PTd (%)	PTt (%)	Tração (kN)	CO (L h ⁻¹)	PO (kW)
1ª Marcha	3,35 d	16,41 a	17,07 a	25,22	13,87 b	23,50 d
2ª Marcha	3,64 c	14,36 a	14,55 a	25,74	15,39 b	26,02 c
3ª Marcha	5,00 b	14,66 a	14,85 a	25,48	23,12 a	35,40 b
4ª Marcha	5,73 a	17,17 a	16,30 a	25,64	25,91 a	40,75 a

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

Nos ensaios realizados na pista com cobertura vegetal, Tabela 9, os resultados mostraram que as velocidades obtidas nessa pista foram ainda menores que as velocidades indicadas no console do trator. A média da patinagem do trator foi de 10,52 %, no rodado dianteiro e 10,60% no rodado traseiro valores considerados dentro da faixa correta para um melhor desempenho do trator em solo firme, conforme ASAE EP496.2 (1999); entretanto, não há relatos sobre qual deve ser a faixa ideal de patinagem para solo com cobertura vegetal.

Estes resultados de patinagem comparados com os valores da pista de solo mobilizado confirmaram a interferência na interação rodado/solo provocada pela presença

de cobertura vegetal na superfície do solo. Valores semelhantes de interferência nesse tipo de interação também foram verificados nos estudos realizados por Gabriel Filho et al. (2004).

Os consumos horários de combustível foram maiores nas 3ª e 4ª marchas em comparação com os valores obtidos nas 1ª e 2ª marchas. Esses resultados mostraram que o melhor desempenho do trator, para essa condição de superfície de solo, foi com a 4ª marcha, pois embora houve um aumento de 9,40% no consumo horário de combustível entre as 3ª e 4ª marchas, houve um ganho de 11,40% na potência disponível na barra de tração e de 13,85% na velocidade de deslocamento na comparação com essas mesmas marchas.

Tabela 9 – Valores médios da velocidade (V), 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 da marcha, no solo com cobertura vegetal.

Tratamento	V (km h ⁻¹)	PTd (%)	PTt (%)	Tração (kN)	CO (L h ⁻¹)	PO (kW)
1ª Marcha	3,42 d	11,00 a	10,98 ab	25,14	12,91 b	23,88 d
2ª Marcha	3,77 c	10,90 a	10,47 ab	25,02	14,33 b	26,17 c
3ª Marcha	5,22 b	10,78 a	11,49 a	25,43	18,32 a	36,87 b
4ª Marcha	5,94 a	9,40 a	9,44 b	24,91	20,04 a	41,07 a

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

A Tabela 10 mostra os resultados dos ensaios realizados na pista 3 - de solo firme, onde os valores das velocidades obtidas nessa pista, a exemplo do que ocorreu nas outras duas pistas, também foram menores que as indicadas no console do trator. A média da patinagem no rodado dianteiro foi de 7,10% e 7,21% no rodado traseiro e o consumo horário de combustível foi maior nas 3ª e 4ª marchas em comparação com os valores obtidos nas 1ª e 2ª marchas.

Os valores da potência disponível na barra de tração foram diferentes entre as quatro marchas ensaiadas, sendo que o melhor resultado encontrado foi na 4ª marcha,

com um ganho de 11,4% de potência disponível na barra e 13,5% na velocidade de deslocamento em comparação com a 3ª marcha, sendo que para esse aumento de potência e de velocidade houve um aumento de apenas 7,88% no consumo horário de combustível.

Tabela 10 – 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 da marcha, no solo firme.

Tratamento	V (km h ⁻¹)	PTd (%)	PTt (%)	Tração (kN)	CO (L h ⁻¹)	PO (kW)
1ª Marcha	3,61 d	6,09 b	6,90 a	25,39	14,03 c	25,49 d
2ª Marcha	3,93 c	6,73 b	6,25 a	24,91	14,62 c	27,18 c
3ª Marcha	5,35 b	7,25 ab	7,95 a	25,64	17,82 b	38,14 b
4ª Marcha	6,07 a	8,33 a	7,73 a	25,20	19,35 a	42,48 a

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

6.2.2 Resultados obtidos em função do desgaste das garras dos pneus

Os valores médios dos resultados dos ensaios obtidos em função das condições dos pneus, realizados nas três pistas estão apresentados na Tabela 11.

Nos ensaios na pista 1 - solo mobilizado, as diferenças dos resultados médios de velocidade não foram significativas entre si, 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 patinagem, 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 patinagem 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 si pelo teste de Tukey a 5% . Esses resultados mostraram que para os pneus novos, devido à diminuição da patinagem 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 patinagem dos rodados dianteiros, consumo horário de combustível e potência disponível na barra de tração. As diferenças dos resultados para patinagem 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.

Esses resultados mostraram que os pneus desgastados apresentaram valores 3,32% maiores para a velocidade; 8,45% menores para o consumo horário de combustível e 1,80% maiores para a potência disponível na barra de tração. Esses valores indicaram que, nesta pista, os pneus desgastados tiveram um desempenho melhor que os pneus novos. Isto pode ser justificado pelo fato dos pneus desgastados apresentarem um maior contato com a superfície de rodagem, em função da maior facilidade de penetração das garras na cobertura vegetal, permitindo um contato do corpo do pneu (fundo das garras) com essa superfície, aumentando sensivelmente a real área de contato pneu/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 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 em alguns 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, possivelmente, houve modificações na área de contato pneu/superfície, no raio de rolamento, na resistência ao rolamento e na capacidade tratória.

Tabela 11 – 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.

6.3 Resultados obtidos para as quatro marchas do trator em cada pista

A Tabela 12 mostra os valores médios dos resultados dos ensaios realizados na 1ª marcha (A3) sendo que a diferença entre os valores de velocidade da pista 1 - solo mobilizado e pista 2 - solo não foi estatisticamente significativa entre si, porém ambas significativamente menores em relação à pista 3 – solo firme.

Os resultados da patinagem dos rodados dianteiros e traseiros apresentaram diferenças significativas, mostrando que as condições da superfície do solo

interferiram no desempenho do trator, conforme relatado anteriormente por Cordeiro (2000). Os resultados de consumo horário de combustível não apresentaram diferenças significativas entre si pelo teste de Tukey 5%. Com relação à potência disponível na barra de tração não houve diferença significativa entre as pistas 1 e 2; porém, estas diferenças foram significativas com relação à pista 3.

Tabela 12 – 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) na 1ª marcha (A3) do trator em função das pistas 1, 2 e 3.

	V (km.h ⁻¹)	PTd (%)	PTt (%)	Tração (kN)	CO (L h ⁻¹)	PO (kW)
Pista 1	3,35 b	16,41 a	17,07 a	25,22	13,87 a	23,50 b
Pista 2	3,42 b	11,00 b	10,98 b	25,14	12,91 a	23,88 b
Pista 3	3,61 a	6,10 c	6,90 c	25,39	14,03 a	25,49 a

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

Pista 1 – solo mobilizado

Pista 2 – solo com cobertura vegetal

Pista 3 – solo firme

Os dados da Tabela 13 mostram que, na 2ª marcha (B1), as diferenças dos resultados da velocidade de deslocamento na pista 1 e 2 não foram significativas entre si, mas significativas em relação à pista 3. Os resultados de consumo horário de combustível e força de tração não foram diferentes significativamente entre si. Os resultados da patinagem dos rodados dianteiros e traseiros apresentaram diferenças significativas entre si, pelo teste de Tukey 5%, mostrando a interferência das condições da superfície na relação rodado com o solo.

Tabela 13 – 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) na 2ª marcha (B1) do trator em função das pistas 1, 2 e 3.

	V (km.h ⁻¹)	PTd (%)	PTt (%)	Tração (kN)	CO (L h ⁻¹)	PO (kW)
Pista 1	3,64 b	14,36 a	14,55 a	25,74	15,39 a	26,02 b
Pista 2	3,77 b	10,90 b	10,47 b	25,02	14,33 a	26,17 ab
Pista 3	3,93 a	6,73 c	6,25 c	24,91	14,62 a	27,19 a

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

Pista 1 – solo mobilizado

Pista 2 – solo com cobertura vegetal

Pista 3 – solo firme

Os valores médios dos resultados obtidos nos ensaios realizados na 3ª marcha (B2), e apresentados na Tabela 14, mostraram que a velocidade de deslocamento foi menor estatisticamente na pista 1 e não significativa entre as pistas 2 e 3. Os valores dos resultados de patinagem dos rodados dianteiros e traseiros foram diferentes significativamente entre si, confirmando os resultados nas marchas anteriores. Os resultados do consumo horário de combustível entre as pistas 2 e 3 não apresentaram diferenças significativas; porém, foram significativas e menores comparando-se com a pista 1. A potência disponível na barra de tração foi semelhante estatisticamente para as pistas 1 e 2; porém, foi diferente quando comparado com as pistas 1 e 3.

Tabela 14 – 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) 3ª marcha (B2) do trator em função das pistas 1, 2 e 3

	V (km.h ⁻¹)	PTd (%)	PTt (%)	Tração (kN)	CO (L h ⁻¹)	PO (kW)
Pista 1	5,00 b	14,65 a	14,87 a	25,48	23,12 a	35,40 b
Pista 2	5,22 a	10,78 b	11,49 b	25,43	18,32 b	36,87 ab
Pista 3	5,35 a	7,25 c	7,95 c	25,64	17,82 b	38,14 a

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

Na Tabela 15 estão apresentados os resultados dos ensaios realizados na 4ª marcha (C1) onde os valores de velocidade, nas pistas 1 e 2, não foram diferentes estatisticamente, sendo que a velocidade foi significativamente maior para a pista 3. Os valores de patinagem dos rodados dianteiros e traseiros foram menores e não significativos na análise

de variância entre as pistas 2 e 3. O consumo horário de combustível foi menor na pista 3; porém, não significativo em relação à pista 2. O melhor desempenho do trator, para esta marcha, foi na pista 3 quando comparado com a pista 2, onde a velocidade foi 2,19% maior, o consumo horário de combustível foi 3,60% menor e a potência disponível na barra de tração apresentou valor 3,50% maior.

Tabela 15 – 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) na 4ª marcha (C1) do trator em função das pistas 1, 2 e 3

	V (km.h ⁻¹)	PTd (%)	PTt (%)	Tração (kN)	CO (L h ⁻¹)	PO (kW)
Pista 1	5,72 c	17,17 a	16,30 a	25,64	25,91 a	40,75 b
Pista 2	5,94 b	9,40 b	9,44 b	24,91	20,04 b	41,07 b
Pista 3	6,07 a	8,33 b	7,74 b	25,20	19,35 b	42,49 a

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

Pista 1 – solo mobilizado

Pista 2 – solo com cobertura vegetal

Pista 3 – solo firme

6.4 Resultados obtidos para as quatro marchas do trator em função do nível de desgaste dos pneus

Os resultados da análise de variância da Tabela 16 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 16 – 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.

7 CONCLUSÕES

Após a análise dos resultados e nas condições em que foram realizados os estudos pode-se concluir que:

- 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 complemente 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 prejuízos significativos de desempenho do trator.

- Os níveis de desgastes dos pneus diagonais utilizados nesse trabalho, não apresentaram diferenças significativas de desempenho do trator, em relação aos pneus novos, para a maioria das marchas estudadas, mostrando que esses resultados não permitiram concluir sobre a necessidade de troca de pneus, levando-se em conta somente o efeito das marchas.

- 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 patinação 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 da 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.

- Os níveis de desgastes dos pneus analisados, respectivamente de 63,4% para os dianteiros e 41,2% para os traseiros, indicaram que esses pneus ainda podem ser utilizados, de uma forma geral, sem que haja comprometimento do desempenho do trator.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACUÑA, R. R. D., MANTOVANI, E. C., MARTYN, P. J., BERTAUX, S. Comparação do coeficiente de tração e da eficiência tratorial de um trator agrícola obtidos pela equação de Wismer & Luth e por ensaios de campo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília: n. 4, v. 30, p. 523 - 530. 1995.

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.

BERNARDES, R. C. & BALASTREIRE, L. A. Determinação das curvas de iso-consumo de combustível com trator operando sobre solo agrícola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28, 1999, Pelotas. *Anais...* Pelotas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola/UFPEL, 1999. CD-Rom.

BRIXIUS W.W. *Traction prediction equation for bias ply tires*. St. Joseph, Michigan: ASAE. 1987 (ASAE Paper, 83-1067).

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 Agrônômicas da UNESP, Botucatu, n.1, p.1-85, 1983.

CEPIK, C. T. C., TREIN, C. R., LEVIEN, R., HERZOG, R. L. S. Patinagem do trator e força de tração de haste sulcadora de semeadora-adubadora de precisão em função de teores de água no solo. In: XXXI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31, 2001, Salvador. *Anais...* Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2001.

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 Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 2000.

CORRÊA, I. M. Conheça o pneu agrícola que você usa. *Revista Unesp Rural*, Jaboticabal, v. 18, p. 21, 1999.

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.

CORREA, I. M., YANAI, K., MAZIEIRO, J. V. G., MOLINA JUNIOR, W. F. Desempenho de tração em campo de um trator equipado com pneu radial de baixa pressão e pneu diagonal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, XXVI, 1997. Campina Grande *anais...* Campina Grande: SBEA/UFPB, 1997. CD-ROM.

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

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

FRANZ, C. A. B. *Avaliação do desempenho de pneumáticos para tratores agrícolas, com diferentes níveis de desgaste*. Santa Maria, 1988. 94 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Federal de Santa Maria, 1988.

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.

GU, Y., KUSHWARA, R. L. Dynamic load distribution and tractive performance of a model tractor. *Journal of Terramechanics*, v. 31, nº 1, p. 21 – 39, 1994.

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. Tractive performance of a mechanical front-wheel assist tractor as related to forward speeds. *Journal of Agricultural Engineering Research*, Silsoe Research Institute. V.77, p.221-226, 2000.

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.

LEE, D. R., KIM, K. U. Effect of inflation pressure on tractive performance of bias-ply tires. *Journal of Terramechanics*, nº 03, v. 34, p. 187 – 208, 1997.

MIALHE, L. G. *Máquinas Agrícola – Ensaios & Certificação*. Piracicaba: Fundação de estudos agrários Luiz de Queiroz, 1996, 723 p.

MIALHE, L.G. *Máquinas Motoras na Agricultura*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, v. 2, 1980. 366 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. *Cienc. 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., BENEZ, S.H., LEVIEN, R., SIQUEIRA, R. Força de tração obtida com integrador de força e sistema computadorizado, operando um rolo faca. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26, 1997, Campina grande. *anais...* Campina Grande: UFPB/SBEA, 1997. CD-ROM.

SILVA, S. L., RICIERI, 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. *Belt and Tire Tractive Performance*. Milwaukee: Society of Automotive Engineers, 1997, 8p.

Zoz, F. M. Predicting tractor field performance (updated). St. Joseph: ASAE, 1987 (ASAE Paper No. 871623) 12p.

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.

APÊNDICES

APÊNDICE 1. Rotinas de leitura, aquisição e armazenamento de dados para o Datalogger CR 23X, utilizando o programa computacional PC208 .

```
;{CR23X}
;Faculdade de Ciências Agronômicas - Unesp
Botucatu
;Projeto Tração_pneus
*Table 1 Program
  01: 0.5    Execution Interval (seconds)

;***** Verifica chave para iniciar aquisicao
;*****
1: Volt (Diff) (P2)
  1: 1      Reps
  2: 25     5000 mV, 60 Hz Reject, Fast Range
  3: 9      DIFF Channel
  4: 8      Loc [ CHAVE   ]
  5: 0.8    Mult
  6: 0      Offset

;*****Sensores de patinagem*****
2: Pulse (P3)
  1: 1      Reps
  2: 5      Control Port 5 (switch closure only)
  3: 2      Switch Closure, All Counts
  4: 1      Loc [ RDE     ]
  5: 1.0    Mult
  6: 0.0    Offset

3: Pulse (P3)
  1: 1      Reps
  2: 6      Control Port 6 (switch closure only)
  3: 2      Switch Closure, All Counts
  4: 2      Loc [ RDD     ]
  5: 1.0    Mult
  6: 0.0    Offset

4: Pulse (P3)
  1: 1      Reps
  2: 7      Control Port 7 (switch closure only)
  3: 2      Switch Closure, All Counts
  4: 3      Loc [ RTE     ]
  5: 1.0    Mult
  6: 0.0    Offset

5: Pulse (P3)
  1: 1      Reps
  2: 8      Control Port 8 (switch closure only)
  3: 2      Switch Closure, All Counts
  4: 4      Loc [ RTD     ]
  5: 1.0    Mult
  6: 0.0    Offset

;*****Rotação TDP*****
6: Pulse (P3)
  1: 1      Reps
  2: 1      Pulse Channel 1
  3: 1      Low Level AC, All Counts
  4: 5      Loc [ TDP_RPM ]
  5: 1.0    Mult
  6: 0.0    Offset

;*****Medidor de combustivel*****
7: Pulse (P3)
  1: 1      Reps
  2: 3      Pulse Channel 3
  3: 3      High Frequency, 16 Bit, All Counts
  4: 6      Loc [ COMB    ]
  5: 1.0    Mult
  6: 0.0    Offset

8: Volt (Diff) (P2)
  1: 1      Reps
  2: 22     50 mV, 60 Hz Reject, Slow Range ;
  3: 2      DIFF Channel
  4: 7      Loc [ TRACAO  ]
  5: 250.98 Mult
  6: 27     Offset

;***** Se a chave foi ativada, executa o
programa*****
9: If (X<=>F) (P89)
  1: 8      X Loc [ CHAVE  ]
  2: 3      >=
  3: 3000   F
  4: 30     Then Do

;*** Zera o valor de F, usado como flag para
comparacao ***
```

```

10: Z=F (P30)
1: 0    F
2: 0    Exponent of 10
3: 9    Z Loc [ Flag_3  ]

; ** Ativa Storage **

11: Do (P86)
1: 10    Set Output Flag High (Flag 0)

12: Set Active Storage Area (P80)
1: 1    Final Storage Area 1
2: 99    Array ID

13: Real Time (P77)
1: 0011    Hour/Minute,Seconds (midnight =
0000)

14: Sample (P70)
1: 1    Reps
2: 1    Loc [ RDE    ]

15: Resolution (P78)
1: 1    High Resolution

16: Serial Out (P96)
1: 52    -- Destination Output

17: Sample (P70)
1: 1    Reps
2: 2    Loc [ RDD    ]

18: Resolution (P78)
1: 1    High Resolution

19: Serial Out (P96)
1: 52    -- Destination Output

20: Sample (P70)
1: 1    Reps
2: 3    Loc [ RTE    ]

21: Resolution (P78)
1: 1    High Resolution

22: Serial Out (P96)
1: 52    -- Destination Output

23: Sample (P70)
1: 1    Reps
2: 4    Loc [ RTD    ]

24: Resolution (P78)
1: 1    High Resolution

25: Serial Out (P96)
1: 52    -- Destination Output

26: Sample (P70)
1: 1    Reps
2: 5    Loc [ TDP_RPM  ]

27: Resolution (P78)
1: 1    High Resolution

28: Serial Out (P96)
1: 52    -- Destination Output

29: Sample (P70)
1: 1    Reps
2: 6    Loc [ COMB    ]

30: Resolution (P78)
1: 1    High Resolution

31: Serial Out (P96)
1: 52    -- Destination Output

32: Sample (P70)
1: 1    Reps
2: 7    Loc [ TRACAO  ]

33: Resolution (P78)
1: 1    High Resolution

34: Serial Out (P96)
1: 52    -- Destination Output

35: Else (P94)

36: If (X<=>F) (P89)
1: 9    X Loc [ Flag_3  ]
2: 1    =
3: 1    F
4: 0    Go to end of Program Table

37: Z=F (P30)
1: 1    F
2: 0    Exponent of 10

```

```

3: 9      Z Loc [ Flag_3  ]

38: Do (P86)
1: 10     Set Output Flag High (Flag 0)

39: Set Active Storage Area (P80)
1: 1      Final Storage Area 1
2: 111    Array ID

40: Real Time (P77)
1: 0011   Hour/Minute,Seconds (midnight =
0000)

41: Sample (P70)
1: 1      Reps
2: 1      Loc [ RDE      ]

42: Resolution (P78)
1: 1      High Resolution

43: Serial Out (P96)
1: 52     -- Destination Output

44: Sample (P70)
1: 1      Reps
2: 2      Loc [ RDD      ]

45: Resolution (P78)
1: 1      High Resolution

46: Serial Out (P96)
1: 52     -- Destination Output

47: Sample (P70)
1: 1      Reps
2: 3      Loc [ RTE      ]

48: Resolution (P78)
1: 1      High Resolution

49: Serial Out (P96)
1: 52     -- Destination Output

50: Sample (P70)
1: 1      Reps
2: 4      Loc [ RTD      ]

51: Resolution (P78)

1: 1      High Resolution

52: Serial Out (P96)
1: 52     -- Destination Output

53: Sample (P70)
1: 1      Reps
2: 5      Loc [ TDP_RPM  ]54: Resolution
(P78)
1: 1      High Resolution

55: Serial Out (P96)
1: 52     -- Destination Output

56: Serial Out (P96)
1: 52     -- Destination Output

57: Sample (P70)
1: 1      Reps
2: 6      Loc [ COMB     ]

58: Resolution (P78)
1: 1      High Resolution

59: Serial Out (P96)
1: 52     -- Destination Output

60: Sample (P70)
1: 1      Reps
2: 7      Loc [ TRACAO   ]

61: Resolution (P78)
1: 1      High Resolution

62: Serial Out (P96)
1: 52     -- Destination Output

63: End (P95)

*Table 2 Program
02: 0.0000  Execution Interval (seconds)

*Table 3 Subroutines
End Program.

```


APÊNDICE 2. Dados originais obtidos nos ensaios Pneus Diagonais Novos

Solo mobilizado (pista 1)

Parcela	Trat.	Tempo (s)	RDE (pulsos)	RDD (pulsos)	RTE (pulsos)	RTD (pulsos)	Consumo (L/h)	TRAÇÃO (kgf)
2	M3PN	18,00	452	451	333	333	10,87	2.631
3	M2PN	25,00	457	455	337	337	16,93	2.696
5	M4PN	15,50	480	449	332	333	12,88	2.581
8	M1PN	27,50	445	443	328	328	18,14	2.577
9	M3PN	18,00	445	444	329	328	13,17	2.529
12	M2PN	23,50	448	445	329	330	14,99	2.505
16	M1PN	27,00	461	456	337	337	28,00	2.522
14	M4PN	15,50	449	446	330	329	28,80	2.610
21	M2PN	24,50	446	445	328	331	27,63	2.592
20	M1PN	26,00	461	458	337	339	30,19	2.506
19	M3PN	18,50	459	459	339	340	31,35	2.591
22	M4PN	15,50	453	451	333	332	35,30	2.593

Solo com cobertura vegetal (pista 2)

Parcela	Trat.	Tempo (s)	RDE (pulsos)	RDD (pulsos)	RTE (pulsos)	RTD (pulsos)	Consumo (L/h)	TRAÇÃO (kgf)
28	M1PN	26,50	438	435	320	322	14,81	2.489
44	M1PN	26,50	440	441	326	325	10,67	2.471
35	M1PN	27,00	433	433	320	319	11,14	2.488
31	M2PN	24,00	448	437	324	323	17,85	2.503
39	M2PN	24,50	442	441	325	328	14,55	2.580
48	M2PN	25,50	446	444	329	328	10,87	2.568
33	M3PN	17,50	431	431	320	319	18,31	2.594
46	M3PN	17,50	450	444	330	329	18,10	2.558
30	M3PN	17,50	436	436	322	323	22,01	2.567
40	M4PN	15,50	440	437	323	323	21,83	2.511
42	M4PN	15,00	435	433	319	321	20,67	2.481
25	M4PN	15,50	435	434	319	323	24,00	2.534

Solo firme (pista 3)

Parcela	Trat.	Tempo (s)	RDE (pulsos)	RDD (pulsos)	RTE (pulsos)	RTD (pulsos)	Consumo (L/h)	TRAÇÃO (lgf)
49	M2PN	23,00	421	422	311	312	15,25	2.498
55	M1PN	25,50	423	425	313	314	13,41	2.478
60	M1PN	25,50	428	429	316	316	14,54	2.574
63	M2PN	23,00	432	430	317	317	14,71	2.440
67	M2PN	22,50	426	427	314	316	15,50	2.530
69	M1PN	25,00	426	426	315	315	15,84	2.592
52	M3PN	17,00	432	433	319	323	19,27	2.553
54	M4PN	15,00	431	431	316	321	19,00	2.575
59	M3PN	18,00	428	429	316	318	19,06	2.572
64	M4PN	15,50	447	442	324	327	22,32	2.504
65	M3PN	17,00	429	429	317	317	18,81	2.516
70	M4PN	15,00	454	430	316	318	21,60	2.516

RDE – roda dianteira esquerda

RDD - roda dianteira direita

RTE – roda traseira esquerda

RTD – roda traseira direita

APÊNDICE 3. Dados originais obtidos nos ensaios Pneus Diagonais Desgastados

Solo mobilizado (pista1)

Parcela	Trat.	Tempo (s)	RDE (pulsos)	RDD (pulsos)	RTE (pulsos)	RTD (pulsos)	Consumo (L/h)	TRAÇÃO (kgf)
1	M1PD	27	468	468	346	346	14,67	2.536
6	M2PD	25,5	468	468	345	346	16,24	2.590
11	M1PD	27	461	460	340	340	14,00	2.504
15	M2PD	24,5	455	456	336	339	14,84	2.547
18	M1PD	26,5	450	452	330	338	13,86	2.483
24	M2PD	25,5	473	473	349	348	14,96	2.513
4	M4PD	16	466	466	342	349	18,90	2.497
7	M3PD	17,5	453	452	334	335	18,10	2.539
10	M4PD	15,9	488	487	358	365	20,38	2.513
13	M3PD	18	458	457	338	339	17,40	2.436
17	M4PD	16	459	460	339	340	19,35	2.586
23	M3PD	18	466	466	345	345	18,80	2.563

Solo com cobertura vegetal (pista 2)

Parcela	Trat.	Tempo (s)	RDE (pulsos)	RDD (pulsos)	RTE (pulsos)	RTD (pulsos)	Consumo (L/h)	TRAÇÃO (kgf)
27	M2PD	23	439	440	325	325	14,40	2.430
29	M1PD	25,5	444	443	327	329	13,69	2.531
34	M2PD	23	432	433	319	321	13,93	2.401
37	M1PD	26,5	453	452	333	339	13,58	2.572
41	M2PD	23,5	444	444	327	330	14,40	2.528
45	M1PD	26	448	448	330	332	13,57	2.533
26	M3PD	17	434	434	323	321	16,52	2.461
32	M4PD	15	435	435	321	322	17,76	2.494
36	M4PD	15	431	431	319	320	18,00	2.488
38	M3PD	16,5	441	441	325	327	18,11	2.559
43	M3PD	17,5	446	447	329	332	16,87	2.517
47	M4PD	15	439	440	326	325	18,00	2.436

Solo firme (pista3)

Parcela	Trat.	Tempo (s)	RDE (pulsos)	RDD (pulsos)	RTE (pulsos)	RTD (pulsos)	Consumo (L/h)	TRAÇÃO (Kgf)
51	M2PD	22,5	421	420	308	312	13,92	2.469
56	M1PD	24,5	418	418	309	309	13,37	2.517
57	M2PD	22,5	429	426	314	315	13,92	2.509
61	M1PD	24	420	419	309	314	13,95	2.516
68	M1PD	25	421	420	322	326	13,68	2.556
71	M2PD	24	419	418	313	306	13,80	2.497
50	M3PD	16	423	423	312	314	17,10	2.606
53	M4PD	14,5	423	423	312	315	17,63	2.496
58	M3PD	16,5	422	422	311	313	16,36	2.566
62	M4PD	14,5	422	421	309	314	17,63	2.513
66	M3PD	16,5	417	416	308	308	16,15	2.570
72	M4PD	14,5	425	425	313	316	18,12	2.512

RDE – roda dianteira esquerda

RDD - roda dianteira direita

RTE – roda traseira esquerda

RTD – roda traseira direita