

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

**DESEMPENHO OPERACIONAL E ENERGÉTICO DE UM TRATOR
AGRÍCOLA EM FUNÇÃO DO TIPO DE PNEU, VELOCIDADE DE
DESLOCAMENTO, LASTRAGEM LÍQUIDA E CONDIÇÃO
SUPERFICIAL DO SOLO**

LEONARDO DE ALMEIDA MONTEIRO

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 – 2008

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

**DESEMPENHO OPERACIONAL E ENERGÉTICO DE UM TRATOR
AGRÍCOLA EM FUNÇÃO DO TIPO DE PNEU, VELOCIDADE DE
DESLOCAMENTO, LASTRAGEM LÍQUIDA E CONDIÇÃO
SUPERFICIAL DO SOLO**

LEONARDO DE ALMEIDA MONTEIRO

Orientador: Professor Doutor Kléber Pereira Lanças

Co-Orientador: Professor Doutor Antônio 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 – 2008

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

Monteiro, Leonardo de Almeida, 1974-
M775d Desempenho operacional e energético de um trator agrícola em função do tipo de pneu, velocidade de deslocamento, lastragem líquida e condição superficial do solo / Leonardo de Almeida Monteiro. - Botucatu: [s.n.], 2008.
xi, 69 f. : il. color., tabs.

Dissertação (Mestrado) -Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2008
Orientador: Kleber Pereira Lanças
Co-orientador: Antônio Gabriel Filho
Inclui bibliografia.

1. Máquinas agrícolas. 2. Pneus. 3. Tratores agrícolas. I.Lanças, Kléber Pereira. II. Gabriel Filho, Antônio. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas. IV. Título.

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

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

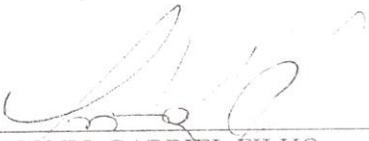
**TÍTULO: “DESEMPENHO OPERACIONAL E ENERGÉTICO DE UM TRATOR
AGRÍCOLA EM FUNÇÃO DO TIPO DE PNEU, VELOCIDADE DE
DESLOCAMENTO, LASTRAGEM LÍQUIDA E CONDIÇÃO
SUPERFICIAL DO SOLO”**

ALUNO: LEONARDO DE ALMEIDA MONTEIRO

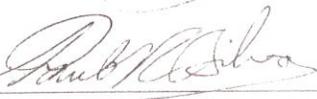
ORIENTADOR: PROF. DR. KLEBER PEREIRA LANÇAS

CO-ORIENTADOR: PROF. DR. ANTONIO GABRIEL FILHO

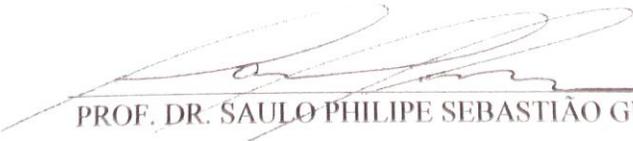
Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. ANTONIO GABRIEL FILHO



PROF. DR. PAULO ROBERTO ARBEX SILVA



PROF. DR. SAULO PHILIFE SEBASTIÃO GUERRA

Data da Realização: 15 de fevereiro de 2008.

OFERECIMENTO

A DEUS sob todas as coisas!

Ao meu avô Hélio Monteiro

Aos meus pais Hélio Antônio e Maria das Dores

A minha amada Thalita

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.

Aos amigos do curso de Pós Graduação de Energia na Agricultura: Cristiano Alberto de Paula, Juan Jose Bonnin Acosta, Fabrício Leite, Fernando Henrique Campos, Ricardo Carvalho.

À supervisão, encarregados, operadores e aos funcionários das Fazendas de Ensino, Pesquisa e Produção 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.

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

	Página
1 RESUMO.....	01
2 SUMMARY.....	03
3 INTRODUÇÃO.....	05
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	07
4.1 Mecânica da força de tração	07
4.2 Avaliação e estimativas do desempenho do trator.....	10
4.3 Desempenho dos pneus agrícolas.....	14
4.4 Patinagem dos rodados.....	16
4.5 Consumo de combustível.....	17
5 MATERIAL E MÉTODOS	19
5.1 Material.....	19
5.1.1 Local da área experimental.....	19
5.1.1.1 Pista com solo mobilizado.....	20
5.1.1.2 Pista com cobertura vegetal....	21
5.1.1.3 Pista de solo firme.....	21
5.1.1.4 Demarcação da área.....	22
5.1.2 Trator e Pneus.....	22
5.1.3 Amostragem e caracterização física de solo da área experimental	25
5.1.4 Resistência do solo a penetração.....	25
5.1.5 Sistema de aquisição de dados... ..	26
5.1.6 Força de tração na barra	27
5.1.7 Patinagem do rodado do trator.....	28
5.1.8 Consumo horário de combustível.....	28
5.2 Métodos.....	29
5.2.1 Delineamento experimental.....	29
5.2.2 Descrição dos tratamentos	30
5.2.3 Aquisição dos dados obtidos nas pistas	30
5.2.4 Força de tração na barra	31

SUMÁRIO

	Página
5.2.5 Velocidade de deslocamento	31
5.2.6 Patinagem do rodado do trator	32
5.2.7 Potência disponível na barra de tração.....	32
5.2.8 Consumo horário de combustível.....	33
5.2.9 Consumo específico de combustível	33
5.2.10 Rendimento na barra de tração	34
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
6.1 Patinagem dos rodados do trator.....	35
6.2 Consumo horário de combustível.....	38
6.3 Velocidade de deslocamento.....	41
6.4 Potência na barra de tração.....	43
6.5 Consumo específico de combustível.....	45
6.6 Rendimento na barra de tração.....	49
7 CONCLUSÕES	52
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
9 APÊNDICES	58

LISTA DE TABELAS

	Página
1 – Parâmetros utilizados nas equações de Brixius	14
2– Coeficientes das equações de tração.....	14
3 – Descrição da massa do trator John Deere 6600 equipado com pneus diagonais	23
4 – Descrição da massa do trator John Deere 6600 equipado com pneus radiais.....	23
5 – Características dos pneus diagonais e radiais utilizados nos ensaios	24
6 – Descrição dos tratamentos compostos pelas marchas do trator (B1, B2, C1), tipo construtivo do pneu (pneu diagonal – PD e pneu radial – PR), e o percentual de lastragem líquida no pneu (0 %, 37,5 % e 75 % de água), aplicados em cada uma das três condições de superfície do solo.....	30
7 – Valores médios da patinagem do rodado do trator em função do tipo construtivo do pneu para a interação pneu x lastro, na pista com superfície mobilizada.....	35
8 – Valores médios da patinagem do rodado do trator em função do tipo construtivo do pneu para a interação pneu x lastro, na pista com cobertura vegetal	36
9 – Valores médios da patinagem do rodado do trator em função do tipo construtivo do pneu para a interação pneu x lastro, na pista com superfície firme.....	36
10 – Valores médios da patinagem do trator (%) em função da lastragem líquida (ÁGUA) dos pneus, na pista com superfície mobilizada	37
11 – Valores médios da patinagem do trator (%) em função da lastragem líquida (ÁGUA) dos pneus, na pista com superfície com cobertura vegetal.....	37
12 – Valores médios da patinagem do trator (%) em função da lastragem líquida (ÁGUA) dos pneus, na pista com superfície firme.....	38
13 – Valores médios da patinagem do rodado do trator em função do tipo construtivo do pneu, na pista com superfície firme	38

- 14 – Valores médios do consumo horário de combustível Ch ($L.h^{-1}$) em função do tipo construtivo do pneu, para a interação pneu x lastro na pista com superfície mobilizada39
- 15 – Valores médios do consumo horário de combustível Ch ($L.h^{-1}$), em função do tipo construtivo do pneu, para a interação pneu x lastro na pista com superfície com cobertura vegetal39
- 16 – Valores médios do consumo horário de combustível Ch ($L.h^{-1}$), em função do tipo construtivo do pneu, para a interação pneu x lastro na pista com superfície firme40
- 17 – Valores médios do consumo horário de combustível Ch ($L.h^{-1}$) do trator em função do tipo construtivo do pneu, na pista com superfície firme.....40
- 18 - Valores médios do consumo horário de combustível Ch ($L.h^{-1}$) do trator para as três velocidades de deslocamento (MARCHA), na pista com superfície mobilizada.....40
- 19 - Valores médios do consumo horário de combustível Ch ($L.h^{-1}$) do trator para as três velocidades de deslocamento (MARCHA), na pista com cobertura vegetal.....41
- 20 - Valores médios do consumo horário de combustível Ch ($L.h^{-1}$) do trator para as três velocidades de deslocamento (MARCHA), na pista com superfície firme.....41
- 21 - Valores médios da velocidade de deslocamento ($Km.h^{-1}$) do trator em função do tipo construtivo do pneu, para a interação pneu x lastro na pista com superfície mobilizada.....41
- 22 - Valores médios da velocidade de deslocamento ($Km.h^{-1}$) do trator em função da lastragem líquida (ÁGUA) dos pneus, na pista com superfície mobilizada42
- 23 - Valores médios da velocidade de deslocamento ($Km.h^{-1}$) do trator, na pista com superfície mobilizada42
- 24 - Valores médios da velocidade de deslocamento ($Km.h^{-1}$) do trator, na pista com cobertura vegetal42
- 25 - Valores médios da velocidade de deslocamento ($Km.h^{-1}$) do trator, na pista com superfície firme42
- 26 - Valores médios da potência na barra de tração Pb (Kw) do trator em função do tipo construtivo do pneu, para a interação pneu x lastro na pista com superfície mobilizada43

- 27 - Valores médios da potência na barra de tração Pb (Kw) do trator em função do tipo construtivo do pneu, para a interação pneu x lastro na pista com cobertura vegetal.....43
- 28 - Valores médios da potência na barra de tração Pb (Kw) do trator em função do tipo construtivo do pneu, para a interação pneu x lastro na pista com superfície firme.....43
- 29 - Valores médios da potência na barra de tração Pb (kW) do trator, em função da velocidade de deslocamento (MARCHA) do trator, na pista com superfície mobilizada.....44
- 30 - Valores médios da potência na barra de tração Pb (kW) do trator, em função da velocidade de deslocamento (MARCHA) do trator, na pista com cobertura vegetal.....44
- 31 - Valores médios da potência na barra de tração Pb (kW) do trator, em função da velocidade de deslocamento (MARCHA) do trator, na pista com superfície firme.....44
- 32 - Valores médios da potência na barra de tração Pb (kW) do trator em função da lastragem líquida (ÁGUA) dos pneus, na pista com superfície mobilizada.....45
- 33 - Valores médios do consumo específico de combustível Cesp (g.kW.h^{-1}), do trator em função do tipo construtivo do pneu, para a interação pneu x lastro na pista com superfície mobilizada.....45
- 34 - Valores médios do consumo específico de combustível Cesp (g.kW.h^{-1}), do trator em função do tipo construtivo do pneu, para a interação pneu x lastro na pista com cobertura vegetal.....46
- 35 - Valores médios do consumo específico de combustível Cesp (g.kW.h^{-1}), do trator em função do tipo construtivo do pneu, para a interação pneu x lastro na pista com superfície firme.....46
- 36 - Valores médios do consumo específico de combustível Cesp (g.kW.h^{-1}) do trator em função da lastragem líquida (ÁGUA) dos pneus, na pista com superfície mobilizada.....47
- 37 - Valores médios do consumo específico de combustível Cesp (g.kW.h^{-1}) do trator em função da lastragem líquida (ÁGUA) dos pneus, na pista com cobertura vegetal.....47

- 38 - Valores médios do consumo específico de combustível Cesp (g.kW.h^{-1}) do trator em função da lastragem líquida (ÁGUA) dos pneus, na pista com superfície firme.....47
- 39 - Valores médios do consumo específico de combustível Cesp (g.kW.h^{-1}) do trator em função do tipo construtivo do pneu, na pista com superfície mobilizada.....47
- 40 - Valores médios do consumo específico de combustível Cesp (g.kW.h^{-1}) do trator em função do tipo construtivo do pneu, na pista com superfície firme.....48
- 41 - Valores médios do consumo específico de combustível do trator, em função da velocidade de deslocamento (MARCHA) do trator, na pista com superfície mobilizada.....48
- 42 - Valores médios do consumo específico de combustível do trator, em função da velocidade de deslocamento (MARCHA) do trator, na pista com cobertura vegetal.....48
- 43 - Valores médios do consumo específico de combustível do trator, em função da velocidade de deslocamento (MARCHA) do trator, na pista com superfície firme.....49
- 44 - Valores médios do rendimento na barra de tração do trator Rbt (%) em função do tipo construtivo do pneu, para a interação pneu x lastro na pista com superfície mobilizada.....49
- 45 - Valores médios do rendimento na barra de tração do trator Rbt (%) em função do tipo construtivo do pneu na pista com cobertura vegetal.....49
- 46 - Valores médios do rendimento na barra de tração do trator Rbt (%) em função do tipo construtivo do pneu na pista com superfície firme.....50
- 47 - Valores médios do rendimento na barra de tração Rbt (%), em função da velocidade de deslocamento (MARCHA) do trator, na pista com superfície mobilizada.....50
- 48 - Valores médios do rendimento na barra de tração Rbt (%), em função da velocidade de deslocamento (MARCHA) do trator, na pista com cobertura vegetal.....50

- 49 - Valores médios do rendimento na barra de tração R_{bt} (%), em função da velocidade de deslocamento (MARCHA) do trator, na pista com superfície firme.....50
- 50 - Valores médios do rendimento na barra de tração R_{bt} (%) do trator em função da lastragem líquida (ÁGUA) dos pneus, na pista com superfície mobilizada.....51

LISTA DE FIGURAS

	Página
1 – Forças que atuam em uma roda deformável em solo solto, (ZOZ e GRISSO, 2003).....	09
2 – Vista aérea da área experimental antes da semeadura do milho.....	20
3 – Vista da pista 1 - Superfície mobilizada.....	20
4 – Vista da pista 2 - Superfície com cobertura vegetal.....	21
5 – Vista da pista 3 - Superfície firme.....	22
6 – Colocação de 37,5% de água no pneu.....	24
7 – Adição de 75% de água no pneu.....	25
8 – Painéis com indicadores eletrônicos.....	26
9 – Coleta de dados, composto pelo Micrologger CR23X	26
10 – Conjunto trator e Unidade Móvel para Ensaio na Barra de Tração-UMEB.....	27
11 – Célula de carga marca SODMEX, modelo N400	27
12 – Geradores de pulsos instalados no trator para determinar a patinação nos rodados.....	28
13 – Fluxômetro volumétrico para medição do consumo de combustível.....	29

1 RESUMO

O trator agrícola é uma das principais fontes de energia e de trabalho no meio rural. A utilização correta de pneus, tanto em relação ao seu tipo quanto a calibração de sua pressão interna, são fatores que influem significativamente no seu desempenho. Outros fatores de regulagem do trator; tais como, a lastragem e a velocidade de deslocamento ideal para cada condição de superfície de solo, são fatores que modificam sua eficiência trativa.

Esse trabalho foi realizado com o objetivo de comparar o desempenho operacional e energético de um trator equipado com pneus radiais e com pneus diagonais, em três condições de lastragem líquida (0%, 37,5% e 75% de água), três condições superficiais de um Nitossolo Vermelho Distrófico (superfície firme, superfície mobilizada e superfície firme com cobertura de restos da cultura do milho) e três condições de deslocamento, distinguidas pela mudança de marchas do trator que correspondem as seguintes velocidades teóricas: 4 km.h⁻¹, 5km.h⁻¹ e 7 km.h⁻¹, informadas no painel do trator. Foi utilizado o delineamento experimental simples em faixas, correspondendo às condições superficiais do solo e um arranjo fatorial de 2x3x3 (pneus, lastros, e velocidades) em cada faixa, distribuídos em blocos ao acaso, com três repetições, totalizando 162 unidades experimentais. Esses fatores foram arranjos para permitir a avaliação dos efeitos das variáveis individualmente ou em grupos, sendo todos os dados submetidos à análise de variância, aplicando o teste de Tukey a 5% de probabilidade, para a comparação das médias.

Para a realização do experimento utilizou-se a Unidade Móvel de Ensaio na Barra de Tração – UMEB, pertencente ao Núcleo de Ensaios de Máquinas e Pneus Agroflorestais - NEMPA, do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agronômicas – FCA - UNESP, Botucatu – SP, como carro dinamométrico (ou de frenagem), estando equipado com os sistemas de aquisição e armazenamento de dados obtidos.

Com os dados obtidos nas parcelas calculou-se a velocidade de deslocamento, patinagem das rodas traseiras e dianteiras e o consumo horário de combustível do trator. Utilizando os dados de força de tração e de velocidade, foi calculada a potência disponível na barra de tração, o consumo específico de combustível e o rendimento tratório.

Os valores médios da patinagem e do consumo horário de combustível apresentaram para a interação pneu e lastro, os melhores valores quando o percentual de água nos pneus estava em 37,5%. A mobilização do solo fez com que o trator patinasse mais e consumisse mais combustível para manter a rotação do motor nos níveis desejados para exercer a tração, mostrando que esta condição superficial foi responsável pelo pior resultado de desempenho do trator.

O melhor desempenho do trator, equipado com pneu diagonal, ocorreu na condição de 75% de água nos pneus, fornecendo maior velocidade de deslocamento, menor patinagem do trator, menor consumo horário de combustível e maior potência na barra de tração. Com pneus radiais o melhor desempenho ocorreu na condição de 37,5% de água nos pneus, proporcionando maiores velocidades de deslocamento do trator, menor patinagem, menor consumo horário e consumo específico de combustível e maior potência e rendimento na barra de tração.

A marcha C1 ($5,5 \text{ km.h}^{-1}$), forneceu a maior velocidade de deslocamento, menor consumo específico de combustível, maior potência disponível na barra de tração, mostrando que esta é a melhor marcha para se utilizar nas operações agrícolas, nas condições em que se realizou a pesquisa.

ENERGETIC AND OPERATIONAL PERFORMANCE OF NA AGRICULTURAL TRACTOR IN FUNCTION OF TIRE TYPE, FORWARD SPEED, LIQUID BALLAST AND SOIL SURFACE CONDITIONS. Botucatu, 2008. 69p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: LEONARDO DE ALMEIDA MONTEIRO
Advisor: KLEBER PEREIRA LANÇAS
Co-advisor: ANTONIO GABRIEL FILHO

2 SUMMARY

The agricultural tractor is one of principal source of energy and power in rural land. The correct utilization of tires, related to the construction type and internal inflation pressure, both are factors that interfere significantly on its performance. Other factors of tractor adjustment, such as ballasting and ideal forward speed for each condition of soil surface are factors that modify its tractive efficiency.

This research was carried out with the aim to compare the operational and energetic performance of a tractor equipped with radial tires and with bias ply tires, in three conditions of liquid ballast (0%, 37,5% and 75% of water), three conditions of surface in a Nitossolo Vermelho Distrófico (rigid surface, mobilized surface and rigid surface covered with remaining leaves of corn after its harvest) and three distinct conditions of forward speed, performed by changing the tractor gears (B1, B2 and C1), that are correlated to the following theoretical forward speed: 4 km.h⁻¹, 5km.h⁻¹ and 7 km.h⁻¹, informed on tractor panel. The experiment design was in simple strips related to soil surface conditions and a factorial settlement 2x3x3 (tires, ballasts, surfaces, and forward speeds) in each strip, divided in random blocks replicated three times, totalizing 162 experimental units. These factors were arranged in order to permit an evaluation of the effects of variables individually or in groups. All data were analyzed statistically using Tukey test at 5% of probability to compare the means.

To realize this experiment was utilized the Mobile Unit for Drawbar Test (UMEB), owned by the Nucleus of Agricultural and Forestry Tires and Machines Test (NEMPA) of Rural Engineering Department in the Agronomics Science College – FCA/UNESP, Botucatu Campus, as a dynamometric (load car). Such device is equipped with data acquisition and storage system for acquired data.

With the collected data, were calculated: the tractor forward speed, the back and front tires slippage and fuel consumption. With drawbar pull draft and forward speed were calculated the available power at the drawbar pull, specific fuel consumption and tractor.

The average data of slippage and fuel consumption presented the best results for the interaction tire and ballast when the percentage of water in the tires was 37.5%. The soil mobilization made the tractor slippage higher and increased the fuel consumption as a manner of maintain the motor rotation in the correct levels to execute the traction, showing that such surface condition was the responsible by the small tractor performance.

The best tractor performance results, obtained when the tractor was equipped with bias ply tire, occurred in conditions when the tires was filled with 75% of water, supplying the tractor with more forward speed, smaller tire slippage, reduced amount of fuel consumption and greater power available in the drawbar pull. For the radial tire the best performance occurred when the tired were filled with 37.5% of water, proportioning superior tractor forward speeds, less slippage, reduced amount of time and specific fuel consumption and greater power and yield in the drawbar pull.

The gear C1 ($5,5 \text{ km.h}^{-1}$), provided the fastest forward speed, reduced amount of specific fuel consumption, greatest power available in the drawbar, showing that C1 is the best gear to be utilized in agricultural operations, for this research conditions.

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 da agricultura moderna. Em relação ao trabalho manual, o uso do trator agrícola reduziu, de forma significativa, a carga física à qual o trabalhador era submetido, tornando-se responsável por uma parcela significativa do aumento da capacidade de produção agrícola e, por outro lado, pelo aumento do consumo de energia nas atividades de campo.

Uma das principais funções dos tratores agrícolas é transformar a energia química contida nos combustíveis e fornecê-la na forma de energia mecânica, através da força produzida na barra de tração, utilizada para tracionar máquinas e equipamentos agrícolas. Embora o trator também possa ser utilizado para prover energia através da tomada de potência ou por meio do sistema hidráulico.

Os pneus agrícolas são um dos principais componentes do trator e da maioria das máquinas agrícolas autopropelidas, tendo relevante importância nos custos operacionais de campo e, principalmente, nos custos finais de sua fabricação.

Os rodados pneumáticos de um trator agrícola possuem diversas funções importantes tais como garantir o equilíbrio, o deslocamento, o direcionamento, o desempenho operacional e o amortecimento entre as irregularidades do solo e o trator. Esses rodados influenciam nos resultados de desempenho operacional do trator em relação ao tipo de construção, pressão de inflação, carga aplicada, tipo de dispositivo de tração e do seu desgaste.

A forma construtiva dos pneus tem grande importância na eficiência com que o torque na árvore motriz é convertido em tração na barra. Um trator equipado com pneus adequados, para diferentes condições superficiais de solo, resulta em melhor desempenho geral, com conseqüente aumento da capacidade operacional, melhor qualidade de serviço, menor custo e menor impacto nas condições estruturais do solo.

Dentro de uma economia global, na qual se insere a agricultura brasileira, a importância e a difusão de informações sobre o desempenho das máquinas são essenciais para tomadas de decisões, principalmente, as relacionadas à otimização da relação custo e benefício.

Esse trabalho foi realizado com o objetivo de comparar o desempenho de um trator equipado com pneus radiais e com pneus diagonais, em três condições de lastragem líquida do pneu, (0% de água, 37,5% de água e 75% de água), em três condições de superfície do solo (firme, mobilizado e firme com cobertura de restos da cultura de milho) e três condições de deslocamento, distinguidas pela mudança de marcha do trator, B1, B2 e C1, cujas velocidades teóricas, obtidas no painel do trator são, respectivamente, 4, 5 e 7 km.h⁻¹.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Mecânica da Força de Tração

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

A tração pode ser definida como a força, na direção do deslocamento, produzida por um trator através da barra de tração (ASAE S296. 4 1999). Segundo a ASAE D497. 4 (1999) o desempenho na barra de tração de um trator depende, primariamente, da potência do motor, da distribuição de peso sobre os rodados, da altura e posição dos engates da barra e da superfície do solo. 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).

A capacidade de tração e o fornecimento de potência suficiente para desempenhar a maioria das operações necessárias na agricultura dependem, 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 e 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 variaram 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 é o solo, em função das suas propriedades e condição da superfície. As condições do solo que afetam a eficiência de tração de um trator agrícola são a textura, o teor de água e o tipo de cobertura existente sobre o mesmo (YANAI et al., 1999).

Outro fator importante na avaliação do desempenho do trator, e que está relacionado com o desempenho na barra de tração, é o consumo horário de combustível. Conforme Jenane et al. (1996), dependendo da superfície do solo, o menor consumo de combustível é obtido quando a patinação está entre 10 e 30%. Entretanto, a ASAE EP496. 2 (1999) relata que, em solos firmes, o melhor desempenho de trator ocorre quando a patinação 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 desses mecanismos de interação rodado/solo. Em seus estudos, Wismer e Luth (1974) desenvolveram uma equação largamente utilizada para avaliar a eficiência de tração, em condições de campo, para pneus de constituição diagonal. Visando aperfeiçoar essa equação, várias alterações foram propostas ao longo dos anos, por diversos autores. A equação de Brixius (1987), tem sido a mais utilizada e adotada pela American Society of Agricultural Engineers (ASAE D497. 4, 1999).

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, além de gerar torque para seu movimento tem capacidade de desenvolver tração (WISMER e LUTH, 1974). Segundo esses autores, a passagem de uma situação para outra ocorre em função do aumento da patinação, que será positivo quando houver torque na roda e o desenvolvimento de tração.

A capacidade de tração na roda motriz aumenta conforme aumenta a patinagem até um valor máximo.

De acordo com Zoz e Grisso (2003) são três as possíveis condições teóricas em que uma roda age sobre o solo: 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 de máquinas no campo.

Brixius (1987) e Zoz et al. (2002) explicam que, na condição de roda deformável em superfície não sólida, o torque (T) aplicado na roda, desenvolve a tração total (GT) que age em um braço de alavanca (r). 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 tração útil (NT). A Figura 1 apresenta as forças envolvidas em uma roda de tração.

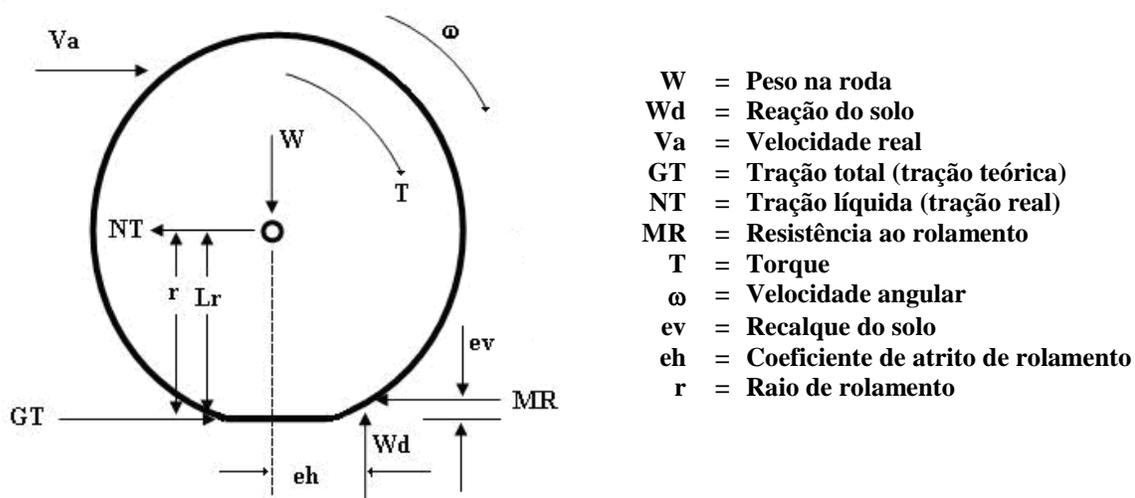


Figura 1 – Forças que atuam em uma roda deformável em solo solto, (ZOZ e GRISSO, 2003).

Segundo Brixius (1987), a velocidade de deslocamento teórica (V_t) depende do raio de rolamento (r) e da velocidade angular (ω). A potência no eixo motriz é o produto da velocidade teórica pela 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 (TE), conforme apresenta a Equação 1.

$$TE = (NT \cdot Va) / (GT \cdot V_t) \quad (1)$$

Dividindo esses termos pela carga dinâmica sobre o rodado (Wd):

GT/Wd = coeficiente de tração total (GTR)

NT/Wd = coeficiente de tração útil (NTR)

MR/Wd = coeficiente de resistência ao rolamento = GTR-NTR

A eficiência trativa 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), para se entender a mecânica de tração, é fundamental entender a diferença entre 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 à 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.

Progressos consideráveis têm sido alcançados nos estudos da tração, conforme explicou Zoz (1997), tendo sido desenvolvidos critérios para avaliar o desempenho do trator com base nos resultados de ensaios realizados em pista de concreto.

4.2 Avaliação e estimativas do desempenho do trator

De acordo com 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 moto 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 equipamentos, proporcionando o conhecimento de parâmetros que possibilitem dimensionar e racionalizar o uso desses conjuntos (SILVA et al., 2001).

Silva e 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 equipamentos 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 monitorada de modo detalhado.

De acordo com Cordeiro (2000), as avaliações diretas do desempenho de tratores em condições de campo são obtidas através da instrumentação e monitoramento dos mesmos, permitindo assim a determinação de fatores diretamente relacionados com a eficiência de trabalho do trator. O autor realizou um estudo de desempenho de um trator agrícola em função do tipo de 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.

Jenane e Bashford (2000) instrumentaram um trator para investigar os efeitos da velocidade de deslocamento e das condições da superfície do solo no rendimento de tração e na relação da carga sobre a árvore motriz e a potência disponível, concluindo que a máxima eficiência tratória foi de 90% para solo firme e 70% para solo solto. Na velocidade normal de trabalho, a relação da carga sobre a árvore motriz e a potência disponível para o rendimento máximo de tração foi de 105 e 145 kg.kW⁻¹ para o solo arado e solo firme, respectivamente.

Entre os fatores que podem influenciar o desempenho de tração do trator agrícola, destacam-se a pressão de inflação e a carga sobre o rodado motriz (YANAY et al, 1999). 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), nas duas condições de tração dianteira

auxiliar (acionada ou não). 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. O uso da tração dianteira auxiliar – TDA, mostrou vantagens significativas em relação aos mesmos parâmetros anteriores. A interação entre os 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 de combustível 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 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.

O desempenho de tração é afetado pelas forças de reação normal e tensão de cisalhamento do solo, pois elas interferem na resistência ao movimento e na redução de deslocamento (ZOZ e GRISSO, 2003). Os autores relatam que, descrever o solo talvez seja a parte mais difícil para avaliar a tração, pois o solo apresenta grandes variações de propriedades e características, que pode facilmente influenciar a sua caracterização. Medir essas variáveis leva tempo e as avaliações dos parâmetros de tração não pode ser reproduzido ou repetido para condições diferentes do solo. Por esta razão, muito dos testes da tração são de natureza comparativa, isto é, um dispositivo de

tração comparado a outro dispositivo, quando operados sob as mesmas condições do solo. Para avaliar as forças do solo que afetam o desempenho da tração, a forma mais comum, utilizada nas equações de simulação é o índice de cone, obtido no campo através dos penetrômetros (WISMER e LUTH, 1974, AL-HAMED et al., 1990 e ZOZ e GRISSO, 2003).

No estudo do desempenho de tração de um trator além das condições do solo, também as características dos rodados e variáveis como carga dinâmica, força na barra de tração, torque e patinagem afetam a eficiência de tração. Wismer e Luth (1974) desenvolveram uma série de equações que, relacionado às condições do solo e as características dos rodados, simula a eficiência trativa, considerando no total nove variáveis envolvidas com a tração. Conforme Al-Hamed et al., (1990) as equações propostas por Wismer e Luth (1974) foram desenvolvidas para pneumáticos operando em solos atrito-coesivos, com pressão normal de inflação dos rodados e que produz uma deflexão de aproximadamente 20% quando submetido à carga.

Segundo Upadhyaya e Wulfsen (1990) e Al-Hamed et al., (1990), vários autores apresentaram modificações na equação de Wismer e Luth (1974), sendo que atualmente a mais aceita é a de Brixius (1987). Conforme Zoz e Grisso (2003) a equação de Brixius relaciona três fatores: um índice numérico (Bn), (Equação 3), a razão de torque (GTR), (Equação 4) e razão de resistência ao movimento (MRR), (Equação 5).

$$Bn = \left(\frac{Clbd}{W} \right) \left(\frac{1 + 5 \left(\frac{\delta}{h} \right)}{1 + 3 \left(\frac{b}{d} \right)} \right) \quad (3)$$

$$GTR = \frac{Q}{rW} = 0,88(1 - e^{-0,1Bn})(1 - e^{-7,5S}) + 0,04 \quad (4)$$

$$MRR = \frac{M}{W} = \frac{1,0}{Bn} + 0,04 + \frac{0,5S}{\sqrt{Bn}} \frac{1 + 5\left(\frac{\delta}{h}\right)}{1 + 3\left(\frac{b}{d}\right)} \quad (5)$$

Os parâmetros utilizados nas equações estão representados na Tabela 1. Na Tabela 2 estão apresentados os coeficientes das equações para pneus de construção diagonal e radial, proposta por Brixius (1987) e aqueles utilizados por Al-Hamed et al. (1990) em um programa computacional para cálculo da eficiência tratória.

Tabela 1 – Parâmetros utilizados nas equações de Brixius (1987)

	Símbolo	Parâmetro
Solo	I	I= índice de cone (kPa)
Rodado		
	b	b = largura do pneu sem carga (m)
	d	d = diâmetro do pneu sem carga (m)
	r	r = raio da roda (m)
	δ	§ = deflexão do pneu (m)
	h	h = altura da seção do pneu (m)
Sistema		
	W	W = carga vertical aplicada no rodado (kN)
	S	S = patinagem
	Q	Q = torque (kNm)
	M	M = resistência ao movimento (kN)
	P	P = força de tração exercida na barra (kN)

Fonte: ZOZ e GRISSO (2003)

Tabela 2 - Coeficientes das equações de tração

Pneu diagonal	Pneu radial	Pneu radial
0,88	0,88	0,88
0,10	0,10	0,10
7,50	8,50 a 10,50	9,50
0,04	0,03 a 0,035	0,032

Fonte: AL-HAMED et al. (1990) e ZOZ e GRISSE (2003).

A simplicidade desse método, que necessita apenas de um parâmetro de força do solo, faz dele um instrumento eficaz para o uso na predição da tração e é útil para comparar o desempenho de diferentes tratores (UPADHYAYA e WULSFON, 1990). Contudo, os autores alertam que os resultados obtidos com essas equações seguem uma curva finita de simulação e essa deve ser considerada na hora de se fazer a estimativa da tração.

4.3 Desempenho dos pneus agrícolas

Segundo Mialhe (1980), 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.

Os pneumáticos do trator constituem um de seus mais importantes componentes, pois tem a função de fornecer equilíbrio, vão livre, deslocamento, direcionamento e esforço tratório (FRANZ, 1988).

De acordo com Correa (1999), o rodado é a última parte da ligação do motor do trator com o solo e seu estudo é de fundamental importância para um melhor desempenho do trator, havendo, portanto, a necessidade de conhecê-lo com detalhes, 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 e 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 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 do trator foi obtido pelo ajuste da pressão de inflação dos pneus de acordo com o tipo de solo e com as condições superficiais 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), observaram que o pneu diagonal apresentou maiores capacidades de tração do que os pneus radiais e BPAF, com menor patinagem nas condições de maior força na barra de tração 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 aos pneus diagonais. Os resultados indicaram uma redução, em média de 28,4% na patinagem das rodas motrizes com pneus radiais e o uso de pneus de construção diagonal proporcionou menores valores de esforço na barra de tração (19,4 kN).

Lopes et al. (2005) compararam o desempenho de um trator agrícola 4x2 TDA de 89 kW (121cv) em função do tipo de pneus (radial, diagonal e de baixa pressão), a condição de lastragem (com e sem água nos pneus) e quatro velocidades ($V_1 = 1,8 \text{ km h}^{-1}$, $V_2 = 3,1 \text{ km h}^{-1}$, $V_3 = 4,5 \text{ km h}^{-1}$, $V_4 = 5,0 \text{ km h}^{-1}$). Os resultados obtidos por esses pesquisadores evidenciaram vantagens para o trator equipado com pneus radiais.

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 do uso da pressão correta em relação às altas pressões

de inflação, com redução de 11,5% na patinação e de 3,2% no consumo de combustível do trator. Os autores obtiveram ainda um aumento de 3,7% na potência na barra de tração e de 4,4% na capacidade operacional, com o uso da pressão recomendada pelo fabricante de pneus comparado com a pressão baixa em pneus diagonais.

4.4 Patinação dos rodados

Nos tratores agrícolas, a patinação dos rodados ocorre devido a diversos fatores, entre eles o esforço de tração necessário para deslocar determinado equipamento 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 e 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 patinação das rodas motrizes do trator.

Segundo Mialhe (1996), a patinação das rodas motrizes dos tratores pode ser obtida através da diferença entre as suas rotações com e sem carga no trator, representando os percursos do trator tracionando um equipamento e aquele que seria obtido nas mesmas condições depois de desacoplado o equipamento.

De acordo com Lanças e Upadhyaya (1997), para que ocorra tração é necessário que exista patinação, entretanto, caso esta ultrapasse determinados limites, pode ocorrer perda da aderência e redução da tração dos rodados.

Ao avaliar a patinação do trator na operação de semeadura, em duas profundidades de deposição de adubo (6 e 12 cm) Herzog et al. (2002) observaram que a patinação das rodas motrizes do trator foi 56 % maior na profundidade de 12 cm em relação à profundidade de 6 cm, com uso de haste sulcadora.

Durante os trabalhos de análise da exigência de tração e da patinação 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 patinação das rodas motrizes.

De acordo com Gu e Kushwara (1994), a distribuição de carga dinâmica e desempenho trator de um trator 4x2 TDA (tração dianteira auxiliar), operando com pressão de inflação dos pneus de 124 kPa, em 7 (sete) condições de patinagem (0 – 25%) obtidas de acordo com sete marchas do trator lastrado, conclui-se que para patinagem maior que 7%, a distribuição de potência foi afetada somente pela distribuição da carga dinâmica, e esta distribuição deveria 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 coeficiente de tração dinâmico mínimo de 0,4.

Avaliando a patinagem de um trator agrícola, Jenane et al. (1996) concluíram que o trator, quando trabalhou com patinagem fora do ideal, houve uma redução considerável na potência disponível na barra de tração.

Segundo Schlosser et al. (2004), 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 estava entre 10 e 15 %.

4.5 Consumo de combustível

A quantidade de combustível utilizada para a implantação de culturas agrícolas é função de vários fatores tais como a adequação e condição do conjunto trator-equipamento, profundidade da operação, tipo e condição de solo, tempo de manobras e, principalmente, do número de operações agrícolas adotadas no processo de produção (CORREA et al. 1999).

O consumo específico de combustível é um indicador consistente para a avaliação do desempenho do trator (CORDEIRO, 2000). O autor analisou o consumo de combustível de um trator em função do tipo de pneu e observou que este,

quando equipado com pneu radial em comparação com o pneu diagonal e de configuração mista apresentou melhor conversão energética do combustível.

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

Ao realizarem 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, Bernardes e Balastreire (1999) observaram que, para o consumo de combustível ser reduzido de maneira considerável, é necessário que o trator tenha no mínimo 16 marchas para que se consiga trabalhar faixas de velocidades mais econômicas, uma vez que se pode ter maior possibilidade de escalonamento de velocidades.

Ao avaliar o consumo de combustível e a capacidade de campo operacional de um trator 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, que exigiu maior força de tração do trator, uma vez que nestes manejos havia maior mobilização do solo, quando comparado ao sistema de plantio direto.

5 MATERIAL E MÉTODOS

O material utilizado e os métodos adotados para realizar os ensaios estão apresentados separadamente, conforme apresentado a seguir.

5.1 Material

5.1.1 Localização da área experimental

O experimento foi desenvolvido na Fazenda Experimental Lageado, pertencente à Faculdade de Ciências Agrônômicas – FCA, Universidade Estadual Paulista - 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, em três pistas de campo, sendo que cada uma tinha 400 metros de comprimento e 20 metros de largura, totalizando 24.000 m² de área. As pistas apresentavam declividade de 0,3% no sentido do comprimento e niveladas na largura.

As coordenadas geográficas da área experimental (ponto central), onde estão as pistas são: 22°51'S, 48°25'W e altitude de 770m.

O solo da área experimental foi classificado por Carvalho et. al. (1983) como Terra Rocha Estruturada, sendo adaptado à classificação da Embrapa (1999), como Nitossolo Vermelho Distroférrico com relevo plano e textura argilosa.

A Figura 2 apresenta uma vista aérea do local das pistas nas condições em que os ensaios foram realizados.

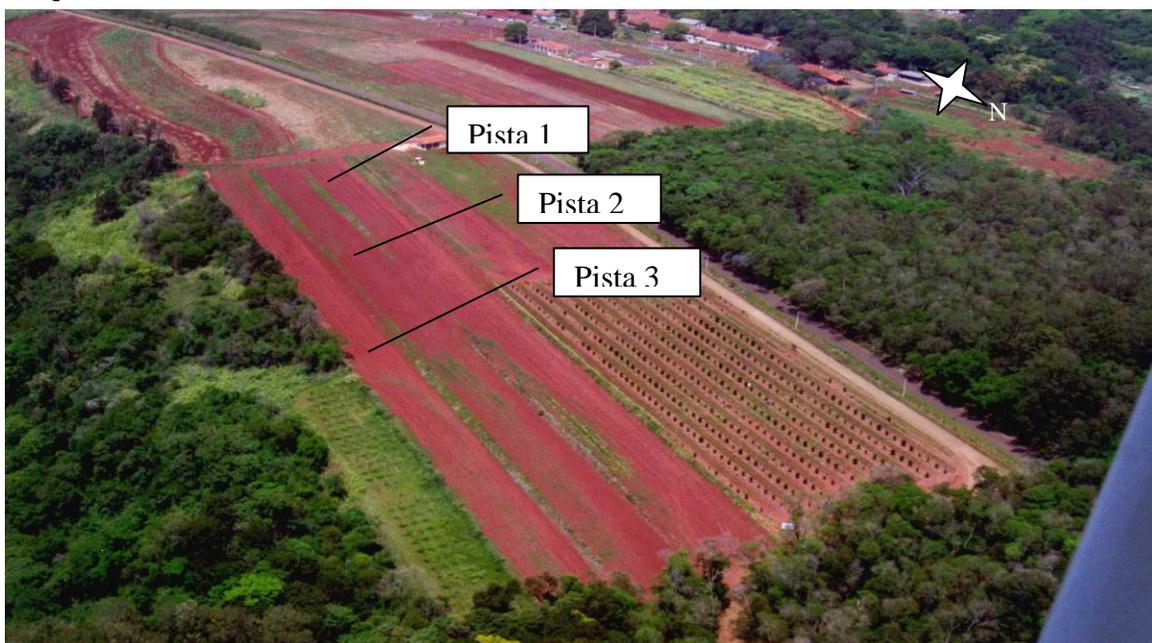


Figura 2 – Vista aérea da área experimental antes da semeadura do milho.

5.1.1.1 Pista com Solo Mobilizado

A mobilização do solo desta área foi realizada conforme Jesuíno (2006).



Figura 3 – Vista da pista 1 - superfície mobilizada

5.1.1.2 Pista com Cobertura Vegetal

A cobertura vegetal foi obtida com os resíduos da colheita da cultura do milho. A preparação do solo para a semeadura do milho foi realizada conforme descrito em Jesuíno (2006).



Figura 4 – Vista da pista 2 - superfície com cobertura vegetal.

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 para uniformizar a superfície e retirar os restos da vegetação foi utilizada uma moto niveladora.



Figura 5 – Vista da pista 3 - superfície firme.

5.1.1.4 Demarcação da Área

Na demarcação, utilizou-se uma Estação Total, marca Elta R55_Carl Zeiss para delimitar cada parcela com 4 m de largura e 25 m de comprimento, e para a realização de manobras e estabilização do conjunto trator e UMEB foi reservada uma distância de 20 m para manobras e estabilização da rotação do motor do trator, demarcadas com estacas de madeiras, totalizando 162 unidades experimentais.

5.1.2 Trator e Pneus

Todos os ensaios foram realizados com um trator marca John Deere, SLC, modelo 6600, com 88 kW de potência no motor, a 2100 rpm, com a tração dianteira auxiliar ligada.

Para aferição da massa do trator foi utilizada uma balança de plataforma, marca J-Star Eletronics modelo 6000, com capacidade para 3000 N e precisão de 1%, para determinação do peso individual de cada pneu.

Foram utilizados dois conjuntos de pneus, tanto para os rodados traseiros como para os dianteiros, sendo um conjunto composto por pneus diagonais e o outro por pneus radiais, conforme apresentado na Tabela 5. Os ensaios foram realizados com pressões de inflação dos pneus radiais de 96,5 kPa (14 psi) nos rodados traseiros e 82,7 kPa (12 psi) no dianteiro e dos pneus diagonais de 124,02 kPa (18 psi) nos rodados dianteiros e 137,8 kPa (20 psi) nos rodados traseiros .

Tabela 3 – Descrição da massa do trator John Deere 6600 equipado com pneus diagonais.

CONDIÇÃO 1 (0% de água nos pneus)			
RODADO	PESO (kgf)	DISTRIBUIÇÃO (%)	RELAÇÃO PESO/POT
Dianteiro	2.396	46	43
Traseiro	2.887	54	
TOTAL	5.283		
CONDIÇÃO 2 (37,5% de água nos pneus)			
RODADO	PESO (Kgf)	DISTRIBUIÇÃO (%)	RELAÇÃO PESO/POT
Dianteiro	2.560	47	45
Traseiro	2.887	53	
TOTAL	5.447		
CONDIÇÃO 3 (75% de água nos pneus)			
RODADO	PESO (Kgf)	DISTRIBUIÇÃO (%)	RELAÇÃO PESO/POT
Dianteiro	2.756	40	55,5
Traseiro	3.967	60	
TOTAL	6.723		

Tabela 4 – Descrição da massa do trator John Deere 6600 equipado com pneus radiais.

CONDIÇÃO 1 (0% de água nos pneus)			
RODADO	PESO (Kgf)	DISTRIBUIÇÃO (%)	RELAÇÃO PESO/POT
Dianteiro	1.582	44	33,5
Traseiro	2.471	56	
TOTAL	4.053		
CONDIÇÃO 2 (37,5% de água nos pneus)			
RODADO	PESO (Kgf)	DISTRIBUIÇÃO (%)	RELAÇÃO PESO/POT
Dianteiro	2.466	45	45,4
Traseiro	3.031	55	
TOTAL	5.497		
CONDIÇÃO 3 (75 % de água nos pneus)			
RODADO	PESO (Kgf)	DISTRIBUIÇÃO (%)	RELAÇÃO PESO/POT
Dianteiro	2.662	42	52,3
Traseiro	3.671	58	
TOTAL	6.333		

Tabela 5 - Características dos pneus diagonais e radiais utilizados nos ensaios.

	Goodyear Modelo	Numeração	Largura mm	Diâmetro externo mm	Raio estático mm	Circunferência de rolamento mm
Dianteiro	Super Traction	14.9R26	375	1335	615	3982
	Dina Torque II	14.9-26	378	1316	615	3982
Traseiro	DT 820	620/75R30	620	1710	771	5315
	Dina Torque II	23.1-30	602	1722	775	5106

Fonte: Cordeiro (2000)

Para a adição de água nos pneus, o trator foi alçado com auxílio de um macaco e o percentual de água nos pneus foi determinado pela posição do bico de enchimento em relação à horizontal.

Para o lastro de 0 % de água considerou-se o pneu apenas com a pressão de inflação para os pneus radiais de 96,5 kPa (14 psi) nos rodados traseiros e 82,7

kPa (12 psi) no dianteiro e dos pneus diagonais de 124,02 kPa (18 psi) nos rodados dianteiros e 137,8 kPa (20 psi) nos rodados traseiros, sem adição de água.

Para adição de 37,5% de água, o bico foi posicionado formando um ângulo de 45° em relação ao solo na parte inferior conforme Figura 6.



Bico a 45°
na parte inferior

Figura 6 - Adição de 37,5% de água no pneu

Para adição de 75 % de água no pneu o bico foi posicionado na parte superior, formando um ângulo de 90° ao solo conforme Figura 7.



Bico na parte
superior

Figura 7 - Adição de 75% de água no pneu

5.1.3 Amostragem e caracterização física de solo da área experimental

A coleta de amostras de solo para a determinação do teor de água, densidade das partículas, granulometria e limites de Atteberg, foram utilizados os materiais descritos por Kiehl (1979) e EMBRAPA (1997).

5.1.4 Resistência do solo à penetração

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

5.1.5 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” (Figura 8), conforme descrito por Jesuíno (2006)

Esses sinais também foram enviados para um coletor de dados - Datalogger “CR23X - micrologger” da CAMPBELL SCIENTIFIC - com capacidade para armazenamento de até 1.000.000 de dados, conforme apresentado na Figura 9.



Painéis Indicadores

Figura 8 - Painéis com indicadores eletrônicos.



Micrologger CR 23X

Figura 9 - Coleta de dados, composto pelo Micrologger CR23X

5.1.6 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 10) pertencente ao NEMPA, que operou como um carro dinamométrico instrumentado.



Figura 10 - Conjunto trator e Unidade Móvel para Ensaio na Barra de Tração – UMEB.

Os valores da força na barra de tração foram obtidos através de uma célula de carga marca SODMEX, modelo N400, com sensibilidade de 2,16 mV/V e escala nominal de 100 kN (Figura 11). 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.

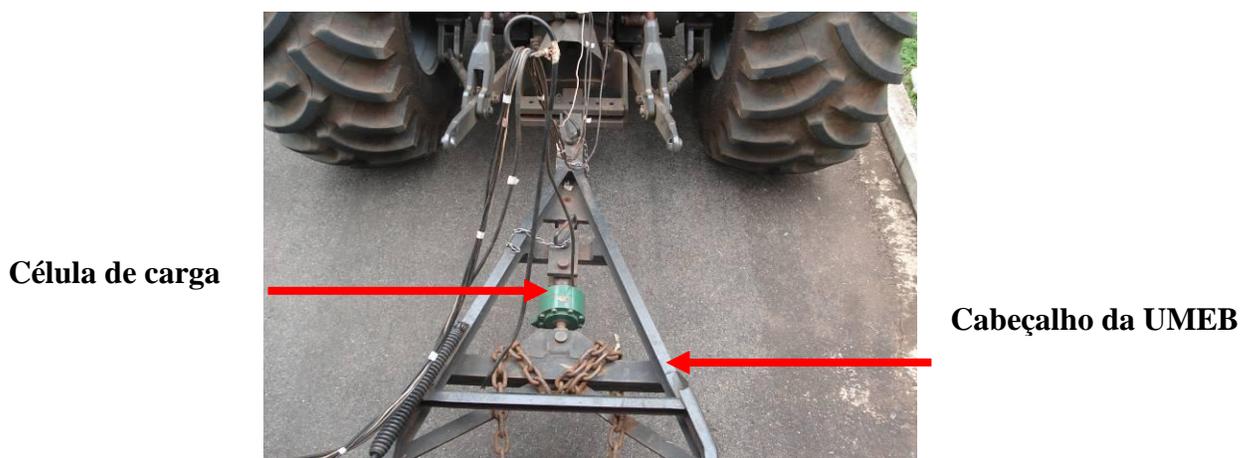


Figura 11 - Célula de carga marca SODMEX, modelo N400.

5.1.7 Patinagem do rodado do trator

A determinação da patinagem das quatro rodas do trator foi obtida utilizando-se geradores de pulsos, modelo GIDP-60-U-12V, com uma frequência de 60 pulsos por volta, conforme Figura 12, que registram o número de pulsos por volta de cada roda.

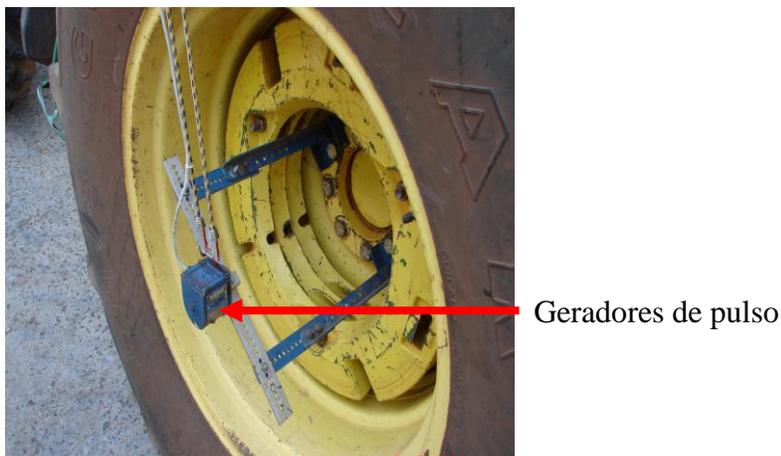


Figura 12 - Geradores de pulsos instalados no trator para determinar a patinagem nos rodados

5.1.8 Consumo horário 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 13 .

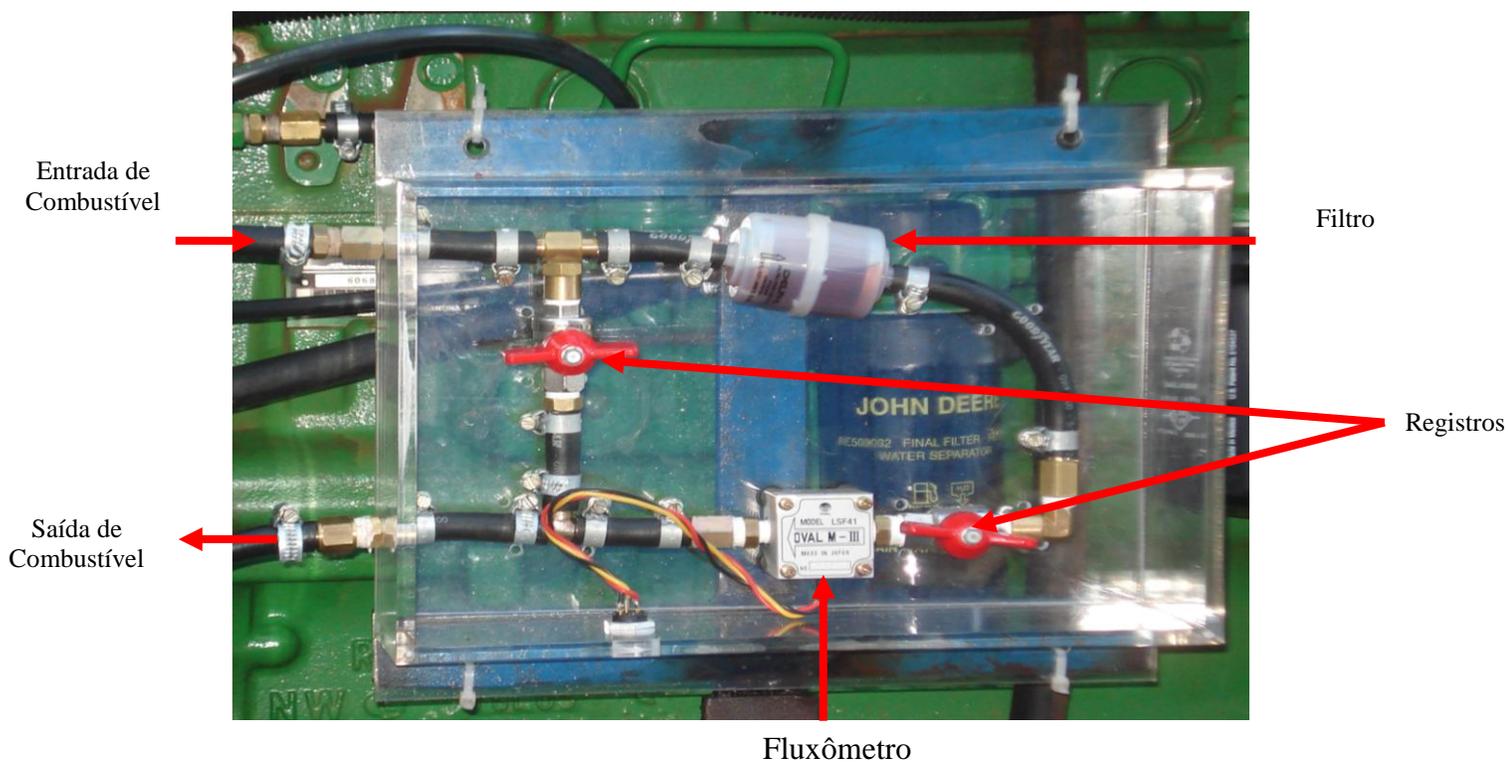


Figura 13 - Fluxômetro volumétrico para medição do consumo de combustível.

5.2 Métodos

5.2.1 Delineamento experimental

Foi utilizado o delineamento experimental em faixas (PIMENTEL-GOMES, 1982, BANZATTO e KRONKA, 1995 e PIMENTEL-GOMES e GARCIA, 2002),

denominadas pistas e definidas pelas condições da superfície do solo (superfície mobilizada, superfície com cobertura vegetal e superfície firme).

Em cada pista foram dispostos os tratamentos em blocos ao acaso com um arranjo fatorial de 2x3x3, sendo analisados o tipo construtivo do pneu (Radial e Diagonal), as marchas do trator (B1, B2 e C1) e a condição de lastragem líquida do pneu (0%, 37,5% e 75% de água), com três repetições por faixa, totalizando 162 unidades experimentais. Esses fatores foram arrançados para permitir a avaliação dos efeitos das variáveis individualmente ou em grupos, sendo todos os dados submetidos à análise de variância, aplicando o teste de Tukey a 5% de probabilidade, para a comparação das médias.

5.2.2 Descrição dos tratamentos

Os tratamentos foram definidos em função do tipo construtivo dos pneus, da marcha adotada no trator e da condição de lastragem líquida, representados na Tabela 6. As marchas B1, B2 e C1, teoricamente, correspondem às velocidades de 4, 5 e 7 km.h⁻¹, respectivamente, selecionadas por serem as mais utilizadas em operações de campo (preparo do solo, semeadura, cultivo e pulverização). O lastro líquido utilizado foi de 0% de água, 37,5% de água e 75% de água nos pneus, determinados pela posição do bico de enchimento. Em todos os ensaios e marchas o trator operou com 2100 rpm no motor.

Tabela 6 - Descrição dos tratamentos compostos pelas marchas do trator (B1, B2, C1), tipo de pneu (pneu diagonal – PD e pneu radial – PR), e o percentual de lastragem líquida no pneu (0 %, 37,5 % e 75 % de água), aplicados em cada uma das três condições de superfície do solo.

TRAT.	DESCRIÇÃO	TRAT.	DESCRIÇÃO
B1PD00	1ª marcha, pneu diagonal 0% de água	B1PR00	1ª marcha, pneu radial, 0% de água
B2PD37,5	2ª marcha, pneu diagonal 37,5% de água	B2PR37,5	2ª marcha, pneu radial, 37,5% de água
C1PD75	3ª marcha, pneu diagonal 75% de água	C1PR75	3ª marcha, pneu radial, 75% de água

5.2.3 Aquisição dos dados obtidos nas pistas

Todos os dados gerados pelos sensores instalados no trator, foram armazenados no sistema de aquisição de dados instalado na UMEB, com uma frequência de aquisição de 2 Hz. Foram desenvolvidas rotinas de leitura (Apêndice 1), aquisição e armazenamento de dados para o Micrologger CR 23X, utilizando o programa computacional PC208. Para a alimentação de todos os equipamentos e sensores eletrônicos foi utilizado uma bateria automotiva chumbo-ácido de 12VDC e capacidade de 45 Ah.

Foram monitoradas e registradas as forças de tração, rotação das rodas traseiras e dianteiras do trator, velocidades de deslocamento e consumo horário do combustível.

5.2.4 Força de tração na barra

A massa total da UMEB durante os ensaios foi de 9.000 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 sistema de coleta de dados e, posteriormente, transferidos para um computador para serem analisados. Com os valores obtidos, a força de tração média foi determinada pela Equação 6 :

$$F_m = \frac{\sum_{i=1}^n F_i}{t_p} \quad (6)$$

onde:

F_i = força de tração instantânea (kN.s⁻¹)

F_m = força de tração média (kN)

t_p = tempo de percurso na parcela (s)

O valor de 25 kN, adotado em todos os ensaios como força de tração constante, foi ajustado e controlado através da pressão aplicada no sistema de frenagem da

UMEB e monitorado através de um indicador eletrônico de força instantânea, instalado nesta unidade. Foi estabelecido em ensaios prévios o valor de 25 kN como força de tração constante a ser exercida na barra de tração, pois esta força apresentou na pista com superfície mobilizada (condição de maior exigência do trator) , valores de patinagem próximos a 15 %, na pista com cobertura vegetal 8 % e de 10 % conforme ASAE EP496.2 (1999) e Lanças (1996).

5.2.5 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 7. 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} .

$$Vm = \frac{s}{t} \cdot 3,6 \quad (7)$$

onde:

Vm = velocidade média (km h^{-1})

s = espaço percorrido (metros)

t = tempo decorrido (segundos)

3,6= fator de conversão

5.2.6 Patinagem do rodado do trator

Com os sinais recebidos dos geradores de pulsos instalados nos rodados, dianteiro e traseiro e utilizando a Equação 8, foi possível determinar a patinagem tanto nas rodas dianteiras como nas rodas traseiras. A determinação da patinagem do trator com carga foi obtida com o trator tracionando a UMEB, e a patinagem do trator sem carga foi obtida pelo deslocamento do trator sem tracionar a UMEB.

$$Pat = \frac{N_1 - N_0}{N_1} \quad (8)$$

onde:

Pat = patinagem das rodas motrizes (%)

N_0 = número de pulsos sem carga

N_1 = número de pulsos com carga

5.2.7 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 9:

$$Pb = \frac{Fm \times V}{3,6} \quad (9)$$

onde:

Pb = potência na barra (kW)

Fm = força de tração média (kN)

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

5.2.8 Consumo horário do combustível

Os pulsos gerados pelo fluxômetro volumétrico foram convertidos em volume, considerando a vazão de 1 mL pulso^{-1} e o tempo gasto na parcela.

O cálculo do consumo horário de combustível foi feito de acordo com a Equação 10:

$$Ch = \frac{Np \times 3,6}{t} \quad (10)$$

onde:

Ch = consumo horário (L h⁻¹)

Np = número de pulso do medidor de combustível

t = tempo de percurso da parcela (s)

5.2.9 Consumo específico de combustível

O cálculo do consumo específico de combustível foi feito de acordo com a Equação 11:

$$Cesp = \frac{Ch \times d}{Pb} * 1000 \quad (11)$$

onde:

Ch = consumo horário (L h⁻¹)

d = densidade do combustível (0,825 g.L⁻¹)

Pb= Potência na barra de tração (kW)

5.2.10 Rendimento na barra de tração

O cálculo do rendimento na barra de tração foi realizado de acordo com a Equação 12:

$$Rbt = \frac{Pb}{Pm} * 100 \quad (12)$$

onde:

P_b = potência na barra de tração (kW)

P_m = potência no motor (88 kW) (conforme informação do fabricante)

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados estão apresentados em tabelas dentro de tópicos, descritos conforme a interação entre os fatores estudados e a seqüência de procedimentos adotados no desenvolvimento desse trabalho.

6.1 Patinagem dos rodados do trator

Os valores das patinagens dos rodados do trator, nas três condições de superfície do solo, nas três condições de lastragem líquida e nos dois tipos de pneu, estão apresentados nas Tabelas 7, 8, 9, 10, 11, 12 e 13 respectivamente.

Tabela 7 – Valores médios da patinagem do rodado do trator em função do tipo construtivo do pneu para a interação pneu x lastro, na pista com superfície mobilizada.

Variável	ÁGUA (%)		
	0	37,5	75
PNEU DIAGONAL	28,79 a A*	21,35 a B	12,24 a C
PNEU RADIAL	34,72 a A	13,32 b B	16,51 a B

* Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 5\%$)

Na Tabela 7, na pista com superfície mobilizada, a patinagem somente foi diferente estatisticamente entre os pneus (diagonal e radial) para o lastro líquido de 37,5%, mostrando que nesta condição a patinagem do pneu radial estava próximo do recomendado, conforme ASAE EP 496.2 (1999). Para as outras lastragens (0 e 75% de água) não houve diferença entre os pneus, indicando também que a condição 0% de água não é recomendada (valores muito altos de patinagem).

Tabela 8 – Valores médios da patinagem do rodado do trator em função do tipo construtivo do pneu para a interação pneu x lastro, na pista com cobertura vegetal.

Variável	ÁGUA (%)		
	0	37,5	75
PNEU DIAGONAL	12,05 a A	11,33 a A	9,10 a B
PNEU RADIAL	15,93 b A	8,30 b B	9,75 a B

* Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 5\%$)

Da mesma forma, para a condição de pista com cobertura vegetal, somente para o lastro de 37,5% de água é que o pneu radial forneceu melhores resultados, com diferença estatisticamente significativa. Para 0% de água, o pneu diagonal foi estatisticamente melhor que o radial e, para a condição de 75% de água, não houve diferença entre os pneus e ambos os resultados se classificam como bons níveis de patinagem, conforme ASAE EP 496.2 (1999).

Tabela 9 – Valores médios da patinagem do rodado do trator em função do tipo construtivo do pneu para a interação pneu x lastro, na pista com superfície firme.

Variável	ÁGUA (%)		
	0	37,5	75
PNEU DIAGONAL	3,32 a A C	8,40 a B	3,20 a C
PNEU RADIAL	7,67 b A	5,59 b B	5,27 b B

* Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 5\%$)

Para a condição de pista com superfície firme os resultados apresentaram a mesma tendência da superfície com cobertura vegetal, o pneu radial apresentou os menores valores de patinagem para o lastro de 37,5% de água e para os outros (0 e 75% de água) os pneus diagonais apresentaram valores menores de patinagem dos rodados em comparação aos pneus radiais nas mesmas condições de lastragem.

Na pista com superfície mobilizada (Tabela 7), a patinagem foi maior, na seqüência a patinagem atingiu níveis intermediários na pista com cobertura vegetal (Tabela 8). Os menores valores de patinagem ocorreram na pista com superfície firme (Tabela 9). Esses resultados mostram que as condições da superfície do solo podem alterar significativamente o esforço tratorio, pois a tração está diretamente relacionada à patinagem do trator. Diferentes condições da superfície do solo causam diferentes condições de patinagem dos rodados do trator, confirmando os resultados relatados por Gu e Kushwara (1994), Mialhe (1996), Lanças e Upadhyaya (1997) e Herzog et al.(2002).

As Tabelas 10, 11, 12 e 13 mostram que a patinagem do trator independentemente do tipo de forma construtiva dos pneus (diagonal ou radial) foi menor para a condição de 75% de água para todas as pistas utilizadas (mobilizada, com cobertura vegetal e firme).

Tabela 10 – Valores médios da patinagem do trator (%) em função da lastragem líquida (ÁGUA) dos pneus, na pista com superfície mobilizada.

Variável	ÁGUA (%)		
	0	37,5	75
PATINAGEM (%)	31,76 A*	17,34 B	14,37 B

* Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 5\%$)

Na pista com superfície mobilizada (Tabela 10), a patinagem média do trator, para 0 % de água, foi 121,0 % maior do que na condição de 75% de água e 83,2% maior do que na lastragem com 37,5% de água.

Tabela 11 – Valores médios da patinagem do trator (%) em função da lastragem líquida (ÁGUA) dos pneus, na pista com superfície com cobertura vegetal.

Variável	ÁGUA (%)		
	0	37,5	75
PATINAGEM (%)	13,99 A	9,82 B	9,41 B

* Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 5\%$)

Na pista com cobertura vegetal (Tabela 11), não houve diferença significativa entre a condição de 37,5% e 75% de água. Na condição de 0% de água a patinagem foi maior do que nas demais condições para a mesma pista; porém, com valores menores do que os apresentados na pista com solo mobilizado (Tabela 10). A presença de palha sobre a superfície alterou a relação rodado-solo e interferiu nos valores de patinagem da mesma maneira que observaram Yanai (1999) e Gabriel Filho (2004). Isso evidencia a importância das condições da superfície do solo no desgaste do rodado, pois quanto maior a patinagem, maior o desgaste do pneu. Jenane e Bashford (2000) também concluíram que, em solo com cobertura vegetal, os resultados foram diferentes do solo preparado com arado de discos.

Tabela 12 – Valores médios da patinagem do trator (%) em função da lastragem líquida (ÁGUA) dos pneus, na pista com superfície firme.

Variável	ÁGUA (%)		
	0	37,5	75
PATINAGEM (%)	5,50 B	6,99 A	4,24 C

* Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 5\%$)

Na Tabela 12 os valores de patinagem do trator em função do tipo de pneu foram significativos apenas para a condição de pista com superfície firme. As diferenças entre as demais comparações não foram significativas quando submetidas ao teste de Tukey-Kramer.

Tabela 13 – Valores médios da patinagem do rodado do trator em função do tipo construtivo do pneu, na pista com superfície firme.

Variável	Tipo Construtivo do Pneu	
	PNEU DIAGONAL	PNEU RADIAL
PATINAGEM (%)	4,97 B*	6,18 A

* Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 5\%$)

Os valores médios para as diferentes lastragens mostraram que o pneu diagonal apresentou menor patinagem do que o pneu radial.

6.2 Consumo horário de combustível

O consumo horário de combustível para gerar a potência necessária na barra de tração para tracionar a UMEB está apresentados nas Tabelas 14, 15, 16, 17, 18, 19 e 20.

Tabela 14 – Valores médios do consumo horário de combustível Ch ($L \cdot h^{-1}$) em função do tipo construtivo do pneu, para a interação pneu x lastro na pista com superfície mobilizada.

Variável	ÁGUA (%)		
	0	37,5	75
PNEU DIAGONAL	17,57 a A*	17,61 a A	16,70 aA
PNEU RADIAL	17,80 a A	16,58 a B	17,53 a A

* Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 5\%$)

O consumo horário de combustível foi maior na pista com superfície mobilizada (Tabela 14) e semelhante entre as pistas com cobertura vegetal (Tabela 15) e superfície firme (Tabela 16), concordando com os resultados de Correa et al (1999) e Cordeiro (2000). A mobilização do solo fez com que o trator consumisse mais combustível para manter a rotação do motor nos níveis desejados para exercer a tração de 25 kN, aproximadamente. Nagaoka et al.(2002) também observaram um maior consumo de combustível do trator em área com solo preparado pelo método convencional (aração e gradagem) em relação à área sob o sistema de plantio direto.

O pneu radial apresentou menores valores numéricos de consumo horário de combustível do que o pneu diagonal, para todas as pistas utilizadas; porém, com diferença estatisticamente significativa somente para a pista com superfície firme (Tabela 16).

Tabela 15 – Valores médios do consumo horário de combustível Ch ($L.h^{-1}$), em função do tipo construtivo do pneu, para a interação pneu x lastro na pista com superfície com cobertura vegetal.

Variável	ÁGUA (%)		
	0	37,5	75
PNEU DIAGONAL	16,88 a A	16,80 a A	15,87 a A
PNEU RADIAL	16,53 a A	15,90 a A	16,61 a A

* Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 5\%$)

Tabela 16 – Valores médios do consumo horário de combustível Ch ($L.h^{-1}$), em função do tipo construtivo do pneu, para a interação pneu x lastro na pista com superfície com superfície firme.

Variável	ÁGUA (%)		
	0	37,5	75
PNEU DIAGONAL	16,64 a A	16,70 a A	15,76 a A
PNEU RADIAL	16,17 a A B	15,29 b B	16,40 a A

* Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 5\%$)

A Tabela 16 mostra que os valores médios de consumo horário de combustível para a interação pneu e lastro foi significativo apenas para a condição de 37,5% de água na pista com superfície firme, com valores maiores para o pneu diagonal.

Tabela 17 – Valores médios do consumo horário de combustível - Ch ($L.h^{-1}$) do trator em função do tipo construtivo do pneu, na pista com superfície firme.

Variável	TIPO CONSTRUTIVO DE PNEU	
	PNEU DIAGONAL	PNEU RADIAL
Ch ($L.h^{-1}$)	16,36 A*	15,95 B

* Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 5\%$)

A Tabela 17 confirma o maior consumo de combustível, estatisticamente significativo, para o pneu diagonal. Dados semelhantes foram obtidos por

CORDEIRO (2000), onde o trator equipado com pneus radial apresentou menor consumo de combustível em comparação com o pneu diagonal.

Tabela 18 – Valores médios do consumo horário de combustível Ch ($L.h^{-1}$) do trator para as três velocidades de deslocamento (MARCHA), na pista com superfície mobilizada.

Variável	MARCHA		
	B1	B2	C1
Ch ($L.h^{-1}$)	14,92 B*	18,24 A	18,74 A

* Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 5\%$)

A Tabela 18, 19 e 20 apresenta os valores de consumo de combustível em função da marcha, sendo que, à medida que se elevou a velocidade de deslocamento, o consumo de combustível também se elevou, com diferenças estatisticamente significativas, nas três condições de superfície (pistas).

O menor valor de consumo horário de combustível foi obtido na marcha B1 com diferença estatisticamente significativa para as outras duas marchas (B2 e C1) em todas as pistas (superfícies). As marchas B2 e C1 só apresentaram diferenças significativas para a pista com superfície firme (Tabela 20).

Tabela 19 – Valores médios do consumo horário de combustível Ch ($L.h^{-1}$) do trator para as três velocidades de deslocamento (MARCHA), na pista com cobertura vegetal.

Variável	MARCHA		
	B1	B2	C1
Ch ($L.h^{-1}$)	14,22 B	17,24 A	17,83 A

* Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 5\%$)

Tabela 20 – Valores médios do consumo horário de combustível Ch ($L.h^{-1}$) do trator para as três velocidades de deslocamento (MARCHA), na pista com superfície firme.

Variável	MARCHA		
	B1	B2	C1
Ch ($L.h^{-1}$)	13,79 C	17,03 B	17,66 A

* Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 5\%$)

6.3 Velocidade de deslocamento

Nas Tabelas 21, 22, 23, 24 e 25 estão apresentados os valores para a velocidade de deslocamento do trator em função do tipo de superfície, condição de lastragem e tipo de pneu.

Tabela 21 – Valores médios da velocidade de deslocamento (Km.h^{-1}) do trator em função do tipo construtivo do pneu, para a interação pneu x lastro na pista com superfície mobilizada.

Variável	ÁGUA (%)		
	0	37,5	75
PNEU DIAGONAL	3,95 a A*	4,34 a A B	4,72 a B
PNEU RADIAL	3,46 a A	4,76 a B	4,60 a B

* Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 5\%$)

Tabela 22 – Valores médios da velocidade de deslocamento (Km.h^{-1}) do trator em função da lastragem líquida (ÁGUA) dos pneus, na pista com superfície mobilizada.

Variável	ÁGUA (%)		
	0	37,5	75
VELOC (Km.h^{-1})	3,71 B*	4,55 A	4,66 A

* Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 5\%$)

Não houve diferença significativa da velocidade de deslocamento entre os pneus diagonal e radial para a variável lastro líquido na pista com superfície mobilizada; porém houve diferença significativa para o pneu diagonal e pneu radial com 0 % de água em relação a 37,5 % e 75 % de água, respectivamente.

Tabela 23 – Valores médios da velocidade de deslocamento (Km.h^{-1}) do trator, na pista com superfície mobilizada.

Variável	MARCHA		
	B1	B2	C1
VELOC (Km.h^{-1})	3,18 C*	4,69 B	5,05 A

* Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 5\%$)

Nas Tabelas 23, 24 e 25, a exemplo do consumo de combustível, a velocidade de deslocamento do trator aumentou à medida que foram alterando as marchas do trator, nas três condições de superfície do solo, concordando com os resultados obtidos por Cordeiro (2000).

Tabela 24 – Valores médios da velocidade de deslocamento (Km.h⁻¹) do trator, na pista com cobertura vegetal.

Variável	MARCHA		
	B1	B2	C1
VELOC (Km.h ⁻¹)	3,64 B	5,30 A	5,53 A

* Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer (p<5%)

Tabela 25 – Valores médios da velocidade de deslocamento (Km.h⁻¹) do trator, na pista com superfície firme.

Variável	MARCHA		
	B1	B2	C1
VELOC (Km.h ⁻¹)	3,76 C	5,57 B	5,89 A

* Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer (p<5%)

6.4 Potência na barra de tração

Em relação às condições estudadas de lastro líquido no pneu, não houve diferença estatisticamente significativa entre os tipos construtivos de pneus (diagonal e radial), porém, para a pista com superfície mobilizada (Tabela 26), os menores valores de potência na barra de tração, com diferença significativa, foram obtidos para 0% de lastro, sendo que as outras condições (37,5 e 75%), não diferiram entre si.

Tabela 26 – Valores médios da potência na barra de tração Pb (kW) do trator em função do tipo construtivo do pneu, para a interação pneu x lastro na pista com superfície mobilizada.

Variável	ÁGUA (%)		
	0	37,5	75
PNEU DIAGONAL	27,45 a A*	30,13 a A B	32,82 a B
PNEU RADIAL	23,66 a A	33,10 a B	29,23 a B

* Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer (p<5%)

Tabela 27 – Valores médios da potência na barra de tração Pb (kW) do trator em função do tipo construtivo do pneu, para a interação pneu x lastro na pista com cobertura vegetal.

Variável	ÁGUA (%)		
	0	37,5	75
PNEU DIAGONAL	33,79 a A	33,98 a A	33,72 a A
PNEU RADIAL	31,22 a A	34,40 a A	33,40 a A

* Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 5\%$)

Tabela 28 – Valores médios da potência na barra de tração Pb (kW) do trator em função do tipo construtivo do pneu, para a interação pneu x lastro na pista com superfície firme.

Variável	ÁGUA (%)		
	0	37,5	75
PNEU DIAGONAL	35,42 a A	35,58 a A	34,62 a A
PNEU RADIAL	35,57 a A	35,37 a A	37,92 a A

* Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 5\%$)

Tabela 29 – Valores médios da potência na barra de tração Pb (kW) do trator, em função da velocidade de deslocamento (MARCHA) do trator, na pista com superfície mobilizada.

Variável	MARCHA		
	B1	B2	C1
Pb (kW)	21,73 C*	31,76 B	34,70 A

* Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 5\%$)

As Tabelas 29, 30 e 31, mostram que a potência na barra de tração foi estatisticamente menor para a marcha B1 (marcha de menor velocidade), em relação às demais, para todas as pistas e a marcha C1 (marcha de maior velocidade), apresentou valores estatisticamente maiores nas pistas de superfície mobilizada e firme. A marcha B2 apresentou valores intermediários de potência na barra de tração para todas as condições estudadas.

Tabela 30 – Valores médios da potência na barra de tração Pb (kW) do trator, em função da velocidade de deslocamento (MARCHA) do trator, na pista com cobertura vegetal.

Variável	MARCHA		
	B1	B2	C1
Pb (kW)	25,36 B	36,40 A	38,49 A

* Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 5\%$)

Tabela 31 – Valores médios da potência na barra de tração Pb (kW) do trator, em função da velocidade de deslocamento (MARCHA) do trator, na pista com superfície firme.

Variável	MARCHA		
	B1	B2	C1
Pb (kW)	26,43 C	38,99 B	41,32 A

* Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 5\%$)

Tabela 32 – Valores médios da potência na barra de tração Pb (kW) do trator em função da lastragem líquida (ÁGUA) dos pneus, na pista com superfície mobilizada.

Variável	ÁGUA (%)		
	0	37,5	75
Pb (kW)	25,56 B*	31,61 A	31,02 A

* Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 5\%$)

Em relação às condições estudadas de lastro líquido no pneu, não houve diferença estatisticamente significativa entre os tipos construtivos de pneus (diagonal e radial), porém, para a pista com superfície mobilizada (Tabela 26), os menores valores de potência na barra de tração, com diferença significativa, foram obtidos para 0% de lastro, sendo que as outras condições (37,5 e 75%), não diferiram entre si.

6.5 Consumo específico de combustível

A quantidade de combustível para gerar a potência necessária na barra de tração para tracionar a UMEB, entre as três condições de superfícies foram diferentes,

sendo que os maiores valores de consumo específico de combustível ocorreram na pista com superfície mobilizada, seguida da pista com cobertura vegetal e pela pista com superfície firme, conforme mostram os dados das Tabelas 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42 e 43.

Tabela 33 – Valores médios do consumo específico de combustível Cesp (g.kW.h^{-1}), do trator em função do tipo construtivo do pneu, para a interação pneu x lastro na pista com superfície mobilizada.

Variável	ÁGUA (%)		
	0	37,5	75
PNEU DIAGONAL	539,09 a A*	492,62 a A	428,73 a B
PNEU RADIAL	641,97 b A	419,17 b B	511,39 b C

* Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 5\%$)

A mobilização do solo diminuiu a capacidade do trator em desenvolver a tração, pois o solo desagregado não ofereceu a mesma resistência se comparado com o mesmo tipo de solo onde não houve a desagregação das partículas. Essa situação requer mais energia do trator para vencer a tração e com isso o consumo específico de combustível para manter a velocidade passa a ser maior, conforme Nagaoka et al. (2002).

Tabela 34 – Valores médios do consumo específico de combustível Cesp (g.kW.h^{-1}), do trator em função do tipo construtivo do pneu, para a interação pneu x lastro na pista com cobertura vegetal.

Variável	ÁGUA (%)		
	0	37,5	75
PNEU DIAGONAL	421,34 a A	416,06 a A	396,52 a A
PNEU RADIAL	447,33 a A	386,57 a B	422,15 a A B

* Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 5\%$)

Na pista com superfície firme, conforme mostrado na Tabela 35, os pneus radiais apresentaram menores valores de consumo específico de combustível, com diferenças estatísticas, concordando com os resultados obtidos por Correa et al (1999) e Lopes et al (2003). Para a pista com superfície mobilizada (Tabela 33), os menores valores de

consumo específico de combustível, com diferenças significativas, foram obtidos com os pneus diagonais.

Tabela 35 – Valores médios do consumo específico de combustível Cesp (g.kW.h^{-1}), do trator em função do tipo construtivo do pneu, para a interação pneu x lastro na pista com superfície firme.

Variável	ÁGUA (%)		
	0	37,5	75
PNEU DIAGONAL	394,94 a A	394,94 a A	381,21 a A
PNEU RADIAL	393,87 a A	361,57 b B	365,05 b B

* Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 5\%$)

Com relação à condição de lastragem líquida, a Tabela 36 mostra que 0% de água apresentou os maiores valores de consumo específico de combustível, com diferenças significativas para as demais condições de lastragem líquida, que não apresentaram diferenças estatísticas entre si.

Tabela 36 – Valores médios do consumo específico de combustível Cesp (g.kW.h^{-1}) do trator em função da lastragem líquida (ÁGUA) dos pneus, na pista com superfície mobilizada.

Variável	ÁGUA (%)		
	0	37,5	75
Cesp (g.kW.h^{-1})	590,53 A*	455,90 B	470,07 B

* Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 5\%$)

Tabela 37 – Valores médios do consumo específico de combustível Cesp (g.kW.h^{-1}) do trator em função da lastragem líquida (ÁGUA) dos pneus, na pista com cobertura vegetal.

Variável	ÁGUA (%)		
	0	37,5	75
Cesp (g.kW.h^{-1})	434,34 A	401,32 B	409,34 A B

* Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 5\%$)

Tabela 38 – Valores médios do consumo específico de combustível Cesp (g.kW.h^{-1}) do trator em função da lastragem líquida (ÁGUA) dos pneus, na pista com superfície firme.

Variável	ÁGUA (%)		
	0	37,5	75
Cesp (g.kW.h^{-1})	394,40 A	378,25 B	373,13 B

* Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 5\%$)

O consumo específico de combustível em função do tipo construtivo do pneu na pista com superfície mobilizada, o pneu diagonal obteve um menor consumo específico de combustível que o pneu radial (Tabela 39), Cordeiro (2000), ao avaliar o desempenho operacional de um trator, observou que o pneu diagonal apresentou menores valores de consumo específico de combustível que o pneu radial, num solo mobilizado.

Tabela 39 – Valores médios do consumo específico de combustível Cesp (g.kW.h^{-1}) do trator em função do tipo construtivo do pneu, na pista com superfície mobilizada.

Variável	TIPO CONSTRUTIVO DO PNEU	
	PNEU DIAGONAL	PNEU RADIAL
Cesp (g.kW.h^{-1})	486,81 B*	524,18 A

* Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 5\%$)

Para a condição de superfície firme (Tabela 40), o pneu radial obteve os menores valores de consumo específico de combustível, resultados semelhantes foram obtidos por Correa et al. (2000).

Tabela 40 – Valores médios do consumo específico de combustível Cesp (g.kW.h^{-1}) do trator em função do tipo construtivo do pneu, na pista com superfície firme.

Variável	TIPO CONSTRUTIVO DO PNEU	
	PNEU DIAGONAL	PNEU RADIAL
Cesp (g.kW.h^{-1})	390,36 A	373,50 B

* Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 5\%$)

As Tabelas 41, 42 e 43 mostraram que a marcha de maior consumo específico de combustível, para todas as pistas (condições superficiais), foi a B1 (marcha de menor velocidade de deslocamento). A marcha C1 (de maior velocidade de deslocamento)

apresentou o menor consumo específico de combustível para a pista com superfície mobilizada. Para as outras pistas, as marchas B2 e C1 não apresentaram valores significativamente diferentes para o consumo específico de combustível, conforme Lopes (2003).

Tabela 41 – Valores médios do consumo específico de combustível do trator, em função da velocidade de deslocamento (MARCHA) do trator, na pista com superfície mobilizada.

Variável	MARCHA		
	B1	B2	C1
Cesp (g.kW.h ⁻¹)	578,98 A*	485,18 B	452,34 C

* Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer (p<5%)

Tabela 42 – Valores médios do consumo específico de combustível do trator, em função da velocidade de deslocamento (MARCHA) do trator, na pista com cobertura vegetal.

Variável	MARCHA		
	B1	B2	C1
Cesp (g.kW.h ⁻¹)	466,83 A	393,34 B	384,83 B

* Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer (p<5%)

Tabela 43 – Valores médios do consumo específico de combustível do trator, em função da velocidade de deslocamento (MARCHA) do trator, na pista com superfície firme.

Variável	MARCHA		
	B1	B2	C1
Cesp (g.kW.h ⁻¹)	431,28 A	360,72 B	353,79 B

* Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer (p<5%)

6.6 Rendimento na barra de tração

Em relação às condições estudadas de lastro líquido no pneu, não houve diferença estatisticamente significativa entre os tipos de pneus (diagonal e radial); porém, para a pista com superfície mobilizada, os menores valores de rendimento na barra de

tração, com diferença estatisticamente significativa, foram obtidos para 0% de água, sendo que as outras condições (37,5 e 75%), não diferiram entre si, conforme mostra a Tabela 44.

Tabela 44 – Valores médios do rendimento na barra de tração do trator Rbt (%) em função do tipo construtivo do pneu, para a interação pneu x lastro na pista com superfície mobilizada.

Variável	ÁGUA (%)		
	0	37,5	75
PNEU DIAGONAL	31,20 a A*	34,24 a A B	37,29 a A B
PNEU RADIAL	26,89 a A	37,61 a B	33,22 a B

* Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 5\%$)

Tabela 45 – Valores médios do rendimento na barra de tração do trator Rbt (%) em função do tipo construtivo do pneu na pista com cobertura vegetal.

Variável	ÁGUA (%)		
	0	37,5	75
PNEU DIAGONAL	38,40 a A	38,61 a A	38,31 a A
PNEU RADIAL	35,48 a A	39,09 a A	37,96 a A

* Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 5\%$)

Tabela 46 – Valores médios do rendimento na barra de tração do trator Rbt (%) em função do tipo construtivo do pneu na pista com superfície firme.

Variável	ÁGUA (%)		
	0	37,5	75
PNEU DIAGONAL	40,25 a A	40,43 a A	39,34 a A
PNEU RADIAL	39,29 a A	40,20 a A	43,09 a A

* Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 5\%$)

As Tabelas 47, 48 e 49 mostraram que a marcha de maior rendimento na barra de tração, para todas as condições superficiais (pistas), foi a C1 (marcha de maior velocidade de deslocamento). A marcha B1 (de menor velocidade de deslocamento) apresentou o menor rendimento na barra de tração e, para todas as pistas (condições superficiais).

Tabela 47 – Valores médios do rendimento na barra de tração Rbt (%), em função da velocidade de deslocamento (MARCHA) do trator, na pista com superfície mobilizada.

Variável	MARCHA		
	B1	B2	C1
Rbt (%)	24,70 C*	36,09 B	39,44 A

* Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 5\%$)

Tabela 48 – Valores médios do rendimento na barra de tração Rbt (%), em função da velocidade de deslocamento (MARCHA) do trator, na pista com cobertura vegetal.

Variável	MARCHA		
	B1	B2	C1
Rbt (%)	28,82 B	41,36 A	43,74 A

* Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 5\%$)

Tabela 49 – Valores médios do rendimento na barra de tração Rbt (%), em função da velocidade de deslocamento (MARCHA) do trator, na pista com superfície firme.

Variável	MARCHA		
	B1	B2	C1
Rbt (%)	30,04 C	44,31 B	46,95 A

* Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 5\%$)

A Tabela 50 apresenta os resultados de rendimento na barra de tração para a pista com superfície mobilizada, sendo que para as outras pistas, não houve diferenças significativas. A condição de 0 % de água apresentou valores de rendimento na barra de tração significativamente menores em relação às condições de 37,5 % e 75 % de água, que não apresentaram diferenças significativas entre si.

Tabela 50 – Valores médios do rendimento na barra de tração Rbt (%) do trator em função da lastragem líquida (ÁGUA) dos pneus, na pista com superfície mobilizada.

Variável	ÁGUA (%)		
	0	37,5	75
Rbt (%)	29,05 B*	35,92 A	35,26 A

* Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 5\%$)

7 CONCLUSÕES

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

Para o lastro de 37,5% de água nos pneus radiais foram obtidos os menores valores de patinagem e consumo horário de combustível.

Os maiores valores de patinagem e consumo horário de combustível se deram nos tratamentos com solo mobilizado, mostrando que esta condição superficial do solo foi responsável pelo menor desempenho do trator.

O melhor desempenho do trator equipado com pneu diagonal ocorreu com o lastro líquido de 75% de água nos pneus.

Para o trator equipado com pneu radial o melhor desempenho ocorreu na condição de 37,5% de água no pneu.

A marcha C1 ($5,5 \text{ km.h}^{-1}$), forneceu a maior velocidade de deslocamento, menor consumo específico de combustível, maior potência na barra de tração, mostrando que esta é a melhor marcha a ser utilizada nas operações agrícolas, para as condições apresentadas.

As pistas com superfície firme e com cobertura vegetal apresentaram resultados de desempenho operacional e energético semelhantes na maioria das condições estudadas, enquanto que, na pista com superfície mobilizada obtiveram-se, os menores resultados de desempenho operacional e energético 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 tratorária de um trator agrícola obtidos pela equação de Wismer e Luth e por ensaios de campo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília: n. 4, v. 30, p. 523 - 530. 1995.

AL-HAMED, S.A., GRISSO, R.D., ZOZ, F.M., VON BARGEN, K. *Tractor performance spreadsheet for radial tires*. St. Joseph: ASAE. 1990 (ASAE Paper, 901576), 27p.

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. e 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.

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

CORREA, 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.

CORREA, 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.

JESUÍNO, P. R. *Desempenho de um trator agrícola em função do desgaste das garras dos pneus e das condições superficiais do solo*. Botucatu, UNESP-FCA, 2007. 64p. Dissertação (Mestrado em Agronomia - AC Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 2007.

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.

LOPES, A., LANÇAS, K.P., SILVA, R.P.; CARLOS EDUARDO ANGELI FURLANI, C.E.A., ALBERTO KAZUSHI NAGAOKA, A.K., REIS, G.N. Desempenho de um trator em função do tipo de pneu, da lastragem e da velocidade de trabalho *Cienc. Rural*, Santa Maria, v.35, n.2, p.366-370, 2005.

LOPES, A., LANÇAS, K. P., FURLANI, C. E. A., NAGAOKA, A. K., NETO, P. C., GROTTA, D. C. C. Consumo de combustível de um trator agrícola em função do tipo de pneu, da lastragem e da velocidade de trabalho em condição de preparo do solo com escarificador. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002. Salvador. *Anais...* Salvador: UFB, 2002. CD-ROM.

MIALHE, L. G. *Maquinas Agrícolas – Ensaios e 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., 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.

SILVA, S.L., BENEZ, S.H. Construção de um sistema de aquisição de dados para avaliação do desempenho energético de máquinas e equipamentos 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.

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.

UPADHYAYA, S.K., WULSFON, D. review of traction prediction equations. St. Joseph: ASAE. 1990 (ASAE Paper, 90-1573), 23p.

WISMER, R.D. e 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.

```

PISTA 01 - Superfície mobilizada

Parc	Trat	RDE (pulsos)	RDD (pulsos)	RTE (pulsos)	RTD (pulsos)	COMB (pulsos)	TEMP (s)
15	M2PD	552	546	404	404	131	30,58
18	M2PD	545	542	401	399	128	31,14
24	M2PD	565	561	414	412	128	29,24
4	M3PD	625	585	431	428	104	22,47
7	M3PD	536	528	391	400	98	18,28
10	M3PD	598	582	433	428	116	21,86
13	M4PD	574	572	422	425	105	19,55
17	M4PD	580	574	426	426	113	22,58
23	M4PD	524	523	383	390	98	17,85

APÊNDICE 2- Dados originais obtidos nos ensaios com pneu diagonal com 0% de água

PISTA 2 - superfície com palha

Parc	Trat	RDE	RDD	RTE	RTD	COMB	TEMP (s)
37	M2PD	458	459	341	336	97	24,57
41	M2PD	468	477	349	343	107	26,13
45	M2PD	472	471	350	344	102	24,42
26	M3PD	459	459	335	341	77	15,06
32	M3PD	459	495	341	338	85	17,51
36	M3PD	453	462	332	334	84	17,23
38	M4PD	459	458	335	338	80	15,26
43	M4PD	466	472	346	342	80	15,47
47	M4PD	476	473	340	360	86	18,16

PISTA 3 - superfície lisa e firme

Parc	Trat	RDE (pulsos)	RDD (pulsos)	RTE (pulsos)	RTD (pulsos)	COMB (pulsos)	TEMP (s)
61	M2PD	444	446	326	325	92	23,55
68	M2PD	446	450	328	328	93	23,14
71	M2PD	451	453	330	331	97	25,72
50	M3PD	435	455	318	324	77	16,57
53	M3PD	437	437	322	323	74	14,38
58	M3PD	442	477	326	325	80	16,56
62	M4PD	458	460	339	337	80	15,16
66	M4PD	432	432	320	320	80	16,57
72	M4PD	446	446	328	326	75	14,49

RDE – roda dianteira esquerda

RDD - roda dianteira direita

RTE – roda traseira esquerda

RTD – roda traseira direita

COMB – combustível

TEMP – tempo

APÊNDICE 3- Dados originais obtidos nos ensaios com pneu diagonal com 37,5% de água

PISTA 01 - Superfície gradeada

Parc	Trat	RDE (pulsos)	RDD (pulsos)	RTE (pulsos)	RTD (pulsos)	COMB (pulsos)	TEMP (s)
16	M2PD	504	485	360	359	116	27,70
20	M2PD	502	497	367	368	120	28,33
21	M2PD	500	503	370	375	115	26,63
2	M3PD	532	532	394	393	107	21,11
5	M3PD	484	484	358	358	87	16,37
9	M3PD	540	539	400	399	106	20,89
14	M4PD	529	529	392	391	98	18,87
19	M4PD	473	473	350	345	93	18,26
22	M4PD	483	483	358	357	91	16,42

PISTA 2 - superfície com palha

Parc	Trat	RDE (pulsos)	RDD (pulsos)	RTE (pulsos)	RTD (pulsos)	COMB (pulsos)	TEMP (s)
39	M2PD	455	454	335	338	96	24,43
44	M2PD	454	455	336	336	103	26,22
48	M2PD	457	455	337	338	100	23,93
25	M3PD	448	446	331	329	78	15,04
30	M3PD	444	443	327	328	81	17,09
33	M3PD	448	449	332	330	84	17,53
40	M4PD	452	452	335	334	80	15,38
42	M4PD	456	454	337	335	79	15,44
46	M4PD	469	468	344	345	87	17,64

PISTA 3 - superfície lisa e firme

Parc	Trat	RDE (pulsos)	RDD (pulsos)	RTE (pulsos)	RTD (pulsos)	COMB (pulsos)	TEMP (s)
63	M2PD	440	439	325	325	93	23,35
67	M2PD	442	444	328	327	94	23,40
69	M2PD	438	437	324	322	96	25,28
52	M3PD	418	418	311	309	75	15,81
54	M3PD	449	448	336	325	77	14,78
59	M3PD	451	452	336	330	84	16,74
64	M4PD	447	447	331	330	77	15,25
65	M4PD	432	432	319	320	78	16,54
70	M4PD	431	430	318	318	74	14,16

RDE – roda dianteira esquerda

RDD - roda dianteira direita

RTE – roda traseira esquerda

RTD – roda traseira direita

COMB - combustível

TEMP - tempo

APÊNDICE 4- Dados originais obtidos nos ensaios com pneu diagonal com 75% de água

PISTA 01 - Superfície gradeada

Parc	Trat	RDE (pulsos)	RDD (pulsos)	RTE (pulsos)	RTD (pulsos)	COMB (pulsos)	TEMP (s)
16	M2PD	461	456	338	337	106	26,62
20	M2PD	461	458	337	338	105	26,33
21	M2PD	446	445	328	330	97	24,72
2	M3PD	452	451	333	333	86	18,39
5	M3PD	480	449	332	332	81	15,66
9	M3PD	445	444	330	328	86	17,83
14	M4PD	449	446	331	329	81	15,24
19	M4PD	460	461	340	339	88	19,00
22	M4PD	452	448	332	331	82	15,60

PISTA 2 - superfície com palha

Parc	Trat	RDE (pulsos)	RDD (pulsos)	RTE (pulsos)	RTD (pulsos)	COMB (pulsos)	TEMP (s)
39	M2PD	442	441	326	327	94	24,43
44	M2PD	440	441	326	325	97	26,76
48	M2PD	446	444	325	326	93	25,58
25	M3PD	435	435	319	323	75	15,45
30	M3PD	436	436	322	322	80	17,48
33	M3PD	431	431	320	319	80	17,46
40	M4PD	440	437	323	323	75	15,14
42	M4PD	435	433	319	320	75	14,97
46	M4PD	450	444	330	329	82	17,82

PISTA 3 - superfície lisa e firme

Parc	Trat	RDE (pulsos)	RDD (pulsos)	RTE (pulsos)	RTD (pulsos)	COMB (pulsos)	TEMP (s)
63	M2PD	432	430	317	317	88	23,02
67	M2PD	427	428	314	316	89	22,36
69	M2PD	426	426	315	315	92	24,97
52	M3PD	434	433	319	322	78	17,36
54	M3PD	431	431	316	321	73	15,22
59	M3PD	428	430	316	317	77	17,67

64	M4PD	447	442	325	327	74	15,53
65	M4PD	429	429	317	318	78	16,83
70	M4PD	454	430	316	317	73	15,00

RDE – roda dianteira esquerda

RDD - roda dianteira direita

RTE – roda traseira esquerda

RTD – roda traseira direita

COMB – combustível

TEMP - tempo

APÊNDICE 5- Dados originais obtidos nos ensaios com pneu radial com 0% de água

PISTA 01 - Superfície gradeada

Parc	Trat	RDE (pulsos)	RDD (pulsos)	RTE (pulsos)	RTD (pulsos)	COMB (pulsos)	TEMP (s)
16	M2PR	749	743	535	566	177	40,68
20	M2PR	605	602	438	453	146	34,85
21	M2PR	680	680	456	547	160	36,58
2	M3PR	670	663	469	509	126	23,76
5	M3PR	578	579	402	453	114	23,01
9	M3PR	712	713	520	535	139	25,69
14	M4PR	594	595	436	444	122	22,66
19	M4PR	569	569	421	421	108	19,67
22	M4PR	544	546	400	405	108	21,35

PISTA 2 - superfície com palha

Parc	Trat	RDE (pulsos)	RDD (pulsos)	RTE (pulsos)	RTD (pulsos)	COMB (pulsos)	TEMP (s)
39	M2PR	501	501	373	368	111	28,64
44	M2PR	496	497	360	372	109	26,63
48	M2PR	488	488	358	365	111	27,81
25	M3PR	498	496	364	373	92	19,43
30	M3PR	483	487	355	359	84	16,52
33	M3PR	495	493	358	370	84	16,94
40	M4PR	475	476	342	364	88	18,71
42	M4PR	481	479	345	363	90	18,60
46	M4PR	472	473	345	349	82	16,25

PISTA 3 - superfície lisa e firme

Parc	Trat	RDE (pulsos)	RDD (pulsos)	RTE (pulsos)	RTD (pulsos)	COMB (pulsos)	TEMP (s)
63	M2PR	455	455	337	337	100	26,71
67	M2PR	438	438	322	324	97	25,15

69	M2PR	427	426	315	316	90	22,29
52	M3PR	447	447	323	336	81	17,60
54	M3PR	437	438	313	332	74	14,79
59	M3PR	434	433	321	321	79	16,79
64	M4PR	444	443	325	330	74	15,13
65	M4PR	437	438	323	323	78	17,19
70	M4PR	446	447	324	330	75	14,80

RDE – roda dianteira esquerda

RDD - roda dianteira direita

RTE – roda traseira esquerda

RTD – roda traseira direita

COMB – combustível

TEMP - tempo

APÊNDICE 6- Dados originais obtidos nos ensaios com pneu radial com 37,5% de água

PISTA 01 - Superfície gradeada

Parc	Trat	RDE (pulsos)	RDD (pulsos)	RTE (pulsos)	RTD (pulsos)	COMB (pulsos)	TEMP (s)
6	M2PR	456	456	337	337	99	26,06
15	M2PR	453	452	334	335	97	25,16
24	M2PR	471	470	347	346	105	25,18
7	M3PR	452	453	335	335	85	18,08
13	M3PR	455	455	336	338	87	18,40
23	M3PR	458	458	340	339	86	18,53
4	M4PR	446	446	329	330	81	15,04
10	M4PR	449	448	332	332	81	15,37
17	M4PR	450	449	331	334	78	15,85

PISTA 2 - superfície com palha

Parc	Trat	RDE (pulsos)	RDD (pulsos)	RTE (pulsos)	RTD (pulsos)	COMB (pulsos)	TEMP (s)
27	M2PR	427	428	316	316	89	23,52
34	M2PR	431	430	319	319	90	23,75
41	M2PR	433	432	320	320	81	17,67
43	M3PR	437	438	323	323	91	24,57
26	M3PR	438	438	325	324	80	17,89
38	M3PR	430	429	318	317	79	17,27
32	M4PR	431	432	319	319	77	15,50
36	M4PR	432	432	320	319	77	15,10
47	M4PR	432	433	321	320	73	15,22

PISTA 3 - superfície lisa e firme

Parc	Trat	RDE (pulsos)	RDD (pulsos)	RTE (pulsos)	RTD (pulsos)	COMB (pulsos)	TEMP (s)
51	M2PR	421	422	311	311	86	23,48
57	M2PR	416	416	308	308	84	23,77
71	M2PR	424	425	314	314	87	24,14
50	M3PR	412	411	305	304	72	16,75
58	M3PR	421	421	312	311	75	16,77
66	M3PR	419	420	310	310	75	17,08
53	M4PR	419	418	311	309	70	14,93
62	M4PR	429	430	317	318	73	15,22
72	M4PR	420	420	312	311	70	14,63

RDE – roda dianteira esquerda

RDD - roda dianteira direita

RTE – roda traseira esquerda

RTD – roda traseira direita

COMB – combustível

TEMP - tempo

APÊNDICE 7- Dados originais obtidos nos ensaios com pneu radial com 75% de água

PISTA 01 - Superfície gradeada

Parc	Trat	RDE (pulsos)	RDD (pulsos)	RTE (pulsos)	RTD (pulsos)	COMB (pulsos)	TEMP (s)
15	M2PR	468	468	345	347	108	25,46
18	M2PR	461	462	341	341	108	27,00
24	M2PR	476	476	350	355	110	26,00
4	M3PR	458	457	337	339	85	15,49
7	M3PR	486	485	359	359	98	19,12
10	M3PR	484	484	356	361	95	17,45
13	M4PR	483	483	358	358	95	19,12
17	M4PR	452	452	334	335	81	15,35
23	M4PR	465	465	344	344	93	18,41

PISTA 2 - superfície com palha

Parc	Trat	RDE (pulsos)	RDD (pulsos)	RTE (pulsos)	RTD (pulsos)	COMB (pulsos)	TEMP (s)
37	M2PR	440	442	325	327	100	25,89
41	M2PR	425	425	315	314	90	22,48
45	M2PR	448	447	327	333	100	26,36
26	M3PR	446	447	329	331	83	17,22
32	M3PR	440	439	324	326	75	14,83
36	M3PR	432	432	319	321	77	14,73
38	M4PR	443	442	325	329	83	17,44

43	M4PR	442	443	331	323	82	17,27
47	M4PR	447	445	328	333	80	15,19

PISTA 3 - superfície lisa e firme

Parc	Trat	RDE (pulsos)	RDD (pulsos)	RTE (pulsos)	RTD (pulsos)	COMB (pulsos)	TEMP (s)
61	M2PR	417	416	308	309	90	24,45
68	M2PR	423	423	311	310	95	24,54
71	M2PR	421	421	311	312	90	22,48
50	M3PR	418	418	309	309	76	16,39
53	M3PR	418	419	308	310	72	14,08
58	M3PR	417	418	309	308	77	16,43
62	M4PR	419	419	310	309	72	14,06
66	M4PR	416	416	308	308	76	16,21
72	M4PR	427	430	319	313	74	14,20

RDE – roda dianteira esquerda

RDD - roda dianteira direita

RTE – roda traseira esquerda

RTD – roda traseira direita

COMB – combustível

TEMP - tempo

APÊNDICE 8 - características físicas do solo nas pistas no período de realização dos ensaios.

Tabela7 – 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
Umidade (%)*			
0 – 10 cm	19,09	21,85	19,46
10 – 20 cm	19,81	22,01	19,78
Índice de cone (kPa) 0 – 15 cm	750,00	1.684,00	3629,00
Massa de matéria seca (kg.ha ⁻¹)	-	10.089,00	-

APÊNDICE 9 - Determinação do teor de água do solo

Durante a realização dos ensaios foram coletadas amostras com dez repetições por pista, 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).

APÊNDICE 10 - 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).

Foram coletadas dez amostras por pista de ensaio, sendo acondicionadas em cápsulas de alumínio.

APÊNDICE 11 - Determinação da resistência do solo à penetração

A resistência do solo à penetração foi obtida de forma aleatória, na camada de 0-15 cm, com dez repetições por parcela, utilizando a Unidade Móvel de Amostragem de Solo – UMAS.

APÊNDICE 12 - 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 dez amostras retiradas por pista, misturadas, homogeneizadas e enviadas ao laboratório.