

## ARTIGO TÉCNICO

### UMEB - UNIDADE MÓVEL PARA ENSAIO DA BARRA DE TRAÇÃO

ANTONIO GABRIEL FILHO<sup>1</sup>, KLÉBER P. LANÇAS<sup>2</sup>, SAULO P. GUERRA<sup>3</sup>,  
CRISTIANO A. PAULA<sup>4</sup>, LEONARDO A. MONTEIRO<sup>5</sup>

**RESUMO:** Um equipamento denominado “Unidade Móvel de Ensaio da Barra de Tração - UMEB”, foi desenvolvido na FCA/UNESP de Botucatu para realizar ensaios de tratores em solo agrícola. Construída a partir de um reboque (“trailer”), a UMEB foi adaptada para servir como carro dinamométrico instrumentado, utilizado na avaliação do desempenho de tratores submetidos a ensaios na barra de tração. Sua massa total é de 10.500 kg sustentados por um conjunto de seis rodados pneumáticos. Ensaios de campo mostraram que a UMEB proporcionou força de tração acima de 35 kN, mantendo-a constante, em diferentes condições de superfície do solo, mesmo quando a velocidade de deslocamento foi modificada.

**PALAVRAS-CHAVE:** mecanização, desempenho, ensaio de tração, pneu.

### UMEB - MOBILE DRAWBAR TEST UNIT

**ABSTRACT:** A “Mobile Drawbar Test Unit - UMEB” was developed at FCA/UNESP, Botucatu - SP, Brazil, to evaluate tractor performance in agricultural soil. The UMEB was built from a road trailer adapted to serve as load car used in draw bar tractor test. Its total mass is 10,500 kg sustained by a group of six pneumatic wheels. Field test showed that the UMEB generated traction force up to 35 kN, keeping it constant in different soil surface conditions, even when the forward speed changes.

**KEYWORDS:** mechanization, performance, tractive assay, tires.

### INTRODUÇÃO

O trator é a principal fonte móvel de potência utilizada para realizar as diversas tarefas necessárias nos processos de produção agrícola. Conhecer bem a capacidade de desempenho do trator permite aos fabricantes desenvolverem produtos mais eficientes, de tal forma que os agricultores obtenham melhor proveito das características operacionais dessa máquina.

O ensaio de trator em solo agrícola é uma das maneiras de obter informações, principalmente no que diz respeito ao seu desenvolvimento de tração. Esses ensaios visam à obtenção de informações sobre o desempenho dos rodados, relacionados com as características da interação com o solo (MIALHE, 1996).

A tração é a força, na direção do deslocamento, produzida por um trator em sua barra de tração (ASAE, 1999a). Segundo a ASAE (1999b), o desempenho na barra de tração de um trator depende da potência do motor, da distribuição de peso sobre os rodados, da altura e da posição dos engates da barra e da superfície do solo, entre outros fatores. A eficiência no uso dessa força é limitada pela ação dos dispositivos de tração, que, nos tratores agrícolas, mais usualmente, são rodados pneumáticos (SRIVASTAVA et al., 1996).

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Prof. Adjunto, CCET - UNIOESTE/Cascavel - PR, Fone: (0XX45) 3220.3199, gabriel@unioeste.br

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Mecânico, Prof. Titular, Departamento de Engenharia Rural, UNESP, Botucatu - SP.

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> Florestal, Prof. Assistente, Departamento de Gestão e Tecnologia Agroindustrial, UNESP, Botucatu - SP

<sup>4</sup> Doutorando em Agronomia - Energia na Agricultura, Departamento de Engenharia Rural, UNESP, Botucatu - SP

<sup>5</sup> Doutorando em Agronomia - Energia na Agricultura, Departamento de Engenharia Rural, UNESP, Botucatu - SP

Recebido pelo Conselho Editorial em: 30-1-2008

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 7-10-2008

Progressos consideráveis vêm sendo obtidos, nas últimas décadas, no estudo da tração, explica ZOZ (1997), quando foram desenvolvidos critérios para avaliar o desempenho do trator com base nos resultados de ensaio realizados em pista de concreto. Entretanto, é necessário maior quantidade de pesquisas para avaliar o desempenho trativo em condições de campo e, com isso, fornecer informações suficientes para que esse atributo seja estimado.

### DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO

A Unidade Móvel de Ensaio da Barra de Tração - UMEB, foi construída a partir de um reboque (“trailer”) adaptado para servir como carro dinamométrico instrumentado, utilizado na avaliação do desempenho de tratores submetidos a ensaios na barra de tração.

Para aumentar a massa do equipamento, o assoalho original foi coberto com blocos de concreto e, posteriormente, revestido com borracha.

Na Figura 1, é mostrada a UMEB em sua vista lateral e traseira com a roda odométrica utilizada para gerar os pulsos relativos a distância percorrida pela unidade.

Sua massa total é de 10.500 kg, sustentados por um conjunto de seis rodados, distribuídos em um eixo simples na dianteira e sistema de dois eixos em “tandem” na traseira.



FIGURA 1. Vistas lateral (A) e traseira (A') com a roda odométrica da UMEB. **UMEB lateral view (A), rear view (A') with hodosmetric wheel.**

Na parte interna da UMEB, foi construída uma bancada de instrumentação para acomodar os painéis de leitura e o sistema eletrônico de aquisição de dados, conforme Figura 2.

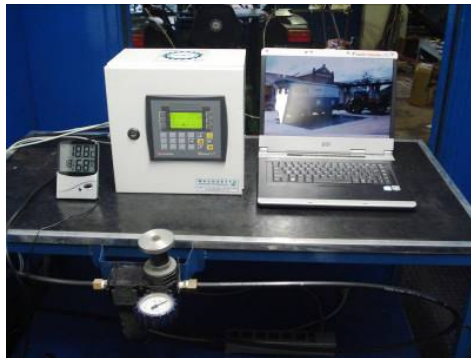


FIGURA 2. Bancada de instrumentação da UMEB. **Instrumentation bench.**

Para determinar a distância percorrida durante os ensaios, foi construída uma roda odométrica de aço, revestida de borracha, com 0,3 m de diâmetro, sendo instalada na traseira da UMEB. Um sistema pneumático foi instalado para realizar a movimentação da roda odométrica (rebaixada no solo quando em ensaio e levantada quando em movimento da UMEB sem coleta de dados). No eixo

da roda odométrica, foi instalado um sensor de pulso, sendo obtida a sua rotação e, posteriormente, o percurso da unidade.

A UMEB possui um sistema de controle do freio acionado por meio de válvula pneumática, sendo a frenagem obtida por tambores nas seis rodas. A forma de acionamento desse freio foi modificada para permitir o comando dentro da UMEB. Um compressor de ar acionado por gerador a Diesel, uma válvula controladora de pressão e um conjunto de tubulações foram instalados para que o operador possa selecionar a força desejada na barra de tração do trator submetido ao ensaio. Na Figura 3, apresenta-se o esquema do circuito de frenagem. A pressão é regulada por meio de manômetro, com precisão de 3,45 kPa (0,5 psi), acoplado à válvula controladora, que tem capacidade para até 413,40 kPa (60 psi).

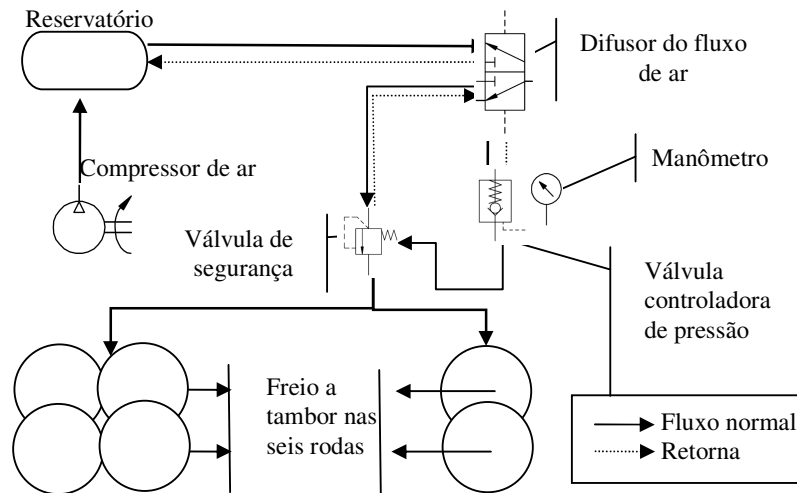


FIGURA 3. Representação esquemática do circuito de frenagem da UMEB. **UMEB breaking system schematic representation.**

### Instrumentação da UMEB

Foi instalado um painel eletrônico, tipo PLC, com indicadores de força de tração instantânea e média, de rotação das quatro rodas do trator e da roda odométrica, de consumo e de temperatura do combustível. Para determinar o requerimento de força solicitada na barra de tração, no cabeçalho da UMEB, foi instalada uma célula de carga com capacidade para 100 kN, conforme Figura 4.



FIGURA 4. Detalhe do cabeçalho da UMEB mostrando a célula de carga. **Detail of UMEB header with load cell.**

### Ensaio de campo

Foram realizados ensaios preliminares para avaliar a precisão da roda odométrica ao determinar a distância percorrida e a capacidade da UMEB em resistir à força de tração. A obtenção

do perímetro eficaz da roda odométrica e sua calibração foram realizadas em asfalto, em solo com a superfície firme e em solo com a superfície revolvida por grade pesada, numa distância de 25 m, marcados com trena métrica.

Para os ensaios de tração, três condições de superfície do solo foram utilizadas: solo com superfície mobilizada por meio de escarificação e gradagem; solo firme sem cobertura vegetal e solo firme com cobertura vegetal. O solo das pistas utilizadas para os ensaios foi classificado, de acordo com EMBRAPA (1999), como Latossolo Vermelho de relevo plano e textura argilosa.

Os ensaios de tração foram realizados com trator marca John Deere, modelo 6600, com 88 kW (120 cv) de potência no motor, a 2.100 rotações por minuto, com a tração dianteira auxiliar ligada nas marchas A3, B1, B2 e C1, que, de acordo com o registro no painel do trator, correspondiam às velocidades de 4; 5; 7 e 8 km h<sup>-1</sup>. Em cada velocidade, foram realizadas quatro repetições.

Todos os equipamentos eletrônicos utilizados foram calibrados, previamente, nos laboratórios do Núcleo de Ensaios de Máquinas e Pneus Agroflorestais - NEMPA, e avaliados em condições de campo por meio de ensaios comparativos de trator acoplado à UMEB.

Os valores obtidos foram submetidos à análise estatística descritiva e, no caso da tração, em função da velocidade para as três condições de superfície do solo, os valores foram submetidos também à análise de variância em delineamento experimental em blocos ao acaso, com arranjo fatorial com dois fatores (superfície e marcha), conforme CAMPOS (1984) e GOMES & GARCIA (2002). Para a avaliação da força em função da pressão aplicada aos freios, foi realizada análise de regressão.

As análises estatísticas foram realizadas por meio do aplicativo computacional SAS (Statistical Analysis Systems) e da planilha eletrônica Microsoft Excel.

### Resultados dos ensaios de campo

Na Figura 5, apresentam-se os valores médios, mínimos e máximos obtidos na determinação do perímetro eficaz da roda odométrica, em duas condições de superfície de rolamento. Observa-se que, tanto no asfalto quanto no solo firme, a variação entre o valor máximo e mínimo, em relação à média, foi pequena, e não ultrapassou 4 mm. Nota-se, também, que os valores médios do perímetro eficaz da roda odométrica, obtidos nas superfícies avaliadas, foram muito próximos, mostrando que houve pouca influência dessa variável na determinação da distância percorrida pelo conjunto.

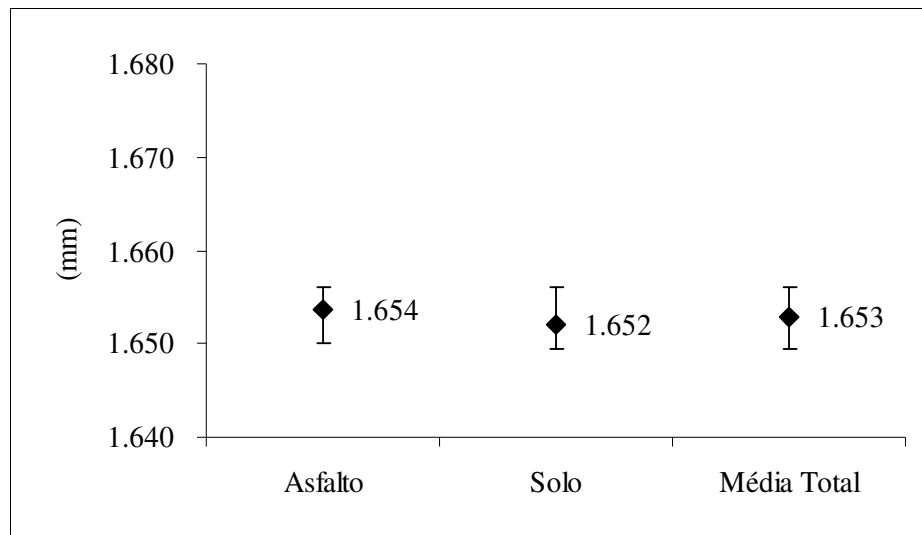


FIGURA 5. Valores médios, máximos e mínimos do perímetro eficaz da roda odométrica, em duas condições de superfície de rolamento. **Mean, maximum and minimum values of effective perimeter under two rolling surface conditions.**

A medida da distância de 25 m, percorrida pela roda odométrica em uma parcela, foi precisa no asfalto e semelhante nas duas condições de superfície do solo, conforme pode ser observado na Figura 6. A variação dos valores obtidos em cada percurso do conjunto trator/UMEB no asfalto não passou de 5 mm de diferença, entre os valores máximo e mínimo, com coeficiente de variação de 0,4%. No solo firme, a variação apresentou diferença máxima de 0,26 m, mínima de 0,18 m e 0,7% de coeficiente de variação. No solo solto, essa variação foi um pouco mais acentuada, sendo o valor máximo de 25,30 m e o mínimo de 24,53 m com coeficiente de variação de 1,2%.

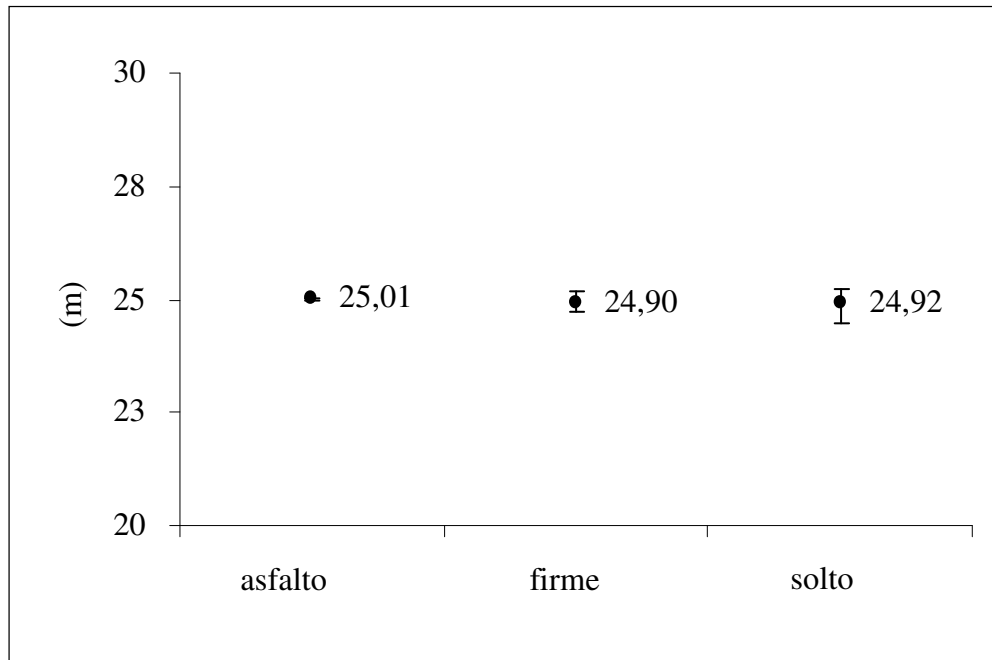


FIGURA 6. Valores médios, máximos e mínimos da distância medida pela roda odométrica obtidos no asfalto, solo firme e solo solto. **Mean, maximum and minimum values of distance under asphalt, firm and disturbed soil.**

Na Figura 7, apresenta-se a relação entre a pressão fornecida aos freios e a correspondente força necessária para tracionar a UMEB e, na Tabela 1, mostra-se o resumo da análise da regressão dos valores obtidos nas diferentes condições de superfície. Observa-se que houve elevado coeficiente de determinação entre a pressão aplicada aos freios e a força necessária para tracionar a unidade móvel.

À medida que se aumentou a pressão nos freios, a força de tração correspondente aumentou linearmente. Essa equação representou 97,7% dos casos, mostrando que é possível realizar ensaios com maior variação de força, o que, muitas vezes, não é possível obter quando se utiliza comboio de tração formado por tratores, pois, nesse caso, a força é limitada ao escalonamento das marchas do trator de arraste.

Observa-se, ainda, na Figura 7, que, nos valores acima de 20 kN, os pontos obtidos se aproximam mais da curva, mostrando que, a partir desse valor, há tendência de os dados de força de tração serem mais lineares. O limite máximo de força obtido para a UMEB foi ligeiramente superior a 35 kN.

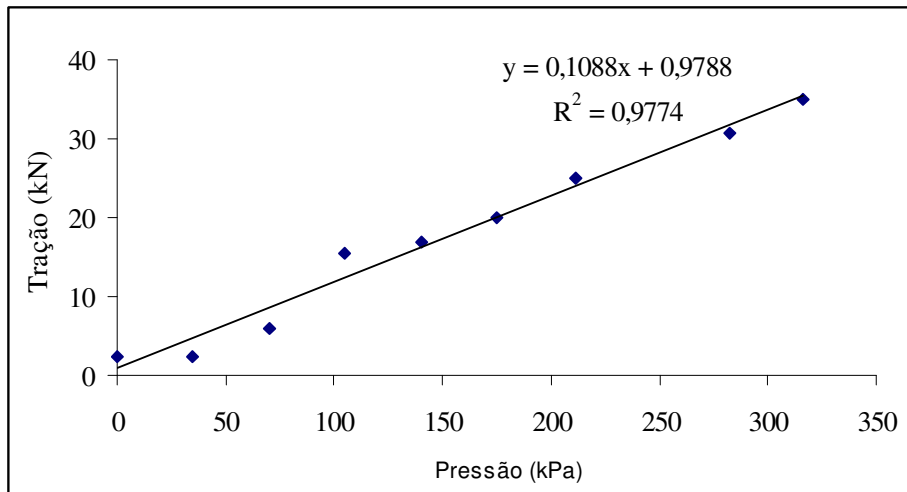


FIGURA 7. Variação da força de tração exigida, em função da pressão aplicada ao freio da UMEB. **Change of drawbar force required for traction, according to the brake pressure applied to the UMEB.**

TABELA 1. Valores da análise de regressão para os dados de força em função da pressão aplicada aos freios. **Values of regression analysis for force according to the brake pressure.**

Causa da Variação	QM	F	P > F
Regressão linear	3.326,45	879,63	0,0001
Regressão quadrática	6,29	1,66	0,2100
Regressão cúbica	4,69	1,24	0,2772

Por meio dos dados da análise de variância, mostrados na Tabela 2, e da estatística descritiva, apresentada na Tabela 3, nota-se que a UMEB apresentou capacidade de manter a uniformidade de tração durante os ensaios. A força de tração média foi de 25,35 kN, com valor mínimo de 23,67 kN e máximo de 26,96 kN, variação de apenas 2,13%, para as diferentes velocidades ensaiadas.

TABELA 2. Resumo da análise de variância da força de tração obtida nas superfícies: asfalto, solo firme e solo solto, para as quatro condições de marchas. **Summary of the analysis of variance of traction force on surfaces: asphalt, firm and disturbed soil; for the four gear conditions.**

Causa da Variação	G.L.	Quadrado Médio	Valor de F	Pr>F
Superfície	2	0,17801875	0,58	0,5664
Marcha	3	0,70929167	2,30	0,0950
Superfície*Marcha	6	0,30358542	0,99	0,4504

TABELA 3. Estatística descritiva da força de tração obtida nas quatro superfícies para as quatro condições de marchas. **Traction descriptive statistics in the four areas for four gear conditions.**

Estatística Descritiva	Velocidade (km h <sup>-1</sup> )			
	3,4	3,9	5,1	5,9
Média (kN)	25,33	25,45	25,48	25,15
Mínimo (kN)	24,42	24,41	24,84	23,67
Máximo (kN)	25,94	26,96	26,31	26,24
Intervalo (kN)	1,52	2,56	1,47	2,57
Coeficiente de variação (%)	1,81	1,39	2,28	2,73

Na Figura 8, apresenta-se o comportamento da tração nas marchas A1, B2, B3 e C1 do trator, que corresponderam às velocidades médias de 3,4; 3,9; 5,1; 5,9 km h<sup>-1</sup>, respectivamente. A variação

da força necessária para tracionar a UMEB foi a mesma quando a velocidade de deslocamento foi alterada.

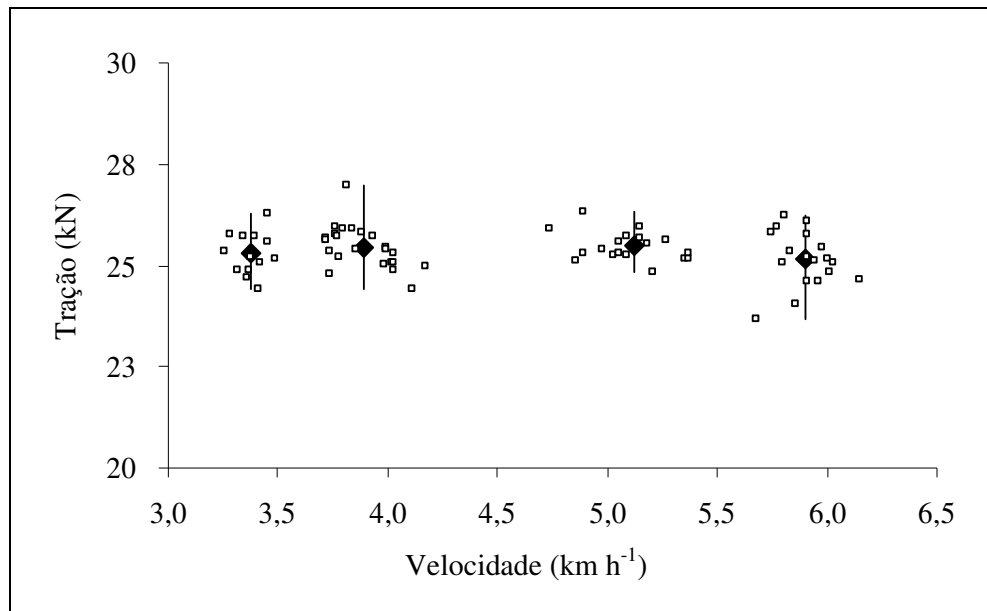


FIGURA 8. Valores totais, médios, máximos e mínimos da tração em função da velocidade de deslocamento da UMEB, em parcelas de 25 m. **Totals, average, maximum and minimum levels of traction depending on the UMEB speed in plots of 25 meters.**

Conforme mostra a Tabela 2, nas quatro velocidades, a tração média permaneceu próxima de 25 kN, sendo estatisticamente iguais nas quatro marchas. A máxima tração ocorreu a 3,9 km h<sup>-1</sup> e não ultrapassou 1,51 kN da média, e a mínima tração ocorreu a 5,9 km h<sup>-1</sup> e foi 1,48 kN menor que o valor médio. A maior variação entre os valores máximos e mínimos ocorreu a 5,9 km h<sup>-1</sup>, e o coeficiente de variação não ultrapassou 2,73%, valor considerado adequado para padrões de campo, conforme CAMPOS (1984).

Na Figura 9, pode ser observado que a força de tração média foi estatisticamente semelhante nas três condições, mantendo-se próxima dos 25 kN, conforme desejado. No solo mobilizado, o intervalo de variação entre o menor e o maior valor foi mais acentuado do que nos demais solos, e as variações não foram maiores do que 2,70%. No solo firme e no solo coberto com palha, o coeficiente de variação foi baixo, com valores iguais a 1,94% e 1,50%, respectivamente.

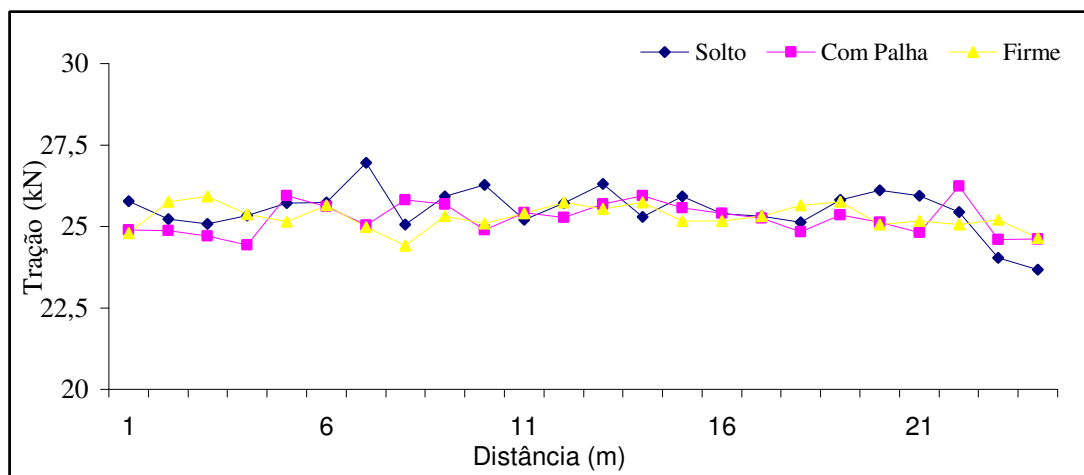


FIGURA 9. Comportamento da tração da UMEB em função da condição da superfície do solo. **UMEB traction behavior depending on the soil surface condition.**

## CONCLUSÕES

A Unidade Móvel de Ensaio na Barra de Tração - UMEB, pode ser utilizada para ensaios de trator em condições de solo agrícola, pois apresentou:

- Precisão adequada da roda odométrica para estabelecer a distância percorrida nos ensaios, com pequenas ressalvas para solo mobilizado;
- Capacidade de solicitação de força de tração com limite máximo superior a 35 kN;
- Pouca variação da força de tração quando a velocidade variou entre 3,5 e 5,9 km h<sup>-1</sup>, e
- Força de tração constante, em torno de 25 kN, ao longo da parcela de 25 m, nas três condições de superfície avaliadas.

## REFERÊNCIAS

- ASAE. Agricultural Machinery Management Data. In: ASAE Standards: *standards engineering practices data*. St. Joseph, 1999a. p.359-66. (ASAE, D 497.4)
- ASAE. 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, 1999b. p.119-21. (ASAE, S296.4 DEC95)
- CAMPOS, H. *Estatística aplicada à experimentação com cana-de-açúcar*. São Paulo: Fundação de Estudos Agrários “Luiz de Queiroz”, 1984. 292 p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro, 1999. 412 p.
- GOMES, F.P.; GARCIA, C. H. *Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposições com exemplos e orientações para uso de aplicativos*. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários “Luiz de Queiroz”, 2002. 309 p.
- MIALHE, L.G. *Máquinas Agrícolas - Ensaio & Certificação*. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários “Luiz de Queiroz”, 1996. 723 p.
- SRIVASTAVA, A.K.; GOERING, C.E.; ROHRBACH, R.P. Tractor hitching, traction and testing. In: \_\_\_\_ *Engineering principles of agricultural machines*. 3<sup>rd</sup>ed. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1996. p.117-45.
- ZOZ, F. *Belt and tire tractive performance*. Milwaukee: Society of Automotive Engineers, 1997. 8 p.