



# INSTRUMENTAÇÃO DE UM EQUIPAMENTO AGRÍCOLA PARA ANÁLISE DAS FORÇAS DE MOBILIZAÇÃO DO SOLO EM FUNÇÃO DOS TIPOS DE DEFLETORES NA HASTE E PROFUNDIDADES DE TRABALHO

Gustavo Kimura Montanha<sup>1</sup>, Saulo Philipe Sebastião Guerra<sup>2</sup>, Kenshi Sakai<sup>3</sup>, Fernando Henrique Campos<sup>4</sup> & Indiamara Marasca<sup>5</sup>

**RESUMO:** Muitas operações agrícolas realizadas nas propriedades rurais apresentam algum tipo de atividade mecanizada em busca de melhores resultados de eficiência operacional e retorno econômico ao produtor rural. Essa intensificação de processos mecanizados no campo deve ser corretamente dimensionada, relacionando de forma eficiente o conjunto trator, ferramenta e solo. Este trabalho teve como objetivo instrumentar e avaliar um equipamento escarificador na mobilização do solo variando-se os tipos de haste e as profundidades de trabalho. Os ensaios foram realizados na Tokyo University of Agriculture and Technology na cidade de Tóquio, Japão. Foi utilizado um trator agrícola da marca ISEKI com 17,8 kW de potência no motor instrumentado com sistema de navegação por satélite (GNSS), sistemas eletrônicos de coleta de dados e extensômetros elétricos de resistência. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos inteiramente casualizados com um arranjo fatorial 2 x 3, com 3 repetições. Foram realizados ensaios com dois diferentes tipos de haste (com defletor metálico, e com defletor plástico) para três profundidades de trabalho (15, 25 e 35 cm). Realizou-se o teste estatístico com a análise de variância pelo teste F comparando-se as médias pelo teste Tukey a 5% de probabilidade quando necessário. Os resultados obtidos não apresentaram diferenças significativas nas forças de mobilização do solo utilizando o equipamento escarificador entre os diferentes tipos de defletores na haste para todas as profundidades de trabalho.

**PALAVRAS-CHAVE:** Instrumentação, escarificador, informática aplicada, mecanização agrícola.

## INSTRUMENTATION OF AN AGRICULTURAL EQUIPMENT TO ANALYSE THE SOIL MOBILIZATION UNDER INFLUENCE OF DIFFERENT SHANK TYPES AND WORK DEPTHS

**ABSTRACT:** Many agricultural operations involve some type of mechanized activity in search for better operational efficiency and higher economic returns to the farmers. The intensification of mechanized processes in the field must be properly dimensioned, efficiently linking agricultural tractor, tools, and soil. This work had as objective to instrument and to evaluate soil disturbance caused by chisel plow agricultural equipment under different shank types and work depth operations. The tests were conducted at the Tokyo University of Agriculture and Technology in Tokyo, Japan. It was used an agricultural tractor developed by ISEKI with 17.8 kW engine power instrumented with satellite navigation system (GNSS), electronic data acquisition system, and strain gages. The experimental design was completely randomized blocks with a 2 x 3 factorial arrangement with 3 repetitions. Tests were performed with two different types of shank (metal deflector and plastic deflector) over three working depths (15, 25, and 35 cm). The statistical test conducted was the analysis of variance by F test and means were compared by Tukey test at 5% probability when required. The results obtained showed no significant difference in soil disturbance forces using the chisel plow equipment with the different types of shanks for all working depths of 15, 25 and 35 cm.

**KEYWORDS:** Instrumentation, chisel plow, applied informatics, agricultural mechanization.

## 1 INTRODUÇÃO

As operações agrícolas empregadas na implantação de uma cultura, desde o preparo do solo até a colheita, na sua maioria, podem ser mecanizados e com isto,

apresentar grande eficiência e retorno econômico ao produtor, uma vez que estas sejam bem conduzidas empregando para isto tecnologia e maquinário adequado (DUARTE JÚNIOR et al., 2008).

Uma das principais funções dos tratores agrícolas é transformar a energia química contida nos combustíveis e fornecê-la na forma de energia mecânica, por meio da força produzida na barra de tração, utilizada para tracionar máquinas e implementos agrícolas (MONTEIRO, 2008).

Montanha et al. (2012) afirmam que o uso de máquinas e tratores agrícolas é requerido para a mobilização do solo e o consumo energético desses equipamentos engloba

<sup>1</sup> e <sup>2</sup> Faculdade de Ciências Agrônomicas FCA-UNESP. Departamento de Gestão e Tecnologia Agroindustrial. E-mails: [ssguerra@fca.unesp.br](mailto:ssguerra@fca.unesp.br); [gmontanha@gmail.com](mailto:gmontanha@gmail.com)

<sup>3</sup> Tokyo University of Agriculture and Technology TUAT. Department of Environmental and Agricultural Engineering. E-mail: [ken@cc.tuat.ac.jp](mailto:ken@cc.tuat.ac.jp)

<sup>4</sup> e <sup>5</sup> Faculdade de Ciências Agrônomicas FCA-UNESP. Departamento de Engenharia Rural. E-mails: [fernandohenriquecampos@live.com](mailto:fernandohenriquecampos@live.com); [marasca\\_7@hotmail.com](mailto:marasca_7@hotmail.com).

um dos custos mais elevados nas operações agrícolas das propriedades rurais. A demanda energética está diretamente ligada a fatores como a adequação e condição do conjunto trator-equipamento, profundidade da operação, tipo e condição de solo, número total de operações utilizadas, configuração geométrica das ferramentas dentre outros.

Segundo McLaughlin et al. (2008), com uma seleção adequada do sistema de preparo do solo e correta adequação do trator e implemento, obtém-se redução na demanda energética de máquinas agrícolas.

De acordo com Gamero (2008), a partir da necessidade de descompactação do solo, alguns agricultores ainda que esporadicamente, utilizam a mobilização do solo através de escarificadores e subsoladores visando corrigir essa limitação. A vantagem da utilização destes implementos comparados ao uso do arado ou grade está no fato destes não promoverem uma inversão de camadas, obtendo-se com isto, menor alteração da estrutura do solo.

Lanças (2002) afirma que o escarificador é um implemento, cuja a função é promover a desagregação do solo, no sentido de baixo para cima, realizando mobilização até a profundidade de 35 cm. É semelhante a um subsolador, porém trabalhando em profundidades menores e com espaçamento entre hastes também menor.

Em relação ao rompimento do solo, o mesmo autor cita ainda que as hastes dos escarificadores mobilizam o solo em propagação tridimensional (para frente, para os lados e para cima) das trincas, ou seja, o solo não é cortado como na aração ou gradagem e sim rompido nas suas linhas de fraturas naturais através das interfaces dos seus agregados.

Seki (2010) verificou que a demanda energética da subsolagem e escarificação em solo sob plantio direto é proporcional à profundidade de trabalho, sendo que quanto maior a profundidade de trabalho, maior será a demanda energética. Os efeitos da subsolagem e escarificação persistem após a colheita das culturas, mantendo a densidade do solo menor do que a densidade encontrada antes da realização da subsolagem ou da escarificação.

Montanha (2013) cita que dentre as tecnologias utilizadas na agricultura atualmente, verifica-se que o uso de sistemas sensores, sistemas eletrônico de aquisição de dados e programas computacionais possibilitam a coleta e o processamento de um elevado volume de dados capazes de gerar informações importantes relacionadas aos parâmetros das máquinas agrícolas.

Machado (2013) afirma que usando hastes instrumentadas para fazer a leitura da resistência do solo através das células de carga com posição georreferenciada por GPS é possível determinar e intervir em tempo real com acurácia nas camadas compactadas, com isto, realizar a escarificação em profundidades variáveis em locais em que a compactação possa interferir na produtividade, evitando

o desgaste prematuro dos equipamentos, consumo excessivo de combustível e vantagens no aumento da capacidade operacional e na diminuição do tempo gasto na operação, racionalizando assim os custos. O mesmo autor desenvolveu e avaliou um protótipo de hastes instrumentadas, capazes de fazer a leitura de resistência do solo, em três diferentes camadas, em tempo real, comandando o escarificador a descompactar o solo quando necessário, bem como coletar informações para o mapeamento das camadas para fins gerenciais. As hastes realizaram as leituras de resistência mecânica do solo semelhantes ao penetrômetro, tendo uma correlação aceitável com  $R^2 = 0,79$ .

O conceito de sensores para relacionar as propriedades físicas do solo, medições de compactação do solo, mapeamento simultâneo de resistência mecânica do solo, em diferentes profundidades e conteúdo de água tem mostrado ser uma abordagem promissora, auxiliando significativamente o conhecimento das variáveis físicas do solo e potencialmente, o aumento a eficiência da agricultura (ADAMCHUK et al, 2008).

Conte et al. (2008) e Manuwa (2009) afirmam que a geometria e o teor de água no solo podem ser determinantes para os resultados de esforços de tração produzidos por ferramentas de mobilização do solo, e que a relação profundidade de trabalho e largura da ferramenta devem ser consideradas no desenvolvimento das mesmas.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 1.1 LOCAL

Os ensaios foram realizados em área experimental pertencente à *Tokyo University of Agriculture and Technology* localizada no Distrito de Fuchu, cidade de Tóquio, Japão. A área experimental total utilizada foi de 1728 m<sup>2</sup> com parcelas de 60 m<sup>2</sup> para cada repetição localizando-se entre as coordenadas geográficas 35°40'57,13"N e 139°29'9,65"L e altitude de 224 m.

O solo da área experimental apresentou declividade máxima de 2% e foi classificado como Andosolo, que de acordo com a Soil Taxonomy (1999), são solos minerais geralmente originados de materiais vulcânicos recentes, em especial de cinzas vulcânicas, pedra-pomes e em menor proporção de escórias basálticas. Para determinação da resistência mecânica do solo à penetração utilizou-se um penetrômetro estático com mola dinamométrica, totalizando quinze amostras distribuídas na área experimental. Para a coleta de amostras e determinação da densidade do solo foram utilizados anéis de alumínio, balança e estufa elétrica segundo o método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997). Na determinação do teor de água no solo, foram utilizados anéis de alumínio, fita de vedação, estufa elétrica e balança de precisão.

### 1.2 TRATOR E EQUIPAMENTO AGRÍCOLA

Foi utilizado um trator agrícola descrito na Tabela 1 com especificações de característica e dimensões adequadas para tracionar o equipamento proposto no trabalho.

**Tabela 1** - Descrição do trator agrícola.

Descrição	Características
Fabricante	ISEKI
Modelo	Sial hunter 22
Tipo/Classificação	4x2 TDA
Motor	Diesel 3 cilindros
Potência do motor (cv/kW)	24,3 / 17,8 @ 2600 rpm
TDP (rpm)	560 (2600 rpm do motor)
Categoria	Três pontos categoria I
Vazão máxima da bomba hidráulica (l/min)	20,9
Comprimento (mm)	2870
Largura (mm)	1110
Massa (kg)	860

Foi utilizado um equipamento agrícola de modelo *plowsoiler* fabricado pela empresa Sugano Farm Machinery. O equipamento consistiu de uma plataforma metálica montada junto ao sistema hidráulico de três pontos do trator agrícola e ofereceu suporte para a alocação de hastes com defletores de até 7 cm de largura. Para a realização dos ensaios foi utilizado um modelo específico do equipamento com suporte para apenas uma haste escarificadora adaptando-se às condições dos ensaios e às especificações do trator de pequeno porte.

Foram utilizados dois tipos de haste junto ao equipamento agrícola (Figura 1), configuração da haste com defletor metálico (HDM) e configuração da haste com defletor plástico (HDP).



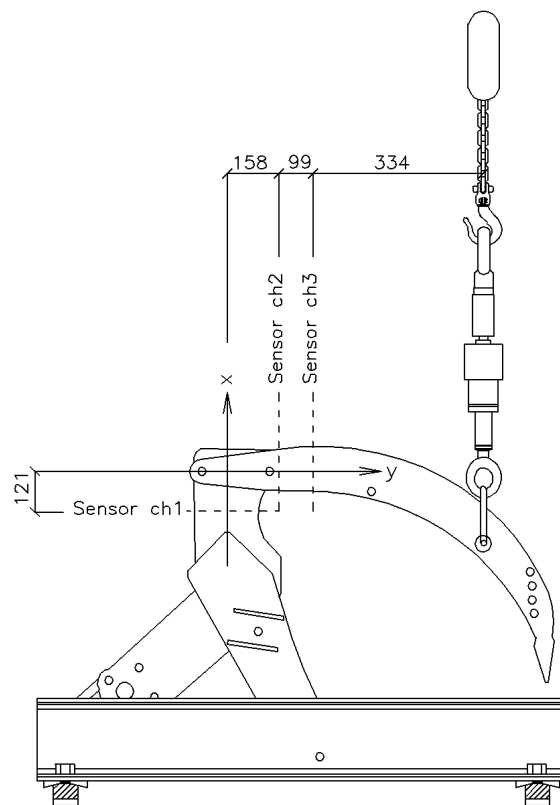
**Figura 1** - Haste com defletor metálico e haste com defletor plástico.

### 1.3 INSTRUMENTAÇÃO E SENSORES

Para determinação de velocidades de deslocamento foi instalado junto ao trator agrícola um receptor GNSS da marca Hemisphere GPS Smart Antenna com sistema de correção diferencial e-Dif. Foram utilizados três extensômetros elétricos de resistência Kyowa, modelo

KFG-5-350-C1 instalados junto ao equipamento agrícola para mensuração das forças de mobilização do solo.

Os extensômetros elétricos de resistência foram denominados sensor ch1, ch2 e ch3 e calibrados por meio de uma célula de carga aferida comparando-se os sinais gerados pelos sensores com os valores gerados pela célula de carga (Figura 2). Os sensores foram posicionados na haste de acordo com Sakai et al. (2005).



**Figura 2** - Sistema de calibração e posição dos sensores em milímetros (mm).

Para a coleta dos dados foram utilizados três sistemas eletrônicos de aquisição de dados Kyowa, modelo DBU-120 com frequência de 100 Hz, responsáveis pela coleta dos sinais gerados respectivamente pelos sensores ch1, ch2 e ch3 instalados na haste do equipamento.

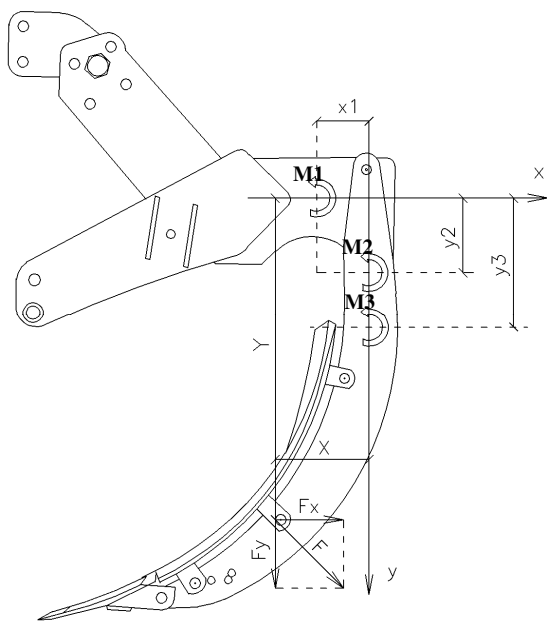
Um computador industrial da marca Panasonic Toughbook 30 foi instrumentado junto ao trator agrícola e utilizado durante a realização dos ensaios para coletar e armazenar os dados em tempo real e de forma simultânea entre os canais sensores ch1, ch2 e ch3.

Uma estrutura de madeira foi construída para adaptar a instalação do computador industrial, da bateria de alimentação e dos três sistemas de aquisição de dados. A estrutura de madeira foi fixada junto ao equipamento escarificador.

### 1.4 FORÇA

Para determinar os requerimentos de forças horizontal ( $F_x$ ) vertical ( $F_y$ ) e resultante ( $F$ ) solicitados pelas operações de campo utilizou-se uma haste instrumentada

com extensômetros elétricos de resistência segundo Liu et al. (1996) e Sakai et al. (2009), ilustrados na Figura 3.



**Figura 3** - Determinação das forças do equipamento.

Para determinação requerida de força horizontal (Fx) solicitada pelas operações de campo, utilizou-se a Equação 2 (SAKAI, 2009):

$$F_x = \left( \frac{M_2 - M_3}{y_3 - y_2} \right) \quad (1)$$

onde Fx = força horizontal (N), M2 = momento 2 (Nm), M3 = momento 3 (Nm), y3 = braço de momento vertical 3 (Nm) e y2 = braço de momento vertical 2 (Nm).

Para determinação requerida de força vertical (Fy) solicitada pelas operações de campo, utilizou-se a Equação 3 (SAKAI, 2009):

$$F_y = \left( \frac{M_2 - M_1}{x_1} \right) + \left( \frac{F_x(y_2)}{x_1} \right) \quad (2)$$

onde Fy = força vertical (N), M1 = momento 1 (Nm), M2 = momento 2 (Nm), Fx = força horizontal (N), x1 = braço de momento horizontal 1 (Nm), y2 = braço de momento vertical 2 (Nm).

Para determinação requerida de força resultante (F) solicitada pelas operações de campo, utilizou-se a Equação 4 (SAKAI, 2009):

$$F = (F_x^2 + F_y^2)^{0,5} \quad (3)$$

onde F = força resultante (N), Fx = força horizontal (N), Fy = força vertical (N).

### 1.5 DELINEAMENTO

O trabalho foi constituído por seis tratamentos descritos na Tabela 2. Foram utilizados dois tipos de haste (haste com defletor metálico [HDM] e haste com defletor plástico [HDP]) e três profundidades de trabalho (15, 25 e 35 cm).

**Tabela 2** - Descrição dos tratamentos.

Tratamento	Descrição
T1	HDP e profundidade de 15 cm
T2	HDP e profundidade de 25 cm
T3	HDP e profundidade de 35 cm
T4	HDM e profundidade de 15 cm
T5	HDM e profundidade de 25 cm
T6	HDM e profundidade de 35 cm

O delineamento experimental utilizado foi de blocos inteiramente casualizados com três repetições totalizando dezoito parcelas experimentais.

Cada parcela apresentou dimensões de 2 m de largura por 30 m de comprimento, com carregadores de 3 m para realização de manobras e estabilização dos equipamentos e sensores antes do início da aquisição de dados.

### 1.6 ANÁLISE DE DADOS

Foi verificada a normalidade dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk (P<0,05) e a homogeneidade de variância pelo teste de Levene. Os dados foram testados pela análise de variância pelo teste F e as médias foram comparadas, quando necessárias, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para realização das análises foi utilizado o programa computacional SigmaStat 3.5.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 1.7 INSTRUMENTAÇÃO

O trator agrícola instrumentado com os sistemas sensores, sistemas eletrônicos de aquisição de dados, sistema GNSS e computador industrial mostrou-se adequado para condução dos ensaios de campo propostos no trabalho (Figura 4).



**Figura 4** - Trator agrícola instrumentado.

### 1.8 CALIBRAÇÃO DOS SENSORES

A Figura 5 ilustra os resultados de calibração dos sensores ch1, ch2 e ch3 instalados na haste do equipamento escarificador. Obtiveram-se melhores resultados de calibração para os sensores ch2 e ch3 e menores valores de precisão para o sensor ch1.

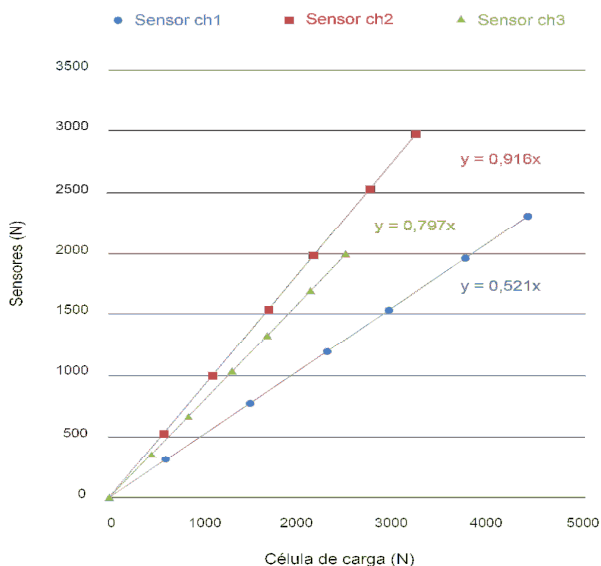


Figura 5 - Resultados de calibração dos sensores.

### 1.9 VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO

A Tabela 3 apresenta os valores médios de velocidade operacional obtidos durante os ensaios. Não houve diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos realizados.

Tabela 3 - Valores médios de velocidade de deslocamento km.h<sup>-1</sup>.

Tratamento	Velocidade (km.h <sup>-1</sup> )
T1	1,22
T2	1,23
T3	1,25
T4	1,28
T5	1,27
T6	1,33

### 1.10 SOLO

Os valores não apresentaram diferenças significativas entre as profundidades para a densidade do solo, contudo, contataram-se diferenças significativas entre as profundidades para a caracterização de umidade.

A Tabela 4 apresenta os valores médios de umidade e densidade do solo seguidas dos valores de desvio padrão para três profundidades de trabalho de 15, 25 e 35 cm.

Tabela 4 - Valores médios de velocidade de deslocamento km.h<sup>-1</sup>.

Profundidade	Variáveis	
	Umidade (%)	Densidade (g.kg <sup>-1</sup> )
15 cm	41,6 (0,75) <sup>a</sup>	0,69 (0,06) <sup>a</sup>
25 cm	43,3 (1,87) <sup>ab</sup>	0,70 (0,07) <sup>a</sup>
35 cm	44,9 (2,87) <sup>b</sup>	0,67 (0,09) <sup>a</sup>
P-valor	0,00	0,66

Médias seguidas de letras iguais minúsculas na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<5%).

### 1.11 FORÇA HORIZONTAL, VERTICAL E RESULTANTE

A Tabela 5 apresenta os valores médios seguidos dos valores de desvio padrão das forças em função do tipo de haste para a profundidade de trabalho de 15 cm. Os resultados evidenciaram que não houve diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos.

Tabela 5 - Valores médios e desvio padrão para as forças horizontal, vertical e resultante na profundidade de trabalho de 15 cm.

Tipo de haste	Força (N)		
	Horizontal (Fx)	Vertical (Fy)	Resultante (F)
Defletor plástico	878,89 (136,13)	336,90 (124,3)	947,08 (160,04)
Defletor metálico	947,02 (114,63)	345,00 (113,74)	1011,93 (138,93)
P-valor	0,40	0,95	0,52

A Figura 6 apresenta os valores médios das forças horizontal, vertical e resultante em função do tipo de haste para a profundidade de trabalho de 15 cm.

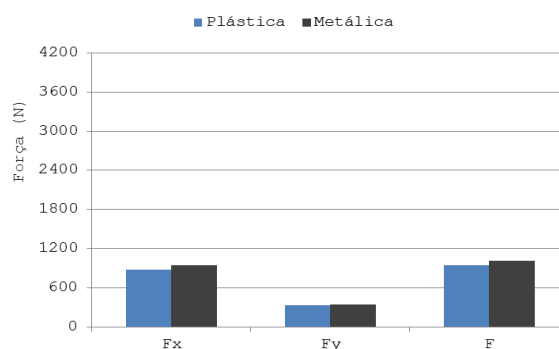


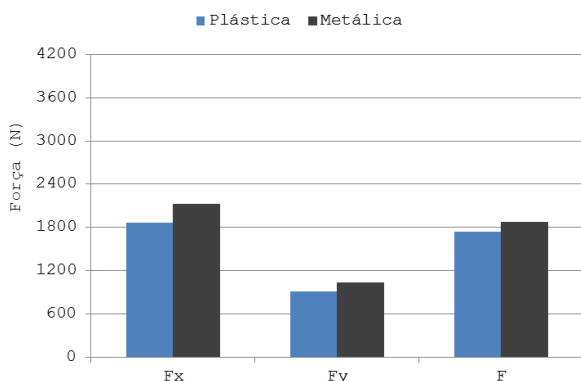
Figura 6 - Força horizontal, vertical e resultante para a profundidade de 15 cm.

A Tabela 6 apresenta os valores médios seguidos pelos valores de desvio padrão da força horizontal, vertical e resultante em função do tipo de haste para a profundidade de trabalho de 25 cm. Os resultados evidenciaram que não houve diferenças estatisticamente significativas entre os tipos de hastes.

**Tabela 6** - Valores médios e desvio padrão para as forças horizontal, vertical e resultante na profundidade de trabalho de 25 cm.

Tipo de haste	Força (N)		
	Horizontal (Fx)	Vertical (Fy)	Resultante (F)
Defletor plástico	1866,23 (175,30)	907,13 (183,46)	1739,02 (237,47)
Defletor metálico	2122,14 (179,17)	1042,82 (165,29)	1876,08 (217,54)
P-valor	0,19	0,09	0,19

A Figura 7 apresenta os valores médios da força horizontal, vertical e resultante em função do tipo de haste para a profundidade de trabalho de 25 cm.



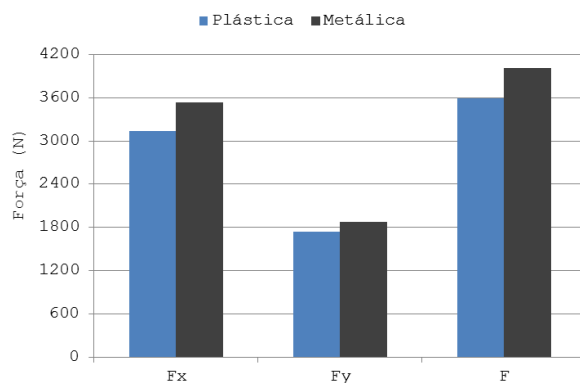
**Figura 7** - Força horizontal, vertical e resultante para a profundidade de 25 cm.

A Tabela 7 apresenta os valores médios seguidos de valores de desvio padrão da força horizontal, vertical e lateral em função do tipo de haste para a profundidade de trabalho de 35 cm. Os resultados evidenciaram que não houve diferenças estatisticamente significativas entre os tipos de hastes.

**Tabela 7** - Valores médios e desvio padrão para as forças horizontal, vertical e resultante na profundidade de trabalho de 35 cm.

Tipo de haste	Força (N)		
	Horizontal (Fx)	Vertical (Fy)	Resultante (F)
Defletor plástico	3133,52 (290,54)	1739,02 (261,42)	3587,62 (263,60)
Defletor metálico	3532,78 (249,93)	1876,08 (261,19)	4006,47 (246,01)
P-valor	0,42	0,15	0,40

A Figura 8 apresenta os valores médios da força horizontal, vertical e resultante em função do tipo de haste para a profundidade de trabalho de 35 cm.



**Figura 8** - Força horizontal, vertical e resultante para a profundidade de 35 cm.

Para todas profundidades de trabalho não foram identificadas diferenças nas forças de mobilização do solo entre os diferentes tipos de haste. Os resultados corroboram com trabalho semelhante realizado por Harrison (1988) que utilizou um equipamento denominado *paraplow*, de hastes inclinadas lateralmente, e verificou que o mesmo provoca uma maior ruptura do solo através de tensões de tração quando comparados com os subsoladores convencionais, porém, a potência requerida não apresentou diferenças estatisticamente significativas.

#### 4 CONCLUSÃO

Nas condições ensaiadas, a instrumentação do equipamento agrícola para mobilização do solo mostrou-se adequado para avaliar as forças horizontal (Fx), vertical (Fy) e resultante (F).

Os dois modelos de hastes estudadas (com defletor plástico e com defletor metálico) apresentaram desempenhos estatisticamente iguais nas forças de rompimento do solo em todas as profundidades de trabalho.

#### 5 AGRADECIMENTOS

A Tokyo University of Agriculture and Technology pelo suporte acadêmico e tecnológico e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES - pela bolsa fornecida ao primeiro autor.

#### 6 REFERÊNCIAS

ADAMCHUK, V. I.; HEMMAT, A.; MOUAZEN, A. M. Soil compaction sensor-systems current developments. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, St Joseph, 2008. 10 p. (ASAE Paper No. 083994)

CONTE, O.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; AZURANA, M.; DEBIASI, H. Resistência mecânica do solo e força de tração em hastes sulcadoras de semeadoras-adubadoras em sistema de integração lavoura-pecuária.

**Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.4, p.730-739, 2008.

DUARTE JÚNIOR, J. B.; GARCIA, R. F. COELHO, F. C.; AMIM, R. T. Desempenho de trator-implemento na cana-de-açúcar em sistemas de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n.6, p.653- 658, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - **EMBRAPA**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1997. 212p

GAMERO, C.A. **Desempenho operacional de um subsolador de hastes com curvatura lateral (“PARAPLOW”), em função de diferentes velocidade de deslocamento e profundidade de trabalho**. 2008. 72 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

HARRISON, H. P. Soil reacting forces for a bentleg plow. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**. 31(1): 47 – 51, 1988.

LANÇAS, K. P. Subsolagem ou escarificação. **Cultivar Máquinas**. Pelotas. v.1, n.14, p.34-37, 2002.

LIU, W., UPADHYAYA, S. K., KATAOKA. T., SHIBUSAWA, S. Development of texture/soil compaction sensor. In: 3<sup>th</sup> International Conference on Precision Agriculture, 1996, Minneapolis. **Proceedings of the Third International Conference on Precision Agriculture**, Minneapolis, 1996, 617-630.

MACHADO, T. M. **Hastes instrumentadas com controle automatizado do escarificador atuando em profundidades variáveis**. 2013. 96 f. Tese (Doutorado em Agronomia / Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

MANUWA, S. J. A performance evaluation of tillage tines operating under different depths in a sandy clay loam soil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.103, n.5, p.399- 405, 2009.

MCLAUGHLIN, N. B. et al. Energy inputs for conservation and conventional primary tillage implements in a clay loam soil. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, Saint Joseph, v. 51, n. 4, p. 1153-1163, 2008.

MONTANHA, G. K., GUERRA, S. P. S., ANDRADE, S. P., HEUN, J., LANÇAS, K.P. Consumo de combustível de um trator agrícola em função do tipo de solo e da pressão de inflação nos pneus utilizando equipamento canteirador. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v.27, n.2, p.44-59, 2012.

MONTANHA, G. K. **Avaliação de um escarificador em função dos tipos de haste e profundidades de trabalho**. 2013. 115 f. Tese (Doutorado em Agronomia / Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

MONTEIRO, L. A. **Desempenho operacional e energético de um trator agrícola em função do tipo de pneu, velocidade de deslocamento, lastragem líquida e condição superficial do solo**. 2008. 69 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

SAKAI, K. Nonlinear Dynamics in Tillage Studies. In: UPADHYAYA, S. K. Advances in Soil Dynamics Volume 3, **Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers**, St. Joseph, v.3, n. 4, p. 378 – 398, 2009.

SAKAI, K., ANDRADE-SANCHEZ, P., UPADHYAYA, S. K. Periodicity and stochastic hierarchical orders of soil cutting force data detected by an “Auto-regressive error distribution function” (AREF), **Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers**, Saint Joseph, v. 48, n. 6, p. 1- 8, 2005.

SEKI, A. S. **Demanda energética de produtividade da soja e do milho em áreas de plantio direto e cultivo mínimo**. 2010. 131 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

SOIL TAXONOMY, Soil Survey Staff (1999). Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. 2 ed., USDA-NRCS. **Agriculture Handbook**, n 436. Whashington.