

## DESENVOLVIMENTO, CONSTRUÇÃO E VALIDAÇÃO DO PERFILÔMETRO A LASER

**TÚLIO EDUARDO PEREIRA<sup>1</sup>, LEONARDO LEONIDAS KMIECIK<sup>1</sup>, LUCIANO DE SOUZA RIBEIRO BUENO<sup>2</sup>, MAÍRA LASKOSKI<sup>3</sup>, SAMIR PAULO JASPER<sup>4</sup>.**

<sup>1</sup> Graduandos do curso de agronomia na Universidade Federal do Paraná (UFPR), Setor de Ciências Agrárias (SCA),

<sup>2</sup> Químico, Doutor em Engenharia Mecânica pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná – PUCPR,

<sup>3</sup> Engenheira Agrônoma, Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solos na Universidade Federal do Paraná (UFPR), Setor de Ciências Agrárias (SCA), Departamento de Solos e Engenharia Agrícola (DSEA),

<sup>4</sup> Engenheiro Agrônomo, Professor Adjunto A, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Setor de Ciências Agrárias (SCA), Departamento de Solos e Engenharia Agrícola (DSEA), Rua dos funcionários, 1540, Bairro Juvevê, CEP. 80.035-050, Curitiba - Paraná – Brasil, Telefone (41) 3350 5624 - e-mail: samir@ufpr.br

Apresentado no  
XLV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2016  
24 a 28 de julho de 2016 - Florianópolis - SC, Brasil

**RESUMO:** O objetivo deste trabalho foi desenvolver, construir e validar um perfilômetro a laser para mensurar as áreas mobilizada e elevada do solo, espessura média da camada mobilizada e o empolamento do solo obtido do resultado do trabalho de diferentes implementos e/ou máquinas. Construiu-se uma armação retangular de 1500 milímetros por 3000 milímetros, com tubos retangulares para suporte do carrinho de leitura. Este movimentava-se milimetricamente nas coordenadas x e y, para referenciar a posição do sensor a laser, que obtém a coordenada z. Para validação do perfilômetro a laser, comparou-se as variáveis de mensuração com o perfilômetro utilizado tradicionalmente em pesquisas, sendo constituído por réguas paralelas posicionadas em suporte com perfuração equidistante ao longo de seu comprimento, através dos quais deslizam hastes perpendiculares ao comprimento das réguas paralelas. As variáveis de mensuração não apresentaram significância estatística quando comparados os parâmetros recolhidos pelos diferentes perfilômetros. Em conclusão, o uso do perfilômetro proposto neste trabalho, foi o que apresentou maior agilidade na coleta, aquisição e armazenamento de dados, além de não modificar a estrutura do perfil analisado por tratar-se de um método de leitura a laser, sem contato com a amostra.

**PALAVRAS-CHAVE:** Desenvolvimento de equipamento, perfil do solo, triângulação tridimensional laser

## DEVELOPMENT, CONSTRUCTION AND VALIDATION PROFILER LASER

**ABSTRACT:** The objective of this study was to develop, build and validate a laser profiler to measure mobilized and high soil areas, average thickness of the mobilized layer and the soil blistering obtained the result of the work of different implements and / or machines. A rectangular frame was constructed of 1500 mm by 3000 mm, with rectangular tubes for reading stand holder. This moves millimeter in the x and y coordinates, to reference the position of the laser sensor, which gets the z coordinate. For laser profiler validation, we compared the measurement variables with the profiler traditionally used in research, consisting of parallel strips positioned bracket with equidistant drilling along its length through which slide rods perpendicular to the length of parallel rules. The measurement variables were not statistically significant when compared with the parameters collected by different perfilômetros. In conclusion, the use of the profiler proposed in this work, showed the greater flexibility in the collection, data acquisition and storage, and does not modify the

structure of the profile analyzed because it is a laser scanning method without contact the sample.

**KEYWORDS:** Equipment development, soil profile, triangulation dimensional laser

## INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, a exploração agrícola vem gerando aceleração nos processos de degradação do solo, desequilíbrio das características físicas, químicas e biológicas, afetando seu potencial produtivo. Para cada operação agrícola há no mercado uma vasta diversificação de implementos e/ou máquinas que possam ser empregados, no caso destes equipamentos destinados ao preparo do solo, com avanços tecnológicos, têm buscado reduzir os efeitos da mobilização que podem afeta-lo. A instrumentação empregada para avaliar a mobilização do solo, denomina-se perfilômetro, o qual irá fornecer os valores das áreas mobilizada e elevada, espessura média da camada mobilizada e empolamento. O método de leitura empregado no perfilômetro atuais, pode ser considerado arcaico, comparado aos avanços tecnológicos. Estes equipamentos baseiam-se em estimativas bidimensionais, sendo a determinação de uma área com maior amplitude da superfície real, praticamente, impossível devido a onerosidade temporal da leitura. Adequar a instrumentação ao mercado, através de malhas da superfície real do solo após a mobilização, certificando a mensuração deste e obtendo informações para melhoramento da qualidade das operações agrícolas, são fatores que devem ser considerados no processo de validação do trabalho destes implementos e/ou máquinas. O presente trabalho objetivou desenvolver, construir e validar um perfilômetro a laser para mensurar as áreas mobilizada e empolada do solo, como a espessura média da camada mobilizada e o empolamento do solo, dos equipamentos e/ou máquinas agrícolas destinadas ao preparo do solo.

## MATERIAL E MÉTODOS

A execução deste estudo ocorrerá no Departamento de Solos e Engenharia Agrícola (DSEA), aliada à estrutura física e de recursos humanos do Laboratório Avançado de Telemetria em de Tratores Agrícolas (LATTA). Os testes foram realizados na Fazenda Experimental Cangiüiri (FEC), pertencente à Universidade Federal do Paraná (UFPR), entre as coordenadas geográficas: -25°22'38" e -25°24'46" de latitude sul, -49°09'05" e -49°06'40" de longitude oeste, com altitude média de 920 m. **Construção do perfilômetro:** O Sensor óptico a laser para medir o perfil perpendicularmente à superfície do solo foi o modelo ODS 96M/V – 5070 – 421. O motor de passo empregado na movimentação linear, que transporta o sensor a laser ao longo das linhas de varredura, é um modelo NEMA 17 da Folger Technologies LLC. Este motor de passo é híbrido, onde pode ser usado tanto no modo unipolar como bipolar. Possui ângulo de rotação de 1.8° (200 passos/revolução), 1,2A com 4V em cada fase e um torque de 3,2kgf.cm e peso de 350g. Usinagens do sistema estrutural: O processo de usinagem e construção das peças, como soldagem, acabamento, pintura e montagem do perfilômetro laser foi realizado em oficinas especializadas em solda e tornearia na região de Curitiba. Microcontrolador: A elaboração do software foi realizada em um microcontrolador ATmega2560, uma plataforma de prototipagem eletrônica de hardware livre e de placa única, projetada com um microcontrolador com suporte de entrada/saída embutido. Para a visualização dos dados foi criada uma linguagem de programação específica para o projeto, qual tem origem em Wiring, e é essencialmente C/C++. Para realização do preparo do solo, foi utilizado um trator da marca New Holland, modelo 7630, com potência nominal no motor de 78 kW (106 cv) de transmissão mecânica tipo dual power 16x4. Sistema de engate de três pontos classificado em categoria II, com pinos dos braços inferiores de diâmetros de 1-1/8"

polegadas e pino do terceiro ponto de 1" polegada. O implemento escolhido foi uma grade aradora intermediária modelo CRI-18- F, da marca BALDAN. Utilizou-se de um perfilômetro com largura útil de 300 cm, com pontos tomados de 5 em 5 cm, perfazendo um total de 50 leituras, obtidas por meio de uma trena de 3 m de comprimento, graduada milimetricamente, conforme adaptação realizada do trabalho descrito por GAMERO & BENEZ (1990). O perfilômetro foi instalado sobre uma base previamente nivelada, montada na direção transversal ao deslocamento do trator. Após a obtenção das 50 leituras, o perfilômetro foi deslocado na direção longitudinal, fazendo-se coincidir o ponto da última leitura da posição anterior com a primeira leitura no novo posicionamento. Assim, foram realizadas as leituras do perfil do solo antes dos preparos, obtendo-se o perfil natural, e após o preparo do solo, para obtenção do perfil da superfície do solo após mobilizado e o perfil interno do solo mobilizado, denominados, respectivamente, de perfil de elevação e perfil de fundo. Esse último foi obtido após a retirada do solo mobilizado pelo equipamento. A determinação da área mobilizada foi obtida por meio da Regra de Simpson [eq. (1)]:

$$\int_{x_0}^{x_a} dx = \frac{h}{3} (f_0 + 4f_1 + 2f_2 + 4f_3 + 2f_4 + \dots + 2f_{n-2} + 4f_{n-1} + f_n) \quad [1]$$

Em que,

$$h = \frac{x_a - x_0}{n} \quad [2]$$

Sendo,

n - número de intervalos;

f - altura das cotas, mm;

h - distância entre cotas, cm, e

X - número de cotas.

O índice de rugosidade superficial [eq.(3)] representa o produto do desvio-padrão entre os logaritmos naturais das leituras das elevações, pela altura média das elevações (ALLMARAS et al., 1966).

$$\sigma y = \sigma x hm \quad [3]$$

Em que,

$\sigma y$  - estimativa do índice de rugosidade representada pelo desvio-padrão entre as alturas (mm);

$\sigma x$  - desvio-padrão entre os logaritmos naturais das alturas.

hm - média das alturas (mm).

A área de solo mobilizada consiste na área situada entre o perfil original e o perfil de fundo de sulco, enquanto a área de elevação é aquela situada entre o perfil original e o perfil da superfície do solo após a mobilização, conforme descrito por GAMERO & BENEZ (1990).

O empolamento do solo [eq.(4)] foi determinado pela razão entre a área de elevação e a área mobilizada pelos órgãos ativos do equipamento, segundo GAMERO & BENEZ (1990).

$$Em = \frac{Ae}{Am} \times 100 \quad [4]$$

Em que,

Em - empolamento, %;  
Ae - área de elevação, m<sup>2</sup>, e  
Am - área mobilizada, m<sup>2</sup>.

A espessura média da camada mobilizada foi calculada por intermédio da equação 5.

$$E_c = \frac{A_m}{C_p} \quad [5]$$

Em que,

Ec - espessura média da camada mobilizada (m);

Am - a área mobilizada (m<sup>2</sup>);

Cp - comprimento do perfilômetro (m).

**Montagem da estrutura do perfilômetro a laser:** O projeto foi auxiliado pelo programa computacional SOLID EDGE® para a realização e visualização da estrutura, que conta com uma base retangular de ferro galvanizado, com dimensões de 3000 mm x 1500 mm. Para a movimentação linear, foram instalados 2 (dois) eixos retificados de 16mm de diâmetro, fixados por 4 (quatro) suportes de eixo para guias lineares de 16mm. A movimentação paralela conta com 4 (quatro) rolamentos lineares de 16mm de diâmetro, suportados por 4 (quatro) mancais de alumínio, chamados comumente de pillow block. Esses rolamentos foram interligados por uma correia dentada de borracha, através de polias dentadas fixadas em uma extremidade ao motor de passo, e em outra por um mancal suportado. Para a movimentação transversal utilizou-se 2 (dois) rolamentos lineares e dois mancais de alumínio. Com o sensor laser fixado entre os dois mancais e com cálculos sincronizados entre o diâmetro da polia e o passo do motor deferido na programação, nos dá uma precisão de movimentação entre 500mm até alcançar o tamanho de 1500mm, o tamanho total da barra.

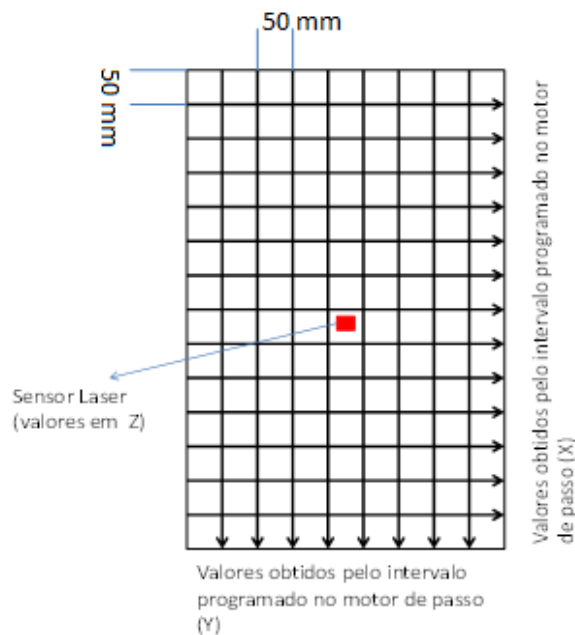


FIGURA 2. Esquemática do perfilômetro a laser.

A primeira etapa da programação do sistema de aquisição de dados foi especificar o tipo de sinal proveniente dos sensores a serem utilizados nos ensaios. Posteriormente foi definida a frequência com que os dados foram coletados e armazenados. A frequência de aquisição foi determinada em função do tamanho da malha de amostragem especificada, bem como através da velocidade de deslocamento do sensor laser na linha de varredura, que foi de  $50 \text{ mm.s}^{-1}$ . Dessa maneira, para construção de uma malha regular de pontos de 50 por 50 mm, a frequência de aquisição de dados foi estabelecida em 1s. O programa foi transferido do microcomputador para o microcontrolador por meio de um cabo USB 2.0 BM/AM. Foram feitas as medidas com o equipamento, de maneira que o sensor de distância fosse mantido perpendicular à superfície analisada, através de um sistema de ajuste individual dos pés de apoio, onde são fixados no solo, e são facilmente regulados e nivelados para auxiliar na correta medição. Foram utilizados níveis de bolha para a geração de um plano horizontal de referência. O delineamento experimental utilizado foi em cinco blocos ao acaso com cinco repetições. Os dois tratamentos estavam relacionados em comparar a metodologia empregada tradicionalmente com uso do perfilômetro descrito por GAMERO & BENEZ (1990) com o perfilômetro a laser desenvolvido no presente trabalho.

Para teste de significância, a análise de variância (ANOVA) foi utilizada para comparar os diferentes parâmetros avaliados, sendo as médias submetidas ao Teste “*t-student*”, com emprego do software Sisvar (Ferreira, 2011).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

O perfilômetro foi desenvolvido de acordo com a necessidade de obtenção de coordenadas em profundidade, onde com este equipamento gerou-se uma localização no espaço com três coordenadas cartesianas, ou seja, seu posicionamento em relação aos eixos X, Y e Z. As superfícies dos corpos prova e as superfícies dos perfis de solos analisados foram digitalizadas pelo equipamento construído. Sucessivas varreduras em trajetória retilíneas foram executadas com incrementos equidistantes em um sistema de posicionamento longitudinal, de maneira a produzir uma malha regular de coordenadas em profundidade produzindo uma superfície tridimensional.

A obtenção da reta, a partir de regressão linear através dos dados levantados, permitiu que fosse gerada uma correção no fator multiplicador, com a transformação do sinal do sensor (pulsos) em distância (cm) (figura 3). O coeficiente angular encontrado foi de 0,053, a regressão apresentou um coeficiente de correlação, com  $R^2 = 0,99964$ , nos mostrando uma linearidade do sensor. A equação nos possibilitou a converter os pulsos recebidos do sensor a uma posição em centímetros.

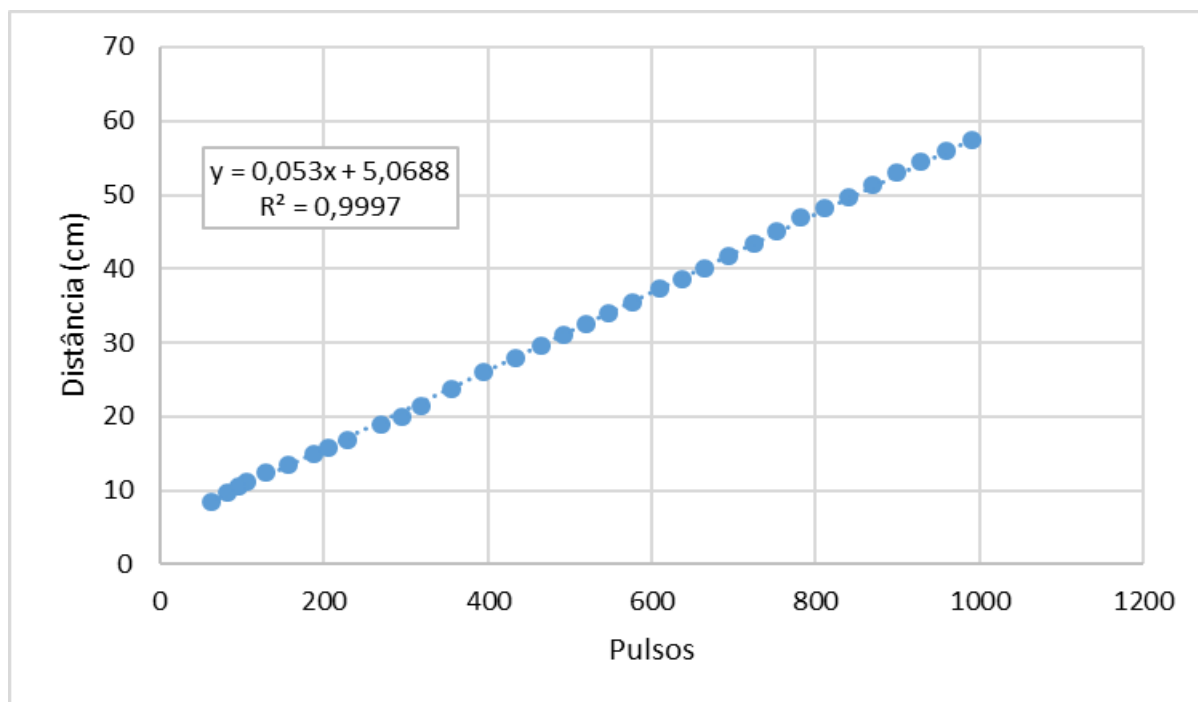


FIGURA 3. Reta e equações de calibração do sensor laser ods 96m/v – 5070 – 421.

Os valores médios referentes à área empolada, área mobilizada, espessura da camada média mobilizada e a porcentagem de empolamento para cada equipamento (de madeira e a laser) encontram-se na tabela 2 e mostram-se sem relevância estatística.

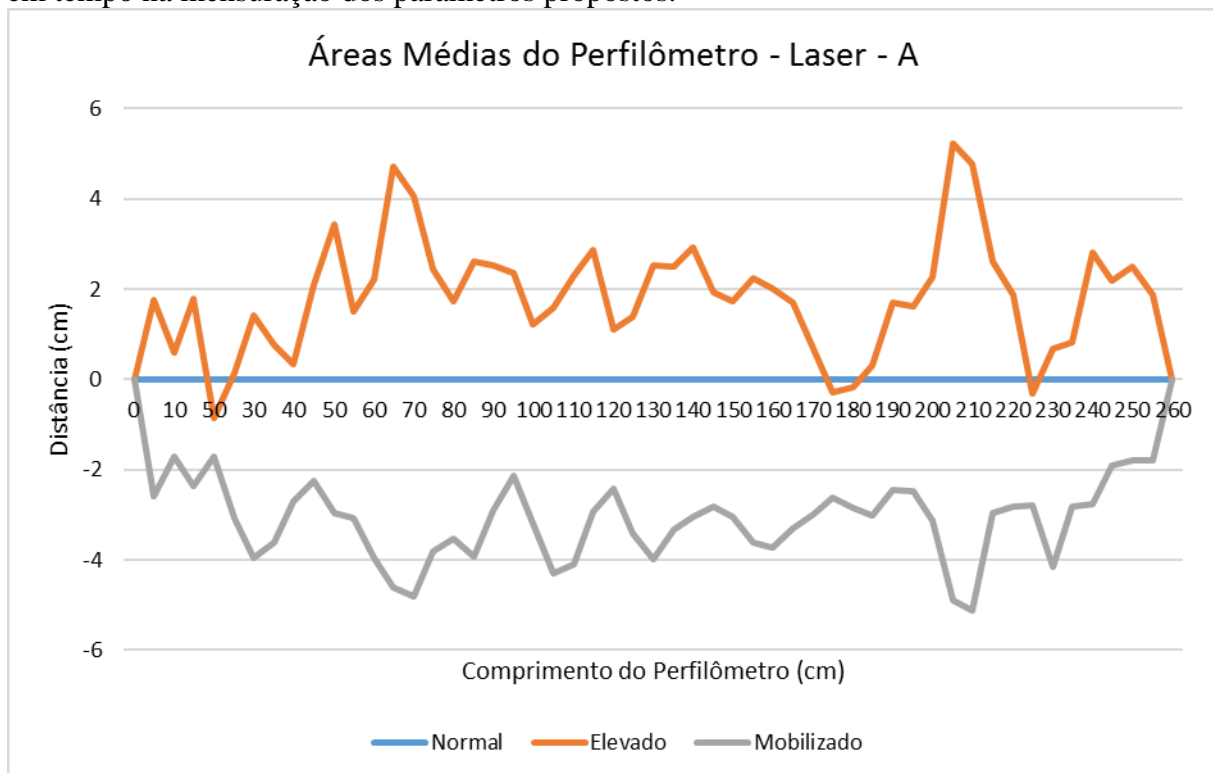
TABELA 2 – Síntese da análise de variância e do teste de médias para área empolada, área mobilizada, espessura média da camada mobilizada e empolamento do solo. Quatro barras – PR (2015). **Summary of analysis of variance and the mean test for blistered area, mobilized area, average thickness of the mobilized layer and soil blistering. Four bars - PR (2015)**

Perfilômetro (P)	Área Empolada (m <sup>2</sup> )	Área Mobilizada (m <sup>2</sup> )	Espessura Média da Camada Mobilizada (m)	Empolamento (%)
Laser	0,16	0,24	0,08	56
Tradicional	0,22	0,27	0,09	59
<b>Teste F</b>				
<b>P</b>	0,21 NS	0,13 NS	0,24 NS	0,01 NS
<b>CV (%)</b>	98,87	54,61	65,68	73,05

Em cada coluna, para cada fator, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem, entre si, pelo “teste t”, a 5% de probabilidade. NS: Não significativo (P < 0,05); \*: Significativo (P < 0,05) e \*\*: Significativo (P < 0,01). CV %: Coeficiente de variação.

Comparando a área elevada obtida com o uso do perfilômetro tradicional, com o equipamento desenvolvido, notou-se que não houve significância estatística na diferença das médias dos valores, como referidos por CARVALHO et. (2007). A diferença verificada na área mobilizada pelos dois perfilômetros, pode ser explicada ao erro de leitura do operador, e/ou, o fato das hastes enterrarem no solo, superestimando o valor. Ambos os valores de área

mobilizada relatados estão próximos dos valores citados por CARVALHO et. (2007) e COAN (1995). A espessura média da camada mobilizada obtida pelo perfilômetro laser obteve uma diferença de apenas 11% em relação ao valor obtido pelo perfilômetro de madeira, 0,08 m contra 0,09 m sendo considerado não significativo estatisticamente. As porcentagens de empolamento do solo obtidos pelos dois equipamentos se mantiveram muito próximas, 59% para o perfilômetro de madeira e 56% para o perfilômetro a laser, logo, variando 6%, não obtendo uma significância estatística. MAGNO JÚNIOR (2012), obteve uma porcentagem de empolamento muito parecida com as obtidas pelos perfilômetros utilizados neste trabalho, por se tratar de um solo sem cobertura e altamente compactado, diferente dos valores observados por CARVALHO et. (2007). O alto coeficiente de variação entre as médias dos parâmetros analisados ocorreu por fatores externos, como a instabilidade na velocidade do trator em operação. Devido ao grau de dificuldade em operar o trator entre o espaçamento previamente delineado por balizas, tiveram que ser tomadas precauções para que não ocorressem quedas e modificações nestes instrumentos. A mudança constante na altura do implemento em relação ao solo também foram fatores que contribuíram na análise de um alto coeficiente de variação. Em todos os parâmetros avaliados neste trabalho, não ocorreram significância entre os equipamentos estudados, sugerindo que o uso do perfilômetro a laser trará uma maior agilidade na leitura e aquisição de dados, nos gerando um ganho considerável em tempo na mensuração dos parâmetros propostos.



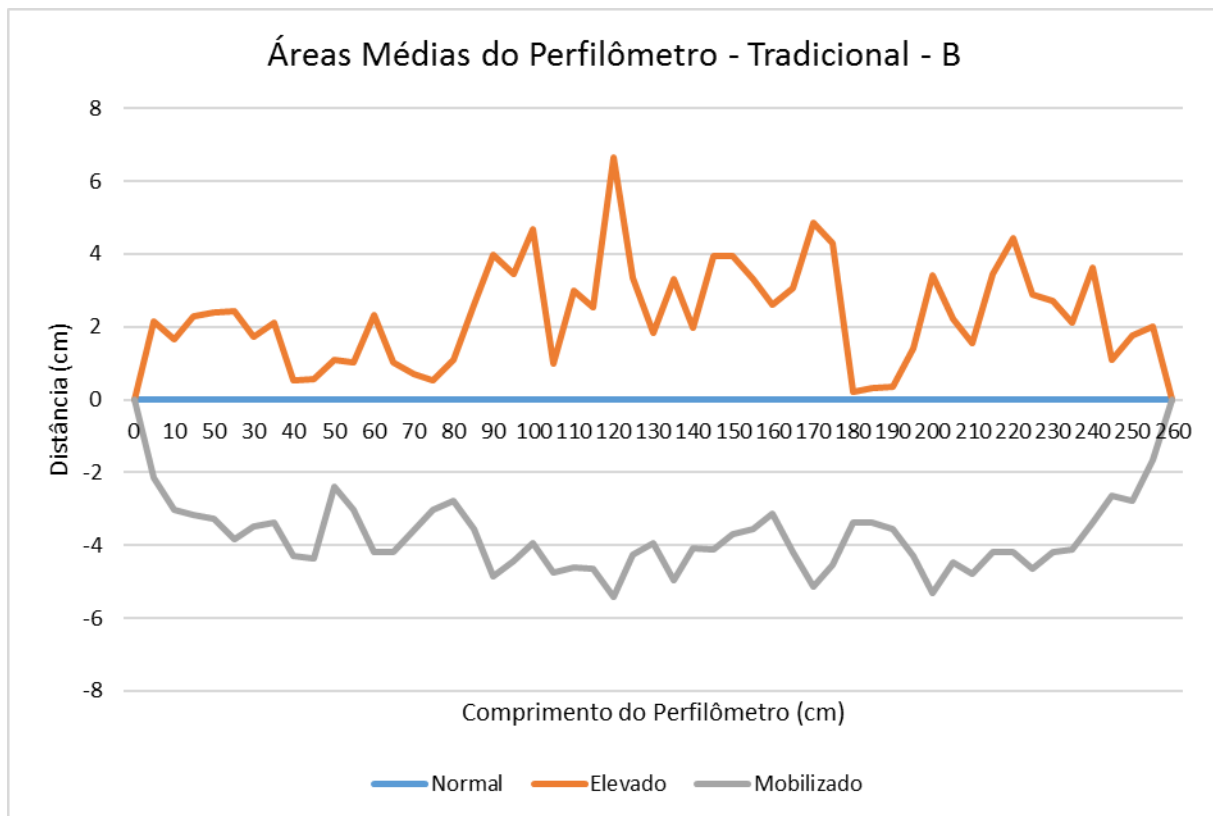


FIGURA 4. Áreas médias empolada e mobilizada para os perfilômetros a laser (a) e tradicional (b).

## CONCLUSÕES

O objetivo proposto neste trabalho, em criar, desenvolver e validar um novo equipamento de mensuração das áreas de elevação, mobilização, espessura média da camada média mobilizada e porcentagem de empolamento foi atendido. Este novo perfilômetro a laser, por se tratar de um método de mensuração sem contato com a amostra, não modificará a estrutura do perfil do solo analisado, trazendo-nos uma maior confiabilidade nos dados obtidos. Além de gerar maior facilidade na coleta, obtenção e armazenamento dos dados, a construção deste perfilômetro buscou-se o uso de tecnologias acessíveis e um projeto mecânico de baixo custo e fácil execução.

## REFERÊNCIAS

ALLMARAS, R.R. et. al *Total porosity and random roughness of the interrow zone as influenced by tillage*. Washington: USDA, 1966. 22 p. (Conservation Research Report, 7).

GAMERO, C.A.; BENEZ, S.H. **Avaliação da condição do solo após a operação de preparo**. In: *IV Ciclo de estudos sobre mecanização agrícola*, 1.,1990, Jundiaí. Anais... Jundiaí: Fundação Cargill,1990. p.12-21.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**. v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

CARVALHO FILHO, A.; SILVA, R.P.; CENTURION, J.F.; CARVALHO,L.C.C.; LOPES,A. Agregação de um Latossolo vermelho submetido a cinco sistemas de preparo do solo em Uberaba-MG. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n. 1, p 317-325, jan-2007b

COAN, O. Sistemas de preparo de solo: efeitos sobre a camada mobilizada e no comportamento das culturas do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e do milho (*Zea mays* L.), conduzidas em rotação. 1995. 138 f. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1995

MAGNO JÚNIOR, Ronaldo Goulart, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, maio de 2012.  
**Avaliação de sistemas de preparo do solo para a cultura da cenoura (*Daucus Carota* L.)  
Visando à colheita mecanizada.** Orientador: Luciano Baião Vieira. Coorientadores:  
Haroldo Carlos Fernandes, Alberto Carvalho Filho e Paulo Roberto Cecon.