

# CALIBRAÇÃO DE SENSORES PARA DETERMINAÇÃO DO TEOR DE ÁGUA DO SOLO

MINÉIA CAPELLARI FAGUNDES<sup>1</sup>, MARCELO OLIVEIRA MORAES<sup>2</sup>, DECIO SCHAFFER<sup>3</sup>  
E TADEU MIRANDA DE QUEIROZ<sup>4</sup>

Recebido em 14.05.2010 e aceito em 31.03.2011.

<sup>1</sup> Mestre, Profª. Depto de Matemática UNEMAT, Barra do Bugres/MT, mineiacf@gmail.com

<sup>2</sup> Bolsista Iniciação Científica / FAPEMAT, marceloeclesiastes@gmail.com

<sup>3</sup> Mestre, Prof. Depto de Matemática UNEMAT, Barra do Bugres/MT, profdecio@gmail.com

<sup>4</sup> Doutor, Prof. Depto de Engenharia de Produção Agroindustrial, UNEMAT, Barra do Bugres/MT, tdmqueiroz@yahoo.com.br

---

**RESUMO:** O presente artigo apresenta a descrição de um procedimento utilizado e os resultados do experimento realizado para obtenção das curvas de ajuste para a calibração de sensores usados em tensiômetros. A curva de calibração dos sensores é descrita através da equação de Sir Francis Galton (equação linear), útil para verificar uma tendência entre os dados experimentais. Uma regressão ou ajuste de curvas é um recurso formal para expressar a tendência de variável dependente y quando relacionada com a variável x. Os sensores são conectados a um sistema de leitura e armazenamento de dados (Data log) que faz leituras digitais. O principal objetivo, na obtenção das curvas de calibração é que ao conectar os sensores aos tensiômetros teremos a leitura real do teor de água do solo.

**Termos para indexação:** data log, tensiômetro, regressão de curvas

CALIBRATION OF SENSORS FOR DETERMINATION OF MOISTURE IN SOIL

**ABSTRACT:** This paper presents a description of the procedure and its results to obtain the fit curves to calibrate sensors used in tensiometers. The calibration curve of the sensors is described by Sir Francis Galton equation (linear equation), useful for checking a tendency between the experimental data. A regression or curve fitting is a formal feature to express the tendency of the dependent variable y as it relates to the variable x. The sensors are connected to a reading system and data storage (Data Logging) that does digital readouts. The main purpose in obtaining the calibration curves is that when connecting the sensors to the tensiometers we will have a real reading of water content of the soil.

**Index terms:** data logging, tensiometer, regression curves.

---

## INTRODUÇÃO

O solo é um composto natural, que abriga em seus poros quantidades variáveis de uma solução aquosa (água), o solo propriamente dito e solução gasosa (ar) o solo. A parte sólida consiste principalmente de partículas minerais e substâncias orgânicas de várias formas e tamanhos e é chamada de esqueleto, ou matriz do solo. A parte líquida do solo constitui-se essencialmente de água, tal que esta água é absorvida pelas raízes das plantas, evapora ou é drenada para camadas de solo mais profundas e por isso precisa ser periodicamente reposta pela chuva ou pela irrigação para

garantir a produção vegetal. Muitos fatores afetam essa retenção de água no solo, no entanto a textura, juntamente com a estrutura são os dois principais fatores que determinam a retenção de água no solo. Os teores de areia, silte e argila no solo influenciam diretamente no ponto de aderência aos implementos de preparo do solo e plantio, facilitando ou dificultando o trabalho das máquinas. A parte gasosa ocupa os espaços vazios não ocupados pela água. Quanto ao teor de água no solo é subdividido em solo saturado e não saturado, sendo saturado aquele que em seu espaço poroso está totalmente ocupado por água, e o não saturado, aquele em que o ar substitui a água, ou seja, em seu espaço poroso não possui solução aquosa. Para determinar esta umidade serão utilizados os tensiômetros.

Tensiômetros são equipamentos que medem a tensão ("pressão") com que a água é retida pelo solo, independentemente da formação do solo o que afeta diretamente a absorção de água pelas plantas. Estão disponíveis o manômetro mecânico, de coluna líquida ou digitais, onde as unidades de medida podem ser em *kPa* (quilopascal), *c bar* (centibarr), *mmHg* (milímetros de mercúrio) e *cm H<sub>2</sub>O* (centímetros de mercúrio). Na Figura 1, é apresentado um tensiômetro instrumentado com um sensor analógico de pressão tipo pressostato. Sua capacidade de leitura de tensão é de 0 a 75 kPa, sendo recomendados para o manejo da irrigação na maioria das hortaliças cultivadas em campo ou sob cultivo protegido.



FIGURA 1. Tensiômetro com o sensor

O tensiômetro da Figura 1 consiste basicamente em um tubo de plástico, uma cápsula porosa de cerâmica na base, e um elemento sensível indicador de tensão existente dentro do mesmo. Quando a cápsula entra em contato com o solo parte da água infiltra pela cápsula porosa, após a água do tensiômetro (que é hermeticamente selado) entrar em contato com uma variação de água do solo e o equilíbrio tende a estabelecer-se novamente.

A água do solo, estando sob tensão, exerce uma sucção sobre o instrumento e dele retira certa quantidade de água causando a queda de sua pressão interna. Como o topo do instrumento é vedado, a coluna de mercúrio *h* do manômetro cresce, indicando a tensão interna da água. Estabelecido o equilíbrio, o potencial da água dentro do tensiômetro é igual ao potencial da água no solo e assim, *h* é uma medida direta de  $\psi_m$  (potencial matricial). Reichardt (1990) descreve o potencial matricial  $\psi_m$  como uma função que se refere ao estado de energia da água, devido sua interação com partículas sólidas do solo. Neste trabalho substituíram-se os manômetros de mercúrio

por sensores e um leitor para efetuar as medições. Dentro desse contexto, a realização dessa calibração tem como objetivo obter as curvas de ajuste dos sensores, para que quando ligados a um sistema de leitura e armazenamento de dados (DATA LOG) experimentais os mesmos tenham valores coerentes.

### MATERIAL E MÉTODOS

O modelo físico da parte de calibração e aferição dos sensores foi realizado no laboratório de Física do campus da UNEMAT, localizado no município de Barra do Bugres/MT. Neste trabalho foram calibrados 20 sensores de pressão da marca Motorola do modelo MPX5100DP, onde cada um possui uma escala de leitura variando de 0 a 100 kPa. Segundo Queiroz (2007), os pinos do sensor são enumerados de 1 a 6. Pela Figura 2 nota-se uma pequena semicircunferência no pino à esquerda, que é identificado pelo número 1, onde o mesmo fornece o sinal de saída do sensor. Os pinos 2(GND) e 3 (+5Vcc) são usados para a alimentação do sensor.

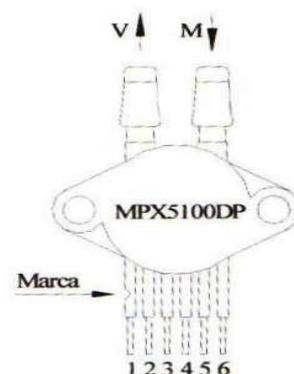


FIGURA 2: Sensor MPX5100DP

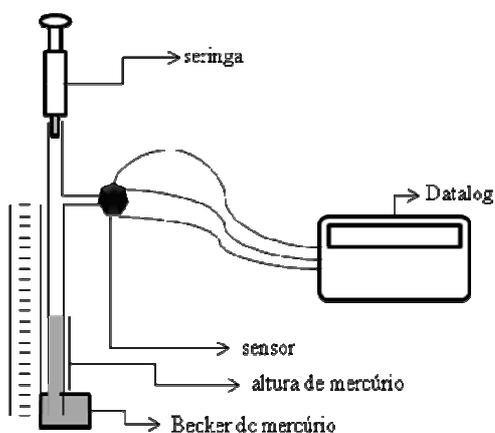


FIGURA 3. Modelo físico do experimento de calibração dos sensores

Para a calibração dos sensores, foram organizados equipamentos com um aparelho eletrônico Data log (coletor de dados) programado para coletar e enviar sinais de leitura da pressão em milivolts, uma seringa, mercúrio, fita métrica, e mangueira transparente. Para se adequar a uma simulação real do efeito produzido pelo tensiômetro, o modelo físico utilizado no experimento é apresentado na Figura 3, onde se observa que a mangueira transparente é fixada com fita em um pedestal de madeira. A mangueira faz a conexão interligando a seringa, o sensor e o mercúrio dentro de um Becker onde é feita a leitura em *mm Hg*.

Conforme o princípio de Stevin, quando variado (puxado) o êmbolo da seringa, a partir da sua posição inicial fechado, pelo fato da seringa estar interligado ao Becker pela mangueira, era produzido um vácuo, ocorrendo assim à diminuição da pressão dentro do sistema (dentro da mangueira a pressão baixou). Logo mercúrio do Becker que está aberto sujeito à pressão atmosférica

sobe pelo tubo porque essa pressão empurra o mercúrio para dentro da mangueira, deslocando-se de uma altura  $h$  (em  $mm\ Hg$ ) em relação à superfície livre do fluido, variável conforme a diminuição dessa pressão vai ocorrendo. Repetiu-se esta aquisição dos dados para vários valores de pressão entre 0 e 58  $mm\ Hg$  medida diretamente na escala milimetrada ao lado da mangueira, onde um sensor fornecia a leitura em milivolts ( $mV$ ). Coletados os dados experimentais obtivemos a curva de calibração dos sensores através do ajuste ou regressão de curvas, de acordo com Silva (1999), vemos na equação 1 o modelo:

$$y(x) = f(x; a, b) = ax + b \quad (1)$$

Onde  $a$  e  $b$  são parâmetros determinados pelas equações 2 e 3:

$$a = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (2)$$

$$b = \frac{\sum y_i}{n} - a \frac{\sum x_i}{n} \quad (3)$$

Ao fazer um ajuste linear para relacionar duas variáveis, não se sabe se a reta encontrada é realmente o melhor modelo de ajuste. Logo a verificação da existência e do grau de relação entre as variáveis é necessária, sendo ela proposta por Karl Pearson chamada de coeficiente de correlação linear  $r$  sendo dada pela equação 4:

$$r = \frac{\sum x_i y_i - \frac{(\sum x_i)(\sum y_i)}{n}}{\left[ \left[ \sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n} \right] \left[ \sum y_i^2 - \frac{(\sum y_i)^2}{n} \right] \right]^{1/2}} \quad (4)$$

A correlação será mais forte quanto mais próximo  $r$  estiver de  $\pm 1$ , será tanto mais fraca quanto mais próximo estiver de zero.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Figuras 4 e 5 são apresentadas as curvas de calibração de 2 sensores, nos quais podemos observar a tendência linear dos dados, conforme previsto, pois a medida que se reduzia a pressão da mangueira com auxílio do êmbolo da seringa, a altura de coluna do mercúrio aumentava na mangueira. Podemos citar Queiroz (2007), utilizou o mesmo procedimento para calibração dos sensores de pressão da marca Motorola do modelo MPX5100DP, onde as curvas de ajuste apresentaram tendência linear.

Na Tabela 1, é apresentado as equações de ajuste linear e coeficiente de correlação, dos sensores. Por exemplo, na Figura 4, são apresentados os dados experimentais do Sensor 1, e a curva de ajuste linear, obtida através da equação (1) sendo dada por  $y = 1,0083x - 0,4718$  com  $r = 0,9965$ .

TABELA 1. Relação das Curvas de ajuste e coeficientes de correlação dos sensores

<i>Sensores</i>	<i>Curvas de Ajuste</i>	<i>r<sup>2</sup></i>
1	$y=10,083x-4,7179$	0,9965
2	$y=10,105x-4,756$	0,9971
3	$y=10,118x-4,825$	0,9972
4	$y=10,124x-4,7702$	0,9972
5	$y=10,313x-5,3701$	0,9971
6	$y=10,121x-4,7893$	0,9978
7	$y=10,159x-4,8988$	0,9971
8	$y=10,122x-4,7679$	0,9974
9	$y=10,123x-4,7798$	0,9971
10	$y=10,117x-4,7798$	0,9971
11	$y=10,107x-4,8083$	0,9972
12	$y=10,102x-4,7536$	0,9971
13	$y=10,106x-4,7964$	0,9972
14	$y=10,117x-4,8131$	0,9972
15	$y=10,116x-4,8059$	0,9972
16	$y=10,106x-4,7964$	0,9972
17	$y=10,122x-4,7845$	0,9971
18	$y=10,115x-4,7607$	0,9971
19	$y=10,114x-4,7655$	0,9971
20	$y=10,117x-4,7798$	0,9971

Fonte: Dados experimentais do experimento realizado

Diante disso, verifica-se que as equações de ajuste possuem uma forte correlação, pois os coeficientes de correlação são próximos de 1. Nas Figuras 4 e 5, se observa o comportamento linear dos valores medidos no sensor (*mV*) que são diretamente proporcionais a pressão (tensão) quando relacionados com os valores de altura de mercúrio (*kPa*). O conhecimento dessas equações é fundamental para a implementação do programa do sistema de leitura e armazenamento de dados que ligado aos sensores fará a leitura dos dados da umidade, minimizando os possíveis erros, pois como foi visto as curvas de calibração dos sensores utilizados não são coincidentes, o que mostra a importância da calibração individual dos sensores.

### CONCLUSÃO

Através das curvas de ajuste dos sensores, se torna possível realizar a leitura do teor de água no solo através dos sensores dos tensiômetros de forma eficiente, ou seja, a leitura se torna padrão para todos os sensores que enviam as leituras de pressão a um sistema de armazenamento de dados da umidade do solo.

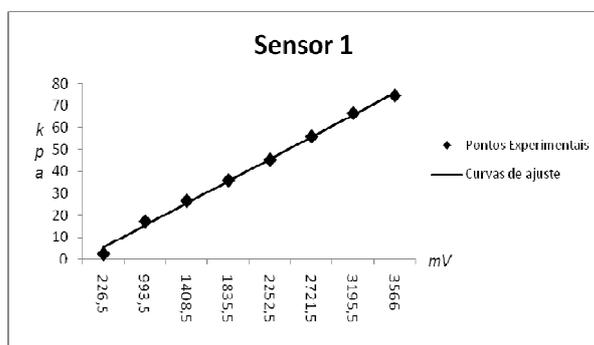


FIGURA 4. Curva de calibração do sensor 1

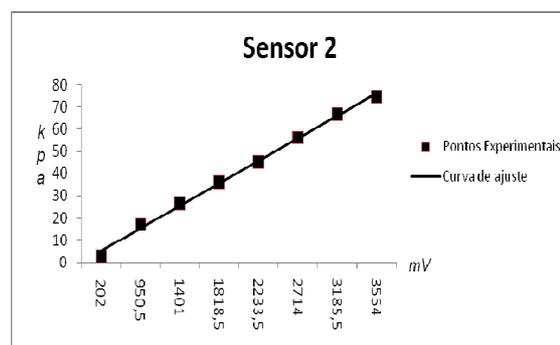


FIGURA 5. Curva de calibração do sensor 2

### AGRADECIMENTO

Agradecemos a FAPEMAT - Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Mato Grosso – pelo auxílio financeiro ao Projeto de Pesquisa.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba: 1995, 497p.

SILVA, E.M. **Matemática e estatística aplicada**. São Paulo: Atlas, 1999, 165p.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole LTDA, 1990.

QUEIROZ, T. M. **Desenvolvimento de um sistema automático para irrigação de precisão em pivô central**. 2007. 145p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

★★★★★