



CALIBRAÇÃO DE SENSORES RESISTIVOS PARA DETERMINAÇÃO DO CONTEÚDO DE ÁGUA NO SOLO E AUTOMAÇÃO DE SISTEMA IRRIGADO

Angélica de Sousa Marcelino¹, Josué Gomes Delmond², Adriana Rodolfo da Costa², Patricia Costa Silva²

RESUMO: É crescente o uso de sensores, principalmente na agricultura, permite um monitoramento contínuo e localizado de parâmetros importantes para tomada de decisão. O sensor de umidade solo é um exemplo, no entanto, é importante que os devidos cuidados sejam tomados na sua calibração, para que apresentem respostas precisas do parâmetro avaliado. Compreender o modelo de ajuste, da leitura dos sensores de resistividade para umidade do solo, comparando possíveis variações entre modelos e de dispositivos do mesmo modelo. Amostras indeformadas de solo em anéis de 5x5 cm foram construídas e submetidas à saturação, posteriormente a secagem natural das amostras foram monitoradas com sensores e por pesagem. Foram testados sensores de dois diferentes modelos, sendo quatro sensores por modelo, foram coletados dez pontos de umidade com noventa e cinco leituras por ponto. Os resultados foram submetidos a análise estatística que demonstrou a divergência nos resultados tanto para sensores de mesmo modelo ou de diferente modelo. Sugerindo a necessidade de nova modelagem (calibração) do sensor sempre que for realizada substituição.

PALAVRAS-CHAVE: Arduino, Agricultura 4.0, Transdutor de sinal.

CALIBRATION OF RESISTIVE SENSORS FOR DETERMINING THE WATER CONTENT IN THE SOIL AND IRRIGATE SYSTEM AUTOMATION

ABSTRACT: The use of sensors is increasing, especially in agriculture, which allows for continuous and localized monitoring of important parameters for decision-making. The soil moisture sensor is an example, however, it is important that proper care is taken in its calibration, so that it presents precise responses of the evaluated parameter. Understanding the

¹ Engenheira Agrícola, Universidade Estadual de Goiás, Santa Helena de Goiás, CEP 75920-000

² Professor, Doutor, Universidade Estadual de Goiás, Instituto de Ciências Agrárias e Sustentabilidade, Santa Helena de Goiás, CEP 75920-000, (64) 99215-8544, josue.delmond@ueg.br; (62) 99124-8395, adriana.costa@ueg.br; (64) 99284-1384, patricia.costa@ueg.br.

adjustment model, from the reading of resistivity sensors for soil moisture, comparing possible variations between models and devices of the same model. Undisturbed soil samples in 5x5 cm rings were built and subjected to saturation, and subsequently, natural drying of the samples was monitored using sensors and weighing. Sensors of two different models were tested, with four sensors per model, and ten moisture points were collected with ninety-five readings per point. The results were subjected to statistical analysis, which demonstrated the divergence in results for sensors of the same model or different models, suggesting the need for new modeling (calibration) of the sensor whenever a replacement is made.

KEYWORDS: Arduino, Agriculture 4.0, Signal transducer.

INTRODUÇÃO

A agricultura é um dos setores que mais consome água no mundo. Portanto, uma utilização consciente é imprescindível para a sustentabilidade e qualidade da produção (JIMÉNEZ, 2018).

Para Paris & Rosa (2017), o fator irrigação é de grande importância, visto que seu manejo deveria ser aplicado no momento e na quantidade correta, de acordo com a necessidade da cultura nos seus estádios fenológicos correspondentes.

A determinação da umidade presente nas amostras se faz presentes principalmente em trabalhos de irrigação, a possibilidade de se obter essa informação de forma contínua se torna de grande importância, para o controle preciso e imediato de qualquer necessidade, garantindo precisão e rapidez na tomada de decisão (CORRÊA & GOMES, 2016).

Existem métodos diretos e indiretos para determinar o conteúdo de água no solo. O método direto mais utilizado é o gravimétrico que exige que a amostra permaneça várias horas na estufa, para expressar os resultados (CORRÊA & GOMES, 2016; JIMÉNEZ, 2018).

De acordo com Jiménez (2018) os métodos indiretos podem expressar com precisão a umidade presente no solo. Como uso de sensor de umidade é possível monitor a variação e realizar o controle mais preciso (OLIVEIRA, 2018).

Sensores como o FC-28 e HL-69 são muito utilizados, eles fornecem em tempo real informações referentes a resistência elétrica do solo que se relaciona diretamente com a umidade do solo (FONSECA & SCHMITZ, 2017). No entanto, para uso de sensores indiretos é necessária realizar sua calibração, seu resultado pode ser influenciado por características físicas, químicas e biológicas distintas (GOMES et al., 2017; JIMÉNEZ, 2018).

Neste contexto objetiva-se modelar a curva de calibração de sensores de dois diferentes modelos, para determinação do conteúdo de água no solo pelo método indireto resistivo, e comparar sensores de diferentes modelos.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido na Universidade Estadual de Goiás, Campus Sudoeste, Unidade Universitária de Santa Helena de Goiás, no Laboratório de Engenharia Agrícola.

O protótipo utilizado para a coleta de dados foi o sensor de umidade do solo modelo FC-28 (sensor A) e modelo HL-69 (sensor B), juntamente com uma placa Arduino UNO, cartão SD para armazenamento dos dados e fonte alimentadora do tipo ATX (adaptada).

As amostras indeformadas utilizadas no ensaio, foram construídas a partir de uma mesma amostra homogeneizada de solo (Latosolo Vermelho Distrófico), retirada em terreno agricultável.

Inicialmente foi coletada um volume deformado de solo, que após ser destorroado foi exposto a secagem natural (TFSA), posteriormente foi homogeneizado e peneirado (2 mm). Essa amostra foi então umedecida para montagem das amostras em anéis volumétricos. As amostras nos anéis foram montadas em três camadas adicionadas de forma a obter 1/3 do peso das amostras em cada adição.

Para cada anel foi calculado a quantidade de solo necessária para atingir uma densidade do solo e $1,05 \text{ g cm}^{-3}$ (EMBRAPA, 2011). Esse procedimento foi realizado para evitar variação de características físicas ou químicas entre as amostras que influenciam a leitura do sensor.

Após modeladas as amostras foram submetidas ao procedimento de saturação (EMBRAPA, 2017) e posterior instalação dos sensores modelos FC-28 (sensor A) e modelo HL-69 (sensor B) que permaneceram nas amostras até o fim do experimento.

As amostras eram expostas ao tempo para secagem natural por 48h, conduzidas para um dessecador por 24h e depois era realizada a leitura do sensor durante 5 minutos. Esse procedimento foi realizado um total de 10 vezes. Antes de cada leitura as amostras eram pesadas para posterior determinação da umidade real pelo método proposto pela EMBRAPA (2011).

Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva para obtenção da média, mediana, mínimo, máximo, desvio padrão, coeficiente de variação (CV, %). O CV foi categorizado como baixo ($CV < 12\%$); médio ($12\% < CV < 24\%$) e alto ($CV > 24\%$) (WARRICK & NIELSEN, 1980).

A comparação entre os sensores foi realizada com experimento no delineamento inteiramente casualizado, com dois modelos (Sensor A e Sensor B) e quarenta repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste de F, quando apresentaram variação significativa, submetidos ao teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para a comparação entre os sensores do mesmo modelo (A e B) foi utilizado delineamento experimental com parcela subdividida, no esquema fatorial 4x10, com quatro sensores e 10 umidades do solo, com 95 repetições. Os dados foram avaliados de acordo com procedimento descrito por Snedecor & Cochran (1989), que testa a homogeneidade entre os dados de dois modelos lineares (F), o coeficiente angular “a” e o intercepto “b”.

Quando não observada variação entre os parâmetros avaliados, os dados sugerem agrupamento para formar único modelo, caso observada variação é necessário um modelo para cada conjunto de dados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O solo analisado apresentou os resultados de análise física e química de acordo com o apresentado na Tabela 1. De acordo com os resultados da análise o solo é classificado com textura argilosa.

Tabela 1. Análise física e química do Latossolo Vermelho Distófico.

Análise granulométrica			Ca	Mg	Al	H+Al	K	Dp*	pH	
g Kg ⁻¹			-----cmolc/dm ³ -----						g/cm ³	
Argila	Silte	Areia								
590,0	120,0	290,0	2,1	1,3	0,0	3,1	0,12	2,95	5,0	

Fonte: Solocria (2019), *Autoria própria (2021).

Os sensores de umidade do solo utilizados neste trabalho para determinar o conteúdo de água no solo foram os que utilizam o método indireto resistivo. Foi observado que na primeira leitura os valores de conteúdo de água no solo foram maiores, ficando entre 57 a 53%, e na décima leitura apresentaram valores menores, variaram de 12 a 13%. Este comportamento era esperado, visto que as amostras no início do experimento foram saturadas, conforme descrito na metodologia, condição em que as leituras foram iniciadas.

Umidades superiores as realizadas no experimento não são possíveis, pois o aumento de água na amostra implicaria na expansão da amostra ou redução do volume de partículas. Umidade inferiores exigiria a elevação da temperatura ambiente, como por exemplo em uma

estufa, o que prejudica o uso do equipamento, no entanto, a faixa de importância para finalidades agrícolas foi observado, que é o foco do estudo realizado neste trabalho.

Para identificação da leitura dos sensores, foi realizada inicialmente uma avaliação descritiva dos dados de tensão que apresentaram resultados da média bem divergente. Observa-se que o valor médio da leitura da tensão para o sensor A varia entre 0,040 e 0,663 Volts, enquanto para o sensor B varia de 1,427 a 4,979 Volts.

O valor de leitura do sensor A é inferior ao observado no sensor B, e essa condição permanece inalterada ao longo de todas as leituras.

A tensão observada entre o sensor A apresenta valor média máximo, para a 10ª leitura, momento em que o solo apresentava menor conteúdo de água e consequentemente maior resistividade elétrica, foi observado nessa condição a leitura de 0,663 Volts que é menor do que os valores observados pelo sensor B de 4,979 Volts.

Essa diferença entre os valores de leitura dos sensores A e B, quando as amostras estavam com valores próximos de conteúdo de água, reforça a hipótese de que os sensores apresentaram modelagem distintas. Necessitando de uma modelagem para estimar o conteúdo de água com base na leitura de cada modelo de sensor.

Observa-se proximidade entre a média e a mediana, demonstrando que não existe valores muito divergentes no conjunto numérico, que a flutuação de leitura do sensor é próxima ao ponto médio. Indica que os sensores apresentam precisão no conjunto de dados obtidos em cada leitura em mesma condição.

Outra característica a ser observada para estudar o conjunto de dados obtidos é a amplitude dos dados e o coeficiente de variação.

Observa-se baixo valor de amplitude entre os conjuntos de dados analisados, essa observação é corroborada pelo baixo valor do coeficiente de variação.

A amplitude dos dados apresenta maiores valores para o sensor B. No entanto, como ele apresenta maiores valores de leitura pelo sensor e maior escala de variação, esses números apresentam proporcionalidade entre os sensores, demonstrado pela proximidade dos valores de coeficiente de variação que eles apresentam.

Os valores do coeficiente de variação apresentaram valores baixos ($CV < 12\%$), com exceção para os valores da primeira leitura para os sensores A1 e A3, que apresentaram valor de coeficiente de variação categorizado como médio ($12\% < CV < 24\%$) (WARRICK & NIELSEN, 1980).

A proximidade entre a média, baixa amplitude dos dados e de coeficiente de variação corroboram com a percepção de que os sensores apresentam boa precisão na determinação da

condição da amostra do solo, não apresentando variação na leitura para uma mesma condição, o que inviabilizaria o seu uso.

Na comparação entre sensores de diferentes modelos, realizada neste trabalho foram considerados sensores A e B. Os sensores de umidade de solo precisam ser calibrados antes do uso, seu resultado é influenciado pelo ambiente que ele esteja inserido. Ainda pode apresentar respostas diferentes ao mesmo ambiente, em função do modelo e do estado de conservação dos sensores.

A análise de variância entre resultado de leitura dos sensores A e B, observa-se diferença expressiva nos resultados.

O sensor B apresentou média maior que a do sensor A. A amplitude dos valores de resposta, para o sensor B, variam entre 1,35 a 4,99 Volts, região esta que não foi alcançada pelos valores observados pelo sensor A (0,024 a 0,67 Volts).

A maior amplitude de variação dos resultados, somada com baixa variação observada na Tabela 4, permite afirmar que o sensor B apresenta maior sensibilidade a variação do conteúdo de água no solo, por apresentar maior variação de leitura para uma mesma variação do componente conteúdo de água no solo.

A partir da observação dos resultados já apresentados é possível afirmar que os sensores A e B não apresentam ajuste possível, sendo sempre que for necessário o uso de sensores de diferente modelos deve ser feito novo modelo, para que a estimativa do conteúdo de água seja correta.

Para verificar a possibilidade de gerar um modelo matemático que enquadre os sensores de mesmo modelo, os dados foram submetidos a comparação de acordo com metodologia descrita por Snedecor & Cochran (1989), apresentados nas Tabelas 2 e 3.

Conforme apresentado na Tabela 2, nenhum dos sensores A apresentam o conjunto de observação de homogeneidade nos dados, diferenciação dos coeficientes angulares e linear. Este resultado impossibilita o agrupamento dos dados para formar um modelo de conversão dos valores de tensão em umidade.

Apesar dos sensores serem de um mesmo modelo a modelagem matemática para converter os dados de tensão em umidade do solo devem ser independentes para cada sensor para que ele apresente representatividade.

O teste de Snedecor & Cochran (1989) conforme apresentado na Tabela 2, demonstra que os dados de cada um dos sensores A devem ser trabalhados de forma independente.

Tabela 2. Comparação entre leitura, na porta analógica do Arduino por diferentes sensores resistivos de umidade do solo (sensores A1, A2, A3 e A4), do mesmo modelo, de acordo com Snedecor & Cochran (1989) para estimativa dos valores que podem ser agrupados a fim de formular um modelo matemático que estima a leitura digital para cada valor de umidade do solo.

Métodos	F	Coef. Angular	Coef. Linear	Decisão
A1 x A2	**	**	**	Não Agrupar
A1 x A3	ns	**	**	Não Agrupar
A1 x A4	**	**	**	Não Agrupar
A2 x A3	ns	**	**	Não Agrupar
A2 x A4	**	**	**	Não Agrupar
A3 x A4	**	**	**	Não Agrupar

H: homogêneo; **significativo a 1%; *significativo a 5%; ns: não significativo.

A recomendação para o não agrupamento dos dados pelo teste de Snedecor & Cochran (1989) também foi observado para os sensores B (Tabela 3). Os resultados comparados entre si não foram homogêneos e o agrupamento não foi possível.

Nenhum dos sensores B apresentam o conjunto de observação de homogeneidade nos dados, não diferenciação dos coeficientes angulares e linear. Este resultado impossibilita o agrupamento dos dados para formar um modelo de conversão dos valores de tensão em umidade.

Tabela 3. Comparação entre leitura, na porta analógica do Arduino por diferentes sensores resistivos de umidade do solo (sensores B1, B2, B3 e B4), do mesmo modelo, de acordo com Snedecor & Cochran (1989) para estimativa dos valores que podem ser agrupados a fim de formular um modelo matemático que estima a leitura digital para cada valor de umidade do solo.

Métodos	F	Coef. Angular	Coef. Linear	Decisão
B1 x B2	**	**	**	Não Agrupar
B1 x B3	ns	**	ns	Não Agrupar
B1 x B4	ns	**	*	Não Agrupar
B2 x B3	ns	**	*	Não Agrupar
B2 x B4	ns	**	ns	Não Agrupar
B3 x B4	ns	**	**	Não Agrupar

H: homogêneo; **significativo a 1%; *significativo a 5%; ns: não significativo.

O teste de Snedecor & Cochran (1989) conforme apresentado na Tabela 3, demonstra que os dados de cada um dos sensores B devem ser trabalhados independentemente.

O sensor B apresentou maior homogeneidades dos dados na comparação entre sensores, o que demonstra que a amplitude dos dados observados é mais parecida, no entanto, há divergência entre a inclinação do modelo e o ponto de interceptação no eixo das ordenadas.

Observa-se que entre sensores (sensor A, quanto o sensor B) apresentaram modelo de conversão da leitura de tensão em umidade do solo diferentes. Significando que a substituição desses sensores, não pode ser efetuada sem antes ser realizada a sua calibração.

Sena et al. (2020) utilizando sensores capacitivos de modelo ECH2O EC-5, ajustou modelos lineares para relacionar a tensão com a umidade para diferentes texturas de solo. Apesar do

princípio de leitura do sensor usado no nosso trabalho ser o mesmo utilizado por Sena et al. (2020) a variação de modelo pode ter influenciado no modelo do ajuste dos dados.

Para todos as relações entre sensores e umidade do solo apresentaram comportamento logarítmico, em que a variação de baixos valores de umidade do solo apresenta maior variação na tensão, tendendo a uma estabilização com o aumento da umidade.

Esse comportamento sugeri a existência de um patamar de leitura da tensão, quando a variação da umidade do solo não resulta mais em variação significativa na leitura de tensão, limitando o uso do equipamento (Figura 1 e 2).

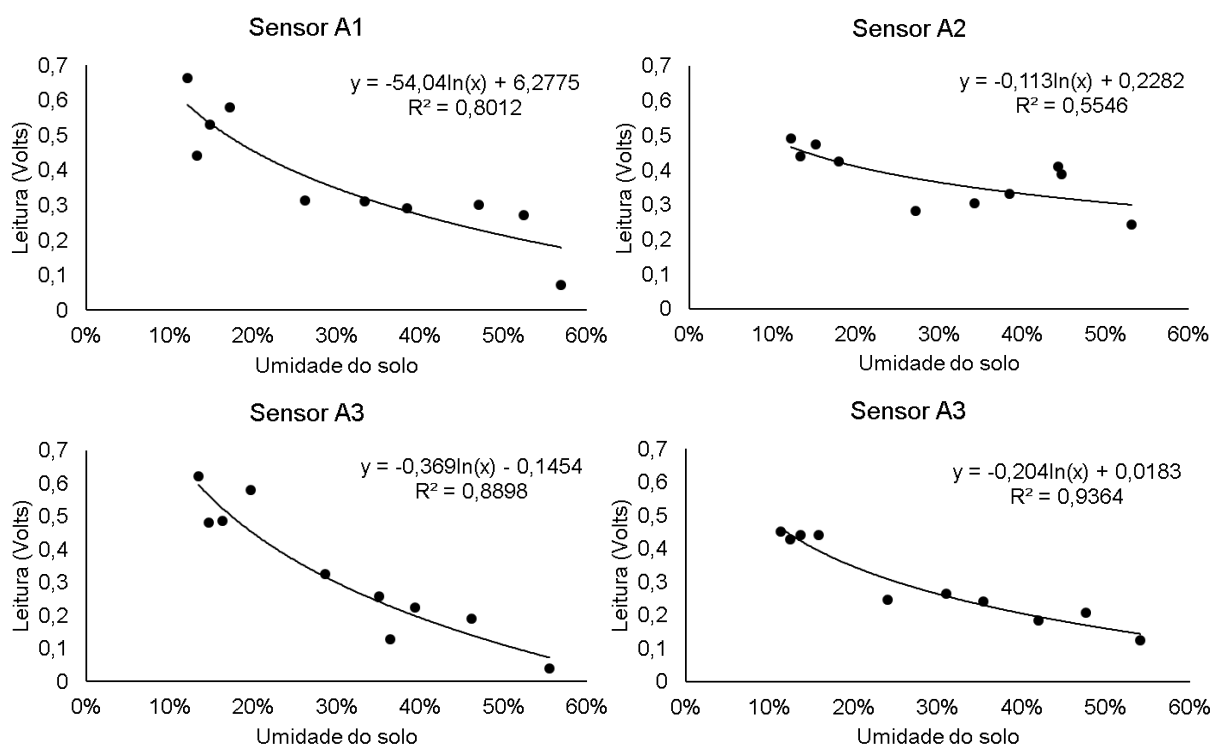


Figura 1. Gráficos expressando a relação entre a Umidade do solo e a Leitura do sensor de umidade do modelo A.

Os sensores A (Figura 1) apresentaram ajuste melhor quando observados os sensores A3 e A4 com o coeficiente de determinação R^2 próximo a 0,90.

O sensor A2 apresentou valor de coeficiente de determinação próximo a 0,50 e pequena amplitude de variação da tensão em função da umidade do solo. Esse comportamento indica uma divergência em relação aos outros sensores A, indicando a possibilidade da existência de sensores que não apresentem ajuste satisfatório, podendo ser resultado de defeito de fabricação.

Os sensores B (Figura 2) apresentaram modelos com coeficiente de determinação R^2 próximos a 0,80 para todos os sensores.

Pizetta (2015) efetuou a calibração de três sensores capacitivos para a umidade do solo, sendo estes o modelo 10HS (Decagon Devices), sensores de baixo custo Grove e Eletrodex em relação ao método padrão de estufa, em solo com três diferentes texturas (Argissolo, Latossolo

e Nitossolo). Em solo classificado como Latossolo o autor apresentou para o sensor 10HS uma curva de calibração com equação linear de 2º grau, e um bom coeficiente de determinação de 0,98. Entretanto os sensores Grove e Eledrodex apresentaram equações linear de 1º grau e coeficientes de determinação baixos de 0,11 a 0,72, respectivamente.

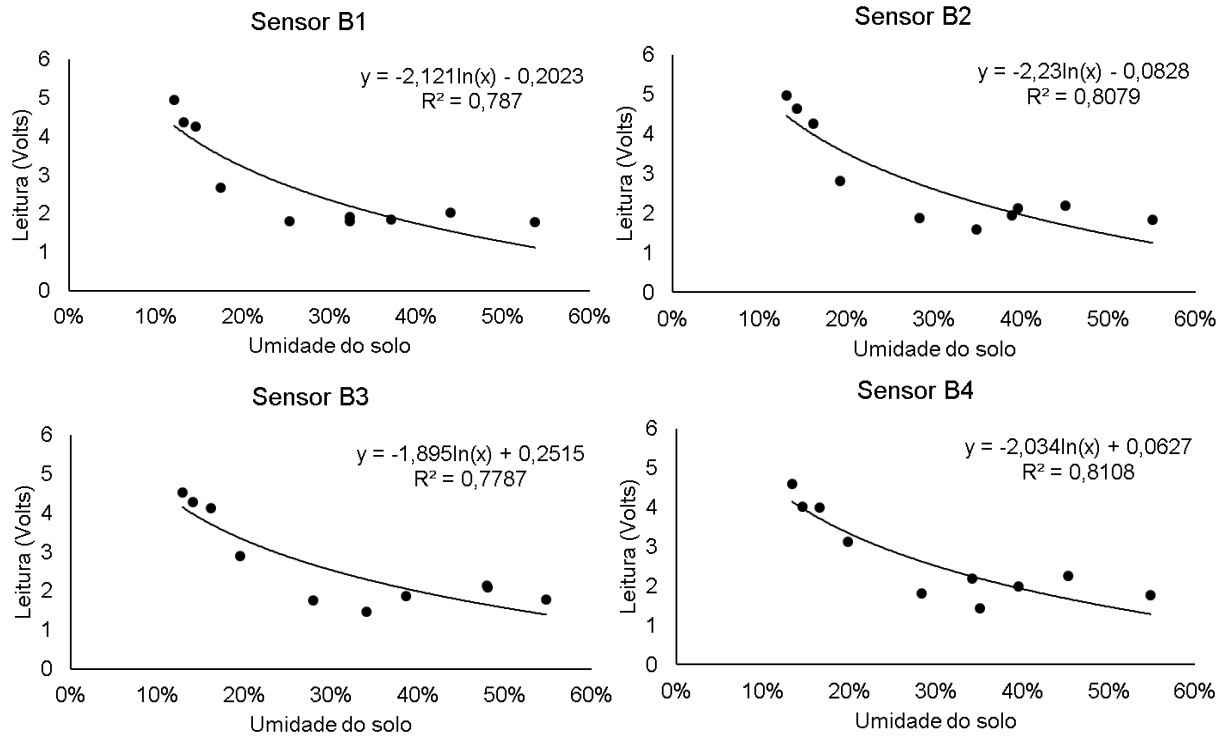


Figura 2. Gráficos expressando a relação entre a Umidade do solo e a Leitura do sensor de umidade do modelo B.

Já Diniz (2017) em pesquisas na área de irrigação, apresentou modelagens cúbicas para sensores capacitivos do tipo SHT20 e DHT22, e sensor resistivo modelo FC-28, e coeficiente de determinação de 89,0%, 90,1% e 98,5%, respectivamente.

CONCLUSÕES

Os resultados foram submetidos a análise estatística que demonstrou a divergência nos resultados tanto para sensores de mesmo modelo ou de diferente modelo.

Sugerindo a necessidade de nova modelagem (calibração) do sensor sempre que for realizada substituição.

Os sensores apresentam capacidade de estimar a umidade do solo com precisão satisfatória.

A divergência entre resultados dos sensores demonstra baixo rigor na sua confecção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CORRÊA, M. R. O., GOMES, E. L. B. **Sensores Aplicados no Controle da Umidade do Solo para o Cultivo da Cenoura**. In: V Seminário de Automação Industrial e Sistemas Eletro-Eletrônicos – SAISEE, 5p., Santa Rita do Sapucaí-MG, 2016.
- DINIZ, A. M. **Sistema automatizado de aquisição, em tempo real, de umidade e temperatura do solo na irrigação**. 2017. 76f. Doutorado (Pós-Graduação em Engenharia Agrícola), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2017
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, ed. 2, p. 230, 2011.
- FONSECA, A. F.; SCHMITZ, L.. **Sistema microcontrolado para estufas**. 2017 83f. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação), Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELT), Universidade Tecnológica do Paraná. Curitiba, 2017.
- GOMES, F. H. F. et al. Calibração de um sensor de umidade do solo de baixo custo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.11, nº.4, p. 1509 - 1516, Fortaleza-CE, 2017.
- JIMÉNEZ, A. L. A. C. **Calibração de sensor de umidade do solo modelo yl-69 para manejo da irrigação**. (Dissertação de Mestrado), 51p., Recife, 2018.
- OLIVEIRA, C. L. **Calibração de sensores de umidade do solo de baixo custo**. 2018. 52f. Monografia (Disciplina Estágio Supervisionado Obrigatório), Universidade Federal Rural de Pernambuco, Garanhuns - PE, 2018.
- PARIS, L. A.; ROSA, H. A. **Calibração de sensor de umidade de solo capacitivo CS12 em Latossolo Vermelho Distroférrico**. Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz. p 4, 2017.
- PIZETTA, S. C. **Calibração de sensores de capacitância (fdr) para estimativa da umidade em diferentes solos 2015**. 68f. Dissertação (Pós-Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas), Universidade Federal de Lavras, 2015.
- SENA, C. C. R.; JUNIOR, J. A.; DOMINGOS, M. V. H.; ANTUNES JUNIOR, E. de J.; BATTISTI, R.; EVANGELISTA, A. W. P.; CASAROLI, D. Calibração do sensor capacitivo de umidade do solo EC-5 em resposta a granulometria do solo. **Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v. 6, n.4, p.17228-17240, 2020.

SNEDECOR, G.W., COCHRAN, W.G. **Statistical methods**. 8.ed. Ames, Iowa State University, p. 503, 1989.

WARRICK, A.W. & NIELSEN, D.R. **Spatial variability of soil physical properties in the field**. In: HILLEL, D., ed. Applications of soil physics. New York, Academic Press, 1980. 350p.