

SENSOR DE UMIDADE DO SOLO EM DIFERENTES PROFUNDIDADES

MARCELO H. Z. SOUZA¹, LUCIO G. B. OLIVEIRA², WADLER L. B. MORAES³,
MATHEUS V. A. OLIVEIRA³, GABRIEL A. FILGUEIRA³

¹ Graduando em Engenharia Agrícola e Ambiental, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais (ICAA), Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Sinop - MT, (0xx66) 999769843, marcelo.zolinger@gmail.com ² Engenheiro Agrícola e Ambiental, Prof. Mestre, ICAA/UFMT, Sinop - MT.

³ Graduando em Engenharia Agrícola e Ambiental, ICAA/UFMT, Sinop - MT

Apresentado no
XLVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2018
06, 07 e 08 de agosto de 2018 - Brasília - DF, Brasil

RESUMO: A água é um recurso fundamental a existência da vida. A agricultura irrigada corresponde a cerca de 70% de toda água utilizada. O uso eficiente da irrigação está ligado diretamente com o manejo de irrigação, nos sistemas modernos são diversos os sensores que fornecem dados para o manejo automático, ampliando assim sua eficiência. Tendo em vista o assunto abordado, este trabalho buscou desenvolver um instrumento alternativo para determinar a umidade em diferentes horizontes do solo, juntamente ao arduino. Para esse projeto foram testadas duas sondas: uma de cobre e a outra de aço inoxidável; cada sonda foi ligada a um chip controlador de tensão (LM393). Os dados eram lidos pelo arduino UNO e armazenado em cartão SD. Para calibrar as sondas utilizou-se o método padrão de estufa (105°C - 24 horas). As curvas de calibração obtidas pelo dispositivo com os dados da estufa apresentaram um R² para a sonda de cobre na altura₁=0,6248 altura₂=0,8348 e para a sonda de aço inox na altura₁=0,9211 altura₂=0,8607. A sonda de cobre foi corroída em 5 dias, entretanto a de aço inox não apresentou danos visíveis. Desta forma, o instrumento desenvolvido demonstrou capaz de encontrar de forma automática e precisa a umidade do solo.

PALAVRAS-CHAVE: Alternativo; Arduino; Sensor;

SOIL MOISTURE SENSOR IN DIFFERENT DEPTHS

ABSTRACT: Water is a fundamental resource for the existence of life. Irrigated agriculture accounts for about 70% of all water used. The efficient use of irrigation is directly linked to irrigation management, in modern systems there are several sensors that provide data for automatic management, thus increasing its efficiency. Considering the subject, this work sought to develop an alternative instrument to determine the humidity in different horizons of the soil, along with the Arduino. For this project, two probes were tested: one of copper and the other one of stainless steel; each probe was attached to a voltage control chip (LM393). The data was read by the Arduino UNO and stored on SD card. To calibrate the probes the standard greenhouse method (105°C - 24 hours) was used. The calibration curves obtained by the device with the oven data showed an R² for the copper probe height = 0.6248 height 2 = 0.8348 and for the stainless steel probe at height = 0.9211 height 2 = 0.8207. The copper probe was corroded in 5 days; however, the stainless steel showed no visible damage. In this way, the developed instrument showed to be able to automatically and accurately find soil moisture.

KEYWORDS: Alternative; Arduino; Sensor;

INTRODUÇÃO

A água é um dos recursos naturais mais importantes do planeta é indispensável a sobrevivência de todos os seres vivos; é fundamental para o equilíbrio da natureza. Também conhecida como solvente “universal” é importante para a absorção de nutrientes do solo pelas plantas, apesar de tudo, é limitada e extremamente significativa no desenvolvimento socioeconômico de uma região (LIMA, 1999).

Segundo Christofidis 2002, há uma tendência no aumento do uso da água no futuro, justificado pelo aumento populacional, que por sua vez exigira maior necessidade por alimentos; ou pela disponibilidade de terras com capacidade para o uso na agricultura irrigada estimada em 470 milhões de hectares.

Na década de 90 a agricultura irrigada ocupava 275 milhões de hectares - por volta de 18% de toda a área cultivada no planeta, gastando cerca de 70% de toda a água de qualidade, já o setor industrial consumia cerca de 21% e o consumo doméstico 09% (SANTOS, 1999).

A aplicação da quantidade necessária de água a planta no momento correto é denominada manejo racional da irrigação. Temendo que a cultura sofra um estresse o produtor rural usualmente irriga em excesso, comprometendo a produção. Esse excesso suscita o desperdício de energia e de água (LIMA, 1999).

Para Coelho et al. 2005, o uso racional da água de irrigação pode ser alcançado atuando na estrutura de irrigação então existente; nos métodos de manejo da irrigação e nas técnicas que permitem o aumento da eficiência do uso da água.

Estudos demonstram que se a irrigação fosse utilizada de forma racional, perto de 20% da água e 30% da energia gastas seriam conservadas; ficando 20% da energia economizada devido a aplicação desnecessária da água e 10% devido á otimização dos equipamentos utilizados na irrigação (CEMIG, 1993).

A eficiência do uso da água pelas plantas indica a qualidade da irrigação e quanto mais alto a qualidade, menor é o prejuízo financeiro, também é possível destacar os prejuízos incalculáveis com a degradação física, química e biológica do sistema solo planta (SAAD & LIBARDI, 1994). Efetividade da irrigação é de forma qualitativa a eficiência de aplicação, a uniformidade de distribuição e a eficiência de armazenagem e água no solo. A eficiência de aplicação representa, basicamente, a fração do volume total de água aplicada que é armazenada na profundidade do sistema radicular enquanto que a eficiência de armazenagem, a fração do volume de água requerida armazenada na profundidade do sistema radicular (RIZZONE, 1992).

A eficiência da irrigação está ligada diretamente com o manejo de irrigação, de nada adianta ter um sistema de irrigação de alta eficiência se o manejo da irrigação é deficiente; o manejo da irrigação deve ser adequado aos sistemas de irrigação e apresentar um controle de lamina de água eficiente. Existem vários métodos de manejo, dentre eles o manejo convencional de irrigação que é baseado em turnos de rega calculados com base em valores da evapotranspiração da cultura (ETc) e a lamina real necessária (LRN). Outro método utilizado para o manejo da irrigação é o uso de sensores de água no solo; estes definem o momento da irrigação e a quantidade de água a ser aplicada no solo (COELHO et al., 2005).

Existem inúmeros tipos de sensores para aferir a umidade do solo, tais como a sonda de nêutrons, a sonda de capacitância os refletômetros de TDR e os tensiômetros. As tecnologias que aferem a quantidade de água no solo têm passado por grande evolução, e novos instrumentos capazes de monitorar a umidade do solo com baixo custo e capazes de serem implementados em sistemas automatizados veem surgindo no cenário nacional; como por exemplo o sensor de umidade do solo baseado no chip comparador de tensão LM393

Os sistemas modernos de irrigação são equipados com microprocessadores de alta tecnologia e precisão capaz de monitorar e controlar inúmeras variáveis ambientais que garantem o desenvolvimento da cultura, entretanto apresentam alto custo e alto grau de difícil para o pequeno agricultor (REIS, 2015).

É possível definir micro controlador como um “pequeno” componente eletrônico, contendo uma “inteligência” programável, utilizado no controle de projetos lógicos, por onde é possível conectar a atividade desejada (SOUZA, 2009). A plataforma Arduíno é uma plataforma de

prototipagem eletrônica, composta de um micro controlador, podendo ser programada e conectada a entradas e saídas (LANG et al. 2013).

Mendes (2006) em seus estudos propôs caracterizar um sensor de fácil montagem e baixo custo que utiliza um método térmico para a umidade de água no solo. A partir de um modelo de condução de calor em um meio, gerado por uma fonte de calor de temperatura constante, é definida uma grandeza térmica que varia com a umidade do solo. Já oliveira et al (2017), desenvolveu e construiu um instrumento de baixo custo para medir a umidade do solo in situ.

Tendo em vista o assunto abordado, este trabalho buscou desenvolver um instrumento alternativo para determinar a umidade de solo, que opere junto ao arduíno.

MATERIAL E MÉTODOS

A realização do projeto ocorreu no laboratório de automação e controle da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) Campus de Sinop. Seu desenvolvimento foi dividido em duas etapas; primeiro projetou-se e construiu o sistema de leitura e armazenagem de umidade de solo; e em seguida realizou a calibração do sistema.

Para construir o protótipo foram utilizados uma placa arduíno Uno baseada no ATmega328 (chip microcontrolador), um dispositivo periférico capaz de gravar dados em cartão SD (SDCard Shield v1.0), cartão de memória para armazenagem de dados de 2Gb, modulo regulador de tensão LM2596 (com capacidade de conduzir uma carga de até 3A), ventoinha de 40mm x 40mm x 10mm, fonte de 12V, cabo para conexões, cabo coaxial, adaptadores de cabo coaxial, barras de aço inoxidável de aproximadamente 5 mm de espessura, massa plástica, placa de fenolite e interruptor além de jumpers (fios) para fazer as conexões.

O arduíno e os sensores tem seu melhor desempenho com uma tensão variando de 3.3 a 5V, já a ventoinha responsável pelo resfriamento do sistema requer de uma tensão de 12V. Como a fonte disponibiliza 12V o modulo regulador de voltagem foi ajustado para reduzir a tensão para 5V e fornece-la ao arduíno e aos sensores, sendo possível assim obter um bom funcionamento dos mesmos.

Para determinar umidade do solo utilizou o sensor higrômetro 9SS19; o sensor é dividido em duas partes: um par de sondas, onde é realizada a medição da tensão, e por um circuito com dois comparadores independentes projetados para operar a partir de uma fonte de alimentação em um amplo alcance de voltagem (FAIRCHILD, 2001).

Foram utilizadas duas sondas, uma compõe o conjunto comprado (higrômetro 9SS19 Figura 1-A), feita de fenolite com trilhas de cobre; e outra construída com barras de aço cortadas com cerca de 18cm (figura 1- B); para a comunicação entre as sondas feitas no laboratório e o chip controlador foi utilizado um cabo coaxial, para facilitar a utilização, o manuseio e até mesmo a substituição de sondas, foram inseridos conectores de engate rápido, por fim as barras de aço foram espaçadas com massa plástica tendo entre si 2 cm de distância.

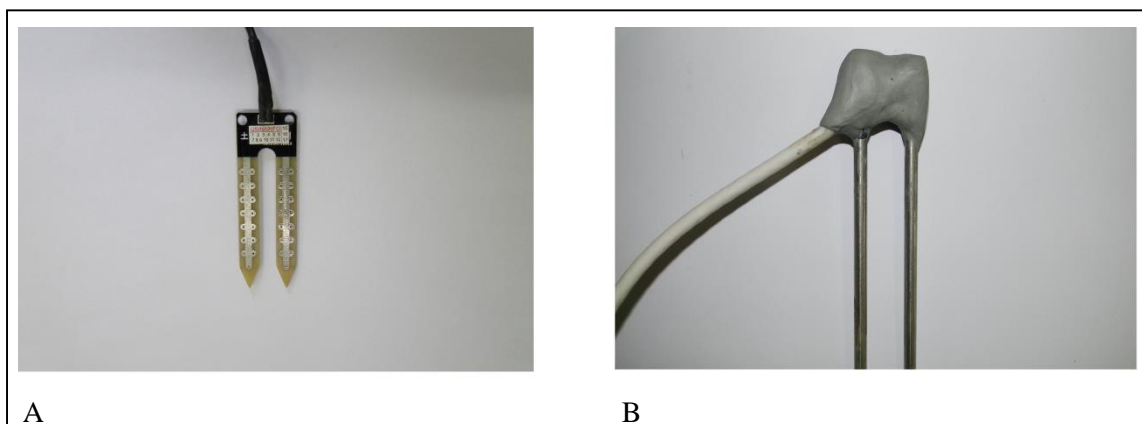


FIGURA 1. Sondas que compõem o sistema de aferição de umidade.

Para a construção do sistema de monitoramento foi preciso desenvolver uma placa que pudesse ser acoplada a Shield com o cartão de memória para a aquisição de dados e em seguida ao arduíno. O esquemático do circuito ficou da seguinte forma (Figura 2).

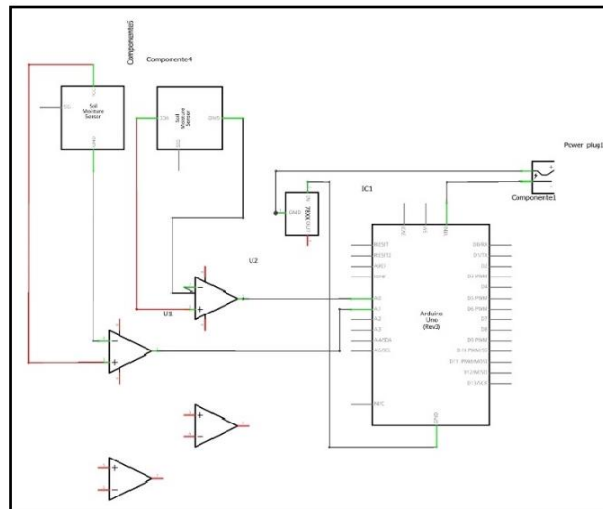


FIGURA 2. Esquemático do circuito.

O programa utilizado durante o projeto é iniciado fazendo leituras nos sensores a cada 1 segundo, após 60 segundos é feita uma média destas leituras e salva no cartão Sd. O programa segue o fluxograma abaixo (Figura 3).

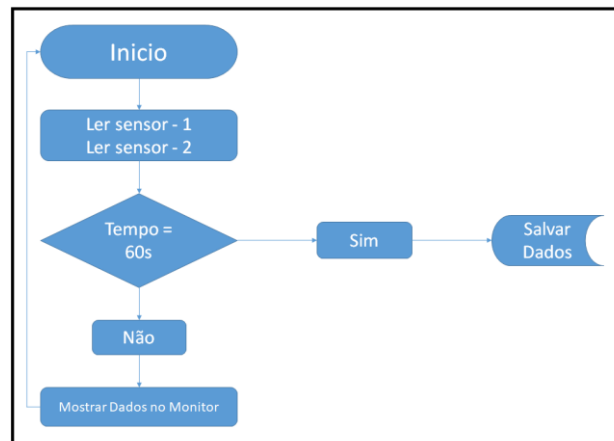


FIGURA 3. Fluxograma do programa criado e utilizado durante o projeto.

CALIBRAÇÃO DO SENSOR

Para a calibração dos sensores as leituras obtidas foram comparadas ao método gravimétrico padrão, tido como comparador universal por ser mais exato, no qual seca-se a amostra de solo em estufa entre 105-110°C por 24 horas. Para testar o método em questão utilizou-se uma amostra grande de solo com massa conhecida de 20kg, porem com uma umidade desconhecida, essa amostra foi então colocada em uma caixa organizadora onde as sondas posteriormente foram inseridas para a aferição de dados (Figura 4-A; 4-B). Visando a organização e o espaçamento correto das sondas dentro do meio de coleta e leitura de dados as mesmas foram dispostas com cerca de 0,13m entres si (Figura 4-C) e 0,1m (Figura 4-D).

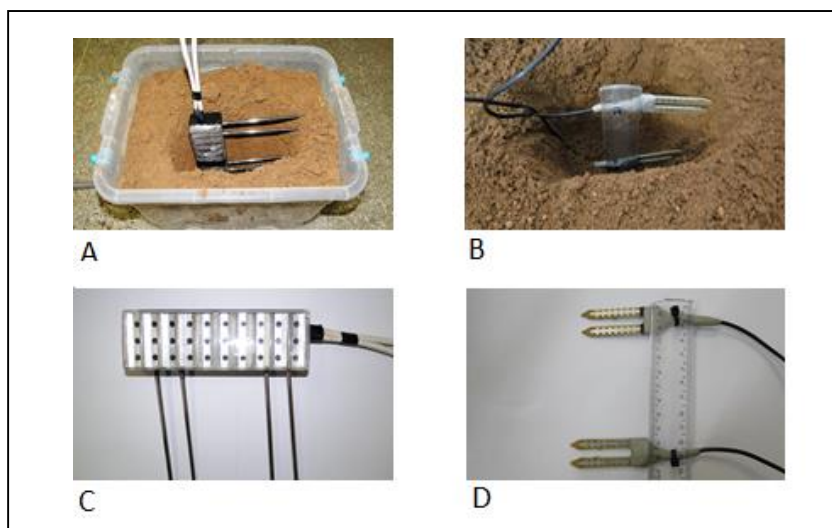


FIGURA 4. Sondas com espaçamento dispostas na caixa, prontas para realizar leituras;

Assim que o sistema foi ligado, as sondas e sensores forneceram valores de leituras referentes a tensão entre sondas, para ter o conhecimento da real umidade do solo que inicialmente foi obtido, utilizou-se o método padrão onde 2 amostras com cerca de 100g foram retiradas e analisadas, a média entre essas amostras foi tomada como umidade inicial.

Tendo em mãos o valor da umidade inicial passou a expor todo solo a uma lâmpada incandescente por cerca de 30 minutos, depois desse período o solo foi deixado em descanso por cerca de 20 minutos para que as leituras estabilizassem decorrido esse período novamente duas amostras com cerca de 100g de solo foram retiradas e levadas para serem analisadas através do método padrão, a cada retirada de amostra a média de leitura dos sensores era retirada para que posteriormente ambos os dados pudessem ser comparados e correlacionados. Esse procedimento foi repetido por algumas outras vezes visando a obtenção de uma curva de calibração; para medir a massa das amostras retiradas utilizou-se e uma balança analítica com 3 casas de precisão e para organização de dados utilizou o Excel.

O processo inicial de análise de dados foi realizado no Excel. Para correlacionar os dados de tensão de solo obtida por cada sensor com umidade de solo obtido por meio de estufa foi utilizado o método de regressão estatística para avaliar o sistema de calibração e suas incertezas associadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No contexto deste trabalho pode-se observar que os resultados foram um tanto quanto satisfatórios, uma vez que o custo de produção do equipamento ficou razoavelmente baixo e acessível quando comparado a equipamentos comerciais. Visto também que as leituras realizadas pelos sensores puderam ser correlacionadas a real umidade das amostras estimadas através do método gravimétrico padrão demonstrando assim sua eficiência quanto ao objetivo inicialmente proposto.

Como descrito anteriormente o projeto ocorreu em duas etapas; onde primeiro projetou e construiu o sistema de leitura e armazenagem de umidade de solo; e em seguida realizou a calibração do sistema. O funcionamento do equipamento consiste na emissão de uma corrente elétrica por uma das hastes, enquanto a outra detecta a diferença de potencial, que ocorre no campo eletromagnético gerado no solo resultante da corrente elétrica aplicada. Os dados obtidos são lidos pelo controlador arduino em bits, e variam entre 1023 e 0 de forma decrescente (quanto maior a quantidade de água no solo menor o valor lido);

Para a projeto inicial do instrumento levou em consideração a sua praticidade, o fácil entendimento do circuito eletrônico e também uma boa forma para montagem e manuseio do mesmo. Visando tal, buscou maneiras que permitem uma rápida execução do projeto, e com um fácil acoplamento de peças e componentes eletrônicos se eventualmente ocorresse a necessidade de substituí-los, fatores como o estética foram descartados pois o trabalho possui âmbito acadêmico.

Em sua montagem alguns componentes que constituem o circuito isto é, o regulador de voltagem e os chips comparadores foram soldados na placa de fenolite perfurada, tais componentes foram interligados segundo as especificações de seus fabricantes, com exceção apenas da fonte de alimentação, a mesma foi colocada do lado de dentro do abrigo para evitar danos providos com o deslocar do equipamento durante o decorrer do trabalho, os conectores que permitem a retirada e o desmembramento de partes do circuito foram colocados tanto na parte interna interligando a fonte de alimentação ao circuito como do lado de fora permitindo assim a retirada das sondas para quaisquer fins, a placa de fenolite montada foi colocada sobre o SDCard Shield que em seguida foi acoplada ao arduino, utilizou-se como abrigo uma caixa de madeira feita de caixeta, por fim colocou a ventoinha no canto superior esquerdo para o resfriamento do circuito; o sistema depois de montado ficou como demonstrado a abaixo (Figura 5).

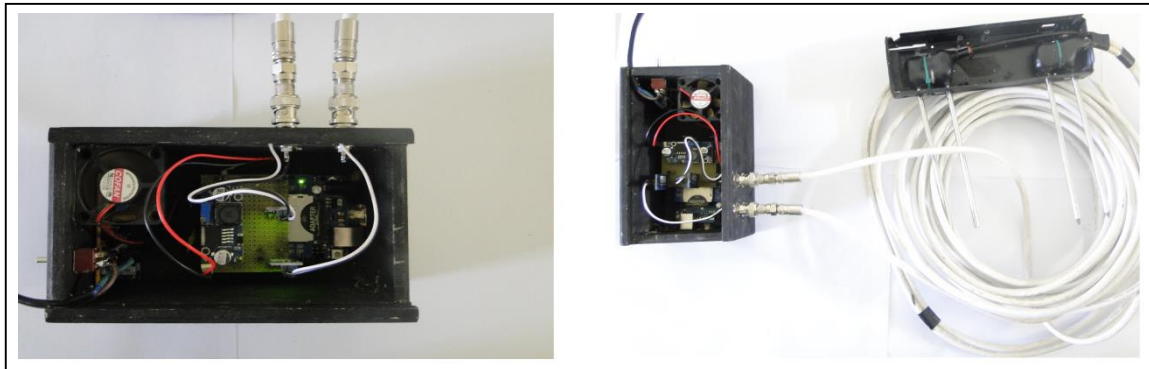


FIGURA 5. Sistema depois de montado.

Com as sonda de cobre foram coletados dados durante 4 dias 20 horas e 40 minutos, a cada minuto um dado de cada sonda era armazenado no cartão de memória, tais dados podem ser vistos no gráfico da Figura-6.

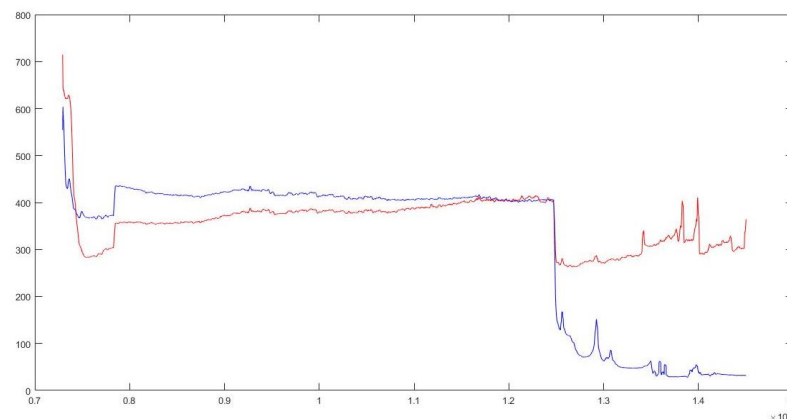


Figura 6. Dados referentes as sondas de cobre.

A inconstância vista em uma das sondas da figura 6 pode ser relacionada a oxidação das trilhas de cobre, uma hipótese que possivelmente explica o fato disto ter ocorrido é que devido a passagem quase que constante de pulsos elétricos pelas trilhas das sondas as mesmas podem ter reagido com a água e a acidez presentes no solo, acarretando assim a reação química de oxidação que deteriorou as sonda em alguns dias. O motivo mais comum de oxidação de um metal é o contato direto da superfície metálica desprotegida com o ar, vapor d'água ou água. Segundo (WEBER, 2003), todos componentes físicos envelhecem e sofrem com interferências externas, sejam ambientais ou humanas. O software, e também os projetos de software e hardware, são vítimas de sua alta complexidade. Assim, todo sistema computacional é suscetível a falhas. No caso dos sensores de cobre foi possível observar que após aproximadamente 72 horas uma das sondas apresentou uma inconstância em suas leituras; da coleta de dados feita no dia seis de fevereiro (06/02/2018); Em testes realizados

anteriormente com as hastes de cobre a mesma oxidação pode ser vista, esse foi um dos fatores que impulsionaram e fortaleceram a ideia de criar um par de sondas com aço inoxidável no próprio laboratório, observou também uma pequena interferência nas leituras quando as sondas foram totalmente inseridas no solo e comparadas a outros sensores onde as sondas não eram totalmente expostas, isso pode ter ocorrido devido ao fato de que as sondas de cobre utilizadas são produzidas para efetuar leituras na superfície, assim sendo não possuem partes de conexão isoladas, partes essas que ao entrarem em contato com o solo úmido geram ruídos indesejados. Para tentar solucionar essa adversidade buscou maneiras para isolar as regiões expostas, para isso materiais que possivelmente poderiam oferecer isolamento contra a umidade foram submetidos a teste, nessa busca foram testados 3 materiais diferentes, dentre eles: adesivo silicone, massa plástica e adesivo araldite. Entre todos os materiais que foram submetidos a teste o que ofereceu melhor isolamento foi a massa plástica, portanto deu-se a sua utilização no isolamento, as hastes isoladas com o adesivo plástico e já oxidadas ficaram como na Figura 7.



FIGURA 7. Sondas de cobre depois de isoladas e oxidadas.

Embora as sondas com trilhas de cobre tenham oxidado; antes que isso ocorresse as mesmas realizavam leituras e contribuíam para a aquisição de dados, tais dados foram utilizados para a criação de uma curva de calibração, mostrada na figura 8.

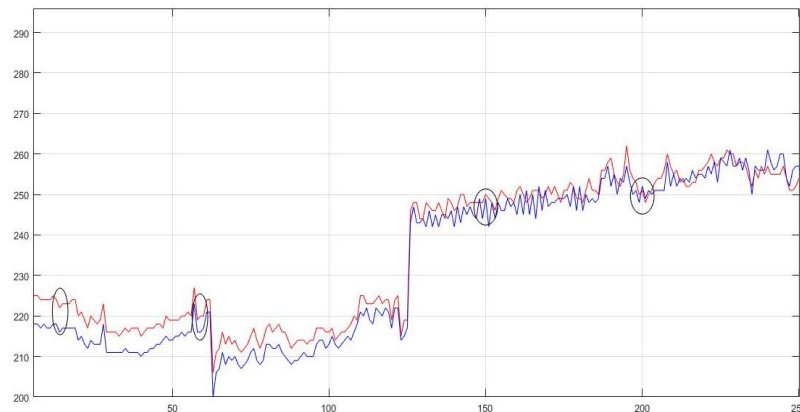


FIGURA 8. Curva de calibração para os sensores de cobre 1 e 2.

Os pontos com a elipse indicam o momento de leituras no qual retirou-se as amostras para serem levadas e analisadas através do método padrão, as leituras dos sensores e os valores da umidade obtidas pelo método padrão foram colocadas em uma planilha eletrônica que posteriormente serviu como base para a criação de um gráfico, para o sensor 1 obteve-se um $R^2 = 0,8348$ e para o sensor 2 um $R^2 = 0,6248$; os gráficos dos sensores 1 e 2 seguem na figura abaixo. (Figura 9).

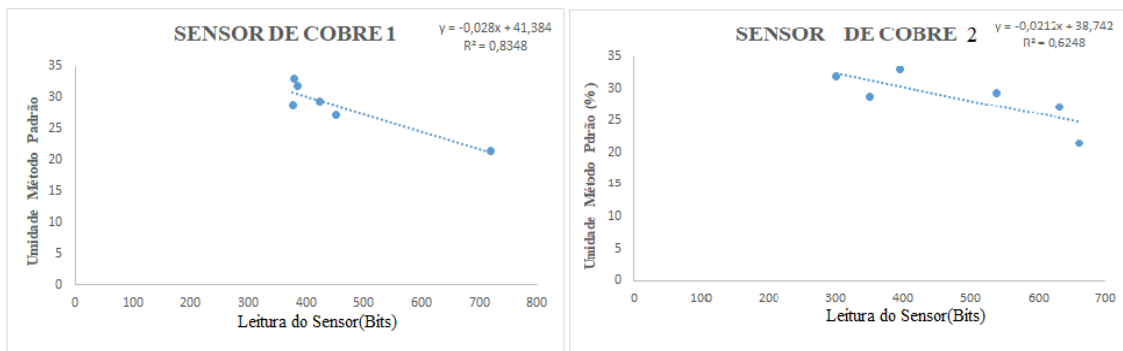


FIGURA 8. Gráficos de relação das leituras obtidas pelo método padrão e pelos sensores de cobre 1 e 2.

Na análise inicial dos dados verificou-se que a umidade manteve maior na parte inferior da caixa onde o sensor 2 foi disposto, isso pode ser associado a tendência natural de percolação da água. Na natureza a porosidade da fração sólida do solo, mais especificamente os microporos que encontram se dentro dos agregados de areia, silte e argila são responsáveis pelo armazenamento de água, isso influencia no movimento de percolação pois os mesmos determinam a quantidade de água que será retida no solo ou dispersa para o lençol freático, de forma geral os solos com maior porcentagem de argila e matéria orgânica(M.O) possuem uma quantidade de agregados superior a quantidade encontrada em solos com percentuais inferiores, conseqüentemente os mesmos possuem uma maior capacidade de armazenagem de água ou capacidade de campo (CC) como é conhecida. Vale enfatizar que quando a quantidade de argila é muito alta acaba ocorrendo a impermeabilização dos horizontes superiores o que impede a infiltração e possibilita conseqüentemente um maior escoamento superficial.

Posteriormente com a exposição do solo a lâmpada incandescente a umidade retida no fundo do recipiente passou aos poucos a subir, alterando assim as leituras do sensor 1 fazendo-as cair levemente, esse fato decorre pois a temperatura na superfície do solo passou a ser maior na parte superior, o que ocasionou uma lenta evaporação e conseqüentemente o transporte da massa d'água da parte inferior para a superior, com o desligar da lâmpada a massa d'água voltou a concentrar no fundo da caixa, a oscilação de tensão (0V – 127V) na lâmpada fez com que as leituras alternassem no decorrer de do o estudo, essas alternâncias podem ser mais facilmente visualizadas na Figura 9.

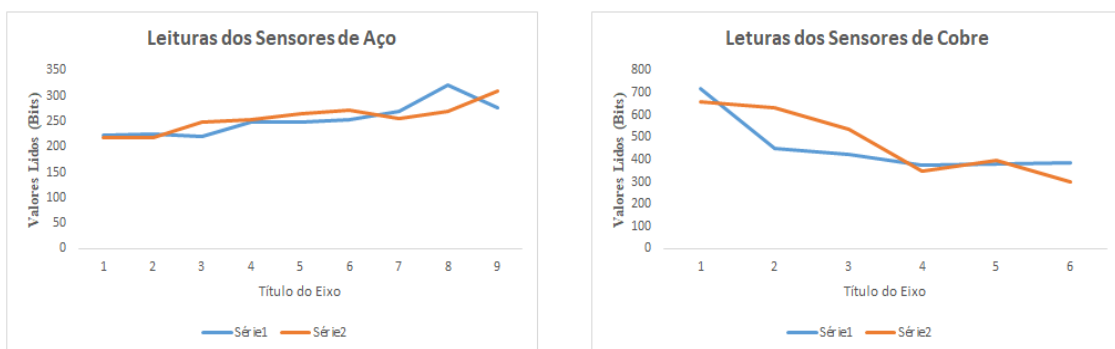


FIGURA 9. Alternância nas leituras dos sensores de aço e de cobre.

Com as sonda de aço foram coletados dados durante 3 dias 6 horas e 20 minutos, a cada minuto um dado de cada sonda era armazenado no cartão de memória, tais dados podem ser vistos no gráfico da Figura-10.

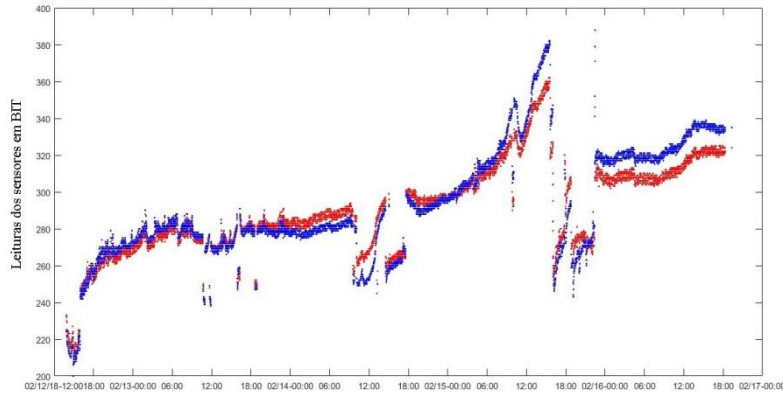


FIGURA 10. Dados obtidos com as sondas de aço.

O sensor de aço construído demonstrou melhores resultados quando comparado ao sensor de cobre que acompanha o conjunto, pode-se notar que os valores lidos são mais constantes demonstrando menor oscilação e permanecendo sempre na mesma média de valores, demonstrou-se também menos suscetível a erros por agentes externos, sendo assim, o sensor 1 conseguiu atingir um $R^2 = 0,9211$ e o sensor 2 um $R^2 = 0,8507$; como demonstrados nos gráficos da figura 11. Esses valores mostram que os sensores de aço possuem uma maior sensibilidade em relação as mudanças de tensão entre as sondas, portanto podem ser tomados como que tendo uma maior confiabilidade.

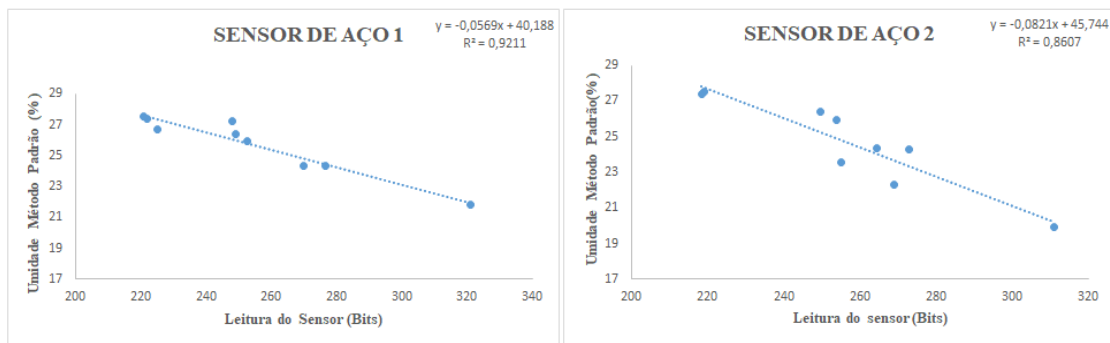


FIGURA 11. Gráficos de relação das leituras obtidas pelo método padrão e pelos sensores de aço 1 e 2.

Em relação à viabilidade econômica a construção do equipamento de monitoramento da umidade do solo mostrou ter um custo relativamente baixo quando comparado com outros equipamentos disponíveis no mercado atual, como por exemplo, o sensor S-SMC-M005 fabricado pela Onsetcomp que pode chegar a custar até R\$ 1334,40 ou até mesmo o WaterScout SM100 da Spectrum que possui uma faixa de preço em torno de R\$ 645,42; isso ressalta a hipótese referente a viabilidade econômica do sensor, tornando o mais acessível. Vale evidenciar também que os valores referidos na tabela 1 foram estimados segundo o site de comércio eletrônico Mercado livre em fevereiro de 2018 e o valor de frete não foi adicionado na estimativa por se tratar de uma variável.

TABELA 1. Componentes e seus respectivos valores.

Components and their values	
Item	Valor
Arduíno Uno R3	R\$ 35,00
Cabo Coaxial	R\$ 8,99
Cartão SD 2Gb	R\$ 10,00
Conectores para Cabo Coaxial	R\$ 11,00
Haste de Aço inoxidável	R\$ 8,99
Massa Plastica	R\$ 7,99
SDCard Shield v1.0	R\$ 33,64
Sensor de Umidade	R\$ 10,90
Total	R\$ 126,51

CONCLUSÃO

Mediante os resultados obtidos, foi possível concluir, que o sistema de umidade de solo é sensível à variação da umidade de solo; as sondas de aço inoxidável mostraram maior sensibilidade nas leituras e resistência contra a oxidação em relação as sondas de fenolite com trilhas de cobre. No que se refere à viabilidade econômica, os custos da construção do sistema custa 5,1 vezes menos do que um modelo comercial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- LIMA, J. E. F. W.; FERREIRA, Raquel Scalia Alves; CHRISTOFIDIS, Demetrios. O uso da irrigação no Brasil. **O estado das águas no Brasil. Agência Nacional de Energia Elétrica. CD-ROM**, 1999.
- CEMIG. Estudo de Otimização Energética. Belo Horizonte, 1993. 22p
- COELHO, Eugênio Ferreira; COELHO FILHO, Mauricio Antônio; OLIVEIRA, SL de. Agricultura irrigada: eficiência da irrigação e o uso da água. **Bahia Agrícola**, v. 7, n. 1, p. 57-60, 2005.
- FAIRCHILD Semiconductor Corporation, **LM2903/LM2903I, LM393/LM393A, LM293/LM293A Dual Differential Comparato**. VER.1.0.3 2001.
- REIS, J. S. Sistema de controle aplicado à automação de irrigação agrícola. 73p. Monografia (Graduação) – Tecnologia em Automação Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.
- SOUZA, David José de. Desbravando o PIC – Ampliado e atualizado para PIC 16F628A. São Paulo – SP: Editora Érica, 2009.
- LANG, Arthur Guilherme; DUTRA, Augusto Felipe Alves; WAROMBY, Paulo Henrique. **Desenvolvimento de um irrigador microcontrolado integrado a um sistema de supervisão e controle**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- OLIVEIRA, Ivã Brandão. MEDIDOR ALTERNATIVO DE UMIDADE DO SOLO. **Seminário de Iniciação Científica**, n. 21, 2017.
- WEBER, T.S. Tolerância a falhas: conceitos e exemplos. Apostila do Programa de PósGraduação– Instituto de Informática-UFRGS. Porto Alegre. 2003.