



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
**CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL**

**JULLY EMILLY GALDINO DE JESUS**

**Relatório de Estágio Supervisionado Obrigatório**

**RECIFE**

**2022**

**Jully Emilly Galdino de Jesus**

**DESENVOLVIMENTO DE SENSOR DE UMIDADE DO SOLO UTILIZANDO  
MICROCONTROLADOR ARDUÍNO**

**RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO OBRIGATÓRIO**

Relatório apresentado como conclusão de Estágio Supervisionado (Bacharelado) do Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental da Unidade Acadêmica Dois Irmãos (SEDE)

Professor Orientador: Emanuel Di Tarso dos Santos Sousa.

Período: Março a Maio de 2022

**RECIFE**

**2022**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por ter me concedido graça e sabedoria para chegar até aqui.

Agradeço aos meus pais Ricardo Rodrigues e Jeane Galdino pelo esforço em me garantir uma boa educação e pelo incentivo para nunca desistir de buscar o meu crescimento pessoal e profissional.

Agradeço aos meus familiares e amigos pelas palavras de apoio e motivação em todos os momentos de dificuldades.

Ao meu amigo e companheiro Marcos Henrique, agradeço pelo carinho, ajuda e por todos os momentos que vivemos.

A minha amiga Geisa Freitas, agradeço por sua compreensão e paciência em me ouvir e ajudar em toda essa jornada.

Ao meu amigo Moisés Alves, agradeço por sempre me ajudar nos momentos difíceis e por se preocupar comigo, sem ele não teria conseguido.

Agradeço ao meu orientador Professor Emanuel Di Tarso dos Santos Sousa pela orientação, pela experiência partilhada e por toda sua empatia.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	4
2. MATERIAL E MÉTODOS	5
2.1. Princípio do Sensor de Umidade	5
2.2. Componentes para Construção do Sensor de Umidade	5
2.2.1. Componentes do Sistema	5
Arduíno UNO	5
Resistores	6
Capacitores	6
Diodo 1N4146	7
CI NE555P	7
2.2.2. Componentes para Estrutura dos Eletrodos	8
2.3. Simulação e Adaptação do Circuito	9
2.4. Montagem do Circuito	10
2.5. Montagem da estrutura dos eletrodos	11
2.6. Calibração do Sensor	11
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	13
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	14

## 1. INTRODUÇÃO

Em controle dos processos hidrológicos como o escoamento superficial, evaporação do solo e na transpiração das plantas, a umidade do solo é um fator primordial para o seu controle e compreensão dos processos. Dessa forma, o conhecimento do teor de água no solo é de extrema relevância para os estudos do balanço hídrico local, como movimento e disponibilidade de água, principalmente em situações da agricultura, onde é imperativa a definição do momento da mecanização agrícola e controle exato do manejo da irrigação (SANTOS NETO, 2015).

No início da década de 1980, surgiram vários métodos baseados em respostas às propriedades eletromagnéticas do solo, tornando-se uma alternativa à medição direta do teor de água do solo. Assim, os métodos indiretos têm ganhado visibilidade por fornecer resposta rápida, medições não destrutivas, precisão aceitável, possibilidade de medições simultâneas e armazenamento contínuo de dados, o que auxilia o monitoramento (SILVA et al., 2012).

Dentre os métodos indiretos para a estimar o teor de umidade do solo, a técnica da Reflectometria no Domínio do Tempo (Time Domain Reflectometry - TDR) tem maior destaque em relação aos demais por ser um método rápido e não destrutivo - por não utilizar materiais radioativos, e permite a automação para aquisição de dados. Esse método consiste na propagação de ondas eletromagnéticas por meio de hastes condutoras envoltas pelo solo (CRUZ et al, 2019).

Entretanto há desvantagens em relação aos equipamentos de TDR, a principal é o custo de aquisição elevado o que inviabiliza muitas vezes o seu uso. Como alternativa, tem surgido o uso de sondas de construção artesanal, elaboradas com custos relativamente baixos, que quando devidamente calibradas funcionam semelhante as guias de onda industriais originais (GALLECZKA, 2021).

Diante disso, os sensores de solo de baixo custo podem ser desenvolvidos a partir de microcontroladores programáveis ou computadores de placa única. Estes dispositivos proporcionam diversas possibilidades no desdobramento de aparelhos sensoriais (SOUSA, 2019).

O objetivo geral deste trabalho foi o desenvolvimento de um sensor de umidade, através da construção de sondas artesanais, com uso de materiais alternativos para obtenção do teor de água no solo. Em específico, neste trabalho objetivou-se calibrar o sensor de umidade, avaliando o seu desempenho para ser utilizado em campo.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Princípio do Sensor de Umidade

Objetivando-se simplificar a determinação da umidade do solo, visto que métodos diretos como o da gravimetria traz consigo várias dificuldades, foi desenvolvido um sensor de umidade como alternativa aos métodos tradicionais, pois fornece leituras seguras, rápidas e em profundidade no perfil do solo a ser avaliado (SENA, 2020).

O sensor de umidade a ser desenvolvido utiliza o princípio da capacitância, baseado em respostas às propriedades elétricas do solo. O sensor baseia-se em um oscilador de frequência para gerar um campo de corrente alternada (AC) o qual serve como meio de detecção das propriedades dielétricas do solo naquele momento. A magnitude da constante dielétrica do solo foi medida indiretamente durante o processo e assim pode ser relacionada com o teor de água no solo. Os eletrodos do capacitor utilizam o solo como material dielétrico, através do oscilador o circuito é ajustado com uma frequência de operação em função da umidade do solo (RÊGO SEGUNDO, 2010).

Por fim, todo esse processo é baseado no fato de que a constante dielétrica do solo varia sensivelmente com seu conteúdo de água, de modo que quanto maior for a umidade maior será a capacitância do solo e menor será a tensão na saída do circuito (SOUSA, 2019).

### 2.2. Componentes para Construção do Sensor de Umidade

#### 2.2.1. Componentes do Sistema

#### Arduíno UNO

É uma plataforma de prototipagem eletrônica expansível que pode ser utilizada para o desenvolvimento de protótipos, dessa forma é possível adicionar qualquer sistema de automação para controle remoto. Sua criação se baseou no desenvolvimento de experiência de forma simples e barata, através de sua plataforma de código aberto. O Arduíno Uno pode ser observado na Figura 1.

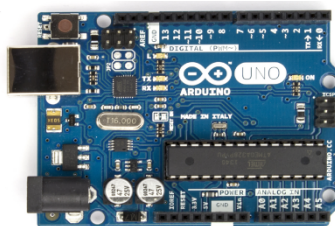


Figura 1: Arduíno UNO

Seu funcionamento é semelhante à placa de um computador, armazenando um software embarcado para controle das atividades a ser realizada por ela. Essa placa pode ser alimentada pela conexão USB ou por uma fonte de alimentação externa. As portas utilizadas foram:

- 5V: Saída de 5 V;
- GND: Power, fornece aterramento;
- PINOS DE A0 a A5: São 7 pinos de entradas analógicas. Neste caso foi utilizado apenas um pino (A0).

### **Resistores**

A principal função desse componente é limitar a passagem de corrente de um circuito. O resistor não possui polaridade, ou seja, não há uma maneira certa para ligar um resistor em um circuito, portanto é possível inverter o resistor pois a resistência elétrica continuará a mesma. Os resistores podem ser representados de diversas formas, a simbologia adotada para retratar o resistor pode ser vista na Figura 3.



Figura 3: Simbologia do Resistor

Para o desenvolvimento do sensor de umidade foi necessário a utilização de seis resistores com diferentes resistências. E para verificar o valor da resistência pode ser utilizado o multímetro ou a tabela de cores.

### **Capacitores**

Diferentemente dos resistores, que se opõem a passagem da corrente elétrica, os capacitores têm a função de armazenar a energia elétrica. Em relação a estrutura os capacitores são componentes eletroeletrônicos dotados de duas placas condutoras de metal paralelas, separadas por um material isolante, chamado de dielétrico. Os capacitores podem ser representados através de diferentes símbolos, a simbologia adotada pode ser vista na Figura 4.

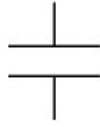


Figura 4: Simbologia do Capacitor

### Diodo 1N4146

O diodo é um componente eletrônico que possui a função de permitir a passagem da corrente elétrica em apenas um sentido, como ilustrado na Figura 5.



Figura 5: Componente eletrônico - diodo, e abaixo sua simbologia.

### CI NE555P

O circuito integrado NE555P (Figura 6 e 7) possui 8 terminais, sendo esses o GND: “Terra”, serve como negativo em todos os circuitos; VCC: Tensão de alimentação em corrente contínua; TRIG: “Trigger” ou gatilho permite que a base de tempo inicie sua varredura no mesmo ponto em cada repetição da forma de onda. Sua função é ligar a saída do sistema; OUT: “Output” emite a informação do sistema; RESET: Retorna às configurações iniciais, ou seja, é o desligamento forçado da saída; DISCH: É a “descarga” do capacitor; THRES: “Threshold” funciona como limite, desse modo sua função é desligar a saída do sistema; CONT: “Control Voltage” ou seja, age como o controlador da tensão.

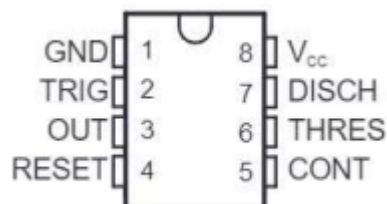


Figura 6: CI NE555P e seus respectivos pinos



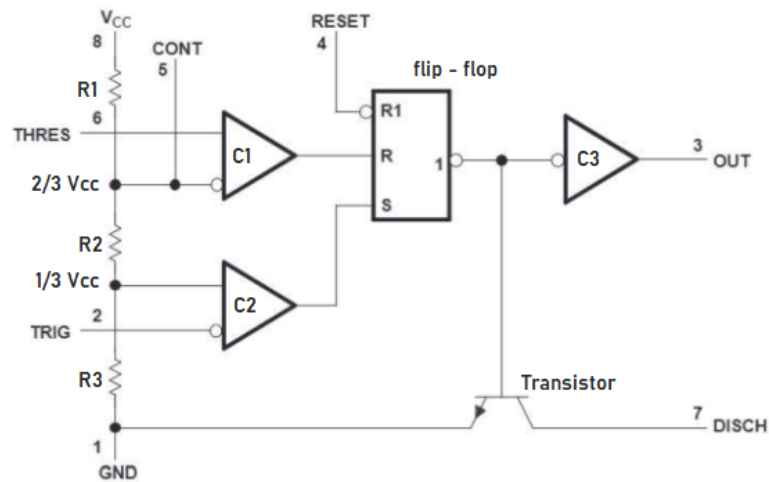


Figura 7: Diagrama de Funcionamento em Bloco

A princípio o funcionamento do 555 ocorre dessa forma: O comparador de tensão (C1) liga quando a tensão do THRES for maior que a do V<sub>CC</sub>. Já o comparador de tensão (C2) aciona quando a tensão do TRIG for menor que a do V<sub>CC</sub>. Quando o R (Reset) do flip-flop for ligado a OUT desliga, se o SET for acionado o OUT liga. O Reset sempre tem prioridade para reinicialização do sistema. Toda vez que a saída do 555 for acionada o transistor é polarizado e leva o pino 7 para o GND, dessa forma ocorre descarga no capacitor.

### 2.2.2. Componentes para Estrutura dos Eletrodos

Os materiais para a confecção e a fixação dos eletrodos podem ser observados na Figura 8 e estão descritos abaixo.

- Olhais;
- Parafuso para os eletrodos;
- Cabo para a conexão;
- Porcas e Arruelas;
- Conexão em T para fixação.

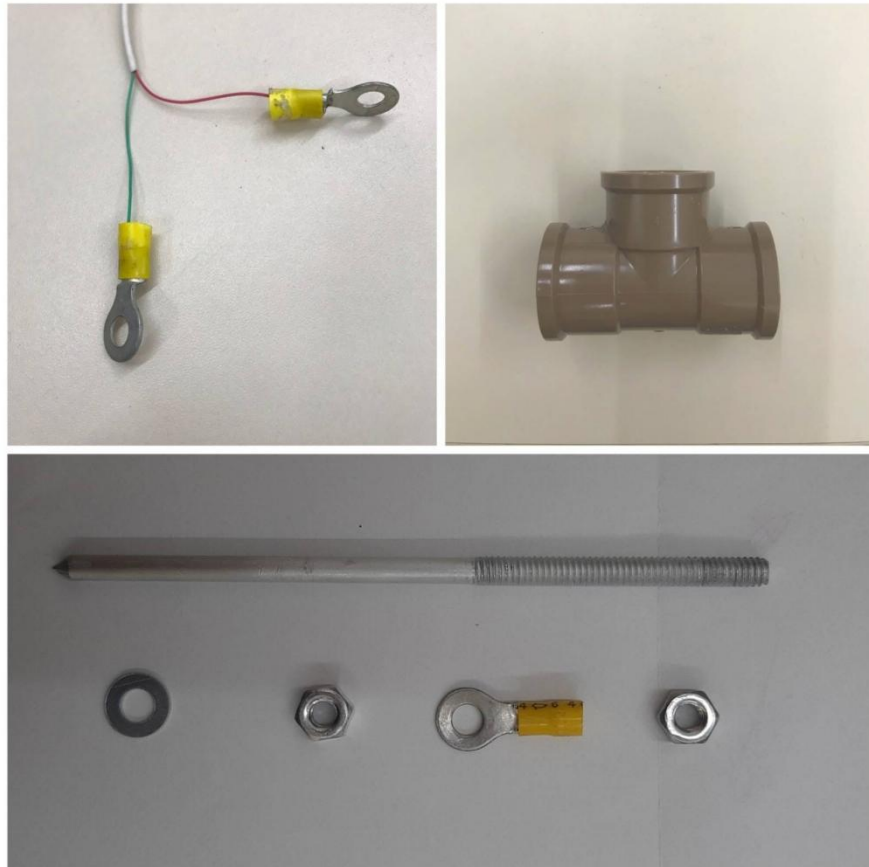


Figura 8: Materiais para fixação do eletrodo

### 2.3. Simulação e Adaptação do Circuito

O sinal elétrico de saída gerado pelo circuito utilizado foi do tipo analógico, sua configuração é baseada na ideia de que quanto maior o teor de água no solo maior é a capacitância do solo e menor é a tensão na saída do circuito. Esse sensor foi conectado a uma porta analógica do Arduino Uno.

Na Figura 9 abaixo é possível ver o diagrama do circuito eletrônico desenvolvido através do software NI Multisim, em sua versão de avaliação, para determinar a umidade a partir da capacitância do solo. Na montagem do diagrama do circuito para determinação da umidade do solo foram utilizados quatro capacitores de diferentes capacitâncias (10nF e 100uF) e resistores de 1k ohms e 100k ohms. As aplicações dos resistores e capacitores citados podem ser vistas no Diagrama do Circuito Eletrônico do Sensor (Figura 9) .

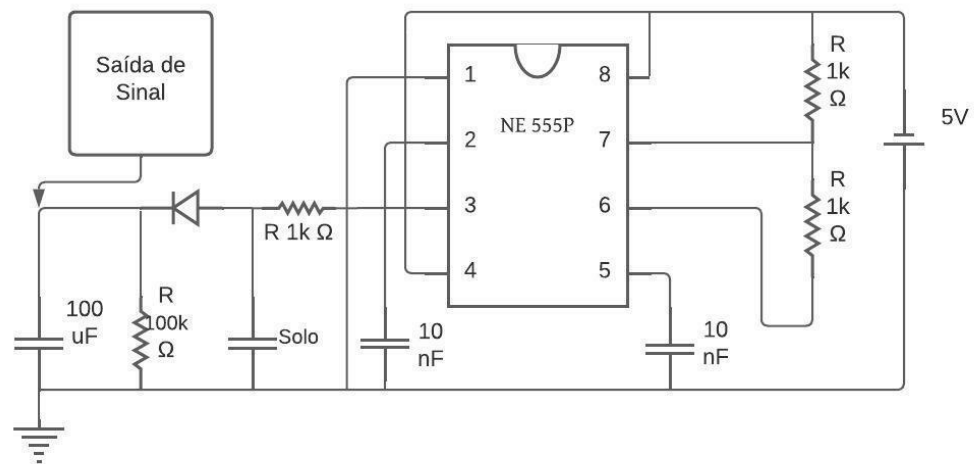


Figura 9: Diagrama do circuito utilizado para determinação do solo.

A verificação da adaptação do circuito foi realizada por meio do uso de um multímetro. Essa ferramenta permitiu a mensuração da tensão adequada para o melhor funcionamento do circuito em adequação ao conversor analógico digital do microcontrolador Arduino. Para garantir que o circuito e a montagem estavam em condições adequadas foi utilizado um módulo sensor de chuva (MH-RD) para Arduino. A verificação foi realizada através do multímetro, observa-se a tensão do circuito considerando a área de contato do sensor seca com maior tensão e a medida que o sensor recebe mais umidade a tensão de saída do sistema deve diminuir.

#### 2.4. Montagem do Circuito

O Circuito foi montado na protoboard utilizando os jumpers para assegurar e facilitar as conexões entre os componentes. A montagem do circuito seguiu o diagrama do circuito, como mostrado na Figura 10, respeitando as polaridades dos componentes, mantendo-os nas posições corretas. A possível falha do sistema pode ser ocasionado por falta de algum componentes ou conexão inadequada no processo de montagem.

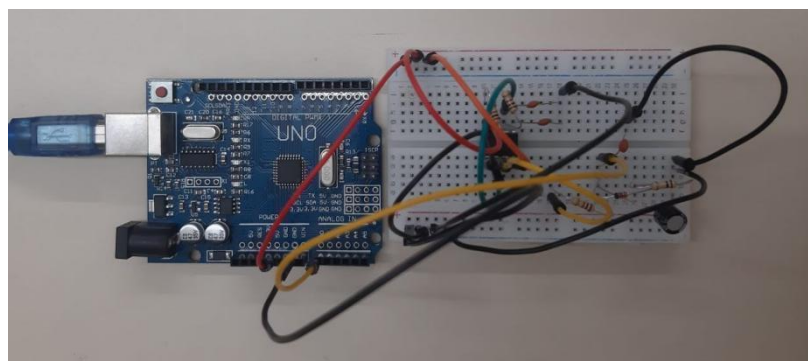


Figura 10: Montagem do Circuito

## 2.5. Montagem da estrutura dos eletrodos

A montagem da estrutura dos eletrodos do sensor de umidade, apresentado na Figura 11 seguiu os seguintes passos:

- Medir a distância dos furos para fixação dos eletrodos e marcar o local de furo, garantindo que fiquem o mais uniforme possível;
- Furar as marcações no bocal em T para os eletrodos;
- Fazer pontas nos parafusos para que o eletrodo penetre facilmente no solo ;
- Fixar eletrodo no bocal com as porcas e arruelas, garantindo as fixações e distâncias corretas ;
- Fixar cabo nos olhais com solda;
- Testar continuidade de cada terminal do cabo;
- Fixar olhais no parafuso já no bocal;
- Medir continuidade dos eletrodos fixos no bocal;
- Medir resistência de cada terminal do eletrodo e fazer média dos resultados;

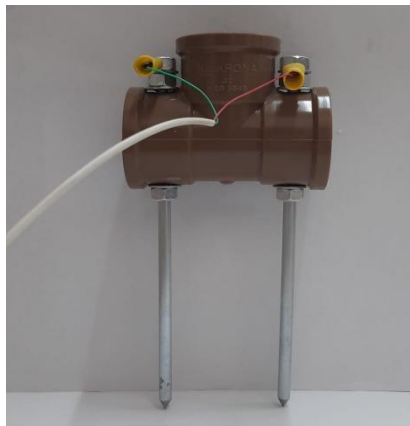


Figura 11: Estrutura dos Eletrodos do Sensor de Umidade.

## 2.6. Calibração do Sensor

O processo de calibração do sensor foi realizado com base na medição da umidade volumétrica. Assim, o sensor de umidade foi calibrado através das leituras em diferentes condições de volume. As leituras foram realizadas a cada 25 mL em um becker de 600 mL, em que os 600mL equivaliam ao 100% de volume entre os eletrodos ocupados por água. A água foi adicionada no becker utilizando uma proveta de 25 mL. A Figura 12 mostra o início do processo de calibração.

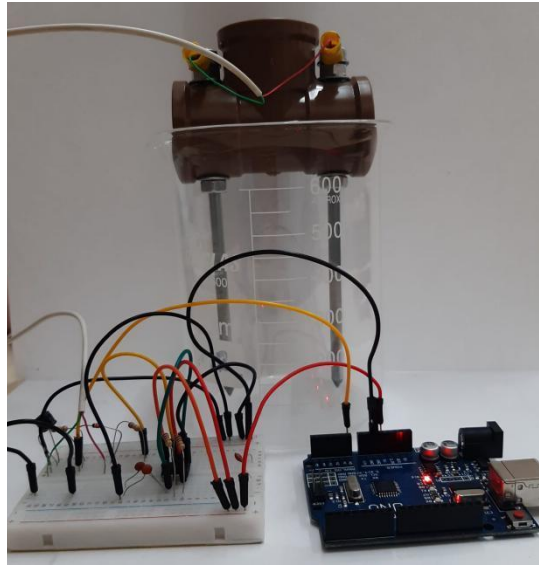


Figura 12: Calibração do sensor de umidade.

A Figura 13 apresenta a curva de calibração obtida utilizando o eletrodo de ferro e equação para conversão dos valores das leituras brutas em umidade volumétrica.

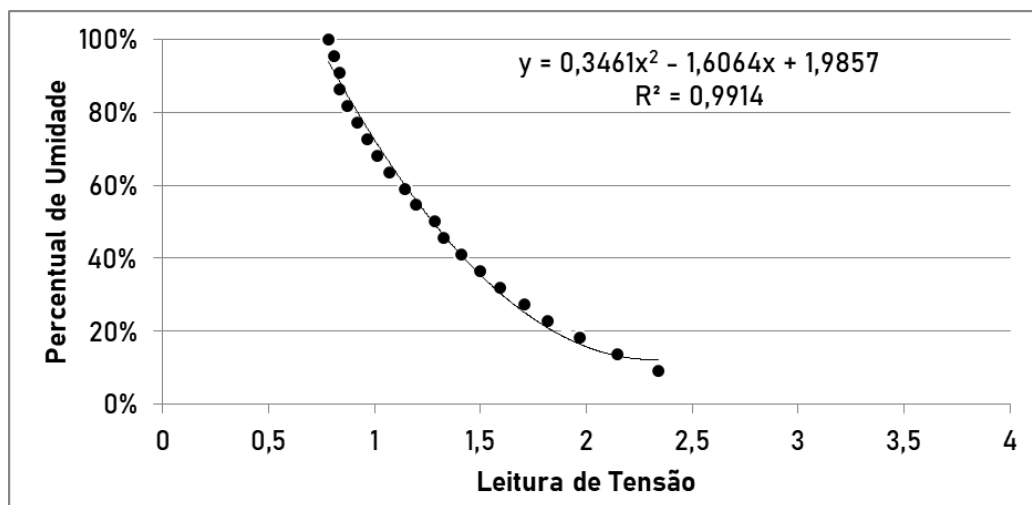


Figura 13: Curva de calibração do sensor de umidade de solo com eletrodo de ferro.

## 2.7. Análise dos Dados

Para a análise dos dados a Correlação de Pearson foi usada para determinar a associação entre as duas variáveis: a umidade volumétrica obtida a partir das leituras do sensor através do Arduino e a umidade gravimétrica determinada em laboratório utilizando o método padrão da EMBRAPA (2011). O coeficiente de Pearson foi obtido com o auxílio do programa de computador RStudio utilizando a linguagem R.

O objetivo do coeficiente de correlação de Pearson nesse caso foi indicar como a umidade gravimétrica e a umidade volumétrica estão associadas entre si. Desse modo a interpretação do coeficiente é negativa se a correlação for menor que zero, nesse caso as variáveis são inversamente relacionadas, caso a correlação seja maior que zero as variáveis são diretamente correlacionadas.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 14 apresenta o resultado da análise de correlação de Pearson. A correlação obtida foi de 0,81, que pode ser considerada alta, e significativa ao nível de 5%. Isso demonstra que o sensor foi capaz de detectar a variabilidade nas condições de umidade medidas.

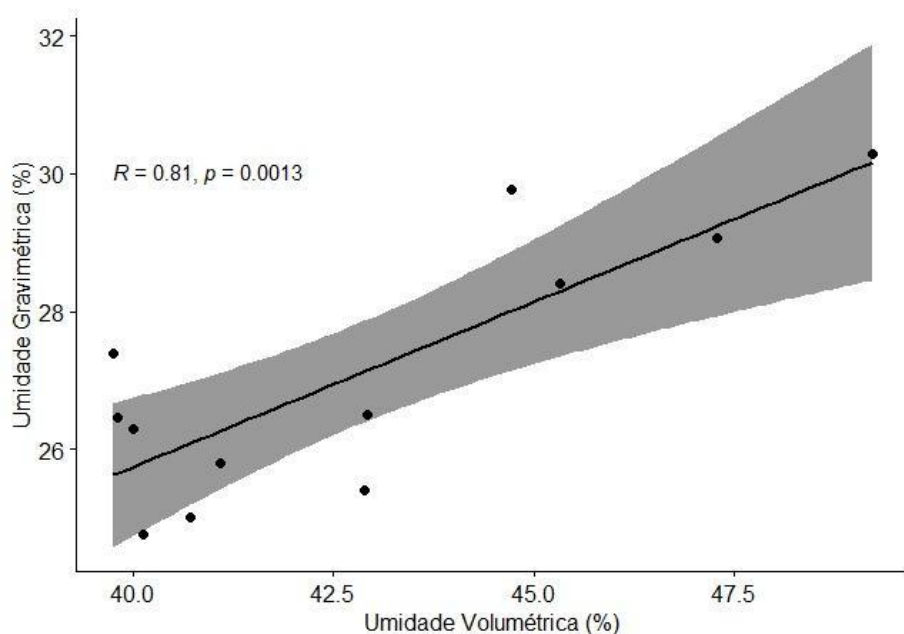


Figura 14: Análise de correlação de Pearson

É possível que a acurácia apresente variações de acordo com as características do solo a ser analisado. Entretanto, o resultado obtido na análise de correlação indica que o sensor desenvolvido pode ser útil em mapeamento de variabilidade espacial da umidade.

### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um sensor de umidade do solo foi desenvolvido a partir de um microcontrolador Arduino Uno, no qual possui a função de ser a unidade central de processamento dos dados obtidos a partir da leitura do sensor.

O sensor desenvolvido funcionou de maneira coerente nas condições em que foi testado e avaliado. A análise de dados através da Correlação de Pearson demonstrou que há associação direta, positiva e significativa entre as leituras de umidade gravimétrica e volumétrica, assegurando que o sensor é capaz de perceber a variação nas leituras de umidade do solo.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COELHO, Eugênio Ferreira.; DA SILVA, Alisson Jadavi Pereira.; VELLAME, Lucas de Melo. **Sondas de TDR artesanais de três hastes para estimativa da umidade do solo**. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura , 2016.

CRUZ, R.O.R.; OLIVEIRA, B.R.; COELHO, E. F.; QUEROZ, L. A.; FREITAS, F. T. O. Determinação do Número Médio de Leituras com TDR para Estimativa da Umidade do Solo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 13, n. 3, p. 3435-3443, 2019.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2011, 230 p.

GALLECZKA, Leticia Maiara. **Avaliação de sondas artesanais para medida da umidade volumétrica do solo com equipamento de TDR**. 2021. TCC ( Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Agronomia) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Santa Catarina, 2021.

RÊGO SEGUNDO, Alan Kardek. **Desenvolvimento de sensor de teor de água do solo e de sistema de controle e automação em malha fechada para uso em irrigação**. 2010. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2010.

SANTOS, Amanda Thirza Lima et al. **Calibração de sonda de capacitância para a medida do conteúdo de água do solo**. 2013. TCC (Graduação em Agronomia) – Área Experimental, Universidade Federal do Pampa, Rio Grande do Sul, 2013.

SANTOS NETO, Severino Martins dos. **Avaliação da dinâmica da água na resposta de sensor tipo TDR em solos de Pernambuco**. 2015. Dissertação (Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares PROTEN) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

SENA, C. C. R. S.; JUNIOR, J. A.; DOMINGOS, M. V. H.; JUNIOR, E. D. J. A.; BATTISTI, R.; EVANGELISTA, A. W. P.; CASAROLI, D.. Calibração do sensor capacitivo de umidade do solo EC-5 em resposta a granulometria do solo. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 4, p. 17228-17240, 2020.

SILVA, Bruno Montoani et al. Acurácia e calibração de sonda de capacitância em Latossolo Vermelho cultivado com cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 277-286, 2012.

SOUSA, Emanuel Di Tarso dos Santos. **Desenvolvimento de plataforma multi-sensor de solos para uso em agricultura de precisão**. 2019. Tese (Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2019.

**Texas Instruments**. NE555P Precision Timers: DataSheet. Texas Instruments, 2014.

Disponível em: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ne555.pdf?ts=1648602806486>. Acesso em: 7 de março de 2022.