

Controlador Fuzzy para Monitoramento Agrícola Contextualizado

Ester de O. Santos¹, Caio V. Santos¹, Ingrid C. Pereira¹, Letícia Santos¹,
Ana Régia Mendonça¹

¹Eixo Tecnológico: Informação e Comunicação
Instituto Federal de Brasília (IFB) – Brasília, DF – Brasil

ana.neves@ifb.edu.br

Abstract. *Generally, the importance of monitoring soil moisture to support plant growth and health is emphasized. However, other factors, such as environmental, reflect on crop productivity. Technological change has been a major factor shaping agriculture in the last few years. In this context, the goal of this research project is the development of a prototype for contextualized monitoring and irrigation control, that merges heterogeneous data from sensors and produces a response adapted to each situation, based on textitfuzzy logic. The results of the validation of prototype indicate that the solution is stable and consistent in the irrigation actions, besides is helpful in saving water and electricity.*

Resumo. *Geralmente, destaca-se a importância de monitorar a umidade do solo para obter um crescimento correto e saudável das plantas. Porém, outras variáveis, como as do ambiente, também devem ser consideradas por impactarem a produtividade da cultura. A evolução tecnológica imprime transformações na agricultura. Neste sentido, o objetivo deste trabalho é construir um protótipo para monitoramento e controle de irrigação sensível ao contexto, baseado na coleta de dados de fontes heterogêneas, Arduino Uno e Lógica fuzzy que define, em tempo real, o controle autônomo da irrigação. A validação do protótipo indicou a estabilidade do sistema com decisões consistentes baseadas no contexto coletado, e que pode evitar o desperdício de água e de energia elétrica.*

1. Introdução

O monitoramento agrícola define a observação contínua de uma área de plantio para identificar as mudanças ocorridas nesse ambiente [Hashim et al. 2015]. Essa ação permite ao produtor, de pequeno ou grande porte, um estudo diferenciado de sua propriedade, prevenindo doenças e evitando desperdícios.

Geralmente, destaca-se a importância de monitorar a umidade do solo para obter um crescimento correto e saudável das plantas. Isso ocorre porque a água é um fator limitante na produtividade das culturas, e sua falta ou excesso no solo pode trazer graves implicações para a produção [Primavesi 2017]. Porém, outras variáveis, como as do ambiente e do solo, também impactam diretamente o desenvolvimento da cultura [Tulio 2019].

Segundo [Embrapa 2018], a agricultura passa por transformações devido à evolução tecnológica. Essa mudança é derivada do uso das Geotecnologias e da Inter-

net das Coisas (IoT), associada à Inteligência Artificial e Visão Computacional, que impulsionam inovações e permitem, por exemplo, a aquisição de dados e a supervisão de operações do plantio em tempo real.

Neste contexto, este projeto tem como objetivo desenvolver um protótipo, como uma solução alternativa e de baixo custo, para o monitoramento agrícola e controle automático do processo de irrigação, baseado no conceito de IoT e Lógica *fuzzy*, aliado a um sistema inteligente de recomendação sensível ao contexto.

Para isso, o protótipo é composto de: (1) sensores de baixo custo para coletar, em tempo real, dados de umidade do solo, do ar e da temperatura ambiente; e um (2) sistema inteligente de recomendação sensível ao contexto para (2.1) receber os dados coletados pelos sensores, *in loco*, e os (2.2) dados disponíveis em bancos de dados meteorológicos *online* para, (2.3) a partir de um controlador *fuzzy*, executar ações conforme o contexto analisado.

O projeto foi desenvolvido por alunos do terceiro ano do Ensino Médio Integrado ao Técnico de Informática do Instituto Federal de Brasília, *campus* Brasília.

2. Referencial Teórico

De acordo com [Braga 2017] e [Tulio 2019], o melhoramento da produção agrícola não está relacionado apenas ao processo de irrigação, mas também aos tratos culturais, como manejo equilibrado de adubação e controle de pragas.

Em culturas irrigadas, é importante estabelecer a frequência de irrigação e o volume de água necessário. Por isso, deve-se conhecer o tipo de solo, a fisiologia da cultura e quais são os períodos críticos de consumo de água [Braga and Calgaro 2010]. Ademais, é preciso considerar as variáveis ambientais que influenciam diretamente o processo de irrigação, como temperatura, umidade do ar e evapotranspiração, .

A agricultura está aderindo à IoT [García et al. 2020], área que descreve um ecossistema, no qual diferentes *coisas*, como objetos e ambiente, apresentam identidade única e estão conectados à Internet. Essas *coisas* podem coletar, trocar e armazenar dados, bem como tomar decisões.

Neste sentido, estão sendo propostas soluções baseadas em sensores e sistemas inteligentes, de pequena ou grande escala, objetivando melhorias na qualidade dos produtos agrícolas, a otimização de recursos e a preservação do meio ambiente.

[Ramachandran et al. 2018] construíram um sistema de irrigação automatizado que utiliza sensores de baixo custo para coletar dados de: (i) umidade do solo; (ii) pH; (iii) tipo de solo; e (iv) condições climáticas. Estes dados são transmitidos, via Wi-Fi e redes celulares GSM (Sistema Global de Comunicação Móvel), para a nuvem. Depois, aplica-se um modelo de otimização para calcular a taxa ideal de irrigação. A abordagem proposta foi testada em uma instalação agrícola e os resultados demonstraram a redução na utilização da água e melhor visualização dos dados.

Em [Krishnan et al. 2020], foi proposto um sistema inteligente que permite a irrigação usando a rede de celular GSM. O sistema fornece mensagens sobre: (i) o nível de umidade do solo; (ii) a temperatura do ambiente; e (iii) *status* do motor em relação à fonte de alimentação principal ou energia solar. O controlador é baseado em Lógica *fuzzy*

que, a partir das medições de umidade do solo e temperatura, aciona ou desliga o motor. Os resultados indicaram a redução do consumo de água e energia elétrica.

Para o monitoramento das condições climáticas por região, existem as estações meteorológicas, as quais podem ser convencionais, automáticas, comerciais ou públicas [de Almeida Neto et al. 2018]. Geralmente, as estações comerciais costumam ter um alto custo. Uma alternativa é utilizar os dados públicos do Instituto Nacional de Meteorologia¹ (INMET), que são coletados de estações públicas espalhadas pelo Brasil e disponibilizados *online* (Figura 1).

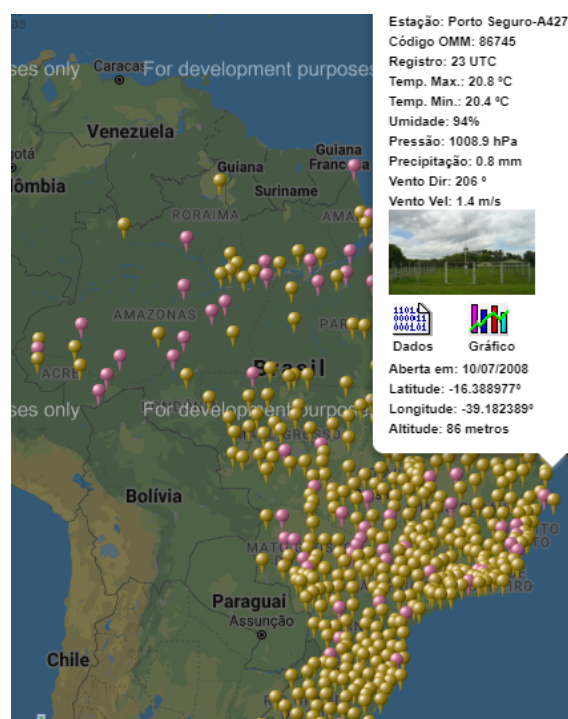


Figura 1. Dados meteorológicos da estação automática de Porto Seguro.
Fonte: INMET.

É importante ressaltar a dificuldade na leitura de dados brutos que não passam por nenhum tipo de tratamento. Além disso, dados que são apresentados separadamente podem não ser expressivos para auxiliar o processo de tomada de decisão do produtor, sendo a composição do contexto mais significativa.

3. Material e Métodos

A pesquisa aplicada, construção e os testes do protótipo ocorreram no Instituto Federal de Brasília, *campus* Brasília, no período de fevereiro a junho de 2019.

O projeto foi financiado pelo Edital 39/2018: Fábrica de Ideias Inovadoras (FA-BIN), que tem como objetivo estimular servidores e estudantes do Instituto Federal de Brasília (IFB) a apresentarem ideias potencialmente inovadoras, estabelecendo contato com a cultura e os procedimentos relacionados à inovação tecnológica.

¹<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>

A Figura 2 apresenta a visão geral do projeto, no qual é possível identificar os principais componentes que são:

1. diversos sensores;
2. microcontrolador que coleta, digitaliza e transfere os dados dos sensores;
3. recuperação dos dados *online* do INMET;
4. sistema que contém o mecanismo de inferência e recebe os dados (*online* e sensores) para inferência de contexto; e
5. ação executada pelo sistema.

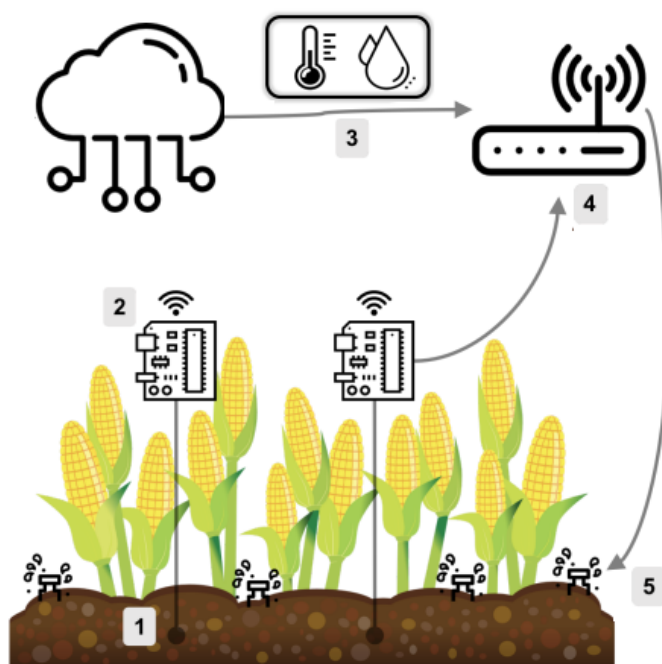


Figura 2. Visão geral do sistema de controle para irrigação sensível ao contexto.

Fonte: Elaborada pelos autores.

As configurações iniciais do circuito foram testadas na ferramenta *online* e gratuita *Tinkercad*² que permite a simulação de circuitos elétricos analógicos e digitais. O uso desse tipo de aplicação, além de enriquecer o processo de ensino-aprendizagem, também evita a queima de componentes reais durante a fase inicial de construção. A Figura 3 ilustra a simulação de um projeto de sensor de temperatura por meio da *protoboard* conectada ao Arduino e ao *display* LCD.

As próximas subseções descrevem os componentes utilizados no protótipo e a função que cada um exerce.

Aquisição de Contexto

A aquisição de contexto está relacionada à coleta de dados/informações contextuais de fontes heterogêneas e que serão enviadas ao sistema de controle.

Neste projeto, as fontes de coleta de dados, ilustrados no item 1 e 3, Figura 2, são: (1) sensores físicos que captam (1.1) a temperatura do ambiente; (1.2) a umidade do solo

²<https://www.tinkercad.com/>

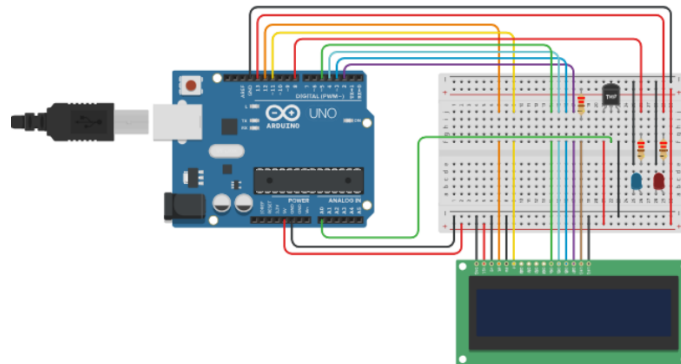


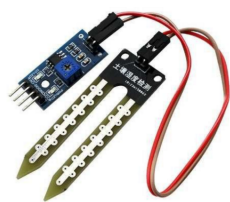
Figura 3. Projeto de um sensor de temperatura.

Fonte: Desenvolvido por Wallacesan, *site* do *Tinkercad*.

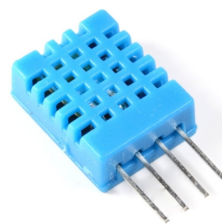
e (1.3) a umidade do ar; bem como (3) a previsão de chuva na região, disponível no *site* do INMET³.

O módulo sensor de umidade de solo (Figura 4(a)) detecta as variações de umidade no local que está fixado. Isso é possível porque a resistência elétrica varia de acordo com a umidade do solo. Assim, quanto mais úmido estiver, menor a resistência do sensor; enquanto que mais seco, maior será a resistência do sensor. Esse módulo possui duas saídas: uma analógica e outra digital. Recomenda-se a utilização da saída analógica para maior precisão.

O sensor de umidade e temperatura DHT11 (Figura 4(b)) permite fazer leituras da temperatura ambiente e umidade do ar. O sensor de temperatura é um termistor, que são semicondutores sensíveis à temperatura, do tipo NTC; já o sensor de umidade é do tipo HR202. O circuito interno faz a leitura dos sensores e se comunica a um microcontrolador (Arduino Uno) por meio de um sinal serial de uma via.



(a) Sensor de umidade do solo.



(b) Sensor de umidade e temperatura ambiente.

Figura 4. Sensores de umidade e temperatura utilizados no protótipo.

Fonte: Loja virtual filipeflop.

No protótipo, os sensores são alimentados por meio de uma placa *protoboard* ligada ao Arduino Uno, para onde os dados coletados são enviados (item 2, Figura 2).

³<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>

Sistema de controle

Como descrito, em um ambiente IoT, entidades heterogêneas trocam dados/informações constantemente. Por isso, é necessário a formalização das entidades que compõem o sistema e a definição do relacionamento entre elas em um modelo de representação do contexto.

Neste projeto, o modelo contextual é baseado na Lógica *fuzzy* [Simões and Shaw 2007] que define os conjuntos existentes no mundo real sem limites precisos. Por isso, diferente da Lógica tradicional, um conjunto *fuzzy* contém elementos que apresentam graus de pertinência que variam no intervalo fechado de $[0,1]$.

Os valores que as variáveis podem assumir são linguísticos, isto é, palavras da linguagem natural, como quente e muito seco; e são representados por conjuntos *fuzzy*. Desse modo, a Lógica *fuzzy* pode ser aplicada para tratar a incerteza inerente à linguagem natural. A Tabela 1 descreve as variáveis utilizadas correspondentes aos dados dos sensores e do INMET.

Tabela 1. Formalização do modelo contextual.

Variáveis	Valores linguísticos	Universo de discurso
Umidade do solo	muito seco, seco, úmido normal, úmido excessivo	0% a 100%
Umidade do ar	muito seco, seco, úmido	20% a 100%
Temperatura ambiente	baixa, normal, alta	0 a 50 C°
Previsão de chuva	nenhuma, pequena, chuvas espalhadas, chuvoso	0% a 100%

Após a definição dos valores linguísticos, é necessário a especificação das regras de acordo com o método de inferência escolhido. Essas regras representam a combinação de diferentes cenários e a ação a ser executada em cada um deles, isto é, a manipulação do contexto adquirido.

Assim, o mecanismo de inferência (item 4, Figura 2) atua sobre os dados coletados de entrada, juntamente com as regras, para inferir as ações do controlador fuzzy.

O modelo utilizado foi o Mamdani, no qual as regras fuzzy são descritas do seguinte modo:

SE <variável linguística é valor linguístico> ENTÃO <variável linguística é valor linguístico>

Assim, um exemplo de regra definida para o sistema é:

SE Umidade do solo é úmido normal E Umidade do ar é úmido E Temperatura é normal E Previsão de chuva é chuvoso ENTÃO Irrigação é nula

É importante ressaltar que a especificação das regras varia de acordo com a cultura ou planta que está sendo analisada, já que as necessidades da quantidade de irrigação são diferentes.

No processo de defuzzificação do valor linguístico para uma saída CRISP, foi aplicado o método centróide, também chamado de centro da gravidade.

A liberação da água para irrigação é controlada por uma válvula solenóide 12VDC (Figura 5) que é acionada por um módulo relé e permite a vazão da água para os aspersores (item 5, Figura 2). A utilização do relé é necessária porque o Arduino opera em 5V e não possui potência suficiente para fornecer à válvula. Quando o sinal elétrico é interrompido, a válvula fecha, cortando o fluxo de água.

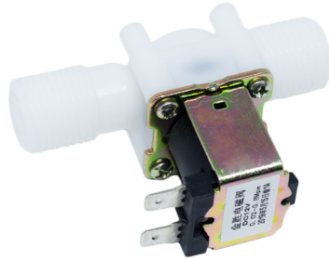


Figura 5. Válvula de vazão solenóide.

Fonte: Loja virtual filipeflop.

O processo de leitura dos dados é realizado a cada 10 segundos, sempre analisando o contexto atual para tomar uma decisão em tempo real.

O sistema do protótipo foi programado na linguagem C e gravado no Arduino Uno. Na Figura 6, é possível observar uma parte do código utilizada para calibrar a leitura do módulo de sensor de umidade, assumindo os seguintes valores linguísticos: (i) seco; (ii) meio seco; e (iii) úmido.

```
AnalogOutput = analogRead(pinAnalog);
float voltage = AnalogOutput * (5.0 / 1023.0);
lcd.setCursor(1,0);
lcd.print("Analog");
lcd.setCursor(8,0);|
lcd.print(voltage);
if (voltage>5){
    lcd.setCursor(7,1);
    lcd.println("Seco");
}else{
    if (voltage>2.5){
        lcd.setCursor(7,1);
        lcd.print("Meio Seco");
    }else{
        lcd.setCursor(7,1);
        lcd.print("Úmido");
    }
}
}
```

Figura 6. Código para testar o sensor de umidade do solo.

Fonte: Autores.

Todos os elementos de *hardware* do protótipo foram acoplados em uma caixa de acrílico para torná-lo portátil, exceto a válvula solenóide.

Em resumo: (i) dados são coletados, em tempo real, pelos sensores e do *site* do INMET; (ii) estes dados são enviados para o controlador *fuzzy*; (iii) baseado no contexto

observado, é definida a ação disparada; por último, (iv) a válvula solenóide, responsável pelo processo de irrigação, é ativada ou desativada por um relé ligado ao Arduino Uno.

Entrega da Informação

A última fase do fluxo de processamento de sistemas baseado em contexto é a entrega da informação, na qual três situações podem ocorrer:

- a entrega imediata ao usuário;
- a adaptação do conteúdo; e
- armazenamento das informações percebidas ou derivadas.

No protótipo, os valores coletados dos sensores (temperatura, umidade do ar e do solo) são apresentados ao usuário em um *display* LCD.

Testes

O protótipo foi testado em diferentes simulações de cenários, por exemplo:

- solo úmido normal, ambiente seco e temperatura baixa, previsão de chuva pequena;
- solo seco, ambiente úmido, temperatura alta, previsão de chuva chuvoso

Além dos testes com plantas residenciais, o protótipo passou por uma fase de validação para verificar os seguintes pontos:

- a calibração dos sensores;
- se as ações inferidas estavam de acordo com o contexto coletado;
- se as leituras estavam sendo feitas no período determinado; e
- o manejo da irrigação, ativando e desligando a válvula solenóide, quando a umidade de irrigação fosse atingida

4. Resultados e Discussão

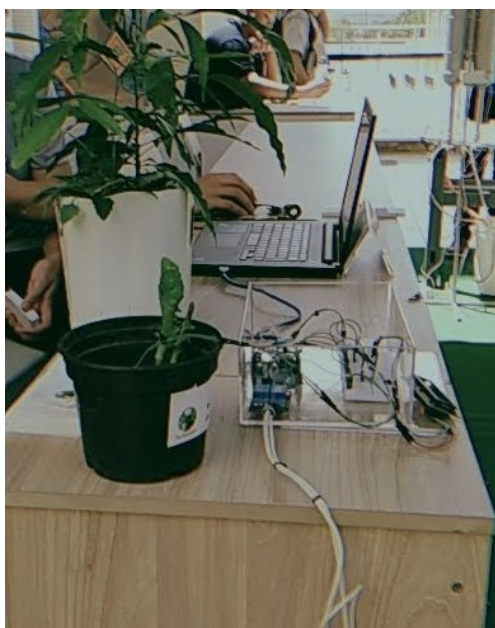
O protótipo funcional, observado na Figura 7, foi apresentado no Encontro de Educação Profissional, Científica e Tecnológica⁴ (ConectaIF 2019), realizado no Instituto Federal de Brasília, *campus* Brasília, de 26 a 30 de agosto de 2019 .

A validação indicou a estabilidade do sistema com decisões baseadas no contexto atual coletado, evitando o desperdício de água e de energia elétrica.

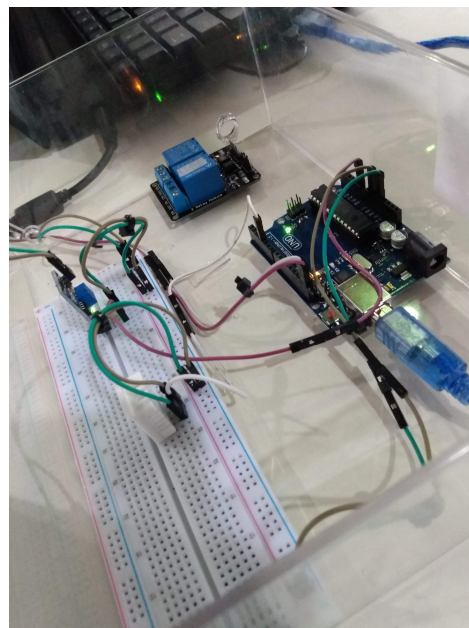
Além disto, foi identificado que as características do solo interferem na leitura temporal do sensor de umidade. Por isso, o intervalo de leitura dos sensores deve ser configurado para permitir capturas consistentes em solos com taxa de infiltração menor.

O protótipo despertou interesse de empresários e pesquisadores do ramo agrícola, mas principalmente de pessoas que cultivam pequenas hortas em casa. Isso demonstra que o protótipo pode ser configurado para atender diferentes públicos.

⁴<https://conectaif.ifb.edu.br/>



(a) Bancada de apresentação no ConectaIF.



(b) Parte do protótipo apresentado no evento.

Figura 7. Apresentação do protótipo funcional do ConectaIF.

Fonte: Autores.

5. Considerações Finais e Trabalhos Futuros

Entende-se que a IoT se beneficia de um sistema inteligente sensível ao contexto para enriquecer a interação usuário-ambiente. Quando aplicada em sistemas de irrigação automatizados, destacam-se benefícios, como: (i) a coleta de dados em diferentes fontes; (ii) a automação de serviços; e (iii) entrega de informações relevantes em tempo real.

O projeto posposto foi idealizado para permitir que pequenos produtores possam aplicar os conceitos de IoT com sensores e microcontroladores de baixo custo no monitoramento agrícola. Além disso, para evitar o desperdício de água e energia elétrica, controlando a frequência e duração do processo de irrigação. Também, foi arquitetado para ser escalável em outros ambientes e adaptável para diferentes tipos de cultivos/plantas.

As principais características percebidas do protótipo desenvolvido foram:

- facilidade na montagem, programação e utilização;
- baixo custo de produção;
- tendência de comercialização, principalmente para pequenas propriedades e jardins residenciais.

O diferencial do protótipo construído é a análise de contexto, em tempo real, baseada em diferentes fontes de dados que afetam diretamente a produção. Com isso e aplicação da Lógica *fuzzy*, o processo de tomada de decisão pela máquina se aproxima da humana.

Como trabalhos futuros, define-se: (i) a implementação do armazenamento em nuvem para criação de um histórico de contexto, o qual servirá para analisar padrões

comportamentais e estabelecer tendências; (ii) uma interface que permita ao usuário consultar as informações coletadas pelo celular; (iii) acrescentar outras variáveis de estudo; e (iv) testar o protótipo em uma plantação real.

Referências

- Braga, M. B. (2017). Embrapa hortaliças. *Embrapa*, 6(21):12–13.
- Braga, M. B. and Calgaro, M. (2010). Sistema de produção de melancia. *Embrapa Semiárido*, 6.
- Carrion, P. and Quaresma, M. (2019). Internet da coisas (iot): Definições e aplicabilidade aos usuários finais. *HFDi*, 8:49–66.
- de Almeida Neto, E. L., Coriolano, D. L., dos Santos, L. C., de Almeida, V. V., Lisboa, H. S., Santos, R. R., de Resende, I. T. F., Figueiredo, R. T., and de Alsina, O. L. S. (2018). Estação meteorológica wifi de baixo custo baseado em thingspeak. In *VII Congresso Brasileiro de Energia Solar*, pages 1–6.
- Embrapa (2018). Visão 2030 : o futuro da agricultura brasileira. *Embrapa*, pages 1–212.
- García, L., Parra, L., Jimenez, J. M., Lloret, J., and Lorenz, P. (2020). Iot-based smart irrigation systems: An overview on the recent trends on sensors and iot systems for irrigation in precision agriculture. *Sensors*, 20(4):1–48.
- Hashim, Z., Mazlan, S., Abd Aziz, M. Z., SALLEH, A., Ja'afar, A., and Mohamad, N. (2015). Agriculture monitoring system: A study. *Jurnal Teknologi*, 77:53–59.
- Krishnan, R. S., Julie, E. G., Robinson, Y. H., Raja, S., Kumar, R., Thong, P. H., and Son, L. H. (2020). Fuzzy logic based smart irrigation system using internet of things. *Journal of Cleaner Production*, 252:119902.
- Primavesi, A. M. (2017). *Manejo ecológico do solo : A agricultura em regiões tropicais*. Editora Nobel, 1 edition.
- Ramachandran, V., Ramar, R., and Srinivasan, S. (2018). An automated irrigation system for smart agriculture using the internet of things. In *Conference: 2018 15th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (ICARCV)*, pages 210–215.
- Simões, M. G. and Shaw, I. S. (2007). *Controle e Modelagem Fuzzy*. Editora Blucher, 2 edition.
- Tulio, L., editor (2019). *Características dos solos e sua interação com as plantas*. Editora Atenas.