

Sistema de Internet das Coisas para Captação de Dados do Microclima Vegetal na Agricultura

Davila F. Mendes^{1,2}, Claudio Jose R. de Carvalho²,
Otto Alan P. De Sousa^{1,3}, Marlon Vagner V. Martins², Atslands R. da Rocha¹

¹Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Teleinformática (PPGETI),
Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza - CE, Brasil

²Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza - CE, Brasil

³Instituto Atlântico, Fortaleza - CE, Brasil

{davila.mendes, claudio.carvalho, marlon.valentim}@embrapa.br

otto.pinto@atlantico.com.br, atslands@ufc.br

Abstract. *The forecast for the planet points to more climate change, increasing the challenge of fighting diseases and pests in agriculture. There is, therefore, a need for greater precision in capturing the climatic elements that directly impact the development of the plant and the intensity of the disease or pest. In this context, we present an Internet of Things (IoT) system for capturing climate data whose differential are sensors placed explicitly in the plant's microclimate. The microclimate is a relatively small area whose atmospheric conditions differ from the outer zone (e.g., under the canopy of a plant). In this way, studying the dynamics of the climatic elements involved in plant development is possible. One of the applications will be to provide subsidies to predict the disease or pest in the future to carry out preventive management with less use of pesticides.*

Resumo. *A previsão para o planeta aponta para mais mudanças climáticas, aumentando o desafio de combater doenças e pragas na agricultura. Há, portanto, a necessidade de maior precisão na captação dos elementos climáticos que impactam diretamente no desenvolvimento da planta e na intensidade da doença ou praga. Neste contexto, apresentamos um sistema de Internet das Coisas (IoT) para captura de dados climáticos cujo diferencial são sensores especificamente colocados no microclima da planta. O microclima é uma área relativamente pequena cujas condições atmosféricas diferem da zona exterior (ex: embaixo da copa de uma planta). Dessa forma, o estudo da dinâmica dos elementos climáticos envolvidos no desenvolvimento vegetal é viabilizado. Uma das aplicações será fornecer subsídios para prever a doença ou praga no futuro de modo a realizar um manejo preventivo e com menor uso de agrotóxicos.*

1. Introdução

Tendências globais e previsões para o planeta indicam que nos próximos 50 anos os principais desafios da humanidade serão energia, água, alimentos, ambiente e pobreza. A agricultura mundial encontra-se sob forte pressão para garantir a segurança alimentar. O cenário global previsto é crítico: a população mundial atingindo nove bilhões de habitantes em 2050; crescente escassez dos recursos terra e água; mudanças climáticas e eventos

extremos; e urbanização em crescimento constante e decrescente produtividade agrícola em alguns países [Massruha and Leite 2014].

A escassez de recursos torna obrigatório abordar a questão da agricultura de precisão e novos modelos devem ser desenvolvidos para otimizar a utilização de recursos [Kour and Arora 2020]. Nesse contexto, a Internet das Coisas (IoT) é uma tecnologia que potencializa a tomada de decisão em relação à utilização eficiente de recursos, ao permitir a conexão entre objetos e seres humanos, juntamente com os aspectos ambientais. A IoT é uma tecnologia largamente usada para realizar o monitoramento, processamento e armazenamento de grandes volumes de dados coletados por meios de sensores a fim de automatizar processos e prover serviços. Assim, buscando a visão de onipresença, ou seja, a qualquer hora, qualquer coisa, em qualquer lugar, a IoT deve ser considerada um núcleo para o desenvolvimento de novos conceitos arquitetônicos.

De acordo com [Souza et al. 2020], a disponibilização de equipamentos e sensores conectados aos ambientes produtivos têm possibilitado aos usuários a medição e o monitoramento de variáveis relevantes, como a temperatura, nível de umidade e nutrientes do solo, ocorrência de ervas daninhas, pragas e doenças, destacando o valor do presente estudo que, instrumentalizado nas possibilidades disponíveis na IoT, busca estreitar os laços entre resultados de pesquisa aplicados aos ambientes de produção.

Existem grandes desafios referentes a doenças e pragas em cultivos, entre elas estão o Oídio (*Oidium anacardii*) [Shomaria and Kennedy 1999], as Brocas das Pontas (*Anthistarcha binoculares*) [Mesquita et al. 2016] e a Traça-Das-Castanhas (*Anacampsis phytomiella*) [Mesquita et al. 2016], que tem sido uma constante ameaça por causar significativas quedas de produção e perdas econômicas em milhões de reais [Vidal Neto et al. 2018].

A identificação dos primeiros sintomas de doenças é um dos principais marcos para a indústria de proteção de lavouras, mas também para dois desafios sociais e ambientais: aumentar a produção ou minimizar as perdas. Segundo [Agrios, G.N 2006], a medição de doenças de plantas pode ser dividida em três partes: medição da incidência, severidade e perda de rendimento. A incidência é descrita como a proporção da planta que está doente. A severidade é especificada como a proporção da área infectada. E a perda de rendimento é a parte da colheita que é destruída ou que afeta a qualidade do produto. Embora a severidade e a perda de rendimento sejam prioritárias para o agricultor, a incidência de uma doença é mais difícil de medir. Além disso, em alguns casos, só é possível medir tardiamente devido à incidência incipiente que não é detectada pelos agricultores. É necessário levar em consideração que a detecção dos primeiros sintomas é um limite usual considerado para o manejo integrado de pragas e estratégias de doenças. Conseqüentemente, a pesquisa precisa se concentrar em atividades que possam identificar doenças em um estágio inicial, para que as atividades direcionadas possam ser desencadeadas, os sintomas possam ser tratados e até mesmo epidemias possam ser prevenidas [Johannes et al. 2017].

Em alguns trabalhos como [Martins et al. 2020] [Caffarra et al. 2012], é possível observar que os elementos climáticos são preponderantes sobre a intensidade da doença, evidenciando que uma ampla faixa de umidade tem influência sobre o fungo e que temperaturas extremas são desfavoráveis ao patógeno. Entretanto, é importante ressaltar que

os elementos climáticos observados precisam de uma análise em campo em conjunto com outros elementos climáticos tais como vento, incidência solar, tempo de orvalho, dentre outros.

Vários artigos concentram-se em medições de elementos climáticos na plantação usando IoT ou usando estações meteorológicas. Porém, o que este trabalho propõe é além da medição de elementos climáticos na plantação, a medição desses elementos ser feita também no microclima vegetal (folhas e dorso da planta estudada) em árvores com copa densa. Desde que o microclima possui condições atmosféricas que diferem da zona exterior, é importante analisar esses dados em conjunto a fim de suportar modelos mais acurados.

Como exemplo, podemos citar o cajueiro, que é uma cultura com formação de copa densa. O oídio do cajueiro pode ser observado em todo o dossel da planta, desde a extremidade onde ocorre a grande maioria da frutificação (surgimento das panículas - onde são emitidas as flores e produção de frutos) e dentro do dossel da planta. No entanto, algumas características do interior da planta como temperatura, umidade relativa e sombra por exemplo, favorecem a produção, manutenção e a dispersão de uma grande quantidade de inóculo (conídios do fungo) para novos ciclos de infecção, bem como para a sobrevivência do fungo na entressafra do caju [Shomaria and Kennedy 1999]. Portanto, monitorar o microclima da planta possibilita a identificação da doença em estágio inicial. Para isto, propomos um sistema IoT que coleta os dados do microclima através de sensores de temperatura e umidade (psicrômetro aspirado).

2. Trabalhos Relacionados

Vários artigos com abordagens tradicionais para a captação ou manutenção dos elementos climáticos têm sido desenvolvidos. Em [Chen et al. 2020] é apresentado um sistema IoT, que usando dados de sensores locais (umidade e temperatura) e uma estação meteorológica, realiza a predição da doença do arroz (*Brusone*). A doença é detectada em tempo real com uma acurácia de 89.4% de acerto. Na cultura do arroz não há a formação de árvores com copas de plantas. Portanto, ao colocar sensores no meio da plantação se tem um microclima uniforme, o que facilita a análise. No entanto, não pode ser aplicado em outras culturas que possuem a formação de copas.

Outra abordagem é apresentada em [Kim et al. 2018], em que o uso de casas de vegetação que possuem todos os elementos climáticos são controlados por um sistema que oferece as melhores condições para o desenvolvimento da plantação. Esta abordagem se torna inviável financeiramente devido ao tamanho das plantações, com custo muito alto aos produtores locais.

Outra forma de mapeamento e combate a doenças na agricultura é mostrada em [Kitpo and Inoue 2018], no qual através do uso de drones é feito o mapeamento de onde a doença ocorre no arroz (usando o espectro de cores), realizando após a identificação via sensores IoT, a poda da planta infectada. Para plantas com copas também não podemos usar esta abordagem, por ser mapeado apenas por cima da plantação, durante o voo do drone. A doença pode ocorrer internamente e não ser vista.

Dentre os trabalhos apresentados o que mais se assemelha a abordagem proposta neste trabalho é o [Chen et al. 2020], pois utiliza uma abordagem de coleta de dados

climáticos para monitoramento de doenças. Entretanto, nosso trabalho tem o diferencial de os sensores serem colocados no microclima da planta, cujas condições atmosféricas diferem da zona exterior, geralmente coletadas por uma estação meteorológica mais distante da plantação. Podemos além de captar os diferentes microclimas existentes na plantação, focar em cada um deles e estudar sua dinâmica em torno da planta. Desse modo, possibilitamos a análise na planta estudada das diferenças dos elementos climáticos em cada parte.

3. Proposta de Sistema IoT para Captação de Dados do Microclima Vegetal para Estudo de Pragas e Doenças na Agricultura

O objetivo do nosso trabalho é coletar dados do microclima vegetal para possibilitar o estudo de pragas e doenças, principalmente em culturas que possuam a formação de copas. Para exemplificar, a Figura 1 mostra um cajueiro anão precoce. Nota-se principalmente a arquitetura da planta com uma copa densa, reforçando a importância das condições microclimáticas no interior da copa para o surgimento e tratamento das doenças fúngicas principalmente.



Figura 1. Cajueiro Anão Precoce

A temperatura, umidade relativa do ar (UR) e presença de filmes de água na superfície das folhas, comumente conhecido como orvalho, são elementos climáticos condicionantes para o surgimento de doenças de plantas, especialmente àquelas ocasionadas por fungos e bactérias. No exemplo do cajueiro, o clima influencia o surgimento e desenvolvimento do oídio *P. anacardii*. No ciclo de infecção de *P. anacardii*, por exemplo, variações de UR e temperatura interferem na germinação dos conídios do fungo, colonização do hospedeiro e disseminação do patógeno em condições controladas e no campo. Além desses fatores (UR e temperatura), deve-se considerar os fatores ligados ao hospedeiro (cajueiro) e ao potencial de inóculo (presença do fungo) para que ocorram as epidemias [Vidal Neto et al. 2018].

Para doenças foliares, a temperatura de ponto de orvalho da folha pode ser um indicador do risco potencial de epidemias. Quando a temperatura do ponto de orvalho da folha está próxima ou abaixo da temperatura do ar, a água líquida pode se acumular na superfície das folhas, criando condições favoráveis à germinação de esporos e o crescimento de fungos levando ao desenvolvimento de doenças [Huber and Gillespie 1992].

No caso do oídio do cajueiro, além da doença se manifestar nas panículas da planta, a mesma também pode estar presente nas folhas no interior da copa da planta o que torna essa região responsável pela manutenção do inóculo de *P. anacardii* para novos ciclos de infecção do fungo. Portanto, alguns elementos climáticos tornam-se importantes nos estudos epidemiológicos do oídio do cajueiro, principalmente por interferir no ciclo de infecção de *P. anacardii*. Por exemplo, a produção e manutenção do inóculo do fungo externa ou internamente na planta pode variar conforme a variação do microclima e alterar o início de uma epidemia e o progresso da doença no campo [Vidal Neto et al. 2018].

Dessa forma é importante conhecer como as condições microclimáticas dentro do plantio podem interferir no desenvolvimento da epidemia como um todo. Para isso, é necessário obter valores com alta frequência das principais variáveis implicadas como a temperatura e a umidade do ar dentro da copa o mais estreitamente acoplados às condições reinantes na superfície das folhas e panículas para assim correlacioná-los com o surgimento e desenvolvimento da doença através de modelagem.

Os elementos climáticos ocorridos no interior e no exterior da planta (próximo as folhas e panículas) podem sofrer variações em função da turbulência das massas de ar dentro e em torno da copa da planta e que podem ser substancialmente diferentes dos valores coletados em uma estação meteorológica distante. Saber qual desses dados interferem mais nas epidemias é fundamental para direcionar o manejo das doenças. Essa coleta de dados com alta frequência e nas várias regiões e órgãos da plantas pode ser executada através de dispositivos autônomos e com transmissão dinâmica sem fio (sistemas do tipo IoT), associada ao monitoramento da doença vai permitir um estudo mais aprofundado da dinâmica dos elementos climáticos com o oídio do cajueiro.

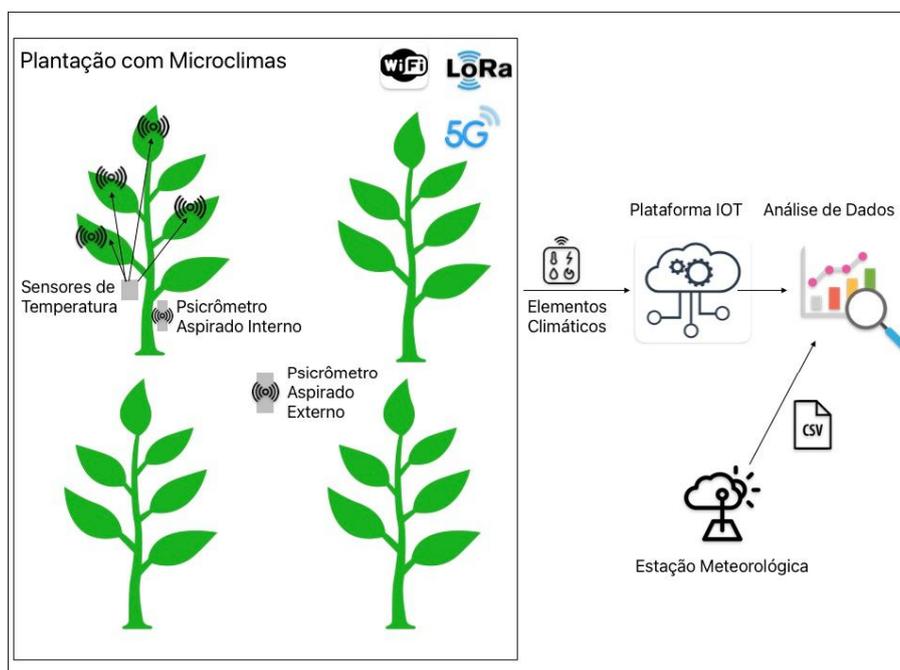


Figura 2. Sistema IoT de Análise do Microclima Vegetal.

A Figura 2 mostra a estrutura do sistema proposto para análise do microclima vegetal. A coleta dos elementos climáticos é realizada através dos sensores de temperatura

e de umidade que estão posicionados estrategicamente em diferentes pontos da planta e do campo. Os dados coletados pelos sensores são enviados a uma plataforma IoT na nuvem para análise e armazenamento permanente. Além dos sensores que coletam dados do microclima das plantas, podem ser coletados dados climáticos da estação meteorológica mais próxima a plantação para serem analisados.

4. Materiais e Métodos

4.1. Arquitetura do Sistema

O desenvolvimento da arquitetura do sistema IoT (Figura 3) foi baseado na utilização do rádio LoRa como técnica de comunicação sem fio e do protocolo LoRaWAN [Kassab and Darabkh 2020] como protocolo de comunicação para criar uma rede que conecta nós sensores a uma nuvem. Esse tipo de modulação de rádio e protocolo foram escolhidos devido sua capacidade de permitir uma comunicação de longo alcance e geolocalização precisa, utilizando uma pequena quantidade de energia a um baixo custo de implementação. Contudo, devido a natureza da modulação do rádio LoRa, a quantidade de dados que podem ser trocados por mensagem é bastante limitada, o que restringe as aplicações para esse tipo de técnica de comunicação.

Visto isso, para se criar uma rede LoRa são necessários três componentes principais, sendo eles: Um nó que possua integrado um transceptor de rádio LoRa, um *gateway* e um servidor LoRa. Assim, quando o nó precisar enviar dados à nuvem, ele deverá utilizar o protocolo LoRaWAN para construir um pacote e enviá-lo ao *gateway*, que por sua vez, o encaminhará para o servidor LoRa ao qual estiver associado.

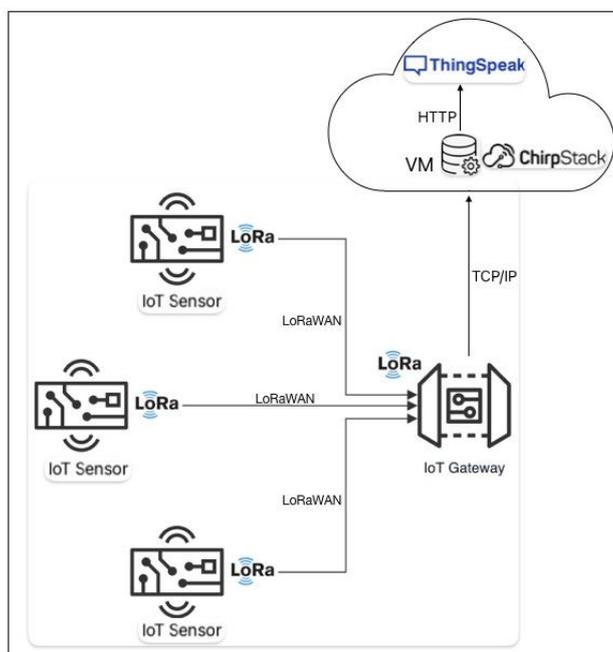


Figura 3. Arquitetura Sistema IoT.

Assim, a arquitetura proposta é formada por um conjunto de nós sensores, um gateway LoRa e uma nuvem. Os sensores fazem a leitura de dados ambientais a cada 60 segundos, os armazena brevemente em sua memória interna e os envia via LoRaWAN

para um gateway LoRa que possui como papel o encaminhamento dos pacotes LoRa enviados pelos nós sensores à nuvem.

Uma vez enviados, esses pacotes são então recebidos por um servidor LoRa instanciado na nuvem que é responsável por desempacotar os dados enviados pelos nós sensores e enviar os dados obtidos a determinados serviços que estão sendo executados na mesma nuvem. Ao receberem esses dados, os serviços realizam a validação desses dados, verificando se estão no formato correto e em seguida não só persistindo eles em arquivo, como também os enviando para uma plataforma IoT para que possam ser visualizados nos *dashboards* da ferramenta.

4.1.1. Sensor de medição de temperatura em folhas ou panículas e sensor de umidade (Psicrômetro Aspirado)

A Figura 4 mostra os sensores de temperatura de alta frequência com transmissão por LoRa 915 Mhz. Para este modelo de sensores de temperatura foram desenvolvidos fixadores magnéticos impressos em impressora 3D com filamento de ABS. Os fixadores são constituídos de dois anéis contendo ímãs que mantêm os aros alinhados e fixos na superfície das folhas.



Figura 4. Sensor de Temperatura

Como as medidas de temperatura das superfícies vegetais são feitas com alta frequência foi necessário desenvolver também um psicrômetro aspirado, que fosse suficientemente pequeno para não afetar a turbulência natural dentro da copa, mas que ao mesmo tempo permitisse um estreito acoplamento dos valores da umidade do ar com os valores das temperaturas das folhas. A Figura 5 mostra um psicrômetro aspirado com transmissão de dados via LoRa 915Mhz. Neste sensor, o ar é continuamente aspirado por um miniventilador passando continuamente por um sensor de umidade HDC 1080 (*Texas Instruments*), ligado a uma placa eletrônica desenhada em torno de um processador Esp 32 LoRa.

4.2. Experimentos

Em laboratório, realizamos as medições de temperatura de quatro termistores e um psicrômetro aspirado. Tanto a umidade do ar quanto as medidas de temperatura das folhas



Figura 5. Psicrômetro Aspirado

foram executadas a cada 60 segundos e enviadas para a nuvem através de gateways. O experimento durou 24h. No caso das temperaturas das folhas, os quatro termistores foram calibrados contra um dispositivo equipado com um termômetro de mercúrio de 0,1C de precisão e ajustados utilizando a metodologia de Steihart -Hart [Steinhart and Hart 1968].

5. Resultados

Os resultados das medições de temperatura de quatro termistores e de um psicrômetro aspirado são detalhados a seguir. A Figura 6 mostra os dados de um dia, média por hora de cada termistor. Já na Figura 7 é mostrada a média por hora do psicrômetro aspirado. Pode-se observar que os termistores estão bem calibrados mostrando pouca variação entre eles, já que todos estão localizados próximos, em um mesmo laboratório.

Tanto o método de transmissão como o armazenamento dos dados na nuvem foram bem sucedidos assim como ficou demonstrada a viabilidade de medidas bem sincronizadas no tempo entre os diferentes dispositivos, analisados via gráficos gerados na plataforma *ThingSpeak*. No conjunto, os resultados nos apontam para a viabilidade de instalar um ensaio em campo dos sensores em condições de plantio real.

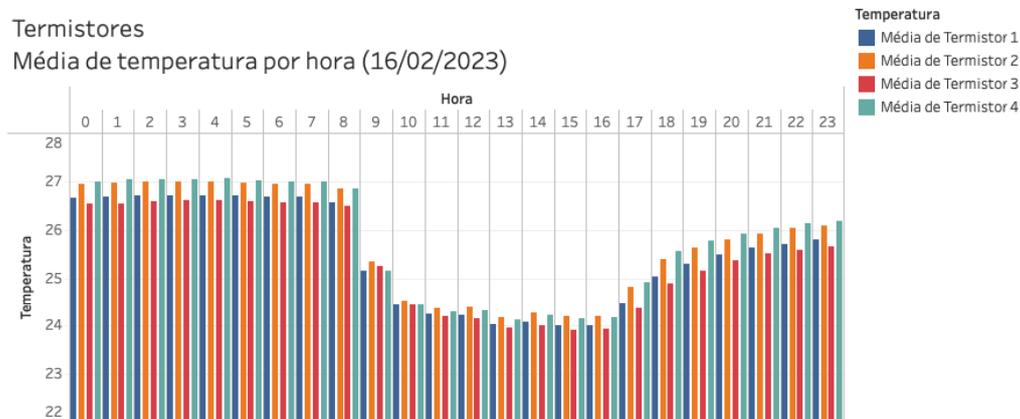


Figura 6. Coleta de dados dos Sensores de Temperatura



Figura 7. Coleta de dados dos Psicrômetro Aspirado

6. Conclusão

Realizar medições em pontos estratégicos da planta e na plantação como um todo permite termos a percepção geral da dinâmica dos elementos climáticos que em conjunto com o monitoramento da doença ou praga estudada nos fornecerá subsídios para uma melhor análise do ponto de surgimento ou aumento da severidade da doença ou praga em questão.

Os dados obtidos em laboratório demonstraram um bom funcionamento da arquitetura para a captação dos dados climáticos e a coerência dos dados obtidos pelos sensores. Conseguimos desenvolver sensores realmente próximos ao microclima vegetal, sem que isso atrapalhe a dinâmica natural da planta.

Neste trabalho abordamos com mais detalhes uma aplicação de doenças e pragas na agricultura, em que o conhecimento do microclima vegetal com o uso de sensores IoT pode ser usado. Entretanto, este conhecimento pode ser aplicado em um leque abrangente de aplicações: irrigação de precisão, análise de solo, entre outros.

Como trabalho futuro está prevista a disposição do sistema em um campo experimental, com condições climáticas adversas (como chuva ou em temperaturas altas), analisando sua resistência. Em paralelo será feito o monitoramento de uma doença do cajueiro, o oídio. O monitoramento do microclima será importante para auxiliar na descoberta da doença em seu estágio inicial, o que possibilitará um manejo preventivo de controle da doença com menor uso de agrotóxicos. Para uma análise mais ampla também seria interessante haver um densidade maior de sensores dispostos em plantas, em pontos diferentes da plantação. É interessante também avaliar o custo e viabilidade econômica de um sistema desse porte.

Referências

- Agrios, G.N (2006). *Plant Pathology*. Academic Press, fifth ed., p. 952. edition.
- Caffarra, A., Rinaldi, M., Eccel, E., Rossi, V., and Pertot, I. (2012). Modelling the impact of climate change on the interaction between grapevine and its pests and pathogens: European grapevine moth and powdery mildew. *Agriculture, Ecosystems Environment*, 148:89–101.

- Chen, W. L., Lin, Y. B., Ng, F. L., Liu, C. Y., and Lin, Y. W. (2020). RiceTalk: Rice Blast Detection Using Internet of Things and Artificial Intelligence Technologies. *IEEE Internet of Things Journal*, 7(2):1001–1010.
- Huber, L. and Gillespie, T. J. (1992). MODELING LEAF WETNESS IN RELATION TO PLANT DISEASE EPIDEMIOLOGY. Technical report.
- Johannes, A., Picon, A., Alvarez-Gila, A., Echazarra, J., Rodriguez-Vaamonde, S., Navajas, A. D., and Ortiz-Barredo, A. (2017). Automatic plant disease diagnosis using mobile capture devices, applied on a wheat use case. *Computers and Electronics in Agriculture*, 138:200–209.
- Kassab, W. and Darabkh, K. A. (2020). A–Z survey of Internet of Things: Architectures, protocols, applications, recent advances, future directions and recommendations. *Journal of Network and Computer Applications*, 163.
- Kim, S., Lee, M., and Shin, C. (2018). IoT-based strawberry disease prediction system for smart farming. *Sensors (Switzerland)*, 18(11).
- Kitpo, N. and Inoue, M. (2018). Early Rice Disease Detection and Position Mapping System using Drone and IoT Architecture.
- Kour, V. P. and Arora, S. (2020). Recent Developments of the Internet of Things in Agriculture: A Survey.
- Martins, M., Viana, I., Fonseca, W., Araujo, F., Serrano, L., Lima, W., Conrado, A., Oliveira, V., and Galvino, M. (2020). Temperatura e Umidade Relativa nos Processos de Infecção do Agente Causal do Oídio do Cajueiro - BOLETIM DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO 203 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Agroindústria Tropical Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.
- Massruha, S. and Leite, M. (2014). AGRO 4.0-RUMO À AGRICULTURA DIGITAL. Technical report.
- Mesquita, A. L., Pini, N., and Braga Sobrinho, R. (2016). Pragas do Cajueiro - Sistema de Produção do Caju - Sumário Dados Sistema de Produção - Embrapa Agroindústria Tropical.
- Shomaria, S. H. and Kennedy, R. (1999). Survival of *Oidium anacardii* on cashew (*Anacardium occidentale*) in southern Tanzania. *Plant Pathology*, 48:505–513.
- Souza, K., Oliveira, S., Macario, C., Esquerdo, J., Moura, M., Leite, M., Lima, H., Castro, A., Ternes, S., Yano, I., and Santos, E. (2020). 2 Agricultura digital: definições e tecnologias. Technical report, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.
- Steinhart, J. S. and Hart, S. R. (1968). INSTRUMENTS AND METHODS Calibration curves for thermistors. Technical report.
- Vidal Neto, F., Rossetti, A., Barros, L., Cavalcanti, J. J., and Melo, D. (2018). Desempenho Agrônômico de Clones de Cajueiro no Litoral do Ceará - Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 163.