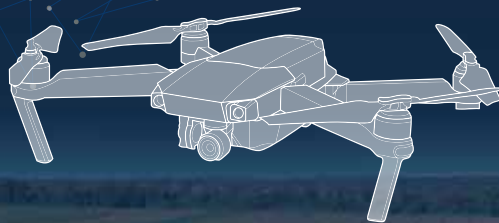


MELHORAMENTO DE PRECISÃO

*Aplicações e perspectivas
na genética de plantas*

**RAFAEL TASSINARI RESENDE
CLAUDIO BRONDANI**

Editores Técnicos



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Arroz e Feijão
Ministério da Agricultura e Pecuária*

Melhoramento de Precisão

Aplicações e perspectivas na genética de plantas

Rafael Tassinari Resende
Claudio Brondani

Editores Técnicos

*Embrapa
Brasília, DF
2023*

Marcelo Gonçalves Narciso, Claudio Brondani

Introdução

A Internet tem usos variados, não só para obter informações ou acesso a redes sociais, mas também para acesso a aparelhos, relógios, sensores, câmeras, e variados itens, os quais são chamados de “coisas” ou objetos. O termo “Internet das Coisas” ou Internet of Things (IoT) é usado para “coisas” que podem ser acessadas ou controladas pela Internet. Essa tecnologia é empregada em diferentes setores (educação, agricultura, indústria, etc.) e traz uma série de benefícios. Uma característica importante de um dispositivo IoT é que ele pode ser acessado por qualquer pessoa, a qualquer momento, de qualquer lugar que exista acesso à Internet. Segundo o site da revista da Fapesp (Fapesp, 2017), a ideia de conectar objetos à Internet é quase tão antiga quanto a própria rede mundial de computadores. O que mudou nos últimos anos foi o barateamento de tecnologias de microeletrônica e de sensores, e a gigantesca expansão da conectividade. Segundo dados da consultoria Gartner em 2021, havia no mundo 8,4 bilhões de “coisas” conectadas, como Smart TVs, automóveis, sistemas inteligentes de iluminação, equipamentos agrícolas, dentre outros (Gartner, 2021).

A IoT visa fundamentalmente facilitar a vida do ser humano. No domínio agrícola, o uso de sensores para obter dados de solo, clima, monitoramento de máquinas agrícolas e irrigação, e posterior envio de dados para análise para o aparelho celular ou computador do usuário, possibilita o acompanhamento da lavoura a todo instante. Desse modo, um gestor pode tomar decisões baseadas em informações provenientes de um banco de dados completo, aumentando as chances de ganho de eficiência na produtividade. Se os dados de uma fazenda forem capturados, seja por sensores no campo ou de sensoriamento remoto por satélite ou drone, eles podem ser combinados para o planejamento de safras de acordo com o clima esperado, com a cotação

■ Melhoria de precisão: aplicações e perspectivas na genética...

de preços presumidos de determinada *commodity* e com a demanda do mercado. Adicionalmente, o planejamento pode incluir o período de semeadura com base no tipo de cultura e clima previsto, quando deverá ocorrer a irrigação, adubação, aplicação de defensivos, e quando proceder à colheita considerando os preços de mercado, previsão do tempo e custos de secagem e armazenamento.

As soluções inteligentes de IoT para agricultura são um sistema construído para monitorar o campo de cultivo com a ajuda de sensores (luz, umidade, temperatura, umidade do solo, sanidade das plantas, etc.). Por exemplo, se o nível de umidade do solo diminuir, o agricultor pode implantar sensores para iniciar a irrigação. A IoT pode fornecer dados relacionados à qualidade do solo em diferentes profundidades, como quantidade de nitrogênio, fósforo e potássio presentes no solo. Uma vez que os dados são coletados, são entregues à nuvem ou servidores de análise de dados por meio de uma rede gateway conectada à Internet por Wi-Fi ou outros meios de comunicação. Posteriormente, os dados são transferidos da nuvem ou servidores analíticos de dados para os dispositivos móveis inteligentes do agricultor ou dispositivos de computação portáteis, onde eles tomam decisões examinando esses dados analisados. Como os agricultores não podem estar fisicamente presentes no campo 24 horas por dia e devido a uma provável falta de habilidade em empregar várias tecnologias para avaliar as condições apropriadas para a colheita, a agricultura inteligente oferece soluções automatizadas que podem ser executadas sem supervisão humana e podem ajudá-los a tomar decisões adequadas para enfrentar os vários desafios que podem encontrar (Yadav et al., 2018; Thilakarathne et al., 2023). Alguns exemplos de aplicação da IoT estão descritos a seguir:

- A partir de sensores instalados em máquinas agrícolas, é possível gerenciar a quantidade de combustível gasta pelos tratores e outros veículos, analisar as rotações dos motores, etc.
- Sensores de imagens (câmeras) podem ser acoplados a drones que sobrevoam as plantações, buscando identificar ocorrências de insetos-praga e doenças. A partir das imagens colhidas, é possível identificar falhas no plantio ou doenças/pragas por meio de índices de vegetação, como o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), ou processamento de imagens nos domínios do visível (RGB, *red - green - blue*) e não visível (infravermelho próximo e médio e ultravioleta).
- Sensores de umidade do solo podem obter dados de sua condição hídrica, os quais são transmitidos através de IoT e, mediante sistemas de predição

de quantidade de água para irrigação, pode-se ter previsão da quantidade de lâmina de água necessária para a irrigação de determinada cultivar.

- A partir de dados climáticos, obtidos por meio de sensores, e transmitidos através de IoT, pode ser determinado se uma planta está com estresse hídrico ou não e, se for o caso, tomar medidas de manejo apropriadas para que a lavoura não tenha queda na produtividade.
- Seleção automatizada: Dados coletados por sensores IoT podem ser usados para selecionar automaticamente as plantas com as melhores características desejadas, como resistência a doenças, alta produtividade, ou adaptação ao ambiente. Isso pode ser feito por meio de algoritmos de inteligência artificial que analisam os dados coletados e selecionam as plantas com as melhores características.
- Monitoramento de progresso: Os sensores IoT podem ser usados para monitorar o progresso dos ganhos do melhoramento genético ao longo do tempo. Isso pode incluir o rastreamento de características de plantas individuais, bem como o progresso geral de um grupo de plantas ao longo de várias gerações.
- Recomendação de cultivares comerciais: Os sensores IoT podem ser usados para recomendar cultivares comerciais com base nas características das plantas. Isso pode incluir a utilização de algoritmos de inteligência artificial que analisam os dados coletados e recomendam as cultivares com as melhores características para determinadas condições climáticas e de cultivo.
- Descarte de materiais genéticos: Com base em características fenotípicas e genotípicas coletadas por sensores IoT, pode ser possível descartar materiais genéticos que não atendem aos critérios estabelecidos para melhoramento genético.
- Monitoramento da qualidade dos grãos: Sensores IoT podem ser usados para monitorar a qualidade dos grãos, como o teor de umidade, a presença de impurezas e a qualidade nutricional. Isso pode ser útil na seleção de plantas para o melhoramento genético de plantas com grãos de alta qualidade.
- Monitoramento de nutrição das plantas: Sensores IoT podem ser usados para monitorar a nutrição das plantas, incluindo o teor de nutrientes no solo e a sua absorção pelas plantas. Isso pode ser útil na seleção de plantas para o melhoramento genético de plantas que são mais eficientes na absorção de nutrientes.

IoT Aplicada ao Melhoramento Genético de Precisão

No melhoramento de plantas, a implementação da IoT visa aumentar a sua eficiência, fornecendo soluções que economizam tempo e que sejam economicamente viáveis. O uso de IoT no melhoramento está ligado ao uso de dispositivos e sensores de IoT para coletar dados e processá-los automaticamente, facilitando a tomada de decisão pelo melhorista. Como exemplo de aplicação, tem-se a automação de casas de vegetação para o controle da irrigação e fotoperíodo, além do envio das condições ambientais em tempo real via computação na nuvem. Sensores podem coletar dados de temperatura, fertilidade do solo e sanidade das parcelas experimentais, e também podem ser usados em combinações com outras soluções, como GPS, imagens aéreas e de satélite. Essas abordagens visam aumentar a precisão experimental, prever a produtividade, além de reduzir custos. O acúmulo de grande volume de dados (*Big Data*) permite que sejam realizadas extrapolações por meio da inteligência artificial, prevenindo-se o desempenho de linhagens em ambientes não avaliados e, com isso, aumentar as chances de sucesso de futuras cultivares comerciais. Em geral, os dados fenotípicos da planta têm sido coletados usando ferramentas de medição manuais tradicionais, mas esse método é demorado, ineficiente e tem baixa precisão, limitando assim a eficiência da seleção genética e, por consequência, estudos básicos de genômica que envolvem a identificação de genes de interesse. Atualmente, há grande necessidade de que pesquisadores possam realizar detecção rápida, precisa e sem erros de parâmetros de caracteres de plantas para entender suas condições de crescimento e desenvolvimento (Fan et al., 2021).

A fenotipagem precisa de plantas e a obtenção de dados climáticos estabelecem a base da análise de interação genótipo x ambiente (GxE), tão importante para a seleção genética de linhagens superiores em programas de melhoramento genético. A IoT permite automatizar tanto a fenotipagem quanto a obtenção dos dados climáticos. Além das vantagens da obtenção desses dados em tempo real, a IoT pode resolver uma questão importante para o melhoramento: a falta de mão de obra intensiva e treinada para as tarefas do dia a dia (Ali et al., 2018). Supondo que houvesse essa disponibilidade, os custos operacionais seriam muito elevados. Com o aprimoramento do desenvolvimento tecnológico nos últimos anos, ainda é tecnicamente desafiador calibrar, anotar e agregar *Big Data* de forma eficaz, especialmente quando os dados foram gerados em vários locais e, muitas vezes, em diferentes escalas (Reynolds et al., 2019). A maximização do desempenho das cultivares conta com o auxílio da metodologia de *Machine Learning* (ML), que é uma maneira inteligente dos computadores em simular atividades de

aprendizado das pessoas, adquirirem novos conhecimentos e melhorar continuamente o desempenho. A tecnologia de ML está desempenhando papel importante no melhoramento genético, identificação de doenças, previsão da ocorrência de insetos-praga e doenças, planejamento inteligente de irrigação, dentre outros. Por exemplo, a tecnologia ML pode analisar dados anteriores em determinada estação experimental, incluindo o desempenho de culturas sob diferentes condições climáticas e a herança de um determinado fenótipo. Com isso, a tecnologia ML pode explorar a associação genótipo:fenótipo e então construir um modelo de probabilidade para prever quais genes são mais propensos a participar da expressão de um importante caractere de interesse, o que pode ajudar geneticistas e melhoristas a realizarem melhoramento genético com elevada precisão (Shi et al., 2019).

O processo para uso no melhoramento genético se baseia na obtenção de dados e transmissão pela internet. Dispositivos instalados em parcelas experimentais devem coletar e processar os dados em um ciclo repetitivo que permita aos melhoristas avaliar o desempenho das linhagens em tempo real, seguindo ciclos que envolvem a observação (por sensores), diagnóstico (após um problema ser detectado por sensores em uma plataforma IoT, são identificados quais problemas específicos estão ocorrendo), e decisões/ações (sobre o tratamento específico necessário a ser adotado, ou simplesmente não adotar procedimento visando a seleção de genótipos superiores). Essas tecnologias podem acompanhar o processo seletivo das melhores linhagens com muita precisão, em tempo real, ao longo do ciclo da cultura. Um exemplo de módulo integrado de grande importância para a avaliação de genótipos é o monitoramento do clima, água e solo (Ali et al., 2018). Para o monitoramento do clima, um sensor DHT 22 (comentado mais adiante neste capítulo) mede a temperatura e a umidade do ambiente e, se ultrapassarem determinado limite, essa informação pode ser enviada ao melhorista. O mesmo sensor DHT 22 pode monitorar a umidade do solo, a fim de orientar a entrada da irrigação. Experimentos que envolvam diferentes quantidades de água precisamente fornecidas nas parcelas, após a detecção da necessidade de irrigação pelo sensor, são fundamentais para a seleção de genótipos tolerantes à deficiência hídrica (Dhanaraju et al., 2022).

Por meio da IoT aplicada ao melhoramento genético, ao associar as condições ambientais com os dados obtidos ao longo do desenvolvimento das plantas em um experimento, assegura-se que o sistema é capaz de fornecer uma base sólida para estudos GxE, como mencionado anteriormente. Adicionalmente, por meio da geolocalização, leituras de sensores remotos e transmissão automática de dados, em uma série histórica, pode-se fazer referência cruzada envolvendo vários locais e anos, tornando o processo de desenvolvimento e seleção de linhagens muito mais

■ Melhoria de precisão: aplicações e perspectivas na genética...

preciso. O acesso em tempo real permite que melhoristas possam tomar decisões rápidas, levando em conta estágio de desenvolvimento dos genótipos em uma rede nacional de experimentos, além de poder decidir sobre tratamentos culturais e necessidade de irrigação, por exemplo. Além disso, a transmissão automática de dados permite a centralização dos dados e o gerenciamento de experimentos, o que significa que o sistema pode ser ampliado para a escala nacional. Por meio da interpolação de dados a partir de pontos específicos onde foram montadas estruturas IoT pode-se modelar a variação ambiental em todo o território nacional, auxiliando no processo de seleção de linhagens, futuras cultivares comerciais, que sejam específicas para determinada área geográfica (Reynolds et al., 2019).

Embora muitas plataformas automatizadas de fenotipagem sejam capazes de gerar grande volume de dados coletados de plantas e do ambiente, é ainda tecnicamente desafiador coletar, calibrar, anotar e agregar esses conjuntos de dados de forma eficaz, especialmente para experimentos realizados em vários locais e em diferentes escalas. Soluções comerciais já estão disponíveis envolvendo hardware e plataforma de processamento de dados que combinam coleta de imagens, associações de metadados e análise fenotípica para ambientes controlados. No entanto, esses sistemas comerciais requerem manutenção do licenciamento e custos adicionais para o desenvolvimento de novas funções (Reynolds et al., 2019). Portanto, é um desafio para a pesquisa desenvolver uma plataforma flexível e que atenda necessidades específicas de cada programa de melhoramento. Por esse motivo, este capítulo aborda a partir deste momento alguns conceitos para o desenvolvimento de uma plataforma básica que emprega IoT tanto para a pesquisa, quanto para o monitoramento de áreas de lavouras.

Componentes mais Comuns Usados em IoT

Para a aquisição de dados ou acionamento de algum dispositivo são usados sensores, câmeras, atuadores e outros componentes eletrônicos. Esses dispositivos são acionados ou controlados por alguma placa eletrônica, com software embarcado, com a finalidade de obter os dados e os enviar a algum servidor remoto para que determinado aplicativo possa exibir os resultados, ou ainda, acionar algum dispositivo, como um aparelho de ar condicionado, por exemplo.

Um sensor, basicamente, é um dispositivo que tem a função de detectar e responder com eficiência algum estímulo. Existem vários tipos de sensores para serem usados na agricultura, assim como em ambiente doméstico, na indústria, no comércio, em

hospitais, ruas, etc. Para obter dados climáticos sobre algum lugar são usados sensores de temperatura do ar, umidade do ar, pressão atmosférica, radiação solar, velocidade do vento, precipitação (mm de chuva), etc. O sensor de temperatura e umidade do ar DHT-11, por exemplo, pode ser acessado por meio de uma placa Arduino (Arduino, 2023), usada para acionar e ler o sensor, além de mostrar o resultado, tal como ilustra o circuito eletrônico da Figura 1. A placa Arduino possui um software embarcado que possibilita o acesso aos dados do sensor no tempo que for programado. Um *website* que explica como fazer a montagem e o código embarcado pode ser acessado em Makerhero (2013).

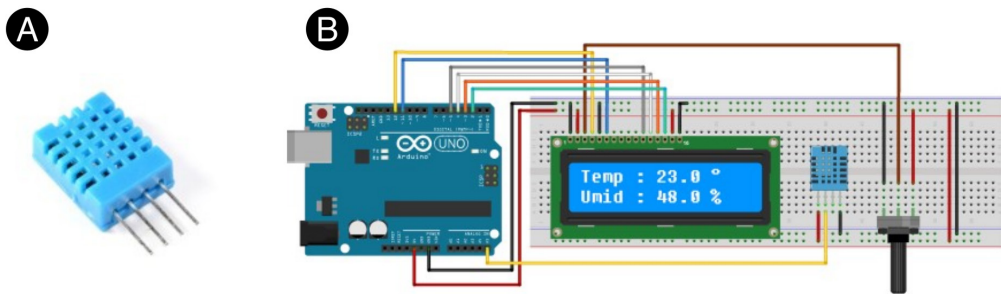


Figura 1. A) Sensor de temperatura e umidade do ar modelo DHT11. B) Placa Arduino, modelo Uno, à esquerda, usada para fornecer energia e acessar os dados obtidos pelo sensor DHT11.

Fonte: Makerhero (2013).

Outros sensores que podem ser citados são os de distância, presença, temperatura da água, pressão atmosférica, acelerômetro e vários outros (Figura 2). Esses sensores necessitam de alguma placa para fazer a leitura dos dados, como a Arduino, Raspberry Pi (Rasp-Pi, 2023), a ser vista mais adiante neste capítulo, Banana Pi (Banana-Pi, 2023), Orange Pi (Orange-Pi, 2023), dentre outras. A escolha de uma dessas placas depende da aplicação a que se destina.

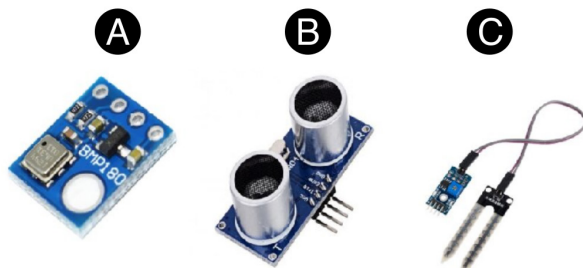


Figura 2. Exemplos de sensores de pressão atmosférica (A), distância (B), e umidade do solo (C).

Fonte: Baú da Eletrônica (2023).

■ Melhoria de precisão: aplicações e perspectivas na genética...

A placa Arduino pode ser usada para o caso em que se deseja controlar sensores, motores de baixa corrente e tensão, válvulas, relés, etc. Um microcontrolador consiste em um único circuito integrado que reúne um núcleo de processador, memórias voláteis e não voláteis e diversos periféricos de entrada e de saída de dados (Achei Componentes, 2021). O microcontrolador do Arduino tem pouco espaço de memória e pouca velocidade, em comparação a processadores de outras placas como a Raspberry Pi 3 ou 4, ou similares, como Orange Pi 4 ou Banana Pi 4. Para exemplificar, considere o microcontrolador do Arduino Uno, Atmega 328P-U, o qual alcança 1 MIPS/MHz (1 milhão de instruções por segundo por megahertz), possui memória flash de 32 Kb, memória SRAM de 2 Kb e memória EEPROM de 1 Kb. O *clock* tem valor igual a 20 MHz e, com esse valor, pode-se ter até 20 MIPS (20 milhões de instruções por segundo). A memória tem pouco espaço e assim uma placa Arduino deve ser usado em situações nas quais não se necessita de muita memória RAM ou quando o tempo de processamento a ser exigido não seja tão importante.

A vantagem da placa Arduino em relação às placas com poder de processamento maior e memória RAM acima de 512 MB, como a Raspberry Pi 3, por exemplo, é o baixo custo, além da simplicidade de se programar e também à quantidade de potência a ser fornecida à placa, que é menor em comparação a uma placa Raspberry Pi 3 ou 4, por exemplo.

Wi-Fi é uma tecnologia de rede sem fio que permite que computadores (laptops e desktops), dispositivos móveis (como smartphones) e outros equipamentos (impressoras e câmeras de vídeo) se conectem à Internet. O Wi-Fi permite que esses e muitos outros dispositivos troquem informações entre si, criando uma rede. Contudo, mesmo que não haja sinal Wi-Fi, a transmissão de dados de um ponto a outro pode ser feita através do protocolo LoRa ou XBEE. Para locais onde exista Wi-Fi, podem ser usadas placas como a Arduino uno Wi-Fi Rev 2 (Embarcados, 2018) (Figura 3 A).

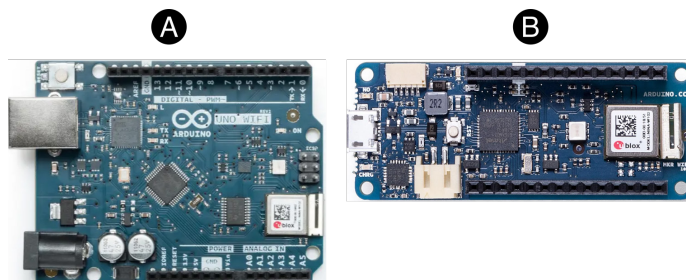


Figura 3. A) Placa Arduino Uno Wi-Fi. B) Placa Arduino MKR Wi-Fi.

Fonte: Fig. A: Arduino Uno Wi-Fi rev 2 (2023).

Fig. B: Arduino MKR WiFi 1010 (2021).

Outra placa, feita exclusivamente para IoT, é a Arduino MKR1010 (2021) (Figura 3 B). Os dados de sensores que forem adicionados à placa Arduino MKR1010 podem ser visualizados por meio de aplicativo para celular ou computador. Existem aplicativos prontos que podem ser acessados por meio do *website* da empresa Adafruit (2019) ou na página *web* do Arduino (Cloud, 2023).

Existem outras opções, similares ao Arduino, que contemplam o uso do Wi-Fi. Alternativamente, pode-se usar a placa ESP8266, que pode ser conectada à placa Arduino. Na Figura 4 são mostradas as placas Wemos (similar à placa Arduino Uno, mas com Wi-Fi) e a ESP8266 para ser conectada à placa Arduino (a qual não contém Wi-Fi).

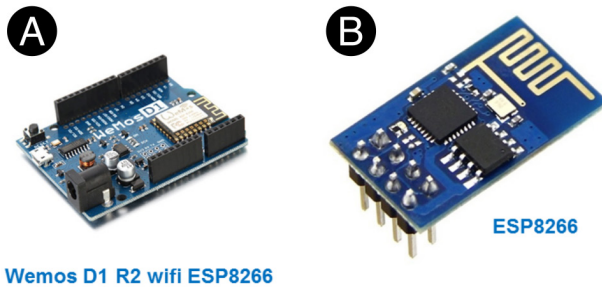


Figura 4. Placa Wemos com ESP8266 e placa ESP8266.

Fonte: Wemos (2023).

Um modo de conectar uma placa Arduino sem Wi-Fi com a placa ESP8266 está descrito na Figura 5, a qual indica uma alternativa para o envio de dados obtidos por sensores de temperatura (LM35) e de pulso acoplados a um hardware ou circuito.

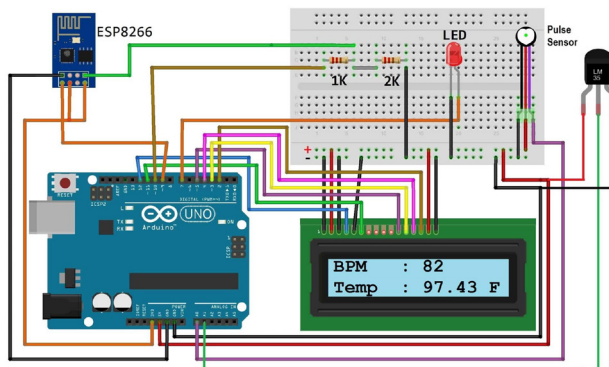


Figura 5. Placas Arduino Uno e ESP8266 para envio de dados coletados de sensores.

Fonte: Systemcap (2021).

Protocolo de Comunicação LoRa

Há situações onde não há Wi-Fi disponível para acesso à Internet e, considerando que a conectividade é a espinha dorsal da Internet das Coisas, é necessária outra forma de transmissão de dados. A tecnologia LoRaWAN, nome dado ao protocolo que define a arquitetura do sistema, bem como os parâmetros de comunicação usando a tecnologia LoRa, possibilita levar os dados dos sensores até onde possa ter um Wi-Fi e assim os dados serem acessíveis para gerar informação ao usuário. Atualmente existem inúmeras tecnologias em comunicação, com ou sem fio, usadas em aplicações IoT. Cada uma dessas tecnologias tem suas características, vantagens e desvantagens, e nenhuma delas pode ser dita como a melhor tecnologia, mas apenas como a mais adequada para uma aplicação específica. No contexto da agricultura, por exemplo, tecnologias LPWAN (*Low Power Wide Area Network*) são adequadas para aplicações que não requerem altas taxas de transmissão, são tolerantes a atrasos e possuem baixo consumo de energia quando comparadas a outras tecnologias de longa distância, como 3G/4G e Zigbee (Figura 6). Observe-se que LPWAN tem maior alcance de sinal, cobertura geográfica e latência de transmissão, enquanto que a tecnologia 3G/4G tem maior valor quanto ao consumo de energia e largura de banda.

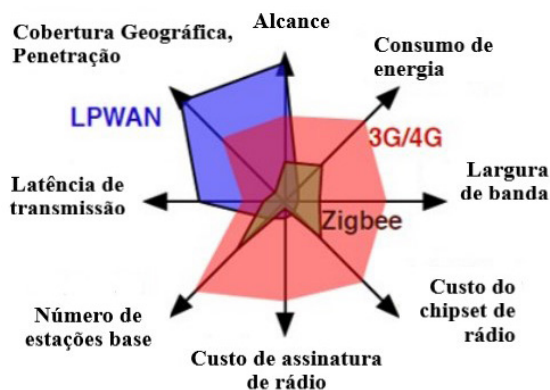


Figura 6. Comparação entre LPWAN e outras tecnologias sem fio (*wireless*). As áreas marrom, rosa e azul indicam o alcance em cada eixo (largura de banda, custo do chipset de rádio, etc.).

Fonte: Redes-IOT (2023).

LoRa (*Long Range Radio*) é a camada física de uma tecnologia de comunicação sem fio que pode atuar como parte de uma rede LPWAN. Seu esquema proprietário de modulação por espalhamento espectral é derivado da modulação CSS (*Chirp Spread Spectrum*). Redes com LoRa preenchem a lacuna tecnológica das redes celulares, Wi-Fi e BLE (*Bluetooth Low Energy*), que demandam alta largura de banda, podem

ter alcance limitado ou serem incapazes de penetrar ambientes. Isso a torna bastante atrativa para uma ampla variedade de setores, em especial para propriedades rurais, onde geralmente o sistema está localizado em áreas remotas, sem amplo acesso a redes de telefonia móvel.

A tecnologia LoRa é aplicada na rastreabilidade de animais, monitoramento da produção de leite, aquisição de dados climáticos e de solo em casa de vegetação, agricultura de precisão, monitoramento do solo, monitoramento de plantio e colheita, aquisição de dados climáticos no campo, irrigação inteligente, etc. Mais informações sobre aplicações de LoRa na agricultura ou pecuária podem ser obtidas em Mokolora (2023).

Em termos de hardware, há a opção de utilizar um dispositivo que já contenha um microprocessador a ser programado e que fique responsável pelo software de transmissão de dados. Há também a opção de usar um dispositivo que não contenha um microprocessador embutido, fazendo-se necessária a programação da transmissão dos dados em um outro microcontrolador ou microprocessador, como os já citados Arduino e Raspberry Pi.

No primeiro caso, pode-se citar como exemplo o ESP32 Wi-Fi LoRa 32 (Usinainfo, 2018), da empresa Heltec (Heltec, 2018), um dos dispositivos LoRa mais populares. Esse módulo conta com microprocessador ESP 32 (MCU dual-core de 32 bits mais um núcleo ULP), com chip de nó LoRa SX1276/SX1278 e regulador de tensão completo embutido, Wi-Fi integrado, três conexões de rede Bluetooth e é compatível com o ambiente de desenvolvimento Arduino (Figura 7 A).

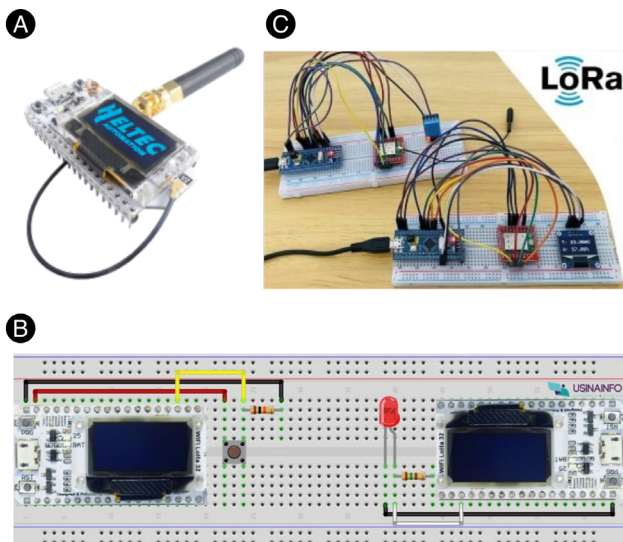


Figura 7. A) Módulo ESP32 Wi-Fi LoRa 32 (V2) da Heltec. B) Aplicação de comunicação LoRa utilizando dois módulos ESP32 Wi-Fi LoRa 32 (V2) da Heltec. C) Circuito de envio de dados (placa superior) e circuito de recepção de dados.

Fonte: Fig. A: Heltec (2018), Fig. B: Bauermeister (2018) e Fig. C: How to Electronics (2023).

■ Melhoria de precisão: aplicações e perspectivas na genética...

Um exemplo de aplicação com essa placa de desenvolvimento pode ser visto na Figura 7 B. À esquerda, um dos módulos, denominado *Sender*, está conectado a um *push button* (botão) e a um resistor de 10 K ohms. O fio amarelo ilustra a conexão com a GPIO 12. O outro módulo, denominado *Receiver*, está conectado a um LED na GPIO 12 (ilustrada pelo fio branco) e um resistor de 150 ohms. Mais informações podem ser obtidas em Bauermeister (2018).

Além do protocolo LoRa, existe outro muito usado em IoT, o MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*). É um protocolo de transporte de mensagens de formato Cliente/Servidor, que é executado em ambiente TCP/IP, e que possibilita a comunicação entre máquinas (*Machine to Machine* – M2M). Esse protocolo é muito usado em ambientes onde exista a comunicação entre computadores ou placas (Arduino ou Raspberry Pi, por exemplo) por cabeamento ou Wi-Fi. Possui várias aplicações de IoT na indústria automotiva, manufatura, petrolífera e, também, em residências, telecomunicações e comércio (Kalatec, 2023). O protocolo MQTT, que pode ser utilizado em conjunto com o LoRa, facilita a configuração dos sensores, atuadores e, também, o envio de requisições aos sensores e recebimento de respostas (mensagens ou resultados). Mais informações sobre o protocolo MQTT podem ser obtidas em Hivemq (2023).

Exemplo de Aplicação na Agricultura

Neste tópico será apresentado o exemplo de um sistema IoT que obtém dados de campo de temperatura e umidade do ar, e que depois envia os resultados sobre o risco de aparecimento da antracnose (doença que ataca o feijoeiro) em função desses dados climáticos, para ser visualizado em um *website* ou smartphone. No exemplo, serão considerados todos os municípios do Estado de Goiás.

Para o sistema de alerta para predição do aparecimento da doença antracnose em plantações de feijão, será considerado um conjunto de regras em função da temperatura (T) e da umidade relativa do ar (UR), quais sejam:

Se $15^{\circ}\text{C} < T < 25^{\circ}\text{C}$ e $UR > 70\%$, então a probabilidade de aparecimento é muito favorável.

Se $15^{\circ}\text{C} < T < 25^{\circ}\text{C}$ e $50\% < UR < 70\%$, então a probabilidade de aparecimento é favorável.

Se $25^{\circ}\text{C} < T < 30^{\circ}\text{C}$ e $UR < 70\%$, então a probabilidade de aparecimento é pouco favorável

Qualquer outro intervalo de valores, além dos que foram citados acima, indicará que a probabilidade de aparecimento de antracnose é nula.

Para coletar dados para as regras acima é necessário um sensor para obter a temperatura e umidade relativa do ar. Para isso podem ser utilizados os sensores DHT 22 ou DHT 11, esse último citado anteriormente. Esse sensor deverá estar ligado a uma placa Arduino e a uma placa LoRa SX1276, conforme pode ser visto em (How to Electronics, 2023). Para este projeto, será utilizado o Arduino modelo nano, uma placa Arduino mais barata e com menos possibilidades de conexão de componentes eletrônicos, visto que serão obtidos apenas os dados dos sensores e realizadas as avaliações de temperatura e umidade (Figura 7 C).

Na Figura 7C, o circuito superior contém o sensor, que irá coletar os dados de temperatura e umidade relativa do ar, e enviará os dados coletados para o circuito inferior. Na prática, o circuito na parte superior da Figura 7C estará no campo e o circuito da parte inferior que irá receber esses dados estará no escritório, a quilômetros de distância. Após o circuito inferior ter recebido os dados, eles são enviados a uma base de dados, por Wi-Fi, ou os dados são enviados para um local, via placa LoRa SX1276 (análoga à placa ESP 32), onde tenha Internet. A partir daí, os dados são enviados à base de dados no ambiente *web*. A base de dados é então acessada por um sistema de software que obtém os valores de temperatura e umidade do ar para então fazer o cálculo, cujo resultado será acessado pelo usuário no próprio *website* ou por meio de aplicativo de smartphone. Imagine agora que cada cidade do Estado de Goiás tenha um cálculo para a probabilidade de aparecimento de antracnose. A partir dos dados coletados em cada cidade, em tempo real, um mapa de risco de aparecimento de antracnose para o Estado de Goiás é então gerado (Figura 8).

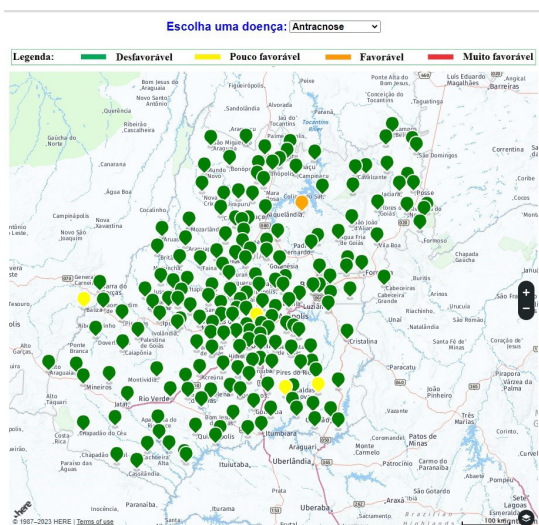


Figura 8. Mapa do risco de aparecimento da antracnose no Estado de Goiás em 07/01/23.

Fonte: Infodoenças (2023).

■ Melhoria de precisão: aplicações e perspectivas na genética...

Observe que esse sistema de alerta de risco de antracnose pode ser visto a qualquer momento, em qualquer lugar, por qualquer pessoa, tal como está ilustrado na Figura 8. De forma similar, outros sistemas podem ser construídos, usando basicamente a forma de transmissão de dados pelo protocolo LoRa. As mudanças do projeto seriam nos sensores, para obter os dados desejados, no software de análise, e no acesso a essas informações por meio de um aplicativo com funcionalidades específicas.

Existem demandas que necessitam de maior poder de processamento, para as quais uma placa Arduino (Uno, Nano, Mega) não seria adequada. Um exemplo seria a captura de imagens de determinado objeto para seu posterior processamento. Para esse caso, placas Raspberry Pi, Orange Pi, Banana Pi ou similares seriam mais adequadas. Essas placas possuem versões de 2 Gb, 4 Gb, 6 GB ou 8 Gb de RAM e também CPU de 1.4 GHz ou superior. Uma placa Raspberry Pi modelo 4, por exemplo, pode ter 8 Gb de RAM e 1.5 GHz com 4 núcleos, e, portanto, é possível utilizá-la sem dificuldades para processamentos que exijam mais CPU e RAM.

Um exemplo de aplicação é a detecção de insetos-praga em armadilhas por meio do processamento de imagens, como a presença do inseto mosca-branca (*Bemisia tabaci*) em lavouras de feijão e tomate, cuja tecnologia está em desenvolvimento na Embrapa Arroz e Feijão. Existe uma armadilha já validada para vários tipos de insetos e que consiste de um papel colante amarelo. Desse modo, é possível monitorar a presença desses insetos nas armadilhas de papel amarelo por meio da tomada e processamento de imagens. Caso seja detectada a presença do inseto-alvo, um sinal de alerta é enviado ao agricultor para que ele possa tomar as decisões sobre o combate a essa praga (Figura 9). Em cada armadilha (contendo uma placa amarela) existe uma câmera acoplada e controlada por uma placa Raspberry Pi (Figura 10). Admitindo que o processamento da imagem para detectar a mosca-branca na armadilha seja feito nessa placa, o resultado será então enviado para um local onde há sinal de Internet através do ESP 32, tal como foi feito para o sistema de alerta para antracnose, descrito anteriormente.

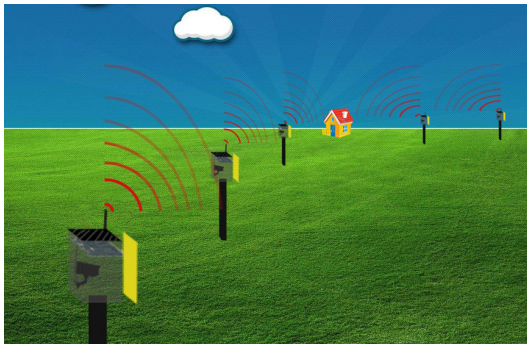


Figura 9. Esquema de armadilhas para monitoramento e detecção de insetos-praga utilizando IoT.

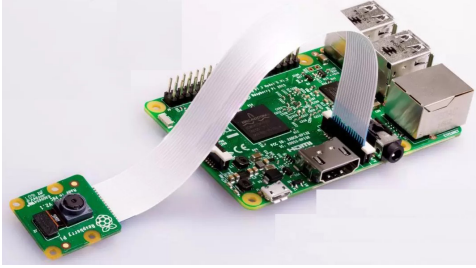


Figura 10. Placa Raspberry Pi com uma câmera acoplada para monitoramento da armadilha.

Fonte: Rasp-PI (2023).

Para uma placa Arduino, ESP 32, Raspberry Pi ou similar poderem controlar ou acionar algum sensor, é necessário que exista um software embarcado. Para as placas Arduino ou ESP 32 existe uma interface com o usuário chamada de Arduino IDE, que pode ser baixada a partir da página <https://www.arduino.cc/en/software>. Com esse software é possível programar o Arduino ou ESP 32 para diversos fins. Existe um cabo que liga a placa Arduino ou placa ESP 32 ao microcomputador, permitindo que a programação realizada na interface Arduino IDE seja carregada no microcontrolador do Arduino ou ESP 32 (Figura 11).

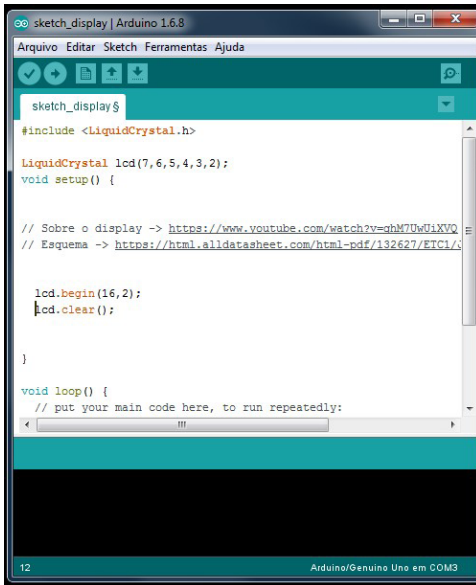


Figura 11. Interface de programação para Arduino ou ESP 32.

Fonte: Arduino (2023).

A programação para Arduino, ESP 32 ou similar é feita em uma linguagem baseada em C++. Para alguém iniciar na programação para Arduino não é necessário conhecer detalhadamente essa linguagem de computador, mas uma parte dela, isto é, conhecer

■ Melhoria de precisão: aplicações e perspectivas na genética...

as funcionalidades envolvidas no acesso a sensores, motores, atuadores, etc. Não são muitas as funcionalidades necessárias e, assim, após a consulta a alguns exemplos para implementação de circuitos, o aprendizado da linguagem será facilitado.

Para o caso de programas para as placas Raspberry Pi ou similar, faz-se necessário saber alguma linguagem de programação, como C, C++, Java, Python ou outra que contenha funcionalidades para acessar os sensores e obter os dados necessários para que os mesmos sejam manipulados e convertidos em informação útil ao usuário. O Sistema operacional mais comum para a placa Raspberry Pi é uma distribuição Linux (Debian, Ubuntu, Raspbian). As placas Orange Pi e Banana Pi têm recomendações de quais distribuições Linux o hardware suporta. Na Internet existem programas prontos para várias linguagens aplicáveis a essas placas, como para Python (Gpiozero, 2023), Java (Makerhero, 2018) e C++/C (Raspberrypi, 2023).

Considerações Finais

A Internet das Coisas foi abordada neste capítulo sob o ponto de vista do hardware e aplicações, para facilitar o entendimento do leitor. Os casos enfocados são a base para fazer outros sistemas de IoT. Não foram destacados detalhes relativos à parte de eletrônica envolvida e nem o software embarcado, visto que seriam necessários vários capítulos para isso. Porém, o leitor pode facilmente encontrar cursos de programação de Arduino na Internet e, também, livros com exemplos diversos de como fazer circuitos eletrônicos. Os componentes de hardware podem ser obtidos tanto em lojas físicas como no exterior, por meio de compras na Internet.

A agricultura digital – ou seja, usar tecnologia e dados digitais para conduzir processos de tomada de decisão – pode ajudar todo o setor agrícola a ser mais eficiente, transparente, produtivo e lucrativo. Sensores no campo, combinados com equipamentos agrícolas automatizados e dados de drones e satélites, podem fornecer melhores orientações aos agricultores. Melhores dados e compreensão dos riscos da operação agrícola podem ajudar a melhorar o direcionamento de insumos. Algumas das principais tendências na agricultura digital incluem sensores (para medir dados climáticos, de solo, etc.), a conexão de sensores em plataformas IoT para monitoramento em tempo real, automação para o desenvolvimento de novas aplicações em semeadura, aplicação de produtos químicos, irrigação e capina. Veículos autônomos equipados com câmeras de alta resolução monitoram continuamente as plantações à medida que crescem por meio de um processo conhecido como fenotipagem rápida, que promete aumentar o ritmo de desenvolvimento de novas cultivares comerciais. O

sensoriamento remoto, que na agricultura geralmente se refere à análise de imagens de dados de satélite, existe há várias décadas. As novas tendências se concentram no uso de satélites em órbita baixa para acessar imagens com mais frequência ou no uso de imagens de alta resolução de drones - voando sob as nuvens e disponíveis sob demanda - para monitorar o estado sanitário das plantações ou surtos de insetos-praga e doenças. Os algoritmos estão melhorando rapidamente para aproveitar as maiores quantidades de imagens e fotos disponíveis. Um modelo de IA analisando uma fotografia de uma folha, por exemplo, pode identificar rapidamente insetos-praga e doenças específicas de plantas e fazer recomendações de tratamento em tempo real (Chandra; Collis, 2021).

O desenvolvimento de sensores deve se concentrar em novos materiais sensíveis, mecanismos, processos e metodologias, bem como baixo consumo de energia e baixo custo. Novos sensores permitirão que uma gama ainda mais abrangente de situações e eventos sejam detectados no campo. Os sensores atuais cairão de preço para tornarem-se mais acessíveis, e novos algoritmos surgirão para extrair e deduzir mais informações das tecnologias de sensores atuais (Planin, 2023). Com pesquisa colaborativa contínua em tecnologia de sensores, tecnologia de comunicação, ciência de plantas, ciência da computação e engenharia, a IoT na agricultura permitirá um salto tecnológico por meio de redes de sensores ambientais, tomada de imagens não destrutiva, análise espectral, robótica, dentre outros avanços. Com base em dados de características de plantas multiescala, multiambientais e multimodo que constituem *Big Data* de fenótipos de plantas, a relação entre genótipo, fenótipo e ambiente em análises de genoma poderão ser exploradas em detalhe (Fan et al., 2021).

Com relação à rede de transmissão de dados, devemos nos concentrar em dados de alta capacidade, tecnologias de comunicação de banda larga em tempo real para aplicações agrícolas complexas, que tenha alta confiabilidade, adaptável, e possua estratégias de gerenciamento de algoritmos (Shi et al., 2019). Com a tecnologia 5G é esperado crescimento de aplicações com IoT, devido ao maior alcance de sinal e aumento da velocidade de transmissão de dados. Isso possibilitará maior quantidade de sensores e atuadores no campo para facilitar o gerenciamento de colheitas, dados climáticos e análise de solos em tempo real, mapas de irrigação e semeadura, e monitoramento e controle remoto de máquinas e equipamentos (Tecnologia-5G, 2023). O aumento da cobertura móvel também permitirá amplo uso de smartphones, acesso à informações, uso de aplicativos e fluxos de dados bidirecionais (Chandra; Collis, 2021). Os desenvolvedores de software devem gerar grandes bancos de dados de código aberto e bibliotecas de algoritmos de processamento de sinal para diferentes áreas de agricultura de instalações. Para

■ Melhoria de precisão: aplicações e perspectivas na genética...

universidades e institutos de pesquisa, as principais direções de trabalho para o futuro incluirão a agricultura inteligente baseada em nuvem, modelos de tomada de decisão, algoritmos de fusão de informações com base em dados de várias fontes, *Big Data* agrícola, tecnologias de mineração, sistemas de processamento inteligente, e autenticação por mecanismos de criptografia (Shi et al., 2019). Investimentos em segurança da informação em IoT deverão continuar a crescer. A ideia da ampla conexão é fascinante, mas os desafios de manter um sistema seguro são complexos e exigem investimentos em treinamento pessoal e equipamentos. Os dispositivos IoT geram grande quantidade de informações e elas devem ser armazenadas e o acesso deve ser restrito a quem realmente tem privilégio (Santos; Sales, 2015). A geração de empregos para profissionais da área de IoT para a área agrícola será cada vez maior. É uma grande oportunidade para profissionais de Engenharia, Tecnologia da Informação e áreas afins. Essas inovações tecnológicas também podem levar a novos modelos de negócios. Para que as tecnologias digitais sejam adotadas amplamente, mais pesquisas precisam ser conduzidas. Por exemplo, o desenvolvimento de sensores e hardware de baixo custo, novas técnicas de IA que permitam combinar diferentes dados para gerar resultados preditivos e novas interfaces de usuário usando técnicas de baixo custo permitirão que a agricultura digital seja acessível para todos os agricultores. A fim de lidar com um ambiente de cultivo cada vez mais complexo pelas mudanças climáticas, o melhoramento genético contará com o contínuo aperfeiçoamento da IoT. Dispositivos de hardware devem ser totalmente atualizados para aumentar ainda mais sua universalidade, confiabilidade, expansibilidade e resistência, reduzindo custos e dificuldades operacionais, além da otimização de modelos de suporte à decisão de *Big Data* (Shi et al., 2019).

O custo de desenvolvimento e implantação de dispositivos conectados diminuirá a cada ano e as alternativas de conectividade e integração dos dados irá aumentar, o que torna a automação do processo de coleta de dados no campo mais acessível, com baixo custo de manutenção para os programas de melhoramento e para os agricultores (Sigmais, 2023). O aumento do uso de conectividade LPWA (*Low Power Wide Area*), considerando a sua utilização nas propriedades rurais, trará o benefício do baixo custo de comunicação comparada com as alternativas móveis de dados e, também, ajudarão na redução de custo de infraestrutura, já que o dispositivo possui conectividade embarcada e bateria, sem a necessidade de ser energizado (Sigmais, 2023). Com o avanço da conectividade no campo, no futuro se terá muitas máquinas conectadas e enviando dados pela Internet a todo instante. As funções dos sensores agrícolas estão se tornando cada vez mais diversificadas, incluindo sensores de solo, sensores meteorológicos, sensores de água e sensores de plantas.

Plataformas de medição de fenótipos devem ser melhoradas e inovadas, ao mesmo tempo em que os dados massivos (*Big Data*) podem ser gerenciados e analisados para transformar fenótipos de linhagens superiores em modelo de parâmetros ao longo do ciclo de desenvolvimento de uma espécie vegetal de interesse. Com isso, é de se esperar que, em um futuro próximo, devido ao aprimoramento de sensores e ao progresso de ciência da computação, essas plataformas de medição de parâmetros fenotípicos multidimensionais introduzam uma nova era de fenômica e melhoramento.

Referências

- ACHEI COMPONENTES. **Você sabe o que é um microcontrolador e para que ele serve?** 2021. Disponível em: <https://www.acheicomponentes.com.br/loja/noticia.php?loja=648216&id=11>. Acesso em: 20 mar. 2023.
- ADAFRUIT. **Adafruit IO basics**. 2019. Disponível em: <https://learn.adafruit.com/series/adafruit-io-basics>. Acesso em: 10 jan. 2023.
- ALI, T. A. A.; CHOKSI, V.; POTDAR, M. B. Precision agriculture monitoring system using Internet of Things (IoT). **International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology**, v. 6, n. 4, p. 2961-2970, Apr. 2018. DOI: <http://doi.org/10.22214/ijraset.2018.4493>.
- ARDUINO. **What is Arduino?** Disponível em: <https://www.Arduino.cc>. Acesso em: 20 mar. 2023.
- ARDUINO. **MKR Wi-Fi 1010**. 2021. Disponível em: <https://store.arduino.cc/products/arduino-mkr-Wi-Fi-1010>. Acesso em: 10 jan. 2023.
- ARDUINO. **UNO WI-FI REV 2**. Disponível em: <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-Wi-Fi-rev2>. Acesso em: 20 mar. 2023.
- BANANA-PI. Disponível em: <https://www.banana-pi.org>. Acesso em: 20 mar. 2023.
- BAÚ DA ELETRÔNICA. Disponível em: <https://www.baudaeletronica.com.br/Arduino/sensores>. Acesso em: 20 mar. 2023.
- BAUERMEISTER, G. **Comunicação LoRa com Arduino**. 2018. Disponível em: <https://www.makerhero.com/blog/primeiros-passos-LoRa-com-Arduino/>. Acesso em: 10 jan. 2023.
- CHANDRA, R.; COLLIS, S. Digital agriculture for small-scale producers: challenges and opportunities. **Communications of the ACM**, v. 64, n. 12, p. 75-84, Dec. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1145/3454008>.
- CLOUD. **The simplest, fastest, low-code way to get started with connected projects**. 2023. Disponível em: <https://cloud.arduino.cc/>. Acesso em: 20 mar. 2023.
- DHANARAJU, M.; CHENNIAPPAN, P.; RAMALINGAM, K.; PAZHANIVELAN, S.; KALIAPERUMAL, R. Smart farming: Internet of Things (IoT)-based sustainable agriculture. **Agriculture**, v. 12, 1745, Oct. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture12101745>.
- EMBARCADOS. **Conheça o novo Arduino Uno Wi-Fi**. 2018. Disponível em: <https://embarcados.com.br/conheca-o-novo-Arduino-uno-Wi-Fi>. Acesso em: 10 jan. 2023.
- FAN, J.; ZHANG, Y.; WEN, W.; GU, S.; LU, X.; GUO, X. The future of Internet of Things in agriculture: plant high-throughput phenotypic platform. **Journal of Cleaner Production**, v. 280, 123651, Jan. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123651>.

■ Melhoria de precisão: aplicações e perspectivas na genética...

FAPESP. Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo. **O Brasil da Internet das Coisas**. 2017. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/o-brasil-da-Internet-das-coisas/>. Acesso em: 10 jan. 2023.

GARTNER. 2021. Disponível em: <https://www.gartner.com.br>. Acesso em 10 jan. 2023.

GPIOZERO. 2023. Disponível em: <https://gpiozero.readthedocs.io/en/stable/>. Acesso em: 10 jan. 2023.

HELTEC. **Wi-Fi LoRa 32 (V2.1) Phaseout**. 2018. Disponível em: <https://heltec.org/project/wifi-lora-32/>. Acesso em: 10 jan. 2023.

HIVEMQ. **LoRaWAN and MQTT integration for IoT application design**. 2023. Disponível em: <https://www.hivemq.com/blog/LoRawan-and-mqtt-integrations-for-iot-applications-design/>. Acesso em: 10 jan. 2023.

HOW TO ELECTRONICS. **Interfacing LoRa SX1276 with STM32 microcontroller**. 2023. Disponível em: <https://how2electronics.com/interfacing-lora-sx1276-with-stm32-microcontroller-1r1276-915mhz/>. Acesso em: 07 mai. 2023.

INFODOENÇAS. **Sistema de alerta de risco de doenças para o feijoeiro no Estado de Goiás**. 2023. Disponível em: <https://www.cnpaf.embrapa.br/infodoencas/>. Acesso em: 20 mar. 2023.

KALATEC. **Como o Protocolo MQTT funciona e quais são as suas vantagens?** 2023. Disponível em: <https://blog.kalatec.com.br/protocolo-mqtt/>. Acesso em: 20 mar. 2023.

MAKERHERO. 2013. Disponível em: <https://www.makehero.com/blog/monitorando-temperatura-e-umidade-com-o-sensor-dht11/>. Acesso: 20 mar. 2023.

MAKERHERO. **Programação da Raspberry Pi com Java: primeiros passos**. 2018. Disponível em: <https://www.makehero.com/blog/programacao-da-raspberry-pi-com-java/>. Acesso em: 20 mar. 2023.

MOKOLORA. **Top 9 LoRa smart agriculture applications to watch out for**. 2023. Disponível em: <https://www.mokoLoRa.com/LoRa-smart-agriculture-applications/>. Acesso em: 10 jan. 2023.

ORANGE-PI. Disponível em: <https://www.orangepi.org>. Acesso em: 20 mar. 2023.

PLANIN. **Gartner anuncia 10 principais tendências estratégicas para Internet das Coisas até 2023**. Disponível em: <https://planin.com/gartner-anuncia-10-principais-tendencias-estrategicas-para-Internet-das-coisas-ate-2023/>. Acesso em: 10 jan. 2023.

RASP-PI. Disponível em: <https://www.raspberrypi.org>. Acesso em: 10 jan. 2023.

RASPBERRYTIPS. **Getting started with C++ on Raspberry Pi (guide & examples)**. 2023. Disponível em: <https://raspberrytips.com/use-c-on-raspberry-pi/>. Acesso em: 20 mar. 2023.

REDES-IOT. **Overview of IoT networks**. Disponível em: <https://iofactory.eu/iot-knowledge-center/overview-of-iot-networks/>. Acesso em: 20 mar. 2023.

REYNOLDS, D.; BALL, J.; BAUER, A.; DAVEY, R.; GRIFFITHS, S.; ZHOU, J. CropSight: a scalable and open-source information management system for distributed plant phenotyping and IoT-based crop management. **GigaScience**, v. 8, n. 3, p. 1–11, Mar. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1093/gigascience/giz009>.

SANTOS, C. C.; SALES, J. D. A. O desafio da privacidade na internet das coisas. **Revista Gestão.Org**, v. 13, p. 282-290, maio 2015.

SHI, X.; AN, X.; ZHAO, Q.; LIU, H.; XIA, L.; SUN, X.; GUO, Y. State-of-the-art Internet of Things in protected agriculture. **Sensors**, v. 19, 1833, Apr. 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/s19081833>.

SIGMAIS. **Tendências de IoT para 2023: o que você precisa saber**. 2023. Disponível em: <https://sigmais.com.br/tendencias-de-iot-para-2023-o-que-voce-precisa-saber/>. Acesso em: 10 jan. 2023.

SYSTEMCAP. **Monitoramento de frequência de pulso na Internet usando ESP8266 e ThingSpeak.** 2021. Disponível em: <https://capsistema.com.br/index.php/2021/02/04/monitoramento-de-frequencia-de-pulso-na-Internet-usando-esp8266-e-thingspeak/>. Acesso: 10 jan. 2023.

TECNOLOGIA-5G. **Internet das coisas:** como o 5G poderá contribuir para o setor agrícola? Disponível em: <https://pt.linkedin.com/pulse/internet-das-coisas-como-o-5g-poder%C3%A1-contribuir-para-setor->. Acesso em 26 jan. 2023.

THILAKARATHNE, N. N.; BAKAR, M. S. A.; ABAS, P. E.; YASSIN, H. Towards making the fields talks: A real-time cloud enabled IoT crop management platform for smart agriculture. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, 1030168, Jan. 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1030168>.

USINAINFO. **ESP32 LoRa Wi-Fi SX1278.** 2018. Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/lora/esp32-lora-wifi-sx1278-433mhz-de-longo-alcance-com-display-oled-e-bluetooth-5517.html>. Acesso em: 10 jan. 2023.

YADAV, Y.; MAHJABIN, M.; KUMAR, L.; CHAUDHARY, S.; MALIK, S. An overview on Internet of things (IoT) as a technological boon for sustained agriculture farming. **International Journal of Agriculture Innovations and Research**, v. 7, n. 1, p. 129-133, July 2018.

WEMOS. **Home boards.** Disponível em: <https://www.wemos.cc/en/latest/>. Acesso em: 10 jan. 2023.