



## AgriSense: Um Hardware Livre e de Baixo Custo para Agricultura Digital

Kayann Costa Soares<sup>1</sup>, Alexandre Augusto da Penha Coelho<sup>1</sup>,  
Danielo G. Gomes<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratório de Engenharia de Sistemas de Computação (LESC)  
Departamento de Engenharia de Teleinformática  
Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza - CE

<sup>2</sup>Grupo de Redes, Engenharia de Software e Sistemas (GREat)  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Teleinformática  
Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza - CE

kayann.soares@alu.ufc.br, alexandre@lesc.ufc.br

danielo@ufc.br

**Abstract.** *Future agricultural systems must increase productivity and sustainability in food production and supply. To achieve this, efficiency and accuracy in sensing, processing, sharing, and utilizing agricultural data from various sources are essential. This article introduces AgriSense: a low-cost hardware for digital agriculture. AgriSense features a low-cost Printed Circuit Board (PCB) (approximately US\$ 50) with a low-power STM32 microcontroller (19 mA during operation and 6 mA in stand-by mode) and precise sensors for temperature, air humidity, atmospheric pressure, ultraviolet light, soil moisture and pH, carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), and volatile organic compounds (VOCs). AgriSense is an open-source hardware project, aligned with the current agenda of Open Science, and its schematics and images are freely available at public repository.*

**Resumo.** *Os futuros sistemas agrícolas devem aumentar a produtividade e a sustentabilidade na produção e abastecimento de alimentos. Para isso, é essencial a eficiência e precisão no sensoriamento, processamento, compartilhamento e uso de dados agrícolas de várias fontes. Este artigo propõe o AgriSense: um sistema embarcado de baixo custo, código aberto, para a agricultura digital. O AgriSense dispõe de uma placa de circuito impresso de baixo custo (aproximadamente US\$ 50) com um microcontrolador STM32 de baixo consumo energético (19 mA em funcionamento e 6 mA em stand-by) e dispõe de sensores precisos de temperatura, umidade do ar, pressão atmosférica, luz ultravioleta, umidade e pH do solo, gás carbônico (CO<sub>2</sub>) e compostos orgânicos*

voláteis (VOC). O AgriSense é um projeto de hardware livre (open-source hardware), portanto na agenda atual da Ciência Aberta, cujos esquemáticos e imagens estão disponíveis em repositório público.

## 1. Introdução

A agricultura mundial tem enfrentado o grande desafio de garantir alimentos e nutrição às pessoas em um cenário complexo: terra e água cada vez mais escassas, desastres naturais e eventos climáticos extremos e uma estimativa de população mundial ultrapassando os 9 bilhões de habitantes em 2050<sup>1</sup>. Diante de todos esses desafios, estima-se que a produção agrícola precisa aumentar em pelo menos 70% até 2050 [Meybeck and Gitz 2010]. Por isso, é importante desenvolver uma agricultura inteligente pautada em ciência, tecnologia e inovação para alcançar metas de segurança alimentar.

A agricultura digital combina o uso de informações e tecnologias para garantir as melhores práticas agrícolas e as Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) são essenciais para realizar os princípios da agricultura digital sustentável [Sharma et al. 2022, Friha et al. 2021]. Relatórios assertivos a partir de dados sensorizados no campo permitem economia dos custos, pois cerca de 70% do tempo da lavoura é empregado no monitoramento dos estados dos cultivares [Ayaz et al. 2019]. A evolução desse cenário tem resultado na criação de sensores inteligentes conectados a sistemas embarcados capazes de enviar dados diretamente para plataformas *online*. Isso possibilita tomadas de decisões assertivas em várias áreas da produção agrícola, como por exemplo determinar o momento ideal para irrigar as plantações e evitar o desperdício de água [Campos et al. 2019], assim como garantir a exposição adequada à luminosidade ou aos raios ultravioleta para as culturas.

No quesito *hardware*, é possível observar na literatura recente de agricultura digital uma predominância de soluções abertas baseadas em Arduino [Kondaveeti et al. 2021]. Essa tendência se evidencia em diversos projetos, incluindo aqueles focados no monitoramento da saúde do solo [Sengupta et al. 2021] e na análise de parâmetros ambientais [Mesas-Carrascosa et al. 2015]. Entretanto, é importante considerar as vantagens que microcontroladores de 32 bits, como o STM32, oferecem em relação aos dispositivos Arduino de 8 bits. A principal diferença está no desempenho e capacidade de processamento. Microcontroladores de 32 bits, possuem uma arquitetura mais poderosa, o que lhes permite lidar com tarefas complexas de maneira mais eficiente e rápida [Buchmann et al. 2016]. Essa maior capacidade de processamento é fundamental em aplicações agrícolas, onde a coleta e análise de dados podem ser intensivas em termos de recursos.

O objetivo deste artigo é apresentar o projeto e o desenvolvimento de uma Placa de Circuito Impresso (PCB) de baixo custo para um sistema embarcado aplicado a agricultura digital. Além de um microcontrolador moderno modelo STM32 (32 bits) com baixo consumo de energia, a referida PCB dispõe de sensores precisos de temperatura, umidade do ar, pressão atmosférica, luz ultravioleta, umidade e pH do solo, gás carbônico (CO<sub>2</sub>) e compostos orgânicos voláteis (VOC) bem como interfaces de rede *WiFi* e *Bluetooth 5* para permitir o envio de dados sensorizados até os usuários.

---

<sup>1</sup><https://brasil.un.org/pt-br/83427-populacao-mundial-deve-chegar-97-bilhoes-de-pessoas-em-2050-diz-relatorio-da-onu>

## 2. Material e Métodos

O desenvolvimento do hardware aqui proposto enfrenta diversos desafios, como a necessidade de mão de obra especializada, a definição dos requisitos considerando limitações de recursos como energia, tamanho físico e capacidade de processamento, além da elaboração do esquemático eletrônico e layout da PCB. Erros no hardware podem acarretar custos significativos se não forem bem planejados. Adicionalmente, para atender aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) relacionados com a agricultura, foram estabelecidos requisitos para o projeto, visando o aumento da produtividade agrícola, ampliação do poder de informação dos agricultores, monitoramento dos desperdícios de produção, mitigação dos riscos das mudanças climáticas e aperfeiçoamento da produção agrícola, bem como o maior compartilhamento de informações no setor agrícola.

### 2.1. Arquitetura do AgriSense e Componentes da PCB

A Figura 1 ilustra a arquitetura do sistema embarcado proposto (AgriSense). Essa arquitetura é responsável por determinar a estrutura, organização e conexões dos componentes eletrônicos da PCB, os quais estão descritos a seguir.

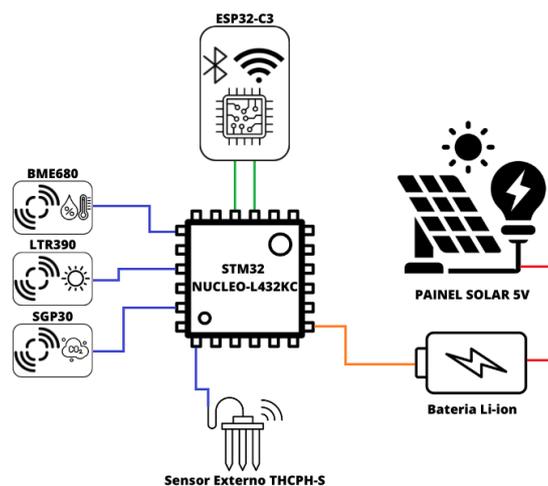


Figura 1. Arquitetura do AgriSense.

#### 2.1.1. Componentes Eletrônicos da PCB

Para o processamento e conectividade, optamos pela placa de desenvolvimento STM32 NUCLEO-L432KC como módulo de controle. Esta placa é equipada com o microcontrolador STM32L432KC, que apresenta uma arquitetura *ultra-low-power* com unidade de ponto flutuante e um núcleo ARM Cortex-M4<sup>2</sup>. Quanto à conectividade, escolhemos o módulo ESP32-C3-MINI, que possui recursos de Wi-Fi e Bluetooth 5 Low Energy, além de uma antena integrada e um núcleo RISC-V de 32 bits<sup>3</sup>. Essa combinação de hardware nos proporciona um sistema capaz de processar dados de forma eficiente e estabelecer conectividade sem fio de alta performance.

<sup>2</sup><https://www.st.com/en/evaluation-tools/nucleo-l432kc.html#documentation>

<sup>3</sup>[https://www.mouser.com/datasheet/2/891/esp32\\_c3\\_mini\\_1\\_datasheet\\_en-2578671.pdf](https://www.mouser.com/datasheet/2/891/esp32_c3_mini_1_datasheet_en-2578671.pdf)

Para o sensoriamento, selecionamos o sensor LTR-390UV-01 da Lite-On é responsável pela detecção de luz ultravioleta, possibilitando o monitoramento em tempo real da intensidade dos raios UV, o que é essencial para a análise da radiação solar no ambiente agrícola. Em seguida, o sensor SGP30-2.5k da Sensirion desempenha um papel crucial ao medir a qualidade do ar, identificando gases nocivos como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e compostos orgânicos voláteis (VOCs), o que permite monitorar a qualidade do ar de forma precisa e contínua.

Além disso, contamos com o sensor BME680 da Bosch Sensortec, um sensor de múltiplas funções que possibilita a medição da temperatura, umidade do ar, pressão atmosférica e gases voláteis. Com essa capacidade abrangente, podemos obter dados precisos sobre as condições ambientais que afetam diretamente o desenvolvimento das culturas. Por fim, o sensor de solo THCPH-S da ComWinTop é especialmente projetado para medir o pH, temperatura, condutividade elétrica e a umidade do solo, fornecendo informações cruciais para o manejo eficiente da irrigação e nutrição das plantas.

Essa combinação de sensores de alta qualidade e funcionalidades distintas nos proporciona um sistema de sensoriamento abrangente e confiável, garantindo uma coleta de dados precisa e completa para a agricultura digital.

Para a fonte de alimentação e carregamento de bateria, optamos pelo uso do módulo carregador de bateria de lítio TP4056<sup>4</sup> em conjunto com o chip DW01A<sup>5</sup>. Essa combinação oferece uma solução eficaz para carregar e proteger a bateria de lítio 18650, garantindo um processo de carregamento seguro e eficiente.

Além disso, para aproveitar fontes de energia sustentáveis, integramos uma placa solar de 5V ao sistema. Essa placa solar é responsável por captar a energia solar disponível no ambiente agrícola e convertê-la em energia elétrica para alimentar o sistema e carregar a bateria de lítio. Essa abordagem, alinhada com a sustentabilidade, contribui para a redução do consumo de energia convencional e minimiza o impacto ambiental do projeto.

## **2.2. Design e Layout da PCB**

Na próxima etapa do projeto, avançamos para a fase de desenvolvimento do layout e design da PCB. Nesse processo, fizemos uso de Software ECAD para organizar os componentes na placa, estabelecer as conexões elétricas entre eles, definir restrições de layout e realizar o roteamento das trilhas. Essa fase de layout desempenha um papel crucial no sucesso do projeto, assegurando que a PCB seja projetada de maneira precisa e otimizada para atender aos requisitos e funcionalidades propostos.

A etapa de layout e design da PCB é fundamental no processo de desenvolvimento do sistema embarcado. Nesse estágio, é necessário organizar os componentes de forma eficiente, estabelecer conexões elétricas entre eles e realizar o roteamento das trilhas. O uso de software ECAD é essencial para visualizar as conexões e garantir que todas as conexões sejam feitas corretamente.

Para o roteamento, foram definidas duas camadas: a camada superior e a camada inferior. Trilhas mais largas foram utilizadas para sinais de alta potência, enquanto trilhas mais estreitas foram destinadas a sinais de baixa potência. Além disso, foram adicionadas

---

<sup>4</sup><https://www.digikey.com/htmldatasheets/production/2049110/0/0/1/tp4056.html>

<sup>5</sup>[https://datasheet.lcsc.com/lcsc/1912111437\\_PUOLOP-DW01A\\_C351410.pdf](https://datasheet.lcsc.com/lcsc/1912111437_PUOLOP-DW01A_C351410.pdf)

vias para permitir a passagem de trilhas entre as camadas, otimizando a organização do roteamento e reduzindo interferências.

Outro aspecto importante é a criação de um plano de terra, que é crucial para interligar todos os componentes ao GND e evitar interferências. Foram adicionados planos GND nas duas camadas da placa para minimizar ruídos e auxiliar no retorno de tensão e recuperação de sinal. É relevante destacar que o plano GND foi deliberadamente deixado com certa transparência para aprimorar a visualização do roteamento na imagem. Essa abordagem permite uma melhor compreensão das conexões e trilhas, proporcionando uma representação mais clara e visualmente atrativa do layout da PCB (Figura 2).

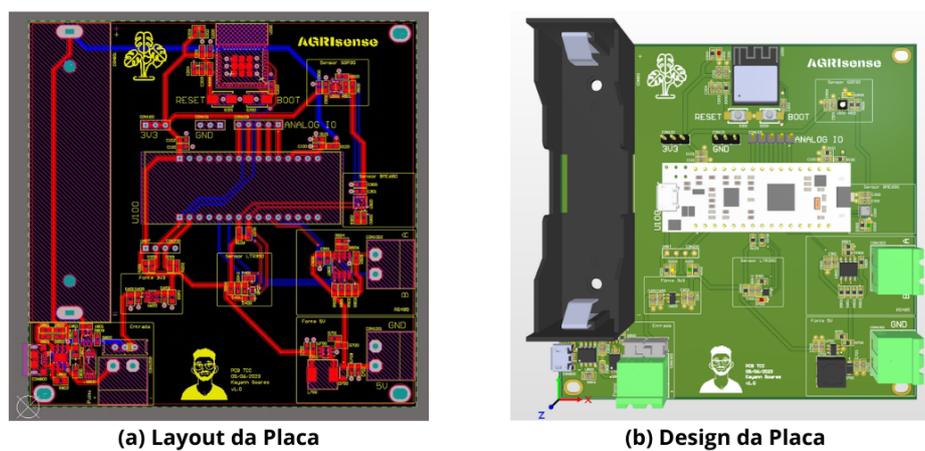


Figura 2. Design e layout da PCB do AgriSense

Após concluir o layout da placa, a etapa de visualização 3D permite obter uma visão realista e detalhada do produto final antes da produção física da placa, possibilitando a detecção de conflitos entre componentes e ajustes para obter uma distribuição equilibrada. Essa combinação de práticas no layout e design da PCB resulta em uma placa de circuito impresso otimizada, com conexões precisas e eficientes, contribuindo para o bom funcionamento do sistema embarcado na agricultura digital.

No processo de fabricação, foram definidos os parâmetros da PCB, como o tamanho, número de camadas, largura das trilhas e diâmetro dos furos. Optamos pela fabricação das placas em *Single Pieces*, com trilhas e conexões de acordo com as especificações do projeto.

### 3. Resultados

Nesta seção, abordamos os resultados alcançados durante o processo de manufatura do hardware desenvolvido. Apresentamos os detalhes referentes à fabricação da PCB, os resultados obtidos na montagem dessa PCB e, por fim, a análise da solução do sistema embarcado completa.

#### 3.1. Placa Fabricada

A PCB fabricada é composta por 5 unidades únicas, feitas de material FR4-TG 150-160, o qual oferece alta resistência estrutural. A escolha das cores verde para a *Solder Mask*



### 3.3. Custo de Produção

Nesta seção, descrevemos os custos associados à manufatura da PCB, incluindo os gastos diretos com a produção do hardware base, bem como os custos dos componentes adicionais necessários para a funcionalidade completa do sistema. Apresentamos uma visão transparente e completa do custo total do projeto, desde o investimento inicial na fabricação até o preço final para o consumidor.

**Tabela 1. Custo do AgriSense**

Quantidade	Componente	Preço
1	PCB Montada	US\$ 50,26
1	Placa NUCLEO-L432KC	US\$ 11,33
1	Sensor THCPH-S	US\$ 35,00
1	Painel Solar 5V	US\$ 5,80
1	Bateria 18650	US\$ 4,40

A Tabela 1 informa o custo total de produção, o qual inclui tanto os gastos com a manufatura da placa de circuito impresso quanto os custos decorrentes da aquisição dos componentes adicionais necessários.

O valor unitário total do sistema é de US\$ 106,79, abrangendo todos os elementos necessários para alcançar os objetivos propostos e garantindo a eficácia e qualidade do projeto. Ao comparar os valores entre o hardware proposto e esses projetos correlatos, observamos que nosso sistema embarcado apresenta um custo ligeiramente mais elevado (vide Tabela 2). Isso é devido ao uso de sensores mais precisos e confiáveis, bem como a adoção de uma arquitetura mais moderna.

**Tabela 2. Comparativo de Projetos**

Sistema Embarcado	Valor
Hardware Open Green Energy <sup>6</sup>	US\$ 97,96
Hardware Makerfabs <sup>7</sup>	US\$ 99,80
AgriSense	US\$ 106,79

Considerando o mercado nacional, o valor estimado para o AgriSense é de aproximadamente R\$ 515,00 e, após a tributação de 60%, o preço final se eleva para R\$ 824,00 (valores calculados no momento da submissão deste artigo). É relevante destacar que, mesmo após a tributação, nosso produto continua a ser consideravelmente mais acessível do que produtos similares encontrados no mercado brasileiro.

## 4. Conclusão

Este artigo propõe o AgriSense, um sistema embarcado de baixo custo para a agricultura. A escolha assertiva dos componentes eletrônicos para este projeto resultou em um hardware robusto e eficiente. O projeto é acessível e portátil, visando beneficiar agricultores familiares, ambientalistas, pesquisadores e estudantes universitários.

O AgriSense é capaz de coletar diversas variáveis essenciais para ambientes agrícolas de pequeno porte, como estufas. Os sensores de temperatura, umidade, pressão

atmosférica, luz ambiente, raios UV, qualidade do ar, CO<sub>2</sub> e variáveis do solo permitem um ajuste adequado da irrigação, ventilação, iluminação e manejo do solo, garantindo um ambiente saudável e favorecendo o crescimento das plantas.

É importante ressaltar que, embora tenhamos progredido na criação do hardware, a programação do firmware e os testes ficaram para estudos futuros. Além disso, o AgriSense está diretamente alinhado com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável #2 (Acabar com a fome e promover a agricultura sustentável) e #13 (Tomar medidas urgentes para combater as mudanças climáticas e seus impactos), e é um projeto de *hardware* livre (*open-source hardware*), portanto na agenda atual da Ciência Aberta, e cujos esquemáticos e imagens estão disponíveis para livre acesso em repositório público.

## Referências

- Ayaz, M., Ammad-Uddin, M., Sharif, Z., Mansour, A., and Aggoune, E.-H. M. (2019). Internet-of-things (iot)-based smart agriculture: Toward making the fields talk. *IEEE access*, 7:129551–129583.
- Buchmann, J., Göpfert, F., Güneysu, T., Oder, T., and Pöppelmann, T. (2016). High-performance and lightweight lattice-based public-key encryption. In *Proceedings of the 2nd ACM international workshop on IoT privacy, trust, and security*, pages 2–9.
- Campos, G. S., Rocha, A. R., Gondim, R., Coelho da Silva, T. L., and Gomes, D. G. (2019). Smart green: An internet-of-things framework for smart irrigation. *Sensors*, 20(1):190.
- Energy, O. G. (2023). Solar powered wifi weather station v3.3. Acessado em: 27 de Julho de 2023.
- Friha, O., Ferrag, M. A., Shu, L., Maglaras, L., and Wang, X. (2021). Internet of things for the future of smart agriculture: A comprehensive survey of emerging technologies. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 8(4):718–752.
- Kondaveeti, H. K., Kumaravelu, N. K., Vanambathina, S. D., Mathe, S. E., and Vappangi, S. (2021). A systematic literature review on prototyping with arduino: Applications, challenges, advantages, and limitations. *Computer Science Review*, 40.
- Makerfabs (2023). Industrial grade soil remote monitor. Acessado em: 27 de Julho de 2023.
- Mesas-Carrascosa, F., Verdú Santano, D., Meroño, J., Sánchez de la Orden, M., and García-Ferrer, A. (2015). Open source hardware to monitor environmental parameters in precision agriculture. *Biosystems Engineering*, 137:73–83.
- Meybeck, A. and Gitz, V. (2010). "climate-smart" agriculture: Policies, practices, and financing for food security, adaptation and mitigation.
- Sengupta, A., Debnath, B., Das, A., and De, D. (2021). Farmfox: A quad-sensor-based iot box for precision agriculture. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 10(4):63–68.
- Sharma, V., Tripathi, A. K., and Mittal, H. (2022). Technological revolutions in smart farming: Current trends, challenges future directions. *Computers and Electronics in Agriculture*, 201:107217.