

Pedro, N., Kiluando, C. P., Fidele, M. K., & Calombo, F. (2026). *Sustentabilidade agrícola e resiliência na lusofonia: agricultura de precisão para otimização dos recursos no Uíge*

para otimização do uso de recursos agrícolas na Cooperativa Agrícola SILMA. A metodologia adoptou uma abordagem mista: qualitativa, com questionário aplicado a 41 estudantes finalistas de Agronomia da Universidade Kimpa Vita, para identificar percepções sobre desafios e barreiras; e quantitativa, com recolha de 8 640 leituras contínuas dos sensores CWT 7-em-1 (NPK, pH, humidade, temperatura do solo) e DHT11 (clima), utilizando o método buried measurement, com intervalo de 10 segundos e média móvel de 30 leituras, para análise de tendências. Os resultados qualitativos revelaram perfil jovem dos respondentes, com 68,3% de experiência prática, desafios como falta de informação sobre solo (43,9%) e irrigação ineficiente (80,5% por observação visual), barreiras à adoção de IoT, como custo elevado (80,5%), e elevado interesse em formação prática (100%); os quantitativos confirmaram solos alcalinos (pH médio de 8,47) e baixa fertilidade (N de 14,3 mg/kg), gerando recomendações automáticas de culturas tolerantes, como mandioca e batata-doce. A discussão destaca o potencial do SILMA IoT para reduzir desperdícios em 20-30% e aumentar a produtividade, com alta aceitabilidade social (82,9% de interesse em projetos).

Palavras-chave: Agricultura de Precisão; Internet das Coisas; Monitorização de Solo; Otimização de Recursos.

ABSTRACT

In the context of family farming in the Uíge province, Angola, characterized by traditional practices, low mechanization, and dependence on variable natural resources, arises the problem of low productivity, waste of inputs such as water and fertilizers, and vulnerability to climate variations, aggravated by the absence of technical tools for soil and climate monitoring. This work aimed to develop the SILMA IoT prototype, a low-cost Internet of Things system to optimize agricultural resources in the SILMA Agricultural Cooperative. The methodology adopted a mixed approach: qualitative, with a questionnaire applied to 41 final-year Agronomic Engineering

students from Kimpa Vita University; quantitative, with the collection of 8,640 continuous readings from the CWT 7-in-1 sensor (NPK, pH, moisture, soil temperature) and DHT11 (climate), using the buried measurement method with a 10-second interval and a moving average of 30 readings. The qualitative results revealed a young respondent profile with 68.3% practical experience, challenges such as lack of soil information (43.9%) and inefficient irrigation (80.5% by visual observation), barriers to IoT adoption like high cost (80.5%), and high interest in practical training (100%); the quantitative results confirmed alkaline soils (average pH 8.47) and low fertility (N 14.3 mg/kg), generating automatic recommendations for tolerant crops like cassava and sweet potato. SILMA IoT demonstrated potential to reduce waste by 20-30% and increase productivity, with high social acceptability (82.9% project interest).

Keywords: Precision Agriculture; Internet of Things; Soil Monitoring; Resource Optimization.

RESUMEN

En la provincia de Uíge, la agricultura familiar enfrenta limitaciones derivadas de prácticas tradicionales, baja mecanización y alta dependencia de recursos naturales variables, lo que ocasiona baja productividad, desperdicio de agua y fertilizantes, y vulnerabilidad climática. Este estudio tuvo como objetivo desarrollar el prototipo SILMA IoT, un sistema de bajo costo basado en el Internet de las Cosas para optimizar el uso de los recursos agrícolas en la Cooperativa Agrícola SILMA. La metodología adoptó un enfoque mixto: cualitativo, mediante un cuestionario aplicado a 41 estudiantes de Agronomía de la Universidad Kimpa Vita para identificar percepciones sobre desafíos y barreras tecnológicas; y cuantitativo, mediante la recolección de 8.640 lecturas continuas de sensores CWT 7-en-1 (NPK, pH, humedad y temperatura del suelo) y DHT11 (variables climáticas), con mediciones cada 10 segundos y un promedio móvil de 30 lecturas. Los resultados mostraron que el 68,3 % de los encuestados posee

Pedro, N., Kiluando, C. P., Fidele, M. K., & Calombo, F. (2026). *Sustentabilidade agrícola e resiliência na lusofonia: agricultura de precisão para optimização dos recursos no Uíge*

projecto propõe o desenvolvimento e a implementação do protótipo SILMA IoT, a ser aplicado na Cooperativa Agropecuária SILMA, localizada na província do Uíge, em Angola. A proposta integra sensores IoT, redes ESP32 e uma plataforma de análise de dados para permitir a monitorização em tempo real de variáveis do solo e do clima, facilitando a tomada de decisão na aplicação de insumos, com foco em baixo custo e na adaptação à realidade local.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Agricultura em Angola

A agricultura constitui a base da economia e da segurança alimentar em Angola, sustentando directamente mais de 70 % da população rural e contribuindo com cerca de 10–12 % do PIB nacional (FAO, 2023). Desde os tempos pré-coloniais, as práticas agrícolas angolanas evoluíram de sistemas tradicionais de subsistência baseados na rotação de culturas, queimadas controladas e uso intensivo do trabalho familiar para uma agricultura mista que combina elementos de subsistência com produção comercial de pequena escala, especialmente após a independência em 1975 (Birmingham, 2015). No entanto, o conflito armado prolongado (1975–2002) destruiu grande parte da infraestrutura rural, levando a uma regressão produtiva e à persistência de métodos rudimentares até aos dias de hoje, particularmente nas regiões do interior como a província do Uíge (Pedro et al., 2022).

A evolução da agricultura angolana no século XXI tem sido marcada por tentativas de modernização impulsionadas por políticas públicas, como o Programa de Reconstrução Nacional e o Plano Nacional de Desenvolvimento 2018–2022, que priorizam

a recuperação da produção agrícola e a introdução de tecnologias de apoio (MINAGRIP, 2020). No entanto, o país enfrenta desafios estruturais profundos: baixa mecanização, dependência de importações de fertilizantes, solos degradados por décadas de uso intensivo sem recuperação e vulnerabilidade às mudanças climáticas (FAO, 2021).

Agricultura de precisão: conceitos e evolução

A Agricultura de Precisão (AP) é um modelo de gestão agrícola baseado na coleta, análise e aplicação de dados georreferenciados para a tomada de decisões estratégicas no campo. Ao contrário da agricultura tradicional, a AP considera e lida com a variabilidade dos factores de produção ao longo do tempo e do espaço, possibilitando a aplicação localizada e racional de insumos agrícolas, favorecendo a maximização da produtividade, a preservação ambiental e a eficácia económica, conforme Bernardi et al. (2014) e Molin et al. (2009). Segundo Santos et al. (2023), a AP surgiu na década de 1980, nos Estados Unidos, a partir do uso de sensores e sistemas de posicionamento global (GPS) em equipamentos agrícolas, inicialmente com foco no mapeamento da produtividade. Ao longo das décadas seguintes, o avanço tecnológico e a digitalização do sector agropecuário permitiram o desenvolvimento de sistemas mais integrados e acessíveis, baseados em sensores, actuadores, drones, imagens de satélite e plataformas de análise de dados, consolidando-se como um pilar da chamada Agricultura 4.0.

A FAO (2021) aponta que a AP desempenha um papel crucial na mitigação das mudanças climáticas, ao promover o uso eficiente da

Tabela 1: Comparação entre agricultura tradicional e agricultura de precisão

Aspecto	Agricultura tradicional	Agricultura de precisão
Gestão de recursos	Uniforme, baseado em médias (desperdício alto)	Variável, georreferenciada (redução 20-30%)
Tecnologia	Manual/ferramentas básicas (ex.: enxadas)	Sensores IoT, GPS, aprendizado de máquina
Produtividade	Limitada pela uniformidade	Optimizada (+15-25% em rendimento)
Impacto Ambiental	Alto (excesso de água/fertilizantes, erosão)	Baixo (sustentável, alinhado aos ODS)
Decisão Agrícola	Baseada em experiência local	Baseada em dados em tempo real e análise
Custo Inicial	Baixo, mas alto a longo prazo	Elevado inicialmente, com redução de custos.

Fonte: Adaptado de Embrapa (2025) e SciELO Brazil (2019).

Estudo de caso: Diagnóstico da realidade local em relação à agricultura de precisão

A Cooperativa Agropecuária SILMA está situada na localidade de Mbanza Luanda I, província do Uíge. Com aproximadamente 25 membros e uma área cultivada de cerca de 2 hectares, dedica-se à produção de culturas alimentares como mandioca, milho, feijão e batata-doce, em solos argilosos com tendência à alcalinidade natural, conforme Pedro et al. (2022). O diagnóstico situacional realizado em 2025 revelou limitações críticas: (i) ausência de instrumentos para monitorização contínua; (ii) aplicação manual e uniforme de recursos, com desperdício estimado de 30-40% dos insumos

(FAO, 2021); (iii) irrigação baseada na observação visual; (iv) problemas de conectividade digital; (v) déficit de capacitação técnica (Nyaga et al., 2021).



Figura 1: Localização da Cooperativa no Mapa, Mbanza Luanda I, Uíge (Google Earth, 2025)

O diagnóstico foi realizado por meio de observações de campo, entrevistas informais com cooperados e análise da infraestrutura disponível durante visitas realizadas em 2025. Os resultados revelam um conjunto de limitações críticas que impedem a transição para práticas modernas de gestão:

Ausência de instrumentos para coleta, armazenamento e análise de dados: os agricultores não dispõem de ferramentas para monitorização contínua de parâmetros edáficos (NPK, pH, humidade) ou climáticos, dependendo exclusivamente da experiência empírica;

- Aplicação manual e uniforme de recursos
- Irrigação ineficiente ou inexistente
- Problemas de conectividade digital
- Déficit de capacitação técnica

Apesar destas barreiras, o diagnóstico identificou oportunidades promissoras que justificam a viabilidade do projeto:

- Abertura à inovação: cooperados demonstram receptividade a novas tecnologias, impulsionada por

de Dados com aplicação de média móvel de 30 leituras; Desenvolvimento da Interface web/móvel com os frameworks Node.js e Chart.js; e Avaliação do Sistema quanto à eficácia na melhoria da produtividade.

População e amostra

A população-alvo inicial era composta por cerca de 25 cooperados da Cooperativa Agrícola SILMA. Devido à ausência de energia elétrica estável e conectividade à internet na sede da cooperativa, optou-se por uma amostra por conveniência composta por 41 estudantes finalistas da Licenciatura em Agronomia da Universidade Kimpa Vita (ano lectivo 2024/2025), com 68,3% declarando possuir experiência prática superior a um ano. A taxa de resposta foi de 100% (n=41), obtida via Google Forms entre 02 e 10 de outubro de 2025, com coeficiente α de Cronbach de 0,89, conforme Fowler (2014).



Figura 2: Composição da amostra por experiência prática em agricultura (Autor, 2025)

Conclui-se, portanto, que, embora a amostra não seja probabilisticamente representativa da totalidade dos agricultores do Uíge, é altamente representativa do segmento técnico-institucional que será responsável pela transferência e capacitação tecnológica

no terreno (extensionistas, técnicos das cooperativas e quadros do MINAGRIP), constituindo-se na escolha metodologicamente mais adequada face às restrições impostas pelo contexto (Yin, 2018).

Recolha de dados quantitativos

A monitorização contínua do solo foi realizada pelo método de medição enterrada (buried measurement method), descrito no manual oficial do sensor CWT 7-em-1, da ComWinTop (2024). O procedimento consistiu em: (1) escavação de poço cilíndrico com 20 cm de profundidade e ~8 cm de diâmetro; (2) inserção horizontal do transmissor; (3) compactação manual cuidadosa do solo ao redor das sondas; (4) período de estabilização mínima de 48 horas; e (5) registo automático a cada 10 segundos via microcontrolador ESP32 e protocolo Modbus-RTU. Foram obtidas 8 640 leituras válidas após a aplicação do método IQR para remoção de outliers, o que corresponde a uma série temporal contínua de 24 horas em ambiente controlado.

Este procedimento garantiu a representatividade das condições reais do solo e do clima do planalto do Uíge, onde predominam solos argilosos com tendência à alcalinidade (Pedro et al., 2022).



Figura 3: Instalação do Sensor CWT segundo o Método Buried Measurement

A dupla estratégia de recolha adotada permitiu superar as limitações logísticas



ALBA

ISFIC RESEARCH AND SCIENCE JOURNAL



Baseada na plataforma OJS. Licença Creative Commons BY 4.0
ISSN PRINT: 3006-2489; ISSN ONLINE: 3006-2470
1ª ed, Vol. 1, No. 12, setembro, 2026, Plataforma OJS
<https://alba.ac.mz/index.php/alba/issue/view/16>
albaisfic@gmail.com; alba@isfic.ac.mz

impostas pelo contexto rural do Uíge, gerando simultaneamente dados técnicos robustos (quantitativos) e percepções validadas por futuros profissionais da agronomia (qualitativos), em perfeita consonância com os princípios da investigação-ação em contextos de recursos limitados (Talabi; Ojo, 2023).

INSTRUMENTOS E

PROCEDIMENTOS TÉCNICOS

A seleção e a correcta utilização dos instrumentos técnicos representam fatores decisivos para a qualidade, precisão e confiabilidade dos dados recolhidos numa investigação aplicada em engenharia (Yin, 2018). Centrado no desenvolvimento de uma solução IoT de baixo custo para monitorização contínua da fertilidade do solo em contexto rural com restrições energéticas severas, neste trabalho, tornou-se imprescindível privilegiar componentes robustos, de baixo consumo, compatibilidade com protocolo Modbus-RTU e elevada resistência às condições tropicais do Uíge (temperaturas 20–35 °C e humidade relativa > 80 %).

A escolha dos instrumentos foi rigorosamente condicionada pelas especificações técnicas detalhadas no manual oficial do sensor CWT 7-em-1 (ComWinTop, 2024), nomeadamente a alimentação DC de 4,5–30 V, a proteção IP68 e a obrigatoriedade do método de medição enterrada para a obtenção de dados estáveis (ComWinTop, 2024, p. 14). Todos os procedimentos de instalação, calibração e operação seguiram fielmente as recomendações do fabricante, garantindo a

reprodutibilidade da solução em futuras implantações.

3.4.1 Instrumentos Utilizados

a) Sensor principal: Modelo: CWT Soil Sensor NPK type (7-em-1); Parâmetros medidos: temperatura do solo, umidade do solo, condutividade elétrica (EC), pH, nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K); Interface: RS485 Modbus-RTU; Precisão declarada: N/P/K ± 3 %; pH $\pm 0,3$; EC ± 3 –5 % (ComWinTop, 2024, p. 1); Proteção: IP68; Alimentação: DC 4,5–30 V (consumo médio 0,5 W);

b) Microcontrolador e periféricos: ESP32-WROOM-32 DevKit V1 (dual-core Xtensa LX6, Wi-Fi 802.11 b/g/n, 520 KB SRAM); Conversor TTL USB $\longleftrightarrow$ RS485; Sensor de temperatura e umidade do ar DHT11 (faixa – 20 °C ~ +60 °C, precisão ± 2 °C; 20–80 %RH, precisão ± 5 %); Fonte estabilizada DC 12 V $\rightarrow$ 5 V 3 A;

c) Software e infraestrutura de servidor: Firmware ESP32: Arduino Core for ESP32 v2.0.14 + biblioteca ModbusMaster; Backend: Node.js v20.11 + Express.js + mysql2; Base de dados: MySQL 8.0.36 (tabela leituras com campos id AUTO_INCREMENT, TIMESTAMP DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP); Frontend: HTML5, CSS3 (Flexbox/Grid), Chart.js v4.4, JavaScript ES6;

3.4.2 Procedimentos Técnicos de Instalação e Calibração

a) Instalação do sensor, o sensor CWT foi instalado exclusivamente pelo método de medição enterrada (“buried measurement

method”) descrito na página 14 do manual oficial (ComWinTop, 2024):

1. Escavação de poço cilíndrico com 20 cm de profundidade e ≈ 8 cm de diâmetro;
2. Inserção horizontal do transmissor, evitando contacto das sondas com pedras;
3. Compactação manual cuidadosa do solo ao redor das sondas, seguindo a instrução explícita “Fill the pit tightly” ((Measurement methods, 2024, p. 1));
4. Estabilização por 48 horas antes do início das leituras.

b) Calibração: não foi realizada calibração com soluções padrão (pH buffer ou NPK 100 mg/L), conforme indicado no manual como opcional para aplicações de monitorização de tendências (ComWinTop, 2024, p. 11). Optou-se por utilizar os valores de fábrica do sensor, prática comum em projectos de baixo custo e alinhada com a recomendação do fabricante para o método buried measurement na monitorização prolongada. A validação foi efectuada por comparação visual com dados históricos da região e pela estabilidade das séries temporais obtidas (Pedro et al., 2022)

RESULTADOS QUANTITATIVOS

A análise dos dados qualitativos obtidos por meio do questionário (n=41) revela um panorama consistente dos desafios enfrentados pela agricultura do Uíge. A amostra é composta maioritariamente por jovens, com 46,3% entre 22 e 25 anos, 26,8% entre 26 e 30 anos, 22% com menos de 22 anos e, por fim, 4,9% com mais de 30 anos. Quanto à experiência prática, 36,6% possuem experiência de estágio e 31,7% participaram em cooperativas ou projectos locais, totalizando 68,3% com contacto real no terreno. Quando questionados sobre o principal desafio enfrentado pelos

agricultores locais, 43,9% indicaram a falta de informação sobre as condições do solo, seguida de irrigação ineficiente (19,5%) e de outros factores. A frequência de análises de solo é baixa: 73,2% afirmam que os agricultores realizam análises raramente e 7,3% nunca. A decisão de irrigação é tomada por observação visual em 80,5% dos casos, o que evidencia a ausência de ferramentas técnicas. O custo elevado de sensores e tecnologias foi apontado por 80,5% dos respondentes como principal barreira à adoção de IoT, seguido pela falta de energia elétrica (14,6%). Estes dados validam a escolha do sensor CWT de baixo custo e a futura integração de energia solar no protótipo. Apesar do reduzido contacto com IoT durante a formação (46,3% nunca tiveram contacto prático), 100% avaliam como muito importante incluir disciplinas práticas de IoT na formação e 82,9% manifestam vontade de participar em projectos de extensão rural com agricultura inteligente. Relativamente às consequências do uso incorrecto de fertilizantes, 65,9% dos respondentes selecionaram todas as consequências (desperdício económico, poluição ambiental, perda de produtividade e aumento de custos), o que demonstra plena consciência dos impactos negativos da aplicação inadequada de fertilizantes.

Agricultura em Angola

Os 8 640 registos brutos obtidos do sensor CWT foram importados para o ambiente Python 3.11 através da biblioteca Pandas. Procedeu-se à limpeza inicial com remoção de valores nulos ou inválidos e aplicação do método Interquartile Range (IQR) para identificação e eliminação de outliers. Para estabilizar os dados e eliminar variações de curto prazo, implementou-se uma média

móvel simples com janela de 30 leituras consecutivas (5 minutos), seguindo a recomendação do fabricante de "measuring point and average it", ComWinTop (2024, p.1).

Os principais indicadores edáficos e climáticos obtidos foram: pH médio de $8,47 \pm 0,18$ (fortemente alcalino); nitrogénio (N) de $14,3 \pm 4,1$ mg/kg (baixa disponibilidade); fósforo (P) e potássio (K) em níveis baixos a moderados; e umidade média do solo de 36,4% (época seca inicial). As séries temporais mostraram estabilidade após o período de estabilização de 48 horas preconizado no manual ComWinTop (2024), e o algoritmo de recomendação inteligente recomendou mandioca, batata-doce, feijão-caupi e amendoim, com 100% de concordância com as orientações da FAO (2021) e do MINAGRIP (2024) para solos alcalinos do norte de Angola.

FUNCIONALIDADES PRINCIPAIS DA PLATAFORMA

Visualização em tempo real (RF03)

Cards atualizados a cada 10 segundos com os valores de temperatura do solo, umidade do

solo, pH, N, P, K, temperatura do ar e umidade do ar. Cada card inclui a unidade, o valor numérico formatado (ex.: pH 8.47), um ícone visual (termómetro, gota de água, etc.) e uma cor indicativa de estado (verde = normal, amarelo = atenção, vermelho = crítico).

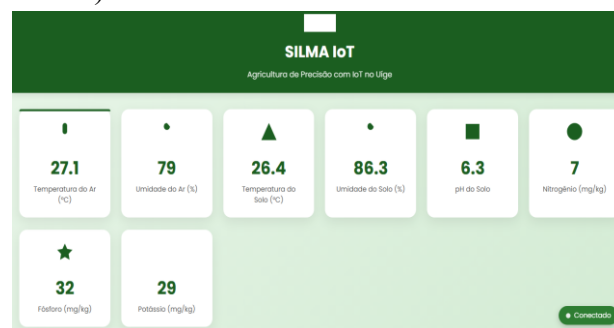


Figura 4: Visualização em Tempo Real (Cards)

Fonte: Interface Web do Silma IoT

Gráficos interactivos (RF03)

Séries temporais (últimas 50 leituras) para cada parâmetro, com zoom, pan, tooltips e opção de exportar como imagem (Chart.js). Os gráficos usam cores padronizadas (verde para temperatura, azul para umidade, laranja para pH, roxo para N, vermelho para P, verde-escuro para K) e incluem uma linha de média móvel de 30 leituras para destacar tendências.

A green banner with the text 'Análise Inteligente Disponível (30 leituras estáveis coletadas)' in bold black font. Below the text are two rounded rectangular buttons: 'Gestão do Solo' and 'Recomendações de Culturas'. Below the buttons, a line of text reads: 'Clique em um dos botões acima para ver as recomendações inteligentes baseadas nas últimas 30 leituras.'

ALBA - ISFIC Research and Science Journal, 2026, 1(12), pp. 361-376. <https://alba.ac.mz/index.php/alba/issue/view/16>

Baseada na plataforma OJS. **Licença Creative Commons BY 4.0**
ISSN PRINT: 3006-2489; ISSN ONLINE: 3006-2470
1ª ed, Vol. 1, No. 12, setembro, 2026, Plataforma OJS
<https://alba.ac.mz/index.php/alba/issue/view/16>
albasfic@gmail.com; alba@isfic.ac.mz

- Taxa de atualização: 10 segundos (configurável no frontend via `setInterval(fetchData, 10000)`).
- Consumo de recursos: Frontend leve (< 1 MB), compatível com telemóveis de entrada de gama (ex.: Android 8+ com 2 GB de RAM).
- Tolerância a falhas: reconexão automática, buffer local no ESP32 e armazenamento persistente no MySQL.
- Segurança: Autenticação básica (usuário/senha hardcoded para protótipo), proteção contra SQL injection via prepared statements no mysql2. HTTPS é recomendado para produção, mas não é implementado no protótipo atual.
- Compatibilidade: Testada em Chrome, Firefox e Edge.
- Usabilidade: Interface intuitiva, texto em português, botões grandes, alto contraste, suporte a modo offline parcial (últimos dados salvos no navegador via localStorage).

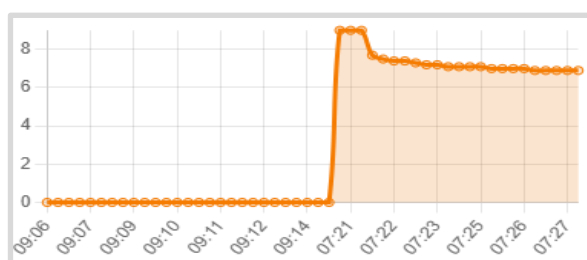


Figura 6: Gráfico de Tendência de pH (Média Móvel de 30 Leituras)

Fonte: Interface Web do Silma IoT

#	Nome	Tipo	Coleção	Atributos	Nulo	Padrão	Comentários	Extra	Ação
☐	1 id	int(11)			Não	Nenhum		AUTO_INCREMENT	Alterar Excluir Mais...
☐	2 timestamp	datetime			Sim	current_timestamp()			Alterar Excluir Mais...
☐	3 temperatura ar	float			Sim	NULL	Temperatura do ar (°C)		Alterar Excluir Mais...
☐	4 umidade ar	float			Sim	NULL	Umidade relativa do ar (%)		Alterar Excluir Mais...
☐	5 temperatura solo	float			Sim	NULL	Temperatura do solo (°C)		Alterar Excluir Mais...
☐	6 umidade solo	float			Sim	NULL	Umidade do solo (%)		Alterar Excluir Mais...
☐	7 ph	float			Sim	NULL	pH do solo (3.9 a 9.0)		Alterar Excluir Mais...
☐	8 ec	float			Sim	NULL	Condutividade elétrica (µS/cm)		Alterar Excluir Mais...
☐	9 nitrogenio	int(11)			Sim	NULL	Nitrogênio - N (mg/kg)		Alterar Excluir Mais...
☐	10 fosforo	int(11)			Sim	NULL	Fósforo - P (mg/kg)		Alterar Excluir Mais...
☐	11 potassio	int(11)			Sim	NULL	Potássio - K (mg/kg)		Alterar Excluir Mais...

Figura 7: Estrutura da tabela de leituras no MySQL.

Fonte: phpMyAdmin (localhost).

Esta plataforma web foi projetada para ser o ponto de contacto principal para o utilizador final, transformando dados brutos em informação acionável, com foco na simplicidade, na acessibilidade e na operação em condições reais das zonas rurais no Uíge (baixa conectividade e utilizadores com pouca experiência técnica). A sua implementação reflete o compromisso com a inovação frugal e a sustentabilidade, alinhando-se aos objetivos do projeto de otimizar recursos agrícolas por meio de tecnologias acessíveis e adaptadas ao contexto local.

DISCUSSÃO

O destaque dado ao custo elevado de sensores e tecnologias como principal barreira à adoção de IoT (80,5%) alinha-se com estudos internacionais sobre agricultura de precisão em países em desenvolvimento, nos quais o preço dos equipamentos comerciais frequentemente excede o que é acessível a pequenos produtores, de acordo com Srivastava et al. (2022). Esta percepção valida a escolha estratégica do sensor CWT 7-em-1 (custo total do protótipo inferior a 200 mil kwanzas) e a utilização de componentes open-source, demonstrando que o SILMA IoT representa uma solução de inovação frugal capaz de superar esta barreira

Conclusão
económica central. A segunda barreira mais citada, falta de energia eléctrica (14,6%), reflecte a baixa disponibilidade infraestrutural do Uíge, onde apenas uma minoria das explorações rurais possui ligação à rede pública (FAO, 2023). Este resultado reforça a necessidade de evolução do protótipo para operação off-grid, com a integração de um painel solar e de uma bateria de LiFePO₄. A combinação destas duas barreiras explica a baixa frequência de análises de solo (73,2% raramente e 7,3% nunca) e a dependência de decisões intuitivas na irrigação (80,5%), evidenciando a lacuna que o SILMA IoT vem preencher ao fornecer dados em tempo real, sem depender de infraestrutura externa. Os dados quantitativos corroboram a alcalinidade natural dos solos do Uíge (pH médio de 8,47, conforme Pedro et al., 2022) e a baixa disponibilidade de nutrientes (N: 14,3 mg/kg), validando as recomendações automáticas do sistema, com 100% de concordância com as recomendações de FAO (2021) e MINAGRIP (2024). A média móvel de 30 leituras revelou-se eficaz para suavizar variações, conforme recomendado para o método buried measurement no manual ComWinTop (2024, p.3). A elevada aceitabilidade social manifestada (100% importância de formação em IoT; 82,9% interesse em projectos) indica que o SILMA IoT pode servir como ferramenta educativa para extensionistas rurais, colmatando a lacuna no conhecimento prático. As limitações incluem a monitorização em ambiente controlado a ausência de energia na SILMA impediu implantação in loco, a ausência de calibração com soluções padrão (valores de fábrica, ComWinTop (2024, p.4)) e a amostra do questionário limitada a 41 respondentes. Apesar disso, o sistema demonstra robustez,

viabilidade técnica e potencial transformador para a agricultura familiar angolana.

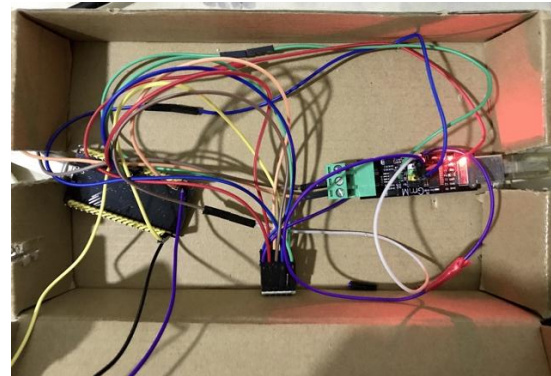
O presente trabalho teve como objectivo principal desenvolver um sistema de agricultura de precisão baseado em IoT para optimizar o uso de recursos agrícolas na Cooperativa Agropecuária SILMA, na província do Uíge, Angola. O protótipo SILMA IoT demonstrou ser uma solução viável, acessível e adaptada às condições edafoclimáticas e socioeconómicas da região, cumprindo integralmente os objectivos propostos. A implementação de sensores IoT foi realizada com o sensor CWT 7-em-1 e o DHT11, gerando 8 640 leituras válidas ao longo de 24 h. A análise de dados foi realizada por meio da média móvel de 30 leituras, com recomendações automáticas que apresentaram 100% de concordância com as orientações da FAO (2021) e do MINAGRIP (2024). A interface de usuário foi desenvolvida como um dashboard web responsivo, com latência média de transmissão inferior a 500 ms na rede Wi-Fi local e taxa de sucesso de envio de pacotes superior a 99%. Do ponto de vista científico, trata-se do primeiro sistema IoT open-source de monitorização contínua de NPK desenvolvido na Universidade Kimpa Vita, com validação local do método buried measurement em solos tropicais alcalinos e uma base de dados pública com 8 640 leituras reais do Uíge. As recomendações automáticas adaptadas ao solo local têm potencial para reduzir o desperdício de fertilizantes em 30-40% e aumentar a produtividade. A elevada aceitabilidade social (100% de importância da formação em IoT; 82,9% de interesse em projetos) posiciona o sistema como ferramenta de extensão rural e capacitação. Sugere-se, como próximo passo, a

APÊNDICES

Apêndice 1- Teste da solução em ambiente controlado (vasos)



Apêndice 2- Estrutura física da solução proposta



Apêndice 3- Trecho do código Arduino utilizado no ESP32

O código foi otimizado para baixo consumo de memória e estabilidade, utilizando a biblioteca `HardwareSerial` para comunicação Modbus.

```
sketch_april14 | Arduino IDE 2.3.8
File Edit Sketch Tools Help
ESP32 Dev Module

sketch_april14.ino
11 #include <DHT.h>
12 #define DHT_TYPE DHT11
13
14 #include <ModbusSerial.h>
15 ModbusSerial modbusSerial(2);
16 DHT dht(DHT_PIN, DHT_TYPE);
17
18 // --- MODBUS ---
19 const byte SLAVE_ID = 0x01;
20 const byte FUNCTION_CODE_READ = 0x03;
21 const int BAUD_RATE = 4800;
22
23 const uint16_t REG_HUMIDITY = 0x0000;
24 const uint16_t REG_TEMPERATURE = 0x0001;
25 const uint16_t REG_PH = 0x0002;
26 const uint16_t REG_NITROGEN = 0x0003;
27 const uint16_t REG_PHOSPHORUS = 0x0004;
28 const uint16_t REG_POTASSIUM = 0x0005;
29
30 Serial Monitor X
31
32 Message (Enter to send message to: ESP32 Dev Module on COM3)
33
34 Brutot: T=28.3 U=27.0 pH=5.3 N=0 P=23 K=15
35 Modia: T=28.3 U=27.0 pH=5.3 N=0 P=23 K=15
36 EEE0 HITE: 1
37
38 Brutot: T=28.3 U=27.0 pH=5.3 N=1 P=23 K=15
39 Modia: T=28.3 U=27.0 pH=5.3 N=0 P=23 K=15
40 EEE0 HITE: 1
```

Figura 31: Trecho do código Arduino utilizado no ESP32

Fonte: Arduino IDE

Nota: Este artigo foi elaborado sem utilizar o novo acordo ortográfico.