Evento Nacional enactus Brasil 2026
IV SIMPÓSIO NACIONAL EXTENSÃO
XI SNESEB
CAMPO GRANDE - MS
DE 21 À 24 DE JULHO DE 2025
UNIVERSIDADE FEDERAL DO MATO GROSSO DO SUL

AGROMIUM: PLATAFORMA DE MONITORAMENTO DE PRECISÃO PARA AGRICULTURA FAMILIAR EM COMUNIDADES QUILOMBOLAS E ASSENTAMENTOS DO PARÁ VIA IoT E GÊMEO DIGITAL

Luiz Tena Medeiros Nogueira[1]
Beatriz Rodrigues Teixeira de Jesus[2]
Evelyn Suzana Bouth Lopes [3]
Rayssa Kelly dos Santos dos Santos[4]
Silvia Leticia da Costa Azevedo[5]

Resumo

A agricultura familiar em comunidades quilombolas e assentamentos do interior do Pará enfrenta desafios estruturais no monitoramento de solo e lavoura, com acesso limitado a diagnóstico técnico especializado e elevada perda de produtividade por problemas identificados tardiamente. O Agromium é uma plataforma de monitoramento de precisão que integra sensores de umidade, salinidade, luminosidade e CO2 do solo com coleta de amostras para análise laboratorial de nutrientes, estruturada sobre a plataforma iTwin da Bentley Systems para geração de gêmeo digital georeferenciado da propriedade. O sistema inclui módulo de diagnóstico automatizado capaz de identificar déficit hídrico, deficiências nutricionais (N, P, K) e presença de pragas e doenças, comunicando alertas em tempo real ao produtor.

Palavras-chave: agricultura de precisão; gêmeo digital; IoT; comunidades quilombolas; monitoramento de solo.

[1] Graduando em AGRONOMIA , UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA UFRA luiztena8@gmail.com
[2] Graduando em AGRONOMIA, UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA UFRA beatrizrodrigues17jesus@gmail.com
[3] Graduando em ENGENHARIA AMBIENTAL E RENOVÁVEIS , UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA UFRA evelynbouth@gmail.com
[4] Graduando em AGRONOMIA , UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA UFRA rayssakellysantos94@gmail.com
[5] Graduando em ENGENHARIA FLORESTAL , UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA UFRA silvia.azevedo@discente.ufra.edu.br

Abstract

Family farming in quilombola communities and rural settlements in the state of Pará faces structural challenges in soil and crop monitoring, with limited access to specialized technical diagnosis and high productivity losses from late-identified problems. Agromium is a precision monitoring platform that integrates soil humidity, salinity, luminosity, and CO_2 sensors with on-site soil sampling for laboratory nutrient analysis, built on Bentley Systems' iTwin platform to generate a georeferenced digital twin of the farming property. The system includes an automated diagnostic module capable of identifying water deficit, nutritional deficiencies (N, P, K), and the presence of pests and diseases, delivering real-time alerts to the producer.

Keywords: precision agriculture; digital twin; IoT; quilombola communities; soil monitoring.

[1] Graduando em AGRONOMIA , UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA UFRA luiztena8@gmail.com
[2] Graduando em AGRONOMIA, UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA UFRA beatrizrodrigues17jesus@gmail.com
[3] Graduando em ENGENHARIA AMBIENTAL E RENOVÁVEIS , UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA UFRA evelynbouth@gmail.com
[4] Graduando em AGRONOMIA , UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA UFRA rayssakellysantos94@gmail.com
[5] Graduando em ENGENHARIA FLORESTAL , UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA UFRA silvia.azevedo@discente.ufra.edu.br

INTRODUÇÃO

A agricultura familiar representa mais de 70% dos estabelecimentos rurais brasileiros e responde por parcela significativa da produção de alimentos básicos do país (IBGE, 2017). No estado do Pará, comunidades quilombolas e assentamentos rurais conduzem suas atividades produtivas, em sua maioria, sem acesso a assistência técnica permanente, análise de solo regular ou ferramentas de diagnóstico fitossanitário, condições que contribuem diretamente para perdas de produtividade evitáveis e uso ineficiente de insumos como água, fertilizantes e defensivos (EMBRAPA, 2022).

O Agromium é uma plataforma de monitoramento agrícola de precisão desenvolvida por estudantes de Agronomia da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) no contexto do iTwin4Good Challenge 2026, competição promovida pela Bentley Systems em parceria com a Enactus. O sistema integra sensores de solo com coleta laboratorial de nutrientes e análise meteorológica, estruturado sobre a plataforma iTwin para geração de um gêmeo digital georeferenciado da propriedade, com módulo de diagnóstico automatizado acessível ao produtor em tempo real.

O projeto é desenvolvido em parceria direta com comunidades do município de Acará e da ilha do Marajó, no Pará, locais com acesso a redes de produtores identificados pela Federação Quilombola regional, garantindo que o desenvolvimento tecnológico seja orientado por necessidades reais validadas em campo.

REVISÃO DA LITERATURA

A agricultura de precisão compreende o conjunto de tecnologias e estratégias para o manejo diferenciado de insumos com base na variabilidade espacial e temporal de atributos do solo e das plantas (MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015). Originalmente desenvolvida para grandes propriedades com maquinário pesado, a disseminação de sensores de baixo custo e

plataformas de computação em nuvem tem tornado viável sua aplicação em contextos de agricultura familiar (PIVOTO et al., 2018).

Sensores capacitivos de umidade do solo, como o modelo amplamente documentado na literatura, permitem medição contínua da umidade volumétrica sem contato elétrico direto com a solução do solo, reduzindo corrosão e aumentando a vida útil do equipamento em ambientes tropicais úmidos (COBOS; CAMPBELL, 2007). A condutividade elétrica (CE) medida simultaneamente permite estimar a concentração de sais dissolvidos, distinguindo estresse hídrico de estresse salino diferenciação essencial para o diagnóstico correto e a recomendação de intervenção adequada.

O conceito de gêmeo digital, definido como uma réplica digital dinâmica de um objeto físico continuamente atualizada por dados em tempo real (GRIEVES; VICKERS, 2017), encontra aplicação crescente na agricultura de precisão. A plataforma iTwin da Bentley Systems foi originalmente concebida para infraestrutura de engenharia civil, mas sua arquitetura baseada em dados georeferenciados e integração nativa com sensores IoT permite adaptação ao monitoramento de propriedades rurais, associando dados de sensores ao modelo espacial da lavoura para visualização geolocalizada de anomalias.

A tecnologia LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) tem se consolidado como solução de conectividade para IoT agrícola em áreas com cobertura 4G deficiente, característica frequente em municípios do interior do Pará como Acará e nos territórios insulares do Marajó. Com alcance de 5 a 15 km em área aberta e consumo energético compatível com operação por energia solar fotovoltaica, o protocolo permite a implementação de redes de sensores autônomas em propriedades rurais remotas (RAZA; KULKARNI; GUPTA, 2017).

Estudos conduzidos com agricultores familiares indicam que a adoção de tecnologias de monitoramento está diretamente associada à simplicidade da interface e à integração com canais de comunicação já utilizados pelos produtores, como o WhatsApp (PIVOTO et al., 2018). Esse dado orienta decisões de design do Agromium, especialmente no módulo de alertas e na forma de entrega do diagnóstico ao usuário final.

METODOLOGIA

O desenvolvimento do Agromium segue uma metodologia em fases sequenciais, iniciando pela validação do problema em campo antes da especificação técnica definitiva do sistema, abordagem alinhada aos princípios de desenvolvimento centrado no usuário (IDEO, 2015).

A primeira fase compreende visitas de campo aos municípios de Acará e à ilha do Marajó, realizadas em parceria com a presidente da equipe Enactus UFRA, detentora de contatos diretos com a Federação Quilombola e lideranças de assentamentos locais. As visitas têm como objetivo a validação da hipótese central de que produtores de agricultura familiar da região perdem produtividade por não identificar a tempo problemas de solo e lavoura por meio de entrevistas semiestruturadas com produtores, observação in loco das condições agronômicas e verificação da infraestrutura de conectividade disponível nas propriedades.

A segunda fase prevê a instalação do primeiro nó sensor em propriedade parceira. O nó sensor é composto por microcontrolador ESP32 com conectividade WiFi e Bluetooth integrada, sensor capacitivo de umidade e condutividade elétrica do solo, sensor de luminosidade BH1750, sensor de temperatura e umidade do ar DHT22, e sensor de CO_2 MH-Z19B. Em propriedades sem cobertura 4G, o nó se comunicará via módulo LoRa SX1276 com um gateway LoRaWAN local, que encaminha os dados ao servidor via rede disponível. O sistema é alimentado por painel solar de 10 W com bateria LiPo de 5.000 mAh, garantindo operação autônoma de até 72 horas sem incidência solar.

A coleta de amostras de solo será realizada com trado de solo em pelo menos três pontos georeferenciados da propriedade, nas profundidades de 0–20 cm e 20–40 cm. As amostras serão enviadas a laboratório parceiro preferencialmente da EMBRAPA Amazônia Oriental ou da própria UFRA, para análise de macro e micronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S), pH, matéria orgânica e textura.

Os dados de sensores e de análise laboratorial são integrados à plataforma iTwin da Bentley Systems, onde o modelo georeferenciado da propriedade é construído a partir de

imagens aéreas coletadas por drone cedido pela Enactus. Sobre este modelo espacial, camadas de dados são sobrepostas: zonas de umidade, mapa de fertilidade por ponto de coleta, histórico meteorológico e estado atual dos sensores. O resultado é um gêmeo digital dinâmico da fazenda, atualizado em tempo real pelos sensores instalados.

O módulo de diagnóstico é o componente central do Agromium do ponto de vista agronômico. Com base em limiares parametrizáveis por cultura e fase fenológica, o sistema avalia continuamente os dados dos sensores e do histórico laboratorial, gerando diagnósticos automatizados classificados em quatro categorias: planta saudável, déficit hídrico, deficiência nutricional (com indicação do nutriente afetado) e presença de praga ou doença. Os diagnósticos são entregues ao produtor e ao agrônomo responsável via interface web responsiva e via alertas por WhatsApp, canal identificado como preferencial pelo perfil do público-alvo.

A Tabela 1 apresenta os principais parâmetros técnicos do sistema Agromium:

Categoria	Parâmetro	Especificação
Sensores de campo	Umidade do solo	Sensor capacitivo (CE simultânea)
Sensores de campo	Luminosidade	BH1750 (1–65.535 lux)
Sensores de campo	Temperatura e UR do ar	DHT22 (±0,5°C; ±2% UR)
Sensores de campo	CO_2	MH-Z19B (0–5.000 ppm)
Processamento	Microcontrolador	ESP32 (WiFi + BT integrado)
Conectividade	Protocolo principal	4G (urbano) / LoRaWAN (rural)
Conectividade	Alcance LoRa	5–15 km em área aberta
Energia	Fonte principal	Painel solar 10 W + LiPo 5.000 mAh
Energia	Autonomia sem sol	72 horas
Proteção	Caixa hermética	IP65 (chuva e umidade)
Análise de solo	Parâmetros	N, P, K, Ca, Mg, S, pH, MO, textura
Análise de solo	Coleta	Trado, 3 pontos, 0–20 e 20–40 cm
Plataforma digital	Gêmeo digital	Bentley iTwin (iTwin.js / TypeScript)

Plataforma digital	Base cartográfica	Imagens drone + georeferenciamento
Diagnóstico	Categorias	Saudável / Déficit hídrico / Def. nutricional / Praga-doença
Diagnóstico	Entrega ao produtor	Interface web responsiva + WhatsApp

Tabela 1 Parâmetros técnicos do sistema Agromium. Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

RESULTADOS

Espera-se demonstrar a viabilidade técnica e social de um sistema de monitoramento agrícola de precisão adaptado às condições reais de comunidades quilombolas e assentamentos rurais do Pará, com conectividade limitada, acesso restrito a energia elétrica convencional e baixo letramento digital dos produtores.

O gêmeo digital da propriedade, gerado a partir de imagens de drone e dados de sensores em tempo real integrados à plataforma iTwin, permitirá ao agrônomo responsável identificar com precisão espacial as zonas da lavoura com anomalias informação que substitui a necessidade de percorrer a propriedade inteira para diagnóstico visual. A visualização georeferenciada dos dados transforma a interface do sistema de um simples painel de números em um mapa de decisão agronômica.

O módulo de diagnóstico automatizado, calibrado para as culturas predominantes nas comunidades visitadas, deverá reduzir o intervalo entre a manifestação de um problema agronômico e a intervenção corretiva período que, nas condições atuais sem monitoramento, pode se estender por semanas até que sintomas visuais se tornem perceptíveis ao produtor.

A operação autônoma do nó sensor via energia solar, combinada à comunicação LoRaWAN em áreas sem cobertura 4G, viabiliza a implementação do sistema em propriedades remotas sem infraestrutura elétrica ou de telecomunicação convencional condição frequente nos territórios-alvo do projeto.

DISCUSSÃO

O Agromium posiciona-se na interseção entre duas lacunas documentadas: a ausência de tecnologias de monitoramento adaptadas à escala e à infraestrutura da agricultura familiar tropical, e a subutilização de plataformas de gêmeo digital em contextos agropecuários de base comunitária. Enquanto sistemas comerciais de agricultura de precisão demandam investimento inicial elevado e infraestrutura que os torna inacessíveis para produtores familiares, o Agromium é projetado desde a sua concepção para operar em condições de conectividade limitada, energia não convencional e interfaces adaptadas ao perfil do usuário final.

A escolha da plataforma iTwin como base tecnológica não é apenas uma adequação ao edital do iTwin4Good Challenge ela representa uma vantagem funcional real: a capacidade de sobrepor múltiplas camadas de dados sobre um modelo espacial da propriedade transforma o diagnóstico de pontual para territorial. O agrônomo deixa de receber uma leitura de sensor e passa a receber uma visão integrada da lavoura, com indicação precisa de onde e o quê está acontecendo.

A parceria com comunidades quilombolas e assentamentos, viabilizada pelos contatos da Enactus UFRA com a Federação Quilombola regional, cumpre um papel metodológico central: o projeto não é desenvolvido para comunidades vulneráveis, mas com elas garantindo que as decisões de design, desde os sensores utilizados até o canal de entrega do diagnóstico, sejam orientadas pelas necessidades reais identificadas em campo e não por suposições técnicas.

O componente de sustentabilidade do Agromium manifesta-se em três dimensões: ambiental, pela redução do uso excessivo de água e insumos agrícolas através do monitoramento de precisão; social, pelo acesso democrático a tecnologia antes restrita a grandes propriedades; e econômica, pela redução de perdas produtivas em populações de baixa renda com alta dependência da atividade agrícola para subsistência e geração de renda.

CONCLUSÃO

O Agromium configura-se como um modelo de inovação aplicada que integra tecnologia de ponta sensores IoT, gêmeo digital, plataforma iTwin com demandas reais de comunidades rurais vulneráveis da Amazônia. Ao desenvolver a solução de forma participativa, com validação de campo antes da especificação técnica, o projeto busca garantir não apenas viabilidade técnica, mas adoção efetiva e impacto mensurável na produtividade e na qualidade de vida dos produtores atendidos.

O desenvolvimento do sistema contribui ainda para a formação de competências técnicas interdisciplinares entre estudantes de Agronomia da UFRA, articulando conhecimentos de fisiologia vegetal, ciência de dados, eletrônica embarcada e empreendedorismo de impacto consolidando o projeto como modelo de extensão universitária tecnológica.

Alinhado à Agenda 2030 das Nações Unidas, o Agromium articula-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em especial ao ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável), ao contribuir para a segurança alimentar e produtividade de agricultores familiares; ao ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura), ao propor solução tecnológica inovadora adaptada a contextos de baixa infraestrutura; e ao ODS 10 (Redução das Desigualdades), ao democratizar o acesso a ferramentas de precisão para comunidades quilombolas e assentamentos rurais (ONU, 2015).

REFERÊNCIAS

COBOS, D. R.; CAMPBELL, C. S. Correcting raw Decagon 5TE capacitance readings to standardized soil moisture content. Application Note. Pullman: Decagon Devices, 2007.

EMBRAPA. Panorama da agricultura familiar no Brasil. Brasília: EMBRAPA, 2022. Disponível em: https://www.embrapa.br. Acesso em: mar. 2026.

GRIEVES, M.; VICKERS, J. Digital twin: mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems. In: KAHLEN, F. J.; FLUMERFELT, S.; ALVES, A. (Ed.). Transdisciplinary perspectives on complex systems. Cham: Springer, 2017. p. 85–113.

IBGE. Censo Agropecuário 2017. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: https://www.ibge.gov.br. Acesso em: mar. 2026.

IDEO. The field guide to human-centered design. San Francisco: IDEO.org, 2015.

MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. F. Agricultura de precisão. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável. Nova York: ONU, 2015.

PIVOTO, D. et al. Factors influencing the adoption of smart farming by Brazilian grain farmers. International Food and Agribusiness Management Review, v. 22, n. 4, p. 571–588, 2018.

RAZA, U.; KULKARNI, P.; SOORIYABANDARA, M. Low power wide area networks: an overview. IEEE Communications Surveys & Tutorials, v. 19, n. 2, p. 855–873, 2017.