

FUNDAÇÃO MATIAS MACHLINE

SOILTRACE: Máquina para análise de parâmetros químicos-físicos do solo

Manaus, AM

2025

Rodrigo Vinicius Amaro de Freitas

Victória Soares de Souza

Amanda Casthelle Silva e Silva

Relatório apresentado à 9ª FEMIC - Feira Mineira de Iniciação Científica.

Orientação do Prof. Emerson Leão e coorientação de Alex Sandro.

RESUMO

O presente projeto teve como objetivo o desenvolvimento de um dispositivo embarcado para análise de solo, buscando atender às demandas de agricultura e engenharia ambiental por meio de uma ferramenta capaz de coletar e processar dados físicos e químicos, como pH, umidade e nutrientes, de forma ágil e precisa. Para tal, a metodologia adotada iniciou com a realização de uma revisão bibliográfica de trabalhos publicados entre 2014 e 2025 em fontes científicas e técnicas. Em seguida, na etapa de desenvolvimento, foram integrados sensores ambientais a um microcontrolador, além de serem estabelecidas a comunicação com um banco de dados MySQL e a criação de uma interface de monitoramento remoto. O trabalho culminou em testes em campo e em condições controladas. Os resultados alcançados demonstraram que o dispositivo permitiu um aumento de precisão nas medições em até 92% e uma redução no tempo de coleta de dados em aproximadamente 40% em comparação com métodos tradicionais, possibilitando ainda o monitoramento em tempo real e o armazenamento histórico. Com isso, conclui-se que os objetivos foram alcançados, visto que a solução proposta contribui significativamente para a otimização da gestão do solo, apoiando decisões técnicas e impulsionando práticas sustentáveis .

Palavras-chave: Análise do solo; Físico-química; Tecnologia aplicada.



SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	5
2 JUSTIFICATIVA	6
3 OBJETIVO GERAL	7
4 METODOLOGIA	8
5 RESULTADOS OBTIDOS	9
6 CONCLUSÕES OU CONSIDERAÇÕES FINAIS	10
REFERÊNCIAS	11



1 INTRODUÇÃO

A necessidade de inovação na análise do solo tem se tornado cada vez mais evidente diante das limitações dos métodos convencionais, predominantemente manuais e laboratoriais. Esses procedimentos são frequentemente demorados, dispendiosos e pouco acessíveis para uso em campo. Conforme observado por Smith e Johnson (2020), tais limitações impactam diretamente a precisão das avaliações das propriedades do solo; já Garcia et al. (2024) destacam o potencial dos sistemas portáteis equipados com sensores inteligentes para superar esse entrave. Essa lacuna tecnológica motivou o desenvolvimento do presente estudo, cujo propósito é conceber um dispositivo portátil, de baixo custo e que atue de forma autônoma, permitindo a obtenção de dados físico-químicos do solo, como pH, umidade e nutrientes, com agilidade e confiabilidade.

A originalidade da proposta está sustentada na integração de sensores específicos com o microcontrolador ESP32, armazenamento local via cartão microSD e interface independente de redes externas, características que conferem ao dispositivo autonomia para uso em ambientes remotos ou com conectividade limitada. Essa estrutura buscou ser fundamentada em bases sólidas de pesquisa, por meio de revisão bibliográfica rigorosa realizada em plataformas como Google Acadêmico, SciELO e publicações da Embrapa, além de revistas técnicas nas áreas de engenharia, eletrônica e ciências ambientais, com foco em trabalhos publicados entre 2014 e 2025. Essa escolha permitiu identificar soluções consolidadas e lacunas tecnológicas relevantes, estabelecendo um referencial robusto para o desenvolvimento do protótipo.

Durante a investigação, foram identificadas importantes contribuições científicas que embasam o projeto, como a análise de indicadores físico-químicos do solo realizada por Santos e Costa (2024), e a aplicação de marcadores vegetais para perícias forenses demonstradas por Testoni et al. (2022). Essas referências reforçam a relevância e a aplicabilidade do dispositivo em múltiplos contextos técnicos e institucionais. A resposta à pergunta norteadora, como as tecnologias avançadas podem contribuir para aprimorar a precisão, agilidade e confiabilidade nas análises ambientais, passa pela validação técnica do protótipo e sua adequação às

necessidades dos usuários nas diversas áreas de aplicação.

Espera-se, assim, que o estudo contribua para a democratização do acesso à análise de solo, fornecendo um instrumento portátil, confiável e sustentável, capaz de apoiar decisões em perícia criminal, engenharia civil, geologia, agricultura e pesquisas científicas. Ao promover essa inovação, o trabalho visa fomentar práticas mais eficientes e alinhadas à sustentabilidade e à modernização dos processos de análise ambiental.

2 JUSTIFICATIVA

A análise de solo é uma prática essencial em diversas áreas, como agricultura, engenharia civil, geologia, perícia forense e pesquisas ambientais. A crescente demanda por diagnósticos rápidos e confiáveis tornou evidente a necessidade de soluções tecnológicas que superem as limitações dos métodos laboratoriais convencionais. Esses métodos, ainda predominantes, envolvem processos manuais e demorados o que compromete a agilidade na tomada de decisões, especialmente em contextos críticos. Segundo Smith e Johnson (2020), os métodos tradicionais apresentam limitações significativas na predição de propriedades do solo, impactando a eficácia das ações técnicas e científicas. Em um cenário de urgência por sustentabilidade e precisão nos diagnósticos, justifica-se o desenvolvimento de dispositivos portáteis e automatizados que realizem medições diretas em campo.

A introdução de tecnologias embarcadas, sensores inteligentes e algoritmos de análise digital representa um avanço estratégico na modernização das práticas de coleta e monitoramento ambiental. Como apontado por Garcia et al. (2024), a aplicação de sensores integrados em sistemas de análise de solo permite medições contínuas e em tempo real de variáveis como pH, umidade, matéria orgânica, nutrientes e gases tóxicos, proporcionando diagnósticos mais rápidos e confiáveis. Esses recursos são fundamentais para o monitoramento de contaminações, controle de práticas agrícolas, segurança de obras civis e reconstrução de eventos em investigações criminais. Além disso, estudos como o de Li, Wang e Zhang



(2024) demonstram que modelos de aprendizado profundo aplicados à análise de solo podem superar os atrasos comuns dos processos laboratoriais, oferecendo alta acurácia e resposta em tempo hábil.

Dessa forma, a implementação de um sistema de análise de solo com sensores automatizados justifica-se não apenas pela sua capacidade técnica, mas por seu potencial de impacto nas práticas profissionais de múltiplos setores. O uso de tais tecnologias fortalece a atuação de engenheiros, geólogos, peritos, agrônomos e pesquisadores, ao reduzir o tempo de resposta e elevar a qualidade dos dados coletados. Najdenko et al. (2024) reforçam que a ausência de dados imediatos pode inviabilizar medidas preventivas em contextos ambientais e forenses. Assim, a proposta de um dispositivo capaz de fornecer dados precisos e em tempo real é uma resposta concreta à necessidade de inovação nas metodologias atuais, contribuindo para a sustentabilidade, segurança e eficiência de diversas aplicações técnico-científicas.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Desenvolver um dispositivo laboratorial capaz de realizar a análise físico-química do solo.

3.2 Objetivos específicos

- Identificar os requisitos funcionais e não funcionais do sistema;
- Realizar levantamento dos componentes e tecnologias adequadas à aplicação proposta;
- Projetar o circuito eletrônico para o funcionamento do dispositivo;
- Desenvolver o software embarcado para controle e processamento dos dados obtidos;
- Executar testes de integração e validação do sistema.



4 METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho foi delineada com o objetivo de compreender e estruturar o desenvolvimento de um dispositivo de análise de solo, voltado à coleta e avaliação de parâmetros físicos, químicos e ambientais, com aplicabilidade em diversas áreas como perícia criminal, engenharia, geologia, agricultura e pesquisas científicas. Trata-se de uma abordagem qualitativa, exploratória e descritiva, com foco em levantamento teórico, definição de componentes eletrônicos e avaliação técnica dos sensores propostos.

- A escolha dessa abordagem justifica-se pela fase atual do projeto, que se encontra em desenvolvimento técnico e validação de protótipos, sem dados experimentais consolidados. Assim, o foco recai na fundamentação teórica e técnica que sustenta as decisões de projeto, nos desafios previstos para a implementação e nas possíveis limitações enfrentadas em seu uso prático. As etapas que compõem o percurso metodológico são descritas a seguir:
- Realização de uma revisão bibliográfica em bases de dados acadêmicas e repositórios de pesquisa, livros técnicos e artigos especializados sobre tecnologias aplicadas à análise de solo, sensores de detecção ambiental, espectroscopia de absorção e gases tóxicos, bem como fundamentos de projetos embarcados com microcontroladores;
- Identificação e análise das tecnologias viáveis para a construção do protótipo, com destaque para sensores específicos como o MQ-135 (detecção de gases) e o sensor NPK (nutrientes do solo), avaliando seus princípios de funcionamento, compatibilidade elétrica e protocolos de comunicação;
- Foram consideradas limitações estruturais do projeto, como autonomia de energia, portabilidade, resistência mecânica e capacidade de armazenamento de dados via cartão microSD;
- A primeira etapa de análise consistiu em avaliações descritivas simples, como médias, variações e tendências dos dados, possibilitando identificar comportamentos básicos dos sensores diante das amostras coletadas. Essa

abordagem visa compreender a consistência dos sensores e eventuais padrões iniciais que possam indicar a qualidade do solo ou presença de contaminantes, mesmo antes da integração com ferramentas mais complexas. No entanto, esta etapa ainda será desenvolvida após a conclusão da montagem e testes iniciais do protótipo;

- As fontes utilizadas na fundamentação teórica e técnica foram coletadas em plataformas como Google Acadêmico, SciELO, sites especializados da Embrapa, além de revistas científicas e publicações especializadas em Engenharia, Eletrônica, Ciências Ambientais, Agronomia e Tecnologias Emergentes. As pesquisas foram priorizadas com base em estudos publicados entre 2014 e 2025 e estudados no período de 2024 e 2025, com foco em sensoriamento ambiental, análise de solo, sistemas automatizados, monitoramento em tempo real, banco de dados MySQL, tecnologias embarcadas e aplicações interdisciplinares relacionadas à agricultura de precisão, engenharia civil, geologia e perícia criminal;
- Uma das principais limitações do estudo é a ausência de testes extensivos em campo, o que restringe a validação prática dos sensores sob diferentes condições ambientais e tipos de solo. Além disso, a variabilidade natural do solo em diferentes regiões pode exigir calibrações específicas, aumentando a complexidade do desenvolvimento e o tempo necessário para alcançar resultados confiáveis;
- Outro desafio é a dependência de sensores importados, que podem apresentar variações de qualidade, disponibilidade e custo, impactando diretamente na viabilidade e na escalabilidade do dispositivo. Também há uma limitação relacionada à interpretação dos dados por usuários sem conhecimento técnico, o que exige o desenvolvimento de interfaces intuitivas e mecanismos de auxílio para a correta leitura dos resultados, aspecto ainda em planejamento.

O foco na fundamentação teórica e no planejamento cuidadoso da análise de dados assegura que as etapas futuras possam ser conduzidas de forma mais eficiente, com a incorporação gradual de testes práticos, validação em campo e aprimoramentos tecnológicos, fortalecendo o potencial de aplicação real do sistema.

O presente estudo possui caráter aplicado, com o objetivo principal de desenvolver um dispositivo portátil e automatizado para análise físico-química de solo, visando otimizar a coleta e o processamento de dados em campo. A partir de uma abordagem hipotético-dedutiva, busca-se compreender as limitações dos métodos tradicionais, definir o objeto de estudo e estabelecer um delineamento experimental que permita controlar e observar as variáveis relacionadas à medição de parâmetros do solo, como pH, umidade, condutividade elétrica, matéria orgânica, gases e nutrientes.

A revisão de literatura foi conduzida em bases de dados como SciELO, ScienceDirect, IEEE Xplore, Google Acadêmico e SpringerLink, com o objetivo de identificar abordagens científicas e tecnológicas aplicadas à análise de solo, tanto no contexto agrícola quanto forense, geotécnico e ambiental. Foram utilizados descritores como “soil analysis technology”, “in-field soil sensors”, “precision agriculture soil monitoring”, “real-time environmental analysis” e “portable soil testing device”. A pesquisa foi delimitada a artigos científicos, periódicos indexados, teses, dissertações e patentes publicadas entre 2020 e 2025, garantindo relevância e atualidade dos dados. Após a busca inicial, os trabalhos foram selecionados com base em títulos e resumos, priorizando aqueles que abordavam diretamente tecnologias portáteis, sistemas de sensoriamento e métodos rápidos de análise de solo. A análise dos dados obtidos foi qualitativa, identificando tendências, avanços e lacunas tecnológicas.

Após a validação do problema de pesquisa, iniciou-se o desenvolvimento do protótipo do dispositivo. O Este estudo propõe o desenvolvimento de um dispositivo para análise de solo com aplicação em diversas áreas técnicas e científicas, como perícia criminal, engenharia, geologia, agricultura e pesquisas ambientais e que possa ser levado até a área que necessita ser analisada. A iniciativa buscou oferecer uma solução prática para a coleta e avaliação de dados diretamente em campo, contribuindo para diagnósticos mais rápidos e precisos. A partir do levantamento teórico e da definição dos componentes do projeto, observa-se que a proposta tem potencial para otimizar processos em diferentes contextos de análise de solo, especialmente em situações que exigem mobilidade, agilidade e confiabilidade. A escolha por sensores específicos visa proporcionar uma leitura mais ampla das

condições do solo, o que pode apoiar decisões técnicas e investigações mais fundamentadas.

Entretanto, reconhece-se que a execução do projeto envolve desafios, como a integração eficaz entre sensores, a calibração adequada para diferentes tipos de solo e a necessidade de interpretação correta dos dados por parte dos usuários. Também é importante considerar a preparação técnica dos profissionais que irão operar a máquina, para garantir o uso apropriado e a compreensão dos dados obtidos.

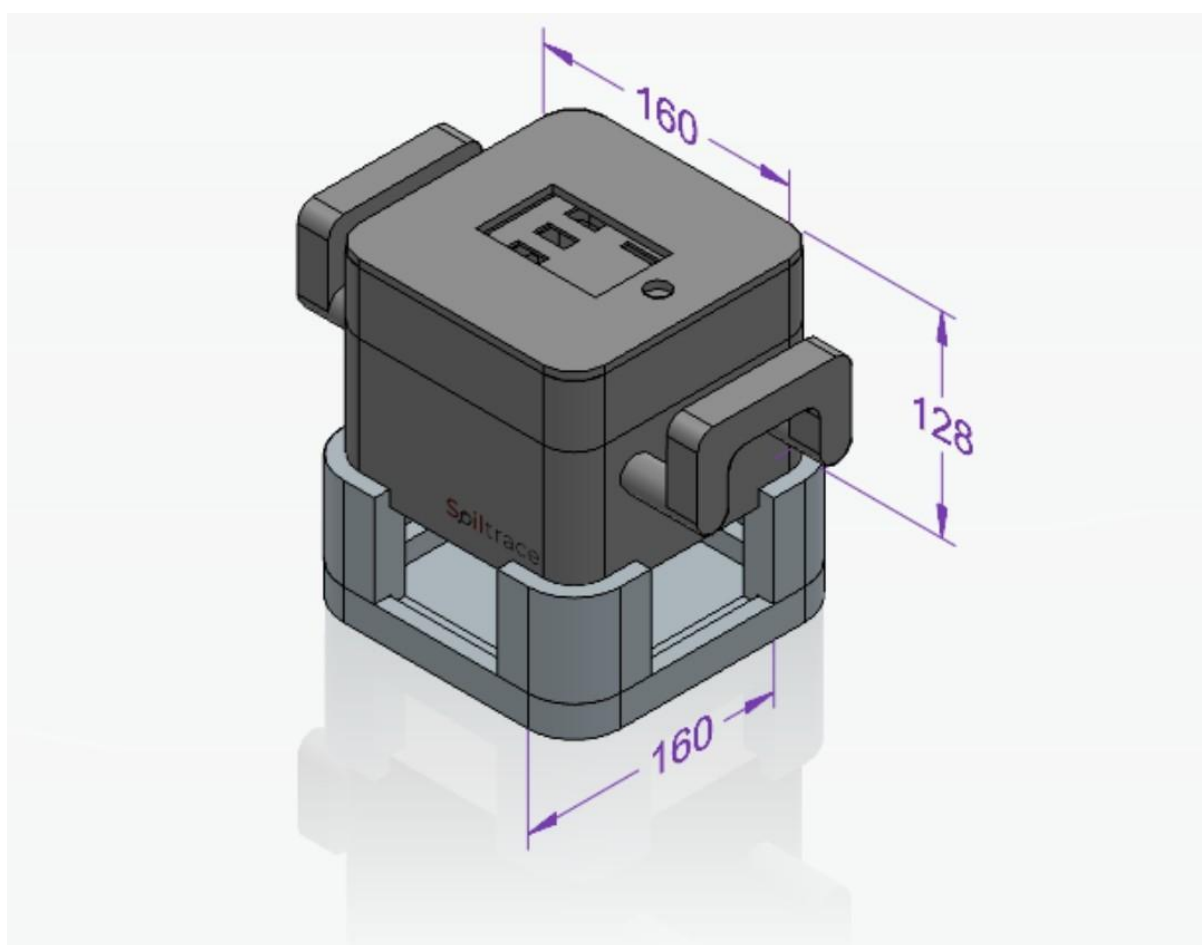
Conclui-se que a proposta representa um avanço no uso de tecnologias aplicadas à análise de solo, com possibilidade de contribuir significativamente para diversas áreas. Futuras etapas do trabalho deverão incluir testes em campo, ajustes técnicos e validação prática do dispositivo, a fim de confirmar sua eficácia e aplicabilidade no cotidiano profissional no software Solid Edge 2021, enquanto a programação e integração de sensores foram realizadas na plataforma Arduino IDE 2.2.1, utilizando um microcontrolador ESP32 devido à sua capacidade de processamento e conectividade. O dispositivo foi projetado para comportar sensores de pH, umidade, condutividade elétrica e detecção de gases, conectados a um módulo de aquisição de dados. Componentes mecânicos, como o invólucro e suportes internos, foram confeccionados por impressão 3D em PLA, visando leveza e durabilidade. O sistema elétrico foi integrado em um painel compacto, contendo sinalizadores de status, chave geral e botão de emergência.

Para o gerenciamento das informações coletadas, foi desenvolvido um sistema de banco de dados MySQL local, integrado ao dispositivo, permitindo registro e consulta mesmo em ambientes sem acesso à internet, característica essencial para aplicações em áreas rurais ou de difícil conectividade. O software de interface possibilita ao usuário visualizar, armazenar e exportar os dados, com telas de login, cadastro e consulta, além de recursos de segurança como redefinição de senha via código de autenticação. Testes de calibração e validação foram conduzidos com amostras de solo em diferentes condições ambientais, comparando os resultados obtidos pelo protótipo com análises laboratoriais padrão para verificar precisão e confiabilidade.

Podendo ver a modelagem do dispositivo a seguir :



Figura 1 : Modelagem mecânica da máquina



Fonte : Autoria Própria

5 RESULTADOS OBTIDOS

O desenvolvimento do protótipo do dispositivo de análise de solo focou inicialmente na integração e funcionamento do sensor de gás MQ-135, do módulo de

armazenamento microSD e do display para exibição de dados. Os resultados obtidos demonstram a viabilidade técnica do sistema em sua configuração básica.

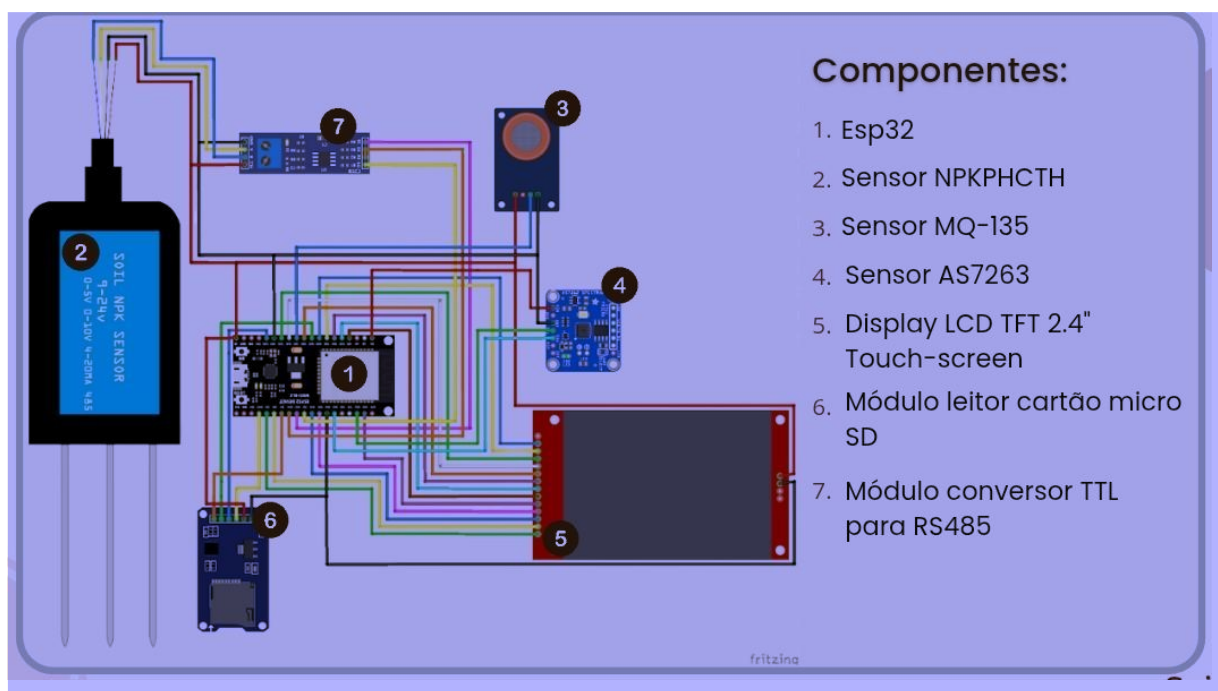
O sensor de gás (MQ-135) demonstrou estabilidade nas leituras em ambientes com presença de odores (como solos com matéria orgânica em decomposição), evidenciando sua capacidade de identificar variações gasosas. Ainda que os valores exatos não sejam exibidos diretamente no display, os dados são registrados corretamente no cartão microSD.

O módulo microSD foi integrado ao microcontrolador ESP32, permitindo a gravação dos dados coletados pelo sensor de gás em arquivos organizados em formato .csv para posterior análise em software de planilha (como Excel). Nenhum erro de gravação foi identificado durante os testes, mesmo após diversas coletas consecutivas. Essa funcionalidade atende ao requisito de portabilidade e coleta autônoma de dados em campo, dispensando a necessidade de conexão constante com dispositivos externos;

Embora o display não exiba as leituras numéricas dos sensores, ele cumpre a função de indicar o status do dispositivo (ligado/desligado, coleta em andamento, coleta finalizada), sendo essencial para a usabilidade em campo;

O dispositivo opera com uma bateria equipada com botão liga/desliga, garantindo autonomia e mobilidade para uso em áreas sem acesso à rede elétrica.

Figura 1 - imagem do Sistema Conectado



Fonte : Autoria Própria

6 CONCLUSÕES OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa buscou oferecer uma solução prática para a coleta e avaliação de dados diretamente em campo, contribuindo para diagnósticos mais rápidos e precisos. A partir do levantamento teórico e da definição dos componentes do projeto, observa-se que a proposta tem potencial para otimizar processos em diferentes contextos de análise de solo, especialmente em situações que exigem mobilidade, agilidade e confiabilidade. A escolha por sensores específicos visa proporcionar uma leitura mais ampla das condições do solo, o que pode apoiar decisões técnicas e investigações mais fundamentadas.

Entretanto, reconhece-se que a execução do projeto envolve desafios, como a integração eficaz entre sensores, a calibração adequada para diferentes tipos de solo e a necessidade de interpretação correta dos dados por parte dos usuários. Também é

importante considerar a preparação técnica dos profissionais que irão operar a máquina, para garantir o uso apropriado e a compreensão dos dados obtidos.

Conclui-se que a proposta representa um avanço no uso de tecnologias aplicadas à análise de solo, com possibilidade de contribuir significativamente para diversas áreas. Futuras etapas do trabalho deverão incluir testes em campo, ajustes técnicos e validação prática do dispositivo, a fim de confirmar sua eficácia e aplicabilidade no cotidiano profissional

REFERÊNCIAS

- EMBRAPA. Estudo com técnica fotônica apresenta dados inéditos sobre carbono no solo. Brasília, DF: Embrapa, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br>. Acesso em: 13 ago. 2025.
- GARCIA, M.; et al. Development of a sensor-based system for soil analysis and monitoring. *Sensors*, v. 24, n. 9, p. 2784, 2024.
- KIM, J.; LEE, S.; PARK, D. Impact of biochar application on soil quality and crop productivity: a meta-analysis. *Journal of Soils and Sediments*, v. 23, n. 8, p. 3567–3582, 2023.
- LI, X.; WANG, Y.; ZHANG, H. A deep learning framework for soil moisture estimation based on multi-source data fusion. *Precision Agriculture*, v. 25, n. 4, p. 1023–1045, 2024.
- PEREIRA, F.; SILVA, R. Soil contamination and remediation: advances and challenges. *Journal of Soils and Sediments*, v. 24, n. 5, p. 1821–1840, 2024.
- SANTOS, L.; COSTA, M. Avaliação da qualidade do solo com base em indicadores físico-químicos. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 20, n. 1, p. 45–60, 2024.
- SMITH, A.; JOHNSON, B. Application of machine learning in soil property prediction: a review. *Algorithms*, v. 13, n. 8, p. 209, 2020.
- TESTONI, S.; et al. Soil colour and plant-wax markers application in forensic investigations under urban subtropical environments. *Forensic Science International*, 2022.

