

SIM - SISTEMA INTELIGENTE DE MONITORAMENTO: DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE UMA PLATAFORMA MODULAR

DÉRIK LURIÃ KAROW¹; ÁDAMO DE SOUZA ARAUJO²; BRUNO NUNES HUBNER³; ALICE BUCHWEITZ MÜLLER⁴; KAUANA HESSLER KLUG⁵; RICARDO SCHERER POHNDORF⁶

¹Universidade Federal de Pelotas – derikluria@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas - adamo.araujo@ufpel.edu.br

³Universidade Federal de Pelotas - hubnerbruno9@gmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas - allicemuller1@gmail.com

⁵Universidade Federal de Pelotas - kauanaklug30@gmail.com

⁶Universidade Federal de Pelotas – ricardoscherer.eng@gmail.com

1. DESCRIÇÃO DA INOVAÇÃO

O SIM (Sistema Inteligente de Monitoramento) é uma plataforma modular de software e sensoriamento destinada ao monitoramento das condições internas de silos armazenadores de grãos. A solução integra aquisição, transmissão, processamento, armazenamento e visualização de dados, permitindo o acompanhamento contínuo de variáveis relacionadas às condições de armazenamento. A arquitetura do sistema foi estruturada em camadas desacopladas, favorecendo sua manutenção, integração e expansão (Pressman; Maxim, 2016). A primeira camada corresponde ao sensoriamento e à ingestão de dados, utilizando um microcontrolador ESP32 integrado a sensores de temperatura, umidade relativa e CO₂. As leituras são transmitidas em formato JSON por requisições HTTP POST, utilizando uma camada intermediária de integração. A segunda camada corresponde ao backend e à persistência dos dados, desenvolvidos em Python com o framework FastAPI, responsável pelo recebimento, validação, processamento e armazenamento das informações. A terceira camada consiste em uma interface web responsiva desenvolvida com HTML5, CSS3, JavaScript e Chart.js, permitindo a visualização dos dados e de seu histórico.

O principal diferencial do SIM é sua arquitetura modular e aberta, que permite separar as etapas de aquisição, processamento, armazenamento e apresentação dos dados. Essa característica possibilita a integração com diferentes fontes de dados e sistemas, reduzindo a dependência de uma arquitetura proprietária e facilitando a adaptação da plataforma a diferentes unidades armazenadoras. A utilização de uma API REST também permite futuras integrações com sistemas externos e aplicações agrícolas. A arquitetura foi concebida para possibilitar a incorporação de protocolos de comunicação IoT, como MQTT, CLPs e além de módulos de controle e automação, sem necessidade de reconstrução do núcleo da plataforma. A integração de tecnologias digitais e IoT apresenta potencial para ampliar o monitoramento e a automação de processos no contexto da Agricultura 4.0 (Medeiros *et al.*, 2021).

2. ANÁLISE DE MERCADO

O público-alvo do SIM compreende produtores rurais, cooperativas agropecuárias, cerealistas, empresas de armazenagem de grãos e indústrias de

beneficiamento. A solução é direcionada principalmente a unidades que necessitam acompanhar continuamente as condições internas dos silos e dispor de informações para auxiliar na tomada de decisão. O monitoramento adequado das condições de armazenamento é importante para a conservação da qualidade e do valor comercial dos produtos agrícolas armazenados (Weber, 2005; Biagi *et al.*, 2020).

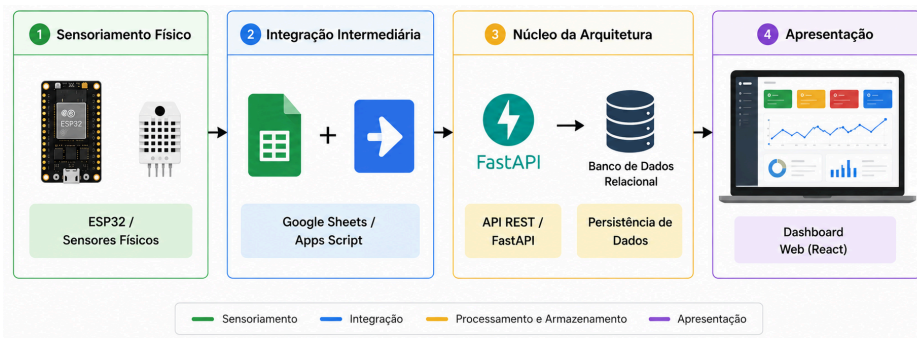
Os principais concorrentes são sistemas comerciais de termometria e monitoramento de silos já utilizados por unidades armazenadoras. Essas soluções podem apresentar arquiteturas proprietárias e diferentes níveis de integração e automação. O SIM busca posicionar-se como uma alternativa modular, flexível e adaptável, permitindo integração com diferentes sistemas e customização conforme as necessidades do usuário. Seu diferencial está principalmente na arquitetura aberta e na possibilidade de evolução progressiva da plataforma.

O mercado total endereçável (TAM) compreende unidades armazenadoras de grãos que apresentam demanda por tecnologias de monitoramento das condições internas dos silos. O mercado disponível para atendimento (SAM) concentra-se em cooperativas, cerealistas e produtores de médio e grande porte com potencial de adoção de tecnologias de monitoramento e Agricultura 4.0. O mercado inicialmente alcançável (SOM) será direcionado a unidades armazenadoras da região Sul do Brasil, especialmente no Rio Grande do Sul, permitindo a validação da solução em condições próximas às de seu desenvolvimento e posterior expansão para outras regiões e segmentos.

3. ESTRATÉGIA DE DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO

O modelo de negócio proposto prevê a disponibilização da plataforma no formato SaaS (Software as a Service), com cobrança associada ao número de silos ou pontos de sensoriamento monitorados. A solução poderá ser complementada por serviços de instalação, integração de sistemas, manutenção e customização de dashboards e funcionalidades. A distribuição poderá ocorrer por implantação direta e por meio de parcerias com empresas e profissionais das áreas de armazenagem, automação e tecnologia agrícola. A definição da precificação será realizada após a validação técnica e comercial da solução em condições reais, considerando os custos de hardware, instalação, manutenção e operação (Figura 1).

Figura 1 – Diagrama de fluxo de dados reais (ESP32 via Google Sheets) e organização modular da arquitetura do SIM



Fonte: Autor

O SIM encontra-se em etapa de desenvolvimento e não possui, até o momento, registro de Programa de Computador. Está prevista a avaliação e posterior solicitação de registro junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), considerando os componentes de software desenvolvidos e a organização da plataforma.

O protótipo atual integra o sistema de sensoriamento, transmissão de dados, backend, banco de dados e interface web. As próximas etapas compreendem: 1) aperfeiçoamento do sistema de monitoramento; 2) validação contínua do fluxo de dados; 3) implementação de protocolos IoT, incluindo MQTT; 4) desenvolvimento de módulos de controle e automação, como acionamento de sistemas de aeração; e 5) realização de testes-piloto em unidades armazenadoras comerciais.

O SIM possui Nível 4 de Maturidade Tecnológica (TRL 4), correspondente à validação dos componentes e da infraestrutura de software em ambiente de laboratório, utilizando dados reais de sensoriamento via ESP32 e API REST.

Entre os principais desafios estão a conectividade de internet em áreas rurais, a confiabilidade da transmissão dos dados e a exposição dos sensores às condições internas dos silos. A instabilidade da conectividade poderá ser mitigada futuramente por mecanismos de armazenamento local temporário e por tecnologias de comunicação adequadas ao ambiente rural. A exposição dos componentes à umidade, temperatura e poeira também exige estratégias de proteção e encapsulamento dos sensores, além de testes de durabilidade. A validação em condições reais constitui outra etapa fundamental para avaliar o desempenho e a confiabilidade da solução.

4. RESULTADOS ESPERADOS E IMPACTO

Espera-se contribuir para a redução das perdas pós-colheita de alimentos, poderá contribuir para diminuir a dependência de aplicação de defensivos e fumigantes químicos mediante a detecção precoce de condições favoráveis à deterioração e otimizar o consumo energético dos sistemas de aeração dos silos (Silva *et al.*, 2020). A Figura 2 apresenta imagem do frontend do SIM recebendo dados em tempo real.

Figura 2 – Imagem do frontend do SIM recebendo dados em tempo real



Fonte: Autor

A expectativa é que a redução de perdas e a melhoria da gestão das condições de armazenamento contribuam para o retorno do investimento na

solução. Os resultados financeiros serão quantificados após a etapa de validação piloto, quando poderão ser estimados custos de implantação, cobrança por ponto monitorado e economia associada ao manejo do armazenamento

A plataforma poderá evoluir para incorporar controle, automação, inteligência artificial e aprendizado de máquina para modelagem preditiva da variação térmica na massa de grãos, convergindo para uma solução integrada de automação e tomada de decisão no agronegócio.

5. CONCLUSÕES

O SIM apresenta uma proposta de inovação tecnológica baseada em uma arquitetura modular para o monitoramento das condições internas de silos armazenadores de grãos. O protótipo integra sensoriamento, transmissão, processamento, armazenamento e visualização de dados, tendo sua arquitetura validada em ambiente de laboratório com dados reais provenientes do sistema de sensoriamento. A separação entre os módulos favorece a integração e a expansão da plataforma, estabelecendo uma base para futuras aplicações de IoT, automação, controle e inteligência artificial.

Buscam-se parceiros tecnológicos, unidades armazenadoras, cooperativas e organizações do agronegócio interessadas em participar das próximas etapas de validação. A colaboração permitirá testar o SIM em condições reais de operação, avaliar seu desempenho e contribuir para o desenvolvimento dos módulos de controle, automação e apoio à tomada de decisão.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PRESSMAN, R.S.; MAXIM, B.R. **Engenharia de Software: uma abordagem profissional**. 8. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.

MEDEIROS, E.B. et al. **Aplicações de Internet das Coisas e sistemas inteligentes no agronegócio brasileiro**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.25, n.4, p.275-282, 2021.

WEBER, É.A. **Excelência na Armazenagem de Grãos**. Canoas: ULBRA, 2005.

BIAGI, J.D. et al. **Tecnologia de Armazenagem de Grãos**. Campinas: Feagri/Unicamp, 2020.

SILVA, R.F. et al. **Desenvolvimento de protótipo de baixo custo para monitoramento microclimático agrícola**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.24, n.10, p.695-701, 2020.