CAPÍTULO 1

VISÃO GERAL DO SISTEMA, INTERFACES E FUNCIONALIDADES DA PLATAFORMA DE IRRIGAÇÃO IOT

1. INTRODUÇÃO E FUNDAMENTAÇÃO DOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO AUTOMATIZADOS IOT

A modernização da agricultura brasileira pela Incorporação da Internet das Coisas (IoT) e da automação de precisão exige a integração harmoniosa entre duas áreas fundamentais do conhecimento: a agronomia e a tecnologia da informação (TI) (ATZORI; IERA; MO-RABITO, 2010; WOLFERT et al., 2017; BAYIH et al., 2022). Historicamente, a gestão da irrigação no campo operou de forma puramente empírica ou isolada do ecossistema de software. No entanto, o manejo eficiente e sustentável dos recursos hídricos contemporâneos não consiste apenas no acionamento mecânico de motobombas, mas na construção de uma arquitetura computacional completa, capaz de coletar dados ambientais no solo, validar regras de segurança hidráulica, fornece interfaces intuitivas para os operadores e executar rotinas de rega com precisão de segundos.

O objetivo central deste livro é motivar e capacitar tanto **Engenheiros Agrônomos** quanto **Profissionais de TI** a projetar, desenvolver e implantar seus próprios sistemas de irrigação automatizados utilizando a Internet das Coisas. Para os agrônomos, esta obra desmistifica a programação de microcontroladores e o desenvolvimento de software, mostrando como transformar modelos de evapotranspiração e curva de retenção de água no solo em algoritmos executáveis. Para os profissionais de tecnologia da informação, o livro apresenta as demandas reais do ambiente agrícola, ensinando a lidar com restrições de conectividade rural, ruídos eletromagnéticos de motores, calibração de sensores edáficos e arquitetura de borda de campo (*Edge Computing*) (SHI et al., 2016; SATYANARAYA-NAN, 2017; AL-FUQAHA et al., 2015).

Na irrigação tradicional, a gestão da aplicação de água frequentemente enfrenta desafios críticos, tais como a dependência de intervenções manuais propensas a erros humanos, o desperdício de água por sobre irrigação, o risco de sobrecarga e queima de motobombas por operação a seco, a ausência de rastreabilidade histórica dos volumes aplicados e a dificuldade de acompanhar ensaios experimentais agrícolas em tempo real. A introdução de plataformas digitais automatizadas baseadas em IoT soluciona esses gargalos ao integrar a experiência agronômica com a engenharia de software, substituindo equipamentos comerciais fechados de alto custo por soluções abertas, customizáveis e de elevada resiliência.

Este livro foi concebido como um guia prático e didático para motivar essa sinergia interdisciplinar. Ao longo das páginas desta obra, o leitor aprenderá a integrar microcontroladores ESP32 e Arduino com sensores de umidade edáfica, relés e válvulas solenoides; a estruturar um servidor central backend em Python Flask com banco de dados relacional MySQL; a especificar e consumir APIs baseadas no protocolo HTTP REST; e

a construir um painel de controle web moderno e reativo utilizando o framework Angular. Antes de aprofundar nas especificações de código-fonte, protocolos de rede e esquemas eletrônicos de hardware, este primeiro capítulo apresenta a visão geral do sistema que será construído ao longo do livro. São detalhadas todas as telas da plataforma de controle, suas funcionalidades operacionais e o papel de cada módulo na rotina diária de fazendas e estações experimentais agrícolas.

2. PANORAMA DAS FUNCIONALIDADES DO SISTEMA HIPOTÉTICO DE IRRIGAÇÃO

O sistema hipotético de irrigação automatizada projetado neste livro consolida um conjunto abrangente de funcionalidades desenvolvidas para atender tanto aos requisitos de produção agrícola comercial quanto às exigências de pesquisas acadêmicas e experimentação agronômica de campo. A seguir, são descritas em detalhes as principais funcionalidades que compõem a plataforma.

2.1. Autenticação, Controle de Acesso e Gestão de Papéis Interdisciplinar

A plataforma possui um subsistema nativo de controle de acesso para garantir que apenas usuários autorizados interajam com os equipamentos de campo. Os atores principais e operadores do sistema hipotético exemplificados nesta obra são **Thiago Gratz Spinassé**, engenheiro agrônomo, e **Sergio Souza Novak**, profissional de tecnologia da informação, que são autores deste livro. O sistema reflete diretamente essa cooperação interdisciplinar entre as ciências agrárias e a TI, diferenciando os papéis funcionais dos operadores e permitindo definir permissões específicas para profissionais de perfis distintos.

O engenheiro agrônomo Thiago possui privilégios para criar, editar e aprovar rotinas de irrigação, definir lâminas de água com base em dados fenológicos e acompanhar os tratamentos biológicos de campo. Já o especialista em tecnologia da informação Sérgio dispõe de acessos focados na gestão de infraestrutura de rede, servidores backend, monitoramento de endereços IP, gerenciamento de banco de dados e calibração de firmware dos microcontroladores.

A autenticação é realizada através de um formulário de login seguro que valida credenciais de usuário e senha no backend, gerando um token de sessão assinado (JWT) para representar as declarações (*claims*) do usuário de forma íntegra (JONES; BRADLEY; SAKIMURA, 2015; OWASP FOUNDATION, 2024). Esse mecanismo previne acionamentos acidentais ou mal-intencionados que poderiam causar sobre pressão nas tubulações ou estresse hídrico nas plantas (ALGARNI et al., 2023; FERRAG et al., 2020).

2.2. Telemetria e Monitoramento de Atuadores em Tempo Real

O sistema oferece monitoramento contínuo e em tempo real do estado de todos os componentes físicos da rede hidráulica. A interface web comunica-se periodicamente com o servidor central para atualizar o estado operacional da motobomba principal de 5,5

CV (indicando se está LIGADA ou DESLIGADA) e o status de abertura de cada uma das válvulas solenoides instaladas nos setores agrícolas (aberta ou fechada).

Além disso, a plataforma inclui um indicador visual de pulso de rede que sinaliza ativamente a qualidade da conexão entre os microcontroladores de campo (ESP32) e a aplicação central. Se a rede sem fio da fazenda sofrer uma oscilação ou desconexão, o painel alerta imediatamente o usuário sobre a interrupção no fluxo de dados em tempo real.

2.3. Mapeamento Espacial de Experimentos e Tratamentos Agronômicos

Uma das funcionalidades mais inovadoras da plataforma é a capacidade de mapear e exibir graficamente o delineamento de ensaios experimentais agrícolas diretamente no painel de controle. Em estações de pesquisa agronômica, é comum avaliar diferentes tratamentos em função de lâminas de irrigação variadas.

O sistema integra um gráfico cartesiano de dispersão espacial que correlaciona as quatro lâminas de água testadas — L1 (100% da evapotranspiração da cultura), L2 (75%), L3 (50%) e L4 (25%) — com doze posições físicas ao longo da linha de cultivo. Cada parcela experimental é identificada por marcadores visuais codificados por cores, representando os tratamentos aplicados (M1 para microrganismos benéficos, M2, M3 e o grupo controle testemunha). Essa funcionalidade permite ao agrônomo visualizar instantaneamente a distribuição espacial da água e o estado das parcelas experimentais.

2.4. Agendamento Temporal e Filtragem Avançada de Rotinas

A plataforma permite programar rotinas automatizadas de irrigação com precisão de minutos. O usuário pode definir a data de execução, os horários exatos de início e término e a válvula solenoide receptora da água. Todas as rotinas cadastradas são organizadas em uma tabela interativa que permite alternar entre os eventos agendados para o futuro e a guia de histórico de irrigações concluídas.

Para otimizar a gestão em propriedades com múltiplos setores, o sistema disponibiliza um painel de filtros dinâmicos que permite pesquisar agendamentos por código ID, data, intervalo de horário, solenoide/setor específico ou nome do operador responsável. A tabela oferece ainda botões de controle direto para forçar a execução imediata de um agendamento, editar seus parâmetros ou realizar a exclusão preventiva da rotina.

2.5. Validação Automática de Regras Agronômicas e Segurança Hidráulica

Para evitar acionamentos inadequados e proteger a infraestrutura física da fazenda, a plataforma incorpora um mecanismo automático de validação de regras de negócio. Ao cadastrar um novo agendamento por meio de um diálogo modal flutuante, a aplicação calcula dinamicamente a duração da rega em minutos e verifica o atendimento a três salvaguardas fundamentais:

1. Limite de Duração Máxima: A duração contínua de irrigação em um único setor não pode ultrapassar o limite máximo de 30 minutos, evitando o encharcamento

do solo e o desperdício hídrico.

2. Janela de Operação Permitida: O funcionamento dos atuadores é restrito ao horário diurno compreendido entre 07:00 e 19:00, alinhando a irrigação às taxas de evapotranspiração e evitando ruídos de bombas no período noturno.
3. Prevenção de Colisão e Sobrecarga: O sistema impede o agendamento simultâneo de solenoides incompatíveis que excedam a capacidade de vazão da bomba hidráulica ou que causem choque de pressão na rede.
4. Caso qualquer uma dessas regras seja violada, o sistema exibe alertas visuais imediatos no formulário e bloqueia a confirmação do agendamento até que os parâmetros sejam corrigidos.

2.6. Agenda Anual, Linha do Tempo e Estimativa de Volume Hídrico

A gestão agronômica de médio e longo prazo é suportada por um módulo de agenda anual e linha do tempo diária. O sistema apresenta uma matriz de calendário mensal que destaca os dias com irrigações programadas ou realizadas, acumulando o contador de irrigações executadas ao longo do ano.

Ao selecionar um dia específico no calendário, o painel exibe a linha do tempo detalhada dos setores acionados, calculando uma estimativa automatizada do volume total de água em litros (L) aplicado em cada evento com base na vazão nominal dos emissores. Essa informação auxilia o agrônomo no cálculo do balanço hídrico do solo e na otimização dos custos com energia elétrica.

2.7. Sincronização Borda-Nuvem e Resiliência contra Falhas

A plataforma garante a sincronização contínua entre a aplicação web central e os dispositivos de borda de campo (ESP32) por meio de requisições periódicas via protocolo HTTP REST. A cada intervalo ajustável (como 10 segundos), o microcontrolador consulta o backend enviando seu estado e recebendo instruções no formato JSON. Se o servidor indicar que uma rotina está ativa no horário corrente, o ESP32 aciona os relés correspondentes; caso contrário, desativa os circuitos com total segurança.

Se a comunicação de rede for temporariamente perdida, o firmware embarcado mantém o estado seguro desativando as solenoides após um tempo limite (timeout), impedindo que válvulas permaneçam abertas indefinidamente por ausência de sinal.

3. ARQUITETURA MULTICAMADAS: CONCEITUANDO FRONTEND E BACKEND NA IRRIGAÇÃO IOT

Para que engenheiros agrônomos e profissionais de tecnologia da informação consigam projetar e dialogar durante a construção de uma solução de automação agrícola, é fundamental compreender a divisão de papéis da computação em duas grandes camadas fundamentais: o Frontend e o Backend.

3.1. O que é Frontend?

O termo Frontend (também chamado de camada de cliente, camada de apresentação ou interface com o usuário) refere-se a toda a estrutura gráfica, visual e interativa com a qual o usuário humano estabelece contato direto através do navegador de internet no seu computador, tablet ou smartphone.

Desenvolvido utilizando linguagens e tecnologias web como HTML (responsável pela estrutura dos elementos visuais), CSS (responsável pelo estilo, cores e leiaute) e JavaScript/TypeScript (responsável pela dinâmica, reatividade dos componentes e manipulação de eventos), o frontend tem a missão de transformar dados brutos e complexos em informações visuais claras, atraentes e de fácil interpretação.

No contexto do sistema de irrigação proposto neste livro, o frontend é construído com o framework Angular e componentes Angular Material. É no frontend que o agrônomo Thiago ou o profissional de TI Sérgio visualizam os botões de controle das bombas, inspecionam o gráfico espacial dos tratamentos do experimento, preenchem formulários modais de agendamento e consultam a linha do tempo. O frontend captura os cliques e dados digitados pelo operador e os transmite para o servidor, assim como recebe as atualizações da telemetria e as redesenha na tela em tempo real, sem exigir do usuário conhecimentos em comandos de terminal ou linguagens de baixo nível.

3.2. O que é Backend?

O termo Backend (também chamado de camada de servidor, camada de negócios ou motor de processamento) representa a infraestrutura computacional que opera nos bastidores, longe dos olhos do usuário final. Executado em um servidor centralizado (seja uma máquina física instalada na sede da fazenda ou um servidor virtual na nuvem), o backend é o “cérebro” responsável por processar as regras de negócio, gerenciar a persistência de dados em bancos de dados relacionais como o MySQL, impor políticas de segurança e autenticação, e disponibilizar rotas de comunicação através de APIs RESTful.

No sistema de irrigação IoT, o backend desempenha um duplo papel vital. Em primeiro lugar, ele atende às solicitações vindas da aplicação web frontend, autenticando credenciais via tokens de segurança JWT, gravando os agendamentos no banco de dados e verificando se os horários solicitados respeitam as salvaguardas operacionais (como o limite de 30 minutos e a janela entre 07:00 e 19:00). Em segundo lugar, ele atende continuamente aos dispositivos de borda de campo (os microcontroladores ESP32 e Arduino). A cada 10 segundos, os microcontroladores consultam o backend perguntando sobre o estado da rede hidráulica; o backend consulta a tabela de agendamentos no MySQL e responde em formato JSON indicando exatamente quais relés de motobombas e válvulas solenoides devem estar ativos no momento.

Em suma, enquanto o frontend cuida da experiência de uso, da estética e da interação humana, o backend garante a lógica de cálculo, a segurança, o armazenamento de dados e a comunicação automatizada com os equipamentos de campo.

3.3. Roteiro de Aprendizado do Livro Técnico

Para demonstrar a agrônomos e profissionais de TI que é plenamente viável construir um sistema robusto sem a necessidade de adquirir soluções proprietárias inacessíveis, o livro foi estruturado em quatro capítulos complementares que abordam a solução sob a ótica de uma arquitetura em três camadas desacopladas (borda, backend e frontend).

O roteiro de aprendizado do livro foi planejado para guiar ambos os perfis profissionais:

- **Capítulo 1 – Visão Geral do Sistema, Interfaces e Funcionalidades da Plataforma de Irrigação IoT:** Apresenta o panorama conceitual, a motivação para a construção de sistemas próprios, a definição de frontend e backend, a descrição detalhada das funcionalidades e os protótipos de interface gráfica.
- **Capítulo 2 – Equipamentos, Sensores, Atuadores e Controladores no Sistema de Irrigação Automatizado:** Discute a seleção, especificação e montagem de componentes físicos de campo, incluindo microcontroladores ESP32, sensores capacitivos de umidade de solo, módulos relés, contatores trifásicos, bombas centrífugas e válvulas solenoides hidráulicas.
- **Capítulo 3 – O Protocolo HTTP e Arquiteturas Multicliente em Sistemas de Irrigação IoT:** Detalha a especificação das mensagens HTTP, verbos (*GET, POST, PUT, DELETE*), códigos de status, formato JSON e padrões de integração cliente-servidor na Agricultura 4.0.

Nas seções a seguir, cada uma das telas e protótipos da aplicação web é detalhada sob a perspectiva de uso operacional e de design de interface.

4. TELA DE AUTENTICAÇÃO E CONTROLE DE ACESSO (LOGIN)

A tela de autenticação é a primeira interface apresentada ao operador ao acessar a aplicação web. Sua função primária é validar a identidade do usuário antes de permitir o acesso às ferramentas de controle da rede hidráulica.

A Figura 1 apresenta o protótipo gráfico da tela de login e controle de acesso.

Figura 1: Interface gráfica da tela de login e controle de acesso ao sistema de irrigação IoT.



O cartão de autenticação é centralizado na tela sobre um fundo estilizado em gradiente suave. Os campos de entrada para credenciais possuem validações em tempo real e destacam-se ao receber o foco do cursor. A submissão dos dados dispara uma requisição HTTP do tipo POST /login contendo o nome de usuário e a senha criptografada.

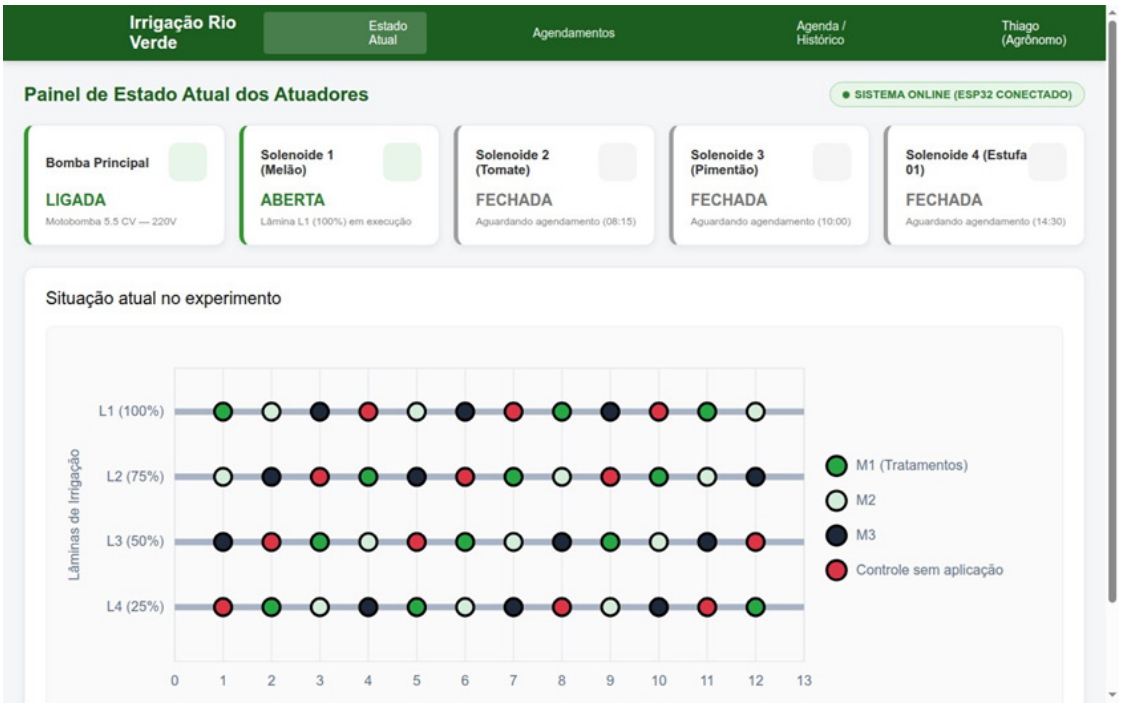
Após a validação no backend Flask, a aplicação recebe um Token Web JSON (JWT) que é anexado a todas as requisições subsequentes. Esse controle permite diferenciar o acesso do engenheiro agrônomo Thiago, que gerencia os parâmetros de rega, do acesso do profissional de TI Sérgio, que monitora a infraestrutura de rede e servidores.

5. PAINEL DE MONITORAMENTO E TELEMETRIA DO EXPERIMENTO (DASHBOARD)

O painel de estado atual reúne as informações essenciais sobre a operação dos equipamentos e o andamento dos ensaios de campo.

A Figura 2 ilustra a interface gráfica do painel de monitoramento e o gráfico do experimento agrícola.

Figura 2: Painel de estado atual dos atuadores hidráulicos e gráfico espacial do experimento agrícola.



No topo da interface, uma barra de status exibe um indicador luminoso contínuo em tom verde que confirma a conectividade em tempo real com o microcontrolador ESP32 de campo. Se houver falha na rede, o indicador altera sua cor para vermelho.

Abaixo do status de conexão, o painel exibe cartões individuais para a motobomba principal de 5,5 CV e para as válvulas solenoides dos setores agrícolas (Solenoide 1 no Melão, Solenoide 2 no Tomate, Solenoide 3 no Pimentão e Solenoide 4 na Estufa 01). Cada cartão destaca o estado do atuador (LIGADA/ABERTA em verde ou DESLIGADA/

FECHADA em cinza).

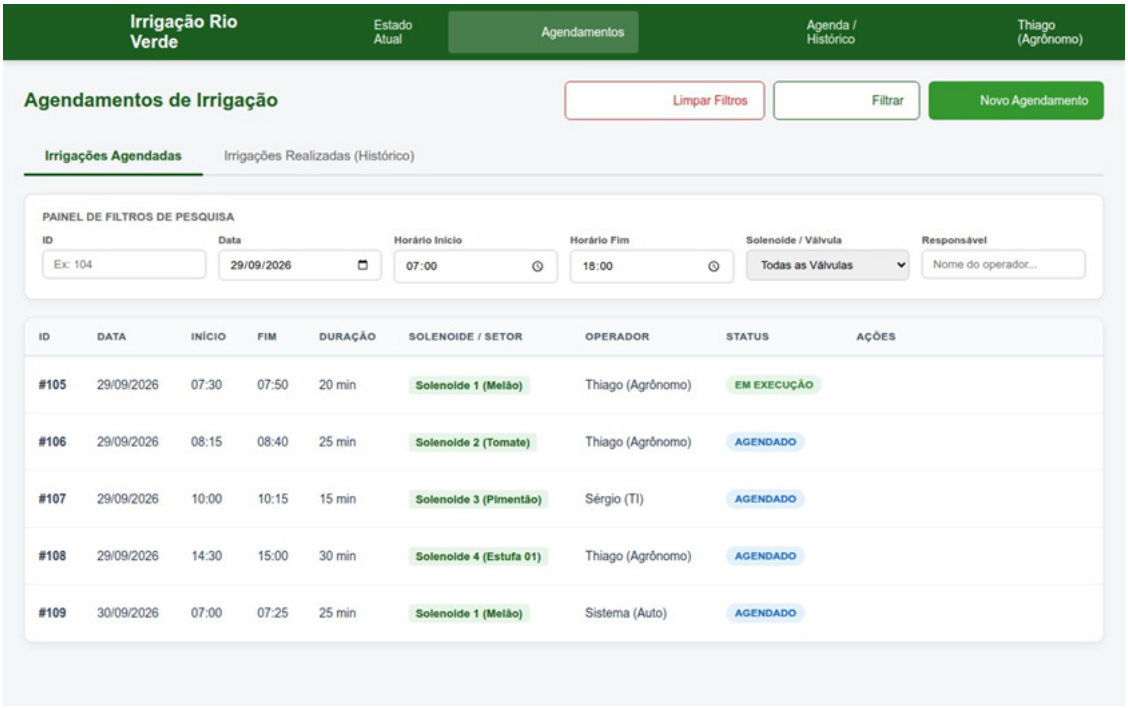
Na parte inferior, o gráfico em matriz de dispersão cartesiana exibe a distribuição espacial do experimento agrícola. O eixo Y representa as quatro lâminas de irrigação avaliadas (L1 a 100%, L2 a 75%, L3 a 50% e L4 a 25%), enquanto o eixo X indica as doze posições espaciais ao longo da linha de cultivo. Pontos coloridos identificam os tratamentos aplicados (M1 para microrganismos benéficos em verde escuro, M2 em verde claro, M3 em preto e Controle testemunha em vermelho).

6. GESTÃO DE AGENDAMENTOS E TABELA DE CONTROLE

A gestão temporal das irrigações é realizada através da tela de agendamentos, que consolida todas as rotinas programadas para os setores da propriedade.

A Figura 3 apresenta a interface da lista de agendamentos com painel de filtros expansível.

Figura 3: Interface de listagem de agendamentos com painel de filtros avançados e ações de controle.



A barra superior contém botões de controle para limpar buscas, alternar o painel de filtros e acionar o cadastro de novos agendamentos. Guias superiores permitem alternar entre as irrigações agendadas e o histórico de irrigações concluídas.

O painel de filtros permite pesquisar agendamentos por código ID, data, intervalo de horário, solenoide ou nome do operador. A tabela central organiza as informações nas

colunas de ID, Data, Início, Fim, Duração, Solenoide/Setor, Operador, Status e Ações. O campo de solenoide utiliza pílulas coloridas para fácil identificação, e o status exibe etiquetas visuais (azul para agendado, verde para em execução e roxo para concluído).

A coluna de ações disponibiliza botões para acionamento manual antecipado da

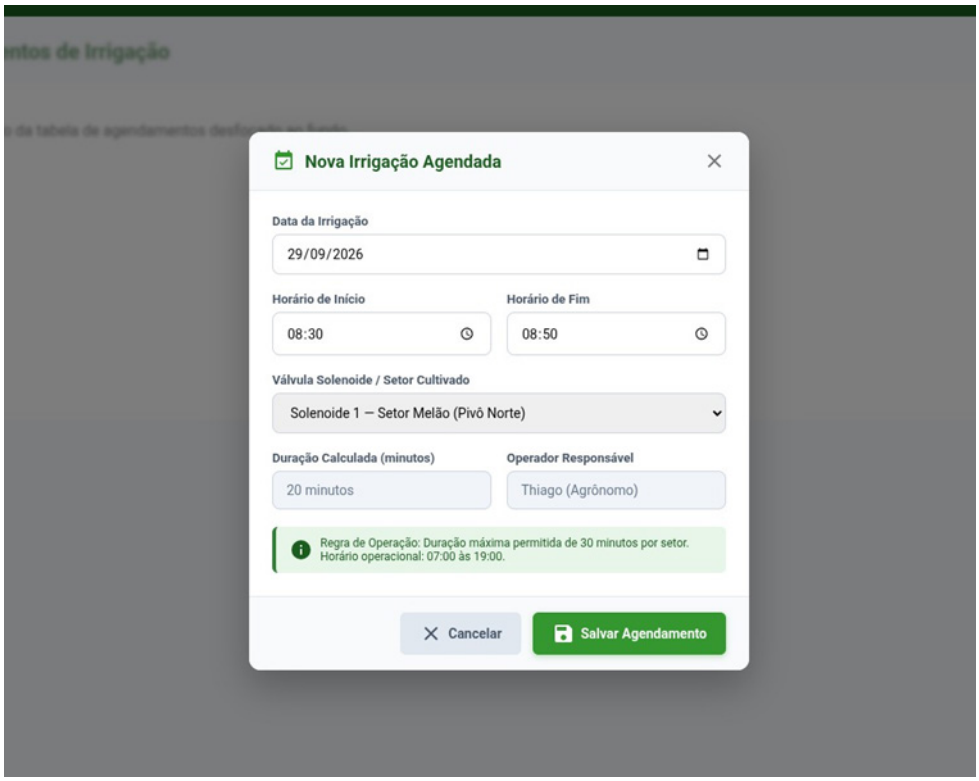
rega, edição de parâmetros ou exclusão preventiva do agendamento.

7. FORMULÁRIO MODAL DE CADASTRO E REGRAS DE VALIDAÇÃO

A inclusão de novas rotinas é realizada através de um diálogo modal flutuante que se sobrepõe à tela de agendamentos, desfocando o conteúdo de fundo.

A Figura 4 ilustra o diálogo modal para cadastramento de novas irrigações.

Figura 4: Diálogo modal para cadastramento de novos agendamentos com validação de regras de segurança.



O operador seleciona a data, os horários de início e término e a solenoide desejada. O formulário calcula automaticamente a duração da rega em minutos e atribui o nome do operador autenticado (como Thiago Agrônomo).

Um painel informativo na parte inferior resume as salvaguardas operacionais: duração máxima de 30 minutos por setor, janela de funcionamento entre 07:00 e 19:00 e bloqueio de colisões entre válvulas. Caso alguma regra seja violada, o botão de salvamento permanece desativado.

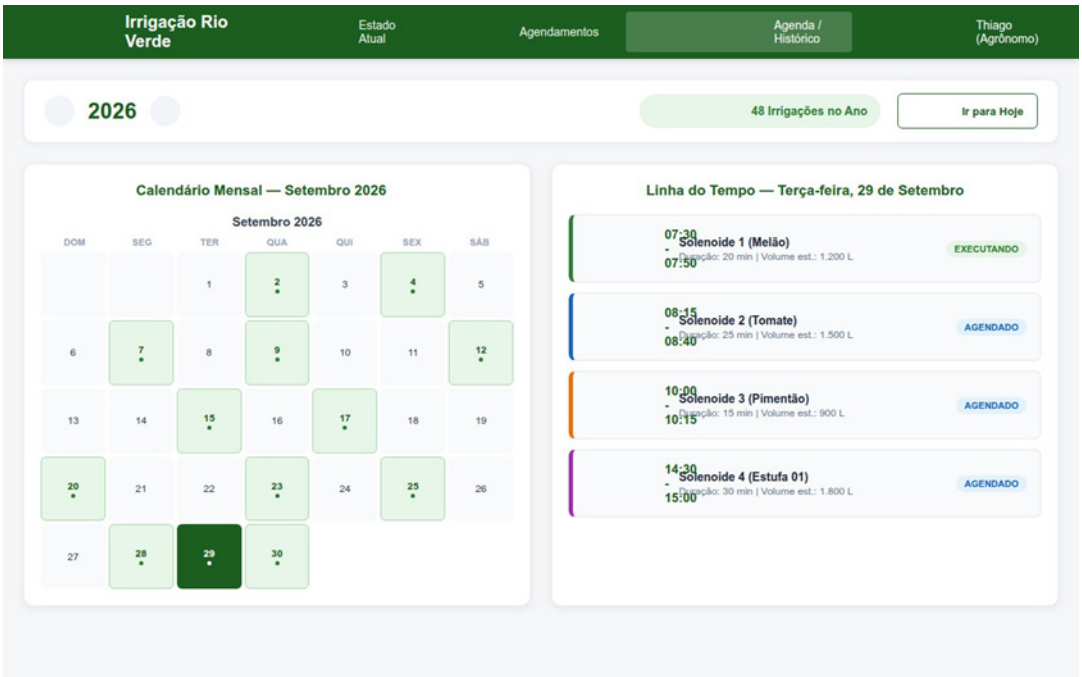
Ao salvar, o frontend dispara uma requisição HTTP do tipo POST/ agendamento para gravar a rotina no banco de dados backend e atualizar a interface de forma reativa.

8. AGENDA ANUAL E LINHA DO TEMPO POR SETOR

O acompanhamento histórico de longo prazo é realizado pela tela de agenda e controle setorial.

A Figura 5 apresenta a visão integrada da agenda anual e da linha do tempo diária.

Figura 5: Visão geral da agenda anual de irrigação e linha do tempo do dia selecionado por setor.



A barra superior disponibiliza navegadores para transição de anos, o contador total de irrigações no ano (48 irrigações em 2026) e um botão de atalho para posicionar o foco no dia atual.

A interface divide-se em dois blocos: o lado esquerdo exibe o calendário mensal com marcadores luminosos nos dias com irrigação programada ou realizada. O lado direito apresenta a linha do tempo do dia selecionado, detalhando os horários, solenoides acionadas, duração e o volume estimado de água em litros que será aplicado pela rede.

Essa visualização permite ao agrônomo correlacionar a lâmina acumulada com a precipitação pluviométrica local, promovendo a gestão eficiente dos recursos hídricos da propriedade.

9. SÍNTESE FUNCIONAL E INTEGRAÇÃO PRÁTICA DA PLATAFORMA

A integração harmoniosa de todas as funcionalidades apresentadas neste capítulo consolida um ambiente computacional robusto e intuitivo para o manejo de irrigação de precisão. O propósito maior desta obra é motivar e capacitar Engenheiros Agrônomos e Profissionais de Tecnologia da Informação a unirem forças, demonstrando que a interseção entre o conhecimento agronômico e a engenharia de software possibilita criar soluções agrícolas inteligentes, autônomas e perfeitamente adaptadas à realidade do campo brasileiro.

Ao compreenderem a separação entre o frontend (camada visual e interativa de telas) e o backend (camada de processamento, banco de dados e controle dos microcontroladores), agrônomos e profissionais de TI adquirem a visão completa de como a Internet das Coisas transforma desafios agronômicos reais em oportunidades de inovação tecnológica.

Nos capítulos a seguir, o leitor será guiado passo a passo na implementação técnica

de cada uma dessas camadas, iniciando pela especificação detalhada do protocolo HTTP e da arquitetura de comunicação cliente-servidor no Capítulo 2.

REFERÊNCIAS

ALGARNI, Abdullah et al. A secure IoT-based irrigation system for precision agriculture. **Sensors**, 2023.

ATZORI, Luigi; IERA, Antonio; MORABITO, Giacomo. **The Internet of Things: A survey**. [S.l.: s.n.], 2010. v. 54, p. 2787–2805. DOI: 10.1016/j.comnet.2010.05.010.

BAYIH, Tesfaye et al. **Utilization of Internet of Things and Wireless Sensor Networks in Agriculture**. [S.l.]: Springer, 2022.

FERRAG, Mohamed Amine et al. Security and privacy for agricultural IoT: A survey. **IEEE Access**, v. 8, p. 164414–164434, 2020.

AL-FUQAHA, Ala et al. Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. **IEEE Communications Surveys and Tutorials**, v. 17, n. 4, p. 2347–2376, 2015. DOI: 10.1109/COMST.2015.2444095.

JONES, Michael B.; BRADLEY, John; SAKIMURA, Nat. **JSON Web Token (JWT)**. [S.l.], 2015. DOI: 10.17487/RFC7519. Disponível em: <https://datatracker.ietf.org/doc/rfc7519/>.

OWASP FOUNDATION. **JSON Web Token Cheat Sheet**. [S.l.: s.n.], 2024. Disponível em: <https://cheatsheetseries.owasp.org/cheatsheets/JSON_Web_Token_Cheat_Sheet.ht ml>.

SATYANARAYANAN, Mahadev. The emergence of edge computing. **Computer**, v. 50, n. 1, p. 30–39, 2017. DOI: 10.1109/MC.2017.9.

SHI, Weisong et al. Edge computing: Vision and challenges. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 3, n. 5, p. 637–646, 2016. DOI: 10.1109/JIOT.2016.2579198.

WOLFERT, Sjaak et al. Big data in smart farming: A review. **Agricultural Systems**, v. 153, p. 69–80, 2017. DOI: 10.1016/j.agsy.2017.01.023.