

Aplicação do Manejo da Irrigação Automática por Meio de Sensores de Umidade e Temperatura do Solo Baseados em IoT

Caio Cesar Leal Verissimo¹, Ian Meirelles de Paula Freitas¹, Leonardo Soares da Costa Tanaka¹, Pedro Nunes Pereira¹

Engenharia de Controle e Automação
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) - Rio de Janeiro - Brasil

Abstract: This study presents an innovative approach to improving irrigation management through the integration of soil moisture and temperature sensors based on IoT. Conventional manual irrigation practices face challenges such as nutrient loss and inadequate soil moisture, impacting agricultural production. The main objectives of this work include the practical implementation of an automated system for monitoring soil moisture and temperature, eliminating manual inspections, reducing subjectivity in decision-making, adapting to soil variations, considering technological limitations, and developing an intuitive interface for farmers in rural areas. This system aims to optimize water usage, improve water efficiency, and increase agricultural productivity.

Resumo: Este estudo apresenta uma abordagem inovadora para aprimorar o manejo da irrigação através da integração de sensores de umidade e temperatura do solo baseados em IoT. As práticas convencionais de irrigação manual enfrentam desafios como a perda de nutrientes e a umidade inadequada do solo, impactando a produção agrícola. Os principais objetivos deste trabalho incluem a implementação prática de um sistema automatizado para monitoramento da umidade e temperatura do solo, eliminando inspeções manuais, reduzindo a subjetividade na tomada de decisões, adaptando-se às variações do solo, considerando limitações tecnológicas e desenvolvendo uma interface intuitiva para agricultores em áreas rurais. Este sistema visa otimizar o uso da água, melhorar a eficiência hídrica e aumentar a produtividade agrícola.

1. Introdução

A agricultura de uva, destinada ao consumo in natura, desempenha um papel fundamental na fruticultura mundial. As uvas de mesa são apreciadas por seu sabor, textura e valor nutricional, sendo consumidas frescas ou utilizadas na produção de sucos, passas e outros produtos derivados. Para garantir uma produção de alta qualidade, diversos fatores devem ser considerados.

A irrigação na viticultura de uvas de mesa é uma prática essencial para assegurar que as plantas recebam a quantidade adequada de água ao longo do ciclo de crescimento. A disponibilidade hídrica adequada é crucial para o desenvolvimento saudável das videiras, influenciando diretamente o tamanho, a doçura e a aparência das uvas. Em regiões onde as precipitações são insuficientes ou mal distribuídas ao longo do ano, a irrigação torna-se uma ferramenta indispensável para evitar o estresse hídrico e garantir uma produção consistente.

Diferentes métodos de irrigação são empregados na viticultura de uvas de mesa, incluindo a irrigação por gotejamento, que permite uma aplicação precisa da água diretamente nas raízes das plantas, minimizando desperdícios e aumentando a eficiência do uso da água. Outros métodos, como a irrigação por aspersão e microaspersão, também são utilizados dependendo das condições específicas da região e do tipo de solo.

Com o avanço da tecnologia, o uso de dispositivos de Internet das Coisas (IoT) na irrigação tem se tornado cada vez mais comum. Sensores de umidade do solo, estações meteorológicas automáticas e válvulas controladas remotamente são exemplos de como a IoT pode ser integrada ao manejo da irrigação. Esses dispositivos coletam dados em tempo real sobre as condições do solo e do clima, permitindo um controle preciso e automatizado da irrigação.

Um exemplo de onde essa tecnologia poderia ser aplicada é a Fazenda Fittipaldi. Localizada em uma região com desafios hídricos, a Fazenda Fittipaldi poderia adotar um sistema avançado de irrigação automatizada, integrando sensores de umidade para monitoramento constante das condições do solo. Esse sistema permitiria que a quantidade de água aplicada fosse ajustada automaticamente, com base nas necessidades específicas das plantas e nas condições ambientais, otimizando o uso da água e reduzindo o desperdício. Através do monitoramento contínuo, os produtores da Fazenda Fittipaldi conseguiriam garantir uma irrigação eficiente e sustentável, resultando em uvas de alta qualidade e um manejo hídrico mais racional.

Além de garantir a quantidade necessária de água, a gestão eficiente da irrigação pode influenciar a qualidade das uvas, afetando características como o teor de açúcar, a firmeza e a coloração dos frutos. Com a crescente demanda por uvas de mesa de alta qualidade e as restrições cada vez maiores em relação ao uso da água em muitas regiões, o desenvolvimento de práticas de irrigação mais sustentáveis e eficientes, incluindo o uso de tecnologias de IoT, é de extrema importância.

Portanto, a irrigação na agricultura de uvas de mesa não é apenas uma prática agrônômica, mas uma estratégia vital para assegurar uma produção sustentável e de alta qualidade. A implementação de técnicas de irrigação adequadas e a gestão eficiente dos recursos hídricos, impulsionadas pela integração de tecnologias de IoT, como poderia ser feito na Fazenda Fittipaldi, são fundamentais para o sucesso da viticultura e para atender às exigências do mercado consumidor.

2. Objetivo

Este trabalho tem como objetivo propor uma estrutura inteligente para a coleta de dados e tomada de decisões na irrigação do solo dos cultivos de uva da Fazenda Fittipaldi. A iniciativa visa auxiliar a mão-de-obra local e facilitar o monitoramento das condições de umidade do solo e temperatura, buscando uma maior eficiência na produção de uvas para consumo.

Para alcançar esses objetivos, será implementada uma rede de sensoriamento e atuação que cobrirá toda a área cultivável do terreno. Essa rede permitirá o controle remoto das condições de plantio com um alto grau de confiabilidade, baseando-se em dados quantitativos provenientes dos sensores, ao invés de medições qualitativas realizadas pelos funcionários.

A organização da estrutura incluirá um código de otimização responsável por determinar a melhor distribuição de dispositivos IoT, visando cobrir a área desejada com o menor custo possível. Isso garantirá uma utilização eficiente dos recursos e uma cobertura completa da área cultivada.

Será detalhado todo o processo de coleta e processamento dos dados obtidos pelos sensores, assegurando a precisão e a integridade das informações coletadas. A partir desses dados, será possível tomar decisões informadas sobre a irrigação e outras práticas agrícolas.

Além disso, será proposta uma lógica de operação para os dispositivos de borda, visando a automação do processo de irrigação. Essa lógica permitirá que os dispositivos atuem de forma autônoma, respondendo rapidamente às variações nas condições do solo e garantindo um uso eficiente da água.

3. Projeto

Neste tópico, serão abordadas as questões fundamentais que precisam ser respondidas antes do desenvolvimento de uma solução para os problemas relacionados à irrigação automática da plantação de uvas da Fazenda Fittipaldi. Identificaremos os principais questionamentos que guiarão o planejamento e a implementação do manejo de irrigação utilizando sensores de umidade e temperatura do solo baseados em tecnologias IoT, visando garantir uma abordagem eficiente e sustentável. Analisaremos os requisitos técnicos, a viabilidade econômica, a visualização dos dados e os benefícios potenciais dessa solução, assegurando um planejamento eficaz.

3.1. Estudo do Terreno

O projeto será implementado na Fazenda Fittipaldi, localizada em Petrolina, Pernambuco. A fazenda possui uma área total de 7,24 hectares, dividida em três seções de plantio: 3,71 hectares, 3,53 hectares e 1,50 hectares. Petrolina, situada no semiárido nordestino do Brasil, é uma região de grande importância para a fruticultura irrigada, especialmente para o cultivo de uvas.

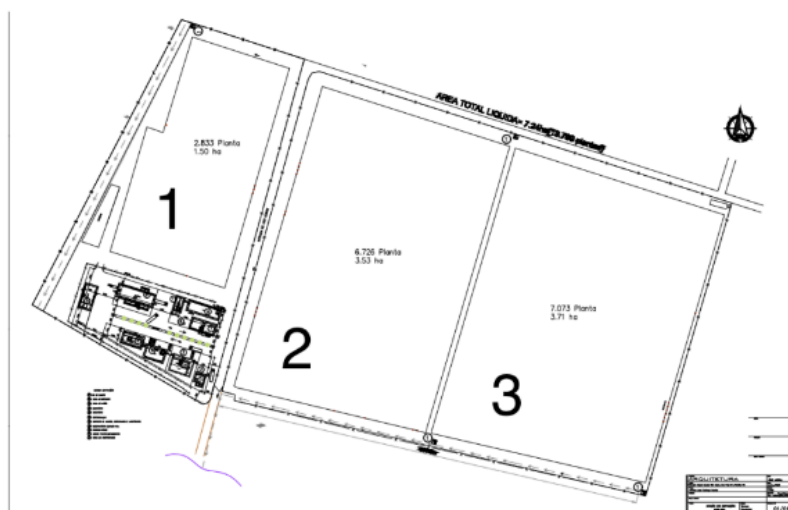


Figura X: Planta do Terreno

O clima de Petrolina é classificado como semiárido, caracterizado por temperaturas elevadas durante a maior parte do ano, com uma média anual em torno de 26°C a 28°C. A região apresenta baixa pluviosidade, com uma precipitação anual média de aproximadamente 400 mm, concentrada principalmente entre os meses de dezembro e abril. Devido à escassez de chuvas, a irrigação se torna essencial para a agricultura local.

Os solos da região de Petrolina são predominantemente arenosos, conhecidos como Neossolos Quartzarênicos. Estes solos têm uma baixa capacidade de retenção de água e nutrientes, o que torna a irrigação eficiente e a aplicação adequada de fertilizantes cruciais para o sucesso agrícola. Além disso, a análise constante do solo e o monitoramento das condições climáticas são práticas importantes para garantir o desenvolvimento saudável das plantas e a produtividade das colheitas.

Como se trata de uma plantação a céu aberto, a utilização de sensores com fio não é prudente, devido ao alto risco de danos aos fios, que teriam que passar por centenas de metros de plantação. Portanto, a implementação de sensores sem fio é uma solução mais adequada, permitindo um monitoramento eficiente das condições do solo e do clima sem a preocupação com a integridade física dos cabos.

3.2. Estudo do Problema

Atualmente, a aferição do solo na Fazenda Fittipaldi é feita de forma manual, seguindo o seguinte critério:

- **Não forma o Capitão:** o solo está seco;
- **Forma o Capitão e não escorre líquido:** o solo está úmido;
- **Forma o Capitão e escorre líquido:** o solo está molhado.

Esse critério, embora objetivo, fornece pouca informação detalhada sobre a umidade do solo, limitando-se a classificá-lo como seco, úmido ou molhado. Além disso, é um método trabalhoso, o que restringe a frequência das aferições. Como resultado, a irrigação pode ser inadequada, levando a uma aplicação insuficiente ou excessiva de água.

A limitação de informações detalhadas sobre a umidade do solo impede uma gestão precisa da irrigação, essencial para otimizar o uso da água e garantir a saúde das plantas. A frequência restrita de aferições manualmente realizadas significa que as condições do solo podem variar significativamente entre as medições, o que pode levar a decisões de irrigação baseadas em dados desatualizados.

Do ponto de vista da sustentabilidade, mesmo nos casos em que não há danos diretos à plantação devido ao uso excessivo de água, há um desperdício significativo de recursos hídricos. A água é um recurso valioso, especialmente em regiões semiáridas como Petrolina, e o seu uso eficiente é crucial tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental.

Nossa proposta é o uso de sensores de umidade e temperatura do solo, que se comunicam entre si através de uma rede sem fio. Esta tecnologia permitirá uma medição contínua e precisa das condições do solo, proporcionando dados detalhados e frequentes sobre a umidade e a temperatura. Isso facilitará uma gestão mais eficiente da irrigação, evitando tanto a insuficiência quanto o excesso de água, promovendo uma utilização sustentável dos recursos hídricos e aumentando a produtividade da plantação. Além disso, os sensores de temperatura ajudarão a monitorar as condições ambientais, permitindo ajustes no manejo agrícola conforme necessário para otimizar o crescimento e a saúde das plantas.

3.3. Frequência de Medições

Para garantir um monitoramento contínuo e preciso das condições do solo na Fazenda Fittipaldi, propomos o uso de sensores de umidade e temperatura que enviarão informações em intervalos regulares de 15 a 30 minutos. Cada transmissão incluirá 10 amostras de dados, abrangendo umidade, temperatura e um indicativo de necessidade de irrigação. A escolha do intervalo de 15 a 30 minutos para o envio de informações baseia-se na necessidade de obter dados suficientemente frequentes para uma gestão eficiente da irrigação, especialmente em um clima semiárido como o de Petrolina, Pernambuco, onde a Fazenda Fittipaldi está localizada. Este intervalo mais curto é essencial para captar variações rápidas nas condições do solo e do ambiente.

Na Fazenda Fittipaldi, o manejo da irrigação é adaptado às condições locais e às necessidades das culturas cultivadas, como as uvas in natura. A referência bibliográfica utilizada inclui períodos de irrigação programados a cada 4 dias, com

duração de 6 horas por sessão. Esse cronograma foi estabelecido levando em consideração um clima que não é o semiárido, então foi feita uma suposição pessimista de que teriam que ter um período de irrigação maior do que o da referência bibliográfica. Os sensores de umidade e temperatura serão instalados estrategicamente nas três seções de plantio da fazenda, coletando e transmitindo dados de maneira contínua para uma central de monitoramento. Esses dados serão analisados em tempo real para determinar a umidade do solo e as condições ambientais, proporcionando informações cruciais para o ajuste imediato e eficaz da irrigação conforme necessário.

Os benefícios do sistema incluem precisão e eficiência na irrigação, evitando tanto a falta quanto o excesso de água, o que é especialmente crítico em regiões com condições climáticas desafiadoras como Petrolina. Além disso, o uso eficiente da água promoverá práticas agrícolas mais sustentáveis, aumentando a produtividade das culturas. Monitorar as condições do solo em tempo real ajudará a maximizar o potencial produtivo das plantas, garantindo o uso responsável dos recursos hídricos disponíveis.

Para garantir a precisão das medições, várias estratégias podem ser adotadas. Primeiro, a coleta de 10 amostras por sensor permite identificar e descartar dados outliers, melhorando a confiabilidade dos dados. Além disso, a redundância de dados é assegurada pelo overlap das áreas de cobertura dos sensores, garantindo que múltiplos sensores monitoram a mesma área, permitindo a comparação e validação cruzada dos dados coletados. Esta abordagem não só aumenta a precisão das medições, mas também assegura a consistência e a robustez dos dados utilizados para o manejo da irrigação.

3.4. Medições Necessárias

Para o manejo eficaz da irrigação automática, é essencial monitorar dois parâmetros principais: umidade e temperatura do solo. A medição da umidade do solo permite determinar a quantidade de água disponível para as plantas, garantindo que elas recebam a quantidade adequada para o seu desenvolvimento. Já a medição da temperatura do solo é crucial para entender as condições térmicas que afetam a absorção de água e nutrientes pelas raízes, além de influenciar diretamente a atividade microbiana e o crescimento das plantas. Juntas, essas medições fornecem uma visão abrangente das condições do solo, permitindo ajustes precisos na irrigação para otimizar o uso de recursos hídricos e promover um crescimento saudável das plantas.

3.5. Modelagem de Dados

Acertar na modelagem de dados para um projeto de automação de irrigação de um cultivo de uvas envolve a manutenção da umidade do solo dentro de uma faixa desejada, essencial para o desenvolvimento saudável das plantas. Para isso, é crucial considerar não apenas a série temporal da umidade do solo, mas também a previsão do tempo. Além disso, a série temporal de temperatura desempenha um

papel vital, pois a temperatura afeta diretamente a evapotranspiração e a absorção de água pelas raízes. Ao integrar dados históricos e previsões de umidade e temperatura, é possível criar um modelo preditivo robusto que permite ajustes precisos no sistema de irrigação, otimizando o uso da água e garantindo condições ideais para o cultivo das uvas.

3.6. Número e distribuição de sensores

Os sensores serão distribuídos supondo uma área de cobertura de 10m de raio. Para maximizar a área coberta, eles formarão um empacotamento hexagonal, como ilustrado pela imagem abaixo:

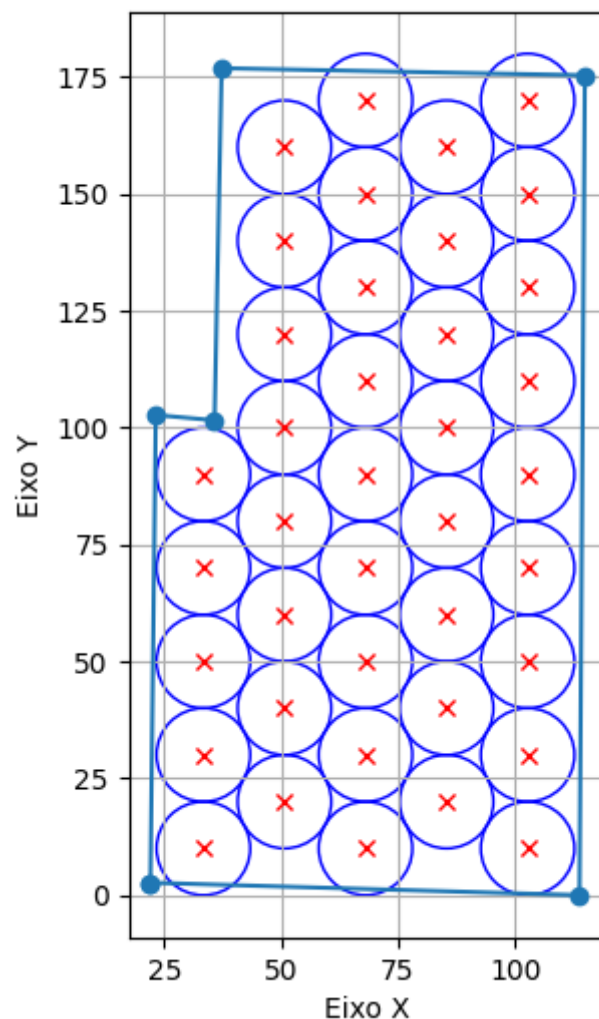


Figura X: Distribuição de sensores no terreno de teste

A área coberta por cada sensor é de $100\pi \text{ m}^2$, permitindo estimar o número necessário com base na área total. Para 1,5 hectares, a estimativa resulta em 47 sensores. No entanto, como nem toda a área é coberta, o total de sensores necessários será menor. No exemplo mencionado, 39 sensores foram suficientes para cobrir a área, embora algumas partes tenham ficado sem cobertura. Mantendo

uma distância mínima entre os sensores, as medições de umidade não devem variar bruscamente em condições normais, permitindo identificar possíveis erros de forma eficaz.

3.7. Valor dos sensores e componentes

Para determinar os custos dos componentes do projeto IoT, realizamos pesquisas em diversas lojas online, incluindo STMicroelectronics, RoboCore, Electrogate e Aliexpress. Abaixo estão as tabelas detalhando os valores aproximados dos componentes necessários para os sensores e nós do sistema.

Tabela de Custos - Sensores

Componentes	Valor Aproximado
Módulo Sensor De Umidade De Solo	R\$10,90
Sensor de temperatura DS18B20	R\$11,40
STM32F103C8T6 - Microcontrolador	R\$21,59
Módulo de comunicação LoraWan	R\$75,34
Bateria do Li-polímero do Li-íon, 802540, 3.7V, 1000mAh*	R\$14,89
Proteção e suporte, a prova de umidade para os componentes eletrônicos	R\$40,00
Total	R\$162,72

Tabela de custos - Nós

Componentes	Valor Aproximado
STM32F103C8T6 - Microcontrolador	R\$21,59
Módulo de comunicação LoraWan	R\$75,34
Bateria do Li-polímero do Li-íon, 802540, 3.7V, 1000mAh*	R\$14,89
Módulo Wifi	R\$12,25
Proteção e suporte, a prova de umidade para os componentes eletrônicos	R\$30,00
Total	R\$154,07

*Os sensores, atuadores e nós necessitam de bateria.

3.8. Tempo de Vida

Considerando as condições normais de operação, espera-se que os sensores de umidade e temperatura instalados na Fazenda Fittipaldi tenham uma vida útil de 5 a 10 anos. No entanto, devido à exposição contínua a variações de umidade, flutuações de temperatura, possíveis contaminantes como defensivos agrícolas e interferência humana, essa expectativa pode ser reduzida para um intervalo de 3 a 7 anos. É crucial monitorar regularmente o desempenho dos sensores e realizar manutenções preventivas para garantir a precisão e a confiabilidade das medições ao longo do tempo.

3.9. Armazenamento de Dados

Para o eficaz armazenamento e gerenciamento dos dados provenientes dos sensores na Fazenda Fittipaldi, será adotada uma solução baseada em serviços de nuvem como Google Cloud Platform ou AWS (Amazon Web Services). Essas plataformas oferecem robustez e escalabilidade necessárias para lidar com grandes volumes de dados de maneira eficiente e segura. Os dados serão estruturados e armazenados em tabelas específicas dentro do sistema de gerenciamento de banco de dados da nuvem.

Uma das principais tabelas será a de dados coletados, que conterá informações detalhadas como ID do sensor, timestamp das medições, registros de umidade e temperatura, e um indicativo de necessidade de irrigação. Esses dados são essenciais para monitorar as condições do solo em tempo real e para históricos de análise posterior. Além disso, uma tabela separada para dados enviados registrará informações sobre os atuadores, incluindo ID do atuador, timestamp das ações de irrigação realizadas, e possíveis respostas do sistema baseadas nas condições monitoradas.

Para complementar, serão mantidas tabelas dedicadas aos sensores e atuadores, que armazenam informações como ID, área de cobertura específica de cada sensor ou atuador, e suas respectivas coordenadas geográficas (latitude e longitude). Esses dados geoespaciais são cruciais para o gerenciamento preciso das operações agrícolas na fazenda, permitindo um controle mais eficiente das ações de irrigação e otimização da distribuição dos recursos hídricos conforme necessário.

Com essa infraestrutura de armazenamento e gerenciamento de dados na nuvem, a Fazenda Fittipaldi poderá não apenas garantir a integridade e segurança dos dados coletados, mas também facilitar análises avançadas e tomadas de decisão baseadas em dados concretos e atualizados em tempo real, contribuindo assim para a eficiência operacional e sustentabilidade das práticas agrícolas implementadas.

3.10. Visualização de Dados

O acesso visual aos dados desempenha um papel crucial na Fazenda Fittipaldi, oferecendo uma forma intuitiva e eficaz para funcionários e proprietários compreenderem as condições operacionais em tempo real. Visualizar informações como umidade do solo, temperatura e indicadores de irrigação de maneira gráfica não apenas simplifica a interpretação dos dados, mas também facilita a tomada de decisões informadas. Isso garante que todos os envolvidos na gestão da fazenda possam monitorar o desempenho dos sensores e ajustar estratégias de maneira proativa, melhorando assim a eficiência operacional e a produtividade.

Os quatro gráficos de séries temporais por ID de sensor permitem aos usuários selecionar e visualizar facilmente o histórico de dados de cada sensor na Fazenda Fittipaldi. Essa funcionalidade é essencial para análises detalhadas e para entender as variações ao longo do tempo em diferentes áreas da fazenda. Com a capacidade de escolher um sensor específico, os usuários podem identificar padrões sazonais, detectar anomalias e monitorar tendências ao longo das estações, fornecendo insights valiosos para otimizar práticas agrícolas e tomar decisões baseadas em dados robustos.

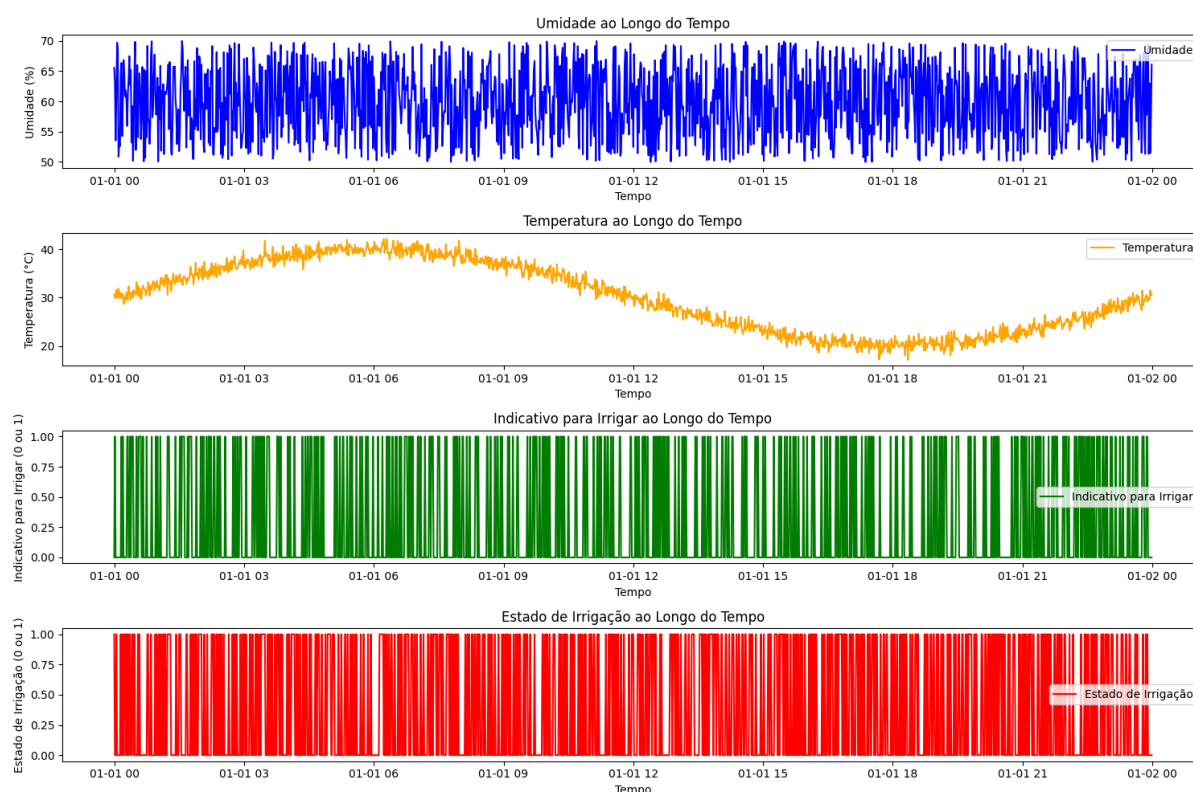


Figura X: Gráficos de séries temporais dos dados de um sensor

O scatterplot integrado ao mapa, que representa a posição espacial dos sensores da fazenda, utiliza cores para indicar o nível de umidade do solo em tempo real. Este formato não só oferece uma visão panorâmica da distribuição dos sensores, mas também permite interações detalhadas ao clicar em cada bolha. Ao visualizar o mapa, os usuários podem acessar informações adicionais sobre cada

sensor, incluindo dados como umidade, temperatura, além de coordenadas geográficas precisas, capacitando decisões precisas e eficientes no manejo agrícola diário.

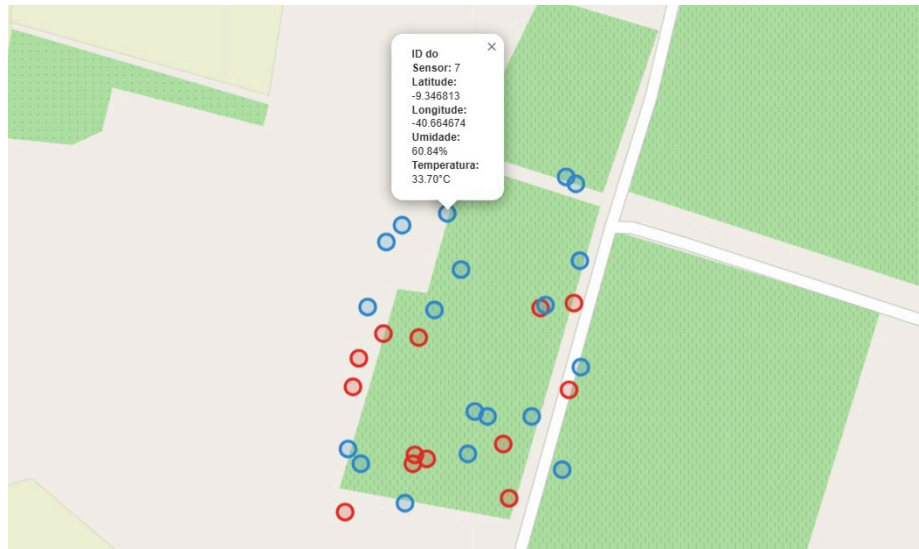


Figura X: Posição espacial dos sensores com nível de umidade

4. Implantação

Para a implantação deste projeto, serão montados os módulos sensores, que incluem uma unidade de sensoriamento, uma unidade de comunicação LoraWan e um microcontrolador, encapsulados por um suporte a prova de umidade para a proteção dos componentes eletrônicos. Estas estruturas serão acopladas às parreiras em locais estratégicos de modo a cobrir a maior área possível do terreno.

Os nós controladores, responsáveis por direcionar o tráfego de informações e enviá-las até a sala de controle são compostos por um microcontrolador, um módulo de comunicação LoraWan e um módulo WiFi, e também são protegidos pelo suporte a prova de umidade.

Os atuadores para a implementação do sistema de irrigação automatizado serão adicionados numa fase posterior do projeto, após as instalações das outras estruturas e validação do sistema como um todo.

Recomenda-se a implantação do projeto em ondas, para reduzir os custos iniciais de infraestrutura e permitir que possíveis complicações que surjam no decorrer do projeto sejam identificadas e sanadas o mais rápido possível sem grandes prejuízos. Validando os resultados da primeira onda, torna-se mais objetiva a análise de viabilidade para a implementação em todo o território ou se alterações são necessárias antes do escalonamento do sistema.

A rede implantada tem 3 níveis:

- Camada de borda - composta pelos sensores, é responsável apenas pela coleta e envio dos dados até os nós concentradores. Na próxima etapa, incluindo os atuadores, também será responsável por receber os sinais de controle e ligar/desligar a irrigação.
- Camada intermediária - formada pelos nós concentradores, deverá possuir uma capacidade de memória e trânsito de dados superior à camada de borda porque é responsável pela comunicação desta última com a camada da nuvem. Poderá incluir também o processamento necessário para a tomada de decisões simples.
- Camada da nuvem - será responsável pelo armazenamento de dados completos e pelo processamento pesado destes, podendo realizar análises mais profundas como comparar o estado atual do solo com dados externos (ex: previsão do tempo) para determinar o comportamento desejado do sistema. Possuirá autoridade hierárquica sobre as outras duas camadas para ativar sensores, requerer dados ou subscrever parâmetros.

Os microcontroladores e sensores foram programados através da plataforma STMCubeIDE em C++.

5. Conclusão

Este estudo demonstrou a viabilidade e os benefícios da aplicação de sensores de umidade e temperatura do solo baseados em IoT para o manejo automatizado da irrigação na viticultura da Fazenda Fittipaldi. A implementação de um sistema de monitoramento contínuo e preciso permite uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos, essencial em regiões semiáridas como Petrolina, Pernambuco.

A proposta inclui a instalação de sensores sem fio estrategicamente distribuídos em uma rede hexagonal para cobrir toda a área cultivável da fazenda. Essa distribuição otimiza a coleta de dados e garante a precisão das medições, essenciais para ajustar a irrigação conforme as necessidades específicas do solo e das plantas. Além disso, a utilização de uma infraestrutura baseada em serviços de nuvem, como Google Cloud Platform ou AWS, assegura o armazenamento seguro e o processamento eficiente dos dados coletados.

Os benefícios do sistema proposto incluem a redução do desperdício de água, o aumento da produtividade agrícola e a melhoria da qualidade das uvas, influenciando positivamente características como o teor de açúcar, a firmeza e a coloração dos frutos. A automação da irrigação elimina a subjetividade das inspeções manuais e facilita a tomada de decisões baseada em dados quantitativos e atualizados.

A visualização dos dados em tempo real, por meio de gráficos de séries temporais e scatterplots integrados ao mapa da fazenda, proporciona uma ferramenta intuitiva para os agricultores, permitindo um monitoramento eficaz e a

identificação rápida de possíveis problemas. A abordagem proposta não só contribui para a sustentabilidade e eficiência da produção agrícola, mas também representa um avanço significativo na integração de tecnologias de IoT na agricultura.

Finalmente, a implantação do projeto em ondas permite uma adaptação gradual e econômica, possibilitando ajustes e melhorias conforme necessário. A validação dos resultados iniciais orientará a expansão do sistema para cobrir toda a área da Fazenda Fittipaldi, garantindo um manejo hídrico racional e sustentável.

Com a crescente demanda por práticas agrícolas mais sustentáveis e eficientes, a aplicação de sensores de umidade e temperatura do solo baseados em IoT representa uma solução promissora para a viticultura, contribuindo para a resiliência agrícola em face das mudanças climáticas e das restrições hídricas.

6. Referências Bibliográficas

[1] DE SOUSA, Valdemício Ferreira et al. Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças. 2011.

[2] ROCHA, Julia Campos; DAL PIAZ, Juliana Fernandes; GALENO, Larissa da Fonseca; SANTOS, Luísa Marschhausen B. dos. Aprimoramento do Manejo da Irrigação por Meio de Sensores de Umidade do Solo Baseados em IoT. In: Engenharia Sistemas e Computação, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro – RJ – Brasil, 2024.

[3] WIKIPEDIA. Circle packing. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/Circle_packing. Acesso em: 15 jul. 2024.