

**SISTEMA DE MONITORAMENTO INTERNO PARA SILOS ELEVADOS DE
ARMAZENAGEM DE GRÃOS**

Rafael Florenciano Ferreira

Prof. Dr. Evandro Cesar Bracht (Orientador)

Dourados – MS

2024

**SISTEMA DE MONITORAMENTO INTERNO PARA SILOS ELEVADOS DE
ARMAZENAGEM DE GRÃOS**

Rafael Florenciano Ferreira

Este exemplar corresponde à redação final da monografia da disciplina Projeto Final de Curso devidamente corrigida e defendida por Rafael Florenciano Ferreira e aprovada pela Banca Examinadora, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Sistemas de Informação.

Dourados, 20 de novembro de 2024

Prof. Dr. Evandro Cesar Bracht
(Orientador)

Dourados – MS
2024

F443s Ferreira, Rafael Florenciano

Sistema de monitoramento interno para silos elevados de armazenagem de grãos / Rafael Florenciano Ferreira. – Dourados, MS: UEMS, 2024.

58 p.

Monografia (Graduação) – Sistemas de Informação – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, 2024.

Orientador: Prof. Dra. Evandro Cesar Bracht

1. Sistema de monitoramento. 2. Armazenagem de grãos. 3. Sensores I. Bracht, Evandro Cesar II. Título

CDD 23. ed. - 005.1

Ficha Catalográfica elaborada pela bibliotecária da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS)

Bruna Peruffo Vieira – CRB 1/2959

**SISTEMA DE MONITORAMENTO INTERNO PARA SILOS ELEVADOS DE
ARMAZENAGEM DE GRÃOS**

Rafael Florenciano Ferreira

Novembro de 2024

Banca Examinadora:

Prof. Msc. Delair Osvaldo Martinelli Júnior

Área de Computação – UEMS

Prof. Msc. Diogo Fernando Trevisan

Área de Computação – UEMS

Dourados – MS

2024

RESUMO

Neste trabalho é apresentado um sistema de monitoramento de armazenagem de grãos em silos, uma solução tecnológica essencial para garantir a qualidade e a segurança dos grãos armazenados. Com o uso de sensores, uma placa de prototipagem, um silo modelo e dispositivos eletrônicos, esse sistema coleta dados em tempo real sobre as condições internas dos silos, incluindo temperatura, umidade, nível interno dos grãos e presença de gases.

Essas informações permitem que os operadores identifiquem precocemente problemas como deterioração dos grãos, infestações por pragas e variações indesejadas nas condições de armazenamento. Com base nos dados coletados, podem ser tomadas medidas preventivas e corretivas para preservar a qualidade dos grãos.

Mediante as informações disponibilizadas no projeto, é possível realizar a integração com um Sistema Gerenciador (SG), os operadores podem acompanhar remotamente todos os dados em tempo real, monitorando continuamente as condições internas dos silos. O SG facilita o controle centralizado, permitindo uma gestão eficiente dos processos de armazenagem. Essa integração facilita a tomada de decisões estratégicas, o planejamento de ações de manutenção e a comercialização dos grãos armazenados.

Palavras-chave: *monitoramento de armazenagem, grãos, sensores.*

ABSTRACT

This work presents a grain storage monitoring system in silos, an essential technological solution to guarantee the quality and safety of stored grains. With the use of sensors, a prototyping board, a model silo and electronic devices, this system collects real-time data on the internal conditions of the silos, including temperature, humidity, internal grain level and presence of gases.

This information allows operators to identify problems such as grain deterioration, pest infestations and unwanted variations in storage conditions at an early stage. Based on the collected data, preventive and corrective measures can be taken to preserve the quality of the grains.

Using the information made available in the project, it is possible to integrate with a Management System (SG), operators can remotely monitor all data in real time, continuously monitoring the internal conditions of the silos. The SG facilitates centralized control, allowing efficient management of storage processes. This integration facilitates strategic decision-making, planning maintenance actions and the commercialization of stored grains.

Keywords: *storage monitoring, grains, sensors.*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1 Justificativa.....	16
1.2 Objetivos	17
1.2.1 Objetivo geral.....	17
1.2.2 Objetivo específico.....	17
1.3 Metodologia.....	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 Conceito e definição de silos	19
2.2 Classificação de silos	20
2.2.1 Classificação quanto à construção em relação ao solo	20
2.2.2 Classificação quanto ao material de construção	20
2.2.3 Classificação quanto ao uso	21
2.2.4 Classificação quanto à entrada de ar	22
2.2.5 Classificação quanto a capacidade estática	22
2.2.6 Classificação quanto ao sentido da maior dimensão da célula	22
2.3 Tecnologias de Monitoramento e Internet das Coisas (IoT)	23
2.4 Indústria 4.0 e monitoramento automatizado	23
2.4.1 Internet das coisas (IoT).....	24
2.4.2 Automação.....	25
2.4.3 Microcontroladores	26
2.4.4 Software supervisorio	26
2.4.5 Computação em nuvem.....	27
3. DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA	28
3.1 Arquitetura do sistema	28
3.1.1 Sensores	28
3.1.2 Sensores analógicos.....	28
3.1.3 Sensores digitais	29

3.1.4 Sensores utilizados.....	29
3.1.5 Comunicação e Armazenamento de Dados.....	30
3.1.6 Integração com o Software Supervisório.....	30
3.2 Modelo reduzido de silo	30
3.2.1 Materiais utilizados.....	31
3.2.2 Disposição dos sensores	31
3.3 Scripts de programação	34
3.3.1 Código fonte.....	34
3.3.2 Código do sensor de distância	34
3.3.3 Código do sensor de temperatura	35
3.3.4 Código do sensor de umidade e temperatura.....	36
3.3.5 Código do sensor de qualidade de ar	37
3.3.6 Configuração de Software.....	38
3.3.7 Exemplos de saídas de dados	38
4 IMPLEMENTAÇÃO.....	40
4.1 Material granular de estudo	40
4.2 Resultados dos testes com o modelo reduzido	41
4.2.1 Testes de Monitoramento	41
4.3 Dashboard	41
4.4 Alertas e notificações.....	43
4.4.1 Alerta de alta temperatura	44
4.4.2 Alerta de alta concentração de gases.....	44
4.4.3 Alerta de alta umidade	45
4.4.4 Alerta de nível de grãos	46
4.4.5 Benefícios dos alertas no sistema de monitoramento	47
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
5.1 Análise dos Resultados Obtidos.....	48
5.1.1 Monitoramento de Temperatura	48

5.1.2 Monitoramento de Temperatura	48
5.1.3 Monitoramento de Gases	49
5.1.4 Monitoramento do Nível de Grãos.....	49
5.2 Benefícios de Automação e IoT	49
5.3 Limitações e Possíveis Melhorias.....	50
6. Conclusão	51
6.1 Considerações Finais.....	51
6.2 Aplicações Futuras	51
6.3 Sugestões para Trabalhos Futuros.....	52
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Representação da usabilidade de Internet of Things (IoT)
Figura 2	Variação de temperatura medida por sensor analógico
Figura 3	Leitura da posição de objeto por pulso
Figura 4	Medidas silo modelo
Figura 5	Posição do sensor DHT22 no silo modelo.
Figura 6	Posição dos sensores BS18B20 no silo modelo.
Figura 7	Posição do sensor MQ-135 no silo modelo.
Figura 8	Posição do sensor HC-SR04 no silo modelo.
Figura 9	Posição do motor de vibração no silo modelo.
Figura 10	Código do cálculo de distância na placa de prototipagem Arduino.
Figura 11	Código do cálculo de distância na placa ESP32.
Figura 12	Código do cálculo de temperatura na placa de prototipagem Arduino.
Figura 13	Código do cálculo de temperatura na placa ESP32.
Figura 14	Código do cálculo de umidade na placa de prototipagem Arduino.
Figura 15	Código do cálculo de umidade na placa ESP32.
Figura 16	Código do cálculo de qualidade de ar na placa de prototipagem Arduino.
Figura 17	Código do cálculo de qualidade de ar na placa ESP32.
Figura 18	Exemplo de saída de dados no Blynk
Figura 19	Grãos de Zea Mays
Figura 20	Dashboard Blynk Nível dos grãos
Figura 21	Dashboard Blynk Temperatura
Figura 22	Dashboard Blynk Umidade.
Figura 23	Alerta de temperatura Blynk
Figura 24	Alerta de temperatura E-mail
Figura 25	Alerta de alta concentração de gases Blynk
Figura 26	Alerta de alta concentração de gases E-mail.
Figura 27	Alerta de alta umidade Blynk.
Figura 28	Alerta de alta umidade E-mail.
Figura 29	Alerta de nível dos grãos Blynk
Figura 30	Alerta de nível dos grãos E-mail

1. INTRODUÇÃO

O armazenamento de alimentos e grãos em estruturas próprias para esse fim é uma necessidade que vêm se mostrando presente desde a Grécia antiga no século VIII aC. No entanto, o primeiro silo de madeira criado para essa finalidade veio a ser projetado em 1873 por Fred L. Hatch. No outono de 1873, Fred convenceu seu pai Lewis a permitir que ele construísse uma estrutura dentro do celeiro para armazenar silagem. O silo projetado por Fred, construído acima do solo e dentro do celeiro, provou ser bem-sucedido em ajudar a manter o milho seco e descongelado, o que, por sua vez, leva a uma alimentação mais saudável para as vacas leiteiras e a um aumento na produção de leite.

É de extrema importância ter muita atenção no processo de armazenamento dos grãos nas fábricas, levando em consideração que, soja, milho, feijão, arroz e demais produtos graneleiros possuem diferentes características que afetam de forma significativa o comportamento durante o processamento e armazenamento. Os silos são estruturas que garantem a boa qualidade do produto por bastante tempo, por esse motivo, essa estrutura é utilizada em larga escala em fábricas e aviários.

Levando esse contexto em consideração, os sistemas informatizados de estocagem estão fazendo a substituição do controle que era realizado de forma manual e que demandava muito tempo e uma grande mão de obra.

Essa evolução, conseqüentemente, atrai outras melhorias, como a necessidade de um melhor monitoramento e controle do ambiente nos silos. Uma solução que pode ser utilizada para monitorar e gerenciar de forma remota é a utilização do conceito de Internet das Coisas (Internet of Things). A IoT redefine a maneira como interagimos com o mundo físico e viabiliza formas através do uso de técnicas computacionais de empreender, fazer negócios, gerenciar infraestrutura pública e privada, prover segurança e organizar a vida das pessoas. O conceito de IoT está contido na Indústria 4.0, que teve início na Alemanha pelo setor industrial de automóveis, se universalizando devido à completa automatização dos processos relacionados a produção.

Na Seção 1.1 serão apresentados os objetivos do desenvolvimento desse sistema.

1.1 Justificativa

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de grãos, como soja, milho e trigo, o que torna o armazenamento adequado desses produtos essencial para o sucesso

das operações agrícolas. A falta de monitoramento eficaz pode resultar em grandes perdas devido à deterioração dos grãos, pragas ou até mesmo incêndios causados pela fermentação. Um sistema de monitoramento automatizado não só reduz a necessidade de supervisão humana constante, mas também oferece dados precisos em tempo real, permitindo a tomada de decisões proativas para evitar problemas.

A implementação de um sistema de monitoramento baseado em IoT proporciona uma solução econômica e tecnológica, que pode ser aplicada tanto em grandes silos industriais quanto em fazendas de menor porte. Ao automatizar o processo de coleta de dados, o sistema não apenas melhora a eficiência operacional, mas também proporciona um aumento na segurança alimentar ao preservar a qualidade dos grãos armazenados. Este trabalho justifica-se pela necessidade de adaptar as inovações tecnológicas ao setor agrícola, alinhando-se às demandas da Indústria 4.0.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo principal dessa pesquisa é desenvolver um sistema de monitoramento interno de silos verticais elevados utilizando uma placa de prototipagem e vários sensores e será testado em um modelo reduzido de um silo. Esse projeto contribui com a compreensão e o avanço do campo de monitoramento de silos graneleiros.

1.2.2 Objetivo específico

- Construir um modelo reduzido de silo, utilizando materiais que simulem as condições de um silo real.
- Integrar sensores de temperatura, umidade, gases e nível de grãos no modelo, para coletar dados em tempo real.
- Implementar um sistema de comunicação via Wi-Fi para que os dados sejam enviados para um software supervisor.
- Avaliar os resultados obtidos e propor melhorias no sistema, para possíveis aplicações em silos de tamanho real.

1.3 Metodologia

A metodologia empregada neste trabalho inclui tanto a revisão teórica sobre o uso de tecnologias de monitoramento em silos graneleiros quanto a construção prática de um modelo reduzido para a implementação do sistema. A primeira etapa será a construção do modelo, que servirá como plataforma de testes para os sensores instalados. Serão utilizados sensores de umidade (AM2302/DHT22), temperatura

(DS18B20), gases (MQ-135) e nível ultrassônico (HC-SR04), conectados a um módulo ESP32 que permitirá a comunicação com o sistema supervisor via Wi-Fi.

A programação dos sensores será feita através da plataforma Arduino, utilizando scripts específicos para cada sensor, de modo a otimizar a coleta e transmissão dos dados. O software supervisor Blynk será utilizado para o monitoramento remoto dos dados, permitindo o acompanhamento em tempo real e o armazenamento das informações coletadas. Por fim, os testes serão conduzidos no modelo reduzido sob diferentes condições, para avaliar a robustez do sistema e sua viabilidade de aplicação em larga escala.

No capítulo 2 serão apresentadas as revisões bibliográficas dos conceitos referentes ao tema.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Conceito e definição de silos

Alves (2001), fala que silos são estruturas projetadas e construídos de várias maneiras e tamanhos dependendo do tipo de utilização e do processo ao qual são referidos. Freitas (2001) complementa a ideia de Alves (2001) aplicando a ideia do principal objetivo de um silo, armazenar produtos sólidos, granulares e pulverulentos, que podem ser esvaziados utilizando gravidade, ou através de meios mecânicos ou pneumáticos.

“Os silos podem ser construídos com os mais variados materiais como concreto armado, fibra de vidro, chapas de aço lisas ou onduladas, madeira, alvenaria de blocos cerâmicos ou de concreto” (FREITAS, 2001).

Para Mendes e Alami (2018), um silo deve cumprir um objetivo principal e imprescindível, armazenar e conservar de forma segura os grãos, sementes, cereais ou demais produtos contidos em seu interior

“Por situarem-se em zonas abertas, grande parte dos problemas nos grãos armazenados são, na maioria, causadas pela umidade, temperatura, animais (como insetos, roedores, pássaros) e fungos” (SANTOS, 2018). Porém, a umidade é um dos pontos mais importantes dos grãos que são armazenados em silos, sendo o mais difícil de controlar, isso por conta do grande potencial de absorção e de cedência de água dos grãos, resultando em uma interferência na temperatura no ambiente interior do silo.

Silva (2005) afirma que, se deseja uma armazenagem eficiente, deve-se garantir que o silo não obtenha um alto teor de umidade. Logo, é necessário que o silo seja mantido com um teor de umidade entre 10 e 13%, evitando a proliferação de fungos, insetos, entre outras pragas que comprometam a integridade do produto armazenado. Para resolver o problema de umidade, são utilizadas as tecnologias de secagem e aeração nos silos.

“O armazenamento bem-sucedido de grãos depende do controle das variáveis físicas, químicas e biológicas de fontes externas e internas. Uma das principais variáveis a ser controlada é a temperatura, que por falta do controle pode facilitar condições para que variáveis biológicas externas (fungos, bactérias, insetos entre outros) se instalem dentro do mesmo. Outro fator causado pela elevação da temperatura é o aumento da taxa de respiração do grão, fazendo com que se deteriore e libere CO₂ dentro do silo” (FARONI, 1998).

Na Seção 2.2 serão apresentadas as diversas classificações dos silos.

2.2 Classificação de silos

Não existe entre os pesquisadores um consenso exato sobre a classificação de silos, no entanto, segundo Fortes (1985), os silos podem ser classificados de diversas maneiras, como por exemplo: quanto à construção em relação ao solo, quanto ao material de construção, quanto à categoria, quanto à entrada de ar, quanto à capacidade estática, definida como o volume ou peso máximo de material que o silo pode armazenar, e quanto ao sentido da maior dimensão da célula.

2.2.1 Classificação quanto à construção em relação ao solo

a) Silos elevados ou aéreos:

“São caracterizados por serem construídos acima do nível do solo; todos os grandes silos com células de muitos metros de altura geralmente são deste tipo” (Fortes, 1985).

b) Silos subterrâneos:

Segundo Fortes (1985), são aqueles em que os compartimentos para a estocagem se localizam abaixo do nível do solo. São construções mais simples que os silos elevados, porém estão sujeitos à infiltração de água e tem descarga mais lenta. Representado na imagem a seguir, onde AG = peso/tampa do silo, BG = produto armazenado e CG = isolador de contato do produto armazenado com o solo.

c) Silos semi-subterrâneos

“São unidades intermediárias entre os dois tipos anteriores, pois parte de sua construção fica acima do solo e parte abaixo” (Fortes, 1985).

2.2.2 Classificação quanto ao material de construção

a) Silo de madeira

“São silos com capacidade relativamente pequena, apresentando algumas desvantagens como o perigo de incêndio e pouca durabilidade. Nas regiões onde a madeira é um material de construção disponível e barato, tais silos devem ser vistos com interesse” (Fortes, 1985).

b) Silo de alvenaria

“São silos construídos com tijolos ou blocos de concreto e argamassa de cimento; são pouco utilizados no Brasil” (Fortes, 1985).

c) Silo de concreto

“Estes silos subdividem-se em silos de concreto armado e de concreto protendido e destinam-se geralmente ao armazenamento de grandes volumes, possuindo várias células. Os silos de concreto armado são geralmente multicelulares com células cilíndricas interligadas com grande altura. Os silos de concreto protendido são usuais, podendo-se citar exemplos de silos formados por um conjunto de células cilíndricas isoladas com grande diâmetro e de silos constituídos por peças pré-moldadas onde uma das funções da protensão é solidarizar estas peças” (Fortes, 1985).

d) Silo metálico

“São geralmente pré-fabricados de pequena e média capacidade cujas paredes das células são de chapas lisas ou onduladas de aço, alumínio ou ferro galvanizado, montados sobre um piso de concreto. Estes silos são muitas vezes constituídos de várias células cilíndricas isoladas, conseguindo-se atingir então uma grande capacidade de armazenamento. Os silos cujas paredes das células são constituídas de chapas corrugadas (trapezoidais) são geralmente elevados” (Fortes, 1985).

2.2.3 Classificação quanto ao uso

a) Silos agrícolas

Silos agrícolas são os silos que possuem o objetivo de estocar grãos alimentícios e quanto à função podem ser:

a.1) Silos de granja

“Geralmente pequenos, construídos de concreto armado, chapas metálicas, madeira, destinam-se a facilitar a manipulação dos grãos e diminuir os custos com sacarias” (Fortes, 1985).

a.2) Silos coletores ou regionais

“Estão localizados em zonas de produção e servem para coletar e beneficiar uma parcela significativa da produção de grãos da região ao seu alcance” (Fortes, 1985).

a.3) Silos intermediários

“Estes silos acham-se localizados em pontos estratégicos da malha de vias de transporte e visam regular e escalonar os fluxos que se dirigem aos terminais portuários, proporcionando um armazenamento temporário” (Fortes, 1985).

a.4) Silos portuários

“São unidades de grande porte e alta cadência operacional, localizados em pontos de embarque, possuindo equipamentos especiais para carregamento e descarregamento de navios, barcas, chatas, etc...” (Fortes, 1985).

b) Silos industriais

“São silos destinados ao armazenamento de materiais industriais constituídos de partículas cujo tamanho varia dentro de uma ampla gama de valores. Para cada espécie de material há um tipo de silo específico; assim existem silos para carvão, fosfatos, cimento, etc...” (Fortes, 1985).

2.2.4 Classificação quanto à entrada de ar

a) Silos herméticos

“Neste tipo de silo a troca de ar no interior da célula com o exterior é impedida, fato este importante na conservação do material” (Fortes, 1985).

b) Silos não herméticos

“São aqueles em que nenhum impedimento é feito à troca de ar entre o interior da célula e o exterior” (Fortes, 1985).

2.2.5 Classificação quanto a capacidade estática

“Os silos podem ser classificados como de pequeno, de médio e de grande porte. Pode-se dizer que os pequenos silos têm quase sempre apenas uma célula e estão presentes nas pequenas granjas e fazendas, tendo pequenas dimensões; os silos de médio porte encontram-se nas grandes fazendas ou servem para guardar a produção agrícola de região produtora; os grandes silos têm geralmente muitas células e são encontrados nos portos, ou em locais onde há a necessidade de guardar grandes quantidades de determinados produtos. Nas indústrias têm-se geralmente os silos de pequeno e médio porte, sendo comum os bunkers” (Fortes, 1985).

2.2.6 Classificação quanto ao sentido da maior dimensão da célula

“Existe ainda uma classificação, bastante utilizada no Brasil, que distingue os silos segundo o sentido de desenvolvimento da célula, separando-os em silos horizontais, se uma das dimensões do fundo do silo prevalece em relação à altura, e em silos verticais, se a altura da célula prevalece em relação às dimensões da base” (Fortes, 1985).

Na Seção 2.3 será apresentado o conceito de modelos reduzidos.

2.3 Tecnologias de Monitoramento e Internet das Coisas (IoT)

A introdução de sistemas de monitoramento baseados em Internet das Coisas (IoT) no setor agrícola trouxe uma revolução na forma como os dados são coletados, analisados e utilizados. A IoT permite a integração de sensores em rede, que transmitem dados em tempo real para sistemas de controle, como aponta Colombo & Lucca Filho (2018). Essa tecnologia permite monitorar o estado dos grãos dentro dos silos, capturando variáveis cruciais como temperatura, umidade e presença de gases.

Com a ajuda de sensores conectados a uma rede Wi-Fi e sistemas em nuvem, como o Blynk, o operador pode monitorar remotamente as condições do silo, tomar decisões informadas, e atuar preventivamente para evitar perdas. A conectividade e a automação trazidas pela IoT garantem maior precisão e economia de recursos, reduzindo a necessidade de intervenções humanas constantes.

Na Seção 2.4 será apresentado o conceito de Indústria 4.0 e os avanços que a acompanharam.

2.4 Indústria 4.0 e monitoramento automatizado

A quarta revolução indústria teve seu início demarcado na virada do século e tem como base a revolução digital. Caracterizada por uma internet mais globalizada e de fácil acesso, por sensores menores e mais potentes, pela inteligência artificial e aprendizagem automática (SCHWAB, 2018).

Ainda segundo Schwab (2018), na Alemanha, há discussões sobre o termo “Indústria 4.0”, termo cunhado pela primeira vez em 2011 na feira de Hannover para descrever como isso irá revolucionar a organização das cadeias globais de valor. Ao permitir fábricas inteligentes, a quarta revolução industrial cria um mundo flexível, onde os sistemas físicos e virtuais de fabricação cooperam entre si. No entanto, essa revolução não se diz respeito somente a sistemas e máquinas conectadas. Ondas de novas descobertas ocorrem simultaneamente em áreas que vão desde o sequenciamento genético passando pela nanotecnologia, das energias renováveis até a computação quântica. O que torna a quarta revolução industrial uma fusão de tecnologia e a interação entre os domínios físicos, digitais e biológicos.

De acordo com CNI (2016), o processo de incorporar a tecnologia digital à atividade industrial resultou no conceito de Indústria 4.0, em referência ao que seria a 4ª Revolução Industrial, caracterizada pela integração e controle da produção a partir de sensores e equipamentos conectados em rede e da fusão do mundo real com o

virtual, criando os chamados sistemas ciberfísicos e viabilizando o emprego da inteligência artificial.

A Indústria 4.0 pode ser descrita como uma cadeia de inovações tecnológicas que estão mudando os processos de fabricação. Podemos ver a seguir algumas das inovações tecnológicas associadas à Indústria 4.0.

2.4.1 Internet das coisas (IoT)

“A Internet das Coisas (do inglês Internet of Things, IoT), é uma infraestrutura de comunicação que permite conectar o mundo real e o virtual, criando um “novo mundo” mais inteligente nos diversos segmentos da sociedade moderna. A IoT é utilizada para designar a conectividade entre vários objetos do mundo físico, sensíveis à internet, por exemplo, eletrodomésticos, carros e ainda máquinas e equipamentos industriais através de sensores, que são capazes de capturar eventos do mundo real e enviá-los às plataformas de comunicação e interconexão que recebem dados e informações, permitindo a manipulação de forma inteligente e construindo uma rede de objetos interconectados. A IoT aliada à tecnologia do Big Data, transforma o setor industrial e seus processos decisórios, tendo grande importância para indústria 4.0 sendo este um novo paradigma de processos de produção.” (COLOMBO & LUCCA FILHO, 2018).

Conforme Santos et al. (2016) descreveram, a Internet das Coisas (IoT), surgiu após avanços em muitas áreas, sendo essas, sistemas embarcados, microeletrônicos, comunicação e sensoriamento, entre outras. De maneira resumida, a Internet das Coisas é uma extensão da Internet atual que possibilita que objetos cotidianos, que possuem capacidade de comunicação, sejam conectados à rede. Essa conexão à Internet oferece duas vantagens principais, sendo elas: a capacidade de controlar remotamente esses objetos e a possibilidade de acessá-los como provedores de serviços.

“Estimativas indicam que em 2050 seremos nove bilhões de pessoas. Recentes estudos da Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD) e Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) estimam que a produção mundial precisará crescer perto de 60%, enquanto a taxa de crescimento da terra arável está prevista para cerca de 5%” (ALBERTIN & ALBERTIN, 2017).

A seguir, a Figura 1 exemplifica as diversas aplicações da Internet das Coisas (IoT) no contexto moderno.

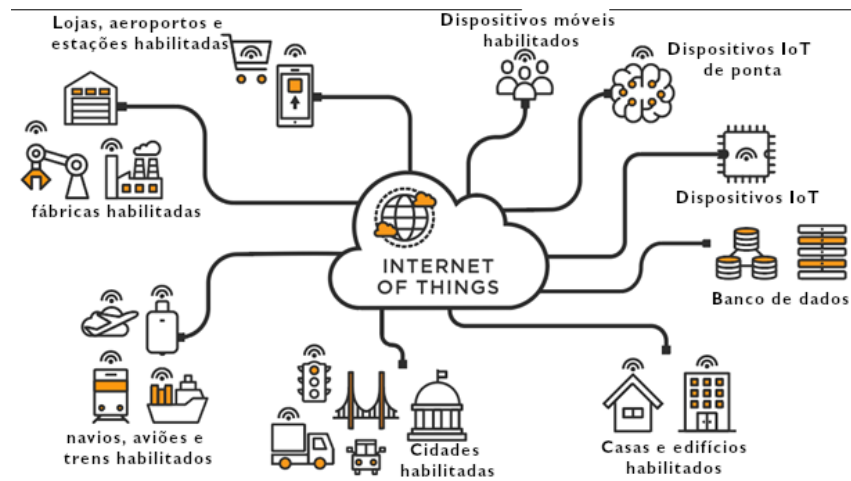


Figura 1. representação da usabilidade de Internet of Things (IoT) - FONTE: <https://ferreiranews.com.br/wp-content/uploads/2023/03/IoT.png>

“A aplicação de IoT vem ao encontro dessa tendência e envolve desde a mecanização do campo, com tecnologia embarcada para preparo das áreas de plantio, aplicação correta e uniforme de fertilizantes, podas e colheita, até o que está sendo denominada de agricultura de precisão. Com o uso de sensores e drones, combinado com plataformas de grande volume de dados exploradas com inteligência analítica e cognitiva, temos todo o ferramental para a melhor tomada de decisão” (ALBERTIN & ALBERTIN, 2017).

2.4.2 Automação

Segundo Camargo (2013), usufruímos da automação em muitas ações que realizamos no nosso dia a dia, por exemplo, quando entramos em um elevador e selecionamos o andar, presumimos que o elevador irá parar automaticamente no andar desejado. Esse processo é automático, logo, ocorre sem a intervenção humana. Portanto, quando estamos falando de automação, nos referimos ao processo de instalar controles automáticos em um equipamento, máquina ou processo.

De acordo com Groover (2011), os principais fatores que influenciam positivamente a automação são: o aumento da produtividade, a redução dos custos de trabalho, minimizar os efeitos da falta de trabalhadores, a redução ou eliminação das rotinas manuais, o aumento da segurança do trabalhador, a melhora da qualidade do produto, a diminuição do tempo de produção ou redução dos processos que não podem ser executados manualmente.

2.4.3 Microcontroladores

Segundo Gimenez (2005), microcontroladores são computadores completos de tamanho reduzido. Um microcontrolador conta com um processador, memória e com capacidade de Entrada/Saída (E/S). Por meio da capacidade de E/S é possível detectar os botões e interruptores e controlar luzes, monitores, sons e motores do aparelho. Há dois tipos de microcontroladores, os microcontroladores de propósitos gerais e propósitos específicos. Os de propósitos gerais são menores e comuns, no entanto, os de propósitos específicos têm uma arquitetura e um conjunto de instruções dirigido para alguma aplicação específica, como multimídia.

De acordo com Trindade e Penido (2013), um microcontrolador é um computador em um único chip. O microcontrolador possui um processador (Unidade Lógica e Aritmética – ULA), memória, periféricos de entrada e de saída, temporizadores, dispositivos de comunicação serial, dentre outros.

“Uma aplicação particularmente divertida dos microcontroladores é na plataforma de controle embutida Arduino, que foi projetada por Massimo Banzi e David Cuartielles em Ivrea, Itália. Seu objetivo para o projeto foi produzir uma plataforma de computação embutida completa, que custa menos que uma pizza grande com cobertura extra, tomando-o facilmente acessível a alunos e curiosos” (GIMENEZ, 2005).

“O sistema Arduino é um projeto de hardware de fonte aberta, o que significa que todos os seus detalhes são publicados e gratuitos, de modo que qualquer um pode montar (e até mesmo vender) um sistema Arduino. Ele é baseado no microprocessador RISC de 8 bits Atmel AVR, e a maioria dos projetos de placa também inclui suporte básico para E/S. A placa é programada usando uma linguagem de programação embutida, chamada Wiring, que tem embutidos todos os balangandãs exigidos para controlar dispositivos em tempo real. O que torna a plataforma Arduino divertida de usar é sua comunidade de desenvolvimento grande e ativa. Existem milhares de projetos publicados usando o Arduino, variando desde um farejador de poluentes eletrônico até uma jaqueta de ciclismo com sinais de seta, um detector de umidade que envia e-mail quando uma planta precisa ser aguada e um avião autônomo não pilotado” (GIMENEZ, 2005).

2.4.4 Software supervisorio

Segundo Santos et. al (2021), um sistema supervisorio ou sistema Scada (Supervisory Control and Data Acquisition – Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados), é uma tecnologia que permite esse monitoramento, rastreando os dados do

processo da instalação física do sistema. As informações são obtidas por equipamento coletores de dados, manipulando e analisando, depois armazenando e permitindo que o usuário tenha acesso a esses dados.

De acordo com Coelho (2009), quando utilizamos um sistema supervisor para monitorar e controlar processos obtemos processamentos mais rápidos e eficientes. Problemas e incidentes podem ser facilmente e rapidamente detectados para serem corrigidos o mais rápido possível.

2.4.5 Computação em nuvem

Segundo Machado et. al (2009), a computação em nuvem vem da necessidade de construir infraestruturas de TI mais complexas, onde os usuários precisam instalar, configurar e atualizar sistemas de software. Em um contexto geral, os recursos de computação e hardware são propensos a ficarem ultrapassados e obsoletos rapidamente e a utilização de plataformas computacionais de terceiros é uma boa alternativa para os usuários lidarem com a infraestrutura de TI. Na computação em nuvem os usuários conseguem acessar os recursos de TI, fornecidos como serviços, sem ter que conhecer a tecnologia utilizada. Desse modo, os usuários e as empresas começaram a acessar os serviços sob demanda e independente de localização, o que influenciou no aumento da quantidade de serviços disponíveis.

De acordo com Filho (2013), a nuvem é um ambiente no qual são armazenadas as informações dos clientes e o acesso a essas informações se dá por meio de softwares que podem ser acessados de qualquer dispositivo que possua acesso à Internet.

No capítulo 3 serão apresentados os diversos tipos de sensores que serão utilizados no projeto.

3. DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA

O desenvolvimento do sistema de monitoramento para silos de armazenamento de grãos foi realizado com base na utilização de uma combinação de sensores eletrônicos, comunicação sem fio e um modelo reduzido de silo. O objetivo principal foi coletar dados em tempo real sobre as condições internas do silo, como temperatura, umidade, presença de gases e o nível dos grãos, enviando essas informações para um sistema supervisório que permite o acompanhamento remoto.

3.1 Arquitetura do sistema

3.1.1 Sensores

De acordo com Wendling (2010), para a automação em indústrias, automobilísticas, domésticos, entre outros, é necessário determinar as variáveis ou condições do sistema. Essa é a função dos sensores, que informam um circuito eletrônico os eventos que ocorrem no ambiente externo, determinando a maneira que ele deve atuar, ou mesmo que comandos ele deve executar. Desse modo, os sensores e atuadores são os elementos principais que atuam sobre a automação, uma vez que, verificam e interferem no meio controlado.

Continuando com as ideias de Wendling (2010), sensor é um termo utilizado para nomear dispositivos sensíveis à alguma forma de energia do ambiente que pode ser luminosa, térmica, cinética, relacionando as informações sobre uma grandeza física que pode ser medida.

Podemos classificar os sensores em 2 categorias, como afirma Albuquerque e Thomazini (2009), essas categorias são: sensores analógicos e sensores digitais.

3.1.2 Sensores analógicos

Albuquerque e Thomazini (2009) dizem que, sensores analógicos podem assumir qualquer valor no seu final de saída ao longo do tempo, desde que esteja dentro da sua faixa de operação. Essas variáveis podem ser medidas por elementos sensíveis com circuitos eletrônicos não digitais. A figura 2 mostra a variação de temperatura medida de forma analógica:

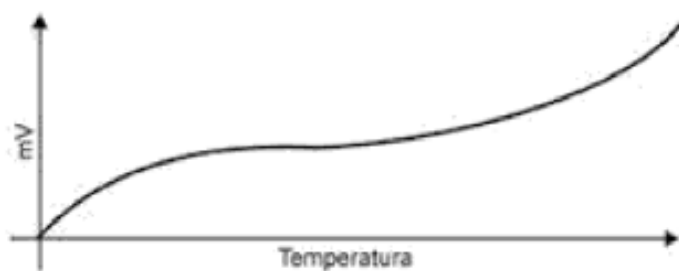


Figura 2. Variação de temperatura por sensor analógico – FONTE: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=1qgPEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP15&dq=sensores&ots=RJbu2MjFTD&sig=-RKrwGfTkJI5ydoOqux46PNqLwQ#v=onepage&q&f=false>

3.1.3 Sensores digitais

Ainda segundo Albuquerque e Thomazini (2009), sensores digitais só assumem dois valores no seu sinal de saída, que são lidos como 0, que remete à OFF (desligado) e 1, que remete à ON (ligado). Não existem grandezas físicas que assumem esses valores naturalmente, no entanto, eles são mostrados com esses valores após serem convertidos pelo circuito elétricos de sensores ou transdutores, onde a saída se apresenta através de pulsos ou códigos binários. A figura 3 mostra a posição de um objeto lida por pulsos:

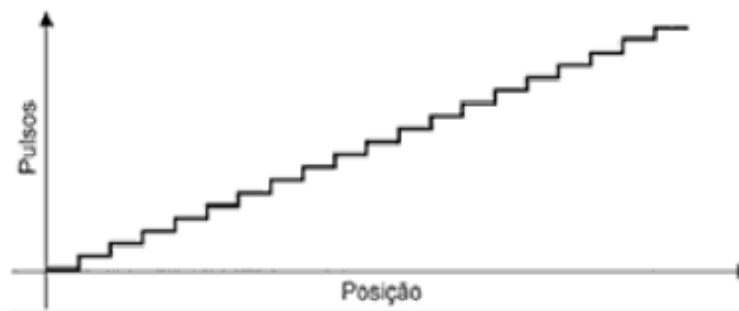


Figura 3. Leitura da posição de objeto por pulso - FONTE: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=1qgPEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP15&dq=sensores&ots=RJbu2MjFTD&sig=-RKrwGfTkJI5ydoOqux46PNqLwQ#v=onepage&q&f=false>

3.1.4 Sensores utilizados

O sistema de monitoramento foi projetado para coletar dados de quatro variáveis principais: umidade, temperatura, gases e nível de grãos. Os sensores escolhidos para esse projeto foram:

- Sensor de Umidade AM2302/DHT22: Responsável pela medição da umidade relativa do ar dentro do silo, crucial para manter as condições adequadas de armazenagem. Funciona com uma faixa de umidade de 0-100% e temperatura de -40 a +80°C.
- Sensor de Temperatura DS18B20: Mede a temperatura interna em três diferentes pontos do silo (topo, meio e base) para garantir a uniformidade

da temperatura e evitar zonas de calor que podem acelerar a degradação dos grãos. Mede temperaturas de -55°C a 125°C .

- Sensor de Gás MQ-135: Detecta a presença de gases tóxicos, como amônia, sulfeto de hidrogênio e benzeno, que podem ser gerados no armazenamento prolongado de grãos. Detecta concentrações de gases entre 10 e 1.000 ppm.
- Sensor de Nível Ultrassônico HC-SR04: Monitora o nível dos grãos dentro do silo, calculando a distância entre o topo do silo e o nível atual dos grãos com base no tempo de ida e volta de pulsos ultrassônicos.

3.1.5 Comunicação e Armazenamento de Dados

A placa ESP32, com capacidade de comunicação Wi-Fi integrada, é a responsável por receber os dados coletados pela placa de prototipagem Arduino e enviá-los para o sistema supervisorio em tempo real. Essa placa é ideal para projetos de IoT, por possuir baixo consumo de energia, tamanho compacto e suporte para múltiplos sensores.

Os dados coletados são transmitidos para o Blynk, que atua como o software supervisorio. O Blynk permite a criação de uma interface gráfica personalizada, onde os dados de umidade, temperatura, nível de grãos e gases podem ser monitorados remotamente através de dispositivos móveis ou computadores conectados à internet. Além disso, o Blynk também gera alertas e relatórios baseados nos parâmetros coletados.

3.1.6 Integração com o Software Supervisorio

A integração do sistema com o Blynk se dá através da comunicação Wi-Fi oferecida pelo módulo ESP32. Cada sensor é programado para transmitir seus dados em intervalos regulares para o Blynk, onde um painel visual exibe esses dados de forma clara e organizada. O painel supervisorio pode ser acessado de qualquer local, permitindo o monitoramento remoto do silo em tempo real.

3.2 Modelo reduzido de silo

O modelo reduzido de silo construído para testes possui dimensões apropriadas para simular o comportamento de um silo real. O protótipo foi construído em aço galvanizado com uma altura total de 100 cm e diâmetro de 30 cm. Esse modelo permite testar a eficácia dos sensores e verificar a integridade dos dados coletados em um ambiente controlado. A seguir, a Figura 4 exemplifica as medidas do silo modelo.

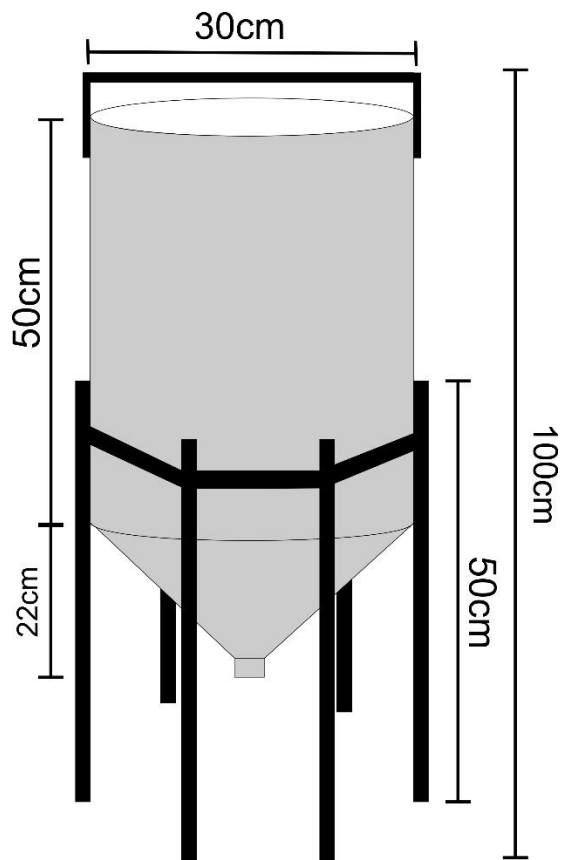


Figura 4. Medidas silo modelo – FONTE: fonte própria

3.2.1 Materiais utilizados

Os materiais utilizados para a construção do modelo incluem:

- Aço galvanizado para o corpo do silo e suportes estruturais, que oferece resistência ao ambiente e mantém a integridade do sistema durante os testes.
- Hastes de apoio de 60 cm, fixadas ao modelo para garantir sua estabilidade durante as medições.
- Tremonha com ângulo de 45° para simular a saída dos grãos.

3.2.2 Disposição dos sensores

Os sensores foram posicionados estrategicamente dentro do silo para garantir uma coleta precisa dos dados:

- O sensor de umidade foi colocado na parte superior interna do silo para medir a umidade do ar no ambiente de armazenagem. A seguir, a Figura 5 exemplifica a disposição do sensor no silo modelo.



Figura 5. Posição do sensor DHT22 no silo modelo – FONTE: Fonte própria.

- Três sensores de temperatura foram instalados ao longo da altura do silo, um na parte superior, outro no meio e o terceiro na base. A seguir, a Figura 6 exemplifica a disposição do sensor no silo modelo.



Figura 6. Posição dos sensores DS18B20 no silo modelo – FONTE: Fonte própria.

- O sensor de gás foi posicionado na parte superior do corpo do silo, onde a concentração de gases tende a ser maior devido à liberação durante a fermentação dos grãos. A seguir, a Figura 7 exemplifica a disposição do sensor no silo modelo.

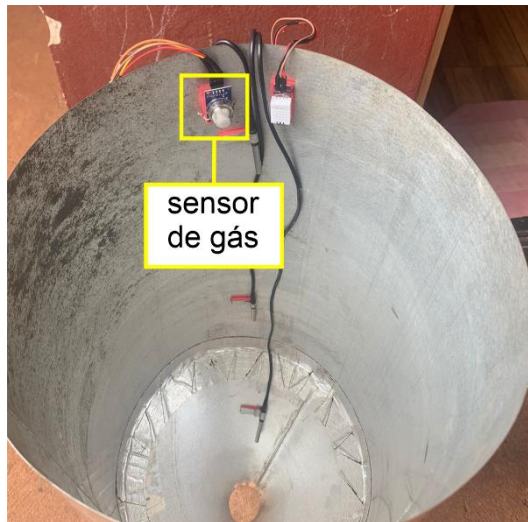


Figura 7. Posição do sensor MQ-135 no silo modelo – FONTE: Fonte própria.

- O sensor de nível ultrassônico foi centralizado no topo do silo para medir a distância até o nível dos grãos. A seguir, a Figura 8 exemplifica a disposição do sensor no silo modelo.



Figura 8. Posição do sensor HC-SR04 no silo modelo – FONTE: Fonte própria.

- O motor de vibração posicionado na saída de escoamento dos grãos para evitar o surgimento de arcos coesivos durante o esvaziamento do silo. A seguir, a Figura 9 exemplifica a disposição do sensor no silo modelo.



• *Figura 9. Posição do motor de vibração no silo modelo – FONTE: Fonte própria.*

3.3 Scripts de programação

A programação dos sensores foi realizada na plataforma Arduino, utilizando a IDE Arduino para compilar e transferir os scripts para o ESP32.

3.3.1 Código fonte

O código foi estruturado para integrar os dados de todos os sensores, processá-los utilizando a placa de prototipagem Arduino e enviar os dados ao ESP32, que enviará para o Blynk.

3.3.2 Código do sensor de distância

Para poder calcular o nível de preenchimento do silo, o tamanho total do corpo do silo foi atribuído à variável “tam_max” e esse valor em cm é transformado em uma porcentagem que representa o preenchimento do silo. Segue abaixo o código responsável por realizar isso. A seguir, a Figura 10 exemplifica o código utilizado para calcular a distância na placa de prototipagem Arduino.

```

7  #define trigPin 12
8  #define echoPin 11
< >
26  int lerDistancia() {
27      digitalWrite(trigPin, LOW);
28      delayMicroseconds(2);
29      digitalWrite(trigPin, HIGH);
30      delayMicroseconds(10);
31      digitalWrite(trigPin, LOW);
32      unsigned long duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
33  }
34      if (duration == 0) {
35          return -1; // Indica erro na leitura da distância
36      }
37      return duration * 0.034 / 2;
38  }
72  int distance = lerDistancia();
73  int result = distance * 100;
74  int result2 = tam_max;
75  distance = result / result2;
76  distance = (distance - 100) + (2*(100-distance));
87  Serial.print("Nivel: ");
88  if (distance == -1) {
89      Serial.println("Erro na leitura da distância");
90  } else {
91      Serial.print(distance);
92      Serial.println(" %");
93  }

```

Figura 10. Código do cálculo de distância na placa de prototipagem Arduino – FONTE: Fonte própria.

A figura 10 representa um código que calcula, em porcentagem, o nível dos grãos no interior do silo e envia - via comunicação serial entre a placa de prototipagem Arduino e o ESP32 - os dados obtidos para o ESP32, que atribui esses dados a um pino virtual da plataforma Blynk. Como mostrado na imagem abaixo na figura 11:

```

28
29  // Process the received data and assign the values to variables
30  int separatorIndex = data.indexOf(':');
31  String key = data.substring(0, separatorIndex);
32  String value = data.substring(separatorIndex + 1);
33  Blynk.run();
34  if (key == "Nivel") {
35      int distance = value.toInt();
36      Blynk.virtualWrite(V0, distance);

```

Figura 11. Código do cálculo de distância na placa ESP32 – FONTE: Fonte própria.

3.3.3 Código do sensor de temperatura

A seguir, a Figura 12 representa um código utilizado para obter os dados dos sensores e enviar os dados da placa de prototipagem Arduino ao sensor ESP32.

```

9  #define SENSOR_PIN_1 10
10 #define SENSOR_PIN_2 9
11 #define SENSOR_PIN_3 8
12
48 bool lerDS18B20(DallasTemperature& sensors, float& temperatura) {
49     sensors.requestTemperatures();
50     temperatura = sensors.getTempCByIndex(0);
51     if (temperatura == -127.00 || temperatura == 85.00) {
52         return false; // Indica erro na leitura do DS18B20
53     }
54     return true;
55 }
56
80 float temperaturaDS18B20_1, temperaturaDS18B20_2, temperaturaDS18B20_3;
81 bool sucessoDS18B20_1 = lerDS18B20(sensors_1, temperaturaDS18B20_1);
82 bool sucessoDS18B20_2 = lerDS18B20(sensors_2, temperaturaDS18B20_2);
83 bool sucessoDS18B20_3 = lerDS18B20(sensors_3, temperaturaDS18B20_3);
84
111 Serial.print("Sensor1 - Temperatura Celsius: ");
112 if (!sucessoDS18B20_1) {
113     Serial.println("Erro na leitura do DS18B20");
114 } else {
115     Serial.print(temperaturaDS18B20_1);
116     Serial.println("°C");
117 }
118
119 Serial.print("Sensor2 - Temperatura Celsius: ");
120 if (!sucessoDS18B20_2) {
121     Serial.println("Erro na leitura do DS18B20");
122 } else {
123     Serial.print(temperaturaDS18B20_2);
124     Serial.println("°C");
125 }
126
127 Serial.print("Sensor3 - Temperatura Celsius: ");
128 if (!sucessoDS18B20_3) {
129     Serial.println("Erro na leitura do DS18B20");
130 } else {
131     Serial.print(temperaturaDS18B20_3);
132     Serial.println("°C");
133 }

```

Figura 12. Código do cálculo de temperatura na placa de prototipagem Arduino – FONTE: Fonte própria.

O ESP32 recebe os dados e o atribui a um pino virtual da plataforma Blynk, como mostrado na Figura 13 a seguir.

```

40     }else if (key == "Sensor1 - Temperatura Celsius"){
41         float temperature1 = value.toFloat();
42         Blynk.virtualWrite(V2, temperature1);
43     }else if (key == "Sensor2 - Temperatura Celsius"){
44         float temperature2 = value.toFloat();
45         Blynk.virtualWrite(V3, temperature2);
46     }else if (key == "Sensor3 - Temperatura Celsius"){
47         float temperature3 = value.toFloat();
48         Blynk.virtualWrite(V4, temperature3);

```

Figura 13. Código do cálculo de temperatura na placa ESP32 – FONTE: Fonte própria.

3.3.4 Código do sensor de umidade e temperatura

A seguir, a Figura 14 representa um código utilizado para obter os dados dos sensores e enviar os dados da placa de prototipagem Arduino ao sensor ESP32.

```

5  #define DHTPIN 13
6  #define DHTTYPE DHT22
--
39 bool lerDHT22(float& temperatura, float& umidade) {
40     temperatura = dht.readTemperature();
41     umidade = dht.readHumidity();
42     if (isnan(temperatura) || isnan(umidade)) {
43         return false; // Indica erro na leitura do DHT22
44     }
45     return true;
46 }
94
95     Serial.print("Temperatura DHT22: ");
96     if (!sucessoDHT) {
97         Serial.println("Erro na leitura do DHT22");
98     } else {
99         Serial.print(temperaturaDHT);
100        Serial.println(" °C");
101    }
102
103    Serial.print("Umidade DHT22: ");
104    if (!sucessoDHT) {
105        Serial.println("Erro na leitura do DHT22");
106    } else {
107        Serial.print(umidadeDHT);
108        Serial.println(" %");
109    }
110

```

Figura 14. Código do cálculo de umidade na placa de prototipagem Arduino – FONTE: Fonte própria.

O ESP32 recebe os dados e o atribui a um pino virtual da plataforma Blynk, como mostrado na Figura 15 a seguir.

```

37     }else if (key == "Umidade DHT22") {
38         float humidity = value.toFloat();
39         Blynk.virtualWrite(V1, humidity);
53     }else if (key == "Temperatura DHT22"){
54         float temperature4 = value.toFloat();
55         Blynk.virtualWrite(V6, temperature4);
56     }

```

Figura 15. Código do cálculo de umidade na placa ESP32 – FONTE: Fonte própria.

3.3.5 Código do sensor de qualidade de ar

A seguir, a Figura 16 representa um código utilizado para obter os dados dos sensores e enviar os dados da placa de prototipagem Arduino ao sensor ESP32.


```

15  #define mq135Pin A0
85  int valor_analogico = analogRead(mq135Pin); // Ler o valor analógico do sensor
135 Serial.print("Valor do sensor MQ135: ");
136 Serial.println(valor_analogico);
137 if(valor_analogico <= 300)
138 {
139     Serial.println("Gás detectado no ambiente");
140 }else if(valor_analogico > 300)
141 {
142     Serial.println("Gás detectado em quantidade alta no ambiente");
143 }
144 else
145 {
146     Serial.println("Ambiente com quantidade normal de gás");
147 }

```

Figura 16. Código do cálculo de qualidade de ar na placa de prototipagem Arduino – FONTE: Fonte própria.

O ESP32 recebe os dados e o atribui a um pino virtual da plataforma Blynk, como mostrado na Figura 17 a seguir.

```

49     }else if (key == "Valor do sensor MQ135") {
50         float ppmValueCO2 = value.toFloat();
51         Blynk.virtualWrite(V5, ppmValueCO2);
52         teste = ppmValueCO2;

```

Figura 17. Código do cálculo de qualidade de ar na placa ESP32 – FONTE: Fonte própria.

3.3.6 Configuração de Software

A integração com o Blynk utiliza a biblioteca Blynk disponível na IDE Arduino, que facilita a comunicação entre o ESP32 e a plataforma. Cada sensor é mapeado para um Widget no painel do Blynk, que exibe os dados em tempo real. Os dados processados são atribuídos a um pino virtual da plataforma Blynk, que será atrelado a um Widget na plataforma para mostrar em tempo real esses valores.

3.3.7 Exemplos de saídas de dados

Os dados coletados pelos sensores são apresentados no painel do Blynk em formato gráfico, permitindo uma visão clara das variações de temperatura, umidade e nível de gases. Como exemplificado a seguir na Figura 18.

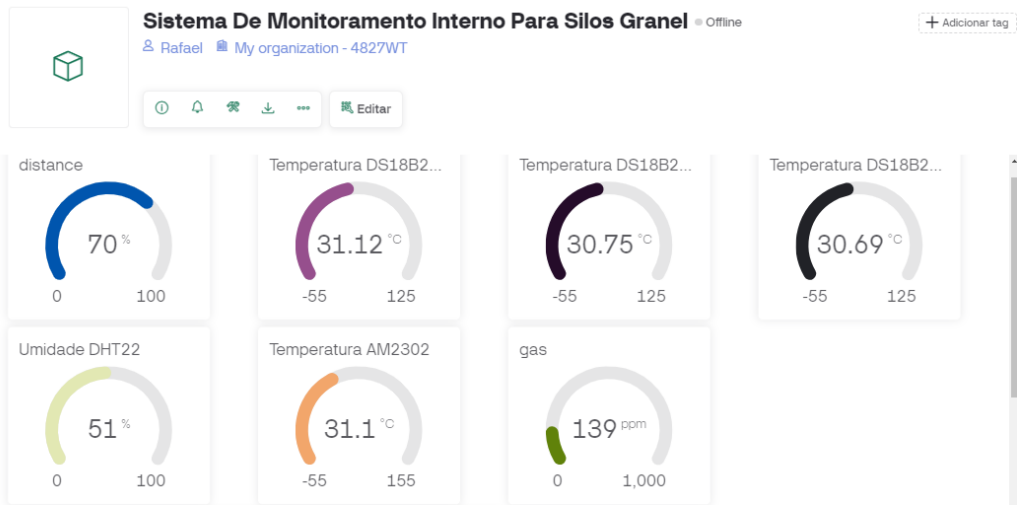


Figura 18. Exemplo de saída de dados no Blyn – FONTE: Fonte própria.

4 IMPLEMENTAÇÃO

A implementação do sistema de monitoramento foi realizada de forma prática no modelo reduzido de silo descrito anteriormente, utilizando os sensores de umidade, temperatura, gases e nível de grãos, integrados a uma placa de prototipagem Arduino e um ESP32.

4.1 Material granular de estudo

Para a implementação do sistema e realização dos testes, foi utilizado 40KG de milho (Zea mays). A escolha do milho para esse projeto é estratégica porque ele combina alta sensibilidade às condições de armazenamento com sua importância econômica. Ao testar o sistema de monitoramento em um silo com milho, podemos validar o uso de sensores de temperatura, umidade, gases e nível de grãos em condições que simulam as exigências reais do setor. Isso garante que a solução proposta seja eficaz, escalável e diretamente aplicável a uma das maiores culturas do país, com grande impacto positivo no setor agrícola e potencial para reduzir perdas e aumentar a eficiência do processo de armazenagem. A seguir, a Figura 19 representa os grãos de milhos utilizados.



Figura 19. Grãos de Zea Mays– FONTE: Fonte própria.

4.2 Resultados dos testes com o modelo reduzido

Os testes realizados no modelo permitiram validar o funcionamento correto do sistema de monitoramento, bem como a precisão dos dados coletados pelos sensores. A seguir, na Seção 4.2.1 estão descritos os resultados obtidos:

4.2.1 Testes de Monitoramento

- **Monitoramento da Umidade:** O sensor AM2302/DHT22 demonstrou ser preciso na medição da umidade do ar dentro do silo, fornecendo dados em tempo real sobre as condições de umidade. Foram realizados testes sob diferentes condições climáticas, simulando cenários típicos de armazenagem de grãos. Mantendo a umidade em valores entre 20% e 60% de umidade.
- **Monitoramento da Temperatura:** Os três sensores de temperatura DS18B20 instalados em diferentes alturas do silo permitiram o acompanhamento detalhado da variação de temperatura. Durante os testes, a temperatura interna variou entre 20°C e 40°C. Os dados demonstraram variações pequenas entre as camadas superior, média e inferior do silo, o que indica um bom controle térmico.
- **Detecção de Gases:** O sensor MQ-135 detectou com sucesso a presença de gases em concentrações variáveis, especialmente durante o teste de fermentação simulado com alta umidade. O que demonstra a eficiência do sensor em alertar sobre possíveis riscos à integridade dos grãos e à segurança dos operadores.
- **Monitoramento do Nível de Grãos:** O sensor ultrassônico HC-SR04 monitorou com precisão o nível dos grãos dentro do silo. Durante os testes, o nível foi ajustado manualmente para simular o enchimento e o esvaziamento do silo, e o sensor mostrou respostas rápidas e precisas.
- **Vibração mecânica:** A utilização do motor de vibração cumpriu perfeitamente seu papel de impedir a formação de arcos coesivos e manter o fluxo contínuo do material durante o esvaziamento do silo.

4.3 Dashboard

O uso da plataforma Blynk possibilita a criação de interfaces gráficas extremamente intuitivas, facilitando a tomada de decisão do operador. Segue abaixo nas figuras 21, 22 e 23 o dashboard utilizado para o desenvolvimento desse sistema.

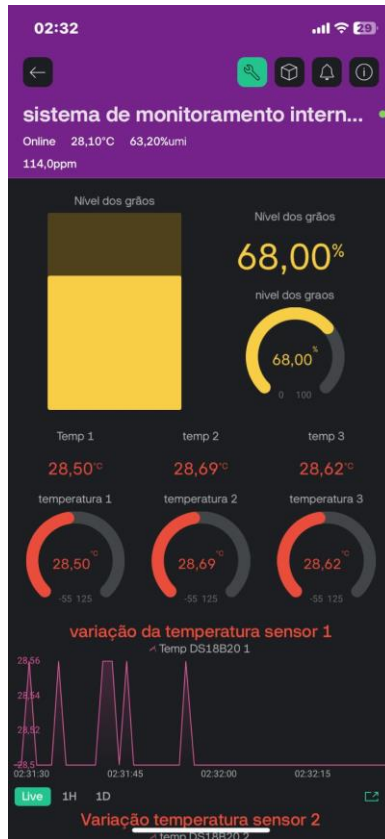


Figura 20. Dashboard Blynk Nível dos grãos – FONTE: fonte própria

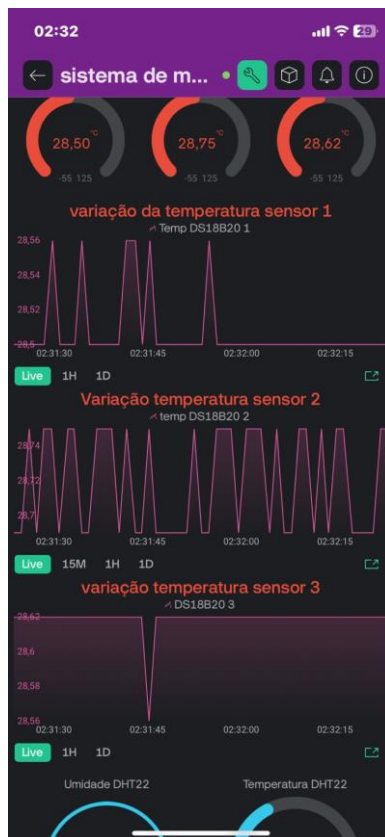


Figura 21. Dashboard Blynk temperatura – FONTE: fonte própria



Figura 22. Dashboard Blynk umidade – FONTE: fonte própria

Com esse dashboard é possível notar o funcionamento dos sensores no silo, sendo mostrado o nível de preenchimento dos grãos dentro do silo, as temperaturas em cada um dos 3 pontos (topo meio e base) e a variação dessa temperatura com o passar do tempo. Além disso, é possível observar a umidade relativa do ar e a quantidade de partículas por milhão de gases nocivos. Essas informações são extremamente importantes e úteis para que o operador possa agir com rapidez para evitar perda do material estocado e outros problemas acarretados pela má preservação do grão.

4.4 Alertas e notificações

No sistema de monitoramento implementado, uma das funcionalidades mais importantes é a capacidade de gerar alertas em tempo real através do Blynk, especialmente quando são detectadas condições que podem comprometer a segurança dos grãos armazenados, como temperaturas excessivas, alta umidade, ou a presença de gases perigosos. Esses alertas são essenciais para que ações corretivas possam ser tomadas de maneira imediata, evitando a deterioração dos grãos e garantindo a segurança no ambiente de armazenamento.

4.4.1 Alerta de alta temperatura

O monitoramento da temperatura dentro do silo é crucial, pois temperaturas elevadas podem acelerar o processo de degradação dos grãos e favorecer o surgimento de pragas e fungos. Para garantir o controle desse parâmetro, o sistema foi configurado para emitir um alerta caso a temperatura ultrapasse um limite predefinido.

No painel do Blynk, foi adicionado um Widget de alerta que monitora constantemente os valores recebidos dos sensores DS18B20. Quando o valor de temperatura ultrapassa o limite configurado, o Blynk envia uma notificação push diretamente para o smartphone do usuário e enviar um alerta via e-mail para o usuário.

Ao receber o alerta, o operador pode verificar o painel e, caso necessário, acionar medidas como o sistema de aeração ou resfriamento do silo para normalizar a temperatura. Essa ação preventiva evita a deterioração do produto armazenado.

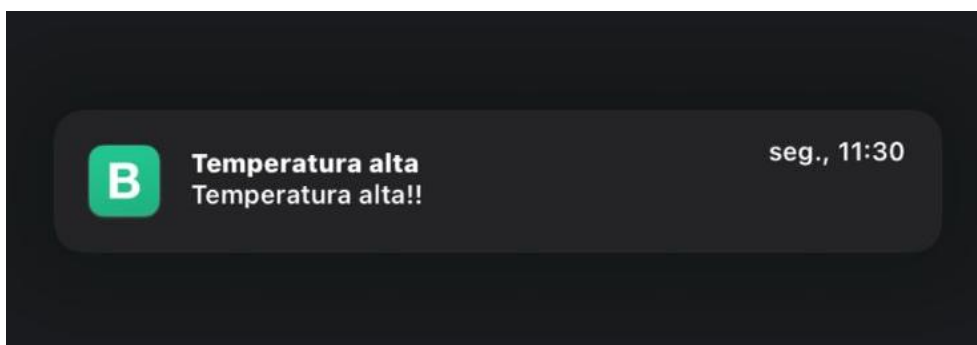


Figura 23. Alerta de temperatura Blynk – FONTE: fonte própria

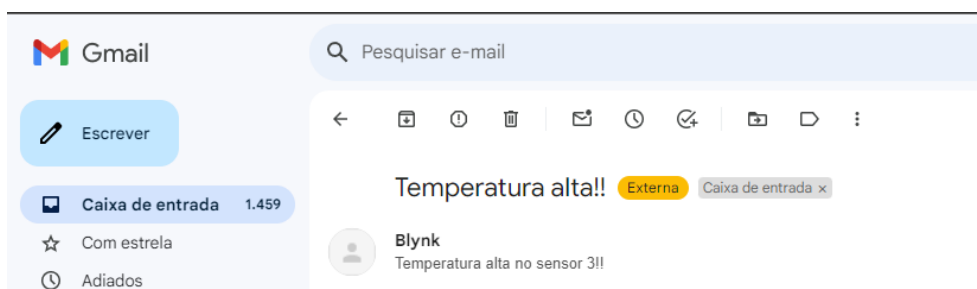


Figura 24. Alerta de temperatura E-mail – FONTE: fonte própria

4.4.2 Alerta de alta concentração de gases

O sensor de gases MQ-135 é configurado para monitorar a presença de gases perigosos, como dióxido de carbono (CO₂), amônia (NH₃), sulfeto de hidrogênio (H₂S) e outros compostos tóxicos que podem ser liberados durante o armazenamento prolongado de grãos. A presença desses gases em concentrações acima de limites seguros pode representar um risco para a integridade dos grãos e para a segurança dos trabalhadores.

Um limite de concentração de gases (em ppm) foi estabelecido, e quando o sensor MQ-135 detecta valores que ultrapassam esse limite, o sistema gera um alerta automático. Assim como no caso da temperatura, o Blynk envia notificações push para o dispositivo do operador, além de enviar um alerta via e-mail para o usuário.

Quando um alerta de gás é emitido, o operador pode ventilar o ambiente ou inspecionar o silo em busca de possíveis fontes de contaminação, como fermentação ou infiltração de água, que podem estar causando a liberação excessiva de gases.

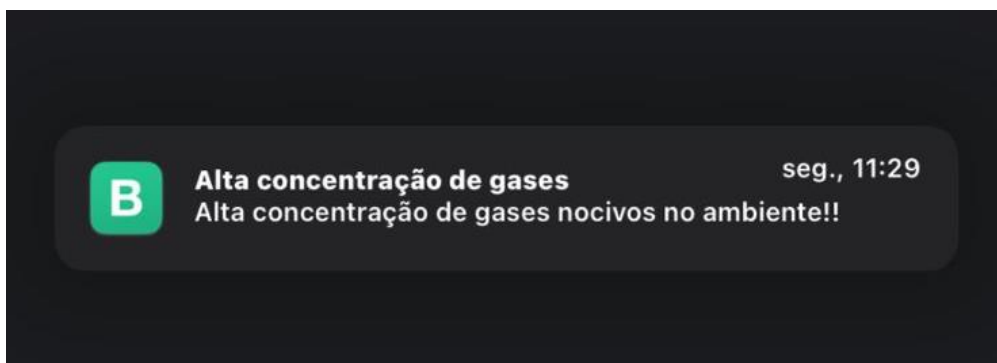


Figura 25. Alerta de alta concentração de gases Blynk – FONTE: fonte própria

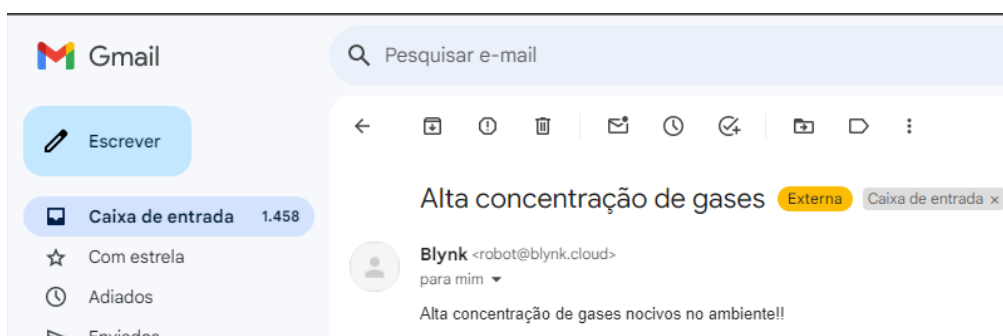


Figura 26. Alerta de alta concentração de gases E-mail – FONTE: fonte própria

4.4.3 Alerta de alta umidade

A umidade interna do silo é um dos parâmetros mais importantes a serem monitorados, pois níveis elevados podem resultar em condensação, favorecendo o surgimento de fungos e comprometendo a qualidade dos grãos. O sensor AM2302/DHT22 é responsável por medir a umidade relativa dentro do silo, e o sistema foi configurado para emitir alertas caso a umidade ultrapasse um valor pré-definido.

Através do Blynk, o limite de umidade é monitorado constantemente. Se esse limite for ultrapassado, o sistema envia notificações push e alertas via e-mail. O alerta pode ser acompanhado de gráficos que mostram as flutuações de umidade ao longo do tempo.

Ao receber o alerta de alta umidade, o operador pode acionar o sistema de ventilação ou secagem no silo, garantindo que os níveis de umidade voltem ao normal rapidamente, prevenindo a deterioração dos grãos.

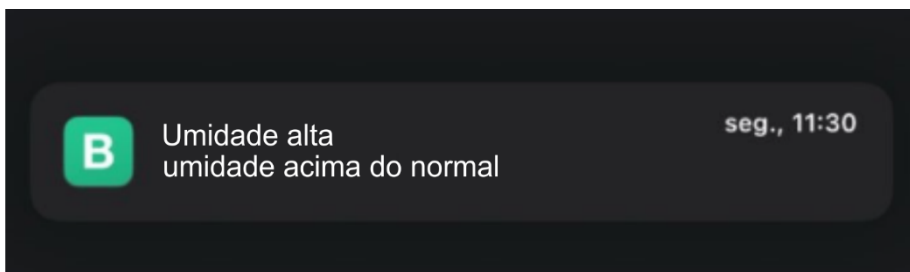


Figura 27. Alerta de alta umidade Blynk – FONTE: fonte própria

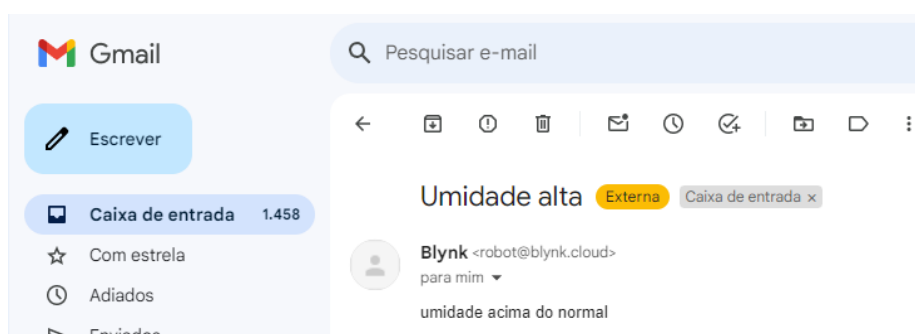


Figura 28. Alerta de alta umidade E-mail – FONTE: fonte própria

4.4.4 Alerta de nível de grãos

O sensor ultrassônico HC-SR04 é utilizado para medir o nível dos grãos dentro do silo. Embora a variação do nível de grãos não represente um perigo direto, é útil configurar alertas para indicar quando o nível de estoque estiver baixo ou alto, facilitando a gestão eficiente da armazenagem e do escoamento dos grãos.

Um limite mínimo e máximo de nível de grãos foi configurado no sistema. Quando o nível atinge esses limites, o Blynk gera um alerta indicando que o silo precisa ser reabastecido ou que o nível está próximo do transbordamento.

Esses alertas permitem ao operador ajustar o fluxo de grãos dentro do silo, seja para evitar o transbordamento ou para planejar o reabastecimento e otimizar a logística de armazenagem.

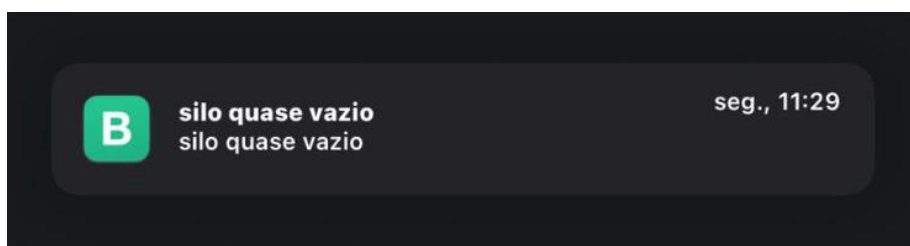


Figura 29. Alerta de Nível dos grãos Blynk – FONTE: fonte própria

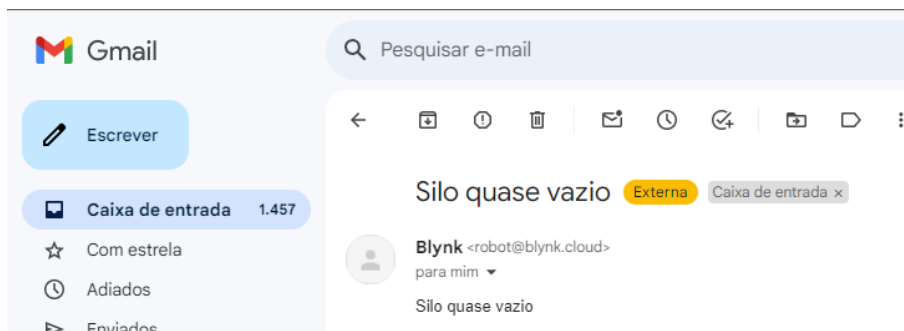


Figura 30. Alerta de Nível dos grãos E-mail – FONTE: fonte própria

4.4.5 Benefícios dos alertas no sistema de monitoramento

- **Monitoramento Proativo:** Os alertas em tempo real proporcionam uma resposta proativa do operador, permitindo que problemas potenciais sejam resolvidos antes que causem danos graves aos grãos armazenados ou à segurança da instalação.
- **Acompanhamento Remoto:** Os alertas enviados via notificações push permitem que o operador monitore o silo de qualquer lugar, garantindo flexibilidade e maior eficiência operacional. Isso é especialmente útil para silos localizados em áreas de difícil acesso, onde uma supervisão constante seria inviável.
- **Prevenção de Perdas:** Com o monitoramento constante de parâmetros críticos e o envio de alertas em caso de desvios, o sistema de monitoramento reduz significativamente as chances de perda de grãos devido a fatores ambientais inadequados, como alta umidade ou superaquecimento.
- **Segurança Operacional:** Ao detectar gases tóxicos e temperaturas elevadas, o sistema de alertas protege não apenas a integridade dos grãos, mas também a segurança dos trabalhadores, evitando riscos à saúde causados por exposições perigosas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A implementação do sistema de monitoramento no modelo reduzido de silo trouxe resultados significativos em termos de precisão de dados e eficácia no controle das condições ambientais dentro do silo. Os testes realizados com os sensores de temperatura, umidade, gases e nível de grãos demonstraram a capacidade do sistema de fornecer informações em tempo real, permitindo intervenções rápidas e eficientes para garantir a preservação da qualidade dos grãos. Nesta seção, analisamos os principais resultados obtidos e discutimos o impacto e as limitações do sistema.

5.1 Análise dos Resultados Obtidos

5.1.1 Monitoramento de Temperatura

Os testes realizados com os sensores de temperatura DS18B20 mostraram que o sistema é capaz de detectar variações de temperatura em diferentes pontos do silo com precisão. Durante os experimentos, foi possível monitorar a temperatura em três alturas distintas do silo: topo, meio e base. Essa estratificação térmica permitiu a identificação de zonas de calor, que poderiam ser indicativas de problemas como fermentação excessiva ou acúmulo de grãos úmidos em determinadas áreas.

A variação de temperatura foi consistente com as condições ambientais externas, e o sistema foi eficaz em detectar pequenas variações de até 1°C. Por exemplo, quando a temperatura ambiente externa subiu de 28°C para 35°C, os sensores capturaram um aumento gradual da temperatura interna, o que gera alertas para que o operador possa tomar a melhor decisão para combater esse aumento de temperatura.

5.1.2 Monitoramento de Umidade

O sensor de umidade AM2302/DHT22 foi responsável por monitorar a umidade relativa do ar dentro do silo. Os resultados indicaram que o sistema respondeu de forma rápida a mudanças nas condições de umidade, especialmente em cenários onde a umidade interna do silo ultrapassou os limites seguros.

Em um dos testes, quando a umidade externa aumentou devido à chuva, o sistema detectou uma subida gradual da umidade interna do silo, que chegou a 75%, acionando o alerta no Blynk. Esse feedback rápido permite que o operador ajuste o sistema de aeração, reduzindo a umidade e evitando problemas futuros como formação de fungos.

5.1.3 Monitoramento de Gases

O sensor MQ-135 detectou a presença de gases tóxicos, como dióxido de carbono (CO₂), amônia (NH₃) e outros compostos que podem ser liberados durante a degradação dos grãos. Os testes mostraram que o sensor foi capaz de identificar concentrações de gases dentro do silo em níveis que indicavam fermentação ou degradação biológica, permitindo que ações corretivas fossem tomadas antes que a qualidade dos grãos fosse comprometida.

Durante um teste simulado, foi adicionado álcool próximo ao sensor, que imediatamente acionou o alerta no aplicativo.

5.1.4 Monitoramento do Nível de Grãos

O sensor ultrassônico HC-SR04 foi utilizado para monitorar o nível dos grãos dentro do silo, permitindo o controle preciso do volume de grãos armazenados. O sensor foi eficaz em calcular o nível dos grãos com precisão, permitindo ao operador saber quando o silo estava próximo de ser esvaziado ou quando estava se aproximando de sua capacidade máxima.

O sistema mostrou que, à medida que o nível dos grãos baixava, o sensor ultrassônico capturava a distância entre o topo do silo e o nível atual dos grãos, ajustando a medição em tempo real. Isso permitiu a otimização do processo de carregamento e descarregamento, evitando o transbordamento ou a falta de grãos durante o processo de distribuição.

5.2 Benefícios de Automação e IoT

A integração de tecnologias de Internet das Coisas (IoT) e sensores conectados trouxe diversos benefícios práticos para o sistema de monitoramento de silos. Entre os principais benefícios, destacam-se:

- **Monitoramento em Tempo Real:** A capacidade de obter dados em tempo real foi uma das principais vantagens do sistema. Isso permitiu que o operador tivesse controle contínuo sobre as condições do silo, podendo realizar ajustes conforme necessário, o que é fundamental para garantir a qualidade dos grãos.
- **Alertas Automáticos:** A função de alertas automáticos do Blynk foi um diferencial significativo, permitindo ao operador tomar decisões rápidas quando as condições ambientais saíam dos limites pré-definidos. Isso foi particularmente útil no controle de temperatura e detecção de gases, reduzindo o tempo de resposta e prevenindo problemas graves.

- **Redução de Perdas:** Com o monitoramento constante de fatores críticos como temperatura e umidade, o sistema ajudou a evitar a deterioração dos grãos e a conseqüente perda de qualidade. Isso tem impacto direto na redução de perdas pós-colheita, melhorando a eficiência do armazenamento.
- **Gestão Remota:** A gestão remota do sistema, através do painel do Blynk acessível via smartphone ou computador, proporcionou flexibilidade operacional. O operador não precisa estar fisicamente presente no silo para monitorar as condições, o que melhora a eficiência e reduz custos operacionais.

5.3 Limitações e Possíveis Melhorias

Apesar dos resultados positivos, algumas limitações foram identificadas durante a implementação e uso do sistema:

- **Interferência na Comunicação Wi-Fi:** Embora o ESP32 tenha demonstrado ser eficiente na transmissão de dados via Wi-Fi, em ambientes onde há muitos obstáculos ou interferências, a qualidade do sinal pode ser prejudicada. Uma possível melhoria seria a implementação de módulos de reforço de sinal ou o uso de comunicações redundantes para garantir a transmissão contínua de dados.
- **Durabilidade do Hardware:** Embora o modelo reduzido tenha funcionado bem em condições de laboratório, é necessário realizar testes em ambientes reais, onde fatores como poeira, vibração e umidade extrema podem impactar a durabilidade dos sensores e da placa de controle. A introdução de protetores físicos para os sensores pode melhorar a longevidade do sistema.
- **Adição de cálculo de peso:** Uma possível melhoria para o sistema é o controle do peso do silo baseado no material presente em seu interior. O que auxilia nas informações do silo, principalmente no que diz respeito ao esvaziamento do material.

6. Conclusão

O desenvolvimento do sistema de monitoramento para silos graneleiros mostrou-se eficiente tanto na coleta de dados quanto na geração de alertas em tempo real. A utilização de sensores conectados a uma placa ESP32 e integrados a uma plataforma IoT, como o Blynk, permitiu a criação de um sistema capaz de monitorar variáveis críticas, como temperatura, umidade, presença de gases e nível de grãos, essenciais para a preservação da qualidade dos grãos e a segurança operacional.

6.1 Considerações Finais

Os resultados obtidos ao longo do desenvolvimento e dos testes no modelo reduzido de silo demonstraram que a automação do monitoramento em silos é uma solução viável e eficaz. A capacidade de identificar mudanças nas condições ambientais dentro do silo, como variações de temperatura e níveis de gases tóxicos, mostrou o potencial do sistema em reduzir perdas pós-colheita e otimizar o processo de armazenagem.

Os sensores utilizados foram bem-sucedidos na detecção e transmissão de dados em tempo real. O uso do Blynk proporcionou uma interface amigável e acessível para o monitoramento remoto, além de alertar o operador de forma proativa quando as condições ultrapassavam os limites de segurança. A modularidade e a flexibilidade do sistema o tornam aplicável não só para o milho, mas para uma variedade de grãos, ampliando seu uso no setor agroindustrial.

6.2 Aplicações Futuras

Com base na eficiência demonstrada pelo sistema no modelo reduzido, há grande potencial para expandir sua aplicação para silos de tamanho real em operações industriais e fazendas de grande porte. Algumas aplicações futuras incluem:

- **Monitoramento em larga escala:** A integração do sistema em silos de grandes fazendas e cooperativas agrícolas poderia proporcionar um controle detalhado sobre enormes volumes de grãos, garantindo a qualidade do produto e minimizando as perdas.
- **Automação Completa do Armazenamento:** A expansão do sistema com o uso de atuadores, como ventiladores e sistemas de resfriamento automáticos, possibilitaria que o sistema não apenas monitorasse, mas também ajustasse as condições de armazenamento de forma autônoma.
- **Integração com Sistemas de Gestão:** Conectar o sistema de monitoramento a plataformas de gestão agrícola permitiria o acompanhamento

centralizado de todos os dados e o planejamento estratégico das colheitas, transporte e vendas dos grãos.

6.3 Sugestões para Trabalhos Futuros

Apesar dos resultados promissores, o desenvolvimento deste sistema abre espaço para diversas áreas de pesquisa e melhorias, entre as quais destacam-se:

- **Melhoria na Comunicação e Segurança de Dados:** Implementar protocolos mais robustos de comunicação sem fio para garantir que os dados sejam transmitidos de maneira segura e eficiente, mesmo em ambientes adversos, como áreas rurais com fraca cobertura de internet.
- **Uso de Inteligência Artificial:** Incorporar algoritmos de aprendizado de máquina para análise preditiva dos dados coletados, permitindo a antecipação de problemas, como o surgimento de pragas ou a deterioração dos grãos, antes que se tornem críticos.
- **Monitoramento Multi-silo:** Expandir o sistema para monitorar simultaneamente vários silos em diferentes locais, centralizando os dados em uma plataforma de controle unificada.
- **Avaliação de Custos e Benefícios:** Um estudo aprofundado sobre o retorno sobre o investimento (ROI) de implementar sistemas de monitoramento em fazendas de diferentes portes poderia validar ainda mais o impacto econômico positivo dessa solução no setor agrícola.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, V. Análise e dimensionamento de silos de concreto armado: desenvolvimento de um programa computacional. 2001. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

FREITAS, E. G. A. Estudo teórico e experimental das pressões em silos cilíndricos de baixa relação altura/diâmetro e fundo plano. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2001.

ALAMINI, G. A.; MENDES, P. O. R. Desenvolvimento de uma aplicação web para gerenciamento e visualização de termometria em silos graneleiros. 54f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Tecnologias da Informação e Comunicação). Universidade Federal de Santa Catarina. Araranguá, 2018.

SANTOS JUNIOR, M. A. dos. Monitoramento da temperatura e do dióxido de carbono do silo piloto utilizando Arduino e Blynk. 22f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental). Departamento de Engenharia Agrícola. Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, 2018

SILVA, J. de S. e; NOGUEIRA, R. M.; ROBERTO, C. D. Tecnologias de secagem e armazenagem para a agricultura familiar. 1.a ed. Brasília, DF: Suprema Gráfica e Editora Ltda, 2005.

FARONI, L. R. D. Fatores que influenciam a qualidade dos grãos armazenados. Viçosa, p.1-15, 1998.

SILVA, A. C.; BERNARDES, A. T. Simulação computacional do escoamento de grãos em silos. *Exacta*, v.8, n.1, p.45-53, 2010.

NASCIMENTO, J. W. B. do. Estudos de silos metálicos prismáticos para fábricas de ração. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 1996.

NÓBREGA, M. V. DA.; NASCIMENTO, J. W. B. do. Fluxo de ração avícola em silos prismáticos com tremonha excêntrica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, n.3, p.413-419, 2005.

ELIAS, M. C. Armazenamento e conservação de grãos. Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2003.

BANDEIRA, I. S. A.; NASCIMENTO, J. W. B. do; SILVA, F. de A. S. Análise de fluxo de ração e farelo de trigo em silos prismáticos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.3, n.2, p.233-238, 1999.

RICHARDSON, K. E.; LONGO, F. A. A importância do controle microbiológico na cadeia de produção de rações para aves. In: Simpósio sobre Manejo e Nutrição de Aves e Suínos, 5, 2008. Cascavel. Anais...Cascavel, 2008.

FORTES, J. F. Uma Introdução aos Estudos dos Silos. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. Departamento de Estruturas. São Carlos, 1985

MELO, L. R. T. MONITORAÇÃO DE MODELOS FÍSICOS REDUZIDOS PARA INVESTIGAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE ESTRUTURAS EM ESCALA REAL. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

REINHORN, A. M. Experimental Methods in Structural Engineering. Lecture notes of Department of Civil. Structural and Environmental Engineering of University at Buffalo. Buffalo - New York, 2008.

WEBER, E. A. Armazenagem Agrícola, Kepler Weber Industrial. 2ª. Ed. Porto Alegre, 2001.

LORINI, I.; MIIKE, L. H.; SCUSSEL, V. M. Armazenagem de Grãos. Instituto Bio Geneziz. Campinas, 2002.

STANGA, G. de C.; BRITO, R. C.; FAVARIM, F.; TODT, E. Sistema para o monitoramento da temperatura e umidade de um silo utilizando hardware de baixo custo e ScadaBR. In: Computer on the Beach, 9, 2018, Florianópolis. Anais... Florianópolis, 2018.

SCHWAB, K. A Quarta Revolução Industrial. Edipro, 1ª ed. Fevereiro/2018.

CNI. Confederação Nacional da Indústria. Desafios para a indústria 4.0 no Brasil. Brasília, 2016. 34p.

SANTOS, B.P.; SILVA, L. A. M.; CELES, C. S. F. S.; NETO, J. B. B.; PERES, B. S.; VIEIRA, M. A. M.; VIEIRA, L. F. M.; GOUSSEVSKAIA, O. N.; LOUREIRO, A. A. F. Internet das Coisas: da Teoria à Prática. Departamento de Ciência da Computação. Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) Belo Horizonte, MG, Brasil, 2016.

ALBERTIN, A. L.; ALBERTIN, R. M. M. A INTERNET DAS COISAS IRÁ MUITO ALÉM DAS COISAS. GVEXECUTIVO. V 16, N 2. MAR/ABR 2017 – acessado em 25 de agosto de 2023 <<https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/26851/143810.pdf?sequence=1>>.

COLOMBO, J. F.; LUCCA FILHO, J. de. INTERNET DAS COISAS (IOT) E INDÚSTRIA 4.0: revolucionando o mundo dos negócios. Revista Interface Tecnológica, [S. l.], v. 15, n. 2, p. 72–85, 2018. DOI: 10.31510/infa. v15i2.496.

Disponível em: <<https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/496>> - Acesso em: 25 jul. 2023.

CAMARGO, V. L. A. de. ELEMENTOS DE AUTOMAÇÃO. Editora Érica. 1ª ed. Novembro/2013.

GROOVER, M. P. Automação industrial e sistemas de manufatura. RITTER, J.; TEIXEIRA, L. A.; VIEIRA, M. (Trad.). 3 ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2011.

GIMENEZ, S. P. Microcontroladores 8051. 1ª ed. São Paulo: Pearson, 2005.

TRINDADE, R. S.; PENIDO, E. de. C. C. Microcontroladores. Rede e-Tec Brasil. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. Ouro Preto, Minas Gerais. 2013.

WENDLING, M. Sensores. Colégio Técnico Industrial de Guaratinguetá “Professor Carlos Augusto Patrício Amorim”. Universidade Estadual Paulista. Guaratinguetá, São Paulo. 2010.

ALBUQUERQUE, P. U. B.; THOMAZINI, D. Sensores Industriais: Fundamentos e Aplicações. 9ª ed. Érica. São Paulo. Julho/2009.

Santos, C. e Kawakita, K. “Métodos de Medição de Umidade em Gases”, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, 1992.

JAIN, P. Humidity Sensor. Engineers Garage, 2012. Disponível em: <<https://www.engineersgarage.com/humidity-sensor/>>. Acesso em: 28 julho 2023.

ARDUINO E CIA. Sensor de temperatura e umidade DHT22 (AM2302). 2015. Disponível em: <<https://www.arduinoecia.com.br/sensor-de-temperatura-e-umidade-dht22/>>. Acesso em: 28 julho 2023.

PÉCORA, J. D.; SILVA, R. G. Unidades Métricas Correlacionadas à Temperatura. 2005. Disponível em: <https://www.forp.usp.br/restauradora/pg/textos_tecnicos/metrologia/metrologia_temperatura.html>. Acesso em 28 julho 2023.

MARTINAZZO, C. A.; ORLANDO, T. Comparação entre três tipos de sensores de temperatura em associação com Arduino. Perspectiva, v.40, n.151, p.93-104, 2016.

FERRARI, D.; MARTINAZZO, C. A.; PIAIA, M. M.; TRENTIN, D. S. ARDUINO: UMA TECNOLOGIA NO ENSINO DA FÍSICA. PERSPECTIVA, Erechim. v. 38, n.143, p. 21-30, setembro/2014.

MADEIRA, D. DS18B20 – SENSOR DE TEMPERATURA INTELIGENTE. Vida de silício. 2018. Disponível em: <<https://portal.vidadesilicio.com.br/sensor-de-temperatura-ds18b20/>>. Acesso em: 28 julho 2023.

VILELA, D.; VEIGA, V. M. DE. O. A silagem e seus riscos. Comunicado Técnico 33. Juiz de Fora, MG. 2003.

SILVA, L. C. Gases tóxicos em unidades armazenadoras. Revista Grãos Brasil: da Semente ao Consumo, v.3, n.13, p.12-15, 2005.

SANTOS, L. G.; LUCCA, B. G.; PETRONI, J. M.; FERREIRA, V. S. Fabricação de sensores eletroquímicos de baixo custo a partir de mídias CD-R para aplicações analíticas. Brazilian Journal of Production Engineering, v.2, n.3, p.54-59, 2016.

CANDIDO, G. SENSOR DE GÁS MQ-135 E A FAMÍLIA DE SENSORES MQ. Vida de Silício. 2017. Disponível em: <<https://portal.vidadesilicio.com.br/sensor-de-gas-mq-135/>>. Acessado em: 30/07/2023.

ROURE, M. DE. A Importância de realizar a Medição de Nível de Grãos no Seu Silo e a Qualidade de Estocagem. INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE. 2019. Disponível em: <<https://instrumentacaoecontrole.com.br/medicao-de-nivel-graos-silo-industria-alimenticia/>> Acessado em 31 julho 2023.

SIVIERO, L. F. C. Monitoramento via ultrassom, temperatura e umidade no armazenamento de grãos com acionamento do sistema de aeração. 103f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica). Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2017.

ELECFREAKS. Ultrasonic Ranging Module HC-SR04. Datasheet. Última atualização 2021. Disponível em: <<http://users.ece.utexas.edu/~valvano/Datasheets/HCSR04b.pdf>> Acessado em 31 julho 2023.

SCHMIDT, S. Então... Como uma célula de carga realmente trabalha? HOTTINGER BRÜEL & KJÆR. Brasil. Disponível em: <<https://www.hbm.com/pt/6768/como-uma-celula-de-carga-trabalha/>> Acessado em 31 julho 2023.

FLINTEC. <<https://www.flintec.com/media/datasheets/66-20-datasheet-en.pdf>>

MARINOSTORE. Célula de carga 20kg. MARINOSTORE. Disponível em: <<https://www.marinostore.com/sensores/celula-de-carga-20kg>> Acessado em 1 agosto 2023.

KOLLMANN, T. H.; TOMAS, J. Effect of applied vibration on silo hopper design. Particulate Science and Technology, v.20, n.1, p.15-31, 2002.

FERNANDES, D. F. AUTOMAÇÃO DE USINAS DE ASFALTO. UNIVERSIDADE LUTERANA DO BRASIL. PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO. DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA. Canoas, 2008.

EQUILOC, M. E. Motovibrador: o que é, sua utilidade, tipos diversos, e como alugar. EQUILOC MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS. 2021. Disponível em: <<https://locadoraequiloc.com.br/blog/motovibrador/>>. Acessado em 1 agosto 2023.

ROBÓTICA, A. Micro Motor DC 1.5-6V com Pêndulo. Disponível em: <<https://www.autocorerobotica.com.br/micro-motor-dc-1.5-6v-com-pendulo>> Acessado em 2 agosto 2023.

SANTOS, F. T. DOS.; MARINATO, M. M.; SANTOS, W. C. DOS. SISTEMA SUPERVISÓRIO. Utilização de um sistema supervisorio na usina fotovoltaica. 2021.

ESPRESSIF. ESP32 Series. Datasheet. 2023. Disponível em: <https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf>. Acessado em 03 agosto 2023.

COELHO, M. S. Sistemas Supervisórios. 6.o Módulo. Apostila. 3.a revisão. Centro Federal de Educação Tecnológica de São Paulo, 2009. 142p.

FILHO, S. P. B. CARACTERÍSTICAS ESSENCIAIS E MÉTRICAS DE UTILIZAÇÃO DE UM SOFTWARE EM NUVEM. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. CENTRO TECNOLÓGICO. DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA E ESTATÍSTICA. Florianópolis – SC, 2013.

MACHADO, J.C.; MOREIRA, L. O.; SOUSA, F. R. C. Computação em Nuvem: Conceitos, Tecnologias, Aplicações e Desafios. Universidade Federal do Ceará. Ceará. 2009.