

COLETOR DE TEMPERATURA INTEGRADO AO SISTEMA DE AERAÇÃO

Jean da Silva Sarturi, Julian Cezar Giacomini.

Instituição Federal De Educação e Ciência e Tecnologia Farroupilha, Panambi – RS, Brasil

e-mail: jean.20220056551@aluno.iffar.edu.br

Resumo – Este trabalho de conclusão de curso propõe o desenvolvimento de um coletor de temperatura integrado ao sistema de aeração, opção de controle de aeração, que atendesse de maneira simples, grandes e pequenos usuários onde pessoas com interesses comuns dispostas a centralizar o uso de equipamentos de controle de armazenagem de grãos. Embora existam equipamentos semelhantes disponíveis no mercado, elas não reúnem em um único dispositivo todas as funcionalidades integradas. A aplicação do coletor de temperatura integrado ao sistema de aeração destina-se à armazenagem de grãos, tem seus requisitos estabelecidos com base nas necessidades da constante evolução da aplicação de sistemas embarcados e da constante evolução da automação. O desenvolvimento passou pela necessidade do uso de hardwares, tratando o pela definição da metodologia a ser utilizada no projeto, onde foram observados métodos tradicionais com afins de se trazer um método eficaz e com baixo custo. Como requisitos ao desenvolvimento do projeto passou por fase de reuniões junto aos envolvidos do projeto, aliando a experiência na participação. Durante a busca que atendesse as expectativas, o avanço no desenvolvimento e pesquisas conseguimos com êxito que as expectativas de aprovação fossem atendidas, como todo projeto houve desafios, mas sendo superados devido ao empenho.

Palavras-Chave – Coletor de temperatura, Controle, Embarcados, Hardwares.

TEMPERATURE COLLECTOR WITH INTEGRATED AERATION

Abstract - This final project proposes the development of a temperature collector integrated into the aeration system, an aeration control option, which would serve in a simple way, large and small users where people with common interests are willing to centralize the use of grain storage control equipment. Although there are similar equipment available on the market, they do not bring together all the integrated functionalities in a single device. The application of the temperature collector integrated into the aeration system is intended for grain storage, and its requirements are established based on the needs of the constant evolution of the application of embedded systems and the constant evolution of automation. The development involved the need to use hardware, addressing the definition of the methodology to be used in the project, where traditional methods were observed in order to bring an effective and low-cost

method. As requirements for the development of the project, it went through a phase of meetings with those involved in the project, combining experience in participation. During the search for what would meet expectations, the advancement in development and research, we successfully managed to meet the expectations for approval. As with every project, there were challenges, but they were overcome due to commitment.

Keywords – Temperature collector, Control, Embedded, Hardware.

NOMENCLATURA

CNA	Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil.
°C	Grau Celsius.
%	Porcentagem.
Km	Quilômetro.
PCB	Printed Circuit Board.
PCI	Placa de Circuito Impresso.
ESP	Espressif Systems.
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport.

I. INTRODUÇÃO

Preservar a qualidade dos grãos durante o período de armazenamento, em silos ou armazéns, é importante para reduzir as perdas pós-colheita e oportunizar a comercialização a preços melhores de mercado. O monitoramento da temperatura de grãos é uma prática essencial na cadeia de armazenamento agrícola, visando garantir a qualidade e segurança dos produtos armazenados. O armazenamento adequado de grãos pode prevenir significativamente as perdas após a colheita, garantindo que o valor nutricional e a integridade do grão se mantenham inalterados até que cheguem ao consumidor final [1], especialmente em ambientes sujeitos a variações climáticas ou condições inadequadas de armazenamento. O trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de monitoramento de temperatura de grãos com integração ao acionamento de automação de motores, fundamentado em estudos recentes e tecnologias no campo da agricultura de precisão.

No mercado, inúmeros equipamentos e sistemas são usados, como por exemplo, Seed safe [2], Termoflex [3], Airmaster [4] entre outras soluções, todos contribuindo para um controle de armazenagem, possibilitando análises e tomada de decisão. No entanto, essas soluções são predominantemente de um sistema multi dispositivos focados

em diversos equipamentos, havendo uma dependência na sincronização dos dispositivos, onde tarefas operacionais são atribuídas aos operadores, muitas vezes mantendo-os ocupados por um certo período.

O projeto Coletor de Temperatura Integrado ao Sistema de Aeração tem como objetivo principal ser um equipamento que otimize os processos de aeração e monitoramento de temperatura, garantindo maior eficiência operacional e redução de custos. Este desenvolvimento foi conduzido com foco nas necessidades da empresa Winckieel, localizada em Panambi, visando a futura implantação do produto. O equipamento apresenta como diferencial a automatização da aeração e acompanhamento da temperatura de grãos em um único dispositivo, permitindo ao usuário monitorar e controlar remotamente ou localmente suas operações. As principais funcionalidades incluem:

- Acionamento automatizado da aeração com base em dados de temperatura;
- Monitoramento em tempo real da temperatura de armazenagem de grãos e da temperatura ambiente para tomada de decisões sobre a aeração;
- Personalização de rotinas de leitura e controle da aeração, adaptadas às necessidades do usuário;
- Integração com sistema de nuvem (Cloud), garantindo acessibilidade, relatórios e controle remoto das operações.

Este equipamento busca agregar valor ao integrar todas essas funcionalidades em uma única solução, proporcionando maior controle operacional e redução de custos tanto para o cliente quanto para a fabricação, sem comprometer a qualidade e confiabilidade. Além disso, o projeto visa aumentar a competitividade no mercado, alinhando-se às demandas de eficiência e inovação do setor.

II. FUNDAMENTAÇÃO DA AERAÇÃO

Com o aumento exponencial da população mundial, se aproximando de 8 bilhões de habitantes, as demandas por matérias primas e alimentos se tornam cada vez maiores, e, por conta disso, surgem métodos cada vez mais variados visando suprir as nossas necessidades [5]. A automatização vem ganhando espaço no agronegócio por oferecer uma produção mais rentável e que promove a redução de mão-de-obra e tomada de decisão [6].

De acordo com a Instrução Normativa nº 29, de 8 de junho de 2011, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, "as unidades armazenadoras para produtos a granel, em nível de fazenda, coletoras, intermediárias e terminais, devem ser dotadas de sistema de termometria". A normativa ainda menciona que o número de pontos de leitura da temperatura deve ser compatível com o tipo da estrutura e a capacidade estática da unidade armazenadora. Deve-se usar, no mínimo, um ponto de leitura a cada 150 m³ de capacidade estática, sendo os pontos uniformemente distribuídos [7].

Buscando o embasamento teórico, foram consultados livros especializados em sistemas de armazenagem de grãos, artigos científicos relacionados ao manejo pós-colheita e estudos de caso sobre tecnologias de monitoramento em silos de armazenamento. A análise crítica desses materiais

permitiu identificar os principais desafios e soluções aplicáveis ao controle térmico de grãos. Em pesquisa da CNA SANAR 2023, foram expostos alguns dados sobre alguns usuários da armazenagem de grãos.

Dos 1.065 participantes, 61,0% não têm infraestrutura de armazenagem na propriedade. Ainda, 19,8% possuem armazém do tipo silo, convencional ou graneleiro [8].

A capacidade média total dos armazéns no Brasil é de 159.385 mil sacas de grãos. Se analisarmos por região, o Centro Oeste comporta 214.592 mil sacas, seguido pelo Matopiba (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia) com capacidade de armazenar 201.551 mil sacas e a região Sul com 141.565 mil sacas [8].

Evidencia-se que 41,2% dos produtores armazenam acima de 75,0% da sua produção de grãos em infraestrutura própria no ano de 2021. E 57,7% deles disseram que utilizam armazém do tipo silo [8].

Em relação ao tempo médio de armazenagem na própria infraestrutura, 42,2% responderam que guardam a produção de 4 até 6 meses e 22,5% de 7 até 9 meses. Na região Centro-Oeste, 54,0% dos produtores responderam que armazenam sua produção em um período de 4 a 6 meses [8].

O padrão mais típico do tempo médio de ocupação dos armazéns com grãos em 2021 no Brasil é de 7 a 9 meses. A média Brasil é de 31,6% de frequência. Entretanto, 29,3% dos produtores disseram armazenar os grãos de 4 a 6 meses e 23,8% de 10 a 12 meses [8].

No total, 84,7% dos produtores ocupam os armazéns de 4 meses a 12 meses para evitar o período de pico da safra. Isso demonstra a relevância de se ter armazém para esperar a melhor janela de tempo/opportunidade para escoar a safra fugindo dos altos custos de transportes observados no período de pico de escoamento da safra [8].

Sobre as principais dificuldades com a gestão da armazenagem própria, os produtores elencaram a falta de profissionais qualificados (24,8%), perdas físicas e de qualidade do grão (16,5%), gestão da umidade (7,8%) e alto custo de aquisição e necessidade de capital de giro (7,3%) [8].

Em 2021, 66,4% dos produtores que não possuíam infraestrutura de armazenagem contrataram serviços de terceiros. As regiões com maiores taxas de contratação foram Centro-Oeste (86,5%), Sul (77,4%), Norte (64,9%) e Matopiba (59%) [8].

Outra estatística levantada diz respeito à distância média percorrida entre a fazenda do produtor e o armazém contratado para entrega do produto. A média nacional é de 35,1 quilômetros. O estado do Piauí foi o que apresentou a maior média de distância percorrida (110 km) e o Rio Grande do Sul a menor (16,1 km) [8].

III. APLICAÇÃO DA AERAÇÃO

O uso da aeração para inibir o desenvolvimento de pragas já vem, há muito tempo, sendo praticada. A aeração pode reduzir a temperatura da massa de grãos a um valor que inibe a multiplicação dos insetos. Conforme observou Sutherland e Reed et al. [9]. Porém, algumas espécies de insetos são mais adaptadas às condições de temperaturas mais baixas e o efeito da aeração, somente, não é capaz de reprimir o

desenvolvimento populacional de algumas espécies. A aeração deve ser realizada quando a temperatura do ar estiver mais baixa e o ar estiver mais seco. Ela pode ser realizada de forma contínua ou em intervalos de tempo determinados, considerando-se faixas de temperatura ideal, ou mesmo baseando-se na diferença entre a temperatura do ar ambiente e temperatura dos grãos [9].

Em um silo metálico, sem recursos de aeração, dependendo da temperatura externa, podem ocorrer dois tipos de migração da umidade dos grãos. Com ar mais frio externamente, poderá ocorrer condensação de água na parte central da superfície do silo. Com ar mais quente no exterior do silo, a condensação poderá ocorrer principalmente no centro da parte inferior do silo. Logicamente, esse processo resultará no aumento do nível de deterioração dos grãos, com possível infestação por fungos de armazenagem. O grau de umidade do grão deve ser menor que 13% ou entre 13% e 15%, e a condição de temperatura deve estar ajustada entre menos de 15°C ou ainda na faixa de 20°C – 30°C. O tempo de aeração da massa de grãos em um silo de armazenamento também está em função da vazão de ar ofertada pelo clima [10].

A busca por um sistema automatizado tem a experiência de contribuir para o monitoramento eficaz da temperatura de grãos, promovendo eficiência operacional e preservação da qualidade do produto. Parte-se da hipótese de que a integração de sensores de temperatura e sistemas de controle automatizado pode oferecer maior precisão e agilidade no gerenciamento térmico, reduzindo perdas causadas por fatores como superaquecimento ou infestação de pragas.

Um armazenamento adequado vai garantir que o grão de soja tenha a qualidade do óleo e da proteína preservados. Tão importante quanto o teor de proteína nos grãos, é a qualidade da proteína desse grão. As proteínas são sensíveis à ação do calor que causa a desorganização das cadeias peptídicas ou melhor dizendo grupo de aminoácidos. Entretanto, por ter em sua base moléculas orgânicas, as proteínas estão suscetíveis à desnaturação, processo que consiste na quebra de suas estruturas secundárias, terciárias e quaternárias quando submetidas ao aquecimento, à agitação, à radiação ou a forças iônicas, o que acarreta a redução do seu coeficiente de solubilização [10]. Assim sendo, um armazenamento inadequado pode acarretar numa perda parcial da estrutura da proteína, fazendo com que a solubilidade-da mesma diminua. Essa diminuição vai interferir diretamente em todos os produtos que utilizam essa proteína como matéria-prima, interferindo nessas cadeias. Por exemplo, um farelo de soja, proveniente de grãos que tenham uma proteína com solubilidade menor, certamente deverá acarretar menor aproveitamento desse farelo pelos animais, interferindo diretamente na conversão alimentar, podendo gerar prejuízos [10].

IV.PROCESSO DE ARMAZENAGEM

O objetivo da armazenagem de grãos é manter, por um período, a qualidade e características dos grãos. Dessa forma, os sistemas de termometria possibilitam o monitoramento das temperaturas dentro dos silos, apresentando relatórios de temperaturas que possibilitam a tomada de decisões e

verificação de risco de pragas. Alinhado a isso, automação da aeração possibilita parametrizar programas de aeração para serem ligados no momento certo com segurança. Dessa forma, ajuda no controle e qualidade dos grãos armazenadoras.

A armazenagem passou por muitas mudanças que se refletem na adição de novos sistemas de informação aplicados ao controle de armazenagem, em sistemas automatizados de controle de ventilação e de temperatura com a principal finalidade de estocar produtos [11]. As mudanças foram predominantes, segundo Figueiredo [12], por fatores de resposta rápida, leituras em tempo real, melhor controle de qualidade, redução de desperdício, garantindo um melhor acompanhamento durante o período de estocagem. Segundo WEBER os principais objetivos para a utilização das técnicas de aeração em um sistema de armazenagem são [12]:

- Diminuição da temperatura e do teor de umidade dos grãos;
- Controle de insetos e fungos;
- Aplicação de fumigantes (expurgo);
- Evitar as correntes de ar de convecção (migração de umidade);
- Evitar a transilagem, diminuindo os custos de armazenagem;
- Evitar danos mecânicos aos grãos;
- Conservar as qualidades químicas, físicas e biológicas dos grãos.

Os grãos, depois de terem sido secados e resfriados e colocados no armazém com teor de umidade entre 13 e 15% b.u (base úmida), têm sua temperatura, frequentemente, superior à temperatura média do ambiente. Assim, os grãos próximos das paredes do silo e os da superfície começam a resfriar-se até atingirem uma temperatura inferior à temperatura do interior da massa de grãos [9]. Segundo LASSERAN, com este teor de umidade é conveniente manter a temperatura da massa de grãos em torno de 18°C [13].

O acúmulo de umidade em determinadas áreas da massa de grãos estimula o aparecimento e o desenvolvimento de fungos e a solidificação da massa no centro do silo. Portanto, pelo exposto, vê-se que temperatura e umidade são os principais fatores que, direta e indiretamente, afetam a qualidade dos grãos durante o período de armazenamento. As Figuras 1 e 2 ilustram a localização de um ponto úmido causado pela migração de umidade quando a temperatura do ambiente está diminuindo ou aumentando, respectivamente [14].

Na figura 1, a migração de umidade ocorre devido à diferença de temperatura entre o ambiente externo e a massa de grãos, criando correntes de ar no interior do silo. O ar quente com maior capacidade de retenção de umidade absorve água dos grãos nas regiões mais aquecidas e, ao encontrar zonas mais frias, condensa essa umidade, depositando-a nos grãos dessas áreas [15].

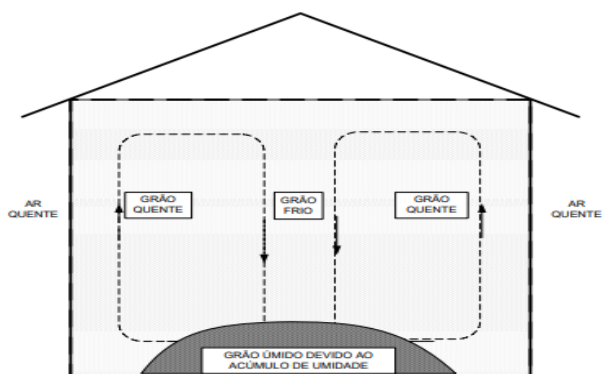


Fig.1 – Migração de umidade em grãos armazenados quando a temperatura ambiente é superior à temperatura da massa de grãos.

Na Figura 2 este fenômeno cria zonas com alta concentração de umidade na região central superior do silo, enquanto nas paredes laterais e no centro da parte inferior a umidade tende a ser menor. Como consequência, há aumento do nível de deterioração dos grãos nas áreas afetadas, com possível infestação por fungos de armazenagem[15].

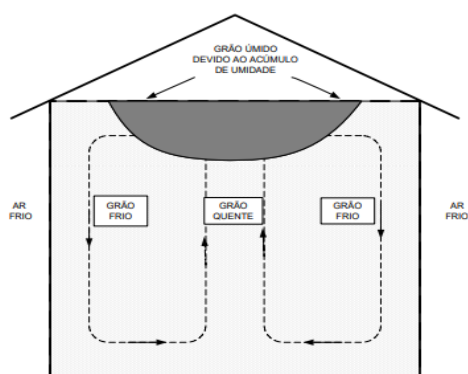


Fig.2 – Migração de umidade em grãos armazenados quando a temperatura externa é inferior à temperatura da massa de grãos.

V. CONTROLE DA AERAÇÃO

O surgimento de sistemas de engenharia cada vez mais complexos, a necessidade de satisfazer requisitos cada vez mais rigorosos quanto ao desempenho do sistema de controle e a facilidade de acesso aos computadores deram ensejo ao desenvolvimento, na década de 60, da teoria de controle moderno [16].

A teoria de controle moderno apresenta uma nova forma de analisar e projetar o sistema de controle complexos, baseado nos conceitos de estado e variáveis de estado que pode ser aplicada a um sistema de entradas e saídas. Além disso, essencialmente, no domínio do tempo [16]. Um sistema de controle representa os comandos dados ao sistema, que são variáveis que causam alterações ao sistema, onde são variáveis que devem ser controladas pelo sistema [17].

Para que o controle da aeração de grãos seja dado de forma correta usa-se como ferramenta a tabela higroscópica. O princípio do equilíbrio higroscópico é fundamental onde ele descreve a relação de teor de umidade do grão e umidade

relativa do ar em equilíbrio, isso é uma determinada temperatura [18].

Para utilizar a tabela higroscópica 3, exemplo de uso para o soja, é necessário ter conhecimento da temperatura e umidade relativa do ar ambiente, com esses dados é possível identificar se o ar ambiente é adequado para aeração, ou seja, se ele promoverá a secagem ou a manutenção da umidade dos grãos sem o prejudicar. A identificação de condições ideais é dividida em zonas (seca, ideal, úmida) onde indicam se o ar ambiente irá secar, manter ou umedecer o grão [18].



SOJA

Equilíbrio Higroscópico

Temperatura do Ar (°C)

	Seco										Ideal					Úmido				
5	2.1	4.5	6.4	8.1	8.9	9.8	10.6	11.5	12.5	13.5	14.6	15.9	17.5	19.8	22.8					
10	1.8	4.2	6.1	7.8	8.6	9.5	10.3	11.2	12.2	13.2	14.4	15.7	17.3	19.4	22.6					
12	1.7	4.1	6.0	7.7	8.5	9.4	10.2	11.1	12.1	13.1	14.3	15.6	17.2	19.3	22.5					
14	1.6	4.0	5.9	7.6	8.4	9.3	10.1	11.0	12.0	13.0	14.2	15.5	17.1	19.2	22.4					
15	1.5	3.9	5.8	7.5	8.4	9.2	10.1	11.0	11.9	13.0	14.1	15.5	17.1	19.2	22.4					
16	1.4	3.9	5.8	7.5	8.3	9.2	10.0	10.9	11.9	12.9	14.1	15.4	17.0	19.1	22.4					
18	1.3	3.8	5.7	7.4	8.2	9.1	9.9	10.8	11.8	12.8	14.0	15.3	16.9	19.0	22.3					
20	1.2	3.7	5.6	7.3	8.1	9.0	9.8	10.7	11.7	12.8	13.9	15.2	16.9	19.0	22.2					
22	1.1	3.5	5.4	7.2	8.0	8.9	9.7	10.6	11.6	12.7	13.8	15.1	16.8	18.9	22.1					
24	1.0	3.4	5.3	7.1	7.9	8.8	9.6	10.6	11.5	12.6	13.7	15.1	16.7	18.8	22.1					
25	0.9	3.4	5.3	7.0	7.9	8.7	9.6	10.5	11.5	12.5	13.7	15.0	16.7	18.8	22.0					
26	0.9	3.3	5.2	7.0	7.8	8.7	9.6	10.5	11.4	12.5	13.7	15.0	16.6	18.7	22.0					
28	0.8	3.2	5.1	6.9	7.7	8.6	9.5	10.4	11.3	12.4	13.6	14.9	16.5	18.6	21.9					
30	0.8	3.1	5.0	6.8	7.6	8.5	9.4	10.3	11.3	12.3	13.5	14.8	16.4	18.5	21.9					
32	0.5	3.0	4.9	6.7	7.5	8.4	9.3	10.2	11.2	12.2	13.4	14.8	16.4	18.5	21.8					
34	0.4	2.9	4.8	6.6	7.4	8.3	9.2	10.1	11.1	12.2	13.3	14.7	16.3	18.4	21.7					
35	0.4	2.9	4.8	6.5	7.4	8.3	9.1	10.1	11.0	12.1	13.3	14.6	16.3	18.4	21.7					
36	0.3	2.8	4.7	6.5	7.4	8.2	9.1	10.0	11.0	12.1	13.2	14.6	16.2	18.4	21.7					
40	0.1	2.6	4.6	6.3	7.2	8.0	8.9	9.9	10.8	11.9	13.1	14.4	16.1	18.2	21.5					
	10	20	30	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95					

Umidade Relativa do Ar (%)

Fig. 3 - Tabela Higroscópica. Fonte:[tchemt.com.br].

O projeto com iniciativa de controle da aeração optou pelo uso da configuração de parâmetros, pois o usuário envia parâmetros de máxima e mínima de temperatura e umidade, dados analisados através da tabela. Esses parâmetros são analisados a todo momento pelo sistema, sendo levado como regra sempre as condições climáticas enviada pelo sensor ambiente ao sistema, tornando possível de acionamento somente quando coerentes aos parâmetros definidos pelo usuário.

A principal vantagem do sistemas de controle é o fato de que o uso se torna a resposta do sistema relativamente através das variáveis definidas pelo usuário sendo elas extraídas da tabela do equilíbrio higroscópico, se tornando mais preciso [16]. Por outro lado, são mais complexos e têm custo mais elevado [19].

VI. METODOLOGIA

Ao desenvolver uma solução que aperfeiçoe os modos tradicionais de operação. Através de uma pesquisa aplicada e descritiva para a abordagem metodológica, foi estruturado um fluxograma para melhor apresentar e promover um melhor entendimento da eficiência operacional.

O fluxograma na Figura 4 ilustra o processo de funcionamento do sistema integrado ao Winckieel Cloud, demonstrando o monitoramento e controle de temperatura em silos de armazenagem de grãos. No processo do fluxograma descrito inicia-se com a coleta de temperatura dos grãos (1), seguida pela medição da temperatura ambiente (2), sendo ambas as informações processadas pelo microcontrolador (3), que atua como núcleo central do

sistema, gerenciando todos os dados coletados. Com base nessas informações, o sistema realiza o controle de temperaturas e aeração (4), garantindo condições ideais de armazenamento. A transmissão dos dados ocorre através de conexão wireless (5), onde o coletor estabelece comunicação via Wi-Fi com o sistema de nuvem Winckieel Cloud, permitindo o recebimento das informações em tempo real (6) e sua disponibilização na plataforma de controle (7). A arquitetura possibilita o monitoramento remoto e contínuo das condições de armazenamento, permitindo intervenções precisas e oportunas para a aeração manter a preservação da qualidade dos grãos.

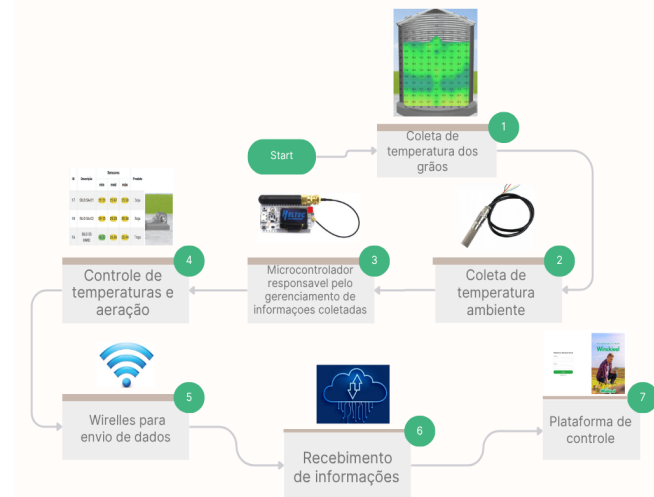


Fig.4 - Fluxograma de operação do equipamento do trabalho.

O microcontrolador Heltec V2 será utilizado como núcleo do sistema devido à sua capacidade de processamento, conectividade Wi-Fi e embutido de um *display* integrado para exibir informações do status do sistema ao usuário. Serão adicionados ao circuito da PCI (Placa de Circuito Impresso), que vai receber o microcontrolador e periféricos, como sensores de temperatura, umidade, botões, relés e módulos definidos para interação com o ambiente. Para uma alimentação correta o equipamento será abastecido por uma fonte regulada, garantindo estabilidade e proteção.

No protocolo que será implementado, a comunicação na **cloud** permite a troca eficiente de dados entre o dispositivo e o sistema remoto. As mensagens serão estruturadas em um formato para organização e compatibilidade com serviços na nuvem, sendo assim, os dados coletados pelos sensores serão enviados para a **cloud** via MQTT, onde serão armazenados e processados. A plataforma **cloud** permitirá o monitoramento remoto em tempo real e a interação com o dispositivo, oferecendo uma interface web ou móvel para visualização e controle.

A validação do protótipo foi conduzida dentro do ambiente da empresa, não sendo levado para o campo. Foram realizados testes envolvendo os circuitos integrados para controle das funções dispostas no código fonte e microcontrolador. O esquema foi dedicado a uma alimentação adequada aos componentes do projeto, testes de comunicação, e teste nas trocas de dados, foram parte das fases de teste e validação do Protótipo. Esta fase de validação foi estruturada para identificar e corrigir possíveis falhas

antes de expor a um ambiente real, permitindo ajustes imediatos e otimização contínua do protótipo, podendo garantir a integridade do sistema. A metodologia documentada com imagens do circuito, layout da PCI e descrição do firmware foram adicionadas ao relatório final.

VII. AUTOMAÇÃO E INSTRUMENTAÇÃO

É de suma importância diferenciar que automação se trata de máquinas que são controladas de forma automática, diferente de mecanização que teve início na Revolução Industrial e utiliza máquinas que substituem o esforço físico [6]. Segundo Ayres [20] a automação pode ser definida como a utilização da eletroeletrônica e da mecânica para controlar seu próprio funcionamento praticamente sem a intervenção do homem.

É possível realizar e executar várias partes do processo por sistemas informáticos visando a melhoria, eficácia e estrutura na arquitetura dos sistemas de informação, como também, que a automatização de processos permite obter uma fonte extensa de indicadores extremamente úteis para a gestão [21]. Com os avanços tecnológicos que ocorreram nos últimos anos é capaz de promover a conexão de diversos dispositivos, dando agilidade ao transporte e coleta de dados, colaborando para que a tomada de decisão pelo usuário seja mais ágil e eficaz [22].

Com o aumento da complexidade e da conectividade dos sistemas de aeração, o uso de *software* e plataformas baseadas em nuvem tem se expandido. Isso permite que os operadores monitorem e controlem sistemas de aeração de forma remota, otimizando os recursos e melhorando a eficiência energética. A automação e o uso de tecnologias avançadas também são recomendados para a redução do desperdício de energia e do consumo de recursos naturais, além de fornecer maiores soluções no controle de parâmetros críticos.

Alguns controladores são programados pelo usuário, com informações sobre a temperatura desejada da massa de grãos para cada mês do ano. Outros monitoram constantemente a temperatura do ambiente e operam o ventilador, sempre que necessário, para manter os grãos a esta temperatura. Existem aqueles que medem continuamente a temperatura da massa de grãos e a comparam com a temperatura desejada, previamente ajustada, a fim de decidir quando é necessário acionar o sistema de aeração, e os que são programados para atuar o menor tempo de operação possível, em função da vazão do ar de aeração. Há ainda programados para operar o sistema somente fora dos períodos de ponta de modo a aproveitar as melhores tarifas de energia elétrica [23].

Alguns microcontroladores, tais como o Heltec ESP32 LoRa (V2) mostrado na Figura 5, usado para fundamentação do projeto, permitem a comunicação e transmissão de dados a longas distâncias por radiofrequência, Bluetooth e Wi-Fi, permitindo a transferência de dados para a rede. Dados provenientes da medição de sensores, são relacionados na transferência de dados para a parametrização de momentos de aeração na armazenagem de grãos, sendo disponibilizados através da plataforma WinckieelCloud™, que viabiliza a visualização dos dados recebidos, e as tomadas de decisões.



Fig. 5– Heltec ESP32 LoRa (v2). Fonte: [Heltec.org].

Ressaltando, que para uma adequada operação do sistema de controle de acionamento de aeração requer conhecimentos sobre as condições higroscópicas da massa de grãos e psicrométricas do ar. Desse modo, requer que o operador esteja devidamente treinado para evitar a super secagem ou o umedecimento do produto; e que a alteração das condições psicrométricas do ar intergranular potencializando o desenvolvimento de microrganismos (fungos e bactérias).

Mantendo em vista que também é necessário que o sistema de aeração esteja devidamente projetado implantado. E que durante a operação sejam monitoradas a vazão de ar em diversos pontos da massa de grãos e o sistema de termometria para garantir a uniformidade dos valores das temperaturas do produto armazenado.

VIII.DESCRICÃO DO HARDWARE

De acordo com o *hardware* projetado e com as características dos sensores e utilização da ferramenta de desenvolvimento fornecida pelo fabricante do microcontrolador, foi definida a estrutura lógica do equipamento. É importante salientar que foram analisados todos os periféricos do sistema, bem como os requisitos básicos para um bom funcionamento do mesmo.

O equipamento centraliza funções que combinam *hardware* para tratamento de dados de sensores com software embarcado capaz de processar informações em tempo real e tomar decisões de controle baseadas em parâmetros pré-configurados pelo usuário.

O sistema é capaz de se conectar a múltiplos sensores de temperatura estrategicamente distribuídos dentro do silo ou armazém, fornecendo um mapa térmico detalhado da massa armazenada. o sistema utiliza especificamente sensores de temperatura digital DS18B20 (Figura 6), operando com uma tensão de 3V a 5.5V e oferecendo uma ampla faixa de medição de -55°C a +125°C, com uma precisão notável de $\pm 0.5^\circ\text{C}$ na faixa crítica de -10°C a +85°C [24].

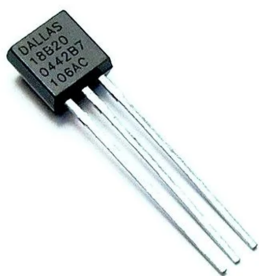


Fig.6 – Sensor de temperatura DS18B20.

A comunicação é feita através do protocolo 1-Wire, que simplifica o cabeamento ao permitir que múltiplos sensores compartilhem um único pino de dados conectado ao microcontrolador ESP32 Heltec [24]. Cada cabo-pêndulo contém múltiplos sensores distribuídos em intervalos regulares ao longo de seu comprimento, permitindo a medição da temperatura em diferentes profundidades. A quantidade e a disposição espacial desses cabos-pêndulo dentro da unidade armazenadora são definidas com base nas dimensões do silo/armazém que são descritas pelo fabricante do mesmo.

A capacidade de visualizar o mapa térmico da massa de grãos, seja através da interface local, com o *display* OLED integrado às placas ESP32 Heltec, ou remota (via conectividade WiFi do ESP32), fornece ao gestor a tomada de decisões informadas sobre a conservação [25].

Além do monitoramento interno da massa de grãos, foi incorporado a avaliação das condições ambientais externas, sendo um fator determinante para a eficácia e segurança da operação de aeração. Neste caso, foi usado um dispositivo “SHT20” que combina um sensor de umidade capacitivo e um sensor de temperatura, oferecendo boa precisão tipicamente $\pm 3\%$ para umidade e $\pm 0.3^\circ\text{C}$ para temperatura e comunicação digital via interface I2C. O SHT20 opera com tensão de 3V a 5.5V e é adequado para a faixa de operação necessária em aplicações de monitoramento ambiental [26].

Adicionalmente, o sistema inclui um sensor de chuva, do tipo contato, detectando a presença de gotas d'água que fecham o contato. A detecção de chuva é crucial para evitar a introdução de umidade excessiva no sistema. A detecção de chuva é um parâmetro de segurança fundamental, pois a operação do sistema de aeração durante a precipitação pode levar à introdução de água na massa de grãos, com consequências para a conservação.

A automatização da aeração reside em seu sistema de controle, implantado no microcontrolador ESP 32 Heltec, que processa as informações coletadas pelos sensores internos e externos para tomar decisões automatizadas sobre o acionamento do sistema de ventilação. O comando para iniciar ou parar a aeração, originado no coletor ESP 32 e possivelmente processado pelo CLP, ou Soft Starter, com base na lógica de controle, envia sinais digitais nível alto/baixo para ativar ou desativar os relés implantados como saída no projeto, que por sua vez ligam ou desligam ventiladores ou dispositivos de partida dos motores, garantindo que a programação do CLP interpreta esses sinais. Adicionalmente, a automação do controle da aeração é baseada em parâmetros e condições ambientais favoráveis, garantindo uma gestão mais eficiente.

O algoritmo avalia múltiplos critérios simultaneamente. Por exemplo, a aeração pode ser habilitada se a temperatura do ar externo for significativamente inferior à temperatura mais alta registrada no controle do usuário, e se a umidade relativa do ar externo estiver abaixo de um limite. Essa arquitetura integrada garante um controle automatizado, eficiente e seguro do processo de aeração, baseado em dados reais das condições de armazenamento.

Periféricos são usados em PCIs para expandir ou viabilizar a funcionalidade do sistema eletrônico que aquela placa foi projetada para desempenhar. São componentes ou

dispositivos auxiliares conectados ao microcontrolador principal da placa, que executam funções específicas como entrada, saída, comunicação ou controle.

No controle de alimentação do circuito e para um melhor acompanhamento, o uso do Módulo Regulador de tensão LM2596 tem a sua função converter uma tensão de entrada DC mais alta em uma tensão de saída DC mais baixa e estável, que pode ser ajustada através de um trimpot. Utilizado para alimentar circuitos que requerem uma tensão específica e menor do que a fornecida pela fonte principal [27].

O uso do RTC DS3231 é na função de relógio de tempo real sua principal função é manter o controle preciso de data e hora, mesmo quando a alimentação principal do sistema é desligada, graças a uma bateria de backup. Ele se comunica tipicamente através do protocolo I2C onde possivelmente pela memória existente acaba armazenando dados repassados pelo microcontrolador [28].

No intuito de expandir entradas e saídas de 8 bits foi dado o uso do PCF8574 operando através da interface de comunicação I2C ele nos permitiu aumentar o número de pinos digitais disponíveis no microcontrolador tornando útil para ler múltiplos cabos e poder controlar as saídas para ligação dos motores de aeração [29].

Para termos um melhor desempenho atribuímos o uso do HEF4051 um multiplexador analógico de 8 canais. Funciona como uma chave controlada digitalmente que pode conectar um pino comum a um dos oito pinos independentes, permitindo que um único pino de um microcontrolador leia ou envie sinais analógicos ou digitais para múltiplos canais, ou vice-versa. Não utiliza comunicação I2C mas sim pinos de seleção de endereço [30].

Para que se de um controle correto a cada sensor no momento instantâneo a leitura foi usado o CI4N25 permitindo o controle de um relé de 5 Vcc, onde sua função é um optoacoplador que utiliza um LED infravermelho e um fototransistor. Sua função é fornecer isolamento elétrico entre dois circuitos. Um sinal elétrico no lado do LED é convertido em luz, que por sua vez aciona a fototransistor no lado de saída, permitindo a transferência do sinal sem uma conexão elétrica direta, protegendo circuitos sensíveis de altas tensões ou ruídos [31].

Pensando em um componente que atendesse o momento exato quando deve ser ligado os motores de aeração, foi estruturado o uso do ULN2803 circuito integrado que contém oito transistores com diodos de proteção em suas saídas. Ele é projetado para atuar como um driver de cargas de alta corrente ou alta tensão, como relés, motores de passo, solenoides e displays de LEDs, a partir de sinais lógicos de baixa potência provenientes de microcontroladores [32].

Na verificação do estado de ligado e desligado tenham exatidão, projetou-se o uso do PC817 para verificação do estado de desligado um optoacoplador de propósito geral que consiste em um LED infravermelho e um fototransistor. Similar ao 4N25, sua função é isolar eletricamente dois circuitos, transmitindo sinais através da luz. É comumente utilizado para proteger circuitos de microcontroladores de ruídos e altas tensões, acoplar sinais entre sistemas com diferentes potenciais de terra, ou em aplicações de detecção de sinal [33].

O Microcontrolador atua como um cliente MQTT, publicando os dados coletados em tópicos específicos em um servidor MQTT broker, exemplo, em plataformas como *AWS IoT*, *Google Cloud IoT Core*, ou *brokers* públicos como o da *Eclipse Foundation*. Também inscritos nesses tópicos subscribers, podem então receber essas informações para monitoramento, análise, armazenamento ou para enviar comandos de volta ao microcontrolador. Essa arquitetura permite a criação de sistemas de monitoramento e controle remotos, onde o sistema embarcado com seus sensores e atuadores interage de forma eficiente com a nuvem para troca de mensagens e gerenciamento. No desenvolvimento de sistemas em nuvem, diferentes linguagens de programação são usadas para funções específicas. Python e PHP são utilizados no back-end para criar APIs, gerenciar dados e executar a lógica do sistema. No front-end, JavaScript é usado para construir interfaces interativas que se comunicam com o servidor. Juntas, essas tecnologias permitem o funcionamento completo de aplicações modernas baseadas na nuvem.

IX.RESULTADOS DO HARDWARE

O protótipo na Figura 7 foi projetado para atender às demandas do trabalho. Atualmente concluída a fase de prototipagem, a placa incorpora um microcontrolador central que permite a comunicação e transmissão de dados, incorporando conexões para sensores de temperatura e umidade com circuito de controle de periféricos. O **layout** segue a otimização visando uma solução compacta adequada às necessidades operacionais do sistema, com foco na integração e na automação.

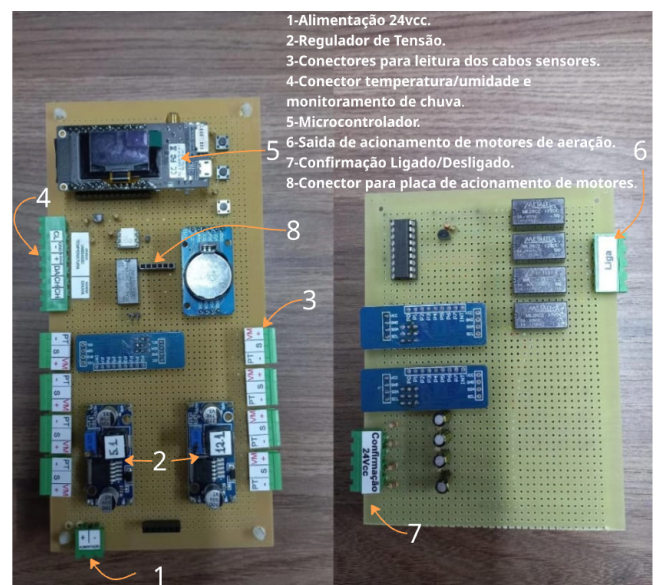


Fig. 7 – PCI do projeto Coletor De Temperatura integrado ao Sistema de Aeração.

A placa PCI possui capacidade para leitura de até 8 cabos de sensores, com cada cabo suportando até 16 sensores. Essa configuração possibilita o controle da ligação de 4 motores por unidade de armazenagem, além de monitorar o estado de cada motor, indicando se estão ligados ou desligados.

Adicionalmente, a placa conta com entradas para a comunicação de sensores de temperatura e umidade ambiente e com monitoramento via sensor de chuva.

Para desenho da PCB (*Printed Circuit Board*) ou PCI (Placa de circuito impresso) deve ser baseado um diagrama esquemático de circuito, o qual foi feito por um software adequado. Devido a complexidade do projeto, o circuito necessitou ser simulado e até mesmo montado para garantir que realmente funcione. Os programas profissionais de projeto permitem que as conexões do diagrama esquemático sejam exportadas para o *software* de desenho; neste ponto, entram as habilidades de desenho e conhecimento técnico do desenhista [34].

Para a implementação do sistema de nuvem denominado WinckieelCloud, foi necessário o auxílio de dois colegas, que contribuíram significativamente no projeto. A arquitetura do sistema foi estruturada utilizando a linguagem em PHP voltada para desenvolvimento de sites e aplicações Web, onde a parte de frontend foi implementado em JavaScript, proporcionando uma interface responsiva e intuitiva para os usuários. Os processos responsáveis pela transmissão de dados entre o coletor e a nuvem foram programados em Python, segurando confiabilidade na comunicação. A abordagem permitiu aproveitar as vantagens de cada linguagem, resultando em um sistema integrado conforme mostra a Figura 8, que atende plenamente aos requisitos funcionais estabelecidos.

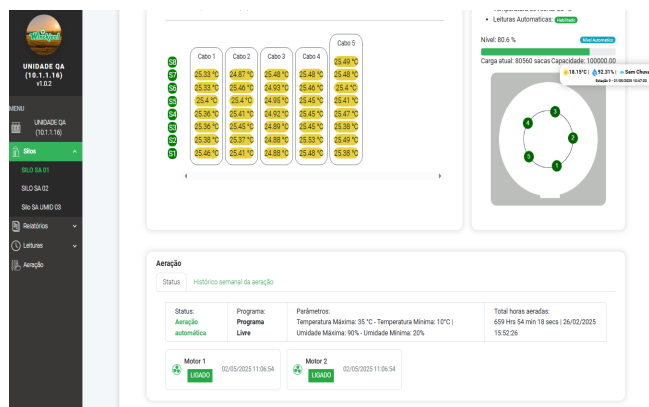


Fig.8 - Sistema WinckieelCloud.

A interface gráfica desenvolvida torna o sistema mais dinâmico, permitindo ao usuário o monitoramento remoto das condições da massa de grãos de forma simples e objetiva. Essa interface possibilita o acompanhamento em tempo real da temperatura da massa, com geração de relatórios contínuos ao longo do dia, sem limitação quanto à quantidade de leituras realizadas.

Visando o cumprimento das normas técnicas de controle de temperatura em armazenagem de grãos, a interface também permite o controle de acionamento via interface permitindo atuação dos motores de aeração, oferecendo uma experiência conveniente para o usuário.

Adicionalmente, o sistema fornece monitoramento constante das variáveis ambientais, como temperatura e umidade do ar, possibilitando a identificação de períodos de chuva e variações climáticas que possam influenciar diretamente nas condições de armazenagem.

X. CONCLUSÕES

O Coletor De Temperatura integrado ao Sistema de Aeração representa um avanço significativo no sistema de controle. A combinação da medição de temperatura com a capacidade de realizar acionamento sobre a aeração automática oferece uma solução eficiente para ambientes que exigem controle de aeração. A principal vantagem desse sistema é sua capacidade de otimizar a integração de funções de temperatura e ventilação em um único dispositivo resultando em um projeto mais compacto e de fácil manutenção, diminuindo custos operacionais. Em termos de sustentabilidade, esse tipo de coletor pode ajudar na redução de operação, ao permitir a parametrização automatizada dos períodos de acionamento e de controle de temperatura sem a necessidade de dispositivos auxiliares. Dessa forma, a solução torna-se uma alternativa vantajosa em diversas áreas, oferecendo um excelente custo-benefício a longo prazo.

Durante a fase de desenvolvimento do protótipo, foram realizados testes para garantir a funcionalidade e eficiência do sistema. Os testes, especialmente nos opcionais de controle e monitoramento, avaliaram sua capacidade de atender às expectativas previamente estabelecidas. Cada funcionalidade foi verificada, a fim de garantir que o desempenho do protótipo estivesse alinhado com os requisitos técnicos e operacionais, assegurando que todos os processos fossem eficazes e respondessem de forma adequada às necessidades do projeto.

A fase de validação do Coletor De Temperatura integrado ao Sistema de Aeração, incluiu a integração do equipamento ao sistema de nuvem da empresa. Além disso, foram analisados o desempenho do equipamento, como disponibilidade de acesso, controle de operação e com o objetivo de avaliar o aumento da eficiência operacional. Os resultados obtidos e avaliados de forma que se tornasse algo de uso eficaz, em relação a soluções de equipamentos operacionais já existentes, contudo existem oportunidades para versões futuras que podem aprimorar ainda mais suas funcionalidades e desempenho.

REFERÊNCIAS

- [1] NAGRO, CRÉDITO AGRO, 2024, [Online]. <https://nagro.com.br/blog/tecnicas-de-armazenamento-de-graos>.
- [2] PCE ENGENHARIA. [Online]. Disponível: <https://engenharia-pce.com.br/sistemas-de-termometria-digital/>.
- [3] QUALYAGRO. [Online]. Disponível: <https://www.qualyagro.com.br/produtos/detalhes/74/Termo+Flex>.
- [4] FOCKINK. [Online]. Disponível: <https://www.fockink.ind.br/sugmentos/9f8fcd7c-0b2e-4273-b8c4-6cf7dbf021d8/product/05b8f98b-054b-4133-abdd-863100388052>.
- [5] PET, PROGRAMA DE EDUCAÇÃO TUTORIAL, 2019, [Online]. <https://petesa.eng.ufba.br/blog/impactos-da-alimentacao-na-sociedade-e-meio-ambiente>.

- [6] PÉRA, T. G. Modelagem das perdas na agrologística de grãos no Brasil: uma aplicação de programação matemática. 2017. 182 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. ROGGIA, L.; FUENTES, R. C. Automação industrial. Santa Maria: E-tec Brasil, 2016.
- [7] GOV. [Online]. Disponível: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/infraestrutura-e-logistica/documentos-infraestrutura/29-2011.pdf>.
- [8] CNA SENAR, 2023. [Online]. Disponível: <https://www.cnabrazil.org.br/noticias/pesquisa-inedita-mostra-realidade-da-armazenagem-no-brasil>.
- [9] EMBRAPA, 2020. [Online]. Disponível: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/27310/1/Colheita-pos-colheita-Pragas.pdf>.
- [10] EMBRAPA, 2023. [Online]. Disponível: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1155426/1/Circ-Tec-196.pdf>.
- [11] FIGUEIREDO, Kleber. Gestão estratégica de armazenagem. Rio de Janeiro: CELCOPEAD, 2004. FLEURY, P. F., WANKE, P.
- [12] WEBER, A. E. Armazenamento agrícola. Kepler Weber Industrial, Porto Alegre, 1995, 400p.
- [13] LASSERAN, J. C. Aeração de Grãos. Serie Centreinar, nº2. Artes Gráficas Formato S.A., Belo Horizonte, MG, 1981. 131p.
- [14] FOSTER, G. F.; TUIITE, J. Storage of Cereal Grains and their Products. SAUER, D. B. (editor). American Association of Cereal Chemists, Saint Paul, USA 1983, p.219-247.
- [15] SCIELO BRAZIL. [Online]. Disponível: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/J4nw69XDYh4SDJfRtWQLZk/>.
- [16] OGATA, k. Engenharia de controle Moderno. Prentice Hall do Brasil, São Paulo 1982, 929p.
- [17] HAGGLUND, T. Process Control Practice. Studentlitteratur, Sweden, 1991, 111 p.
- [18] Cycloar. *Equilíbrio Higroscópico*. [Online]. Disponível: <https://cycloar.ind.br/equilibrio-higroscopico-qual-e-a-sua-importancia-para-a-armazenagem-de-graos/>.
- [19] NISE, N. S. Control Systems Engineering Addison Wesley Longman Inc., Singapore, 2ªed., 1998, 853.
- [20] AYRES, G. D. J. Sistema integrado de monitoramento de produtos armazenados em silos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2020.
- [21] MARQUEZ, J. A. Automatização de processos. 2007. [Online]. <http://www.link.pt>. Acesso em: 27 de abril de 2023.
- [22] VANELLI, B.; SILVA, M. P. D. Internet of things data storage infrastructure in the cloud using NoSQL Databases. Revista IEEE América Latina, v.15, n.4, p.737-743, 2017.
- [23] MAIER, D.; MONTROSS, M. Aeration Technology for Moisture Management. In Proceedings of the University of Illinois Grain Quality Conference -Managing Moisture in Grains and Oilseeds. March 26-27. 1997.
- [24] Analog Devices. [Online]. Disponível: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ds18b20.pdf>.
- [25] Heltec Automation. [Online]. Disponível: <https://heltec.org/project/wifi-lora-32-v3/>.
- [26] Sensirion AG. [Online]. Disponível: <https://sensirion.com/resource/datasheet/sht20>.
- [27] ELETRODEX. [Online]. Disponível: https://eletrodex.org/eletrodex/Loja_Tray/Datasheets/PlacasModulos/Modulos/Step/Im2596.pdf.
- [28] AWSLI. [Online]. Disponível: https://cdn.awsli.com.br/945/945993/arquivos/Datasheet_DS3231.pdf.
- [29] CDN. [Online]. Disponível: <https://cdn.awsli.com.br/945/945993/arquivos/pcf8574.pdf>.
- [30] ALLDATASHEET. [Online]. Disponível: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/17723/PHILIPS/HEF4051.html>.
- [31] ALLDATASHEET. [Online]. Disponível: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/257609/AVAGO/4N25.html>.
- [32] ALLDATASHEET. [Online]. Disponível: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/12687/ONSEMI/ULN2803.html>.
- [33] ALLDATASHEET. [Online]. Disponível: <https://www.alldatasheet.com/html-pdf/43368/SHARP/PC817/124/1/PC817.html>.
- [34] Lima, Charles Borges de. Técnicas de Projetos Eletrônicos com os Microcontroladores AVR. Edição do autor - Clube de Autores, 1ª ed. Nov/2010.

DADOS BIOGRÁFICOS

Jean da Silva Sarturi, nascido em 23/03/1998 em Panambi-RS, Assistente administrativo (2014), Técnico em Eletricista Industrial e Predial (2016). Atualmente aluno do Curso de Tecnologia em Automação Industrial da Instituição IFFAR Panambi-RS. Minhas áreas de interesse são: eletrônica, sistemas de controle eletrônicos e acionamentos, automação de equipamentos.