

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

LUCAS FONTOURA NUNES

**SISTEMA DE AERAÇÃO PARA SILOS DE ARMAZENAGEM DE GRÃOS COM A
UTILIZAÇÃO DE TERMOMETRIA DIGITAL**

**Alegrete
2019**

LUCAS FONTOURA NUNES

**SISTEMA DE AERAÇÃO PARA SILOS DE ARMAZENAGEM DE GRÃOS COM A
UTILIZAÇÃO DE TERMOMETRIA DIGITAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pampa como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Giovani Guarienti Pozzebon

**Alegrete
2019**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

F684s Fontoura Nunes, Lucas
Sistema de Aeração para Silos de Armazenagem de Grãos com a
Utilização de Termometria Digital / Lucas Fontoura Nunes.
72 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, ENGENHARIA ELÉTRICA, 2019.
"Orientação: Giovani Pozzebon".

1. Termometria. 2. Aeração. 3. Sensores digitais. I.
Título.

LUCAS FONTOURA NUNES

SISTEMA DE AERAÇÃO PARA SILOS DE ARMAZENAGEM DE GRÃOS COM A UTILIZAÇÃO DE
TERMOMETRIA DIGITAL

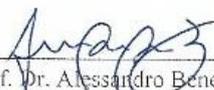
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 27 de Novembro de 2019.

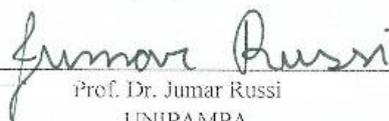
Banca examinadora:



Prof. Dr. Giovanni Guarienti Pozzebon
Orientador



Prof. Dr. Alessandro Benevides
UNIPAMPA



Prof. Dr. Jumar Russi
UNIPAMPA

AGRADECIMENTOS

Agradeço a meus pais, por serem os responsáveis pela formação do meu caráter. Meu pai, Jorge Augusto de Deus Nunes, que fez parte de uma pequena, mas importante etapa da minha vida e minha mãe, Clarissa Fontoura Nunes que tomou conta de mim e das minhas irmãs, na ausência dele, utilizando todas suas energias para nos oferecer um futuro. Espero poder retribuir um dia todo o amor e a dedicação empregados por você, mãe!

As minhas irmãs, Larissa Fontoura Nunes e Camila Fontoura Nunes, por me mostrarem a importância de finalizar essa etapa e não me deixarem desistir.

A minha companheira, Gabriele Espindola Azolim, por me trazer alegria e me gerar motivação para que eu busque sempre crescimento.

Ao professor Giovani Guarienti Pozzebon, por se mostrar disponível, ter paciência, dar bons conselhos que foram primordiais para que eu saísse da estaca zero e alcançasse no objetivo traçado.

Aos colegas Lucas Dorneles, Maicon Natã e Rodrigo Andrade pelas noitadas de estudos, pelos dias bons e por outros nem tanto, mas principalmente pelo excelente trabalho em equipe que nos fez chegar até o final desta etapa.

A todos familiares e amigos que de alguma forma contribuíram para que eu conseguisse chegar nesta conquista.

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

José de Alencar

RESUMO

O Brasil apresenta um déficit muito grande na capacidade estática de armazenamento de grãos em comparação ao que é produzido e, em função desta afirmação, espera-se que cada vez mais sejam construídas unidades novas de armazenagem de grãos. A instalação de sistemas de termometria nas unidades de armazenagem é obrigatória para que as mesmas sejam credenciadas, com isso, o mercado terá de suprir essa demanda. Os sistemas de termometria instalados na grande parte das unidades são compostos por sensores termopares e existe uma grande possibilidade deste sistema ser substituído por sistemas com sensores digitais. O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de termometria que utiliza sensores digitais e possibilita a visualização e interação do usuário com as variáveis do projeto, incluindo o acionamento do sistema de aeração remotamente. Como resultados serão apresentados o funcionamento e as vantagens identificadas no sistema proposto em relação aos sistemas que utilizam termopares.

Palavras-chave: Termometria. Sistema de Aeração. Termopares. Sensores digitais.

ABSTRACT

Brazil has a very large deficit in static grain storage capacity compared to what is produced and, as a result of this statement, it is expected that more and more new grain storage units will be built. The installation of thermometry systems in storage units is mandatory for them to be accredited, so the market will have to supply this demand. The thermometry systems installed in most units are thermocouple sensors and there is a great possibility that this system can be replaced by systems with digital sensors. The present work presents the development of a thermometry system that uses digital sensors and allows the visualization and interaction of the user with the project variables, including activating the aeration system remotely. As results will be presented the operation and the advantages identified in the proposed system in relation to the systems that use thermocouples.

Keywords: Thermometry. Aeration System. Thermocouples. Digital Sensors.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Histórico de produção de grãos por ano, no Brasil.....	15
Figura 2 - Estimativa safra 2017/2018, por grãos.	15
Figura 3 - Histórico de produção de soja por ano.....	16
Figura 4 - Série histórica da capacidade estática de armazenagem de grãos no Brasil.....	16
Figura 5 - Defasagem entre produção e capacidade de armazenamento de grãos de 2013 até 2017.....	17
Figura 6 – Planta em perspectiva de uma unidade de armazenamento de grãos.....	21
Figura 7 - Fluxograma da planta apresentada na Figura 6.	22
Figura 8 - Recebimento de grãos em unidade de armazenagem.	22
Figura 9 - Exemplo de máquina de limpeza.	23
Figura 10 - Secador de cereais.....	24
Figura 11 - Silos metálicos.	24
Figura 12 - Pêndulos de termometria instalados em silo de armazenagem.....	25
Figura 13 - Ventiladores de aeração para silos de armazenagem.....	25
Figura 14 - Aeração em um silo cilíndrico metálico de fundo plano.	27
Figura 15 - Painel de conexão dos cabos de termometria.	30
Figura 16 - Interior de um quadro de sistema de aeração automática.	31
Figura 18 - Cabos termométricos.	33
Figura 17 - Corte lateral representando os pêndulos da termometria de um silo.	33
Figura 19 - Vias necessárias para um sistema de termometria com 12 sensores termopares...	34
Figura 20 - Conexão de 15 cabos termométricos com sensores termopares em um painel de controle de aeração.	35
Figura 21 - Sensor de temperatura digital.	36
Figura 22 - Vias necessárias para um sistema de termometria com 12 sensores digitais.....	37
Figura 23 - Diagrama de blocos do sistema proposto.	38
Figura 24 - Vista superior do silo com a posição dos cabos pêndulos.	39
Figura 25 - Quantidade de sensores por pêndulo.	40
Figura 26 - Circuito de interligação dos sensores com a plataforma do microcontrolador.....	41
Figura 27 - Protótipo dos cabos pêndulos interligados com a plataforma eletrônica.....	41
Figura 28 - Temperaturas dos sensores apresentadas no monitor serial.....	43
Figura 29 - Criação do data source.....	48
Figura 30 - Criação de um datapoint.	49

Figura 31 - Inclusão de todos os data points do projeto.....	49
Figura 32 - Imagem de fundo do sistema supervisorio.....	50
Figura 33 - Sistema supervisorio com os pontos de dados inclusos.	50
Figura 34 - Teste de aquecimento em 3 sensores.....	52
Figura 35 - Teste de aquecimento em 5 sensores.....	53
Figura 36 - Simulação 1 do cálculo da umidade de equilíbrio.....	54
Figura 37 - Simulação 2 do cálculo da umidade de equilíbrio.....	54
Figura 38 - Simulação no Excel do resultado dos testes das Figuras X e X.....	55
Figura 39 - Simulação da não necessidade de aeração.	55
Figura 40 - Comportamento da umidade, teste 1.....	56
Figura 41 - Comportamento da umidade, teste 2.....	57
Figura 42 - Comportamento da umidade, teste 1.....	58
Figura 43 - Comportamento da umidade, teste 2.....	58
Figura 44 - Verificação do funcionamento do botão de acionamento da aeração.	59
Figura 45 - Layout sugestivo para o painel do sistema proposto.....	60
Figura 46 - Comparação da infraestrutura necessária para sistemas que utilizam termopares e sensores digitais.	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição química dos grãos.	19
Tabela 2 – Teor de umidade de sementes em equilíbrio expostas a diferentes níveis de umidade relativa do ar a uma temperatura de 25°C.....	20
Tabela 3 - Calor liberado por 1 tonelada de grãos de sorgo para variadas temperaturas e umidades.....	28
Tabela 4 - Determinação da umidade de equilíbrio higroscópico da soja em várias situações de umidade e temperatura do ar.	29
Tabela 5 – Função dos pinos dos sensores de temperatura DS18B20.....	37
Tabela 6 - Especificação silo plano modelo 3616.	38

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Contextualização do Trabalho	11
1.2 Objetivos.....	12
1.2.1 Objetivo Geral.....	12
1.2.2 Objetivos Específicos.....	12
1.3 Justificativa.....	12
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1 Histórico de Produção de Grãos no Brasil x Capacidade de Armazenamento	14
2.2 Conservação dos Grãos	17
2.2.1 Estrutura Físicas dos Grãos.....	17
2.2.2 Composição Química dos Grãos.....	18
2.2.3 Condições Essenciais para a Conservação dos Grãos.....	19
2.3 Unidades de Armazenamento de Grãos	21
2.4 Sistemas de Termometria e Aeração.....	26
2.4.1 Sistemas de Aeração	26
2.4.2 Sistemas de Termometria.....	31
2.5 Sensores Digitais.....	35
3 METODOLOGIA	38
3.1 Definição do Sistema de Termometria.....	38
3.2 Montagem do Circuito	40
3.3 Programação do Microcontrolador	41
3.3.1 Programação para Aquisição das Temperaturas	42
3.3.2 Programação da Lógica para a Aeração.....	44
3.4 Desenvolvimento do Sistema Supervisório	46
3.4.1 Adaptação do Código.....	47

3.4.2 Criação das Representações Gráficas	48
4 RESULTADOS	52
4.1 Pontos Fora da Faixa Permitida.....	52
4.2 Umidade de Equilíbrio do Grão	53
4.3 Necessidade de Aeração	55
4.4 Comportamento da Umidade.....	56
4.5 Comportamento da Temperatura	57
4.6 Acionamento do Aerador	59
4.7 Comparativo do Projeto Proposto x Sistema em Funcionamento	59
4.7.1 Layout do Painel de Termometria	60
4.7.1 Comparativo da Infraestrutura de Proteção Mecânica Necessária.....	60
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	62
5.1 Considerações Finais	62
5.2 Recomendação para Trabalhos Futuros.....	62

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização do Trabalho

A produção de grãos no Brasil, conforme dados publicados pela Companhia Nacional do Abastecimento (CONAB), aumentam consideravelmente a cada ano, saindo de quase 187 milhões de toneladas em 2016 e chegando próximo a 230 milhões de toneladas em 2018. Por um outro lado, tem-se os valores referentes a capacidade estática de armazenamento fornecidos também pela CONAB, juntamente com a Diretoria de Operações e Abastecimento (DIRAB), com a Superintendência de Armazenagem (SUARM) e com a Gerência de Cadastro e Credenciamento de Armazéns (GECAD), que representava aproximadamente 162 milhões de toneladas em 2017, ou seja, um déficit de aproximadamente 75 milhões de toneladas. Com os dados citados acima, que serão melhor detalhados no decorrer do texto, chega-se à conclusão de que é necessária a construção de novas unidades armazenadoras para suprir a produção que todo ano tende a aumentar. (Boletim de safra de grãos – CONAB, [s.d])

Em relação às unidades de armazenamento de grãos, segundo a instrução normativa nº 29 de 2011, cujo texto é conhecido como Lei do Sistema Nacional de Certificação de Unidades Armazenadoras, é obrigatória a instalação de termometria para que a unidade seja certificada e o número de pontos em que devem ser verificadas as temperaturas dentro de uma estrutura armazenadora é de pelo menos um a cada 150m³ de capacidade de armazenamento estático, sendo que esses pontos devem ter distribuição uniforme. (Instrução Normativa 29, 2011)

Contudo, levando em consideração as informações supracitadas, visto o potencial de crescimento da área, este trabalho tem como objetivo desenvolver um sistema de termometria que servirá como parâmetro para o acionamento do sistema de aeração de uma unidade armazenadora, atendendo aos requisitos das normas vigentes. O sistema proposto apresenta de forma clara as informações necessárias para seu funcionamento, além de apresentar um custo baixo e estrutura relativamente compacta em comparação a alguns sistemas encontrados no mercado.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral consiste em desenvolver um sistema de aeração de fácil instalação, baixo custo e dimensão relativamente compacta.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Montar um protótipo de um sistema de termometria;
- Desenvolver a programação de um microcontrolador para realizar a leitura dos dados de sensores de temperatura digitais e interpretar e calcular variáveis de um sistema de aeração;
- Desenvolver um sistema supervisório que gerencie variáveis recebidas pelo usuário e retorne dados de interesse para o sistema de aeração e possibilite acionar remotamente os motores do sistema. O software para desenvolvimento do sistema supervisório utilizado no trabalho foi o ScadaBR;
- Comparar o sistema desenvolvido com um sistema em funcionamento em uma unidade de armazenagem de grãos para verificar a viabilidade de instalação.

1.3 Justificativa

É comprovado o crescimento do agronegócio para suprir o crescimento da população e conforme será discutido no texto, cada vez mais será necessário construir novas unidades de armazenagem de grãos, pois o déficit entre capacidade de armazenamento e produção é expressivo.

Com a construção de novas unidades de armazenamento, obrigatoriamente, como previsto em norma, para essas serem credenciadas, precisam ser dotadas de sistema de termometria. Com isso, conclui-se que o mercado precisa fabricar esses sistemas, sendo uma boa área para se obter retorno com o desenvolvimento de um projeto eficiente. Ainda pode ser levado em consideração que com a depreciação dos sistemas já instalados, além de novas instalações, será necessário renovar as antigas.

Muitos sistemas encontrados nas unidades de armazenamento atuais utilizam um método de leitura de temperaturas que necessita de muitas conexões, o que demanda tempo de instalação. Além disso, está exposto a interferências e erros na leitura, entre outros problemas.

O sistema proposto, diferente dos sistemas convencionais, citados no parágrafo anterior, apresenta poucas conexões, é de fácil instalação, proporciona maior confiabilidade na leitura, pois transfere os dados com um protocolo digital, o que deixa a instalação menos exposta a interferências eletromagnéticas do que o método convencional.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção será apresentado o histórico de produção de grãos no Brasil, conforme citado na introdução, de maneira mais ampla. Também serão apresentados conceitos e características de alguns grãos mais relevantes para o trabalho. Por fim será apresentado o conteúdo teórico em relação a termometria e aeração que servirão como embasamento para o desenvolvimento do sistema proposto.

2.1 Histórico de Produção de Grãos no Brasil x Capacidade de Armazenamento

Mensalmente a Companhia Nacional do Abastecimento (Conab), empresa vinculada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), realiza levantamentos sobre a safra de grãos no Brasil. O levantamento da safra é realizado no mês de outubro de um ano até o mês de setembro do ano posterior, ou seja, o levantamento da safra 2017/2018, por exemplo, é realizada de outubro de 2017 até setembro de 2018.

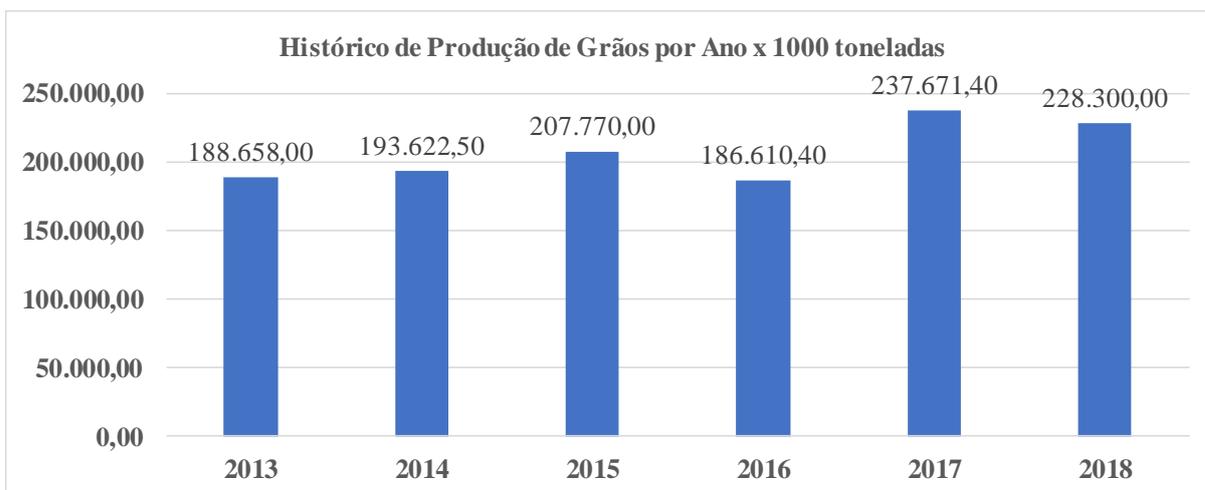
A seguir, serão abordados quantitativos relacionados aos grãos mais relevantes em relação ao volume produzido, como por exemplo, arroz, feijão, milho, soja e trigo. Quantitativos relacionados a outros produtos como algodão, amendoim, girassol, mamona, sorgo, aveia, canola, centeio, cevada e triticale, que também são apresentados nos relatórios da CONAB, não serão abordados, pela quantidade relativamente baixa em relação aos grãos supracitados e por não terem grande relevância para este trabalho.

Na Figura 1, está apresentado o histórico da estimativa de produção de grãos, publicada no boletim da safra de grãos, pela Conab, desde 2013 até 2018. É possível notar um equilíbrio nas quantidades produzidas de 2013 até 2016 e uma expressiva diferença nos anos de 2017 e 2018. O aumento na produção de 2016 para 2017 foi de aproximadamente 51 milhões de toneladas.

Na Figura 2, estão apresentadas as quantidades produzidas por tipo de grão, no ano de 2018, onde é possível observar que os grãos de soja e milho compõem a maior parte da produção de grãos do país.

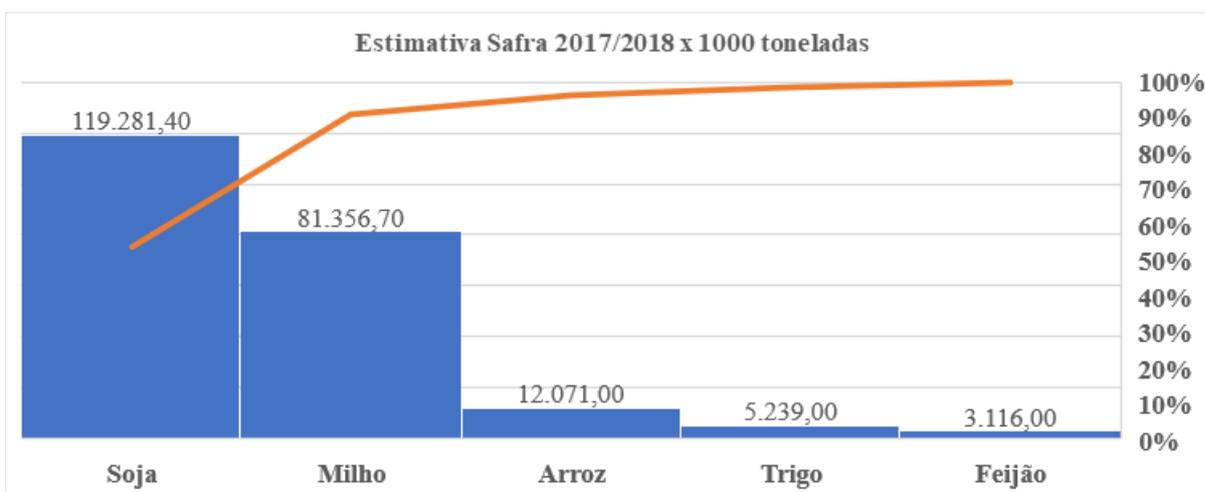
Outra informação interessante pode ser observada na Figura 3, a qual exhibe a grande evolução da produção da soja desde 2013.

Figura 1 - Histórico de produção de grãos por ano, no Brasil.



Fonte: Conab. Boletim da safra de Grãos.

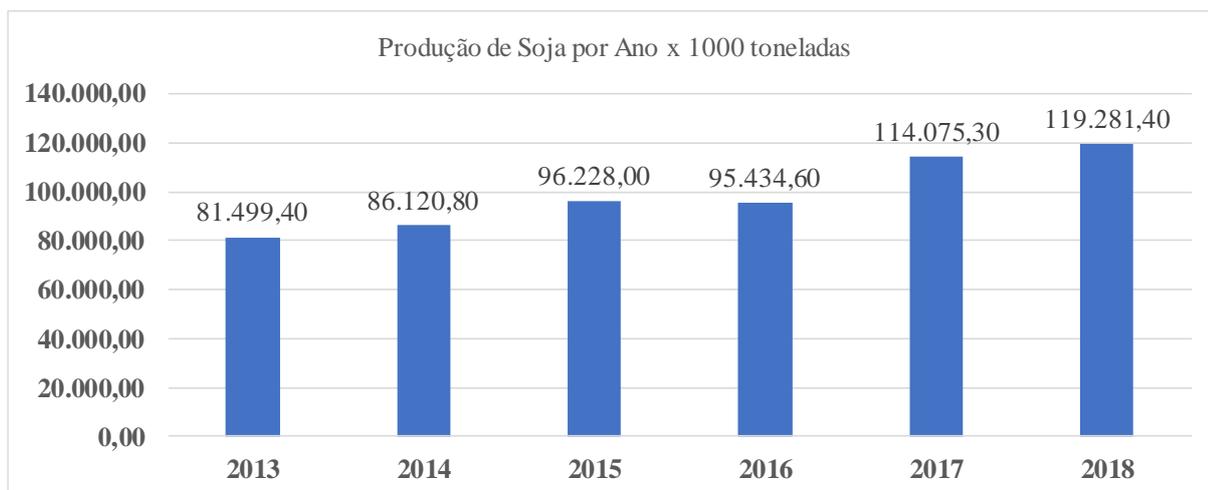
Figura 2 - Estimativa safra 2017/2018, por grãos.



Fonte: Conab. Boletim da safra de Grãos.

Contudo nas Figuras 1 e 3, é possível notar que existe, com o passar dos anos, o aumento na produção de grãos e, com isso, logicamente cada vez mais são necessários locais apropriados para o armazenamento da quantidade produzida. Esse aumento necessário na capacidade de estocagem pode ser observado na Figura 4, a seguir, que apresenta os números fornecidos pela CONAB, juntamente com a Diretoria de Operações e Abastecimento (DIRAB), com a Superintendência de Armazenagem (SUARM) e com a Gerência de Cadastro e Credenciamento de Armazéns (GECAD), desde 1990 até 2017.

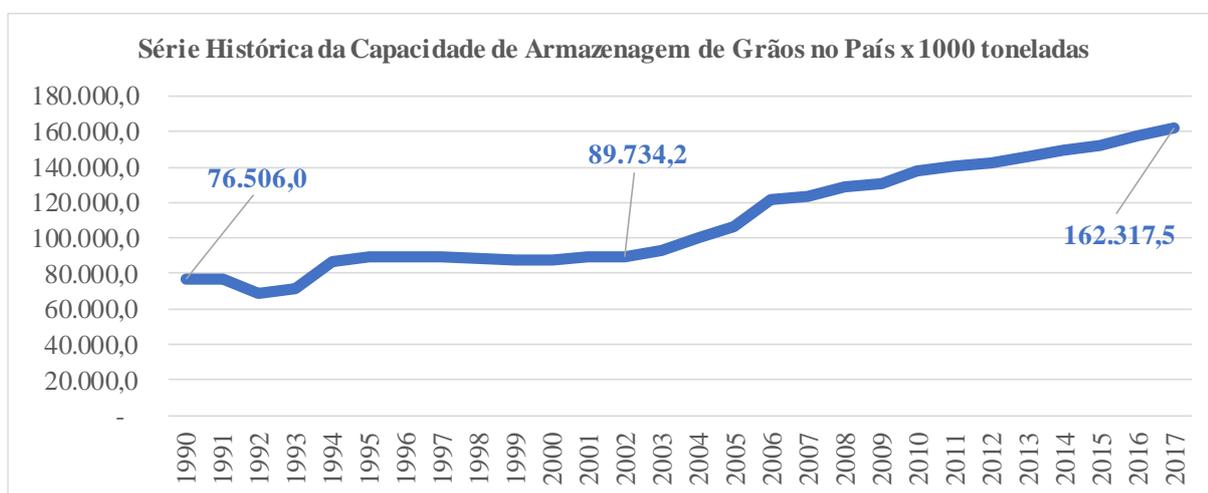
Figura 3 - Histórico de produção de soja por ano.



Fonte: Conab. Boletim da safra de Grãos.

Na Figura 4, é possível observar um crescimento conservado na capacidade de armazenamento entre 1990 até 2002, de aproximadamente 13 milhões de toneladas. Já entre 2002 e 2017 observa-se que a capacidade foi quase dobrada, aumentando em aproximadamente 72 milhões de toneladas.

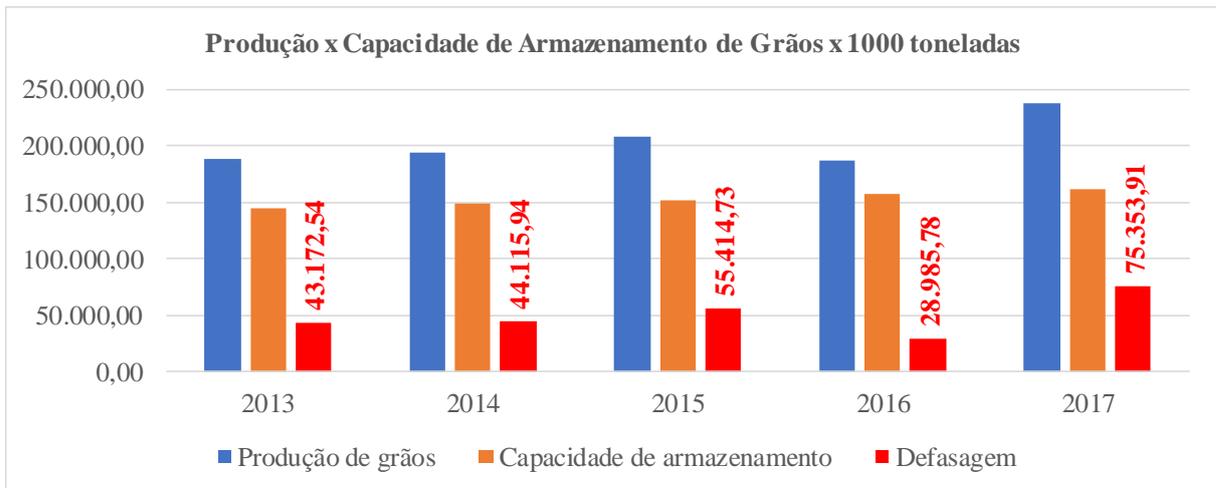
Figura 4 - Série histórica da capacidade estática de armazenagem de grãos no Brasil.



Fonte: Conab. Boletim da safra de Grãos.

Mesmo com o expressivo crescimento na capacidade de armazenamento, apresentado acima na Figura 4, ainda se observa uma grande defasagem em comparação a capacidade produzida de grãos. Essa defasagem, que chegou a aproximadamente 75 milhões de toneladas em 2017, pode ser observada na Figura 5.

Figura 5 - Defasagem entre produção e capacidade de armazenamento de grãos de 2013 até 2017.



Fonte: Conab. Boletim da safra de Grãos.

2.2 Conservação dos Grãos

Na sessão anterior, viu-se a quantidade relevante de grãos produzidos no Brasil e o grande potencial de crescimento que a área ainda tem. Agora serão abordadas as questões qualitativas destes produtos, com o objetivo de elucidar suas necessidades e gerar embasamento para a execução do sistema proposto neste trabalho. No decorrer desta seção serão abordadas algumas noções básicas de conservação, as características físicas e químicas dos grãos e as condições essenciais para a conservação do produto.

Para Aguiar (1982), não é suficiente a melhor aplicação de técnicas agrícolas por parte do agricultor, é necessário ainda mais, como oferecer condições de armazenamento adequado para os grãos produzidos.

Diversos fatores podem prejudicar os grãos, tanto qualitativa quanto quantitativamente, na etapa da armazenagem, como parasitas animais e até mesmo o próprio metabolismo do grão.

Para se conservar o produto, é fundamental conhecer as propriedades físicas e químicas do mesmo, o que será apresentado brevemente a seguir, seguido pelas condições essenciais para a conservação.

2.2.1 Estrutura Físicas dos Grãos

Conforme Aguiar (1982), todas as sementes constam, no mínimo, de duas partes, o embrião e os tegumentos. Uma terceira parte chamada endosperma, constitui algumas sementes classificadas como gramíneas, como por exemplo o milho e o trigo. Já as leguminosas,

apresentam muito pouco ou quase nenhum endosperma, como o feijão, ervilha e soja, por exemplo.

- Embrião:

O embrião é parte fundamental da semente, pois a partir dele pode ser gerada uma nova planta. Nas espécies leguminosas o embrião representa toda a porção interna da semente. Já nas gramíneas, a parte interna da semente tem porção maior preenchida pelo endosperma.

- Tegumentos:

A maioria dos grãos é coberta por eles, geralmente formando uma camada impermeável, dura e seca, constituindo barreira natural contra os agentes de deterioração. É considerado um elemento vital para a conservação do grão e geralmente varia de acordo com a produção.

- Endosperma:

Conforme já citado, geralmente é encontrada nas espécies gramíneas. No processo de germinação, esta substância é utilizada como fonte de energia para o início do desenvolvimento do embrião.

2.2.2 Composição Química dos Grãos

A composição química dos grãos não pode ser discriminada com total exatidão, pois sofrem influência do meio em que foram produzidos, como o clima e o solo por exemplo. Contudo, as principais substâncias encontradas são carboidratos, gorduras e proteínas. Também contém em sua composição, em quantidades mais moderadas, vitaminas, sais minerais, substâncias hormonais, compostos fosforados e enzimas (AGUIAR, 1982).

Embora não se consiga dizer a composição exata dos grãos, sabe-se que as gramíneas apresentam uma porcentagem maior de carboidratos, enquanto as leguminosas apresentam maior taxa de proteínas. A Tabela 1, apresenta esses quantitativos para algumas espécies cultivadas.

Tabela 1 – Composição química dos grãos.

Espécie	Carboidratos (%)	Gorduras (%)	Proteínas (%)
Milho	71	4	10
Arroz	65	2	8
Feijão	57	1	23
Soja	25	18	38

Fonte: Publicações Embrapa | Armazenamento e conservação de grãos.

Os percentuais apresentados na Tabela 1 são referentes ao peso seco dos grãos.

Enfim, visto algumas das principais características dos grãos, agora serão apresentadas as condições essenciais para a conservação dos mesmos.

2.2.3 Condições Essenciais para a Conservação dos Grãos

Antes de entender as condições necessárias para a conservação dos grãos, é necessário entender que o processo respiratório do mesmo não termina após a colheita, este grão vai seguir sofrendo influência decorrente do seu processo respiratório.

A respiração do grão ocorre através da oxidação de seus compostos, sobretudo, da oxidação dos carboidratos, ocasionando o desprendimento de vapor e a liberação de energia em forma de calor, ou seja, a combustão das suas reservas.

Apesar de não ser possível evitar o funcionamento metabólico do grão, é possível retardá-lo, afim de evitar a degradação do produto por mais tempo. A maneira de retardar essa degradação é controlar a umidade e temperatura do ambiente e a condição da semente quando armazenada. Essas condições serão detalhadas a seguir (AGUIAR, 1982).

- Umidade

A alta umidade do grão, geralmente é a principal causa para a sua deterioração, pois acelera sua atividade respiratória, acarretando em perda de massa, ocasionada pela queima de suas reservas, conforme citado anteriormente, além de deixar o ambiente mais propício a atividade de insetos e microrganismos. Por isso, geralmente, conforme será apresentado mais adiante, é realizada a secagem do produto logo após a colheita.

Para entender um pouco mais a fundo, a interação da umidade do grão com o ambiente, precisamos entender sobre higroscopia, que é a capacidade que certos materiais possuem de absorver água.

O grão, como todo material higroscópico, tem a propriedade de absorver ou liberar água para o ar que os envolve. Com isso, o grão terá sua umidade aumentada ou diminuída conforme a umidade relativa do ar em que ele está em contato, tendendo sempre para um ponto de equilíbrio, que está apresentado na Tabela 2, levando em consideração a temperatura da massa do grão a 25°C.

Tabela 2 – Teor de umidade de sementes em equilíbrio expostas a diferentes níveis de umidade relativa do ar a uma temperatura de 25°C.

Espécies	Umidade relativa (%)						
	15	30	45	60	75	90	100
Milho	6,4	8,4	10,5	12,9	14,8	19,1	23,8
Soja	4,3	6,5	7,4	9,3	13,1	-	-
Feijão	5,6	7,7	9,2	11,1	14,5	-	-

Fonte: Publicações Embrapa | Armazenamento e conservação de grãos.

Portanto, chega-se a conclusão, a partir da Tabela 2, que se expormos o grão de milho a uma atmosfera com de 30% de umidade relativa, a uma temperatura de 25°C, a tendência é que o grão entre em equilíbrio após ceder ou receber água do ar até atingir os 8,4% de umidade.

- Temperatura

A temperatura, além da umidade, é outro fator que deve ser levado em consideração para obter sucesso na conservação do grão. Em altas temperaturas, o grão se deteriora mais facilmente, elevando sua taxa metabólica, e propiciando um ambiente mais favorável para o desenvolvimento de insetos e microrganismos. Já em baixas temperaturas, os produtos podem ser armazenados com maior segurança. No decorrer do trabalho, esses limites serão mais detalhados.

- Condição da semente quando armazenada

Outro fator determinante para a conservação dos grãos, é a condição na qual o mesmo se encontra no momento da armazenagem, como grau de maturação, sanidade e condição física, que são fatores determinados desde a plantação, desenvolvimento da planta, colheita, transporte, secagem e armazenamento.

Para Aguiar (1982) vale ressaltar que nenhuma técnica moderna de conservação vai melhorar a qualidade do produto, essas técnicas servem para prolongar o máximo possível a sua vida útil, portanto se o grão for armazenado com uma qualidade baixa, será deteriorado a uma taxa mais alta.

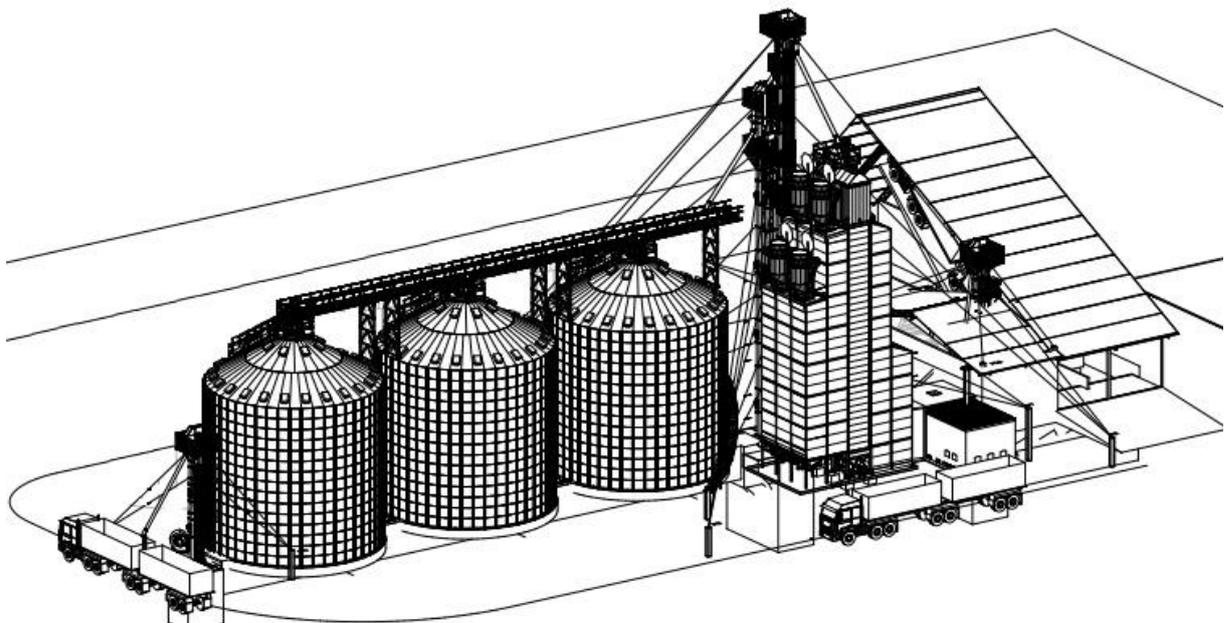
2.3 Unidades de Armazenamento de Grãos

Conforme citado anteriormente, não se pode melhorar a qualidade de um produto após a colheita, no entanto existe uma série de cuidados para deixá-lo em condições mais favoráveis para sua conservação. Contudo, antes de necessitar dos sistemas de termometria e aeração, após a colheita, o produto passa por uma série de etapas dentro da unidade armazenadora até que seja estocado.

A seguir, os processos pelos quais o produto passa antes de ser estocado serão apresentados de maneira mais detalhada, para que posteriormente sejam apresentados os processos finais da armazenagem que são os sistemas de termometria e aeração.

Na Figura 6 está apresentada a planta em perspectiva de uma unidade de armazenamento de grãos.

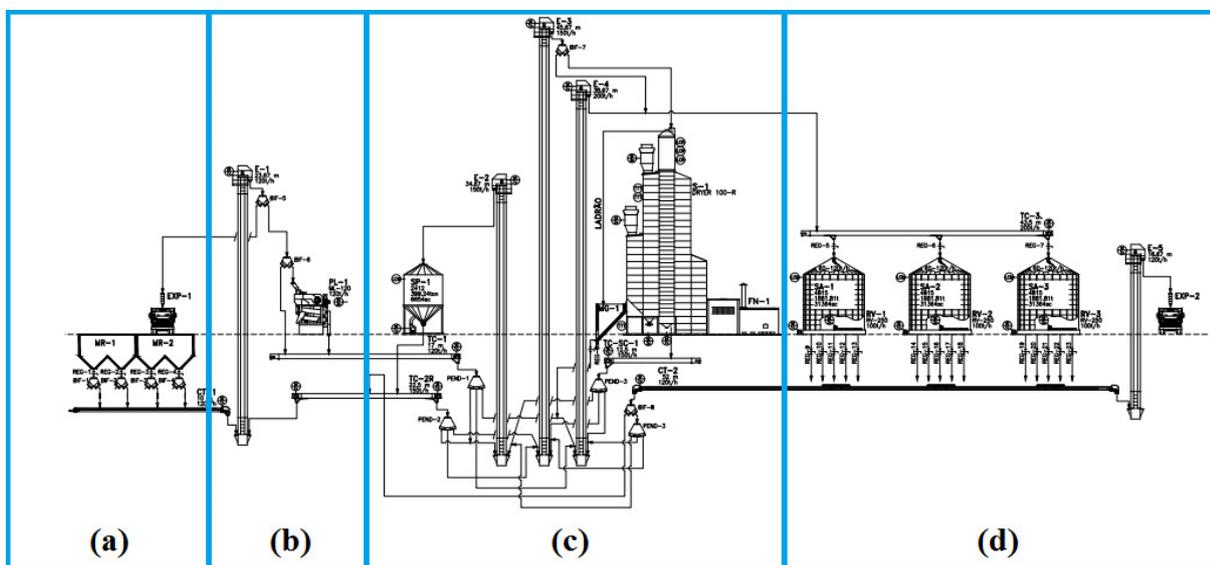
Figura 6 – Planta em perspectiva de uma unidade de armazenamento de grãos.



Fonte: Engenharia Kepler Weber | Projeto Executivo.

A Figura 7 representa o fluxograma da mesma unidade apresentada na Figura 6, com 4 divisões, as quais serão detalhas a seguir.

Figura 7 - Fluxograma da planta apresentada na Figura 6.



Fonte: Engenharia Kepler Weber | Projeto Executivo. Adaptado pelo autor.

a) Recebimento

Esta é a primeira etapa de uma unidade armazenadora, onde, após a pesagem e a retirada de amostra, o produto é descarregado do meio de transporte e fica disponível para passar para as outras etapas. Na Figura 8, é possível observar uma unidade recebendo grãos de milho.

Figura 8 - Recebimento de grãos em unidade de armazenamento.



Fonte: Acervo do autor.

b) Limpeza

Após a etapa de recebimento, o produto é levado através de transportadores mecânicos até a máquina de limpeza, onde as impurezas transportadas junto com o grão devem ser retiradas. Na Figura 9, estão apresentados um exemplo de máquina de limpeza e sua peneira com passagem de produto.

Figura 9 - Exemplo de máquina de limpeza.



Fonte: Acervo do autor.

Como pode ser observado, a máquina em questão utiliza peneiras para separar o grão de impurezas maiores. Também existem motores de aspiração que realizam a retirada do produto mais leve e mais fino.

c) Secagem

Após o processo de limpeza, o responsável pela unidade faz a análise da necessidade de secagem do grão, que muitas vezes é necessária, decorrente da alta umidade em que o mesmo é colhido. Para isso, é utilizado o secador, equipamento por onde o grão percorre o interior recebendo ar quente provido geralmente por fornalhas no intuito de ter sua umidade reduzida. Na Figura 10, pode ser observado um modelo de secador.

Basicamente, o equipamento contém exaustores no lado contrário ao da fornalha, que servem para sugar ar quente e fazê-lo passar pelos grãos que ficam em movimento em todo o centro do equipamento, chamado de torre.

Figura 10 - Secador de cereais.



Fonte: Acervo do autor.

d) Armazenamento

Por fim, após o produto ter percorrido todas as etapas, o mesmo é levado para o depósito onde será armazenado por determinado período. No exemplo de unidade que estamos utilizando, estes depósitos são os silos metálicos, que podem ser observados na Figura 11.

Figura 11 - Silos metálicos.



Fonte: Acervo do autor.

Conforme instrução normativa 29/2011, de 09 de junho de 2011, toda unidade de armazenagem, para ser credenciada no sistema nacional, obrigatoriamente precisa ser dotada dos sistemas de termometria e aeração, sistemas esses que geralmente são vendidos junto com o equipamento, na atualidade. Na Figura 12 e na Figura 13, é possível observar, respectivamente, os cabos da termometria instalados dentro do silo e os ventiladores da aeração, responsáveis por insuflar ar. Esses dois sistemas serão apresentados de maneira mais detalhada na próxima seção.

Figura 12 - Pêndulos de termometria instalados em silo de armazenagem.



Fonte: Acervo do autor.

Figura 13 - Ventiladores de aeração para silos de armazenagem.



Fonte: Acervo do autor.

2.4 Sistemas de Termometria e Aeração

A seguir, serão apresentadas as definições para termometria e aeração e alguns princípios fundamentais para a execução do projeto proposto.

2.4.1 Sistemas de Aeração

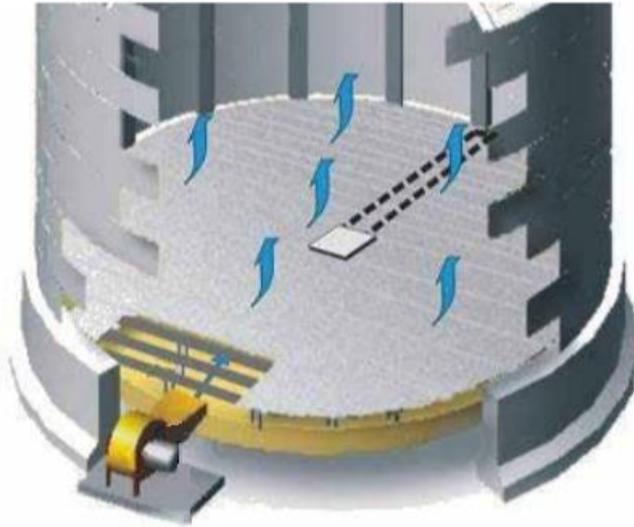
Aeração é a operação que consiste basicamente na movimentação de ar ambiente, com temperatura e umidade adequadas, mediante ventiladores que insuflam ou succionam por meio da massa de grãos armazenada a granel, visando o seu resfriamento e homogeneização de sua temperatura e umidade, ocasionando conseqüentemente a melhoria de suas condições de armazenamento e a manutenção de sua qualidade (NORMA DE ARMAZENAGEM 30.101, 2006).

Existem algumas aplicações distintas em que pode ser empregada a aeração, sobretudo pode ser realizada a aeração preventiva ou corretiva, onde:

- **Aeração Preventiva:** pode ser dividida em algumas ocasiões:
 - Antecedendo a operação de secagem, no intuito de conservar o grão recém colhido até que o mesmo possa passar pelo processo de secagem;
 - Sucedendo a operação de secagem, visando reduzir a temperatura dos grãos que acabaram de passar pelo processo que os fez elevar a temperatura;
 - Quando o sistema de aeração for parte integrante de um sistema de secagem;
 - Durante o armazenamento, no intuito de manter a massa de grãos com temperaturas uniformes.
- **Aeração Corretiva:** é realizada no intuito de combater focos de aquecimento na massa do grão evidenciados pelo sistema de termometria

A seguir, na Figura 14, está ilustrado o interior de um silo, com o piso perfurado, com a indicação do fluxo do ar sendo insuflado por um ventilador.

Figura 14 - Aeração em um silo cilíndrico metálico de fundo plano.



Fonte: Engenharia Kepler Weber | Manual de Montagem.

Na Figura 14, não está especificada a potência do ventilador nem as dimensões do silo. A potência instalada vai depender de fatores como volume e altura da massa de grãos, características físicas do grão e principalmente do objetivo do proprietário, entre outros fatores.

No decorrer do trabalho, foram apresentadas algumas características relevantes de alguns grãos, alguns fatores essenciais para a boa conservação, como umidade e temperatura, no entanto, ainda não foram mencionados qual a temperatura e a umidade correta para o armazenamento. O fato é que não existe apenas um valor correto, pois sabe-se que quanto menor a temperatura e umidade, melhor a conservação, no entanto, quanto menor a umidade, menor vai ser o peso do grão, que poderia estar sendo comercializado com 14% de umidade, por exemplo, não valendo a pena armazená-lo com menos do que isso. Contudo, na Tabela 3, está apresentada a quantidade de calor liberado em quilocalorias por tonelada por dia, para o grão de sorgo, a diferentes porcentagens de umidade e temperatura, que pode ser utilizada para definir bons parâmetros para armazenamento.

Pode-se concluir, a partir da Tabela 3, que com 14,6% de umidade e 38°C é possível conservar o grão de sorgo, no entanto, para Weber (2005), para evitar de trabalhar num limite, geralmente os responsáveis pelas unidades trabalham com temperaturas menores. Para outros grãos o comportamento é bastante parecido, no entanto é necessário consultar os dados de cada um para se obter resultados precisos.

Tabela 3 - Calor liberado por 1 tonelada de grãos de sorgo para variadas temperaturas e umidades.

Umidade (%)	Temperatura °C			
	5	16	27	38
	Calor liberado em kcal/ton/24h			
12,4	0	0	0	7
14,6	0	3	7	26
18,0	20	100	1920	2440
21,0	120	2060	7300	--

Fonte: Weber, Érico Aquino. Excelência em Beneficiamento e Armazenagem de Grãos.

Outra conclusão que se pode tirar da Tabela 3 é que com 12,4% de umidade, até uma temperatura de 27°C, os grãos não liberariam quantidade relevante de calor, no entanto, entram outras questões na análise, como o gasto da energia para se reduzir a temperatura e umidade e a perda de peso do grão, que reduz o lucro do proprietário na hora da comercialização.

Outra informação interessante é a maneira de alterar essas variáveis como temperatura e umidade do grão armazenado. Geralmente, conforme descrito anteriormente, o grão é passado no secador e é armazenado na umidade desejada pelo responsável pela unidade, com isso, para resfriar o grão até uma dada temperatura, basta insuflar ou succionar ar quando a temperatura ambiente estiver mais baixa. No entanto, deve-se levar em consideração a umidade relativa do ar, para evitar retirar ou inserir umidade nos grãos de maneira indesejada. A Tabela 4, apresenta a umidade de equilíbrio higroscópico da soja em várias situações de umidade e temperatura do ar ambiente.

Weber (2005), comenta que na prática nem sempre vai ser possível atingir o equilíbrio apresentado, como por exemplo, no caso onde temos uma umidade relativa do ar de 85% e uma temperatura de 16°C, dificilmente o grão vai atingir os 17% de umidade devido a suas características físicas. Para que isso acontecesse, levaria um tempo impraticável. Contudo, o que se deve levar em consideração é que os valores apresentados na tabela são uma tendência.

Tabela 4 - Determinação da umidade de equilíbrio higroscópico da soja em várias situações de umidade e temperatura do ar.

Temp. ar (°C)	Umidade relativa (%)												
	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
16	5,8	6,6	7,5	8,3	9,2	10,0	10,9	11,9	12,9	14,1	15,4	17,0	19,1
18	5,7	6,5	7,4	8,2	9,1	9,9	10,8	11,8	12,8	14,0	15,3	16,9	19,0
20	5,6	6,4	7,3	8,1	9,0	9,8	10,7	11,7	12,8	13,9	15,2	16,9	19,0
22	5,4	6,3	7,2	8,0	8,9	9,7	10,7	11,6	12,7	13,8	15,2	16,8	18,9
24	5,3	6,2	7,1	7,9	8,8	9,6	10,6	11,5	12,6	13,7	15,1	16,7	18,8

Fonte: Weber, Érico Aquino. Excelência em Beneficiamento e Armazenagem de Grãos.

A Equação 1, desenvolvida por Chung e Pfost, segundo Brooker (1992), também pode ser utilizada como outra maneira para expressar o teor de umidade de equilíbrio do grão em função da umidade relativa e temperatura ambiente.

$$Xe = a - b * \ln [-(Tar + c) * \ln[Ur]] \quad (01)$$

Onde:

- Xe: Teor de umidade de equilíbrio;
- a: constante = 0,416 para soja;
- b: constante = 0,072 para soja;
- c: constante = 100,288 para soja;
- Tar = Temperatura do ar ambiente;
- Ur = Umidade relativa do ar.

Weber (2005, p. 407), apresenta quatro sistemas de aeração que eram comercializados utilizados na época. Estes quatro sistemas estão descritos a seguir.

- **Termometria Portátil TERMO COLETOR**

Trata-se de um sistema de termometria portátil com a função de coletar e armazenar na memória as informações de temperatura nos diversos pontos do interior do silo.

A coleta de dados é realizada pelo operador, utilizando um aparelho móvel. Após a coleta de dados o operador conecta o aparelho no computador para que o mesmo faça a interpretação dos dados, onde o usuário pode decidir aerar ou não.

Na Figura 15, está apresentado um painel de termometria portátil instalado no ano de 2019, na cidade de Manoel Viana, que utiliza os mesmos princípios do sistema TERMO COLETOR.

Figura 15 - Painel de conexão dos cabos de termometria.



Fonte: Acervo do autor.

No painel apresentado na Figura 15, pode ser realizada a leitura, conectando o aparelho portátil em cada um dos conectores. Cada conector representa um pêndulo que pode ter até 12 sensores dependendo da altura do silo.

- **Sistema de Termometria Central Fixa**

Este sistema, assim como o anterior, contém um painel para conexão dos cabos de termometria, ao lado do silo, porém, ao invés do operador precisar realizar a leitura manualmente, o painel é equipado com processador próprio e as informações via cabo de rede diretamente para uma central onde o operador acompanha em tempo real a leitura das temperaturas.

- **Sistema de Controle da Aeração Central Automática**

Contém os equipamentos contidos nos sistemas apresentados anteriormente, porém tem a capacidade de realizar a medição automática da temperatura e umidade do ar ambiente, com a inclusão de uma estação meteorológica no sistema.

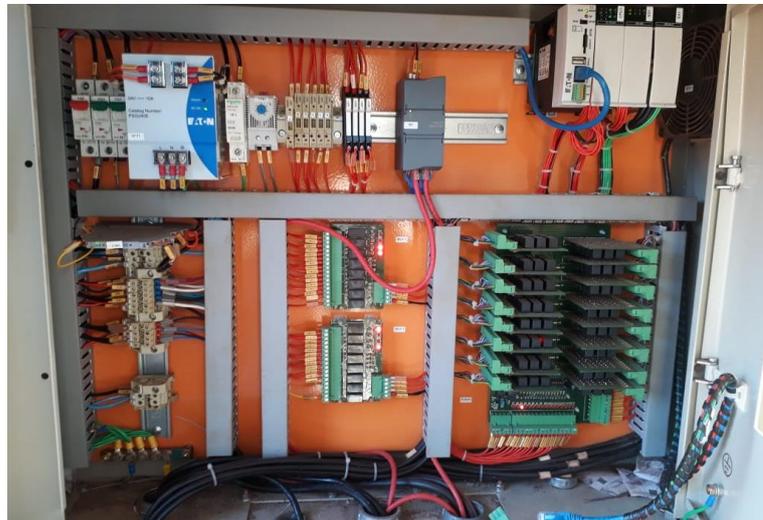
O sistema utiliza os dados das temperaturas internas do silo, temperatura e umidade relativa do ar e mais alguns dados imputados pelo usuário para realizar o chaveamento automático da partida do(s) ventilador(es).

- **Gerente Operador Controlador: Sistema de Termometria e Aeração Computadorizado**

Por fim, este sistema, além de conter todos os atributos dos demais sistemas, trabalha de forma autônoma, se definido pelo proprietário, realizando medições periódicas e comparando a evolução das variáveis para realizar a aeração tanto preventiva como corretiva.

A Figura 16, mostra o interior de um quadro com a mesma proposta deste sistema apresentado por Weber, instalado no ano de 2017.

Figura 16 - Interior de um quadro de sistema de aeração automática.



Fonte: Acervo do autor.

2.4.2 Sistemas de Termometria

Conforme visto anteriormente, nos sistemas de aeração, o sistema de termometria é a chave principal para o seu funcionamento. Com isso, a seguir serão apresentadas algumas definições e requisitos para a realização de um sistema de termometria.

Termometria é um sistema que consiste na medição, em intervalos de tempo, da temperatura de grãos no interior de uma estrutura de armazenamento como armazéns graneleiros ou silos, por exemplo (NORMA DE ARMAZENAGEM 30.101, 2006).

Segundo a instrução normativa nº 29 de 2011, cujo texto é conhecido como Lei do Sistema Nacional de Certificação de Unidades Armazenadoras, o número de pontos em que devem ser verificadas as temperaturas, dentro de uma estrutura armazenadora, é de pelo menos um a cada 150m³ de capacidade de armazenamento estático, sendo que esses pontos devem ter distribuição uniforme.

Na Figura 17, está apresentado um corte lateral de um silo, representando os cabos, denominados pêndulos, na vertical, contendo de 8 sensores por pêndulo e 1 a mais no central.

Weber (2005, p. 407), cita algumas observações para que seja mantido um padrão nas instalações de termometria, como por exemplo:

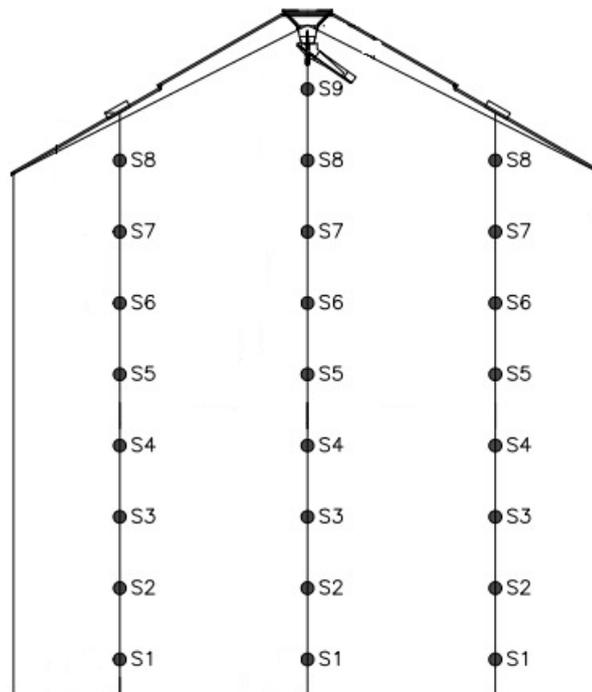
- Os sensores devem ser dispostos e numerados no cabo termométrico (pêndulo) em ordem crescente, de baixo para cima;
- Cada cabo termométrico deve ser identificado no ponto de conexão. Sua identificação deve ocorrer também em ordem crescente, no sentido anti-horário, a partir do cabo termométrico mais próximo da porta de visita.
- Os cabos termométricos devem conter cabos de aço no interior de maneira com que resistam a ação dos grãos ao serem movimentados. Também devem conter capa externa para a proteção dos sensores. A Figura 18, mostra um cabo termométrico.
- Os cabos de comando devem ter proteção mecânica e ser instalados em dutos independentes dos de energia elétrica;
- As caixas de ligação dos cabos termométricos devem contar com proteção contra o tempo e o pó.

Figura 17 - Cabos termométricos.



Fonte: AC Almeida e Cia Sistemas de Termometria.

Figura 18 - Corte lateral representando os pêndulos da termometria de um silo.



Fonte: Engenharia Kepler Weber | Desenho orientativo. Adaptado pelo autor.

A grande maioria dos sistemas de termometria instalados nas atuais unidades de armazenamento, conforme observado nas Figuras 15 e 16, apresentadas anteriormente, utilizam termopares para realizar as medições.

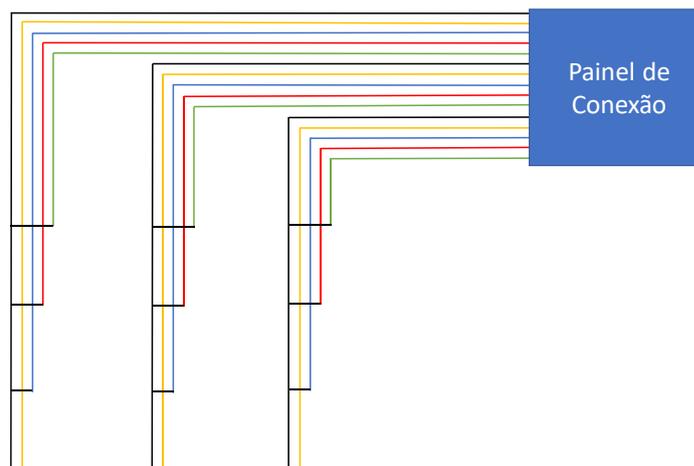
Segundo Ribeiro M.A. (2002, p. 259), os termopares transformam calor em eletricidade e o circuito de medição deve possuir os seguintes componentes básicos: termopar; junta de referência; circuito de detecção do sinal; fonte de alimentação.

Onde:

- Termopar: caracterizado como o ponto de junção de dois metais distintos (geralmente cobre e constantan) que se encontra em contato com o processo, também chamado de junta quente ou junta de medição;
- Junta de referência: é a junta dos mesmos materiais distintos do termopar, porém não em contato entre si e sim com o circuito de detecção do sinal;
- Circuito de detecção do sinal: circuito responsável por receber a variação das características elétricas do termopar e fornecer uma tensão variável em função da temperatura do processo;
- Fonte de alimentação: fonte de alimentação elétrica, de corrente contínua, para a polarização dos circuitos de detecção, amplificação e condicionamento dos sinais.

Contudo, observando as definições acima, nota-se que para a implementação do sistema de termometria é necessário a utilização de 1 via de cabo de cobre para cada sensor mais a via do cabo constantan (podem ser utilizadas outras ligas metálicas de alta resistência), além do circuito para analisar e condicionar o sinal para que o controlador consiga interpretá-lo. A seguir, a Figura 19 ilustra a quantidade de cabos necessários para tornar viável a instalação de 3 pêndulos com 4 sensores cada.

Figura 19 - Vias necessárias para um sistema de termometria com 12 sensores termopares.

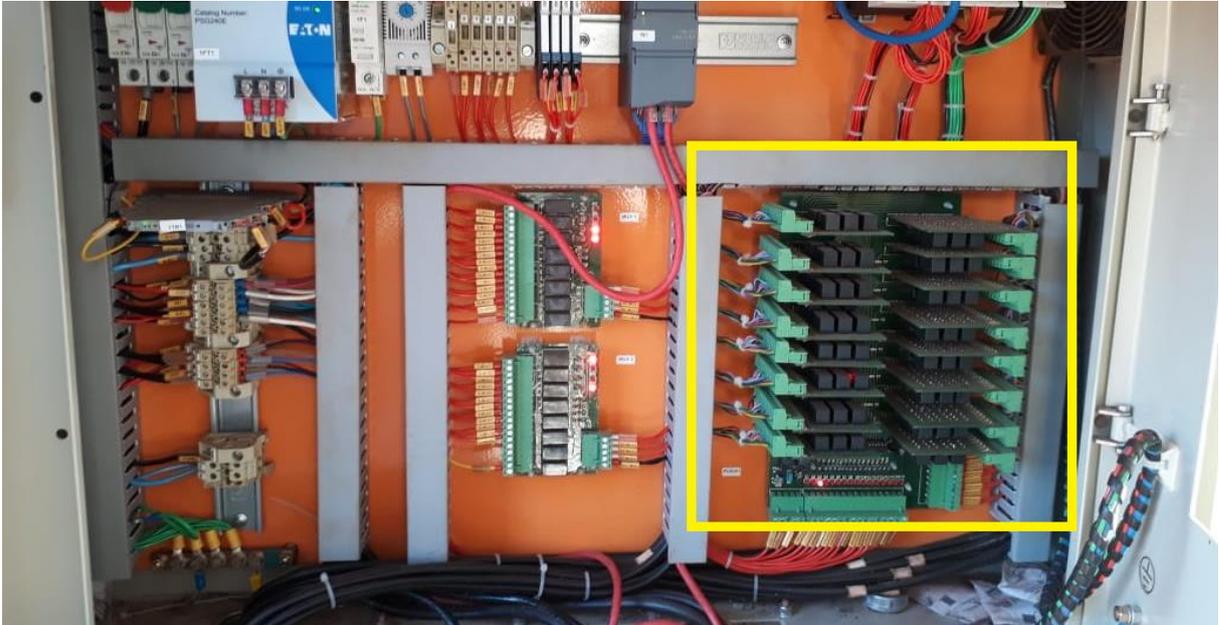


Fonte: Elaborada pelo autor.

A partir da Figura 19, percebe-se que a estrutura física, apenas para as conexões de 12 sensores, necessita de um hardware com dimensões significativas. A seguir, na Figura 20, é

possível observar a estrutura física de um painel para receber o sinal de 15 cabos termométricos com 11 sensores cada.

Figura 20 - Conexão de 15 cabos termométricos com sensores termopares em um painel de controle de aeração.



Fonte: Acervo do autor.

Conforme já mencionado anteriormente, esse método ainda é utilizado e é maioria nas unidades de armazenagem. Contudo, uma nova maneira de realizar as medições vem ganhando espaço, que é a aplicação de sensores fabricados a partir de semicondutores, que vai ser a base para a implementação do projeto proposto. A seguir, serão apresentados alguns conceitos e definições destes sensores.

2.5 Sensores Digitais

Os sensores de temperatura fabricados em forma de circuito eletrônico miniaturizado a partir de dispositivos semicondutores são capazes de medir temperaturas transformando sinais analógicos em digitais e enviando a informação a partir de um protocolo específico de comunicação.

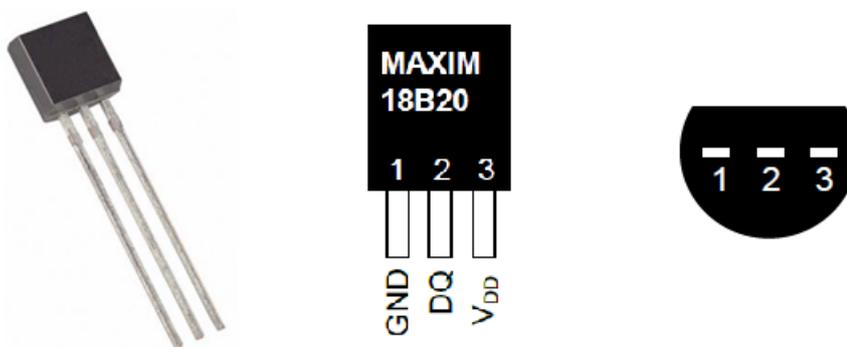
Segundo a National Semiconductor's (1998), os sensores fabricados a partir de semicondutores se sobressaem pelo menos por duas razões. A primeira diz respeito a faixa de operação que pode chegar entre -55°C e 150°C e a segunda é a funcionalidade.

Um sensor fabricado a partir de silício como circuito integrado, pode ter circuitos de processamento de sinais em sua composição, sendo assim, não é necessária a aplicação de conversores analógico digitais, pois estas funções estão inclusas no circuito integrado.

Outra vantagem muito forte dos sensores com saída digital, é o acentuado nível de exatidão, pois evita perdas e interferências no sinal até chegar no dispositivo de controle dos mesmos.

A seguir, na Figura 21, está apresentado um exemplo de sensor digital e a descrição de seus pinos, desenvolvido pela Dallas Semiconductors.

Figura 21 - Sensor de temperatura digital, modelo DS18B20.



Fonte: Dallas Semiconductors.

O sensor apresentado funciona com uma rede de transmissão de dados, chamado de sistema 1-Wire, que possibilita a comunicação entre os dispositivos, como escravos, da série 1-Wire e um dispositivo de controle, como mestre.

Conforme publicação de AWTRÉY (1997), os sistemas 1-Wire são constituídos basicamente por três elementos: um controlador seguindo um protocolo de comunicação, os condutores (podem ser 2 ou 3, dependendo da configuração) e os dispositivos remotos da série 1-Wire.

Segundo a Dallas Semiconductors, todo dispositivo 1-Wire possui um código de identificação de 64 bits gravado a laser no processo de fabricação em um chip de memória ROM (Read Only Memory), ou seja, cada sensor é único e possui um endereço fixo.

AWTRÉY (1997) afirma que os dados são enviados para o dispositivo de controle, por meio de condutores, sendo que dentre eles um é específico para comunicação e os outros servem como alimentação e aterramento, sendo que, todos os dispositivos são conectados apenas em um condutor por pino. A Tabela 5, apresenta a descrição dos pinos do sensor da série DS18B20,

onde, em amarelo, está destacada a pinagem do modelo TO-92, que será utilizado no projeto proposto.

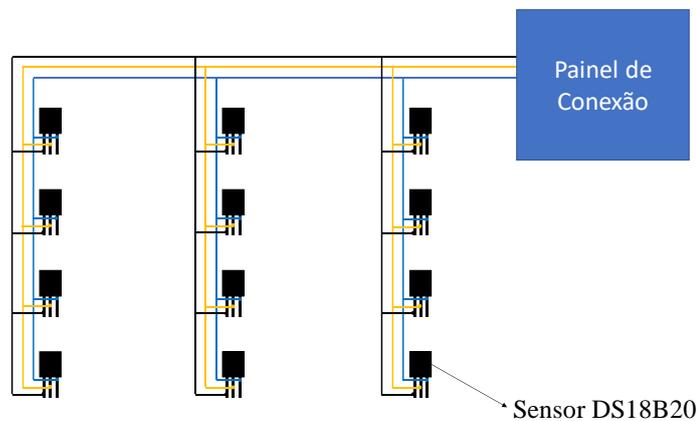
Tabela 5 – Função dos pinos dos sensores de temperatura DS18B20.

PINO			Nome	Função
SO	μSOP	TO-92		
1,2,6,7,8	2,3,5,6,7	-	S.C.	Sem conexão
3	8	3	Vdd	Alimentação opcional, quando não for utilizada a alimentação parasita
4	1	2	DQ	Entrada e saída de dados
5	4	1	GND	Aterramento

Fonte: Datasheet DS18B20. Maxim Integrated, 2008.

Contudo, a utilização destes tipos de sensores, permite a redução da quantidade de vias necessárias, como na Figura 22.

Figura 22 - Vias necessárias para um sistema de termometria com 12 sensores digitais.



Fonte: Elaborada pelo autor.

É possível perceber uma redução nas vias instaladas, comparando com a instalação utilizando termopares como na Figura 19. Mesmo que seja aumentada a quantidade de sensores até um certo limite, sempre serão necessárias apenas as três vias.

3 METODOLOGIA

O desenvolvimento do projeto foi dividido em quatro etapas: definição do sistema de termometria, montagem do circuito, programação do microcontrolador e desenvolvimento do sistema supervisor.

3.1 Definição do Sistema de Termometria

Para a realização do projeto, foi utilizado como base as dimensões de um silo cilíndrico metálico de fundo plano do modelo 3616 fabricado pela empresa Kepler Weber S.A. O número 36 diz respeito ao diâmetro do silo, que tem 36 pés, já o número 16 diz respeito a quantidade de chapas laterais. Demais informações a respeito do silo, estão apresentadas na Tabela 6.

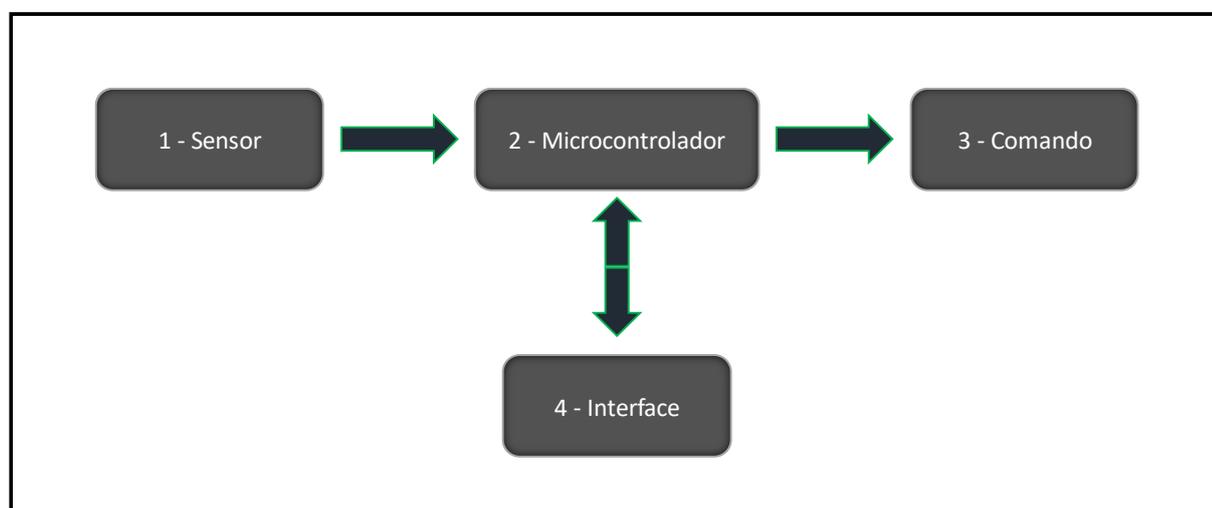
Tabela 6 - Especificação silo plano modelo 3616.

Diâmetro (m)	Volume (m ³)	Altura	Sacos	Toneladas
10,91	1.468	17,84	19.451	1.167

Fonte: Catálogo Kepler Weber | Geral de Produtos – Armazenagem de grãos.

Os valores para sacos e toneladas, na Tabela 6, são relacionados ao grão de soja com fator de compactação de 6% e peso específico de 0,75t/m³. Com a definição da unidade armazenadora, é possível iniciar o desenvolvimento do projeto, que pode ser visualizado em forma de diagrama de blocos, na Figura 23.

Figura 23 - Diagrama de blocos do sistema proposto.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Conforme citado anteriormente, para atender a instrução normativa, devem ser instalados pelo menos 1 ponto de leitura de temperatura para cada 150m³ de capacidade de armazenagem. Com isso, pela Equação 2, a seguir, é possível obter o número de sensores a serem considerados no projeto.

$$NS = \frac{CTA}{150} \quad (02)$$

Onde:

- NS: número de sensores;
- CTA: capacidade total de armazenagem.

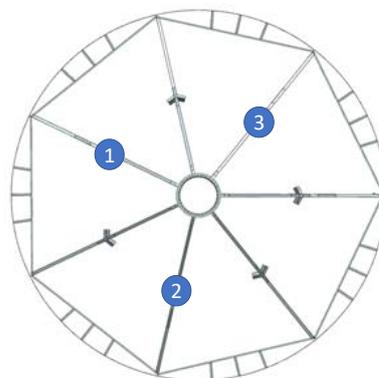
Como informado na Tabela 6, a capacidade total de armazenagem do silo selecionado para o projeto é de 1.468m³. Com isso, utilizando a Equação 02, obtém-se o resultado a seguir:

$$NS = \frac{1468}{150} \cong 9,78$$

Com o resultado obtido, conclui-se que utilizando a regra exigida pelas normas vigentes, para o silo escolhido, a necessidade é de 10 sensores, pelo menos.

Na Figura 24 está ilustrada a distribuição dos cabos pêndulos de forma a aproveitar a estrutura do telhado para a fixação.

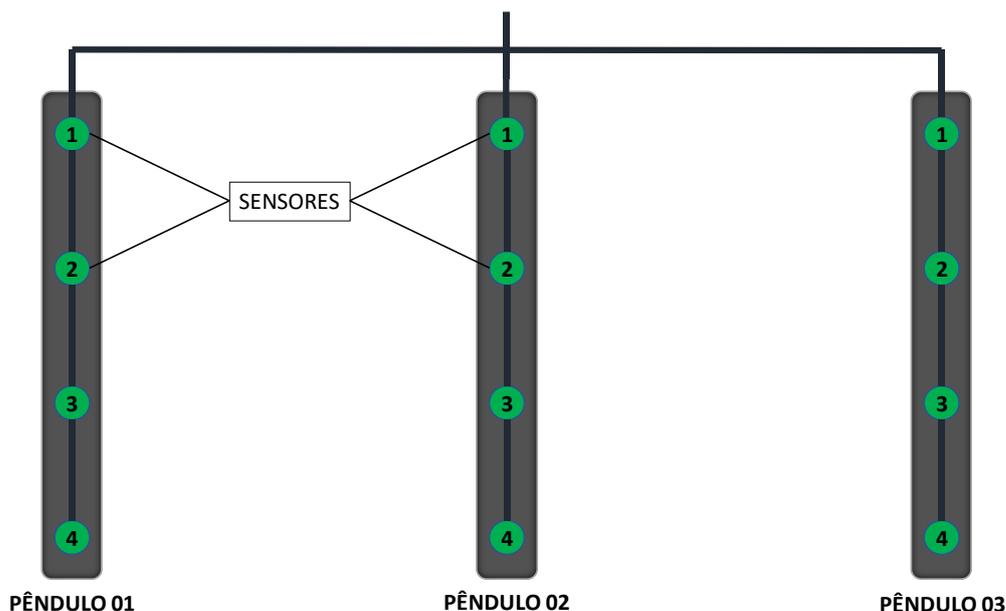
Figura 24 - Vista superior do silo com a posição dos cabos pêndulos.



Fonte: Engenharia Kepler Weber | Desenho orientativo. Adaptado pelo autor.

Contudo, a instrução normativa citada anteriormente também propõe que os pontos sejam instalados uniformemente, então para haver uma distribuição uniforme dos sensores, optou-se por acrescentar dois pontos de medição e assim obter 4 níveis de leitura de temperatura em cada pêndulo, chegando na configuração ilustrada na Figura 25 a seguir, totalizando 12 sensores.

Figura 25 - Quantidade de sensores por pêndulo.



Fonte: Elaborada pelo autor.

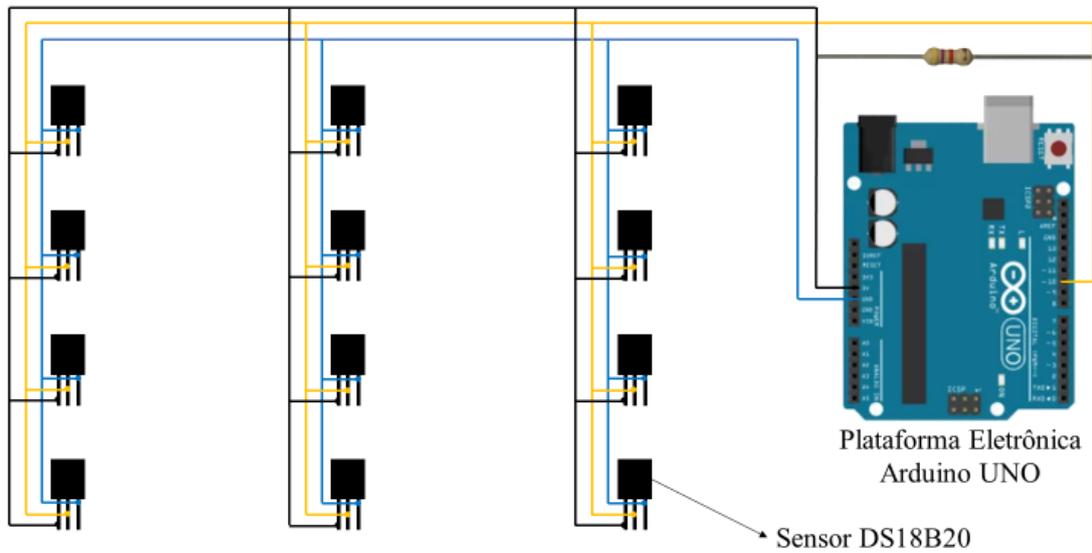
3.2 Montagem do Circuito

O primeiro passo foi a realização da conexão entre os sensores e o microcontrolador, conforme configuração apresentada anteriormente, na Figura 25. Desta forma o circuito ficou da maneira apresentada na Figura 26.

Conforme é possível observar na Figura 26, a linha representada em preto interconecta o pino 3 de todos os sensores com a alimentação de 5Vcc disponível na plataforma eletrônica, da mesma forma a linha azul interliga o pino 1 dos sensores com o GND, já a linha alaranjada interliga o pino 3 dos sensores com a entrada digital 10 da plataforma, que será responsável por receber o sinal enviado pelos sensores. Por fim, conforme recomendado na folha de dados do sensor, Maxim Integrated (2008), é necessária a instalação de um resistor de 4,7kΩ entre o barramento de alimentação e o barramento de sinal, conforme ilustrado.

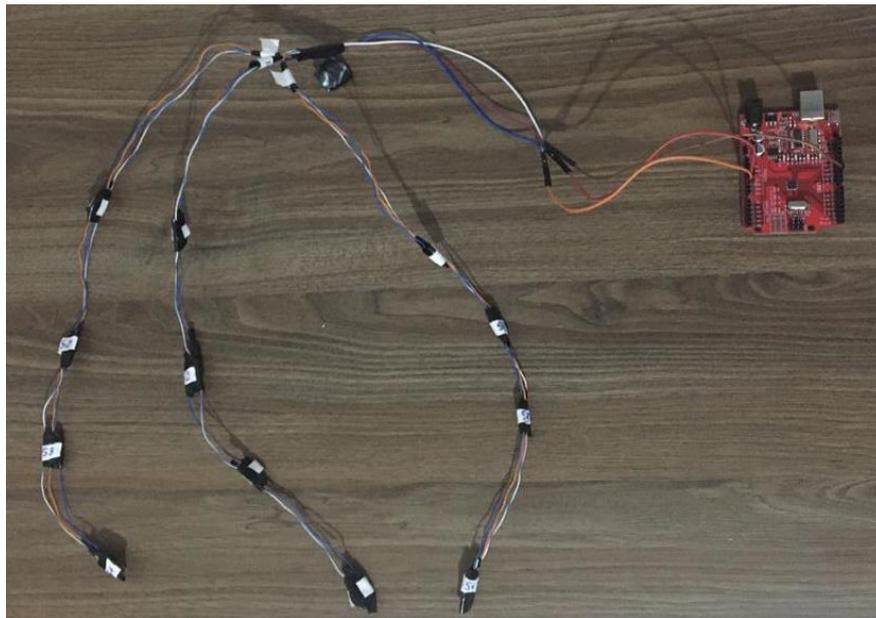
Por fim, a implementação física do circuito ficou conforme apresentado na Figura 27.

Figura 26 - Circuito de interligação dos sensores com a plataforma do microcontrolador.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 27 - Protótipo dos cabos pêndulos interligados com a plataforma eletrônica.



Fonte: Acervo do autor.

3.3 Programação do Microcontrolador

Para uma melhor apresentação, esta etapa foi subdividida em duas menores. Primeiramente será apresentada a programação utilizada para a aquisição das temperaturas e posteriormente a programação que fará a aquisição de dados solicitados ao usuário e o cálculo

das variáveis de saída que serão apresentados posteriormente na interface para que o usuário consiga realizar o comando de acionamento do sistema de aeração.

3.3.1 Programação para Aquisição das Temperaturas

Após realizada a instalação física dos sensores e conexão com o Arduino, foi realizada a programação, utilizando a IDE disponível no site do fabricante (<https://www.arduino.cc/>). No próprio site do fabricante existe um espaço chamado de Project Hub, onde os usuários podem assistir e também adicionar tutoriais para diversas aplicações possíveis com o Arduino, onde foi encontrado o tutorial para a leitura do sensor DS18B20, além de ter acesso a descrição dos comandos disponíveis na plataforma.

Primeiramente, foi necessário baixar duas bibliotecas e incluí-las no IDE do Arduino, a biblioteca `OneWire.h` e a `DallasTemperature.h`, para auxiliar na aquisição das temperaturas. Após a inclusão das bibliotecas, foi redigido o código para captar o endereço dos sensores, realizar a leitura das temperaturas e retornar os valores no monitor serial disponível na plataforma, para a verificação do funcionamento. A seguir serão apresentados os códigos realizados de maneira mais detalhada.

Os códigos serão inseridos a seguir com a formatação itálica, para diferencia-los do restante do texto.

- **Inclusão das bibliotecas:**

```
#include <OneWire.h>
```

```
#include <DallasTemperature.h>
```

- **Definição da entrada digital para conexão dos sensores e definição da variável:**

```
OneWire pino(10);
```

```
DallasTemperature barramento(&pino);
```

- **Declaração dos sensores:**

```
DeviceAddress sensor1;
```

```
DeviceAddress sensor2;
```

- **Definição da velocidade da comunicação serial e inicialização da variável:**

```
Serial.begin(9600);
```

```
barramento.begin();
```

- **Endereçamento dos sensores:**

```
barramento.getAddress(sensor1, 0);
```

```
barramento.getAddress(sensor2, 1);
```

- **Coleta das temperaturas:**

```
barramento.requestTemperatures();
```

```
float temperatura1 = barramento.getTempC(sensor1);
```

```
float temperatura2 = barramento.getTempC(sensor2);
```

- **Impressão dos resultados para verificação:**

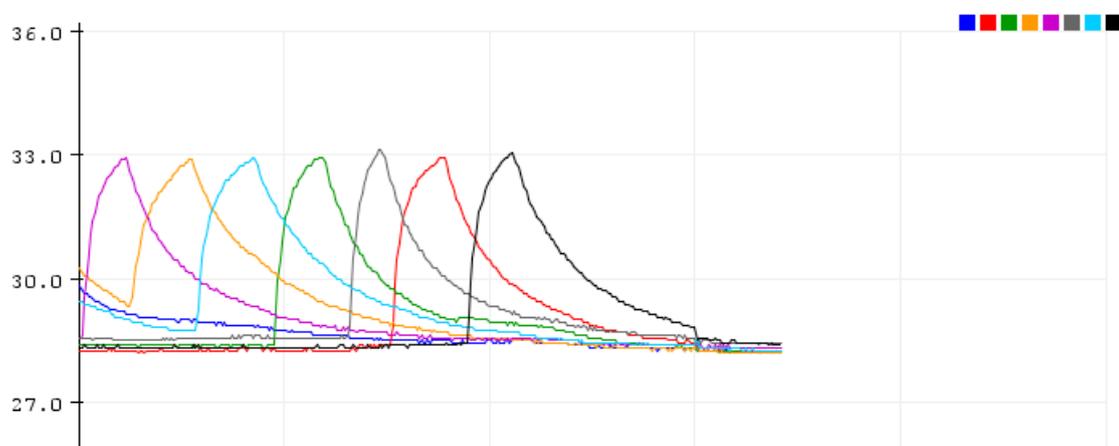
```
Serial.print(temperatura1);
```

```
Serial.print(temperatura2);
```

O código supracitado inclui apenas 2 sensores, para não prolongar a escrita, contudo, o código original realizado contempla a leitura dos doze sensores.

Para concluir a primeira etapa do código, foi verificado no monitor serial, disponível no IDE do Arduino, se as temperaturas de todos os sensores estavam sendo lidas e o resultado está apresentado na Figura 28.

Figura 28 - Temperaturas dos sensores apresentadas no plotter serial.



Fonte: Captura de tela do plotter serial do IDE do Arduino.

Pode-se notar uma pequena diferença nas casas decimais na leitura da temperatura, contudo, Weber (2005), relata que é aceitável uma margem de 1°C para mais ou para menos. Com isso, conclui-se a primeira etapa da programação.

3.3.2 Programação da Lógica para a Aeração

Nesta parte, será apresentada a programação realizada para a coleta de dados que devem ser imputados pelo usuário e o cálculo para a apresentação dos dados de saída.

Resumidamente, a Tabela X apresenta as entradas e saídas do sistema, incluídos na programação.

Tabela 7 - Entradas e saídas do sistema.

ENTRADAS		SAÍDAS	
1	Sensores DS18B20	1	Pontos fora da faixa permitida
2	Umidade do grão	2	Necessidade de aeração
3	Temperatura permitida	3	Umidade de equilíbrio
4	Umidade mínima permitida	4	Comportamento da Umidade
5	Umidade máxima permitida	5	Comportamento da Temperatura
6	Umidade relativa do ar	6	Acionamento da aeração
7	Temperatura do ar ambiente	7	
8	Sinal ventilador ligado	8	

Fonte: Elaborada pelo autor.

- **Declaração de variáveis que devem ser imputadas pelo usuário:**

UMIDADEENT_VAL, (usuário deve informar a umidade em que o grão foi armazenado)

TEMPERATURAMAX_VAL, (usuário deve informar a temperatura máxima permitida na massa do grão no interior do silo)

UMIDADEMIN_VAL, (usuário deve informar a umidade mínima desejada no grão)

UMIDADEMAX_VAL, (usuário deve informar a umidade máxima desejada no grão)

UMIDAR_VAL, (usuário deve informar a umidade relativa do ar ambiente)

TEMPERATURAAR_VAL, (usuário deve informar a temperatura do ar ambiente)

- **Cálculo dos pontos de aquecimento acima do permitido pelo usuário:**

if(temperatura1 > TEMPERATURAMAX){pontosfora[0]=1;}

```

else{pontosfora[0]=0;}
if(temperatura2>TEMPERATURAMAX){pontosfora[1]=1;}
else{pontosfora[1]=0;}
PONTOSFORA_VAL=pontosfora[0]+pontosfora[1];

```

Novamente, as linhas de programação apresentadas representam apenas dois sensores para evitar o prolongamento do texto. Contudo, é intenção é apresentar a lógica, que atribui o valor 1 em um vetor caso dado ponto esteja fora da faixa permitida e, ao final, são somados todos os valores atribuídos ao vetor, assim obtém-se a quantidade total de pontos acima do ideal, estipulado pelo usuário.

- **Definição da necessidade de aeração:**

```

if(PONTOSFORA_VAL>=1){AERACAO_VAL=1;}
else{AERACAO_VAL=0;}

```

Nesta parte do código, é apenas verificado se a quantidade de pontos de aquecimento é igual ou maior que 1, se a condição for satisfeita, é guardado o valor 1 na variável *AERAÇÃO_VAL*, que posteriormente será apresentada no supervisão.

- **Cálculo do equilíbrio higroscópico:**

```

lnU=log(UMIDAR_VAL*0.01);
EQUILIBRIO=(0,416-0,072*log(-((TEMPERATURAAR_VAL+100,288)*lnU)))*100;

```

Foi implementado no código a Equação 01 e atribuído o valor na variável *EQUILIBRIO*, para apresentar no supervisão e para verificar o comportamento do grão a partir da aeração.

- **Comportamento umidade:**

```

if(UMIDADEENT_VAL<EQUILIBRIO){COMPORTUMID_VAL=1;}
else{ COMPORTUMID=0;}

```

Considerou-se que o sistema mecânico, ou seja, a capacidade dos ventiladores, foi dimensionado corretamente para a capacidade da unidade de armazenagem, para vencer a pressão imposta pelos grãos, sendo que a ênfase deste trabalho não é o dimensionamento mecânico. Com isso, o código verifica se a umidade do grão armazenado, imputada pelo

usuário, é maior que a umidade de equilíbrio calculada pelo programa, para retornar ao usuário se a aeração impactará em um aumento ou diminuição da umidade do grão.

- **Comportamento temperatura:**

```
TEMPERATURAMEDIA=(temperatura1+temperatura2)/2;
if(TEMPERATURAMEDIA<TEMPERATURAAR_VAL){COMPORTTEMP_VA=1;}
else{holdingRegs[COMPORTTEMP_VAL]=0;}
```

Este código faz um cálculo da média da temperatura entre os pontos dentro do silo e compara com a temperatura do ar ambiente para posteriormente retornar ao usuário se a aeração irá aquecer ou resfriar os grãos, mais uma vez tendo em vista que o sistema mecânico foi devidamente dimensionado.

- **Acionamento dos ventiladores:**

```
#define AERADOR 9
pinMode(AERADOR, OUTPUT);
digitalWrite(AERADOR, holdingRegs[AERADOR_VAL]);
```

Definiu-se a porta digital 9 do microcontrolador como uma saída que pode ser definida pelo usuário como 0V ou 5V, que pode ser utilizado para acionar um relé, um inversor de frequência, a bobina de uma contatora ou qualquer que seja o tipo de partida disponível no quadro de comando do usuário, para realizar o acionamento do(s) ventilador(es) da aeração.

Neste projeto foi optado por deixar a responsabilidade do comando da aeração na responsabilidade do usuário, levando em consideração que muitas variáveis não consideradas podem influenciar nesta decisão, como por exemplo o valor da comercialização em umidades mais elevadas do que as recomendadas para a conservação, conforme já mencionado anteriormente. Contudo, serão dadas sugestões de aprimoramentos do projeto proposto para futuros trabalhos.

3.4 Desenvolvimento do Sistema Supervisório

Nesta seção está abordada a adaptação do código para que possibilita a interpretação das variáveis pelo sistema supervisório em um primeiro momento e, posteriormente, estão apresentadas as representações gráficas disponíveis para o usuário.

3.4.1 Adaptação do Código

Para tornar possível a comunicação da plataforma de comunicação com o supervisor ScadaBR, optou-se pelo protocolo de comunicação MODBUS, utilizando meio físico para transmissão de dados entre o microcontrolador e o computador com o software supervisor instalado. Contudo, para que a comunicação fosse possível, foi necessária a inclusão de uma biblioteca no IDE do Arduino e algumas adaptações no código, conforme apresentado a seguir.

- **Inclusão da biblioteca:**

```
#include <SimpleModbusSlave.h>
```

- **Criação de registradores do tipo holding para comunicação com o ScadaBR:**

```
enum
```

```
{PIS1_VAL, PIS2_VAL, PIS3_VAL, PIS4_VAL, P2S1_VAL, P2S2_VAL, P2S3_VAL,
P2S4_VAL, P3S1_VAL, P3S2_VAL, P3S3_VAL, P3S4_VAL, UMIDADEENT_VAL,
TEMPERATURAMAX_VAL, UMIDADEMIN_VAL, UMIDADEMAX_VAL,
UMIDAR_VAL, TEMPERATURAAR_VAL, PONTOSFORA_VAL, EQUILIBRIO_VAL,
AERACAO_VAL, COMPORTUMID_VAL, COMPORTTEMP_VAL, AERADOR_VAL,
HOLDING_REGS_SIZE};
```

A partir desta etapa, todas as variáveis foram substituídas para as citadas acima, de maneira com que o supervisor pudesse identificá-las.

- **Definição dos parâmetros de comunicação com o ScadaBR**

```
modbus_configure(&Serial, 9600, SERIAL_8N1, 1, 2, HOLDING_REGS_SIZE,
holdingRegs);
```

```
modbus_update_comms(9600, SERIAL_8N1, 1);
```

Estes comandos servem para definir parâmetros como a velocidade de comunicação, identificação do microcontrolador e o tipo de registradores utilizados na transferência de dados.

- **Atualização dos valores**

```
modbus_update();
```

Esta linha de código serve para atualizar o valor dos registradores imputados no supervisor ou calculados a partir do programa.

- **Substituição das variáveis por registradores holding**

```
holdingRegs[P1S1_VAL] = barramento.getTempC(sensor1);
```

```
holdingRegs[P1S2_VAL] = barramento.getTempC(sensor2);
```

```
holdingRegs[EQUILIBRIO_VAL]=EQUILIBRIO;
```

Nesta etapa, todos os dados que devem ser recebidos ou enviados para o supervisor foram atribuídos nos registradores holding. Foram usados como exemplo apenas as medições de temperatura de dois sensores e o valor da umidade de equilíbrio, cujo cálculo foi demonstrado anteriormente, contudo, o código completo pode ser observado no Anexo 1.

3.4.2 Criação das Representações Gráficas

Antes de criar as representações gráficas, é necessário a criação do data source (fonte de dados) no sistema de supervisão e incluir alguns parâmetros, como a velocidade de comunicação, que deve ser compatível com a definida na programação do microcontrolador, tempo de aquisição de dados, porta utilizada, entre outros, conforme ilustrado na Figura 29.

Figura 29 - Criação do data source.

Propriedades do modbus serial	
Nome	TermometriaDigital
Export ID (XID)	DS_555870
Período de atualização	10 segundo(s)
Quantificação	<input type="checkbox"/>
Timeout (ms)	1000
Tentativas	2
Apenas quantidades contínuas	<input type="checkbox"/>
Criar pontos de monitor de escravo	<input type="checkbox"/>
Máxima contagem de leitura de bits	2000
Máxima contagem de leitura de registradores	125
Máxima contagem de escrita de registradores	120

Fonte: Captura de tela do software ScadaBR.

Após a criação do data source, devem ser incluídos todos os data points (pontos de dados), que são os registradores criados na programação, na mesma sequência em que foram declarados para que o software os interprete corretamente. Na Figura 30 está apresentada a inclusão de um dos data points.

Figura 30 - Criação de um datapoint.

Detalhes do data point ⓘ

Nome

Export ID (XID)

Id do escravo

Faixa do registro

Tipo de dados modbus

Offset (baseado em 0)

Fonte: Captura de tela do software ScadaBR.

Na Figura 30, foi adicionado o nome da variável, conforme declarado no código de programação do microcontrolador, o Export ID é criado automaticamente, o ID do escravo deve ser compatível com os parâmetros definidos no código, na faixa de registro foi selecionado registrador holding, conforme programação, foi definido o formato de apresentação da variável e, por fim, colocado o número de referência do registrador, conforme sequência de declaração no código do microcontrolador.

Ao final desta etapa foram incluídos todos os data points, conforme apresentado na Figura 31.

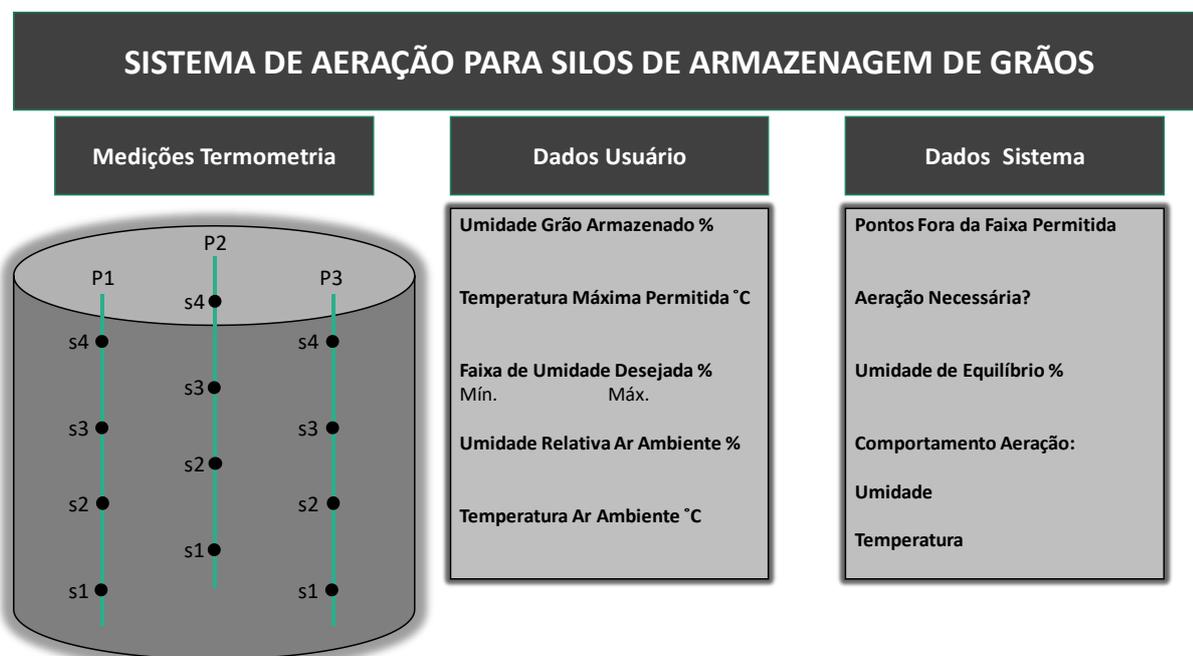
Figura 31 - Inclusão de todos os data points do projeto.

Nome	Tipo de dado	Status	Escravo	Faixa	Offset (baseado em 0)	
AERACAO	Binário		1	Registrador holding	20/0	
AERADOR_VAL	Binário		1	Registrador holding	23/0	
COMPORTTEMP_VAL	Binário		1	Registrador holding	22/0	
COMPORTUMID_VAL	Binário		1	Registrador holding	21/0	
EQUILIBRIO_VAL	Numérico		1	Registrador holding	19	
P1S1_VAL	Numérico		1	Registrador holding	7	
P1S2_VAL	Numérico		1	Registrador holding	8	
P1S3_VAL	Numérico		1	Registrador holding	11	
P1S4_VAL	Numérico		1	Registrador holding	1	
P2S1_VAL	Numérico		1	Registrador holding	10	
P2S2_VAL	Numérico		1	Registrador holding	9	

Fonte: Captura de tela do software ScadaBR.

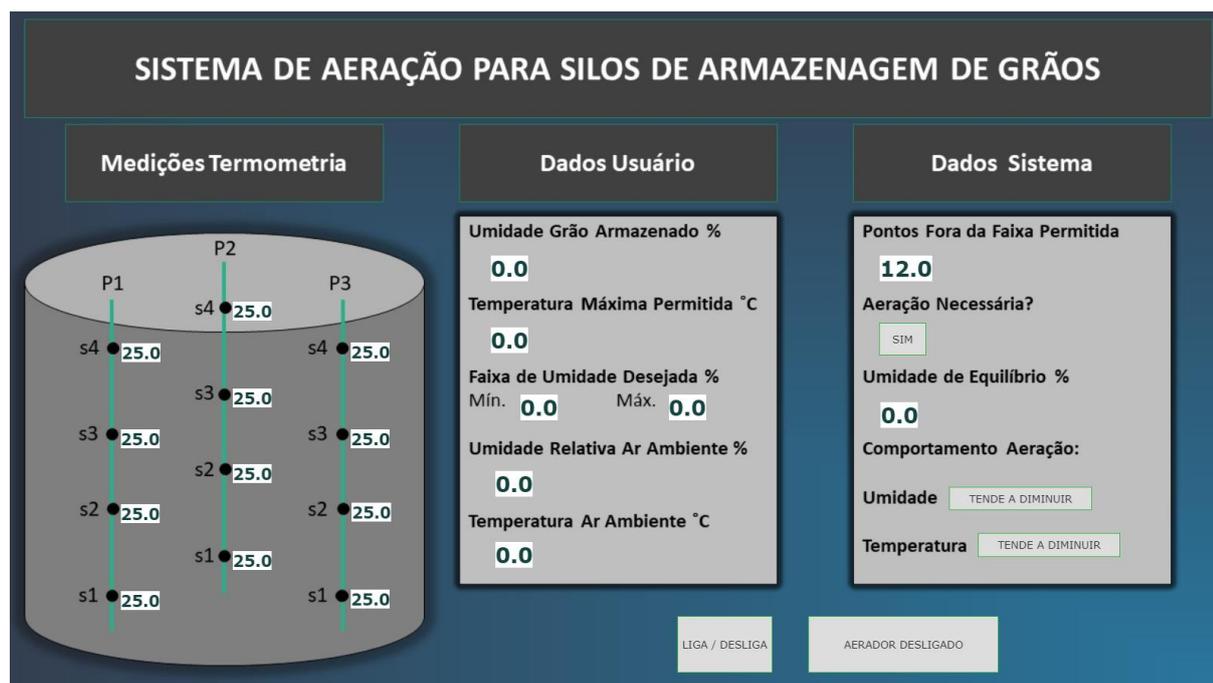
Após a criação do plano de fundo, a imagem foi adicionada na área de representação gráfica do ScadaBR, onde foram adicionados os data points, obtendo o sistema supervisorio apresentado na Figura 33.

Figura 32 - Imagem de fundo do sistema supervisorio.



Fonte: Desenvolvida pelo autor.

Figura 33 - Sistema supervisorio com os pontos de dados inclusos.



Fonte: Captura de tela do software ScadaBR.

É possível observar na Figura 33, que, como nenhum dado foi adicionado pelo usuário, apenas estão sendo feitas as leituras de temperatura no software supervisor. O funcionamento dos demais pontos de dados será apresentado nos resultados.

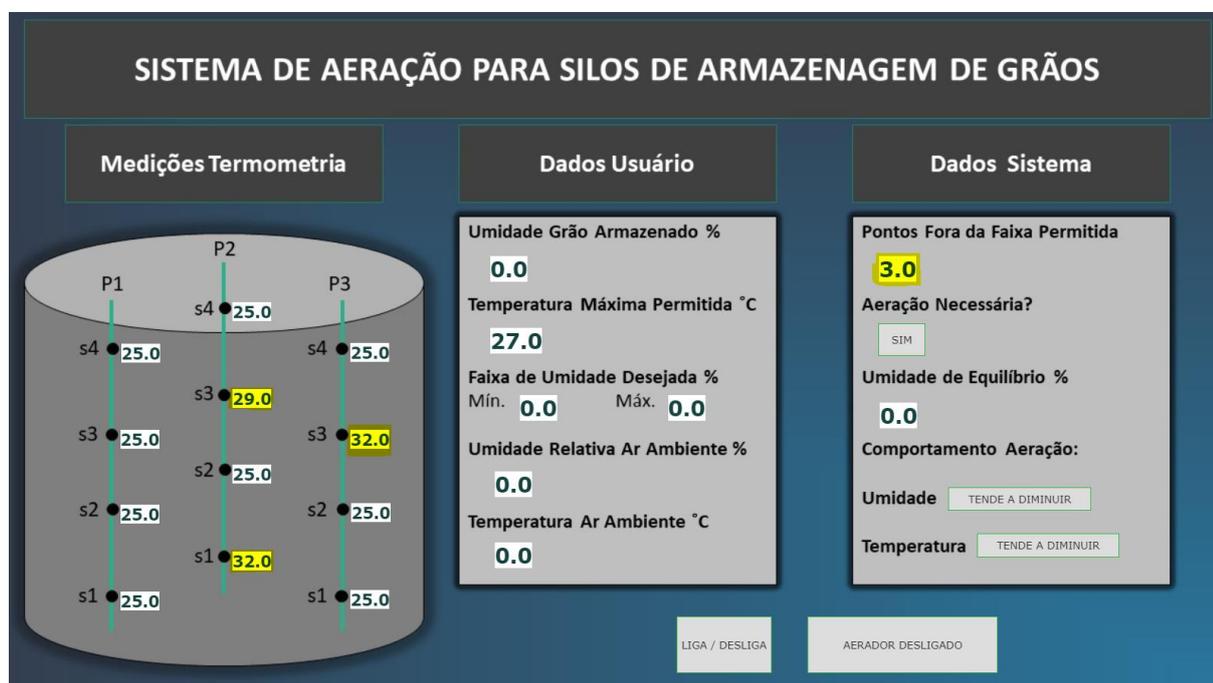
4 RESULTADOS

Nesta seção serão apresentados os comportamentos das variáveis de saída de acordo com os valores informados pelo usuário e por fim, após comprovado o funcionamento do sistema, será feito um comparativo do projeto proposto com um projeto que está em funcionamento atualmente, visando apresentar as vantagens.

4.1 Pontos Fora da Faixa Permitida

Neste teste, foi adicionada uma fonte de calor em 3 sensores em um primeiro momento e mais 2 sensores em um segundo momento para verificar o funcionamento dos sensores e da contagem de pontos fora da faixa permitida pelo usuário. Como os sensores estão expostos a temperatura ambiente, que estava a 25°C a temperatura máxima permitida, informada pelo usuário, foi de 27°C, para que o teste fosse possível.

Figura 34 - Teste de aquecimento em 3 sensores.

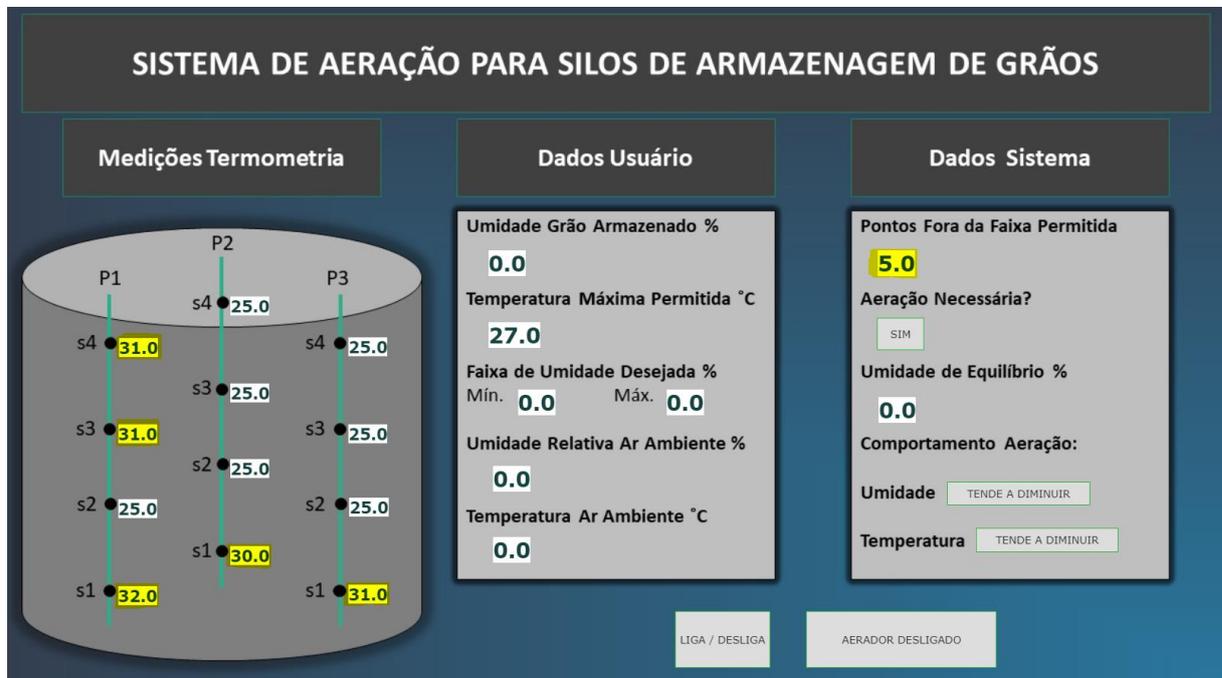


Fonte: Captura de tela do software ScadaBR.

Na Figura 34, é possível notar que os sensores 1 e 3 do pêndulo 2 e o sensor 3 do pêndulo 3 ultrapassaram a temperatura estipulada pelo usuário e o programa retornou a contagem corretamente, conforme esperado.

Na Figura 35, foi aplicada uma fonte de calor em cinco sensores, obtendo-se o resultado esperado novamente.

Figura 35 - Teste de aquecimento em 5 sensores.



Fonte: Captura de tela do software ScadaBR.

4.2 Umidade de Equilíbrio do Grão

Conforme citado anteriormente, foi utilizada a Equação 1 para a obtenção da umidade de equilíbrio higroscópico. Foram feitas duas simulações variando a umidade relativa do ar e a temperatura do ar ambiente para observar o comportamento da umidade de equilíbrio.

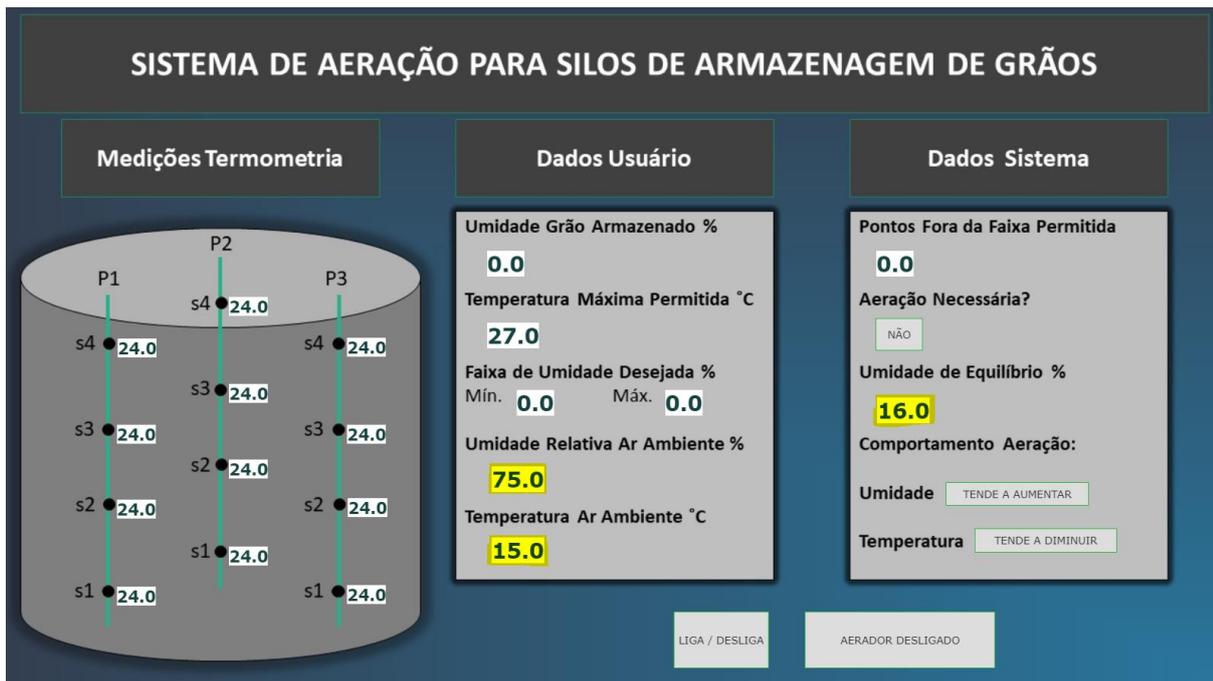
Na Figura 36, foi utilizada a temperatura de 15°C e umidade relativa do ar de 75% e na Figura 37, foi utilizada a temperatura de 30°C e umidade relativa do ar de 25%.

O comportamento da umidade de equilíbrio pode ser observado nas duas Figuras.

Para validar os resultados, foi feito o cálculo utilizando o software Excel, para comparar os resultados, que pode ser observado na Figura 38.

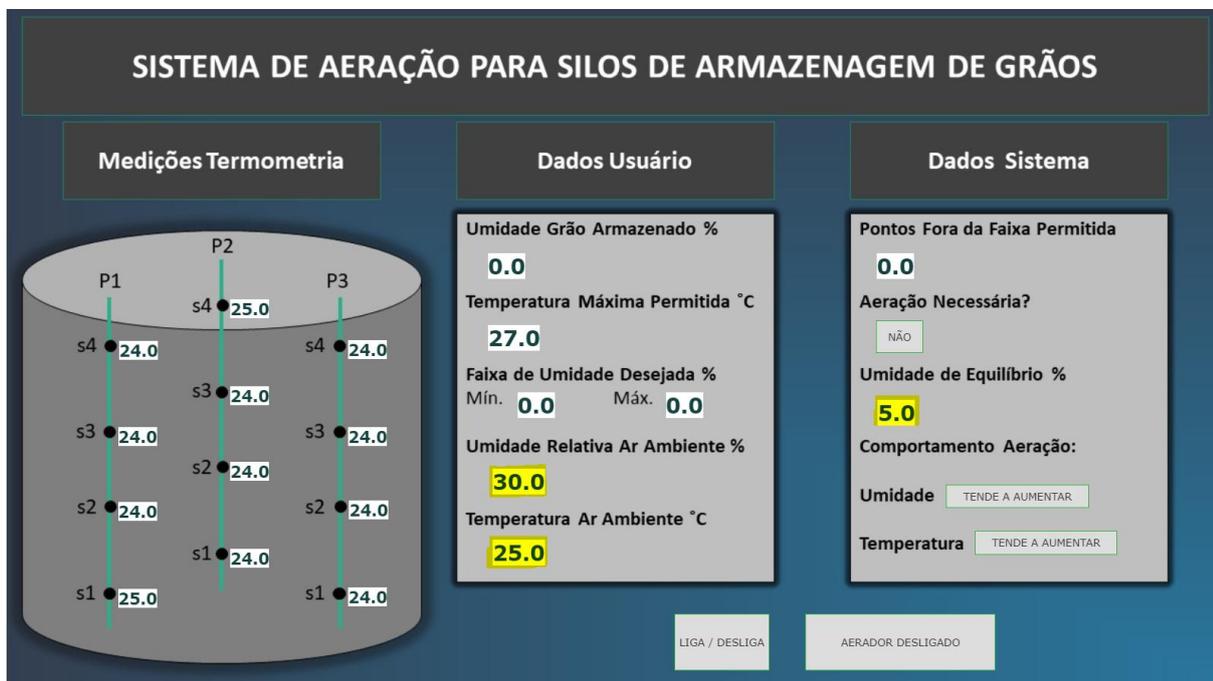
A partir da Figura 38, é possível concluir que o resultado apresentado no supervisório para a umidade de equilíbrio é coerente. A representação está na forma de números inteiros, contudo o valor utilizado no código é fracionado, obtido pela mesma equação simulada na Figura X, no Excel.

Figura 36 - Simulação 1 do cálculo da umidade de equilíbrio.



Fonte: Captura de tela do software ScadaBR.

Figura 37 - Simulação 2 do cálculo da umidade de equilíbrio.



Fonte: Captura de tela do software ScadaBR.

Figura 38 - Simulação no Excel do resultado dos testes das Figuras X e X.

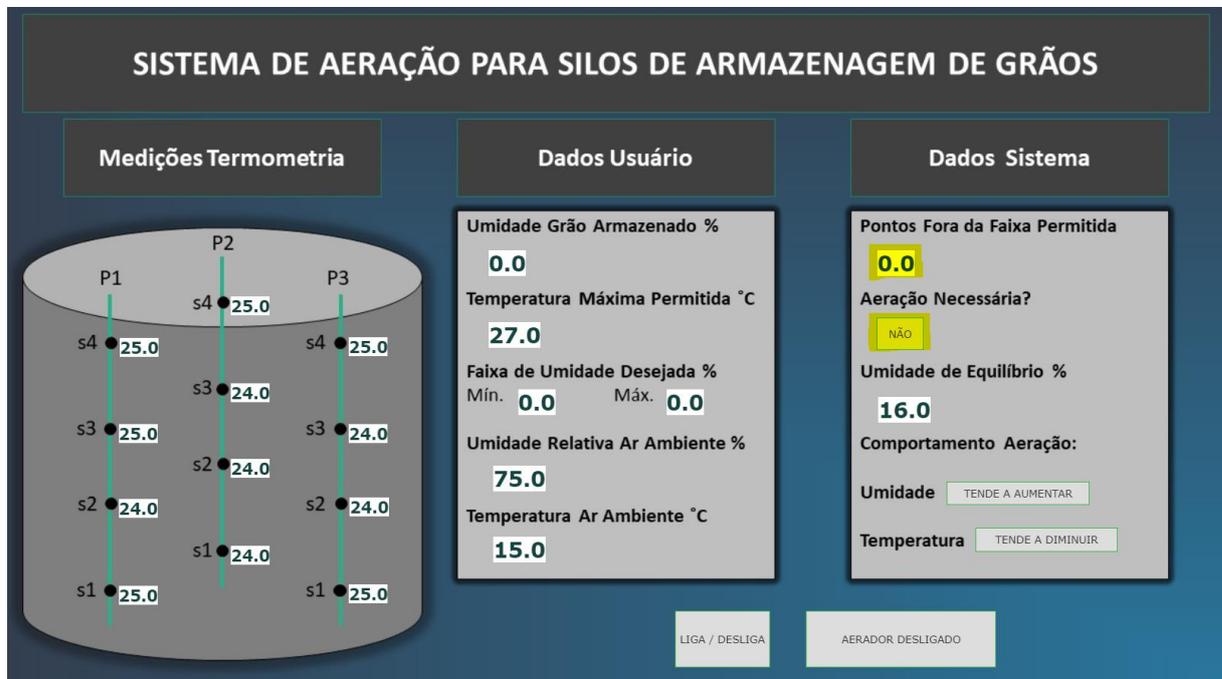
TESTE 1		TESTE 2	
UMIDADE RELATIVA	0,75	UMIDADE RELATIVA	0,3
TEMPERATURA AR	15	TEMPERATURA AR	25
EQUILIBRIO	16,39	EQUILIBRIO	5,48

Fonte: Captura de tela do software Excel.

4.3 Necessidade de Aeração

A necessidade de aeração, neste projeto, é uma decisão binária que, será positiva se existir algum ponto de temperatura, na massa do grão, maior do que a permitida pelo usuário. Nas simulações das Figuras 34 e 35, já apresentadas, onde existem pontos com a temperatura elevada, pode-se observar que o supervisor apresentou resposta positiva quanto a necessidade de aeração. O outro resultado possível está apresentado na Figura 39, onde não existem pontos acima do permitido e a aeração não é necessária.

Figura 39 - Simulação da não necessidade de aeração.



Fonte: Captura de tela do software ScadaBR.

Embora não sendo necessária a aeração nesta hipótese, existe a possibilidade, dependendo da potência dos ventiladores da aeração, de retirar umidade do produto, conforme

o próximo tópico. Sendo assim, mesmo não sendo necessário, o botão de acionamento dos aeradores permanece habilitado, caso o usuário decida acioná-los.

4.4 Comportamento da Umidade

O comportamento da umidade do grão, conforme visto na fundamentação teórica, depende dos parâmetros do ar ambiente que será insuflado, que são fundamentais para a obtenção da umidade de equilíbrio. A seguir serão realizados dois testes com duas hipóteses distintas, uma em que o grão tende a perder umidade e outra em que tende a ganhar.

Na Figura 40 foram utilizados parâmetros de umidade relativa do ar baixa e temperatura ambiente alta, que são favoráveis para a retirada de umidade do grão. A umidade do grão armazenado considerada foi de 13%.

Figura 40 - Comportamento da umidade, teste 1.

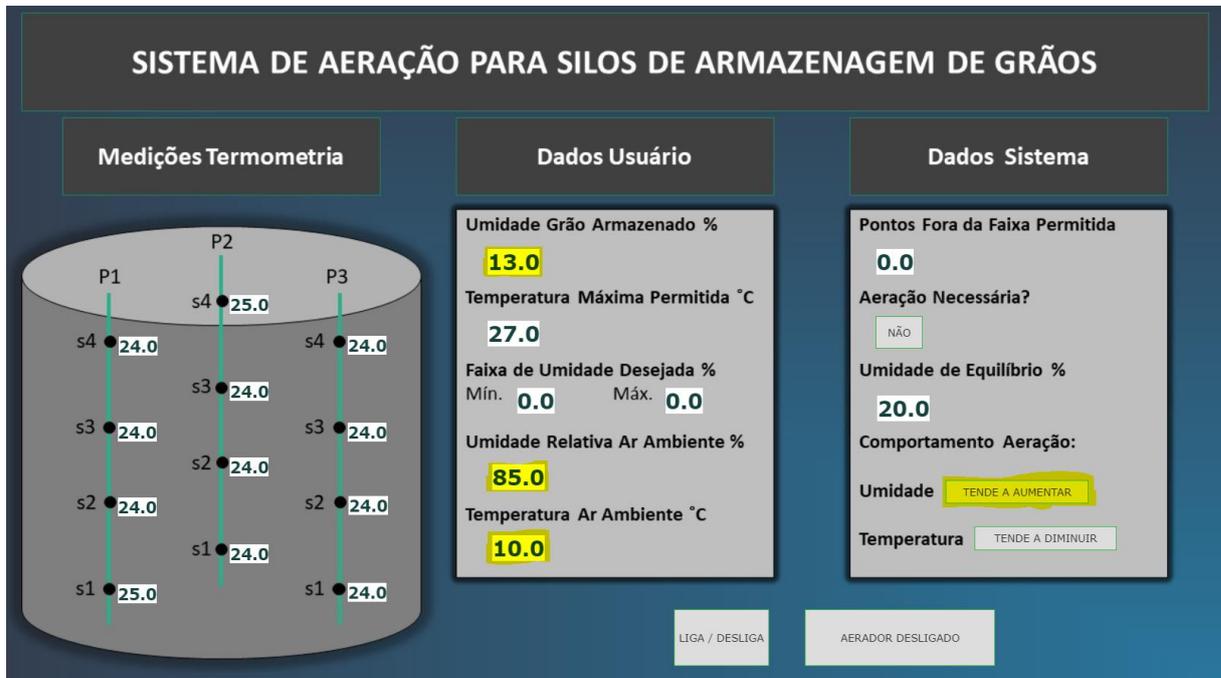


Fonte: Captura de tela do software ScadaBR.

Percebe-se, na Figura 40 que a tendência da umidade do grão é diminuir, conforme esperado. Contudo, embora a umidade de equilíbrio apresentada seja 4%, é muito difícil que o grão chegue a este limite por condições físicas do grão e do sistema. Para determinar a umidade final do grão, um parâmetro importante é a vazão específica do ar insuflado, que não é objetivo deste trabalho, portanto o supervisório mostra uma tendência ao usuário e não dados precisos.

Já na Figura 41 foram utilizados parâmetros de umidade relativa do ar alta e temperatura ambiente baixa, que são favoráveis para o aumento da umidade do grão. A umidade do grão armazenado considerada foi de 13% também.

Figura 41 - Comportamento da umidade, teste 2.



Fonte: Captura de tela do software ScadaBR.

Conforme esperado, na Figura 41, a tendência da umidade do grão decorrente da aeração é aumentar.

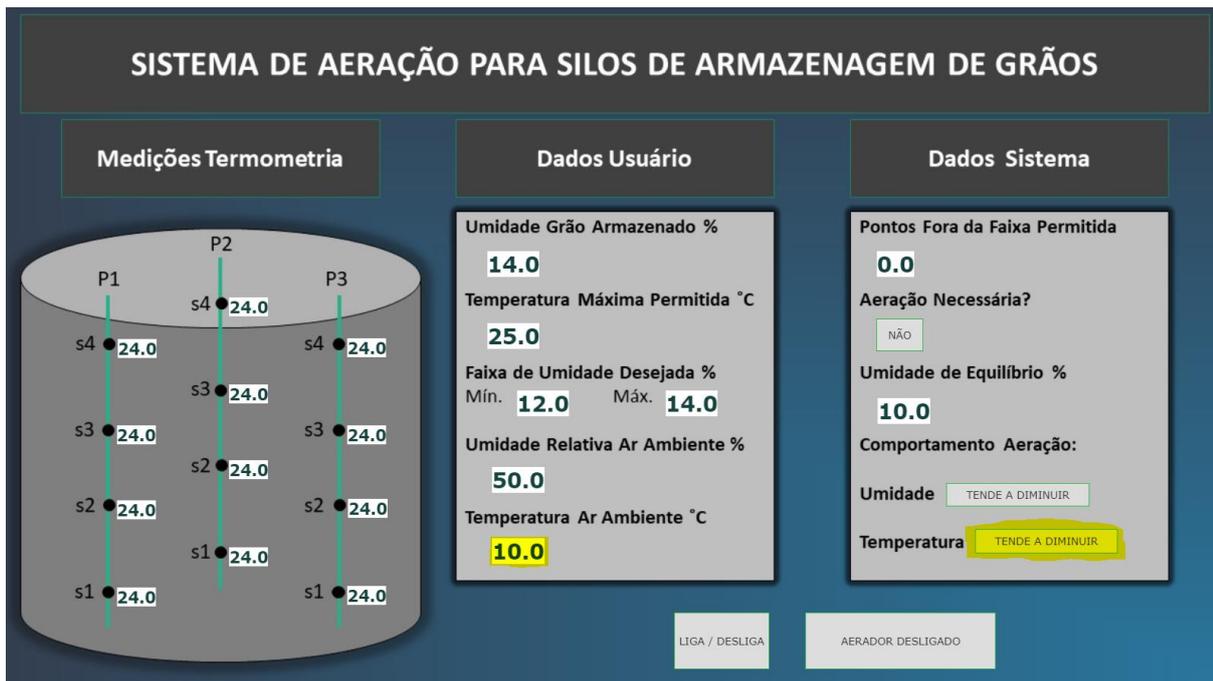
4.5 Comportamento da Temperatura

O comportamento da temperatura do grão ao ser aerado tende a se equalizar com a temperatura do ar que está sendo insuflado, desta maneira o programa calcula a média dos pontos medidos e compara com a temperatura do ar ambiente para definir a saída.

Na Figura 42, foi realizado o teste utilizando uma temperatura ambiente menor do que as temperaturas medidas nos sensores e na Figura 43 foi utilizada uma temperatura maior.

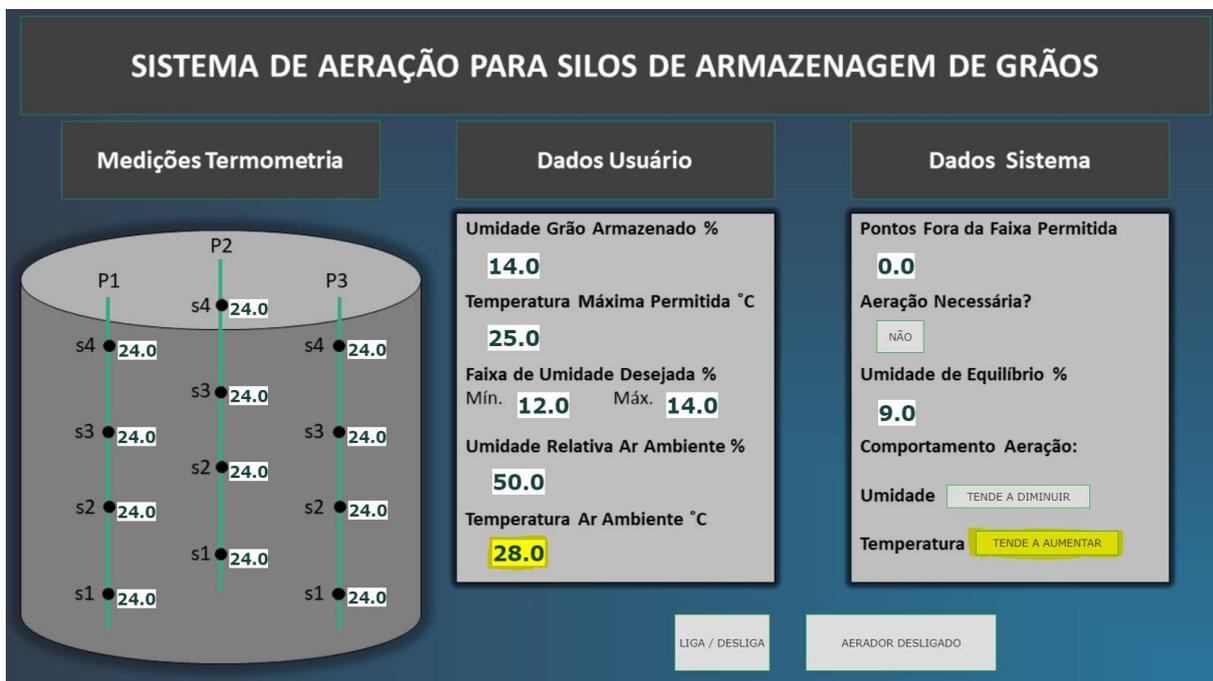
É possível observar que os resultados das Figuras 42 e 43 se comportaram da maneira esperada.

Figura 42 - Comportamento da umidade, teste 1.



Fonte: Captura de tela do software ScadaBR.

Figura 43 - Comportamento da umidade, teste 2.



Fonte: Captura de tela do software ScadaBR.

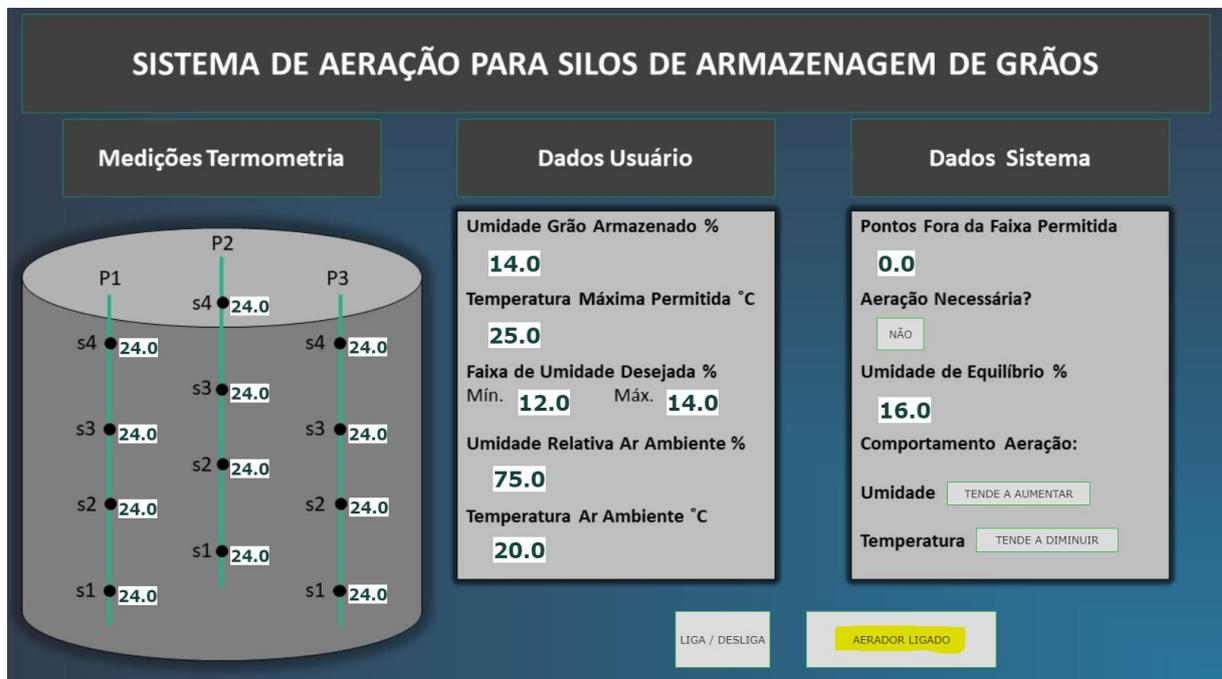
4.6 Acionamento do Aerador

Por fim, a última funcionalidade do supervisório é o comando de acionamento do aerador que, conforme explicado na metodologia, coloca nível alto em uma das saídas estipuladas pelo microcontrolador para dar o sinal de acionamento para a partida do motor.

Além do botão de liga/desliga, existe o display ao lado informando se a saída está ligada ou desligada.

Para verificar o funcionamento, foi clicado em cima do botão de liga/desliga e observado o comportamento do display ao lado que pode ser observado na Figura 44.

Figura 44 - Verificação do funcionamento do botão de acionamento da aeração.



Fonte: Captura de tela do software ScadaBR.

4.7 Comparativo do Projeto Proposto x Sistema em Funcionamento

Conforme descrito anteriormente, a transmissão dos dados do sensor utilizado no projeto proposto apresenta maior confiabilidade do que com a utilização de termopares, por utilizar o sinal digital.

Além da vantagem supracitada, existem pelo menos mais dois pontos observados que apresentam uma grande diferença entre o sistema de termometria proposto e os convencionais,

que impactam diretamente no custo. Essas diferenças são as dimensões dos painéis e da infraestrutura de proteção mecânica dos cabos de termometria, que estão apresentados a seguir.

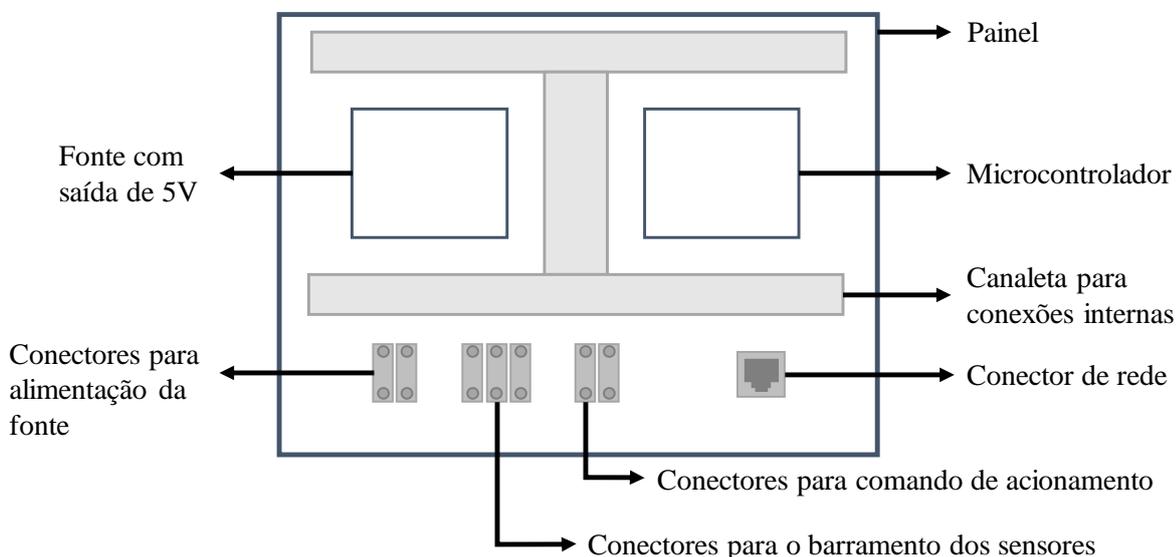
4.7.1 Layout do Painel de Termometria

Na Figura 16 foi apresentada a imagem do interior de um painel que utiliza termopares para realizar a leitura das temperaturas. Já na Figura 45, a seguir, está apresentando o layout sugestivo para a montagem de um painel de termometria do sistema proposto

Não estão apresentadas as dimensões exatas dos dispositivos e do painel na Figura 45, pois podem variar em função do fabricante, contudo é possível notar a expressiva diferença na dimensão e complexidade entre um painel e outro.

Com a diminuição das dimensões e complexidade das interconexões, é possível afirmar que o painel para o sistema proposto demandaria menos custo de mão de obra para fabricação e instalação e menos gasto em materiais. Contudo, embora seja visível a diferença, para obter dados precisos de valor e dimensões, é necessário realizar uma pesquisa com fornecedores.

Figura 45 - Layout sugestivo para o painel do sistema proposto.



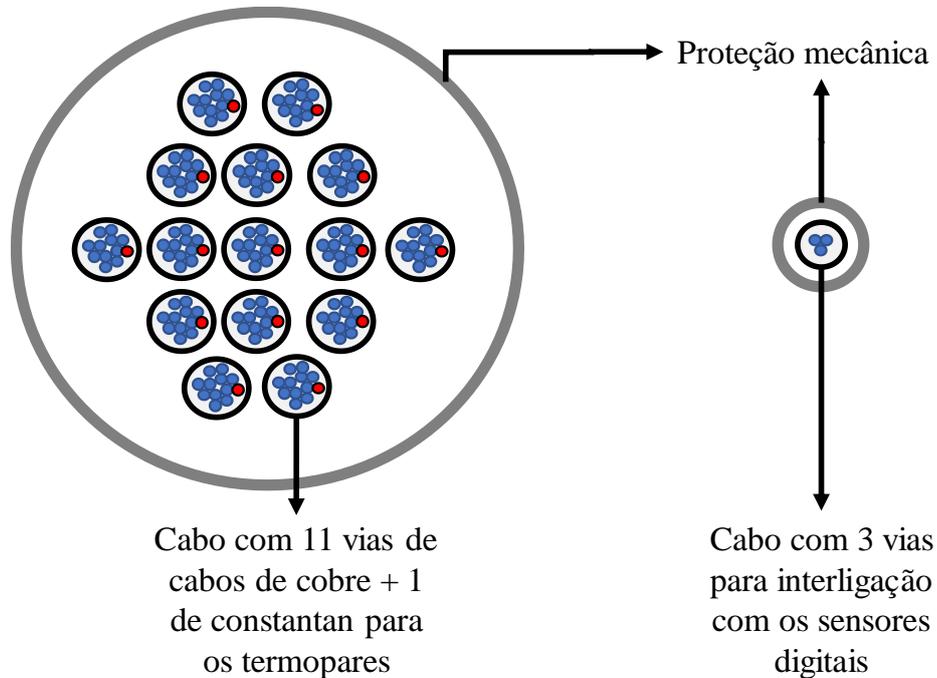
Fonte: Elaborada pelo autor.

4.7.1 Comparativo da Infraestrutura de Proteção Mecânica Necessária

Por fim, o último comparativo abordado neste trabalho é a dimensão necessária da infraestrutura de proteção dos cabos da termometria, que é um fator que impacta também no

valor da implementação do sistema. A Figura 46, ilustra a diferença entre as dimensões das infraestruturas de um sistema com 15 pêndulos, com 11 sensores cada, utilizando sensores digitais e termopares.

Figura 46 - Comparação da infraestrutura necessária para sistemas que utilizam termopares e sensores digitais.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Figura 46, é possível perceber a expressiva diferença nas dimensões das estruturas de proteção mecânica dos cabos entre um sistema e outro.

Os valores variam de acordo com a quantidade de sensores instalados e a dimensão da unidade de armazenagem. Com a definição desses parâmetros é possível verificar os materiais que melhor se adequam a instalação e que estejam disponíveis nos fornecedores para, então, definir o custo exato da instalação. Contudo, visivelmente é possível afirmar que a infraestrutura para instalação dos cabos do sistema de termometria com sensores digitais utiliza menos material e é mais barata em relação a do sistema com termopares.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

5.1 Considerações Finais

Neste trabalho foram apresentados alguns dados históricos sobre a produção e a capacidade estática de armazenamento de grãos. Foram apresentados conceitos básicos sobre grãos e sementes, unidades armazenadoras, sistemas de termometria e aeração convencionais e uma breve introdução referente aos sensores digitais. Após a apresentação dos conceitos básicos citados acima, foi desenvolvido um sistema de termometria utilizando sensores digitais. Por fim, foram realizados testes de funcionamento e comparação do sistema proposto com os convencionais.

Foi visto que existe um déficit na capacidade de armazenagem estática de grãos, o que gera a possibilidade de construção de novas unidades armazenadoras e, com isso, a necessidade de se instalar novos sistemas de termometria e aeração, justificando o desenvolvimento de sistemas mais eficientes.

O sistema de termometria desenvolvido teve como principais objetivos a redução de custos em relação aos sistemas convencionais e a apresentação dos dados do sistema de maneira clara e de fácil interação com o usuário.

Foi possível observar nos resultados, durante os testes, que o sistema funcionou adequadamente conforme o que foi proposto, proporcionando a visualização e interação com o usuário a partir do software supervisor ScadaBR.

Por fim, verificou-se a expressiva diferença relacionada a dimensões entre o sistema proposto e o convencional, como na redução de cabos utilizados, redução do painel, redução das conexões e redução na infraestrutura necessária para a instalação do sistema de termometria. Todos esses fatores influenciam no valor final do sistema, que pode variar, conforme descrito anteriormente, em função da quantidade de pontos a serem medidos, da dimensão da unidade de armazenagem e dos fornecedores.

5.2 Recomendação para Trabalhos Futuros

Para estudos futuros, recomenda-se a inserção de sensores de temperatura e umidade relativa do ar, no sistema proposto neste trabalho, no intuito de automatizar o funcionamento dos ventiladores da aeração.

Outro dado que, no projeto proposto, precisa ser imputado pelo usuário, é a umidade do grão armazenado, então, outra sugestão seria a análise da viabilidade de instalação de sensores de umidade no interior do silo, para evitar que o proprietário da unidade necessite retirar amostras periodicamente de maneira manual.

O sistema proposto neste trabalho utiliza a comunicação Modbus, que é realizada através de um meio físico, necessitando que um cabo seja instalado entre o painel da termometria e o computador onde será instalado o sistema supervisor. Para evitar a instalação desse cabo, sugere-se que seja inserida uma comunicação sem fio.

Por fim, recomenda-se um aprimoramento no código do microcontrolador para realizar o controle da rotação dos aeradores, visando alcançar o mesmo objetivo da aeração com um menor consumo de potência.

REFERÊNCIAS

- [1] **Boletim da safra de grãos.** Safra Brasileira de Grãos. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em: 27 out. 2019.
- [2] Lei do Sistema Nacional de Certificação de Unidades Armazenadoras. **Instrução Normativa 29/2011**, de 09 de junho de 2011. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/-assuntos/politica-agricola/infraestrutura-e-logistica/documentos-infraestrutura/29-2011.pdf>>. Acesso em: 04 out. 2018.
- [3] Ribeiro, Marco Antônio. **Instrumentação.** 9ª Edição, 2002. Editora Tek Treinamento & Consultoria Ltda, Salvador.
- [4] **Norma de Armazenagem 30.101**, de 14 de junho de 2006. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/images/arquivos/normativos/30000_sistema_de_operacoes/armazenagem.pdf>. Acesso em: 01 out. 2018.
- [5] Aguiar, P.A.A. **Armazenamento e conservação de grãos.** Embrapa, 1982. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/131323/armazenamento-e-conservacao-de-graos-i-nocoas-basicas-de-conservacao-ii-armazenamento-e-conservacao-em-propriedades-agricolas>>. Acesso em: 29 out. 2019.
- [6] Weber, Érico Aquino. **Excelência em Beneficiamento e Armazenagem de Grãos**, Canoas: Editora Salles, 2005.
- [7] BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, R.W.; HALL, C.W. **Drying and storage of cereal grains and oilseeds.** New York. AVI Publishing, 1992. 450 p.
- [8] **Datasheet DS18B20.** Maxim Integrated, 2008. San Jose, USA. Disponível em <https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Ds18b20&gclid=Cj0KCQjwgNXtBRC6ARIsAIPP7RvWtwGYe1pwOHjWbOvxInYvHn0s15CEk38IqsW3vrXLBWX5EMVn2uwaAkvOEALw_wcB>. Acesso em: 27 out. 2019.
- [9] NATIONAL. National Semiconductors Communications Infrastructure. Disponível em: <<http://www.national.com/>> Acesso em: 20 out. 2018.
- [10] Produtos AC Almeida e Cia Sistemas de Termometria. Disponível em: <<http://www.acalmeidaacia.com.br/produtos.html>> Acesso em: 31 out. 2019.

[11] DALLAS SEMICONDUCTOR. Guidelines for reliable 1-wire networks. Application Note 148. Disponível em: <<http://www.maxim-ic.com>> Acesso em: 8 set. 2018.

[12] AWTREY, D. **Transmitting data and power over a one-wire bus**. Sensors – The Journal of Applied Sensing Technology. Dallas, 1997.

[13] Kepler Weber Industrial S.A. **CATÁLOGO GERAL DE PRODUTOS**. Disponível em: <https://www.kepler.com.br/armazenagem/trading/transportadores_de_correia_ct/arm_produtos_834_1406060410.pdf> Acesso em: 03 nov. 2019.

ANEXO I – CÓDIGO GRAVADO NO MICROCONTROLADOR

```
//biblioteca para comunicação com o ScadaBR
#include <SimpleModbusSlave.h>
//Bibliotecas para a leitura do sensor DS18B20
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#define AERADOR 9
//definição da entrada digital para leitura da temperatura dos sensores
OneWire pino(10);
//criação de variável para captação das temperaturas
DallasTemperature barramento(&pino);
//declaração dos sensores
DeviceAddress sensor1;
DeviceAddress sensor2;
DeviceAddress sensor3;
DeviceAddress sensor4;
DeviceAddress sensor5;
DeviceAddress sensor6;
DeviceAddress sensor7;
DeviceAddress sensor8;
DeviceAddress sensor9;
DeviceAddress sensor10;
DeviceAddress sensor11;
DeviceAddress sensor12;

//declaração das variáveis
int UMIDADEENTRADA;
int TEMPERATURAMAXIMA;
int UMIDADEMINIMA;
int UMIDADEMAXIMA;
int UMIDADEAR;
int TEMPERATURAAR;
float TEMPERATURAMEDIA;
```

```
float EQUILIBRIO;
float a=0.416;
float b=0.072;
float c=100.288;
float lnT;
float lnU;
float divisao;
int pontosfora[] = {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0};
int auxiliar;

//criação dos registradores para comunicação com o scadaBR
enum
{
    P1S1_VAL,
    P1S2_VAL,
    P1S3_VAL,
    P1S4_VAL,
    P2S1_VAL,
    P2S2_VAL,
    P2S3_VAL,
    P2S4_VAL,
    P3S1_VAL,
    P3S2_VAL,
    P3S3_VAL,
    P3S4_VAL,
    UMIDADEENT_VAL,
    TEMPERATURAMAX_VAL,
    UMIDADEMIN_VAL,
    UMIDADEMAX_VAL,
    UMIDAR_VAL,
    TEMPERATURAAR_VAL,
    PONTOSFORA_VAL,
    EQUILIBRIO_VAL,
    AERACAO_VAL,
```

```

COMPORTUMID_VAL,
COMPORTTEMP_VAL,
AERADOR_VAL,
HOLDING_REGS_SIZE
};

//declaração dos registradores para comunicação com o scadaBR
unsigned int holdingRegs[HOLDING_REGS_SIZE];

void setup()
{
  pinMode(AERADOR, OUTPUT);
  //definição da velocidade da comunicação serial
  Serial.begin(9600);
  //inicialização da variavel barramento
  barramento.begin();
  //captação do endereço dos sensores
  barramento.getAddress(sensor1,0);
  barramento.getAddress(sensor2,1);
  barramento.getAddress(sensor3,2);
  barramento.getAddress(sensor4,3);
  barramento.getAddress(sensor5,4);
  barramento.getAddress(sensor6,5);
  barramento.getAddress(sensor7,6);
  barramento.getAddress(sensor8,7);
  barramento.getAddress(sensor9,8);
  barramento.getAddress(sensor10,9);
  barramento.getAddress(sensor11,10);
  barramento.getAddress(sensor12,11);
  //configuração de parâmetros de configuração com o scadabr
  modbus_configure(&Serial, 9600, SERIAL_8N1, 1, 2, HOLDING_REGS_SIZE,
holdingRegs);
  modbus_update_comms(9600, SERIAL_8N1, 1);
}

```

```

void loop()
{
//atualização dos valores imputados no scadaBR
  modbus_update();
//leitura das temperaturas
  barramento.requestTemperatures();
  holdingRegs[P1S1_VAL] = barramento.getTempC(sensor1);
  holdingRegs[P1S2_VAL] = barramento.getTempC(sensor2);
  holdingRegs[P1S3_VAL] = barramento.getTempC(sensor3);
  holdingRegs[P1S4_VAL] = barramento.getTempC(sensor4);
  holdingRegs[P2S1_VAL] = barramento.getTempC(sensor5);
  holdingRegs[P2S2_VAL] = barramento.getTempC(sensor6);
  holdingRegs[P2S3_VAL] = barramento.getTempC(sensor7);
  holdingRegs[P2S4_VAL] = barramento.getTempC(sensor8);
  holdingRegs[P3S1_VAL] = barramento.getTempC(sensor9);
  holdingRegs[P3S2_VAL] = barramento.getTempC(sensor10);
  holdingRegs[P3S3_VAL] = barramento.getTempC(sensor11);
  holdingRegs[P3S4_VAL] = barramento.getTempC(sensor12);

//aquisição de dados do usuário
  UMIDADEENTRADA=holdingRegs[UMIDADEENT_VAL];
  TEMPERATURAMAXIMA=holdingRegs[TEMPERATURAMAX_VAL];
  UMIDADEMINIMA=holdingRegs[UMIDADEMIN_VAL];
  UMIDADEMAXIMA=holdingRegs[UMIDADEMAX_VAL];
  UMIDADEAR=holdingRegs[UMIDAR_VAL];
  TEMPERATURAAR=holdingRegs[TEMPERATURAAR_VAL];

//cálculo da umidade de equilíbrio
  lnU=log(holdingRegs[UMIDAR_VAL]*0.01);
  EQUILIBRIO=(a-b*log(-((holdingRegs[TEMPERATURAAR_VAL]+c)*lnU)))*100;
  holdingRegs[EQUILIBRIO_VAL]=EQUILIBRIO;

//cálculo de pontos fora da faixa de temperatura estipulada

```

```
if(holdingRegs[P1S1_VAL]>holdingRegs[TEMPERATURAMAX_VAL]){pontosfora[0]=1;  
}
```

```
else{pontosfora[0]=0;}
```

```
if(holdingRegs[P1S2_VAL]>holdingRegs[TEMPERATURAMAX_VAL]){pontosfora[1]=1;  
}
```

```
else{pontosfora[1]=0;}
```

```
if(holdingRegs[P1S3_VAL]>holdingRegs[TEMPERATURAMAX_VAL]){pontosfora[2]=1;  
}
```

```
else{pontosfora[2]=0;}
```

```
if(holdingRegs[P1S4_VAL]>holdingRegs[TEMPERATURAMAX_VAL]){pontosfora[3]=1;  
}
```

```
else{pontosfora[3]=0;}
```

```
if(holdingRegs[P2S1_VAL]>holdingRegs[TEMPERATURAMAX_VAL]){pontosfora[4]=1;  
}
```

```
else{pontosfora[4]=0;}
```

```
if(holdingRegs[P2S2_VAL]>holdingRegs[TEMPERATURAMAX_VAL]){pontosfora[5]=1;  
}
```

```
else{pontosfora[5]=0;}
```

```
if(holdingRegs[P2S3_VAL]>holdingRegs[TEMPERATURAMAX_VAL]){pontosfora[6]=1;  
}
```

```
else{pontosfora[6]=0;}
```

```
if(holdingRegs[P2S4_VAL]>holdingRegs[TEMPERATURAMAX_VAL]){pontosfora[7]=1;  
}
```

```
else{pontosfora[7]=0;}
```

```

if(holdingRegs[P3S1_VAL]>holdingRegs[TEMPERATURAMAX_VAL]){pontosfora[8]=1;
}
else{pontosfora[8]=0;}

if(holdingRegs[P3S2_VAL]>holdingRegs[TEMPERATURAMAX_VAL]){pontosfora[9]=1;
}
else{pontosfora[9]=0;}

if(holdingRegs[P3S3_VAL]>holdingRegs[TEMPERATURAMAX_VAL]){pontosfora[10]=1;
;}
else{pontosfora[10]=0;}

if(holdingRegs[P3S4_VAL]>holdingRegs[TEMPERATURAMAX_VAL]){pontosfora[11]=1;
;}
else{pontosfora[11]=0;}

holdingRegs[PONTOSFORA_VAL]=pontosfora[0]+pontosfora[1]+pontosfora[2]+pontosfora
[3]+pontosfora[4]+pontosfora[5]+pontosfora[6]+pontosfora[7]+pontosfora[8]+pontosfora[9]+
pontosfora[10]+pontosfora[11];

//aeração necessária?
if(holdingRegs[PONTOSFORA_VAL]>=1){holdingRegs[AERACAO_VAL]=1;}
else{holdingRegs[AERACAO_VAL]=0;}

//comportamento umidade

if(holdingRegs[UMIDADEENT_VAL]<holdingRegs[EQUILIBRIO_VAL]){holdingRegs[C
OMPORTUMID_VAL]=1;}
else{holdingRegs[COMPORTUMID_VAL]=0;}

//comportamento temperatura

TEMPERATURAMEDIA=(holdingRegs[P1S1_VAL]+holdingRegs[P1S2_VAL]+holdingRe

```

```
gs[P1S3_VAL]+holdingRegs[P1S4_VAL]+holdingRegs[P2S1_VAL]+holdingRegs[P2S2_VAL]+holdingRegs[P2S3_VAL]+holdingRegs[P2S4_VAL]+holdingRegs[P3S1_VAL]+holdingRegs[P3S2_VAL]+holdingRegs[P3S3_VAL]+holdingRegs[P3S4_VAL])/12;
```

```
if(TEMPERATURAMEDIA<holdingRegs[TEMPERATURAAR_VAL]){holdingRegs[COMPORTTEMP_VAL]=1;}
```

```
else{holdingRegs[COMPORTTEMP_VAL]=0;}
```

```
//ativa saída para acionar ventilador
```

```
digitalWrite(AERADOR, holdingRegs[AERADOR_VAL]);
```

```
}
```