

FACULDADE SÃO PAULO TECH SCHOOL
ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS

Felipe Barbosa do Patrocínio - 01252103

Gabriel dos Santos Muniz de Jesus – 01252022

Josué Alvarez Avendano – 01252002

Lucas Cieczinski Peres – 01252009

Nicolly de Souza Olsak – 01252123

Paulo Henrique Bambino - 01252127

CONTROLE DE TEMPERATURA E UMIDADE EM SILOS VERTICAIS DE SOJA

SÃO PAULO
2025

SUMÁRIO

1. CONTEXTUALIZAÇÃO.....	3
1.1. O que é a soja?.....	3
1.2. Mercado de soja no Brasil.....	3
1.3. Desafio.....	5
1.4. Problema.....	7
2. OBJETIVO.....	10
3. JUSTIFICATIVA.....	11
4. ESCOPO.....	12
4.1. Descrição resumida do projeto.....	12
4.2. Resultados esperados.....	12
4.3. Requisitos.....	12
4.4. Limites e exclusões.....	13
4.5. Macro cronograma.....	13
4.6. Partes interessadas.....	13
5. PREMISSAS.....	14
6. RESTRIÇÕES.....	15
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	16

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

1.1 O que é a soja?

A soja é uma leguminosa de origem asiática. Em relação ao clima, a cultura da soja apresenta uma adaptabilidade às condições do solo e esse é um dos motivos para que a soja seja tão popular no Brasil. Revolucionando o desenvolvimento do agronegócio, se tornou matéria prima para a produção de alimentos, biocombustíveis, rações animais e produtos industriais.

1.2 Mercado de soja no Brasil

De acordo com a Embrapa, o Brasil é o maior produtor de soja do mundo. Dados da Conab apontam uma produção de 169,49 milhões de toneladas, e 47,61 milhões de hectares plantados na safra de 24/2025.

Figura 1 -



Um armazenamento eficiente, possibilita melhor qualidade dos grãos e baixo índice de perdas, afetando diretamente o aspecto econômico de cooperativas e produtores de soja. O investimento e cuidado na armazenagem, se torna indispensável para uma safra de sucesso. Sendo muito importante para oportunizar comercialização e preços melhores no mercado.

A grande vantagem do armazenamento de soja é poder vender o produto no melhor momento possível. Geralmente, isso ocorre no período da entressafra, quando o valor de venda da soja tende a aumentar. Segundo o pesquisador Fernando Rocha, ter um armazém para guardar a produção é um diferencial para qualquer produtor(a), que pode aproveitar janelas estreitas de oportunidade.

Silos de armazenagem de grãos, podem ser considerados uma das melhores alternativas para estocagem em grande escala. Esse tipo de armazenamento apresenta duas vertentes: silos horizontais e silos verticais. Ambos podem ser construídos através de metal ou concreto. Os mais comuns são de metal, por oferecerem custo-benefício e montagem rápida. Uma das vantagens do uso de um silo vertical é a facilidade de implementação de processos como aeração e termometria, realizados dentro do ambiente de armazenamento.

Segundo o IBGE, no 1º semestre de 2024 a capacidade de armazenamento agrícola nacional atingiu 222,3 milhões de toneladas, um aumento de 5,4 % em relação ao semestre anterior. Deste total, os silos (como tipo estrutural) respondiam por 117,5 milhões de toneladas úteis, o que representa 52,9 % da capacidade total de estocagem.

Figura 2 -



1.3 Desafio

Condensação

A condensação em silos, também chamada de gotejamento, é um fenômeno físico natural em que o vapor d'água presente no ar intergranular se transforma em gotículas de água líquida ao entrar em contato com superfícies mais frias dentro do silo, que ocorre por conta da formação da bolsa de calor em unidades de armazenamento, responsável por grande parte dos problemas de conservação de grãos.

A condensação em silos ocorre porque a bolsa de calor, formada entre os grãos e o telhado da estrutura armazenadora, entra em contato com as paredes resfriadas. Dessa forma, o vapor d'água é condensado, isto é, se transforma em gotas d'água que “chovem” sobre os grãos armazenados.

Quando uma massa de grãos armazenada sofre um alto aquecimento, forma-se a bolsa de calor. Isso acontece porque os grãos possuem baixa condutibilidade térmica, facilitando o acúmulo de calor em determinada parte interna do silo a bolsa de calor pode atingir temperaturas acima de 40°C. Esse processo ocorre porque a

massa de grãos funciona como um ecossistema dinâmico: a temperatura e a umidade variam de acordo com o ambiente externo, o tipo de grão armazenado e a própria respiração biológica dos grãos. Segundo pesquisas realizadas na área, **o aumento de 1% do grau de umidade** (intervalo de **5 a 14%**) no ambiente, reduz a longevidade do grão pela metade.

Em silos verticais metálicos, o problema é ainda mais crítico. Durante o dia, as paredes externas são aquecidas pela radiação solar, transmitindo calor para a massa de grãos próxima às paredes. À noite, ocorre o resfriamento das superfícies externas, criando um gradiente térmico. Essa diferença de temperaturas gera fluxos de ar convectivo dentro do silo e resulta em pontos de condensação, principalmente:

- **No topo do silo:** Quando a temperatura externa é mais baixa que a interna.
- **Na base do silo:** Quando o ar externo está mais quente que o interno.

Quando ocorre a condensação?

- Diferença acentuada entre temperatura do ar externo e a temperatura interna da massa de grãos.
- Climas tropicais e subtropicais, como o brasileiro, são mais suscetíveis, pela forte variação diária de temperatura e alta umidade relativa do ar.
- Silos metálicos verticais sofrem mais com esse fenômeno, por possuírem alta condutividade térmica (paredes aquecem e resfriam rapidamente).

1.4 Problema

Durante o processo de armazenamento em silos verticais, as áreas próximas à condensação podem atingir teores de umidade superiores a 16%, criando um ambiente altamente favorável para o crescimento acelerado de fungos de armazenamento, como *Aspergillus* e *Penicillium*.

Esse aumento localizado da umidade gera manchas de deterioração conhecidas como “pontos quentes”, que comprometem a integridade do lote. Além de poder causar a oxidação da estrutura do silo. Nessas mesmas condições, a alta umidade e a elevação da temperatura também estimulam a multiplicação de insetos como *Oryzaephilus surinamensis* e *Cryptolestes ferrugineus*, intensificando o processo de deterioração.

Os grãos, frequentemente mofados e ardidos, perdem valor industrial por afetarem diretamente a qualidade da proteína e do óleo, elevando a acidez do óleo extraído e reduzindo a digestibilidade do farelo destinado à ração animal. Além disso, há prejuízos comerciais imediatos, uma vez que a soja com teor de umidade acima de 14% sofre descontos na recepção em cooperativas ou tradings, enquanto lotes com grãos mofados ou odor alterado podem ser integralmente recusados no mercado exportador.

Uma relação considerada boa para o armazenamento, pode-se dizer que contém **70% de umidade** relativa e **uma temperatura de 25°C**, pois nesses parâmetros a semente se equilibrará em torno **de 11% a 12% de umidade no grão**, isso garante que mesmo os fungos estando presentes no ambiente de armazenamento, se Mantenham inativos, sem causar danos.

Segundo dados da Embrapa, o grão com teores de umidade acima de 16% pode acelerar em até 10 vezes o desenvolvimento de fungos, levando a perdas irreversíveis em lotes afetados.

Perdas por condensação

De acordo com as pesquisas realizadas existem 2 tipos de perdas durante o armazenamento da soja em silos verticais, quantitativo e qualitativo:

- **Perdas quantitativas**

Diz respeito às diminuições no peso ou volume de produção, e que não demonstra adequadamente os danos no volume nutricional do alimento, muito menos os danos indiretos, como por exemplo, os ocasionados por aquecimento da massa de grãos, doenças, ação de microrganismos, problemas na estrutura do depósito ou unidade de armazenamento, valor de controle e problemas com resíduos tóxicos, dentre outros.

- **Perdas qualitativas**

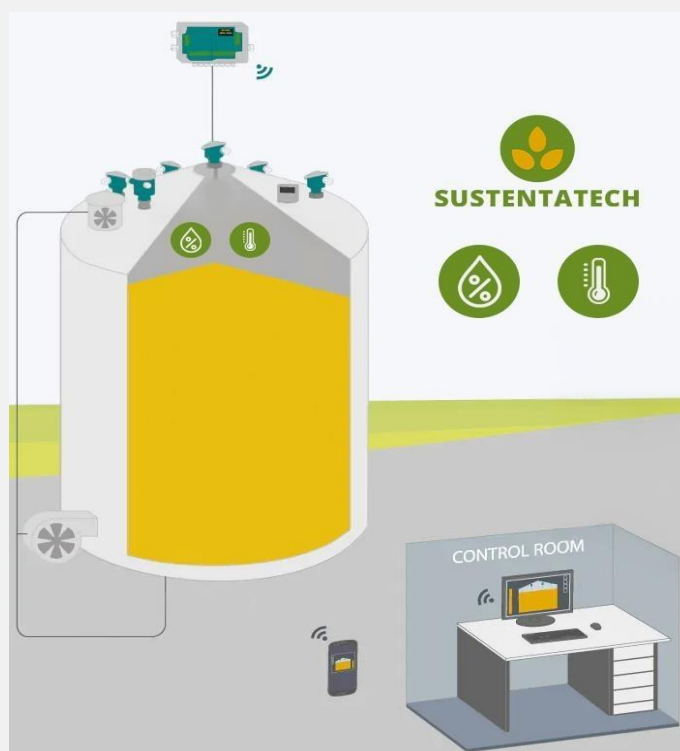
São caracterizadas pela modificação na qualidade do produto, por causa da redução de seu valor nutricional. Com tudo, mesmo que essas modificações resultem em um ganho aparente, na grande maioria dos casos, a proliferação de pragas traz inúmeros problemas no armazenamento, esses problemas muitas vezes irreversíveis, alguns exemplos são à perda no valor nutricional, diminuição do valor do produto atacado no mercado, diminuição na higiene pela presença dos insetos, fezes e ovos. Geralmente, essas alterações podem ser consequência de seis fatores que estão praticamente sempre envolvidos: Teor de Umidade, condução de calor, mudanças químicas, transformações, aceitabilidade e consumo.

Uma pesquisa realizada em 2017 e apresentada no Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, avaliou as perdas qualitativas e quantitativas durante o período de armazenamento de grãos de soja. Para essa pesquisa foi utilizado grãos de soja produzidos em Mato Grosso, as perdas foram avaliadas em dois silos sob diferentes condições de armazenamento: aeração convencional e refrigeração artificial. Esse experimento durou 3 meses e com isso foram determinados os valores aproximados de teor de água, massa específica aparente e condutividade elétrica do grão. Esses valores permitem uma análise da perda quantitativa e de qualidade durante o armazenamento.

Em ambos os silos foram armazenadas 6.000 toneladas de soja, considerando que o preço atual da saca de soja(60kg) é de aproximadamente R\$120 no mês de setembro de 2025, no primeiro silo refrigerado com ar natural o teor de água inicial era de 12,22% e no final era de 10,37% tendo uma perda de cerca de 1,85% representando um valor de R\$ 245.644,00.

2. OBJETIVO

Desenvolver e implementar sensores de temperatura e umidade para monitorar com precisão os silos verticais que armazenam grãos de soja, utilizando sensores DHT11 instalados de forma suspensa nos tetos dos silos. Sendo assim, os donos de silos poderão agir de maneira mais eficaz para mitigar a condensação dentro dos silos.



3. JUSTIFICATIVA

O projeto visa a diminuição da perda do grão de soja da condensação dentro dos silos verticais, que corresponde a cerca de X% do total de perdas destes grãos, podendo reduzir em até X% as perdas causadas pela condensação. Com o sensor de temperatura e umidade instalado nesses silos, os responsáveis aumentarão a eficácia nos serviços prestados, evitando prejuízos de até R\$X.

4. ESCOPO

4.1 Descrição Resumida do Projeto:

Desenvolver e implementar uma solução de monitoramento de temperatura e umidade, com uso de sensores, em silos verticais que armazenam soja.

4.2 Resultados Esperados:

- ☐ **Solução de Hardware:** Sensores de temperatura e umidade instalados e configurados nos silos.
- ☐ **Plataforma Web:** Uma aplicação online e funcional, contendo:
 1. Um site institucional para a divulgação da solução.
 2. Páginas para cadastro e login de clientes.
 3. Uma dashboard para a visualização dos dados captados pelos sensores.
- ☐ **Banco de Dados:** Uma aplicação para o armazenamento seguro do histórico de medições.
- ☐ **Serviços de Implementação:** A entrega completa do projeto, incluindo os testes funcionais do sistema e o treinamento dos usuários finais.

4.3 Requisitos

[Backlog.xlsx](#)

4.4 Limites e Exclusões

O que está incluído: Apenas o monitoramento de grãos de soja em silos verticais, com a entrega da solução de hardware e software descrita.

O que está excluído: O monitoramento de outros tipos de grãos ou a aplicação da solução em silos horizontais ou outros modelos de armazenagem. Ações físicas de manejo do silo (como aeração) não fazem parte do nosso escopo da solução.

4.5 Macro cronograma

4.6 Partes interessadas

5. PREMISSAS

- O cliente possuir uma fonte de energia bivolt (110v/220v) acessível no local de instalação;
- O cliente dispor de um sinal de internet (Wi-Fi) estável para a transmissão dos dados;
- Os silos estarão abastecidos com soja para a aplicação dos sensores;
- Os funcionários do cliente estarem disponíveis para a realização de treinamentos;
- O cliente dispor de um desktop ou computador para acessar a plataforma e os dados fornecidos.

6. RESTRIÇÕES

- A solução será comercializada exclusivamente para cooperativas que armazenam e comercializam soja;
- A solução deve ser instalada dentro de silos verticais que armazenam o grão de soja;
- A entrega final do projeto deve ocorrer no dia 19 de dezembro de 2025.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

<https://blog.aegro.com.br/cultura-da-soja-no-brasil/>

<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/57363/1/Circ-19-Armazenamento-sementes.pdf>

<https://cycloar.ind.br/condensacao-em-silos-o-que-e-e-como-evita-la/>

<https://cycloar.ind.br/armazenagem-de-graos-como-evitar-perdas-em-silos-e-em-armazens-graneleiros/>

<https://cycloar.ind.br/bolsa-de-calor-como-remove-la-e-manter-os-graos-conservados/>

<https://cycloar.ind.br/armazenamento-de-soja-conheca-o-passo-a-passo-para-uma-armazenagem-de-sucesso>

<https://cycloar.ind.br/como-armazenar-graos-conheca-os-procedimentos-para-a-armazenagem-correta/>

<https://repositorio.faculdefama.edu.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/123/TCC%20Jo%C3%A3o%20Pedro%20Silva%20Le%C3%A3o.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

<https://conbea.org.br/anais/publicacoes/conbea-2017/livros-2017/ctp-ciencia-e-tecnologia-pos-colheita-6/1369-perdas-em-graos-de-soja-armazenados/file>

<https://www.infomoney.com.br/economia/conab-ve-aumento-de-37-no-plantio-de-soja-no-brasil-em-2025-26-e-nova-safra-recorde/>

<https://www.em.com.br/galeria/flipar/2025/04/7130069-cultura-da-soja-pesa-na-balanca-e-irriga-a-economia-brasileira.html>