

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CAMPUS CACHOEIRA DO SUL  
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

Douglas Vinicius Jaeger

**DETECÇÃO PRECOCE DA PERDA DE MATÉRIA SECA DA SOJA  
ARMAZENADA EM SILOS VERTICAIS**

Cachoeira do Sul, RS  
2022

Douglas Vinicius Jaeger

**DETECÇÃO PRECOCE DA PERDA DE MATÉRIA SECA DA SOJA  
ARMAZENADA EM SILOS VERTICAIS**

Trabalho de Conclusão do Curso apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria, Campus Cachoeira do Sul (UFSM-CS, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Engenheiro Agrícola**.

**Orientador:** Prof. Dr. Paulo Carteri Coradi


Cachoeira do Sul, RS  
2022

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

AUTOR (A) : Douglas Vinicius Jaeger

ORIENTADOR (A) : Prof. Dr. Paulo Carteri Coradi

Aprovado pela Banca Examinadora como parte das exigências da disciplina de TCC, para obtenção do grau de Bacharel(a), pelo curso de Bacharelado em Engenharia Agrícola da UFSM/CS.



Prof. Dr. Paulo Carteri Coradi  
UFSM Campus Cachoeira do Sul  
STAPE 1895482

Presidente da Banca Examinadora

Prof. (a) : Prof. Dr. Paulo Carteri Coradi



Prof. Dr. Eduardo Leonel Bottega  
Professor do Magistério Superior

Membro: Prof. Dr. Eduardo Leonel Bottega  
UFSM Campus Cachoeira do Sul



Prof. Dra. Camila Becker Picoloto

UFSM Campus Cachoeira do Sul  
Membro: Prof. Dra. Camila Becker Picoloto  
STAPE 2336781

Cachoeira do Sul, 08 de Fevereiro de 2022.

## DEDICATÓRIA

*À Deus pela proteção divina.  
Aos meus pais Astor Luiz Jaeger e Eroseli da Silva Jaeger e às minhas irmãs Daniela Thaís  
Jaeger e Dienifer Tainá Jaeger, exemplos de pessoas, amor, confiança, honestidade,  
incentivo e cuidado irrestrito.  
Dedico*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, criador do universo, toda honra e toda glória a ti.

À vida, por me conceder essa sublime oportunidade de estar onde estou e de ser quem eu sou.

Aos meus pais, Astor Luiz Jaeger e Eroseli da Silva Jaeger pelo amor, carinho e dedicação, vocês são exemplos de trabalho, compromisso e força, obrigado por todos os conselhos e incentivos ao longo da minha vida. Vocês nunca me deixaram faltar nada.

As minhas irmãs Daniela Thaís Jaeger e Dienifer Tainá Jaeger, por me ensinar a lidar com as situações mais adversas da vida e seguir forte.

A minha namorada, Kelli Vanessa Gabe, que me acompanhou nesta caminhada, nos meus dilemas e desânimos, mas também nas conquistas, obrigado pelo companheirismo, paciência e carinho.

Ao meu orientador, Dr. Paulo Carteri Coradi, pela amizade sincera, por todo apoio prestado ao longo desses anos, pela confiança e oportunidades concedidas, pelas conversas, recomendações e, sobretudo, pela orientação, para que eu pudesse concluir esta importante etapa da minha formação pessoal e profissional.

À professora Dra. Mariana Vieira Coronas, pela amizade construída ao longo do caminho, pelas oportunidades, além dos fundamentais ensinamentos para que eu pudesse atingir meus objetivos.

A Universidade Federal de Santa Maria, Campus Cachoeira do Sul pelo curso de Engenharia Agrícola que me proporcionou grande conhecimento através do ensino público de qualidade.

Ao Laboratório de Pós-Colheita (LAPOS-UFSM), em especial aos colegas Dágila Rodrigues, Ítala Dubal, Jonatas Steinhaus, Lanes Jaques, Letícia Carneiro, Marisa Leal e Rosana Moraes pelo apoio na realização deste trabalho.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico Tecnológico), FAPERGS (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul) pelo auxílio financeiro e bolsa de iniciação científica.

Aos meus professores, colegas e amigos, pelos bons momentos vividos, que ficarão na minha lembrança por toda vida.

E a todos, que de alguma forma contribuíram para que fosse possível a realização e conclusão desta importante etapa em minha vida.

Muito Obrigado!

## EPÍGRAFE

“Escrever não significa converter o real em palavras, mas  
sim fazer com que a palavra seja real”  
(Augusto Roa Bastos).

## RESUMO

### DETECÇÃO PRECOCE DA PERDA DE MATÉRIA SECA DA SOJA ARMAZENADA EM SILOS VERTICAIS

AUTOR: Douglas Vinicius Jaeger  
ORIENTADOR: Prof. Dr. Paulo Carteri Coradi

**Resumo:** a soja (*Glycine max* L.) é uma oleaginosa rica em proteínas, fibras, vitaminas e minerais, com elevado valor agregado na indústria e fundamental para a alimentação humana e animal. Após a colheita os grãos de soja passam por uma etapa de pré-limpeza, no qual são removidos impurezas e resíduos indesejáveis. Alguns desses resíduos, muitas vezes não são removidos por completo, podendo intensificar a respiração da massa de grãos durante o armazenamento. Assim, o objetivo do estudo foi entender o comportamento e a influência dos resíduos e avariados da soja sobre o processo respiratório da massa de grãos para detecção precoce da perda de matéria seca através do monitoramento de variáveis indiretas ao longo do tempo de armazenamento. Para isto, experimentalmente lotes com diferentes percentuais de impurezas, grãos quebrados e fragmentados misturados com a massa de grãos inteiros. O experimento compreendeu três tratamentos: Lote R1 (Silo 1) - 100% grãos inteiros, Lote R2 (Silo 2) - 94,8% de grãos inteiros, 2,3% de grãos fragmentados, 2,5% de grãos quebrados e 0,4% de impurezas, e Lote R3 (Silo 3) - 100% de resíduos + impurezas. Instalaram-se sensores de CO<sub>2</sub> na parte interna superior de cada silo armazenador para monitoramento da concentração de CO<sub>2</sub> ao longo do tempo de armazenamento. A temperatura da massa de grãos foi monitorada em três pontos (inferior, médio e superior) do silo armazenador protótipo, com auxílio de um termômetro de mercúrio. Também, a temperatura e a umidade relativa do ar ambiente, a umidade relativa do ar intergranular com auxílio de um termohigrômetro digital. Com a obtenção dessas variáveis, calculou-se a umidade de equilíbrio higroscópico e determinou-se a perda de matéria seca da massa de grãos armazenada. Nos resultados obtidos, verificou-se que o comportamento dos materiais armazenados nos protótipos 1 e 2 foram semelhantes. Os percentuais de resíduos e avariados presentes na massa de grãos de soja dispostos no Silo 2 não influenciou significativamente na respiração, demonstrando valores similares aos grãos armazenados no Silo 1. Entretanto, independente do tratamento, verificou-se que ao longo do tempo de armazenamento houveram variações das variáveis monitoradas, proporcionando alterações na umidade de equilíbrio higroscópico e conseqüentemente um aumento da atividade metabólica dos grãos. O monitoramento das concentrações de CO<sub>2</sub>, temperatura e umidade relativa do ar intergranular foram eficazes para detectar precocemente a deterioração e a perda de matéria seca dos grãos, podendo ser uma medida importante para tomada decisão quanto ao tempo de armazenamento da soja.

**Palavras-chave:** Conservação. Dióxido de Carbono. Pós-colheita. Pré-Processamento. Umidade de Equilíbrio Higroscópico.

## ABSTRACT

### EARLY DETECTION OF THE LOSS OF DRY MATTER FROM SOYBEAN STORED IN VERTICAL SILOS

AUTHOR: Douglas Vinicius Jaeger  
ADVISOR: Prof. Dr. Paulo Carteri Coradi

**Abstract:** soybean (*Glycine max* L.) is an oilseed rich in proteins, fibers, vitamins and minerals, with high added value in the industry and essential for human and animal nutrition. After harvesting, the soybeans undergo a pre-cleaning stage, in which impurities and undesirable residues are removed. Some of these residues are often not completely removed, which can intensify the respiration of the grain mass during storage. Thus, the objective of the study was to understand the behavior and the influence of residues and damaged soybeans on the respiratory process of the grain mass for early detection of dry matter loss through the monitoring of indirect variables over the storage time. For this, experimentally batches with different percentages of impurities, broken and fragmented grains mixed with the mass of whole grains. The experiment comprised three treatments: Lot R1 (Silo 1) - 100% whole grains, Lot R2 (Silo 2) - 94.8% whole grains, 2.3% fragmented grains, 2.5% broken grains and 0.4% of impurities, and Lot R3 (Silo 3) - 100% of residues + impurities. CO<sub>2</sub> sensors were installed in the upper inner part of each storage silo to monitor the CO<sub>2</sub> concentration over the storage time. The temperature of the grain mass was monitored at three points (lower, middle and upper) of the prototype storage silo, with the aid of a mercury thermometer. Also, the temperature and relative humidity of the ambient air, the relative humidity of the intergranular air with the aid of a digital thermohygrometer. With these variables obtained, the hygroscopic equilibrium moisture was calculated and the dry matter loss of the stored grain mass was determined. In the results obtained, it was found that the behavior of the materials stored in prototypes 1 and 2 were similar. The percentages of residues and damage present in the mass of soybeans disposed in Silo 2 did not significantly influence respiration, showing similar values to the grains stored in Silo 1. variations in the monitored variables, providing changes in the hygroscopic equilibrium moisture and consequently an increase in the metabolic activity of the grains. The monitoring of CO<sub>2</sub> concentrations, temperature and relative humidity of the intergranular air were effective for early detection of deterioration and loss of dry matter of grains, which can be an important measure for decision making regarding the storage time of soybeans.

**Keywords:** Conservation. Carbon dioxide. Post-harvest. Pre-Processing. Hygroscopic Equilibrium Humidity.



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	9
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	10
2.1	IMPUREZAS E RESÍDUOS DA SOJA .....	10
2.2	RESPIRAÇÃO E MONITORAMENTO DA MASSA DE GRÃOS ARMAZENADO	10
2.3	QUALIDADE DOS GRÃOS ARMAZENADOS .....	13
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	15
3.1	CARACTERIZAÇÃO QUALITATIVA DOS GRÃOS, IMPUREZAS E RESÍDUOS DA SOJA .....	15
3.2	ARMAZENAMENTO DOS GRÃOS .....	16
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	21
4.1	MONITORAMENTO DOS GRÃOS DE SOJA ARMAZENADOS .....	21
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	26
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	27

## 1 INTRODUÇÃO

A produção de grãos para a safra de 2021/22 aponta um crescimento frente à temporada 2020/21. Está estimado um volume total na ordem de 291,1 milhões de toneladas, sinalizando um incremento de 15,1% ou 38,3 milhões de toneladas (CONAB, 2021).

Com a perspectiva de aumento da produção de soja, ano após ano, torna-se importante também ampliar e qualificar os processos pós-colheita para melhorar a conservação dos grãos e reduzir perdas quantitativas e qualitativas. As condições ambientais e intergranulares (SINGH; FIELKE, 2017) influenciam sobre a atividade metabólica dos grãos. Sabe-se que o aumento da temperatura da massa de grãos armazenada acima de 25 °C e teores de água acima de 12% são indicativos de deterioração, da massa de grãos (MAIER et al., 2010; TEFERA et al., 2011; PARK et al., 2012; DEMITO et al., 2019). Outro fator que pode colaborar para a deterioração é a presença de impurezas na massa de grãos. As impurezas podem alterar a compactação das camadas de grãos, induzindo o fluxo de ar na massa de grãos e comprometendo o sistema operacional de aeração. Além, a presença de impurezas pode colaborar para o aquecimento e maior respiração dos grãos através da transferência de umidade e calor ao longo do tempo de armazenamento.

É fundamental que as unidades armazenadoras adotem tecnologias de monitoramento da massa de grãos depositados além das variáveis tradicionais, como temperatura, umidade relativa e o teor de água dos grãos (JIAN et al., 2012), no intuito de aumentar o tempo de armazenamento, mantendo a qualidade do produto para obtenção de melhores oportunidades e preços de comercialização dos grãos. A medição da concentração de CO<sub>2</sub> no ar intergranular pode ser uma alternativa para caracterizar a respiração e prever precocemente as perdas de matéria seca na massa de grãos armazenados. A liberação de CO<sub>2</sub> dos grãos depositados ocorre pelo aumento da taxa de respiração do produto, desta forma a medição da concentração de CO<sub>2</sub> na parte superior da massa de grãos poderá ser um indicativo indireto do que estaria acontecendo com a qualidade total dos grãos armazenados.

Assim, o objetivo deste estudo foi monitorar o ecossistema de armazenamento para detectar precocemente perdas de matéria seca em grãos guardados, em função da presença de impurezas e resíduos na massa de grãos de soja armazenados em silos verticais ao longo do tempo.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

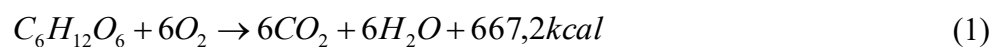
### 2.1 IMPUREZAS E RESÍDUOS DA SOJA

Em uma unidade de pré-processamento de grãos, as impurezas são removidas da massa de grãos para evitar problemas operacionais na secagem e armazenagem, contaminações e alterações de qualidade dos grãos, enquanto que, os resíduos da soja que saem do processo de pré-limpeza poderiam ser aproveitados como subprodutos pela indústria por conter um valor nutritivo considerável (PURKAIT et al., 2011).

Os materiais eliminados no processo de separação podem chegar a 6% do total da massa de grãos. Dentre os subprodutos da soja, a casca da soja, o farelo da soja, grãos quebrados, fragmentados e a vagem da soja e sua utilização é restrita ao valor, sendo um subproduto abundante em rações de suínos e aves (AL LOMAN; JU, 2016). Associar o farelo da soja a esses resíduos provenientes da pré-limpeza é uma alternativa para o adequado destino do material.

### 2.2 RESPIRAÇÃO E MONITORAMENTO DA MASSA DE GRÃOS ARMAZENADOS

No armazenamento, a massa de grãos por serem materiais biológicos vivos respira e, com isso, consomem o oxigênio (O<sub>2</sub>) e liberam dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e água (H<sub>2</sub>O) (BARRETO et al., 2017). A respiração aeróbia é uma reação oxidativa de um composto orgânico complexo e pode ser sintetizada, pela equação 1:



A massa de grãos armazenada forma um ecossistema em que a deterioração é o resultado da interação entre variáveis físicas como: temperatura, umidade, propriedades físicas da massa de grãos e propriedades termo físicas, variáveis químicas como disponibilidade de oxigênio no ar intergranular, variáveis biológicas de fontes internas, longevidade, respiração, maturidade pós-colheita, germinação e variáveis biológicas de fontes externas, dentre eles os fungos, insetos, ácaros, roedores, leveduras, bactérias e pássaros (JIAN et al., 2014; RAUDIENE et al., 2017).

O grau de deterioração depende da taxa de aumento destas variáveis que, por sua vez, são principalmente afetadas pela interação da temperatura e umidade e pela inter-relação

deles/delas com o grão, entre eles, e com a estrutura do silo. Durante a deterioração dos grãos, o CO<sub>2</sub>, a umidade e o calor são produzidos pelo metabolismo dos grãos, fungos, insetos e ácaros e liberam odores distintos. Assim, níveis elevados de CO<sub>2</sub> em armazenamento a granel indicam que insetos, mofo ou respiração excessiva estão presentes e, por exemplo, se ocorrer evolução de CO<sub>2</sub> no volume de grãos armazenados, então conclui-se que esse aumento é um indicador confiável da deterioração dos grãos (MAIER et al., 2010; NEETHIRAJAN et al., 2010; KAUSHIK; SINGHAI, 2019).

O armazenamento de grãos com teores de água acima de 12% geralmente resulta em aumento das taxas de CO<sub>2</sub> (JUODEIKIENE et al., 2011; HUANG et al., 2013). A propagação de CO<sub>2</sub> na massa de grãos pode ocorrer muito mais rápido do que a mudança de temperatura, sendo um bom indicativo indireto para avaliação da qualidade dos grãos (SINGH et al., 1983; GONZALES et al., 2009; JOHANSSON et al., 2010; ABALONE et al., 2011), através dos sensores (MUIR et al., 1985). Entretanto, ressalta-se que uma atmosfera rica em CO<sub>2</sub> e pobre em O<sub>2</sub> pode suprimir a capacidade de reprodução e/ou desenvolvimento dos insetos e fungos, como também a própria atividade metabólica dos grãos, favorecendo a sua conservação (MORENO et al., 2006; HROMADKA et al., 2018).

Desta forma, a presença de uma alta concentração de CO<sub>2</sub> em um ambiente hermético pode favorecer o controle de insetos e microrganismos. Por outro lado, as altas concentrações de CO<sub>2</sub> em sistemas semi-herméticos de armazenamento são indicativos de altos níveis de infestação. Considera-se que valores próximos de 1100 ppm é um indicativo de uma deterioração incipiente, entre 1100 a 3500 ppm indicam uma infestação leve de insetos e infecção por microrganismos, entre 3500 a 5000 ppm uma alta infestação de insetos e infecção de microrganismos, 5000 a 9000 ppm uma grave deterioração e limite de condições perigosas de armazenamento e valores maiores que 10000 ppm indicam condições de armazenamento altamente inadequadas (NEETHIRAJAN et al., 2010). Diversos estudos relacionando o monitoramento de CO<sub>2</sub> em grãos armazenados foram realizados nos últimos anos (Tabela 1).

Tabela 1 - Estudos relacionadas ao monitoramento de CO<sub>2</sub> em armazenamento de grãos

Referência	Pesquisa
Singh et al. (1983)	Comportamento do dióxido de carbono utilizando um modelo de elementos finitos.
Bern et al. (2002)	Perdas de matéria seca e perdas de qualidade para a cultura do milho, através do uso de equações
Ileleji et al. (2006)	Sensor de CO <sub>2</sub> para detecção de deterioração em grãos de milho
Bartosik et al. (2008)	Monitoramento de CO <sub>2</sub> em silos bag
Cardoso et al. (2008)	Efeito da umidade e da temperatura dos grãos sobre a concentração de CO <sub>2</sub> em silo-bag contendo soja
Gonzales et al. (2009)	Uso de sensores de umidade relativa, temperatura e dióxido de carbono no armazenamento de trigo
Maier et al. (2010)	Avaliação de sensores de dióxido de carbono em silos armazenadores
Neethirajan et al. (2010)	Monitoramento da qualidade de grãos através de uso de sensor de CO <sub>2</sub>
Bartosik et al. (2013)	Monitoramento de CO <sub>2</sub> de grãos armazenados em silo bag por meio de um aplicativo web
Jian et al. (2014)	Concentrações intersticiais de dióxido de carbono e oxigênio em sementes de canola, soja e trigo armazenadas
Zhang et al. (2014)	Monitoramento em grãos armazenados para detectar deterioração por insetos e fungos em armazéns horizontais
Zhai et al. (2015)	Monitoramento dióxido de carbono em grãos armazenados
Raudiene et al. (2017)	Medição da taxa de produção de CO <sub>2</sub> em grãos de trigo armazenados
Ochandio et al. (2017)	Taxa de respiração pelo controle de CO <sub>2</sub> em armazenamento hermético
Taher et al. (2019)	Monitoramento da concentração de CO <sub>2</sub> durante o armazenamento do silo bag

Fonte: Elaborado pelo autor

### 2.3 QUALIDADE DOS GRÃOS ARMAZENADOS

As perdas de qualidade dos grãos, depois da colheita, ocorrem principalmente por causa de infestações por insetos-praga e degradação por infecções fúngicas, características da espécie e da variedade, condições ambientais durante o seu desenvolvimento, época e procedimento de colheita, método de secagem e práticas de armazenagem (BROOKER et al., 1992; CORADI et al., 2015). A qualidade da soja comestível diminui gradualmente com o armazenamento prolongado em condições adversas.

No armazenamento, o principal objetivo é preservar as qualidades físicas, sanitárias e nutricionais do grão depois de colhido, no entanto, a diminuição da qualidade nesse período irá depender das condições de armazenamento, que inclui a temperatura e a umidade relativa do ar intergranular, a temperatura e o teor de água, tempo de armazenamento, além das condições físicas dos grãos (LIU; CHANG, 2008; POHNDORF et al., 2018a). A soja armazenada por longo prazo com alto teor de água e a temperaturas superiores a 25 °C pode perder sua qualidade (ZIEGLER et al., 2016c).

Com isso, a redução da temperatura da massa de grãos, promovendo o resfriamento artificial, é uma alternativa para conservar a qualidade dos grãos (RIGUEIRA et al., 2009). O decréscimo da temperatura em grãos armazenados reflete na velocidade das reações bioquímicas e metabólicas dos grãos, reduzindo-as e assim as reservas armazenadas no tecido de sustentação são desdobradas, transportadas e ressintetizadas no eixo embrionário (PÉREZ-GARCÍA; GONZÁLEZ-BENITO, 2006; AGUIAR et al., 2012).

Em relação ao teor de água, quanto mais elevado menor é a estabilidade do produto e mais propenso fica a deterioração por ação de microrganismos (bactérias, leveduras e mofos), e reações químicas enzimáticas e não enzimáticas, principalmente se tratando de grãos oleaginosos, devido à oxidação lipídica. A oxidação lipídica pode ser afetada pela composição dos ácidos graxos, atividade antioxidante, quantidade de água e natureza da superfície (ORDÓÑEZ, 2005; CORRÊA et al., 2010; HOLSE et al., 2012; LEE; CHO, 2012).

A deterioração dos grãos ao longo do período de armazenamento pode ser sinalizada pelas alterações nos seus parâmetros de qualidade, englobando a adição nos índices de acidez e peróxidos, no escurecimento da cor do grão (KONG; CHANG, 2009). Os grãos de soja quando armazenados em ambientes com baixas temperaturas mantém sua característica de cor preservada (HOU; CHANG, 2004; CHIDANANDA et al., 2014; CAÑIZARES et al., 2021). Liu e Chang (2008) em sua pesquisa com propriedades funcionais de isolados de proteína de soja armazenados sob várias condições mostraram que os teores de proteínas de soja foram

reduzidos. Lee e Cho (2012) também encontraram redução do teor de proteína de 43%, para 33,8% em grãos de soja após dois anos armazenamento.

Rodrigues et al. (2016) estudaram genótipos de soja e avaliaram as porcentagens de óleo e proteína em quatro ambientes diferentes, dos conteúdos médios de proteína de 34,25-45,18% e óleo de 16,48-23,01%. De acordo com Ziegler et al. (2016a), em estudo com propriedades físico-químicas e tecnológicas da soja em função das condições de armazenamento, afirmam que os teores de proteína e gordura diminuíram após 12 meses de armazenamento, com menores valores observados nos grãos armazenados com 18% de umidade a 32 °C.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Pós-Colheita (LAPOS) da Universidade Federal Santa Maria (UFSM), Campus de Cachoeira do Sul (CS) durante a safra 2020/21.

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO QUALITATIVA DOS GRÃOS, IMPUREZAS E RESÍDUOS DA SOJA

A primeira etapa do estudo caracterizou-se por uma avaliação da qualidade dos grãos de soja e dos resíduos removidos na etapa de pré-limpeza. No processo de pré-limpeza da massa de grãos foram separados dos grãos inteiros, os materiais indesejáveis provenientes da colheita, como impurezas e matérias estranhas e os resíduos dos grãos de soja. Esses materiais foram coletados nas bicas de saída da máquina de pré-limpeza. O teor de água dos grãos e resíduos foi determinado através do método gravimétrico em estufa, a  $105 \pm 1$  °C, durante 24 h, com três repetições de 30 g (Brasil, 2009).

A classificação física dos grãos de soja, que indica a qualidade, é descrita na Instrução Normativa (IN) 11, de 16 de maio de 2007. Os requisitos de identidade da soja também são identificados pela própria espécie *Glycine Max (L) Merrill*. A IN 11 classifica os grãos de soja em grupos, dependendo do uso proposto em classes em função da coloração e em tipos em função dos percentuais de tolerância de defeitos dos grãos (SENAR, 2017).

Grupo I - soja destinada ao consumo in natura. São aqueles que estão no estado natural, sem ter sofrido qualquer transformação ou processamento a granel ou embalados, e estejam em condições de serem oferecidos ao consumidor.

Grupo II - soja destinada a outros usos, como processo de esmagamento para produção de óleo e farelo ou alimentação animal.

Em função dos percentuais de tolerância de defeitos nos grãos, estabelecidos na legislação, a soja do grupo I será classificada em dois tipos (tipo 1 e tipo 2) e a do grupo II será classificada em um tipo (padrão básico), conforme apresentado nos quadros 1 e 2.



Quadro 1- Limites máximos de tolerância, expressos em porcentagem, para a soja do grupo I:

Avariados					Esverdeados	Partidos, quebrados e amassados	Total de matérias estranhas e impurezas
Tipo	Total de ardidos e queimados	Máximo de queimados	Mofados	Total (1)			
1	1,0	0,3	0,5	4,0	2,0	8,0	1,0
2	2,0	1,0	1,5	6,0	4,0	15,0	1,0

(1) A soma de queimados, ardidos, mofados, fermentados, germinados, danificados, imaturos e chochos

Fonte: SENAR, 2017

Quadro 2- Limites máximos de tolerância, expressos em porcentagem, para a soja do grupo II:

Avariados					Esverdeados	Partidos, quebrados e amassados	Total de matérias estranhas e impurezas
Tipo	Total de ardidos e queimados	Máximo de queimados	Mofados	Total (2)			
Padrão básico	4,0	1,0	6,0	8,0	8,0	30,0	1,0

(2) A soma de queimados, ardidos, mofados, fermentados, germinados, danificados, imaturos e chochos

Fonte: SENAR, 2017

A classificação comercial dos grãos de soja, de forma geral, determina sua qualidade física, a qual é relacionada com a integridade do material e com sua pureza.

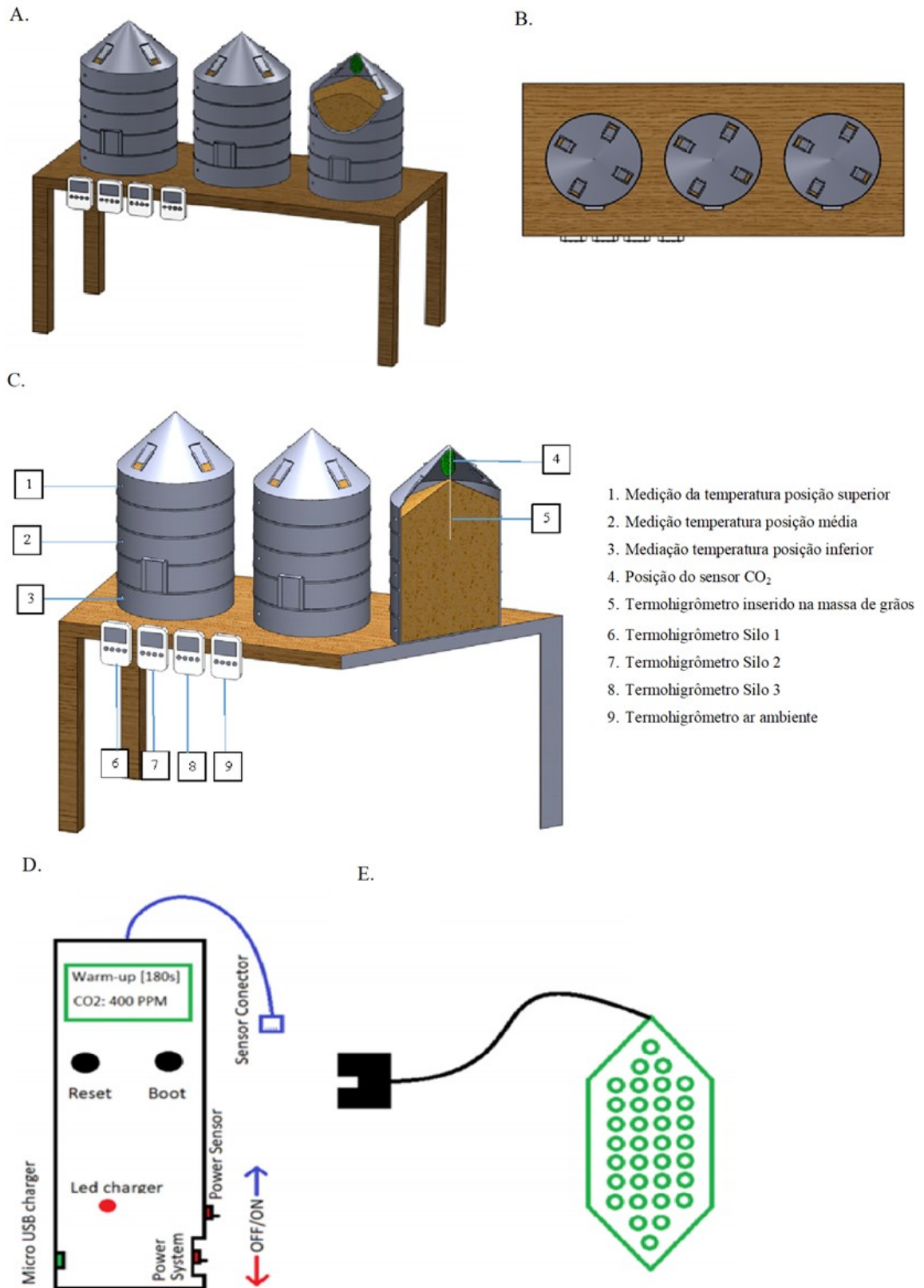
### 3.2 ARMAZENAMENTO DOS GRÃOS

Os resíduos e impurezas foram coletados nas bicas de saída da mesa de pré-limpeza, apresentando 10% de teor de água inicial, enquanto que, a massa de grãos foi amostrada em um silo pulmão após secagem, com teores de água de 12% (b.u.). Os materiais foram separados por lotes e armazenados em silos metálicos protótipos com altura de 38 cm e raio de 15 cm (Figura 1A).

A composição de cada lote foi obtida através da amostragem do material e quantificada de acordo com a presença de impurezas, grãos quebrados e grãos fragmentados. O experimento foi composto por: Silo 1 – 100% grãos inteiros, com uma massa inicial de grãos de 20,198 kg; Silo 2 – 94,8% de grãos inteiros, sendo 2,3% de grãos fragmentados, 2,5% de grãos quebrados e 0,4% de impurezas, com uma massa inicial de material vegetal de 19,400 kg; e Silo 3 – 100% de resíduos e impurezas (material coletado nas bicas de saída da máquina de pré-limpeza) com uma massa inicial de 12,630 kg de material. Na parte superior dos silos foram dispostos quatro aberturas para simular a saída de ar no interior deles (Figura 1B). Os produtos armazenados nos silos permaneceram em monitoramento (Figura 1C) e avaliação ao longo de doze meses, com amostragens para avaliação da qualidade física e físico-química do produto, a cada três meses.

Para a medição de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) foram utilizados sensores modelos MZ-19 com infravermelho não dispersivo tipo NIR, com faixa de medição de 0 a 5000 ppm e precisão de +- 3% do valor lido. A leitura da concentração de CO<sub>2</sub> foi realizada em display do tipo CO<sub>2</sub> Reader (Figura 1D) com alimentação independente e com bateria interna. Os sensores que acompanham o CO<sub>2</sub> Reader foram devidamente calibrados na faixa de 400 ppm, considerando a concentração de CO<sub>2</sub> em ambiente natural, seguindo os procedimentos descritos pelo fabricante. Antes das instalações foram realizados testes preliminares para coletar informações dos sensores e verificar se ambos estavam funcionando adequadamente.

Figura 1 - Protótipos de silos verticais



Fonte: Elaborado pelo autor

Os silos protótipos verticais metálicos são apresentados na figura 1 (A) e suas vistas laterais estão representadas na figura 1 (B). Na figura 1 (C) tem-se a vista frontal do silo protótipo, demonstrando as aberturas para inserção do termômetro de mercúrio para medição da temperatura na massa de grãos, nas diferentes posições, corte lateral mostrando as localizações dos termohigrômetros inseridos na massa de grãos. O esquema do CO<sub>2</sub> Reader pode ser visualizado na figura 1 (D) e o sensor na figura 1 (E).

Os sensores de CO<sub>2</sub> (Figura 1E) foram instalados na parte superior e interna de cada silo armazenador, de maneira suspensa no chapéu e acima da massa de grãos, para o monitoramento da concentração de CO<sub>2</sub> em função da respiração dos produtos ao longo dos doze meses. Na parte inferior, média e superior dos silos armazenadores foram feitas aberturas para o monitoramento da temperatura do ar intergranular ao longo do tempo de armazenamento com auxílio de um termômetro de mercúrio, inserido dentro da massa de grãos. A temperatura e a umidade relativa do ar ambiente, a umidade relativa do ar intergranular com o auxílio de termohigrômetros digitais. As leituras foram realizadas quatro vezes ao dia, nos turnos da manhã (08h30mim), tarde (13h), tarde-noite (17h) e noite (20h).

A perda de matéria seca foi calculada pela concentração de CO<sub>2</sub> monitorada ao longo do armazenamento para determinar a taxa respiratória e a perda de matéria do produto armazenado pelas Equações 2 e 3:

$$PMS = 100 \left( C_{CO_2} - \Delta C_{O_2} \right) \left( \frac{\varepsilon P W_g}{2 P_g (1 - U) RT} \right) \quad (2)$$

em que,

Pms: é a perda de matéria seca (%)

$C_{CO_2}$ : concentração de  $C_{CO_2}$  (v/v) medida no interior dos silos metálicos

$\Delta C_{O_2}$ : variação da concentração de  $O_2$  ao longo do armazenamento considerando a concentração inicial de 21%

$\varepsilon$ : porosidade da massa granular

P: pressão atmosférica local (96 kPa)

$W_g$ : massa molar da glicose (180 kg kmol<sup>-1</sup>)

$P_g$ : massa específica aparente dos grãos (kg m<sup>-3</sup>)

U: teor de água dos grãos (decimal b.u.)

R: constante dos gases perfeitos (8,314 kJ kmol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>)

T: temperatura (K)

O cálculo de umidade de equilíbrio higroscópico dos produtos armazenados, foi calculado para os dias de monitoramento através das equações 3 e 4:

Para a umidade relativa do ar entre  $0 < UR \leq 55\%$

$$U_e = \frac{3,96 * UR^{0,492}}{l_n(T)} \quad (3)$$

Para a umidade relativa entre  $55 < UR < 100\%$

$$U_e = \frac{6,21 * \exp(0,0274 * UR)}{l_n(T)} \quad (4)$$

em que,

$U_e$ : Umidade de equilíbrio higroscópico

UR: Umidade relativa (%)

T: Temperatura (F)

A porosidade intergranular foi determinada com auxílio de uma proveta de volume de 100 mL, a qual foi preenchida com grãos. Em uma segunda proveta, adicionou-se 100 mL de óleo de soja, que posteriormente foi transferido para a proveta com os grãos até atingir o nível da superfície. O volume de óleo restante na segunda proveta foi verificado para a determinação do percentual de porosidade, por diferença de volume, dessa forma, foi obtida a porosidade intergranular (%). Para a determinação da massa específica aparente, foi utilizada a balança hectolétrica com capacidade de um quarto de litro. O procedimento realizado de acordo com Brasil (2009) e os resultados expressos em ( $\text{kg m}^{-3}$ ).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

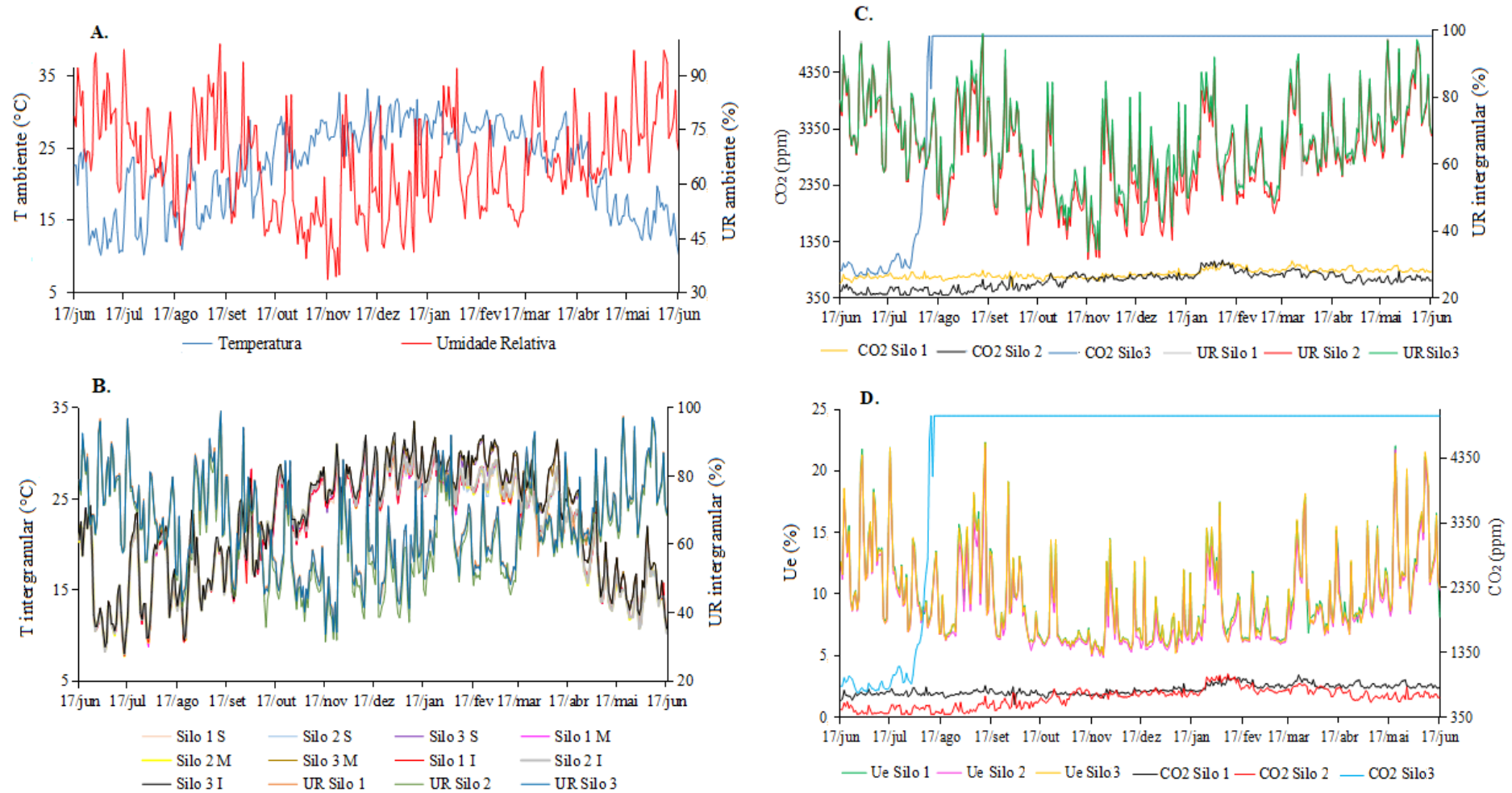
### 4.1 MONITORAMENTO DOS GRÃOS DE SOJA ARMAZENADOS

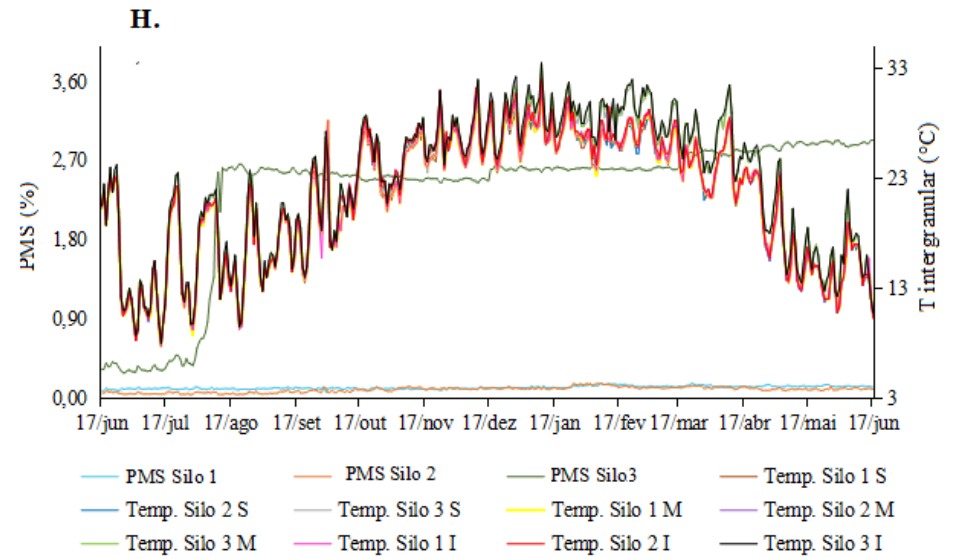
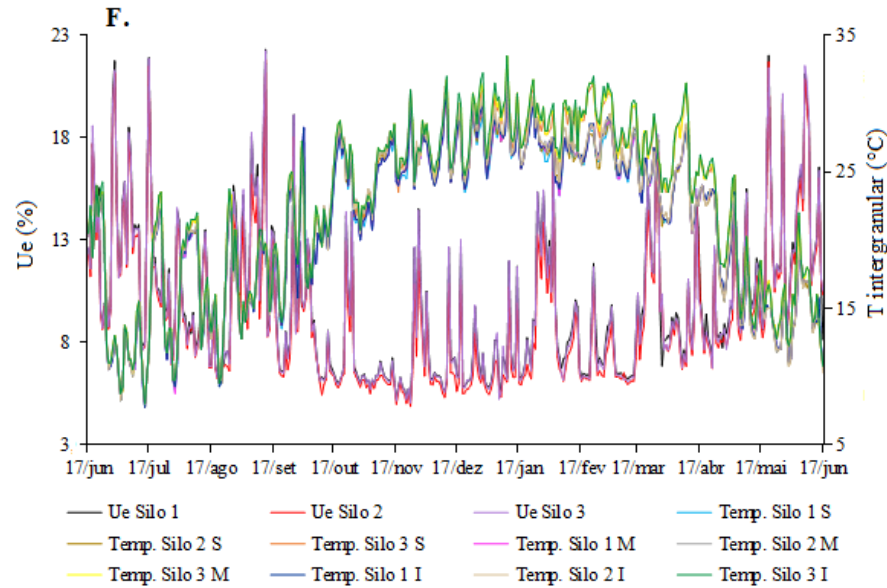
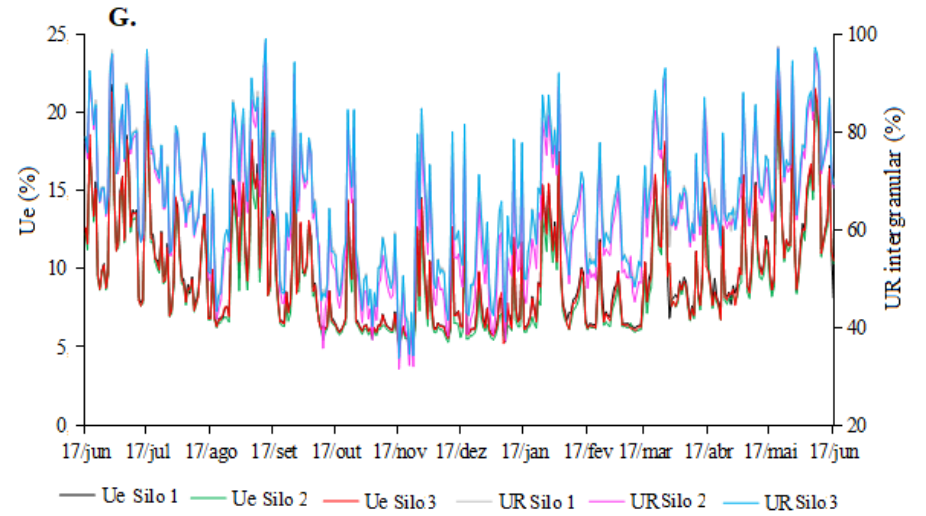
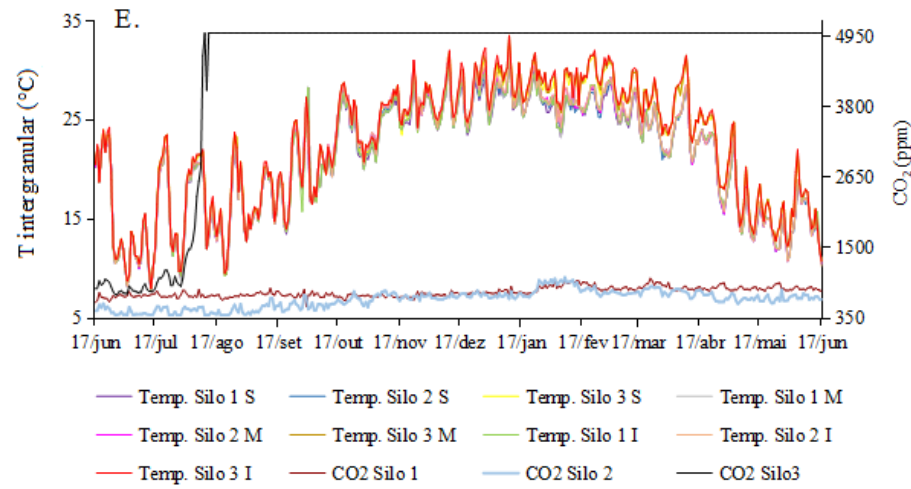
Nos resultados obtidos observaram-se variações da temperatura e da umidade relativa do ar ambiente, ocorreu influência nas condições do ar intergranular e no aumento da taxa respiratória da massa de grãos de soja armazenadas (Figuras 2A-J). As mudanças na temperatura do ar causaram gradientes intergranulares, alterando a umidade de equilíbrio higroscópico dos grãos armazenados (Figura 2A-C), as quais permaneceram próximas nas três condições ao longo do tempo de armazenamento. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Smith e Sokhansanj (1990), Montross et al. (2002) e Subrot et al. (2020) que estabelecem um limite de 65% de umidade relativa de equilíbrio higroscópico para obter um armazenamento de grãos seguro, sem que haja excesso de respiração e reduções de qualidade.

No monitoramento de CO<sub>2</sub> verificaram-se diferenças nos três silos, ao longo do tempo de armazenamento. A concentração de CO<sub>2</sub> no Silo 1 variou de 600 a 800 ppm, enquanto que, no Silo 2 a concentração de CO<sub>2</sub> permaneceu próxima de 400 ppm até os quatro meses de armazenamento. Entretanto, a partir dos quatro meses de armazenamento, detectou-se um aumento da concentração CO<sub>2</sub>, indicando os efeitos da presença de percentuais mais elevados de impurezas (NEETHIRAJAN et al., 2010; CAI et al., 2012; LOPES; NETO, 2019). Nas impurezas armazenadas no Silo 3 observou-se nos 3 meses de armazenamento uma respiração excessiva e um aumento da concentração de CO<sub>2</sub>, chegando a 5000 ppm. Vale ressaltar, que a concentração de CO<sub>2</sub>, tanto para os grãos, quanto para os grãos + impurezas + resíduos foram mais elevadas nos meses de janeiro a fevereiro, quando a temperatura do ambiente foi mais elevada.

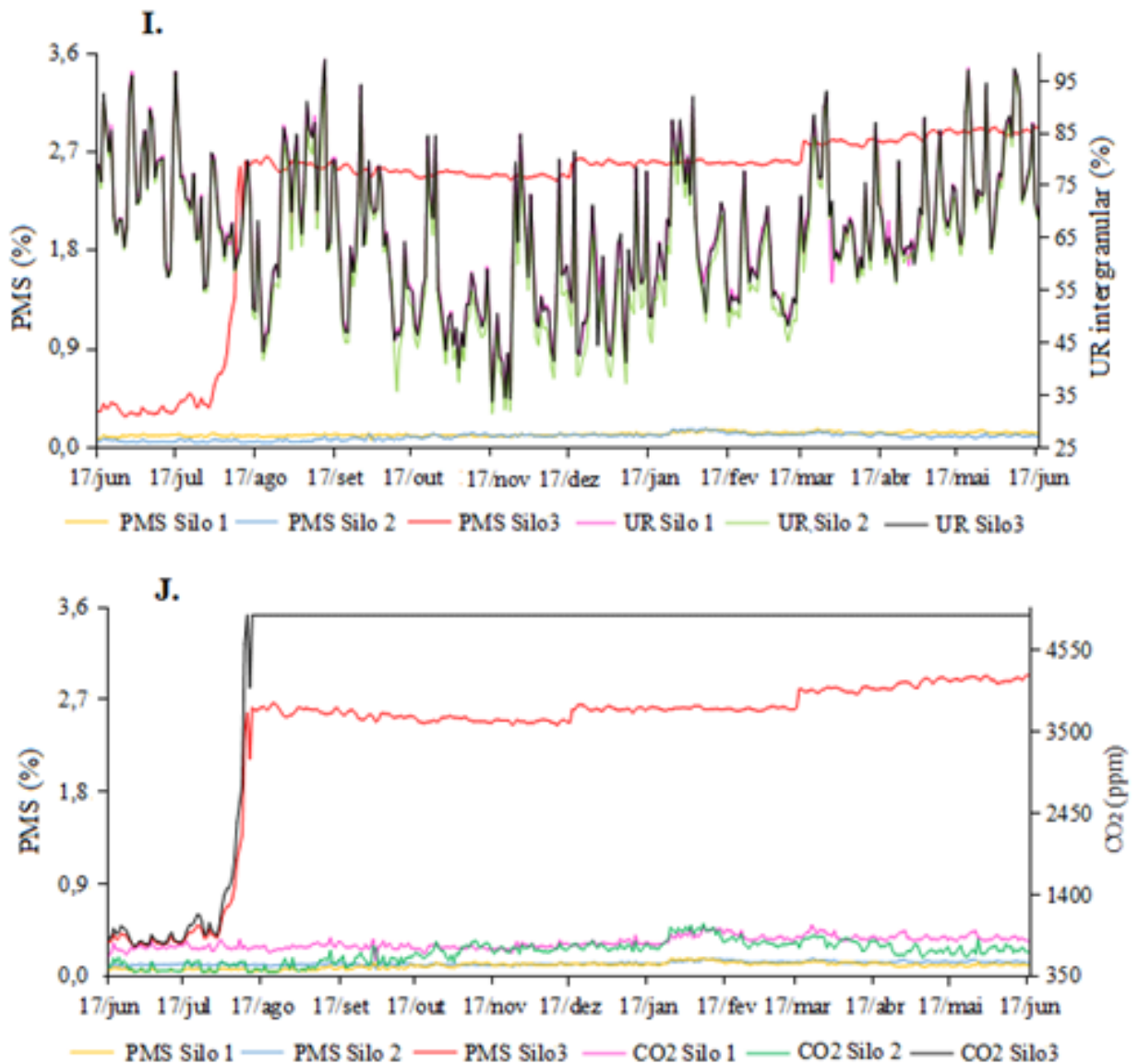
Ao longo do armazenamento verificou-se uma perda de matéria seca dos grãos armazenados em função da respiração da massa de grãos, com variações da temperatura (8 a 33 °C) e umidade relativa do ar intergranular (30 a 99%). Entretanto, as perdas nos Silos 1 e 2 foram semelhantes, concordando com valores obtidos por outros pesquisadores (BERN et al., 2002; CHEN et al., 2020; CORADI et al., 2016; ATUNGULU et al., 2017; SULEIMAN et al., 2018).

Figura 2 – Monitoramento da temperatura e umidade relativa do ar ambiente, temperatura do ar intergranular (C) nas posições superior (S), média (M) e inferior (I), umidade relativa, concentração de CO<sub>2</sub> e perda de matéria seca de grãos de soja armazenados ao longo de doze meses.









Fonte: Elaborado pelo autor

Segundo Kaleta e Górnicki (2013), a perda de matéria seca está associada ao processo respiratório dos grãos e dos microrganismos acompanhantes que oxidam os carboidratos, provocando a liberar dióxido de carbono, vapor d'água e energia (HOGLAND et al., 1996; PORTELL et al., 2020). De acordo com Ileleji et al. (2006), Maier et al. (2010), Zhang et al. (2014) Chotikasatian et al. (2017), o consumo de matéria seca é mais intenso quando os grãos são armazenados com teores de água acima de 14%. Outros autores salientam que o armazenamento dos grãos com teores de água mais elevados provoca alteração na umidade relativa intergranular e migração de umidade, aquecendo a massa de grãos e acelerando o consumo de matéria seca (SOROUR; UCHINO, 2004; JIAN et al., 2014; SILVA et al. (2018).

Embora neste estudo, os materiais vegetais (grãos e impurezas) tenham sido armazenados com teores de água próximos das condições seguras de armazenamento, as

variações das condições ambientais associadas as presenças de impurezas na massa de grãos alteraram a umidade de equilíbrio higroscópico dos grãos, o que pode ter elevado os teores de água dos mesmos, colaborando para o aumento do processo respiratório dos grãos.

A variação da temperatura acima de 30 °C aumentou 8% o consumo de matéria seca dos grãos armazenados (Figura 2A-C). Associados a temperatura da massa de grãos, Lopes e Neto (2020), Coradi et al. (2020) verificaram que o tempo de armazenamento interferiu significativamente no teor de matéria seca dos grãos. Estes resultados vão ao encontro aos obtidos por Yang et al. (2014) e Sorour Uchino (2004) que ao estudarem o efeito da temperatura da massa de grãos observaram aumento da deterioração da soja. Os autores verificaram que os grãos armazenados com teores água próximos das condições ideais de armazenamento (12%) tiveram um consumo de 0,5% de matéria seca em 1132 h de armazenamento, enquanto que, os grãos armazenados com teores de água acima de 14% tiveram o mesmo consumo de matéria, porém em 170h de armazenamento.

Assim, com base nos resultados obtidos foi possível verificar que o monitoramento das concentrações de CO<sub>2</sub>, temperatura e umidade relativa do ar intergranular, e a umidade de equilíbrio higroscópico nos grãos armazenados podem ser indicativos para detectar precocemente a deterioração e minimizar a perda de matéria seca dos grãos armazenados.

## 5 CONCLUSÕES

A partir do objetivo posto, neste estudo foi observado a perda de matéria seca dos grãos armazenados. Através dos percentuais de impurezas e resíduos presentes na massa de grãos armazenados detectou-se que houve influência na respiração da massa de grãos ao longo do período de acondicionamento.

Averiguou-se que o monitoramento da temperatura, umidade relativa intergranular, concentração de CO<sub>2</sub> e determinação da umidade de equilíbrio higroscópico, apresentaram promissoras características a serem observadas no acompanhamento da perda de matéria seca de grãos de soja armazenados em silos verticais.

Logo, o tempo de armazenamento foi o fator que mais influenciou a perda de matéria seca dos grãos. O monitoramento da temperatura e umidade relativa intergranular, bem como a determinação da umidade de equilíbrio higroscópico e a medição da concentração de CO<sub>2</sub> predisseram indiretamente o consumo de matéria seca da soja ao longo do tempo de armazenamento.

Assim sendo, a detecção precoce das perdas de massa seca de soja armazenada pode colaborar para um melhor gerenciamento do sistema de armazenamento, nas tomadas de decisões sobre o manejo operacional da infraestrutura de armazenagem e dos grãos armazenados para a manutenção da qualidade e melhor comercialização dos grãos.

## REFERÊNCIAS

- ABALONE, R.; GASTÓN, A.; BARTOSIK, R.; CARDOSO, L.; RODRÍGUEZ, J. Gas concentration in the interstitial atmosphere of a wheat silo-bag. Part I: Model development and validation. **Journal of stored products research**, v.47, n.4, p.268-275, 2011.
- AGUIAR, R. W. S.; BRITO, D. R.; OOTANI, M. A.; FIDELIS, R. R.; PELUZIO, J. N. Efeito do dióxido do carbono, temperatura e armazenamento sobre sementes de soja e micoflora associada. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, p.554-560, 2012.
- AL LOMAN, A.; JU, L. K. Soybean carbohydrate as fermentation feedstock for production of biofuels and value-added chemicals. **Process Biochemistry**, v.51, p.1046-1057, 2016.
- ATUNGULU, G. G.; THOTE, S.; WILSON, S. Dry Matter Loss for Hybrid Rough Rice Stored Under Reduced-Oxygen Conditions. **Cereal Chemistry**, v.94, n.3, p.497-501, 2017.
- BARRETO, A. A.; ABALONE, R.; GASTÓN, A.; OCHANDIO, D.; CARDOSO, L.; BARTOSIK, R. Validation of a heat, moisture and gas concentration transfer model for soybean (*Glycine max*) grains stored in plastic bags (silo bags). **Biosystems Engineering**, v. 158, p. 23-37, 2017.
- BARTOSIK, R.; CARDOSO, L.; ALBINO, J.; BUSATO, P.; SILCHECK, S. A. CO<sub>2</sub> /monitoring of grain stored in silobag through a web application. In: Proceedings of the EFITA, WCCA, CIGR 2013 **Conference: Sustainable Agriculture through ICT Innovation**. CIGR Torino, Italy, p.23-27, 2013.
- BARTOSIK, R.; CARDOSO, L.; RODRÍGUEZ, J. Early detection of spoiled grain stored in hermetic plastic bags (silo-bags) using CO<sub>2</sub> monitoring. In: **Proceeding of 8th International Conference on Controlled Atmosphere and Fumigation in Stored Products**. p.550-554, 2008.
- BERN, C. J.; STEELE, J. L.; MOREY, R. V. Shelled corn CO<sub>2</sub> evolution and storage time for 0.5% dry matter loss. **Applied Engineering in Agriculture**, v.18, n.6, p.703, 2002.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Secretaria de Defesa Agrícola. Brasília: MAPA/ACS, 399p., 2009.
- BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. Drying and storage of grain and oilseeds. **New York: Van Nostrand Reinhold**, p., 450, 1992.
- CAI, J.; WANG, Z.; HUANG, S. Study on diffusion characteristics of carbon dioxide and monitoring of mould activity in stored grain. **Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition)**, n.3, p.2, 2012.
- CAÑIZARES, L. D. C. C.; DA SILVA TIMM, N.; LANG, G. H.; GAIOSO, C. A.; FERREIRA, C. D.; DE OLIVEIRA, M. Effects of using wind exhausters on the quality and cost of soybean storage on a real scale. **Journal of Stored Products Research**, v.93, p.101834, 2021.

CARDOSO, M. L.; BARTOSIK, R. E.; RODRÍGUEZ, J.C.; OCHANDIO, D. Factors affecting carbon dioxide concentration in interstitial air of soybean stored in hermetic plastic bags (silo-bag). **In: Proceeding of the 8th International Conference on Controlled Atmosphere and Fumigation in Stored Products.** p. 21-26, 2008.

CHEN, S. T.; KUO, H. I.; CHEN, C. C. Modeling the relationship between the oil price and global food prices. **Applied Energy**, v.87, n.8, p.2517-2525, 2010.

CHOTIKASATIAN, C.; CHAYAPRASERT, W.; PATHAVEERAT, S. A study on the feasibility of quantifying the population density of stored product insects in air-tight grain storage using CO<sub>2</sub> concentration measurements. **Journal of Stored Products Research**, v.73, p.21-29, 2017.

CHIDANANDA, K. P.; CHELLADURAI, V.; JAYAS, D. S.; ALAGUSUNDARAM, K.; WHITE, N. D. G.; FIELDS, P. G. Respiration of pulses stored under different storage conditions. **Journal of Stored Products Research**, v.59, p.42-47, 2014.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos.** Brasília, DF, v. 9, safra 2021/221, n. 3º terceiro levantamento, 2021.

CORADI, P. C.; MILANE, L. V.; CAMILO, L. J.; PRADO, R. L. F.; FERNANDES, T. C. Qualidade de grãos de soja armazenados em baixas temperaturas. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v.9, n.3, p.197-208, 2015.

CORADI, P.C.; FERNANDES, C.H.P.; HELMICH, J.C.; GONELI, A.L.D. Effects of drying air temperature and grain initial moisture content on soybean quality (*Glycine max* L. Merrill). **Engenharia Agrícola**, v.36, n.5, p.866 – 876, 2016.

CORADI, P. C.; MÜLLER, A.; SOUZA, G. A.; STEINHAUS, J. I.; WAGNER, R. Quality of soybean cultivars in the drying and storage processes in real scale and experimental. **Journal of Food Process Engineering**, v.43, e13418, p.1-11, 2020.

CORRÊA, C. R.; LI, L.; ALDINI, G.; CARINI, M.; OLIVER CHEN, C. Y.; CHUN, H.K.; ... YEUM, K.J. Composition and stability of phytochemicals in five varieties of black soybeans (*Glycine max*). **Food Chemistry**, v.123, p.1176-1184, 2010.

DEMITO, A.; ZIEGLER, V.; GOEBEL, J. T. S.; KONOPATZKI, E. A.; COELHO, S. R. M.; ELIAS, M.C. Effects of refrigeration on biochemical, digestibility, and technological parameters of carioca beans during storage. **Journal of Food Biochemistry**, v.43, n.7, p.e12900, 2019.

GONZALES, H. B.; ARMSTRONG, P. R.; MAGHIRANG, R. G. Simultaneous monitoring o/f stored grain with relative humidity, temperature, and carbon dioxide sensors. **Applied Engineering in Agriculture**, v.25, n.4, p.595-604, 2009.

HOGLAND, W.; BRAMRYD, T.; PERSSON, I. Physical, biological and chemical effects of unsorted fractions of industrial solid waste in waste fuel storage. **Waste Management & Research**, v.14, n.2, p.197-210, 1996.

HOLSE, M.; SKOV, T.; HANSEN, Å. Oxidative storage stability of roasted marama beans (*tylosema esculentum*). **Food Research International**, v.47, p.385-391, 2012.

HOU, H. J.; CHANG, K. C. Storage conditions affect soybean color, chemical composition and tofu qualities. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.28, n.6, p.473-488, 2004.

HROMADKA, J.; TOKAY, B.; CORREIA, R.; MORGAN, S. P.; KORPOSH, S. Carbon dioxide measurements using long period grating optical fibre sensor coated with metal organic framework HKUST-1. **Sensors and Actuators B: Chemical**, v.255, p.2483-2494, 2018.

HUANG, H.; DANAÓ, M. G. C.; RAUSCH, K. D.; SINGH, V. Diffusion and production of carbon dioxide in bulk corn at various temperatures and moisture contents. **Journal of Stored Products Research**, v.55, p.21–26, 2013.

ILELEJI, K. E.; MAIER, D. E.; BHAT, C.; WOLOSHUK, C. P. Detection of a developing hot spot in stored corn with a CO<sub>2</sub> sensor. **Applied Engineering in Agriculture**, v.22, n.2, p.275-289, 2006.

JIAN, F.; CHELLADURAI, V.; JAYAS, D. S.; DEMIANYK, C. J.; WHITE, N. D. G. Interstitial concentrations of carbon dioxide and oxygen in stored canola, soybean, and wheat seeds under various conditions. **Journal of stored products research**, v.57, p.63-72, 2014.

JIAN, F.; JAYAS, D. S.; HAGSTRUM, D. W.; PHILLIPS, T. W.; CUPERUS, G. Temperature monitoring. **Stored product protection**, p.271-281, 2012.

JOHANSSON, S.; WADSO, L.; SANDIN, K. Estimation of mould growth levels on rendered façades based on surface relative humidity and surface temperature measurements. **Build. Environ.** n.45, p.1153-1160, 2010.

JUODEIKIENE, G.; BASINSKIENE, L.; VIDMANTIENE, D.; BARTKIENE, E.; BAKUTIS, B.; BALIUKONIENE, V. Acoustic sensing of deoxynivalenol in co-occurrence /with zearalenone and T-2/HT-2 toxin in winter wheat cultivar Sirvinta from Lithuania. **World Mycotoxin Journal**, v.4, n.4, p.395-404, 2011.

KALETA, A.; GÓRNICKI, K. Criteria of determination of safe grain storage time-a review. **Advances in Agrophysical Research**, p.295-318, 2013.

KAUSHIK, R.; SINGHAI, J. An approach for the development of a sensing system to monitor contamination in stored grain. **In: 2019 6th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN)**. IEEE, p. 880-884, 2019.

KONG, F.; CHANG, S. K. C. Statistical and kinetic studies of the changes in soybean quality during storage as related to soymilk and tofu making. **Journal of Food Science**, v.74, n.2, p.81-89, 2009.

LEE, J. H.; CHO, K. M. Changes occurring in compositional components of black soybeans maintained at room temperature for different storage periods. **Food Chemistry**, v.1, n.131, p.161–169, 2012.

- LIU, Z.; CHANG, S. K. C. Optimal coagulant concentration, soymilk and tofu quality as affected by a short-term model storage of Proto soybeans. **Journal of food processing and preservation**, v.32, n.1, p.39-59, 2008.
- LOPES, D. C.; NETO, A. J. S. Effects of climate change on the aeration of stored beans in Minas Gerais State, Brazil. **Biosystems Engineering**, v.188, p.155-164, 2019.
- LOPES, D. C.; NETO, A. J. S. Modeling the dry matter loss of coffee beans under different storage conditions. **Journal of Stored Products Research**, v.88, p.101669, 2020.
- MAIER, D. E.; CHANNAIAH, L. H.; MARTINEZ-KAWAS, A.; LAWRENCE, J.; CHAVES, E.V.; CORADI, P.C.; FROMME, G.A. Monitoring carbon dioxide concentration for early detection of spoilage in stored grain. **Julius-Kühn-Archiv**, v.425, p.505, 2010.
- MONTROSS, M. D.; MAIER, D. E.; HAGHIGHI, K. Development of a finite–element stored grain ecosystem model. **Transactions of the ASAE**, v.45, n.5, p.1455, 2002.
- MORENO, M. E.; JIMENEZ, A. S.; VAZQUEZ, M. E. Hermetic storage system preventing the proliferation of *Prostephanus truncatus* Horn and storage fungi in maize with different moisture contents. **Postharvest Biology and Technology**, Pullman, v.39, p.321-326, 2006.
- MUIR, W. E.; WATERER, D.; SINHA, R. N. Carbon dioxide as an early indicator of stored cereal and oilseed spoilage. **Transactions of the ASAE**, v.28, p.1673-1675, 1985.
- NEETHIRAJAN, S.; FREUND, M. S.; JAYAS, D. S.; SHAFAI, C.; THOMSON, D. J.; WHITE, N. D. G. Development of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) sensor for grain quality monitoring. **Biosystems engineering**, v.106, n.4, p.395-404, 2010.
- OCHANDIO, D.; BARTOSIK, R.; GASTÓN, A.; ABALONE, R.; BARRETO, A. A.; YOMMI, A. Modelling respiration rate of soybean seeds (*Glycine max* (L.)) in hermetic storage. **Journal of Stored Products Research**, v.74, p.36-45, 2017.
- ORDOÑEZ, J.A. **Tecnología de Alimentos**. 294p. Porto Alegre: Artmed, 2005.
- PARK, C. E.; KIM, Y. S.; PARK, K. J.; KIM, B. K. Changes in physicochemical characteristics of rice during storage at different temperatures. **Journal of Stored Products Research**, v.48, n.2, p.25-29, 2012.
- PÉREZ-GARCÍA, F.; GONZÁLEZ-BENITO, M. E. Seed germination of five *Helianthemum* species: Effect of temperature and presowing treatments. **Journal of Arid Environments**, v.65, n.4, p.688-693, 2006.
- POHNDORF, R. S.; MENEGHETTI, V. L.; PAIVA, F. F.; DE OLIVEIRA, M.; ELIAS, M. C. Kinetic evaluation of oxidative stability and physical degradation of soybean grains stored at different conditions. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.42, n.10, 2018a.
- PORTELL, X.; VERHEECKE-VAESSEN, C.; TORRELLES-RÀFALES, R.; MEDINA, A.; OTTEN, W.; MAGAN, N.; GARCÍA-CELA, E. Three-Dimensional Study of *F. graminearum*

Colonisation of Stored Wheat: Post-Harvest Growth Patterns, Dry Matter Losses and Mycotoxin Contamination. **Microorganisms**, v. 8, n. 8, p. 1170, 2020.

PURKAIT, B. S.; RAY, D.; SENGUPTA, S.; KAR, T.; MOHANTY, A.; MISRA, M. Insolation of Cellulose Nanoparticles from Sesame Husk. **Industrial Engineering Chemistry Research**. 2011.

RAUDIENĖ, E.; RUŠINSKAS, D.; BALČIŪNAS, G.; JUODEIKIENĖ, G.; GAILIUS, D. Carbon dioxide respiration rates in wheat at various temperatures and moisture contents. **Mapan**, v.32, n.1, p.51-58, 2017.

RIGUEIRA, R. J. H.; LACERDA FILHO, A. F. de; VOLK, M. B. S. Avaliação da qualidade do feijão armazenado em ambiente refrigerado. **Alimentos e Nutrição**. v.20, n.4, p.649-655, 2009.

RODRIGUES, J. I. S.; ARRUDA, K. M. A.; PIOVESAN, N. D.; BARROS, E. G.; MOREIRA, M. A. Selection of progenitors for increase in oil content in soybean. **Ceres Journal**, n.63, v.5, p.661–667, 2016.

SENAR. **Grãos: classificação de soja e milho**. Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. Brasília, 152 p. 2017.

SILVA, A. B. P.; DANAIO, M. G. C.; GATES, R. S.; RAUSCH, K. D. Dry matter loss and chemical changes to soybeans at 14, 18, and 22% moisture and 30° C measured in a dynamic grain respiration system. In: **2018 ASABE Annual International Meeting**. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2018. p. 1.

SINGH, D.; MUIR, W. E.; SINHA, R. N. Finite elemento modeling of carbon dioxide diffusion in stored wheat. **Canadian Agricultural Engineering**, v.25, n.1, p.149-152, 1983.

SINGH, C. B.; FIELKE, J. M. Recent developments in stored grain sensors, monitoring and management technology. **IEEE Instrumentation & Measurement Magazine**, v.20, n.3, p.32-55, 2017.

SMITH, E. A.; SOKHANSANJ, S. Moisture transport caused by natural convection in grain stores. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 47, p. 23-34, 1990.

SOROUR, H.; UCHINO, T. Effect of changing temperature on the deterioration of soya beans. **Biosystems engineering**, v. 87, n. 4, p. 453-462, 2004.

SUBROT PANIGRAHI, S.; SINGH, C. B.; FIELKE, J.; ZARE, D. Modeling of heat and mass transfer within the grain storage ecosystem using numerical methods: A review. **Drying Technology**, v.38, n.13, p.1677-1697, 2020.

SULEIMAN, R.; BERN, C. J.; BRUMM, T. J.; ROSENTRATER, K. A. Impact of moisture content and maize weevils on maize quality during hermetic and non-hermetic storage. **Journal of Stored Products Research**, v.78, p.1-10, 2018.



TAHER, H.I.; URCOLA, H.A.; CENDOYA, M.G.; BARTOSIK, R.E. Predicting soybean losses using carbon dioxide monitoring during storage in silo bags. **Journal of Stored Products Research**, v.82, p.1-8, 2019.

TEFERA, T.; KANAMPIU, F.; GROOTE, H.; HELLIN, J.; MUGO, S.; KIMENJU, S.; BEYENE, Y.; BODDUPALLI, P. M.; SHIFERAW, B.; BANZIGER, M. The metal silo: An effective grain storage technology for reducing post-harvest insect and pathogen losses in maize while improving smallholder farmers' food security in developing countries. **Crop Protection**, v.30, n.3, p.240-245, 2011.

YANG, W.; LIU, H.-D., LI, X.; SHAO, C.; HAO, M.; JIANG, Y. Changes in the Quality of Soybean during Warehouse Storage. **Advanced Materials Research**, v.912-914, p.1982-1985, 2014.

ZHANG, S.; ZHAI, H.; HUANG, S.; CAI, J. A site-directed CO<sub>2</sub> detection method for monitoring the spoilage of stored grains by insects and fungi in chinese horizontal warehouses. **Journal of Stored Products Research**, v.59, p.146-151, 2014.

ZHAI, H. C.; ZHANG, S. B.; HUANG, S. X.; CAI, J. P. Prevention of toxigenic fungal growth in stored grains by carbon dioxide detection. **Food Additives & Contaminants: Part A**, v.32, n.4, p.596-603, 2015.

ZIEGLER, V.; FERREIRA, C. D.; VANIER, N. L.; DOS SANTOS, M. A. Z.; DE OLIVEIRA, M.; ELIAS, M. C. Physicochemical and technological properties of soybean as a function of storage conditions. **Brazilian Journal of Food Research**, v. 7, n. 3, p. 117-132, 2016a.

ZIEGLER, V.; VANIER, N. L.; FERREIRA, C. D.; PARAGINSKI, R. T.; MONKS, J. L. F.; ELIAS, M. C. Changes in the bioactive compounds content of soybean as a function of grain moisture content and temperature during long-term storage. **Journal of Food Science**, v.81, n.3, p.H762-H768, 2016c.