



## ARTIGOS TECNOLÓGICOS

# MONITORAMENTO DOS NÍVEIS DE CO<sub>2</sub> PARA O MANEJO DA QUALIDADE DOS GRÃOS EM SILOS HORIZONTAIS E ESPAÇOS CONFINADOS EM UNIDADES ARMazenADORAS



INSTITUTO FEDERAL  
Goiano

# **MONITORAMENTO DOS NÍVEIS DE CO<sub>2</sub> PARA O MANEJO DA QUALIDADE DOS GRÃOS EM SILOS HORIZONTAIS E ESPAÇOS CONFINADOS EM UNIDADES ARMAZENADORAS**

Jaqueline Ferreira Vieira Bessa, Jacson Zuchi, Diene Gonçalves Souza, Osvaldo Resende, Elivânio dos Santos Rosa, José Ronaldo Quirino, Geraldo Acácio Mabasso.

**Resumo:** Os grãos são organismos vivos que respiram para manutenção do seu metabolismo e existe relação entre a atividade biológica que ocorre na massa de grãos e a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera intergranular. Como o monitoramento da qualidade de grãos no Brasil, grande parte dos sistemas de armazenagem de grãos ainda utiliza cabos termopares, que permitem apenas a medição da temperatura do produto. Assim, o objetivo neste trabalho foi monitorar e avaliar os níveis de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) no interior de diferentes tipos de silos de armazenagem de grãos e associar ao manejo da qualidade do produto durante o armazenamento. Foram realizados diversos experimentos e uma série de avaliações em situações controladas (silos protótipos) e em escala real (silos horizontais). O desenvolvimento do projeto também possibilitou a elaboração de artigos científicos publicados em periódicos de elevado impacto e o avanço no estado da arte sobre o tema e forneceu diversas informações que possibilitaram correlacionar os níveis de CO<sub>2</sub> com a qualidade dos grãos durante o armazenamento. O monitoramento contínuo da concentração de CO<sub>2</sub> tem se mostrado uma ferramenta tecnológica eficaz para a detecção precoce de processos de degradação metabólica. Além disso, a integração de um sistema de monitoramento em tempo real dos níveis de CO<sub>2</sub> potencializa o controle das condições de armazenamento, permitindo ações corretivas mais rápidas e eficazes, contribuindo significativamente para a preservação da qualidade dos grãos e a redução de perdas.

**Palavras-chave:** Teor de água; Degradação; Quebra-técnica.

## **1. Introdução**

A execução do projeto “Monitoramento dos níveis de CO<sub>2</sub> para o manejo da qualidade dos grãos em silos horizontais e espaços confinados em unidades armazenadoras” foi uma experiência engrandecedora e ao mesmo tempo desafiadora. Foram realizados diversos experimentos e uma série de avaliações em situações controladas (silos protótipos) e em escala real (silos horizontais). Isto também impulsionou a interação entre discentes dos diferentes níveis de ensino e aprendizado em massa, interação com os colaboradores da empresa privada, a qual cedeu material biológico e o espaço para desenvolvimento da pesquisa, além da interação com armazenistas da região em que a pesquisa foi desenvolvida.

O monitoramento dos níveis de CO<sub>2</sub> durante o armazenamento de grãos configura-se como uma estratégia promissora para a modernização do setor de armazenagem. E a implementação de sensores e sistemas automatizados de controle de CO<sub>2</sub> representa uma solução tecnológica eficiente, que contribui para o aprimoramento da gestão do armazenamento, promovendo a conservação da qualidade dos grãos e a redução das perdas pós-colheita.

Assim, objetivou-se quantificar os níveis de CO<sub>2</sub> na atmosfera intergranular produzidos por grãos armazenados nas diferentes condições em silo protótipo, com diferentes teores de água iniciais, avaliar o tempo de armazenagem seguro e as mudanças químicas e biológicas ocorridas nos grãos, no decorrer do período de armazenamento.

## **2. Contexto do problema**

O Brasil é um dos maiores produtores de grãos do mundo, e vem aumentando a cada ano sua safra. Contudo, as perdas pós-colheita, especialmente durante o armazenamento, continuam sendo um grande desafio. A respiração dos grãos, que continua após a colheita, é um dos principais processos responsáveis pela deterioração. A atividade biológica, associada à respiração libera CO<sub>2</sub> e umidade, criando condições favoráveis ao crescimento microbiano (Garcia-Cela et al., 2020).

A relação entre a atividade biológica que ocorre na massa de grãos a granel e a concentração de CO<sub>2</sub> no ar intersticial do grão armazenado tem sido o foco de estudo de muitos pesquisadores em busca de um sistema de monitoramento de grãos aprimorados e precisos, com potencial para detecção precoce de sinais de deterioração de grãos (GARCIA-CELA et al., 2018; RAUDIENĖ et al., 2017; TAHER et al., 2019). A respiração está diretamente relacionada a deterioração dos grãos, pois envolve a oxidação dos constituintes de reserva dos grãos, liberando CO<sub>2</sub>, água e calor. E quanto mais intensos forem os processos respiratórios, maior será a geração de CO<sub>2</sub> no ambiente de armazenamento.

O teor de água inicial dos grãos exerce influência direta sobre sua estabilidade durante o armazenamento, sendo que níveis elevados de umidade os tornam mais suscetíveis à deterioração. Esse processo está associado ao aumento da atividade respiratória, resultando em maior emissão de CO<sub>2</sub>, degradação de compostos bioativos e aumento da quebra técnica.

A maioria dos sistemas de armazenagem de grãos no Brasil ainda utiliza cabos termopares, que medem apenas a temperatura. Desde 2020, estudos com sensores digitais têm avançado, permitindo a medição simultânea da temperatura e da umidade relativa em vários pontos. Essa tecnologia aumenta os pontos de controle e melhora significativamente o monitoramento das condições de armazenagem.

Atualmente, avaliar os níveis de CO<sub>2</sub> durante o período de armazenamento dos grãos se mostra promissor para modernizar o ramo da armazenagem. Por isso é possível realizar o monitoramento da qualidade dos grãos, mensurando a produção de CO<sub>2</sub>, durante o armazenamento e utilizar os dados obtidos durante o monitoramento, para auxiliar a tomada de decisão, sobre onde há risco de perda e deterioração dos grãos armazenados.

### **3. Diagnóstico do problema**

Pesquisas conduzidas nas Universidades de Purdue, Estatal de Kansas e Estatal de Iowa, nos Estados Unidos, bem como, pelo INTA na Argentina, mostram que a detecção de CO<sub>2</sub>, durante o processo respiratório, pode ser utilizada com grande eficácia para monitorizar a qualidade dos grãos armazenados e detectar precocemente o início da deterioração (MAYER, 2016).

Nesse sentido, a temperatura da massa de grãos se eleva, quando os grãos começam a se deteriorar e o início deste processo é observado na elevação dos níveis de CO<sub>2</sub>, antes mesmo da elevação significativa da temperatura, ou até mesmo a presença de microrganismos(exemplos: insetos, fungos e bactérias) na massa de grãos é detectada com o aumento das taxas respiratórias. Com os sensores de CO<sub>2</sub> instalados em diversos pontos nos armazéns das unidades armazenadoras ou em espaços confinados, é possível prever a deterioração em pequenos focos e ter uma tomada de decisão em relação ao destino dos grãos ou prevenção da degradação.

Durante o processo respiratório, compostos orgânicos como açúcares e amidos são consumidos, contribuindo diretamente para a perda de massa dos grãos. O aumento na concentração de CO<sub>2</sub> indica uma intensificação dessa atividade respiratória. Como consequência, a perda de massa torna-se proporcional ao tempo de armazenamento, evidenciando uma relação direta entre a taxa respiratória, a emissão de CO<sub>2</sub> e a deterioração dos grãos.

Fleurat-Lessard (2017) enfatizou a necessidade de um sistema de monitoramento preciso e confiável para detecção precoce de atividades respiratórias, em grãos para obter um gerenciamento eficaz dos riscos de deterioração em grãos armazenados. O monitoramento de CO<sub>2</sub> pode contribuir como ferramenta operacional para manter a qualidade dos grãos armazenados ao longo do ano e antecipar a tomada de decisão, por parte dos gerentes das unidades armazenadoras.

#### **4. Proposta da solução do problema**

Segundo Vanier (2021), a eficiência do CO<sub>2</sub> para monitorar a sanidade e a qualidade dos grãos armazenados está atrelado ao fato de a respiração ser processo relacionado à deterioração e oxidação das reservas dos grãos, liberando CO<sub>2</sub>, água e calor. Deste modo, quanto mais intensos forem os processos respiratórios, tanto de grãos como de organismos associados, maior será a geração de CO<sub>2</sub> no ambiente de armazenamento.

Informações da literatura apontam que picos de CO<sub>2</sub> são detectados de 3 a 5 semanas antes que os sensores de termometria acusem elevação de temperatura. Isso permite que ações de manejo, como a aeração, a movimentação da massa de grãos ou o expurgo, sejam realizadas de forma precoce, minimizando a "quebra técnica" e o risco de deterioração dos grãos (VANIER, 2021). Os sensores de detecção de CO<sub>2</sub> estão disponíveis no mercado, em países como Estados Unidos e Argentina, que permitem medir a quantidade de gás emitida durante o processo de respiração de grãos armazenados para a detecção de sua deterioração precoce. No Brasil, já existem empresas do setor como a Garten Automatiom, Procer Agroateligiência, entre outras, que buscam o desenvolvimento de equipamentos, sistemas e sensores de CO<sub>2</sub>, para auxiliar no monitoramento de grãos armazenados.

O projeto com protótipos de silos para armazenar grãos de diferentes teores de água teve como objetivo monitorar os níveis de CO<sub>2</sub>, correlacionando à qualidade dos grãos. O experimento foi realizado no Laboratório de Pós-Colheita de Produtos Vegetais, IF Goiano Campus Rio Verde – GO. E, posteriormente em silos nas unidades armazenadoras parceiras, com o intuito de correlacionar os níveis de CO<sub>2</sub> com a integridade dos grãos, por meio de análises químicas e físicas que são utilizadas para determinar a qualidade dos grão

## **5. Plano de ações da mudança**

Para a implantação de sensores de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) nas unidades armazenadoras, é necessário, inicialmente, adquirir os equipamentos e realizar a montagem da infraestrutura elétrica, necessária para a instalação dos sensores. Também é essencial contar com profissionais qualificados, capazes de monitorar os dados coletados e interpretar corretamente os níveis de  $\text{CO}_2$ , a fim de identificar o momento ideal para iniciar a aeração ou a transilagem dos grãos armazenados, com base nas concentrações observadas. Além disso, a integração de um sistema de monitoramento em tempo real dos níveis de  $\text{CO}_2$  potencializa o controle das condições de armazenamento, o que permite ações corretivas mais rápidas e eficazes, contribuindo, significativamente para a preservação da qualidade dos grãos e a redução de perdas.

Como é uma tecnologia que está sendo desenvolvida e aprimorada recentemente, ainda são necessárias mais pesquisas para implantação em escala comercial. Trabalhos continuam sendo desenvolvidos, aprimorando detalhes relacionados à quantidade e posições de sensores necessários para ter uma maior precisão no monitoramento dos níveis de  $\text{CO}_2$ , nos silos em escala real, e espera-se nos próximos anos que se tenha maiores estudos nestas informações.

## **6. Conclusões e contribuições**

Os grãos de soja armazenados, inicialmente, com 16% (bu) de teor água apresentaram maiores perdas associadas à maiores emissões dos níveis de  $\text{CO}_2$ . Os teores de água, proteína, lipídios, germinação e cor reduziram ao longo do tempo, resultando na perda de qualidade dos grãos e o aumento na emissão de  $\text{CO}_2$ , na atmosfera interna do silo, o que sinaliza o início da deterioração dos grãos. O monitoramento dos níveis de  $\text{CO}_2$  é uma ferramenta que se apresentou importante e de grande utilidade para ser inserida no armazenamento de grãos, pois possibilita notar alterações na massa de grãos, antes mesmo do aumento da temperatura e umidade relativa neste período.

O monitoramento contínuo da concentração de  $\text{CO}_2$  tem se mostrado uma ferramenta tecnológica eficaz para a detecção precoce de processos de degradação metabólica. A utilização de sensores permite o acompanhamento em tempo real da atividade respiratória dos grãos, possibilitando a adoção de medidas corretivas de forma ágil, como a aeração ou a transilagem, minimizando as perdas pós-colheita.

A integração dessa tecnologia aos sistemas de armazenagem contribui significativamente para a preservação da qualidade dos grãos e para o aumento da eficiência operacional ao longo da cadeia produtiva. O desenvolvimento do projeto também possibilitou a publicação de artigos

científicos em periódicos renomados, como SOUZA et. al. (2024) e SOUZA et. al. (2023) e geração de monografia, dissertação e tese.

## Referências

- GARCIA-CELA, E. et al. Carbon dioxide production as an indicator of *Aspergillus flavus* colonization and aflatoxins/cyclopiazonic acid contamination in shelled peanuts stored under different interacting abiotic factors. *Fungal Biology*, v. 124, n. 1, p. 1–7, 2020.
- GARCIA-CELA, E.; KIAITSI, E.; SULYOK, M. A.; MEDINA, N. *Fusarium graminearum* in stored wheat: use of CO<sub>2</sub> production to quantify dry matter losses and relate this to relative risks of zearalenone contamination under interacting environmental conditions. *Toxins*, v. 10, 2018.
- FLEURAT-LESSARD, F. Integrated management of the risks of stored grain spoilage by seedborne fungi and contamination by storage mould mycotoxins – an update. *Journal of Stored Products Research*, v. 71, p. 22-40, 2017.
- MAYER, D. Monitoring CO<sub>2</sub> in stored grain. *World Grain*, 2016. Disponível em: <https://www.world-grain.com/articles/10238-monitoring-co2-in-stored-grain>. Acesso em: 22 maio 2025.
- RAUDIENĖ, E.; RUŠINSKAS, D.; BALČIŪNAS, G.; JUODEIKIENĖ, G.; GAILIUS, D. Carbon dioxide respiration rates in wheat at various temperatures and moisture contents. *MAPAN - Journal of Metrology Society of India*, v. 32, p. 51-58, 2017.
- SOUZA, D. G.; RESENDE, O.; ZUCHI, J.; FERREIRA, P. V. A.; MABASSO, G. A. CO<sub>2</sub> monitoring associated with the quality of soybean grains stored in different moisture contents. *Ciência e Tecnologia de Alimentos (Online)*, v. 43, p. e29023-7, 2023.
- SOUZA, D. G.; RESENDE, O.; ZUCHI, J.; MABASSO, A. CO<sub>2</sub> levels, technical breakage and quality of maize grains stored under different conditions. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 28, p. e279894-8, 2024.
- 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.
- VANIER, N. L. Medição de CO<sub>2</sub> como ferramenta para auxiliar na redução da quebra técnica na armazenagem. *Planeta Arroz*, p. 41-43, 01 nov. 2021.