

INSTITUTO FEDERAL GOIANO – CÂMPUS URUTAÍ
BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE SECAGEM DE GRÃOS DE SOJA EM
SECADORES DE FLUXO CRUZADO E MISTO**

WISLEY FELIPE BORGES DA SILVA

URUTAÍ – GO
Agosto de 2024

WISLEY FELIPE BORGES DA SILVA

Trabalho de curso apresentado ao curso de Engenharia Agrícola do Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

Orientadora: Raiane Ferreira de Miranda

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/IF Goiano**

S586a Silva, Wisley Felipe Borges da.

Avaliação da eficiência de secagem de grãos de soja em secadores de fluxo cruzado e misto [manuscrito] / Wisley Felipe Borges da Silva. -- Urutaí, GO: IF Goiano, 2024.

30 fls.

Orientador: Dra. Raiane Ferreira de Miranda.

Monografia (Bacharelado em Engenharia Agrícola) – Instituto Federal Goiano, Campus Urutaí, 2024.

1. Agroindústria. 2. Pós-colheita. 3. Teor de umidade. I. Título. II. IF Goiano - Campus Urutaí.

CDU 664.71:633.34



TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO- CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Tese (doutorado) Dissertação | <input type="checkbox"/> Artigo científico |
| <input type="checkbox"/> (mestrado) Monografia | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro Livro |
| <input type="checkbox"/> (especialização) TCC | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |
| <input checked="" type="checkbox"/> (graduação) | <input type="checkbox"/> |

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Wisley Felipe Borges da Silva

Matrícula:

2019101200640287

Título do trabalho:

Avaliação da eficiência de secagem de grãos de soja em secadores de fluxo cruzado e misto

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano:

 / /

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não O

documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Urutá
Local

07 / 10 / 2024
Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO

Ata nº 123/2024 - DE-UR/CMPURT/IFGOIANO

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE
CURSO

Aos vinte e oito dias do mês de agosto de 2024, às 08 horas, reuniu-se a banca examinadora composta pelos docentes: Raiane Ferreira de Miranda (orientadora), Leandro Caixeta Salomão (membro), Maria Rosa Alferes da Silva (membro), para examinar o Trabalho de Curso intitulado <AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE SECAGEM DE GRÃOS DE SOJA EM SECADORES DE FLUXO CRUZADO E MISTO= do estudante WISLEY FELIPE BORGES DA SILVA, Matrícula nº 2019101200640287 do Curso de Engenharia Agrícola do IF Goiano – Campus Urutaí. A palavra foi concedida ao estudante para a apresentação oral do TC, houve arguição do candidato pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela APROVAÇÃO do estudante, com nota média 10,0. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora.

(Assinado Eletronicamente)

Raiane Ferreira de Miranda
Orientadora

(Assinado Eletronicamente)

Leandro Caixeta Salomão
Membro

(Assinado Eletronicamente)

Maria Rosa Alferes da Silva
Membro

Observação:

() O(a) estudante não compareceu à defesa do TC.

Documento assinado eletronicamente por:

- Leandro Caixeta Salomao, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 10/09/2024 11:24:03.
- Maria Rosa Alferes da Silva, PROF ENS BAS TEC TECNOLOGICO-SUBSTITUTO, em 03/09/2024 14:23:41.
- Raiane Ferreira de Miranda, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 02/09/2024 07:42:37.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 28/08/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 627582

Código de Autenticação: 4187250dfa



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Urutaí

Rodovia Geraldo Silva Nascimento, Km 2.5, SN, Zona Rural, URUTAÍ / GO, CEP 75790-000

(64) 3465-1900



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA GOIANO

Formulário 733/2024 - DE-UR/CMPURT/IFGOIANO

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE SECAGEM DE GRÃOS DE SOJA EM SECADORES DE FLUXO
CRUZADO E MISTO**

WISLEY FELIPE BORGES DA SILVA

Trabalho de curso apresentado ao curso de Engenharia Agrícola do Instituto Federal Goiano – Câmpus Urutaí, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

Defendido e aprovado pela Comissão Examinadora em: 28 / 08 / 2024.

Prof.(a) Dr^a. Raiane Ferreira de Miranda

Orientadora

Dr. Leandro Caixeta Salomão

Examinadora

Me. Maria Rosa Alferes da Silva

Examinadora

Documento assinado eletronicamente por:

- Leandro Caixeta Salomao, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 10/09/2024 11:23:19.
- Maria Rosa Alferes da Silva, PROF ENS BAS TEC TECNOLOGICO-SUBSTITUTO, em 03/09/2024 14:25:03.
- Raiane Ferreira de Miranda, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 02/09/2024 07:54:13.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 02/09/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 628768

Código de Autenticação: 84640a920f



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Urutaí

Rodovia Geraldo Silva Nascimento, Km 2.5, SN, Zona Rural, URUTAÍ / GO, CEP 75790-000

(64) 3465-1900

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, cuja força e o amor têm sido a base de todas as minhas conquistas. Vocês nunca mediram esforços para me proporcionar uma excelente educação e são exemplos de vida para mim. Sempre acreditaram e me deram o apoio necessário para perseguir meus sonhos e superar desafios. Esta realização é um reflexo do sacrifício e dedicação de vocês. Agradeço do fundo do coração por cada momento de incentivo e por serem as minhas maiores inspirações

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por me conceder saúde e segurança ao longo de toda essa jornada. Sua presença constante trouxe paz e aliviou minhas preocupações, além de me dar a força necessária para enfrentar e superar os desafios que surgiram.

Agradeço profundamente aos meus pais Marineide Borges de Santana e Welder Barbosa da Silva, e a minha irmã Emilly Cristine Borges da Silva, por todo, apoio, dedicação e compreensão oferecido. Vocês foram essenciais e contribuíram muito ao longo desta fase da minha vida.

Em especial, agradeço a minha sobrinha Manuela Borges Xavier (Padizerin), pelo amor incondicional e o carinho proporcionado. Sua presença, repleta de energias positivas é um lembrete constante da beleza das conexões genuínas e da importância da amizade verdadeira.

Gostaria também de expressar minha gratidão aos meus cachorros Thor e Torli, por a quase 10 anos fazerem parte da minha vida e serem companheiros fiéis que iluminam a minha vida com sua lealdade e alegria contagiante.

Sou imensamente grato a minha orientadora, Prof. Dr^a. Raiane Ferreira de Miranda, por toda ajuda prestada na elaboração deste trabalho, além do suporte e incentivo concedido nessa etapa de finalização da graduação.

Agradeço a todos os meus amigos, pelo companheirismo, pelas experiências e os momentos de risadas que marcaram essa jornada.

Meu sincero agradecimento à banca examinadora, composta pelos professores Leandro Caixeta Salomão e Maria Rosa Alferes da Silva, pelo tempo, dedicação e considerações na avaliação deste trabalho.

A toda equipe da Unidade de Beneficiamento de Grãos da Fazenda Pirapora, onde tive a oportunidade de realizar um estágio e conviver com profissionais capacitados, agradeço pela ajuda fornecida na aquisição das informações necessárias para a elaboração deste trabalho.

Por fim, gostaria de agradecer a todos os professores e funcionários do Instituto Federal Goiano Campus Urutaí que contribuíram de alguma forma no meu desenvolvimento como aluno e ser humano.

“Somos o que fazemos repetidamente. A excelência, então, não é um ato, mas um hábito.”

(Aristóteles).

RESUMO

Os processos de pós-colheita são essenciais para garantir a qualidade e preservação dos grãos. A etapa de secagem é particularmente vital, pois reduz o percentual de água contida nos grãos, evitando sua deterioração durante o período de armazenamento. Essa etapa pode ser realizada de forma natural ou artificial, sendo que a secagem artificial é subdividida em secagem a baixa e alta temperatura, esta última realizada por equipamentos conhecidos como secadores. Há diversos tipos de secadores, cada um operando de maneira específica e oferecendo resultados conforme suas características. Assim sendo, o objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de secagem de grãos de soja em secadores de fluxo cruzado e misto. O estudo foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com parcelas subdivididas e três repetições, constituídos dos tratamentos: Secadores (KW e GSI); Dias (8, 14, 15 e 17 de janeiro); Temperatura (80°C, 90°C e 100°C) e Período (Madruga, Tarde e Noite). Quanto a eficiência de secagem para os dias avaliados o secador de fluxo cruzado alcançou uma média de remoção de umidade de 6,25%, enquanto o secador de fluxo misto obteve uma média de 4,88%. Quanto ao período e temperatura de secagem, a eficiência do secador de fluxo cruzado foi de 5,75%, em comparação com 4,425% do secador de fluxo misto. Dessa forma, foi possível verificar que o secador de fluxo cruzado demonstrou maior eficiência de secagem em todas as avaliações. A partir disso, abre-se a possibilidade do desenvolvimento de futuras pesquisas acerca da eficiência energética e impacto ambiental dos equipamentos avaliados.

Palavras-chave: Agroindústria; Pós-colheita; Teor de umidade

ABSTRACT

Post-harvest processes are essential to ensure the quality and preservation of grains. The drying stage is particularly vital as it reduces the moisture content in the grains, preventing their deterioration during storage. This stage can be carried out naturally or artificially, with artificial drying being further subdivided into low and high-temperature drying, the latter performed by equipment known as dryers. There are various types of dryers, each operating in a specific manner and delivering results according to their characteristics. Thus, the objective of this study was to evaluate the drying efficiency of soybeans in cross-flow and mixed-flow dryers. The study was conducted in a completely randomized design with split plots and three replications, consisting of the following treatments: Dryers (KW and GSI); Days (January 8, 14, 15, and 17); Temperature (80°C, 90°C, and 100°C); and Period (Early Morning, Afternoon, and Night). Regarding drying efficiency for the evaluated days, the cross-flow dryer achieved an average moisture removal of 6.25%, while the mixed-flow dryer obtained an average of 4.88%. As for the drying period and temperature, the cross-flow dryer showed an efficiency of 5.75%, compared to 4.425% for the mixed-flow dryer. Therefore, it was possible to verify that the cross-flow dryer demonstrated greater drying efficiency in all evaluations. This opens the possibility for future research on the energy efficiency and environmental impact of the evaluated equipment.

Keywords: Agroindustry; Post-harvest; Moisture content

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação da movimentação da água durante a secagem.....	13
Figura 2: Fluxo de ar em secadores	16
Figura 3: Secador de leito fixo desenvolvido por pesquisadores da UFV	16
Figura 4: Fluxo de ar e grãos do secador com fluxo cruzado.....	17
Figura 5: Secador de fluxo contracorrente	18
Figura 6: Secador de fluxo concorrente	18
Figura 7: Secador de fluxo misto	19
Figura 8: Localização da fazenda	20
Figura 9: Local de coleta das amostras para determinar a umidade de entrada	21
Figura 10: Local de coleta das amostras para determinar a umidade de saída.....	21
Figura 11: Determinador de umidade	22
Figura 12: Valores de temperatura e evapotranspiração de referência durante o período de estudo.....	24
Figura 13: Valores de umidade e precipitação durante o período de estudo.....	24

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 Secagem de grãos	13
2.2 Formas de secagem de grãos.....	14
2.2.1 Secagem natural	14
2.2.2 Secagem artificial	15
2.3 Secagem de grãos em altas temperaturas.....	15
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	20
3.1 Local de estudo	20
3.2 Procedimentos de secagem e coleta de Dados	20
3.3 Descrição do Experimento.....	22
3.3.1 Avaliação 1: Eficiência de secagem por Dia	22
3.3.2 Avaliação 2: Eficiência de secagem por Período e Temperatura.....	22
3.4 Análise dados	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5. CONCLUSÃO	28
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

1. INTRODUÇÃO

Na safra 2023/2024, o Brasil deverá produzir 299,27 milhões de toneladas de grãos. A soja destaca-se como a principal cultura, com uma produção estimada em 147,34 milhões de toneladas. O estado do Mato Grosso se apresenta como o maior produtor, com 39,34 milhões de toneladas, consolidando sua posição de liderança na produção de soja no país (CONAB, 2024).

Embora a produção agrícola brasileira continue em ritmo acelerado, os processos de pós-colheita, que são fundamentais para a manutenção da qualidade e preservação dos grãos, não têm acompanhado esse crescimento, conforme apontado por Lorini et al. (2020), onde é exposto uma série de problemas, como, falta de infraestrutura adequada, estradas em mau estado, uma rede de transporte ineficiente e insuficiência da capacidade de secagem em relação ao volume de grãos colhidos. A atenção a essas etapas é essencial para minimizar perdas e maximizar o valor da produção. A secagem dos grãos, em particular, desempenha um papel crucial ao reduzir o teor de umidade, o que evita deteriorações e prolonga a vida útil do produto.

Entre as etapas da pós-colheita, a secagem dos grãos possui uma função vital ao reduzir o percentual de água contido nos grãos. Este processo envolve a transferência simultânea de calor e massa (umidade) entre o produto e o ar de secagem. A correta execução desse processo é essencial, pois a umidade deve ser removida de forma a garantir que o produto fique em equilíbrio com o ar do ambiente de armazenamento (SILVA, 2008), a partir disso, é possível obter uma redução de perdas por deterioração, aumento da durabilidade dos grãos armazenados, e a manutenção do valor nutricional, assegurando um produto final de alta qualidade e com maior valor de mercado.

De acordo com o autor supracitado, a secagem dos grãos pode ser realizada por métodos naturais ou artificiais. A secagem natural ocorre quando os grãos ficam na planta, ainda no campo, expostos ao sol e ao vento, permitindo que a umidade seja removida de forma gradual. No método artificial, os grãos são submetidos a processos manuais ou mecânicos que envolvem a passagem de ar na massa de grãos. Este método se divide em secagem a baixas temperaturas e secagem a altas temperaturas. A secagem a baixas temperaturas utiliza ar natural ou ar levemente aquecido, até 10°C acima da temperatura ambiente. Em contrapartida, a secagem a altas temperaturas envolve o aquecimento do ar a uma temperatura superior a 10°C acima da temperatura ambiente. Este processo é realizado por meio de equipamentos mecânicos conhecidos como secadores, que proporcionam uma secagem mais rápida e controlada dos grãos.

Os secadores podem ser classificados quanto ao fluxo do ar de secagem e a massa de grãos. Segundo Silva (2005), é possível classificar os secadores em leito fixo, fluxos cruzados, fluxos contracorrentes, fluxos concorrentes e fluxo misto. No trabalho de Martins; Franco e Oliveira (1999), destaca-se o secador de fluxo cruzado como sendo aquele em que, por gravidade, os grãos vão descendo através de chapas perfuradas em uma coluna e a secagem e o resfriamento ocorrem por meio de fluxo de ar perpendicular ao fluxo de grãos. E o secador de fluxo misto, também conhecido como secador do tipo cascata, é aquele em que as câmaras de secagem e resfriamento são constituídas por uma série de calhas em forma de “V” invertido, dispostas em linhas alternadas ou cruzadas dentro do corpo do secador. Neste tipo de secador os grãos são secados pela mistura de fluxos cruzados, concorrentes e contracorrentes

Além de remover o excesso de água dos grãos, a secagem é um método eficaz de conservação de alimentos. Conforme apontado por Oliveira; Rosa e Carvalho (2021), a secagem artificial propicia um melhor planejamento da colheita e emprego mais eficiente de equipamentos, ainda possibilita a antecipação da colheita, redução de perdas e preservação dos grãos. Com a constante evolução da produção de grãos no Brasil, a secagem se torna um fator essencial na composição dessa evolução. Silva (2008) aponta que, à medida que a produção agrícola aumenta, a importância da secagem artificial cresce ainda mais. No entanto, uma secagem inadequada pode gerar sérios problemas, como a deterioração da qualidade dos grãos, a perda de nutrientes e o aumento da susceptibilidade a pragas e doenças durante o armazenamento.

Diante do exposto, observa-se a variedade de métodos de secagem e a importância desse processo na produção agrícola. Brooker et al. (1992) e Elias; Oliveira e Vanier (2018) revelam que a variação do teor de umidade dos grãos ao longo do secador está relacionada a diferentes aspectos, principalmente ao fluxo de ar de secagem.

Nesse contexto, este estudo teve como objetivo avaliar a eficiência de secagem em relação à redução do teor de umidade dos grãos de soja proporcionada por um secador de fluxo cruzado da marca GSI e um secador de fluxo misto da fabricante Kepler Weber.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Secagem de grãos

A secagem de grãos é uma operação crucial no processo pós-colheita, desempenhando um papel fundamental na preservação da qualidade e segurança dos produtos. Os grãos, sendo produtos higroscópicos, podem repassar ou receber vapor de água do ar da atmosfera/do meio que estão inseridos. Durante a secagem, a umidade é removida através da movimentação da água, ocasionada pela diferença na pressão de vapor entre a superfície dos grãos e o ar ao seu redor (Figura 1). Se a pressão de vapor na superfície dos grãos (P_g) for superior à pressão de vapor do ar de secagem (P_{ar}), a secagem ocorrerá, pois, a água será deslocada para o ar. Caso contrário, se a pressão de vapor no ar for maior, o produto pode umedecer. Quando as pressões são iguais, estabelece-se um estado de equilíbrio higroscópico (SILVA, 2008).

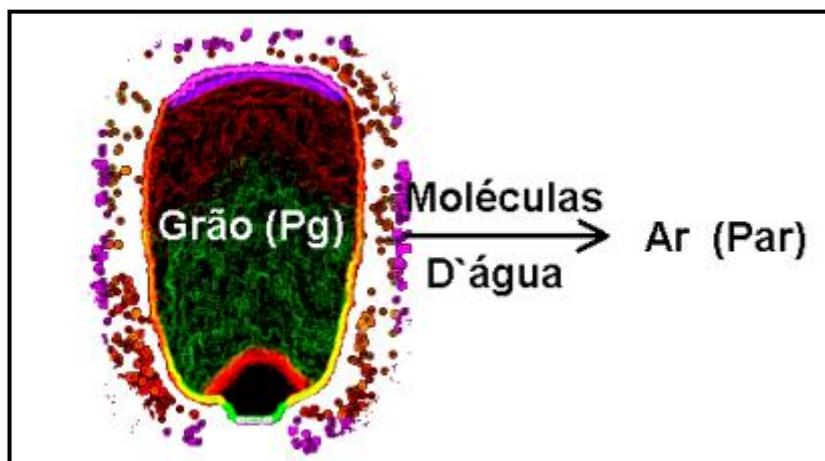


Figura 1: Representação da movimentação da água durante a secagem. Fonte (Silva, 2008).

De acordo com Doretto et al. (2003), a conservação das propriedades nutricionais dos grãos pode ser influenciada por diversos fatores, incluindo o ambiente, injúrias mecânicas, colheita precoce, ataques por agentes biológicos, contaminações e, principalmente, processos inadequados de secagem. Em condições de alta temperatura, podem ocorrer alterações nas propriedades físicas e químicas dos grãos, o que pode impactar o valor nutricional. Adicionalmente, o processo inadequado de secagem pode aumentar a quebra dos grãos, comprometendo sua integridade física. Além disso, a secagem inadequada, com umidade residual elevada, pode favorecer o crescimento de fungos (GUEDES et al., 2010).

Assim, a correta execução desse processo é essencial, pois a umidade deve ser removida de forma a garantir que o produto fique em equilíbrio com o ar do ambiente de armazenamento. Segundo Souza, Queiroz e Filho (2002), a secagem, como método de conservação de grãos, permite a preservação do produto em ambiente natural por um longo período de tempo. Para o armazenamento adequado da soja e visando preservar a qualidade dos grãos, é necessário secá-los até que sua umidade esteja abaixo de 13% (EMBRAPA, 2023). No material do SENAR (2016), é apontado que, para garantir o armazenamento seguro da soja por um período de um ano, o teor de água nos grãos após a secagem deve estar entre 11% e 12%.

Conforme apontado por Elias (2000), a secagem é uma operação frequentemente indispensável no pré-armazenamento, principalmente porque a umidade dos grãos na colheita geralmente excede o nível ideal para armazenamento. No entanto, secar os grãos até que a umidade fique abaixo de 11% pode levar a problemas, como aumento da quebra dos grãos durante o manuseio e processamento, resultando em perda de peso e qualidade, além de potencial redução do valor nutricional devido à maior fragilidade dos grãos. Elias (2000) também destaca que a secagem pode ser realizada de diferentes formas, dependendo das condições e das necessidades específicas.

2.2 Formas de secagem de grãos

A secagem é um processo crítico na conservação dos grãos, essencial para garantir a qualidade e a durabilidade dos produtos armazenados. De acordo com Silva (2008), a secagem de grãos pode ser realizada por métodos naturais ou artificiais, cada um com suas características e aplicações específicas.

2.2.1 Secagem natural

A secagem natural é definida por Oliveira; Rosa e Carvalho (2021) como o processo de secagem que ocorre através da exposição dos produtos ao vento e à energia solar, sem o uso de equipamentos especializados. Silva et al. (2012) descrevem a secagem natural como o processo em que a retirada de água dos grãos é realizada pelas ações combinadas do vento e da radiação solar, enquanto os grãos ainda estão no campo. Ambos os autores destacam que, embora a secagem natural seja uma técnica de baixo custo, ela depende fortemente das condições climáticas. Entre as desvantagens desse método estão os atrasos na colheita, que podem retardar operações posteriores, como o preparo do solo e o plantio de uma nova cultura. Além disso, a secagem natural aumenta a susceptibilidade ao ataque de pragas e fungos, o que pode afetar a qualidade dos grãos.

2.2.2 Secagem artificial

Na secagem artificial, os grãos passam por processos manuais ou mecânicos que envolvem a passagem de ar. Este método é dividido em secagem a baixas e altas temperaturas. A secagem a baixas temperaturas utiliza ar natural ou ar levemente aquecido, até 10°C acima da temperatura ambiente. Em contraste, a secagem a altas temperaturas aquece o ar a mais de 10°C acima da temperatura ambiente (Silva, 2008). Segundo Silva & Berbert (1999), a condução da secagem artificial pode envolver o uso de secadores com fornalhas para aquecer o ar, ventilação natural ou forçada por meio de ventiladores, e equipamentos para movimentação e/ou revolvimento dos grãos. Silva (2008) destaca que, entre os métodos de secagem artificial, a secagem a altas temperaturas é a mais rápida e não depende das condições climáticas locais.

Brooker et al. (1992); Elias (2000), e Oliveira, Rosa e Carvalho (2021) apontam que a secagem artificial oferece diversas vantagens. Ela possibilita um planejamento mais eficaz da colheita, proporciona flexibilidade nas estruturas de processamento e melhora o planejamento da rotação de culturas, otimizando o uso dos campos de produção. Além disso, a rapidez e o controle independente das condições climáticas são aspectos notáveis deste método. No entanto, as desvantagens incluem o elevado custo de energia e manutenção dos equipamentos, bem como o risco de danos térmicos aos grãos se o processo não for cuidadosamente monitorado.

2.3 Secagem de grãos em altas temperaturas

Segundo Carvalho (1994), neste tipo de secagem, o ar que insufla na massa de grãos é sempre aquecido, com o principal intuito de promover uma secagem mais rápida. Oliveira, Rosa e Carvalho (2021) explicam que, na secagem a altas temperaturas, o ar é continuamente aquecido durante todo o processo de secagem. Este método é amplamente utilizado por empresas, pois possibilita um maior controle da secagem, independentemente das condições ambientais, viabiliza a secagem de grandes volumes de grãos em menor tempo e permite a supervisão de todo o processo, desde a umidade inicial.

Silva & Berbert (1999) apontam que a secagem artificial a altas temperaturas apresenta bons resultados da eficiência de secagem. Eles ressaltam que a quantidade de água retirada dos grãos é condicionada pelo tipo de secador utilizado, assim como pela temperatura e umidade relativa do ar de secagem. Os secadores podem ser classificados quanto ao fluxo do ar de secagem e a massa de grãos. Segundo Silva (2005), é possível

classificar os secadores em leito fixo, fluxos cruzados, fluxos contracorrentes, fluxos concorrentes e fluxo misto (Figura 2).

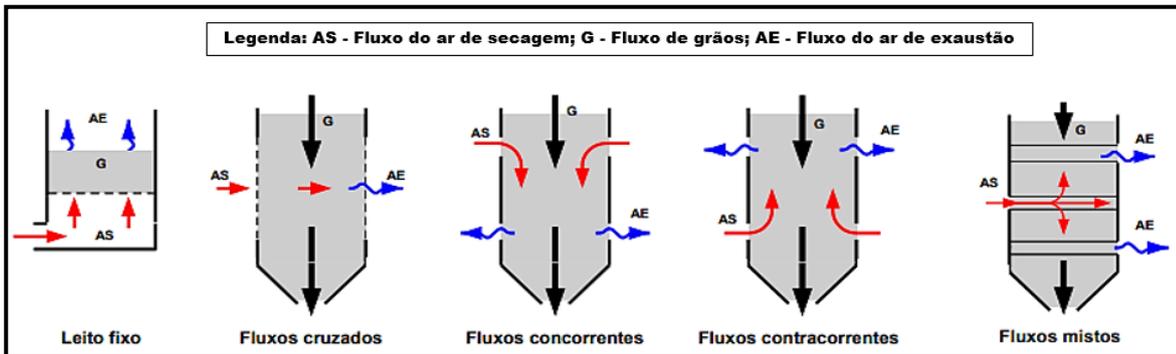


Figura 2: Fluxo de ar em secadores. Fonte (Silva, 2005).

Os secadores de leito fixo (Figura 3), são caracterizados pela ausência de movimentação dos grãos durante o processo de secagem, onde os grãos permanecem estáticos sobre um compartimento de fundo perfurado. O ar de secagem é insuflado por ventiladores através desta parte perfurada, passando pela massa de grãos. Devido à condição estática dos grãos, é necessário realizar o revolvimento dos mesmos em períodos pré-determinados. Este revolvimento geralmente é realizado por meio de revolvedores mecânicos, ou de forma manual com o auxílio de pás.

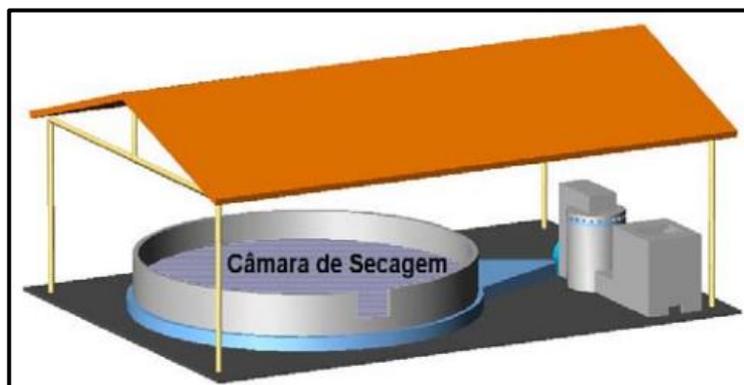


Figura 3: Secador de leito fixo desenvolvido por pesquisadores da UFV. Fonte: (Silva, 2008)

Nos secadores de fluxos cruzados (Figura 4), o produto se movimenta em sentido descendente através de colunas verticais construídas com chapas perfuradas, sendo submetido a um fluxo de ar que é perpendicular à camada do produto. Este equipamento oferece vantagens como alta capacidade de secagem e facilidade de manuseio e operação.

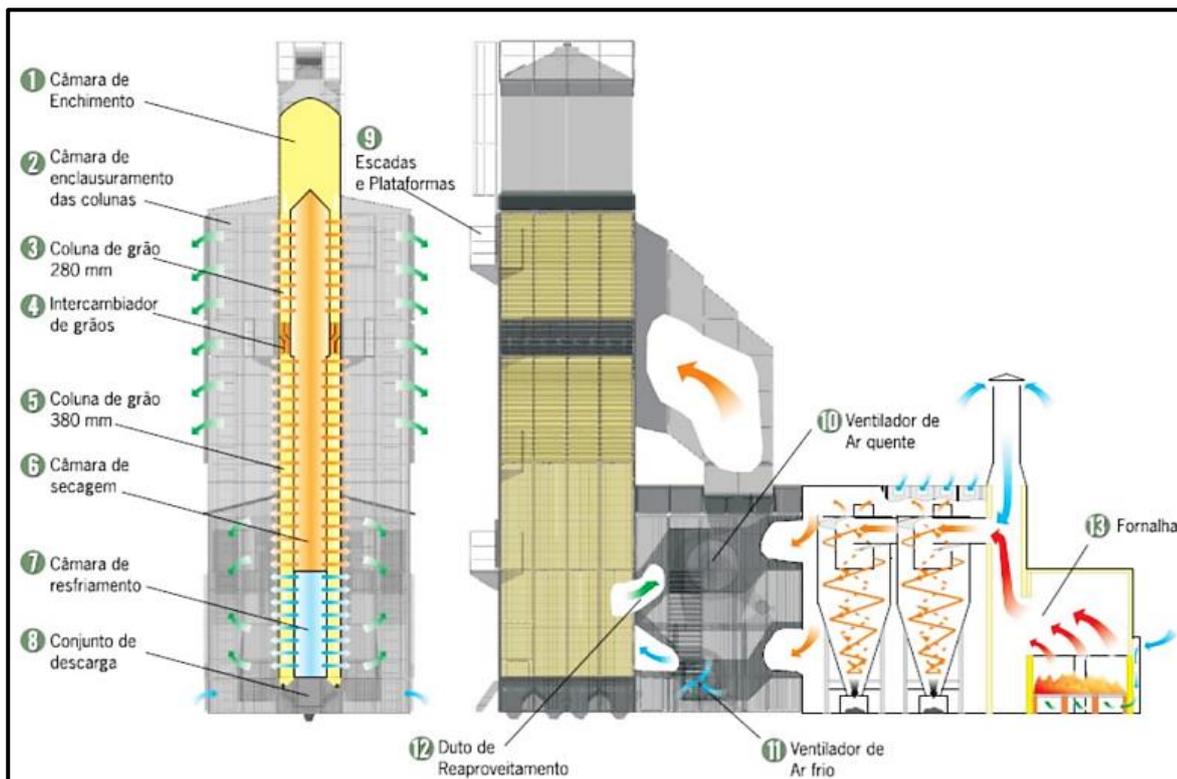


Figura 4: Fluxo de ar e grãos do secador com fluxo cruzado. Fonte: (Manual de operação secador Process Dryer, 2014)

Nos secadores de fluxos contracorrentes (Figura 5), os grãos e o ar de secagem movem-se em direções opostas: o fluxo de grãos é descendente, enquanto o ar é insuflado em sentido ascendente. A frente de secagem permanece próxima ao fundo perfurado do silo. À medida que a secagem avança, os grãos secos são transportados por um helicoidal que varre a seção transversal do silo, conduzindo-os para a parte superior ou para silos armazenadores. O sistema de movimentação é ativado por um termostato, colocado aproximadamente 0,5 m acima da chapa perfurada, que monitora o avanço da secagem e aciona a rotação dos grãos conforme necessário para alcançar a umidade final desejada.

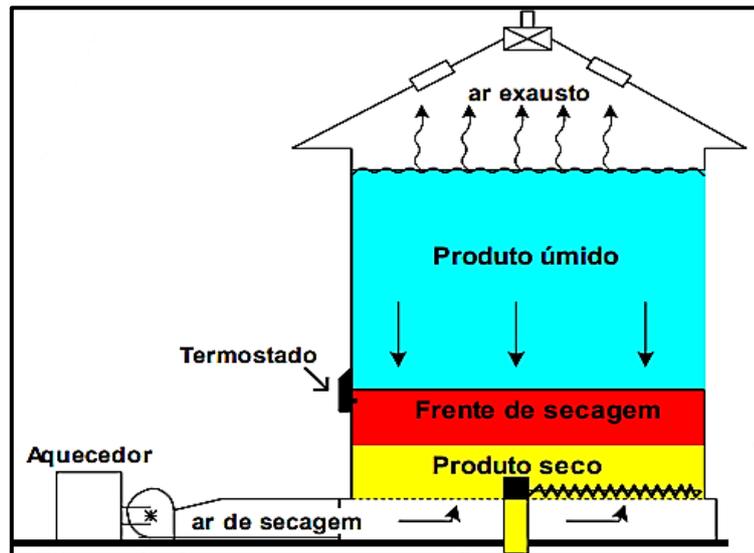


Figura 5: Secador de fluxo contracorrente. Fonte: (Silva, 2005)

Nos secadores de fluxos concorrentes (Figura 6), o ar aquecido e os grãos úmidos se movem na mesma direção dentro da câmara de secagem. Esses secadores proporcionam um tratamento uniforme aos grãos e são caracterizados por um fluxo intenso de ar com baixa pressão estática. Com poucas partes móveis e sem paredes perfuradas, eles demandam apenas limpezas periódicas e manutenção ocasional.

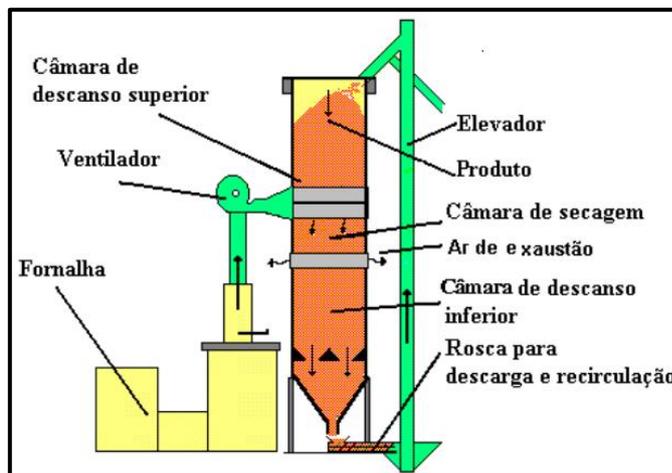


Figura 6: Secador de fluxo concorrente. Fonte: (Silva, 2008)

Os secadores de fluxo mistos (Figura 7), também conhecido como secador do tipo cascata, são estruturados com uma torre central composta por caixas dutos dispostos verticalmente, onde o ar de secagem entra por um duto e cruza a coluna do secador. Esse design permite simultaneamente fluxos de ar em sentidos concorrentes, contracorrentes e cruzados, com a intensidade do fluxo cruzado sendo relativamente menor em comparação aos fluxos concorrentes e contracorrentes. O nome "cascata" reflete o movimento da massa de grãos através dos dutos.

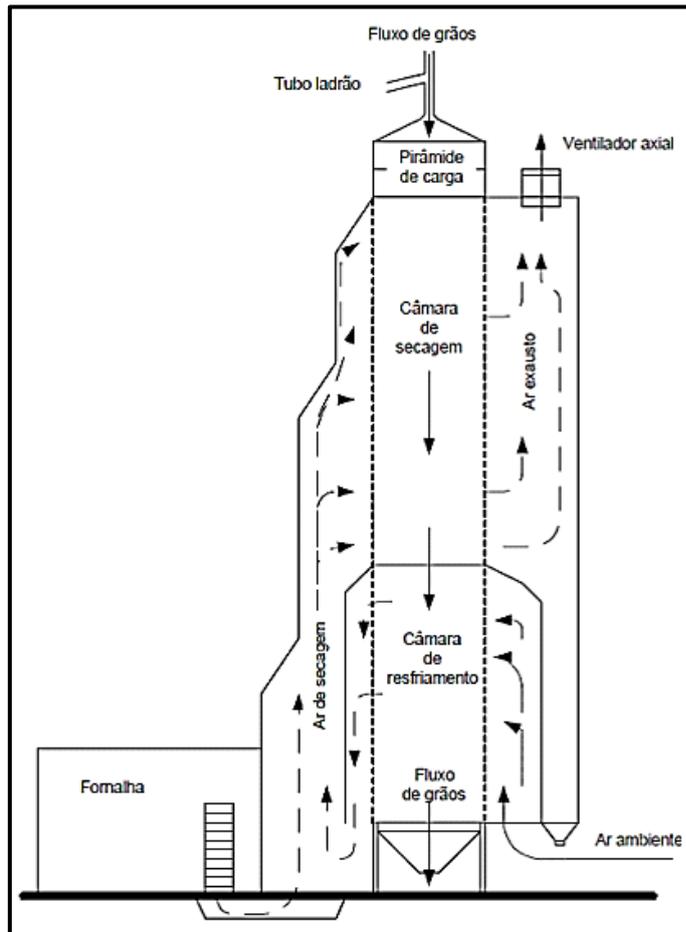


Figura 7: Secador de fluxo misto. Fonte: (Silva, 2005)

Os secadores de fluxo cruzado e fluxo misto apresentam diferentes vantagens e desvantagens. O secador de fluxo cruzado destaca-se pela facilidade de operação, alta capacidade de secagem e baixo custo inicial. No entanto, ele apresenta limitações, como alto consumo de energia, desuniformidade de secagem e maior risco de superaquecimento. Por outro lado, o secador de fluxo misto possui alta eficiência energética e capacidade. Contudo, esse modelo é de alto custo inicial e tem maior potencial de impacto ambiental (SILVA, 2008).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local de estudo

O presente trabalho foi desenvolvido no município de Santa Rita do Trivelato no estado de Mato Grosso (MT), na Unidade de Beneficiamento de Grãos - UBG da fazenda Pirapora ($14^{\circ}03'15''$ S, $(55^{\circ}23'00''$ O, e elevação de 535 m), dentro da safra de soja 2023/2024, no período 08 à 24 de Janeiro de 2024. A Unidade de Beneficiamento de Grãos é responsável por receber, processar e armazenar toda a produção de grãos da fazenda (Figura 8).



Figura 8: Localização da fazenda. Fonte: (Google Earth, 2024)

A aquisição dos dados referentes às condições climáticas durante o período de estudo foi realizada por meio de uma estação pluviométrica localizada na fazenda próxima a UBG, esta forneceu informações detalhadas sobre temperatura, evapotranspiração de referência, umidade e precipitação ao longo do experimento.

3.2 Procedimentos de secagem e coleta de Dados

No secador de fluxo cruzado, os grãos se movimentam em sentido descendente por meio de colunas verticais construídas em chapas perfuradas, submetidos a um fluxo de ar perpendicular à camada de produto. Já no secador de fluxo misto, o ar de secagem entra por um duto e cruza a coluna do secador, com fluxos de ar concorrente, contracorrente e cruzado ocorrendo simultaneamente.

A umidade de entrada dos grãos foi medida por meio da coleta de amostras em um compartimento localizado na saída da pré-limpeza (Figura 9). A umidade de saída foi determinada coletando-se amostras dos grãos na saída do secador, em um compartimento acoplado à rosca helicoidal que retira os grãos do secador (Figura 10). As amostras foram levadas até uma sala de medição, onde foi utilizado um medidor de umidade modelo G939 para determinar a umidade das amostras (Figura 11).



Figura 9: Local de coleta das amostras para determinar a umidade de entrada. Fonte: (Autor, 2024)



Figura 10: Local de coleta das amostras para determinar a umidade de saída. Fonte: (Autor, 2024)



Figura 11: Determinador de umidade. Fonte: (Autor, 2024)

3.3 Descrição do Experimento

O objetivo deste experimento foi analisar a eficiência de secagem de dois tipos de secadores: um secador de fluxo cruzado (GSI), modelo Process Dryer, instalado na unidade em 2015, e um secador de fluxo misto (KW), presente na unidade desde o início dos anos 2000. A eficiência de secagem foi medida pela diferença entre a umidade de entrada e saída dos grãos. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, avaliado no esquema de parcelas subdivididas, com dois tipos de avaliações para comparar a eficiência dos secadores.

3.3.1 Avaliação 1: Eficiência de secagem por Dia

Foram analisadas as médias das umidades de entrada e saída dos grãos nos secadores, e a diferença entre essas umidades (perda de teor de umidade) para os dias 8, 14, 15 e 17 de janeiro de 2024. Em cada dia, três repetições foram realizadas, e os valores de umidade de entrada e saída dos grãos foram coletados em intervalos de 15 minutos dentro dos horários mencionados.

- Primeira repetição: coleta de dados entre 13:00 e 17:00;
- Segunda repetição: coleta de dados entre 18:00 e 22:00;
- Terceira repetição: coleta de dados entre 23:00 e 03:00.

3.3.2 Avaliação 2: Eficiência de secagem por Período e Temperatura

Foram analisados os valores das umidades de entrada e saída dos grãos nos secadores, e a diferença entre essas umidades em função do período e da temperatura de secagem, em que cada condição foram realizadas quatro repetições. As condições avaliadas foram:

-Período de Secagem:

- Madrugada: coleta de dados às 02:00;
- Noite: coleta de dados às 20:00;
- Tarde: coleta de dados às 14:00.

-Temperatura de Secagem:

- 80°C (utilizada no período da tarde);
- 90°C (utilizada no período da madrugada);
- 100°C (utilizada no período da noite).

3.4 Análise dados

Os dados de umidade de entrada e saída dos grãos foram coletados utilizando o medidor de umidade padrão mencionado (Figura 11). Na primeira avaliação, as coletas foram realizadas em intervalos de 15 minutos dentro dos horários expostos, já na segunda avaliação, os dados foram coletados em horários pré-determinados. Os dados foram submetidos a análise de variância e os tratamentos comparados pelo teste de média de Tukey a 5% de significância.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As condições climáticas para o período de estudo estão apresentadas nas Figuras 12 e 13.

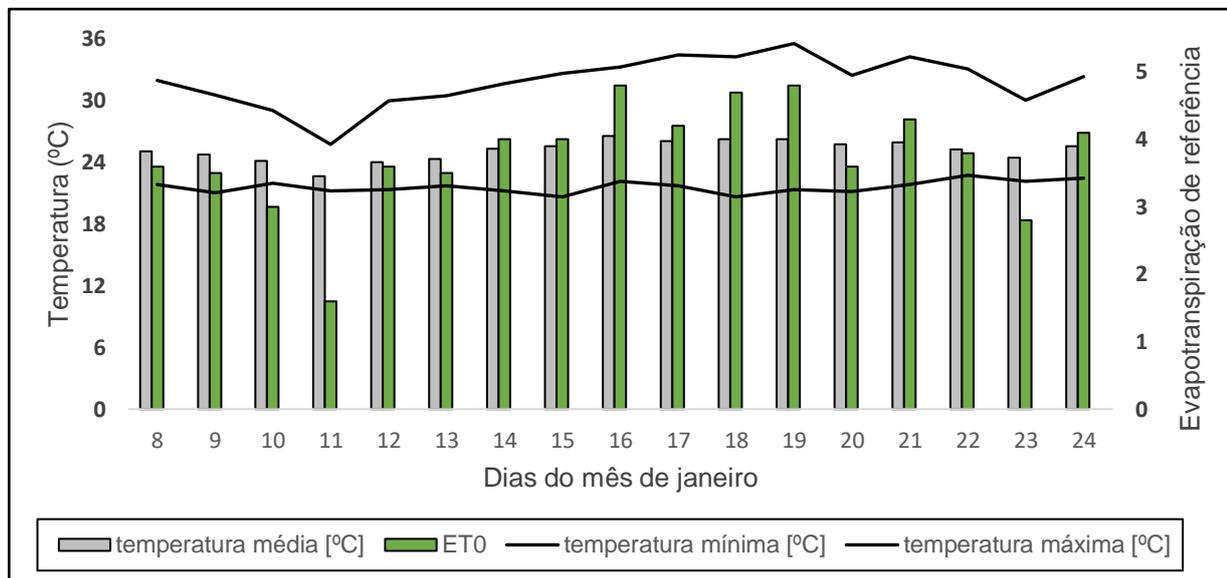


Figura 12: Valores de temperatura e evapotranspiração de referência durante o período de estudo. (Fonte: Autor, 2024).

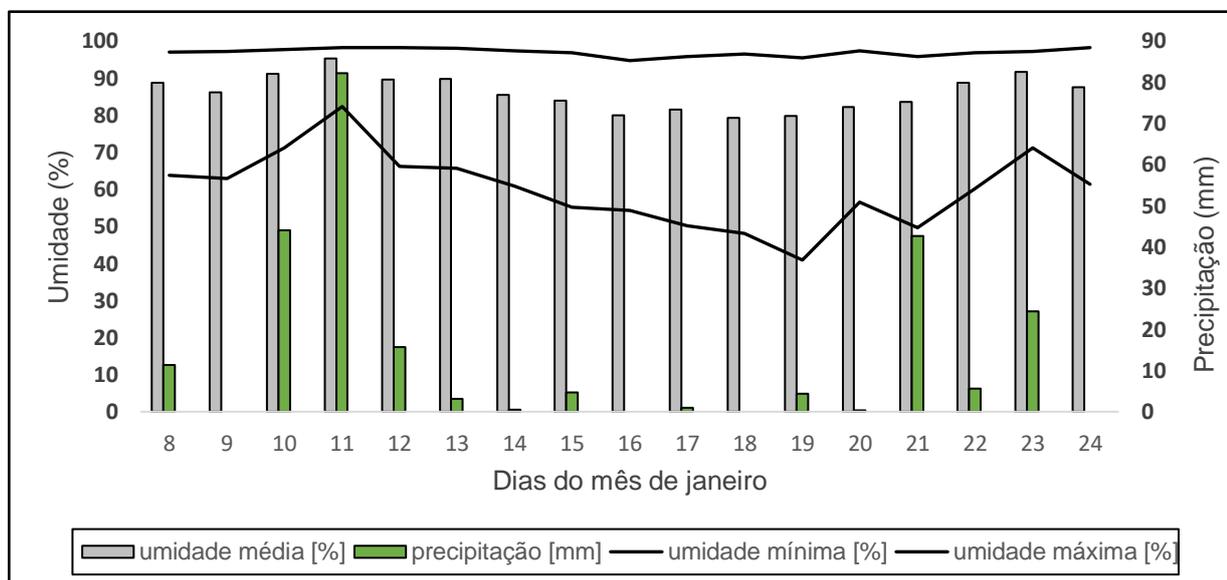


Figura 13: Valores de umidade e precipitação durante o período de estudo. Fonte: (Autor, 2024).

A análise estatística da primeira avaliação revelou uma diferença significativa (5% de significância) na perda do teor de umidade viabilizada por cada secador. O secador

GSI proporcionou uma perda do teor de umidade de 6,25%, enquanto o secador KW forneceu uma perda de 4,88%.

Além disso, foi observado diferença significativa na umidade de entrada dos grãos nos dias 14 e 15 de janeiro de 2024, com médias de 19,23% e 22,9%, respectivamente. Ao examinar as Figuras 12 e 13, observamos que não houve uma correlação direta entre a umidade de entrada dos grãos e os valores de precipitação, evapotranspiração, temperaturas e umidades. Para os dias em que ocorreu a diferença na umidade de entrada dos grãos, os valores das variáveis climáticas foram bastante semelhantes. Embora esses fatores possam influenciar as condições ambientais, outros aspectos operacionais, como o tempo de colheita, podem ter desempenhado um papel mais importante nas diferenças observadas na umidade de entrada.

Essa inferência é feita tendo em vista que, no dia 15, a unidade de beneficiamento de grãos recebeu uma maior quantidade de grãos imaturos, os quais possuem uma umidade maior. É possível que essa maior quantidade de grãos imaturos tenha sido recebida devido a uma mudança de talhão no momento da colheita.

Na segunda avaliação, foi realizada uma análise de variância para verificar os efeitos dos tratamentos, bem como suas interações, sobre a perda do teor de água dos grãos após a sua passagem pelo secador. A Tabela 1 resume os resultados obtidos

Tabela 1. Resultados da análise de variância (ANOVA) para os tratamentos “SECADOR”, “PERÍODO”, “TEMPERATURA”, e suas interações. GL: graus de liberdade; QM: quadrado médio; P_{valor}: nível de significância estatística; CV: coeficiente de variação.

FONTE DE VARIACÃO	GL	QM	Pvalor
Secador	1	10,534	0,0002*
Período	2	0,245	0,5577
Temperatura	2	0,245	0,5577
Secador x Período	2	1,005	0,1181
Secador x Temperatura	2	1,005	0,1181
CV (%) =	12,47		

Valores acompanhados por * indicam que o tratamento possui efeito estatisticamente significativo a 5%.

Os resultados da ANOVA apontam que o tratamento “SECADOR” apresentou um P_{valor} de 0,0002, indicando que esse tratamento teve um efeito significativo sobre a variável analisada, que é a perda do teor de água dos grãos. Isso significa que essa perda

varia de acordo com o tipo de secador. O secador KW, apresentou uma média da perda do teor umidade de 4,425%, enquanto a média do secador GSI foi de 5,750%.

Os resultados encontrados no desdobramento do “SECADOR” dentro de cada nível de “TEMPERATURA” e “PERÍODO” apontam de maneira mais detalhada a diferença nas médias da perda do teor de umidade ocasionada por cada secador. Esses resultados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Médias da perda do teor de umidade dos grãos após passarem por cada secador em diferentes períodos e temperaturas.

TRATAMENTO	PERÍODO e TEMPERATURA		
	MADRUGADA (90°C)	TARDE (80°C)	NOITE (100°C)
SECADOR KW	4,425 ^a	4,225 ^a	4,625 ^a
SECADOR GSI	5,500 ^b	6,350 ^b	5,400 ^a

Médias seguidas de mesma letra na coluna não se diferem entre si, pelo teste de Tukey (5%).

Os resultados da Tabela 2 revelam que há uma diferença estatisticamente significativa entre as médias das perdas dos teores de umidade proporcionada pelo secador KW e pelo secador GSI, nos períodos da tarde e da madrugada. Observa-se que durante o período da madrugada, as médias da perda do teor de umidade foram de 4,425% e 5,500% para os secadores KW e GSI, respectivamente. Durante a tarde, os secadores KW e GSI apresentaram perdas médias de 4,225% e 6,350%, respectivamente. Já no período da noite, as médias da perda do teor de umidade foram de 4,625% para o secador KW e 5,400% para o secador GSI, sendo essas médias estatisticamente semelhantes pelo teste de Tukey (5%).

As diferenças nas perdas de umidade podem ser atribuídas às variações de temperatura e os fluxos de ar de cada secador. O secador GSI apresentou uma maior perda de umidade significativa no período da tarde e madrugada. O secador KW manteve perdas de umidade mais consistentes, o que pode indicar uma operação mais estável, mas menos eficiente em termos de remoção de umidade em comparação ao secador GSI. O secador KW é de fluxo misto e o secador GSI é de fluxo cruzado. Silva (2008), aponta as vantagens e desvantagens desses dois tipos de secadores, indicando mais vantagens para o secador de fluxo cruzado. Assim, é possível inferir que este segundo possui uma maior eficiência na retirada de umidade devido a forma de movimentação dos grãos em seu interior, bem como o fluxo do ar de secagem e resfriamento. O autor ainda revela que em termos de uniformidade de secagem, o secador do tipo cascata é mais uniforme, aspecto

esse que foi possível notar nos resultados na Tabela 2, onde o secador KW apresentou para todas temperaturas avaliadas perda de umidade semelhante.

Durante o levantamento de dados em campo, um aspecto pertinente frequentemente discutido foi a diferença no ano e no tempo de uso dos secadores, o que pode justificar o fato de o secador GSI retirar mais umidade do que o secador KW. O secador GSI é mais novo em comparação com o secador KW e isso ajuda fundamentar os resultados obtidos. Em seu trabalho, Xenos (1998) aponta que, ao longo do tempo e conforme sua operação, os equipamentos industriais sofrem um desgaste natural. Ele ainda afirma que essas degradações podem se manifestar como perdas de desempenho, interrupções na produção, poluição ambiental, entre outros. Vale ressaltar que a Unidade de Beneficiamento de Grãos mantinha um rigoroso cronograma de manutenção dos equipamentos, incluindo os secadores, que também passavam por atividades de limpeza periódicas.

Com base nos resultados obtidos sobre a eficiência dos secadores na remoção de umidade, uma sugestão para continuidade deste trabalho seria investigar a eficiência energética dos secadores em diferentes condições operacionais. Isso incluiria avaliar o consumo de energia e a eficiência térmica de cada modelo, com foco na redução de custos operacionais e na otimização dos processos de secagem.

Além disso, incorporar uma análise de sustentabilidade ao estudo pode oferecer uma visão mais abrangente sobre o impacto ambiental dos secadores, considerando que Silva (2008) destaca que o secador de fluxo misto apresenta alta eficiência energética, mas pode poluir o meio ambiente. Avaliar aspectos como a emissão de gases de efeito estufa e o consumo de recursos naturais permitirá identificar oportunidades para melhorar a eficiência energética e reduzir o impacto ambiental dos processos de secagem. Essa abordagem contribuirá para práticas mais sustentáveis na indústria de processamento de grãos.

5. CONCLUSÃO

Na primeira avaliação, o secador de fluxo cruzado alcançou uma média de remoção de umidade de 6,25%, enquanto o secador de fluxo misto obteve uma média de 4,88%. Na segunda avaliação, a eficiência do secador de fluxo cruzado foi de 5,75%, em comparação com 4,425% do secador de fluxo misto. Essas médias foram obtidas pela diferença entre a umidade de entrada e a umidade de saída dos grãos em cada secador. Portanto, o secador de fluxo cruzado apresentou uma maior capacidade de remoção de umidade em relação ao secador de fluxo misto em todas as condições avaliadas.

Além disso, considerando o cenário atual da produção agrícola brasileira e a importância das operações de pós-colheita, torna-se relevante intensificar os estudos voltados para esse setor, com o objetivo de aprimorar esses processos. Em especial, a análise dos diferentes modelos de secadores e suas aplicações abre caminho para futuras pesquisas, focando em aspectos como eficiência energética e impacto ambiental.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying and storage of grain and oilseeds**. New York: An AVI Book, p.457, 1992.

Carvalho, N. M. **A secagem de sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 1994.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira grãos – safra 2023/2024** - Décimo levantamento, julho 2024. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>> Acesso em: 12 jul. 2024.

DORETTI, L.; FERRARA, D.; PARVOLI G.; RELLA R.; STURARRO A. Chemical evidence and risks associated with soybean and rapeseed meal fermentation. **Chemosphere** 52, p. 1259-1262. 2003.

ELIAS, M. C.; OLIVEIRA, M. de; VANIER, N. L. Fatores que influenciam a aeração e o manejo da conservação de grãos no armazenamento. **Armazenagem de grãos**. Jundiaí: **Instituto Bio Geneziz**, p. 279-326, 2018.

ELIAS, M. C. Secagem e Armazenamento de grãos de milho e sorgo na propriedade rural. In: PARFITT, J. M. B. **Produção de Milho e Sorgo em várzea**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2000. p. 107 – 140.

EMBRAPA. **Armazenamento do grão de soja com qualidade: princípios importantes a serem observados**. Circular Técnica n. 196. Londrina: EMBRAPA, 2023.

GUEDES, M. A. Características físicas de grãos utilizando processamento digital de imagens. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – **Universidade Federal de Campina Grande**, Campina Grande, 2010.

LORINI, I. et al. **Colheita e pós-colheita de grãos**. EMBRAPA Soja, 2020.

OLIVEIRA, J. A.; ROSA, S. D. V. F. da.; CARVALHO, E. R. **Secagem de sementes**. UFLA, 2021. p. 67 – 93.

MARTINS, R. R.; FRANCO, J. B. da R.; OLIVEIRA, P. A. V. de. **Tecnologia de secagem de grãos**. Passo Fundo: EMBRAPA Trigo/ EMATER/RS, 1999. 90p.

SENAR. Armazenagem de Grãos. Paraná: SENAR, 2016. Disponível em: <https://www.sistemafaep.org.br/wp-content/uploads/2024/01/PR.0324-Armazenagem-Graos-Armazenamento-Conservacao_web-1.pdf> Acesso em: 08 jul. 2024.

SILVA, J. S. **Secagem e armazenamento de produtos agrícolas**. 2. ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2008.

SILVA, J. S.; BERBERT, P. A. **Colheita, secagem e armazenamento**. Viçosa: Aprenda Fácil, 1999.

SILVA, K. B. et al. Tolerância à dessecação em sementes de *Bunchosia armenica* (Cav.) DC. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 4, p. 1403-1410, 2012.

SILVA, L. C. da. **Secagem de grãos**. Boletim Técnico: AG: 04/05. Departamento de Engenharia Rural, UFES. 2005.

SOUZA, C. M. A. de; QUEIROZ, D. M. de; FILHO, A. F. L. de. Simulação do processo de secagem de sementes de milho em camada fixa. **Scientia Agricola**, v. 59, p. 653-660, 2002.

XENOS, H. G. **Gerenciando a manutenção produtiva**. Belo Horizonte: Editora de desenvolvimento gerencial, v. 171, 1998.