

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**MARION PEREIRA VIEIRA**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SECADOR DE GRÃOS DE LEITO FIXO EM  
ESCALA REDUZIDA**

**Alegrete - RS  
2024**

**MARION PEREIRA VIEIRA**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SECADOR DE GRÃOS DE LEITO FIXO EM  
ESCALA REDUZIDA**

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

Orientadora: Chaiane Guerra da Conceição

**Alegrete – RS  
2024**

**MARION PEREIRA VIEIRA**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SECADOR DE GRÃOS DE LEITO FIXO EM  
ESCALA REDUZIDA**

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

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 06 de agosto de 2024.

Banca examinadora:

---

**Profª Drª Chaiane Guerra da Conceição**  
Orientadora  
(UNIPAMPA)

---

**Profª Drª Amanda Rithieli Pereira dos Santos**  
(UNIPAMPA)

---

**Profª Drª Lanes Beatriz Acosta Jaques**  
(UNIPAMPA)



Assinado eletronicamente por **CHAIANE GUERRA DA CONCEICAO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 09/08/2024, às 13:50, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.

---



Assinado eletronicamente por **AMANDA RITHIELI PEREIRA DOS SANTOS, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 09/08/2024, às 14:35, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.

---



Assinado eletronicamente por **LANES BEATRIZ ACOSTA JAQUES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 12/08/2024, às 07:56, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1512750** e o código CRC **2A46E688**.

---

## RESUMO

Com o aumento das tecnologias da área de pós colheita, é necessário que o curso de Eng. Agrícola possua subsídios, como equipamentos que possam simular atividades realizadas a nível industrial, fornecendo conhecimento aos alunos sobre suas funcionalidades, e preparando-os para o mercado de trabalho com uma visão mais ampla desses equipamentos. Neste sentido, o presente trabalho teve como finalidade construir um secador de grãos de leito fixo em escala reduzida utilizando materiais de baixo custo, porém funcional e eficiente. Neste trabalho é possível visualizar todas as etapas que foram utilizadas para o seu desenvolvimento, como projeção, construção e validação. Finalizada a construção, o equipamento foi colocado a prova, resultando em dados como vazão de ar, temperatura de secagem e eficiência de secagem. Contudo, após o término deste referido trabalho o equipamento irá ser doado ao curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Pampa para auxiliar os professores da área a lecionar suas aulas práticas e torná-las mais dinâmicas. Além disso, o equipamento também auxiliará na simulação de testes de secagem de produtos, proporcionando aos discentes uma melhor perspectiva do princípio de funcionamento de um secador de grãos/sementes, possibilitando ainda o desenvolvimento de trabalhos pesquisa e de conclusão de curso, utilizando o equipamento.

Palavras-Chave: Secagem, Pós colheita, Umidade

## **ABSTRACT**

With the increase in technologies in the post-harvest area, it is necessary for the Agricultural Engineering course to have subsidies, such as equipment, that can simulate activities carried out at an industrial level, providing students with knowledge about their functionalities, and preparing them for the job market with a broader view of these equipment. In this sense, the present work aimed to build a fixed-bed grain dryer on a reduced scale using low-cost, yet functional and efficient materials. In this work it is possible to visualize all the steps that were used for its development, such as projection, construction and validation. Once construction was complete, the equipment was put to the test, resulting in data such as air flow, drying temperature and drying efficiency. However, after the completion of this work, the equipment will be donated to the Agricultural Engineering course at the Federal University of Pampa to help teachers in the area teach their practical classes and make them more dynamic. In addition, the equipment will also assist in the simulation of product drying tests, providing students with a better perspective of the operating principle of a grain/seed dryer, also enabling the development of research and course completion work, using the equipment.

**Keywords:** Drying, Post harvest, Humidity

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Sistemas de secagem.....	11
FIGURA 2	Sistema de secagem em baixa temperatura.....	12
FIGURA 3	Secador de leito fixo.....	13
FIGURA 4	Sistema de ar por fluxo cruzado.....	13
FIGURA 5	Sistema de ar por fluxo concorrente.....	14
FIGURA 6	Sistema de ar por fluxo contra corrente.....	14
FIGURA 7	Sistema de ar de fluxo misto.....	15
FIGURA 8	Fornalha de fogo direto.....	15
FIGURA 9	Trocador de calor fogo indireto.....	16
FIGURA 10	Desenho Autocad, Corpo do secador.....	17
FIGURA 11	Desenho Autocad, leito de secagem.....	18
FIGURA 12	Desenho Autocad Fornalha.....	18
FIGURA 13	Desenho Autocad, Perspectiva 3D da fornalha.....	19
FIGURA 14	Desenho autocad, Sistema de ventilação.....	19
FIGURA 15	Corpo do secador montado.....	20
FIGURA 16	Leito de Secagem montado.....	20
FIGURA 17	Fornalha montada.....	21
FIGURA 18	Ventilação de ar montada.....	22
FIGURA 19	Controles de temperatura e velocidade de ar.....	22
FIGURA 20	Desenho autocad, divisão do leito de secagem para testes.....	27
FIGURA 21	Gráfico de perda de umidade em relação ao Tempo.....	28

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Materiais utilizados para construção do corpo do secador.....	20
Tabela 2: Materiais utilizados para construção do leito de secagem .....	20
Tabela 3: Materiais utilizados para construção da fonte de calor .....	21
Tabela 4: Materiais utilizados para construção do sistema de ventilação .....	21
Tabela 5: Materiais Utilizados para controle do secador .....	22
Tabela 6. Potência utilizada de fornalha e ventilação .....	25
Tabela 7. Condições ambientais do teste de eficiência .....	25
Tabela 8. Medições do fluxo de ar .....	26
Tabela 9: Informações do teste de eficiência de secagem .....	28
Tabela 10. Resultados de Vazão de ar .....	29
Tabela 11. Medição da temperatura máxima em diferentes pontos .....	29
Tabela 12. Custos de desenvolvimento .....	30



## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. OBJETIVOS.....	10
2.1 Objetivo Geral .....	10
2.2 Objetivos Específicos .....	10
3. REVISÃO DE LITERATURA .....	10
3.1 Importância da secagem de grãos.....	10
3.2 Sistemas de secagem .....	11
3.3 Tipos de secadores.....	13
3.4 Tipos de fornalhas para secagem de grãos .....	15
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	17
4.1 Planejamento e Projeto .....	17
4.2 Aquisição de materiais e equipamentos .....	20
4.3 MONTAGEM DA ESTRUTURA .....	23
4.3.1 Corpo do secador .....	23
4.3.2 Leito fixo .....	23
4.3.3 Fornalha.....	23
4.3.4 Ventilação.....	24
4.3.5 Controladores .....	24
4.4 REALIZAÇÃO DOS TESTES EM LABORATÓRIO.....	24
4.4.1 Eficiência de secagem .....	25
4.4.2 Vazão do ar de secagem .....	26
4.4.3 Teste de Uniformidade de temperatura no leito .....	27
4.4.4 Teste de durabilidade.....	27
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	28

5.1 Eficiência de secagem .....	28
5.2 Vazão do ar de secagem. ....	29
5.3 Teste de Uniformidade de temperatura no leito .....	29
5.4 CUSTOS.....	30
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	32
7. REFERÊNCIAS .....	33

## 1. Introdução

O Brasil está ampliando sua produção de grãos e cereais de maneira significativa, mantendo a posição de 4º lugar dos países que mais produzem grãos no mundo, totalizando um montante de 299 milhões de toneladas (CONAB, 2024), e também ocupa a 2ª posição como o país que mais exporta grãos, segundo o ministério da agricultura o ano de 2023 encerrou com um total de 193 milhões de toneladas de grãos exportados. Deste modo, para que seja possível chegar a estes números, é essencial que estes produtos após serem recebidos do campo passem por processos de beneficiamento, tais como amostragem, classificação, pré-limpeza, secagem, pós limpeza e quando necessário o armazenamento.

A secagem é de extrema importância nas culturas agrícolas pois através dela é possível remover a umidade excessiva dos grãos colhidos a campo. Este processo visa à retirada parcial da água dos grãos através da transferência simultânea de calor do ar para a massa de grãos por meio do fluxo de vapor de água, dos grãos para o ar, sendo um processo dinâmico, em função da umidade relativa do ar (PESKE & VILLELA, 2003).

Para realizar a secagem, utilizam-se diferentes sistemas de secagem e diversos modelos de secadores industriais, que podem ser classificados conforme o método de secagem, a temperatura, e o tipo de fluxo. A fonte de calor pode ser direta ou indireta. Esses sistemas são projetados e dimensionados em relação ao tipo de cultura que se deseja secar e quantidade de produto. Ao longo dos anos, os sistemas de secagem têm evoluído, buscando reduzir os danos físicos que podem ser causados pelo excesso de temperatura afim de preservar os aspectos físicos do produto durante o processo.

Portanto nesse sentido, é de grande importância que os alunos da graduação do curso de Engenharia Agrícola possuam um equipamento ao menos semelhante e que reproduza o funcionamento de um secador industrial em seu laboratório, afim de simular processos de secagem, agregando em sua jornada acadêmica conhecimento e engajamento com equipamentos industriais. Por fim, objetivou-se com este trabalho, desenvolver um equipamento semelhante ao industrial em escala reduzida, utilizando os conhecimentos e metodologias das bibliografias referenciadas neste trabalho, agregando conhecimento a todos seus usuários com sua conclusão.

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo Geral**

O objetivo principal neste trabalho é desenvolver um secador de grãos de dimensões reduzidas com materiais de baixo custo.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Determinar a vazão de ar do secador desenvolvido;
- Determinar a sua eficiência de secagem utilizando diferentes vazões;
- Entregar um produto que possa tornar as aulas práticas das graduações mais dinâmicas;
- Agregar conhecimento dos princípios de funcionalidade de um secador de grãos aos discentes;

## **3. Revisão de literatura**

### **3.1 Importância da secagem de grãos**

Sabe-se que para poder armazenar adequadamente um produto deve-se obrigatoriamente diminuir a quantidade de água da massa de grãos, segundo Möhler (2010) para cultura de soja a umidade ideal fica entre 9% a 12 % para períodos de 1 a 5 anos, o que torna o processo de armazenagem mais seguro, evitando o desenvolvimento de insetos e microrganismos que podem causar danos a massa de grãos.

Segundo Portella e Luiz (2001) a operação de secagem de grãos é conhecida como um processo que tem como objetivo diminuir o percentual de umidade do produto. Ela é feita através de um processo de transferência de calor entre produto e o ar, reduzindo a umidade até um certo ponto que possa ser viável o armazenamento do mesmo.

Para Silva e Juarez (2008) para que seja concluído o processo de secagem é necessário que ocorra uma diferença de pressão entre a camada superficial do grão e o ambiente em volta ou seja:

- Se Pressão vapor do produto  $>$  Pressão vapor ar = Secagem do produto.
- Se Pressão vapor do produto  $<$  Pressão vapor ar = O grão absorverá umidade.
- Pressão vapor do produto = Pressão vapor ar = Equilíbrio higroscópico.

Sabemos que um grão possui diferentes tipos de umidade são elas, umidade superficial, umidade intersticial e umidade de constituição. Segundo Weber (2005) no processo de secagem deve ser removida a umidade superficial e diminuimos a umidade intersticial, deixando apenas

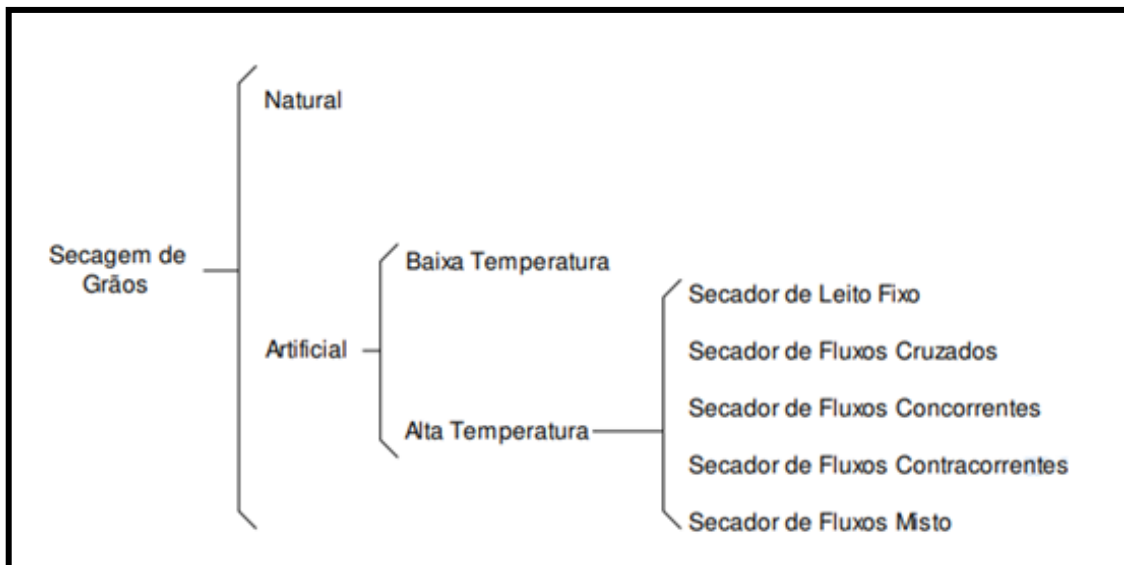
a umidade de constituição, caso seja removida toda a umidade superficial e a intersticial sobraria apenas 8% a 10% de umidade de constituição.

### 3.2 Sistemas de secagem

Para o armazenamento, os produtos agrícolas devem previamente passar por algum sistema de secagem quando não estiverem em condições ideais, para manter seus aspectos físicos e sua qualidade por mais tempo.

Esses sistemas podem ser classificados em diferentes tipos. secagem natural ou artificial como pode ser visto na Figura 1.

Figura 1. Sistemas de secagem



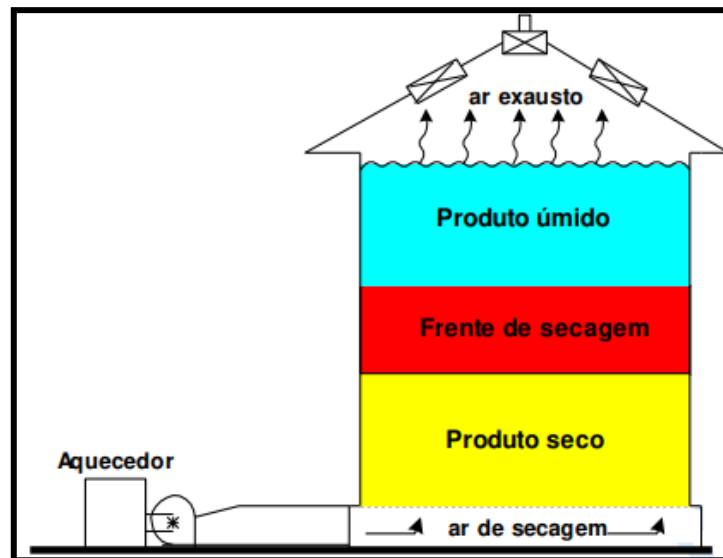
Fonte: (Silva, 2005).

Secagem Natural utiliza a temperatura ambiente e radiação solar para concluir sua secagem, foi um dos processos de secagem pioneiro onde se utilizava apenas energia gerada pela radiação sem a utilização de fornalhas, possui um custo ínfimo, em contrapartida é um processo que demanda tempo e mão de obra, depende muito das condições climáticas para ser utilizado (CORTEZ, 1993), Segundo Weber (2005) os grãos possuem uma porosidade que permite com que ele receba ou perca umidade com o ar atmosférico. O que por vezes requer um pouco de atenção para não se admitir umidade ao grão quando a umidade relativa se encontra elevada.

A secagem artificial é o método que utiliza ar previamente aquecido junto ao produto, requer uma fonte de energia, como fornalhas ou até gás combustível para que se chegue na temperatura desejável ou ventilação forçada. Este sistema pode ser dividido em grupos de secagem em baixa temperatura e de alta temperatura (CAVARIANI, 1996), como pode ser visto nos exemplos da figura 1.

Neste sistema, secagem em baixa temperatura, o ar utilizado para o processo de secagem possui uma diferença de no máximo 10 °C da temperatura ambiente. Pode se prolongar até 30 dias, visto que depende muito das condições climáticas para que seja concluído todo o processo de secagem. Este processo é frequentemente utilizado em silos, como pode ser visto na Figura 2.

Figura 2. Sistema de secagem em baixa temperatura



Fonte: (Silva, 2005)

Secagem em alta temperatura é utilizado mais comumente em UBG (Unidade de beneficiamento de grãos) para ter um fluxo de produto maior em seus secadores, ou seja, em épocas de safra uma UBG necessita escoamento rápido devido a demanda de produtos que chegam e necessitam ser armazenados, tornando esse sistema mais rápido e eficiente. Segundo Brooker et al., (1992) a secagem de alta temperatura utiliza temperaturas bem mais elevadas que um sistema de baixa temperatura o que consequentemente possibilita a secagem dos produtos em um tempo consideravelmente menor quando comparado a outros sistemas.

### 3.3 Tipos de secadores

Secadores de leito fixo – Sua principal diferença em relação aos demais secadores é que a passagem de ar sobre a massa de grãos é forçada uma vez que o produto se encontra estático (GARCIA et al., 2004), tornando um sistema simples, porém eficiente. Sua principal vantagem é o custo relativamente baixo quando comparado outros sistemas.

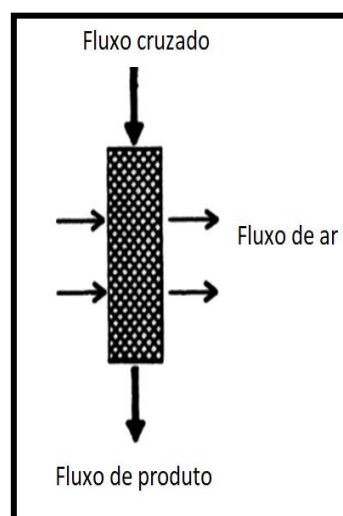
Figura 3. Secador de leito fixo



Fonte: Perozin Indústria Metalúrgica (2022)

Secadores de fluxos cruzados possuem um fluxo de que ultrapassa a massa de grão perpendicularmente com um ângulo de  $90^\circ$  a massa de grão como mostra a figura 4. Devido sua facilidade de construção, é um dos secadores mais utilizados (SILVA, 2005).

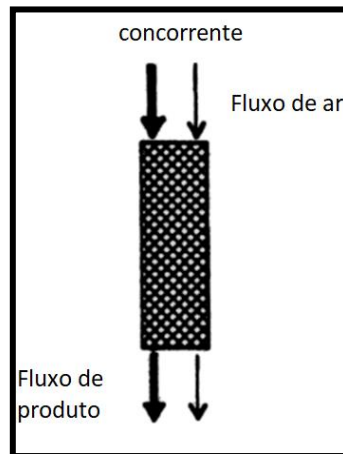
Figura 4. Sistema de ar por fluxo cruzado.



Fonte: (BROOKER 1992), adaptado por Marion Pereira Vieira.

Secadores de fluxo concorrentes possui o fluxo de ar e grão no mesmo sentido como mostra a figura 5, devido a sua alta taxa de evaporação ele possibilita a utilização de uma temperatura de ar quente maior (148 e 260 °C) em relação ao secador de fluxo cruzado, e tem como vantagem a homogeneização dos produtos secados, pois todos os grãos recebem o mesmo fluxo de ar quente tornando um produto final mais padronizado. (CORTEZ, 1993)

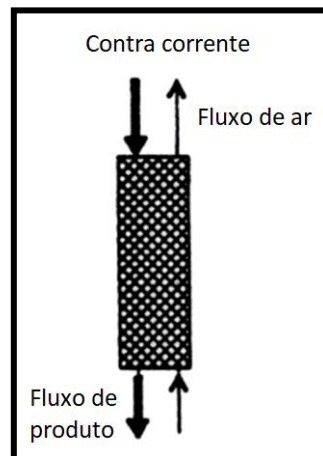
Figura 5. Sistema de ar por fluxo concorrente.



Fonte: (BROOKER 1992), adaptado por Marion Pereira Vieira.

Em secadores de fluxos contra correntes o ar que já se encontra aquecido cruza com um sentido contrário ao do grão que se desloca através da força gravitacional como pode ser visto na figura 6. Conforme o grão vai se deslocando a temperatura vai aumentando atingindo seu ápice da temperatura ao final da coluna de secagem (SILVA, 2005).

Figura 6. Sistema de ar por fluxo contra corrente.

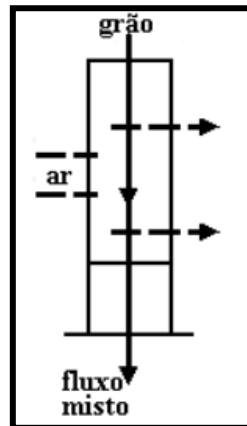


Fonte: (BROOKER 1992), adaptado por Marion Pereira Vieira.



Secadores de fluxo misto possuem em seu interior “calhas” em formato de V invertido de forma que fiquem alternadas, sendo assim quando o fluxo de ar chega nesta calha, provoca a inversão de sentido fazendo com que o ar seja transferido para a calha posterior repetindo o processo até sair na câmara de exaustão que pode ser visto na figura 7 (CORTEZ, 1993).

Figura 7. Sistema de ar de fluxo misto



Fonte: (Weber 1998)

### 3.4 Tipos de fornalhas para secagem de grãos

Fornalhas de fogo direto (Figura 8) são fornalhas onde o ar aquecido é gerado diretamente da câmara de combustão para a câmara de secagem do secador, geralmente neste sistema é necessária a utilização de quebra chamas para evitar que fagulhas sejam movimentadas para câmara de secagem. Segundo Silva et al. (2014) Nesse tipo de fornalha, a energia térmica proveniente dos gases resultantes da combustão é misturada com o ar ambiente é utilizada diretamente na secagem.

Figura 8. Fornalha de fogo Direto



Fonte: (Kepler weber)

As fornalhas de fogo direto possuem vantagens significativas como atingir temperaturas mais altas, ideal para culturas que necessitam de temperaturas superiores. Sua construção em alvenaria proporcionam uma durabilidade superior em comparação as fornalhas metálicas, sua operação é mais fácil. No entanto, é necessário considerar também suas desvantagens como o risco elevado de incêndio quando há excesso de temperatura, contaminação da massa de grão por fumaça e cinzas, o que pode impactar negativamente a qualidade do produto final.

Nas fornalhas com sistema de aquecimento indireto (Figura 9), a energia térmica dos gases provenientes da combustão é encaminhada a um trocador de calor, que tem a finalidade de aquecer, indiretamente o ar de secagem ou uma segunda substância, como por exemplo, uma caldeira geradora de vapor (SILVA et al., 2014). Estes sistemas geralmente são utilizados em grãos especiais pois entregam uma massa ar de mais limpa em comparação ao sistema de fogo direto portando é muito utilizado em culturas que não podem ser contaminadas por fumaça, ou em secagem de sementes.

Figura 9. Trocador de calor fogo indireto



Fonte: Autor.

As fornalhas de fogo indireto também possuem vantagens como a eliminação do risco de incêndio devido o fogo não ter contato direto com grão, também a ausência de contaminação por fumaça e cinzas. Além disso, a construção e manutenção desses equipamentos é mais acessível e rápida em comparação ao fogo direto. Contudo, há algumas desvantagens a ser

consideradas. Essas fornalhas possuem temperaturas mais baixas em relação às de fogo direto tornando o processo de secagem mais lento.

## 4 Material e Métodos

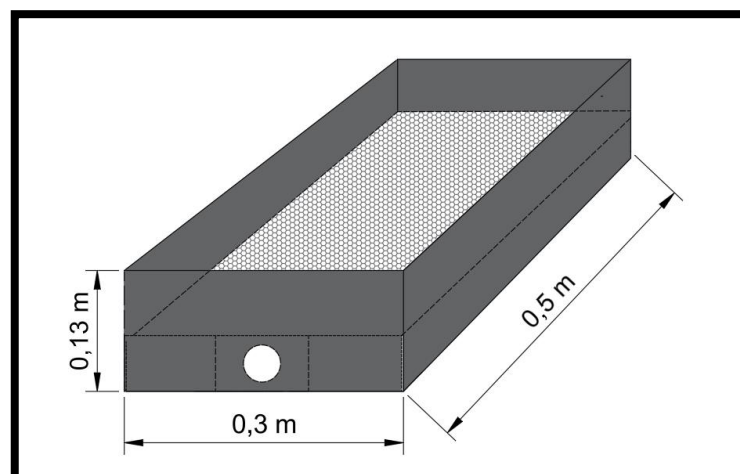
### 4.1 Planejamento e Projeto

O modelo de secador selecionado para desenvolvimento foi o de leito fixo. Antes da montagem do equipamento, foi necessário utilizar o software AutoCAD para se estimar a quantidade de materiais que seriam necessários para a construção do secador, como pode ser visto no tópico 4.2 (Aquisição de materiais e equipamentos). Foi realizado com o AutoCAD a modelagem detalhada de todas as partes do secador para se obter as dimensões dos equipamentos como pode ser visto entre a figura 10 a figura 14.

A montagem do secador foi dividida em 5 partes: corpo do secador, leito fixo, fonte de aquecimento, ventilação e controles, detalhadas a seguir:

**Corpo do Secador:** estrutura principal do equipamento que contém o leito de secagem. Este corpo é uma estrutura fechada em todas as faces laterais, apenas livre na camada superior forçando o ar cruzar apenas pelo leito de secagem. Na figura 10, é possível observar a projeção realizada facilitando a escolha e quantidade de material selecionada para construção.

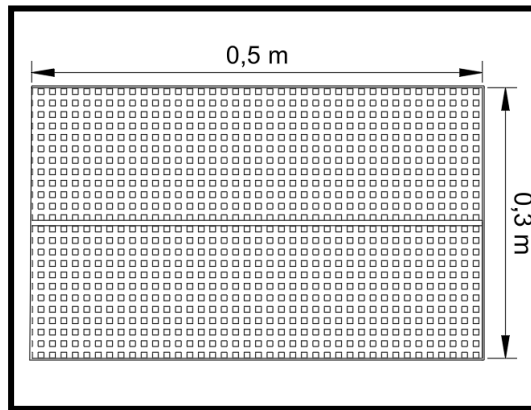
Figura 10. Desenho Autocad, Corpo do secador



Fonte: Autor

**Leito Fixo:** O leito de secagem é local onde os grãos permanecem estáticos e recebem o fluxo cruzado de ar previamente aquecido pela fornalha conforme figura 11.

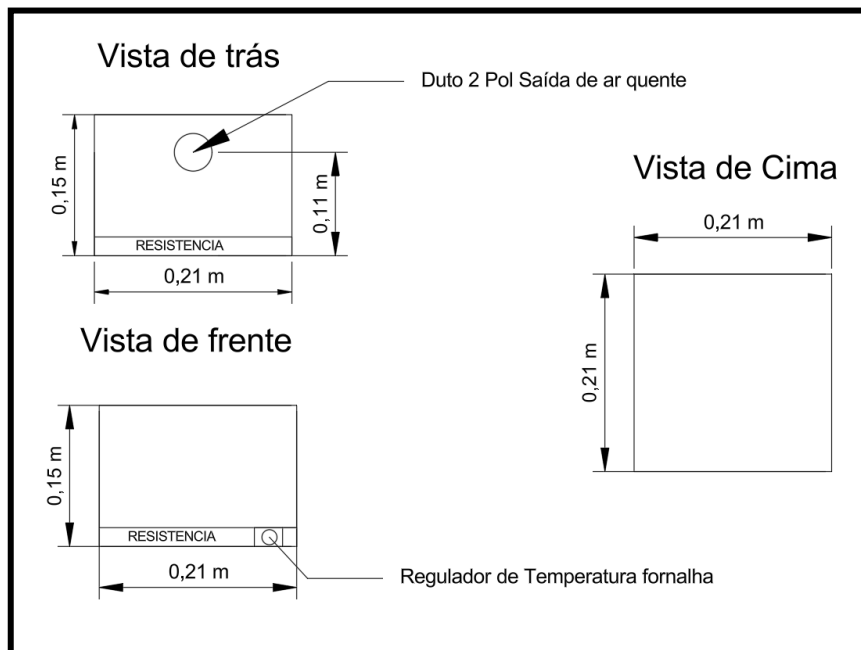
Figura 11. Desenho AutoCAD, leito de secagem



Fonte: O autor

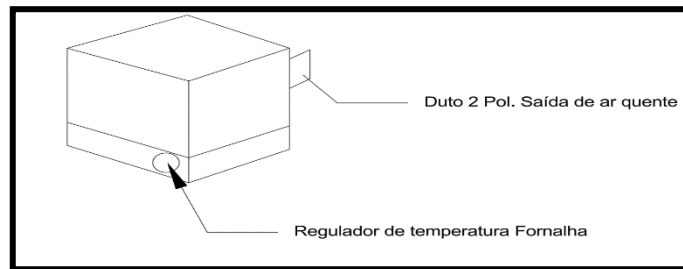
**Fonte de aquecimento:** Responsável por gerar o calor e aquecer o ar artificialmente antes de ser movimentado para o leito fixo. O ar aquecido é capaz de reter uma quantidade maior de umidade. Na figura 12 pode ser vista as dimensões das faces laterais e superior da fornalha desenvolvida, junto com a perspectiva 3D na figura 13.

Figura 12. Desenho AutoCAD Fornalha



Fonte: O autor

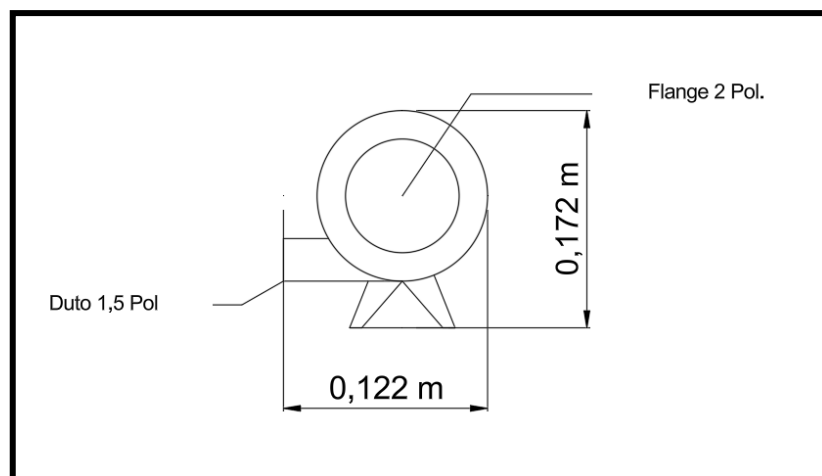
Figura 13. Desenho AutoCAD, Perspectiva 3D da fornalha



Fonte: o Autor

**Ventilação:** É responsável por movimentar o ar artificialmente aquecido para a câmara de secagem do leito fixo durante o processo de secagem. É equipamento que irá garantir que o ar quente atinja os grãos e possa remover eficientemente a umidade de sua superfície. Foi necessário realizar a projeção do ventilador (Figura 14) para determinar a altura dos dutos de ligação entre Fornalha e Secador mantendo ambos na mesma altura.

Figura 14. Desenho AutoCAD, Sistema de ventilação



Fonte: O autor

**Controles:** É responsável por realizar o acionamento do ventilador, sistema de aquecimento, controle de temperatura em geral são os equipamentos de instrumentação do secador.

## 4.2 Aquisição de materiais e equipamentos

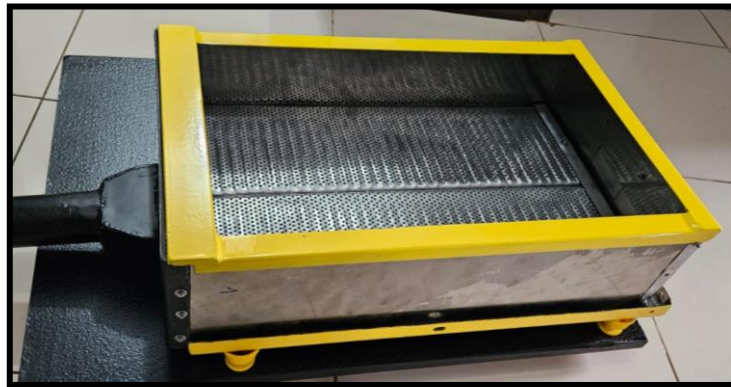
Para montagem do Corpo do secador foi utilizado:

Tabela 1: Materiais utilizados para construção do corpo do secador

Chapa 0.6mm inox	0,319m <sup>2</sup>
Chapa de aço 2mm	0,039m <sup>2</sup>
Parafusos, arruelas e porcas Philips 13mm x 3mm	17
Duto de aço 2 pol.	0,1m

Fonte: O Autor

Figura 15. Corpo do secador montado



Fonte: O autor.

Para montagem do leito de secagem foi utilizado:

Tabela 2: Materiais utilizados para construção do leito de secagem

Chapa Perfurada Galvanizada 2mm	0,15m <sup>2</sup>
Cantoneira 2mm	0,8 m
Parafusos, arruelas e porcas Philips 13mm x 3mm	5
Duto de aço 2 Pol.	0,07 m

Fonte: O autor.

Figura 16. Leito de Secagem montado



Fonte: O autor.

Para fonte calor foi utilizado:

Tabela 3: Materiais utilizados para construção da fonte de calor

Resistência Elétrica de 1000 Whats 220V.	1
Chapa de aço 2mm	0,17 m <sup>2</sup>
Tinta de alta temperatura preto fosco	400 mL

Fonte: O autor.

Figura 17. Fornalha montada



Fonte: O autor

Para ventilação foi utilizado:

Tabela 4: Materiais utilizados para construção do sistema de ventilação

Soprador Elétrico 220v	1
Flange com entrada 2 polegadas	1
Parafusos 13mm x 3mm e 3 arruelas 3mm	3
Mangueira de alta temperatura	0,3 m
Abraçadeiras 2 Pol.	2

Fonte: O autor.

Figura 18. Ventilação de ar montada



Fonte: O autor

Para os Controladores do secador foi utilizado:

Tabela 5: Materiais Utilizados para controle do secador

Termo Higrômetro	1
Termômetro Digital com sensor	1
Dimmer 220v	1

Fonte: O autor.

Figura 19. Controles de temperatura e velocidade de ar



Fonte: o Autor



### **4.3 Montagem da estrutura**

#### **4.3.1 Corpo do secador**

Após cuidadosa pesquisa, foi escolhida uma chapa de aço inoxidável com espessura de 0,6 mm devido à sua resistência e durabilidade, ideais para um ambiente que receberá o produto úmido onde a resistência à corrosão é importante.

Foi feito o recorte da chapa de inox nas medidas de 56x50 cm e realizada dobras necessárias para formar a estrutura do secador. Utilizando uma dobradeira industrial de uma oficina de metalúrgica, foram feitas duas dobras de 90° nas laterais, resultando em duas faces de 13x50 cm cada, e uma dobra na base de 30x50 cm. Posteriormente, foi recortado uma face de 34x13 cm para o fundo do secador, realizando duas dobras adicionais de 90° com 2 cm de largura cada, projetadas especificamente para fixar a face de fundo à estrutura principal. Para a face frontal do secador, onde foi necessário instalar um duto de 2 polegadas para entrada de ar, foi utilizada uma chapa de aço com espessura de 2 mm, pois a chapa de inox não possuía a espessura necessária para a soldagem do duto. A soldagem do duto foi realizada com solda mig para garantir a vedação adequada e o funcionamento eficiente do secador de grãos.

#### **4.3.2 Leito fixo**

Para criar o leito do secador de grãos, optou-se por utilizar chapas galvanizadas perfuradas com 2 mm de espessura. Essas chapas foram escolhidas pelo benefício de permitir uma circulação adequada de ar, necessária para uma secagem uniforme dos grãos. Cada chapa perfurada tinha uma área de 15x80 cm.

Portanto, foi cortado as duas chapas nas dimensões de 15x50 cm e unificada para formar um único leito com dimensões totais de 30x50 cm. Para melhorar a circulação de ar na parte inferior do leito fixo, foi utilizado uma esmerilhadeira para realizar cortes na união das duas chapas. Esses cortes foram necessários para permitir que o ar circulasse sem restrição na parte inferior.

Após realizar os cortes na base das chapas e garantir a circulação de ar adequada, foi fixada as chapas perfuradas uma na outra utilizando apenas os pontos que não foram cortados com parafuso Philips, arruela e porca de 13mm x 3mm.

#### **4.3.3 Fornalha**

Para a construção da fornalha, foi utilizado uma chapa de aço com espessura de 2mm. Foi recortado quatro faces medindo 21x15cm e uma face com 21x21cm, as quais foram

soldadas com solda tipo mig construindo uma estrutura em formato de cubo. Posteriormente, foi realizado um recorte circular na face traseira e soldado um duto de 2 pol. com 7 cm de comprimento, onde será a saída de ar quente da fornalha, na superfície. Para otimizar o desempenho foi adicionado um sistema de gaveta abre e fecha, permitindo ajustar a entrada de ar ambiente na fornalha conforme a necessidade de operação. Após finalizada a estrutura da fornalha, foi fixada a estrutura sob uma resistência elétrica de 1000 Whats e tensão de 220v com o objetivo de aquecer o ar e fornecer calor para o secador em operação.

#### **4.3.4 Ventilação**

Foi importado um ventilador para atender o projeto, com seguintes características: Estrutura e hélice metálicos e motor elétrico com tensão 220V, potência de 30 W. Neste ventilador foi necessário construir um flange com duto de aço de 2 polegadas (5,08 cm de diâmetro). que pode ser vista na Figura 18, e fixado com 3 parafusos 13 x 3 mm. Para canalizar o ar foi utilizado 30 cm de mangueira alta temperatura e 2 abraçadeiras para fixação.

#### **4.3.5 Controladores**

Para o desenvolvimento dos controladores, foi utilizado um termo higrômetro com objetivo de verificar as condições climáticas durante a operação do secador, um termômetro digital com medidor estendido onde foi fixado no duto de 2 polegadas entre o ventilador e o secador com o único objetivo de se verificar a temperatura do ar de secagem, e um controlador dimmer responsável por aumentar ou diminuir a velocidade do ar de secagem. Os controladores de temperatura e umidade relativa foram fixados junto a base do secador deixando apenas o dimmer junto a tomada de ligação do ventilador.

### **4.4 Realização dos testes em laboratório**

Os testes foram realizados no laboratório de pós colheita da instituição de ensino Universidade Federal do Pampa - Campus Alegrete – RS.

Foi doado pela empresa Comércio e Transporte PGA na cidade de Rosário do sul – RS uma amostra de aproximadamente 5 kg de grãos de soja para a realização dos testes.

Inicialmente foi aferido o teor de umidade da amostra, que apresentava umidade de 14,8%. Para o estudo da secagem, a amostra foi reidratada com aproximadamente 50 mL de água a cada 1 hora por um período de 4 horas, via pulverização. Obtendo um valor de 17,8 % de umidade após estabilização.

Para delineamento experimental inteiramente casualizado a amostra foi subdividida em sub-amostras de aproximadamente 1 kg, e submetidas a quatro percentuais de ventilação (30, 50, 70 e 100). Para validação foram estudados:

#### 4.4.1 Eficiência de secagem

Para validar o secador de leito fixo, foram utilizados testes semelhantes ao estudo de Martins (2015) para secagem e vazão. Portanto foram realizados quatro testes em amostras de grãos de soja, com umidades iniciais de 17,8 % alternando a velocidade de ar para avaliar seu desempenho em condições variadas. Cada teste teve como objetivo determinar o tempo de secagem.

Tabela 6. Potência utilizada de fôrnalha e ventilação

Teste	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4
Ventilação (%)	50	50 -70	100	30
Fornalha (%)	100	100	100	100

Fonte: Autor

Para controle dos dados obtidos foram realizadas medições de umidade nas mesmas amostras de soja a cada 20 minutos com auxílio do medidor de umidade MotomcoG, modelo 999e.

Foi realizada a movimentação manual dos grãos de soja, afim de se evitar uma super secagem em determinados pontos conforme Dal Pasquale et al., (1991).

As condições ambientais para realização dos testes foram:

Tabela 7. Condições ambientais do teste de eficiência

Amostra 1		Cultura: Soja	Peso: 1 kg	10:00 a 11:40
T ambiente	UR (%)	Potência Fôrnalha	Potência Ventilação	Entr. Ar Fôrnalha
12,7 C°	61	100%	50%	5 %
Amostra 2		Cultura: Soja	Peso: 1 kg	13:00 a 14:40
T ambiente	UR (%)	Potência Fôrnalha	Potência Ventilação	Entr. Ar Fôrnalha
12,3 C°	62	100%	50% e 70 %	5 %
Amostra 3		Cultura: Soja	Peso: 1 kg	15:00 a 16:40
T ambiente	UR (%)	Potência Fôrnalha	Potência Ventilação	Entr. Ar Fôrnalha
12,6 C°	61	100%	100 %	5 %
Amostra 4		Cultura: Soja	Peso: 1,2 kg	17:00 a 18:40
T ambiente	UR (%)	Potência Fôrnalha	Potência Ventilação	Entr. Ar Fôrnalha
12,8 C°	62	100%	30 %	5 %

Fonte: Autor

#### 4.4.2 Vazão do ar de secagem

Neste teste foi aferida a vazão de ar do secador, ou seja, qual o volume de ar que passava pela câmara de secagem do leito fixo. Para tanto, foi necessária a utilização de um anemômetro Akaso modelo ak821 para medir a velocidade do ar de ventilação.

Assim, foram aferidas a velocidade do ar (m/s) na saída do sistema de ventilação e também o diâmetro do duto, para se obter a área (Equação 2) de saída do ar. Com a obtenção destes dados, foi aplicada a equação 1.

$$Q = A * V \quad (01)$$

Em que:

Q é a vazão de ar (m<sup>3</sup>/s);

A é a área da seção transversal do duto (m<sup>2</sup>);

V é a velocidade do ar (m/s).

Portanto:

Raio do duto (r) = 0,0254m

$$A = \pi * r^2 \quad (02)$$

$$A = 0,00202 \text{ m}^2$$

Após calculada a área foi medido a velocidade do ar nas variadas condições abaixo, obtendo os seguintes valores:

Tabela 8. Medições do fluxo de ar

Potência do Ventilador (%)	30	50	70	100
Velocidade de ar (m/s)	7,6	9,8	11,8	13,3

Fonte: Autor

Com os valores obtidos foi aplicada a fórmula da Vazão em que:

$$Q = A * V$$

$$Q_{30\%} = 0,00202 * 7,6$$

$$Q_{50\%} = 0,00202 * 9,8$$

$$Q_{70\%} = 0,00202 * 11,8$$

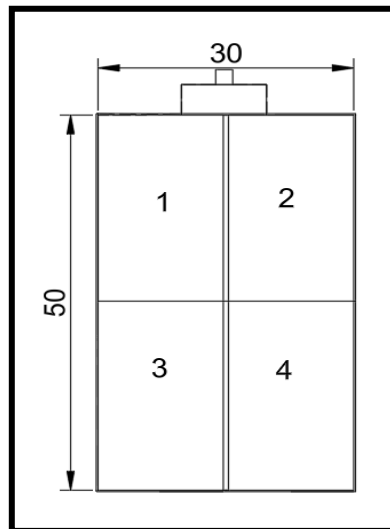
$$Q_{100\%} = 0,00202 * 13,3$$

#### 4.4.3 Teste de Uniformidade de temperatura no leito

Mensurado com auxílio de um termômetro para medir a temperatura máxima em diferentes pontos do leito de secagem. Assim, o leito foi dividido em quatro partes, (Figura 20) onde o secador operou totalmente vazio, com objetivo de não ter restrição no fluxo de ar pelo produto.

O teste foi realizado com três níveis de ventilação em 30%, 50% e 100% e potência máxima da fornalha, afim de se verificar a variação de temperatura em relação ao volume de ar insuflada ao secador.

Figura 20. Desenho autocad, divisão do leito de secagem para testes.



Fonte: O Autor

Para dar sequência aos testes de uniformidade de secagem, o equipamento ficou em operação por 40 minutos. Em cada teste o termômetro ficou 10 minutos em cada ponto até que a temperatura máxima fosse obtida.

#### 4.4.4 Teste de durabilidade

O teste de durabilidade foi conduzido para avaliar a confiabilidade e a resistência do protótipo em operar em longo período de tempo. Este teste foi realizado em conjunto com o teste de secagem das amostras de soja, visando verificar a resistência do secador em diferentes condições operacionais.

## 5. Resultados e Discussões

### 5.1 Eficiência de secagem

Após os testes de secagem foi obtido os resultados de:

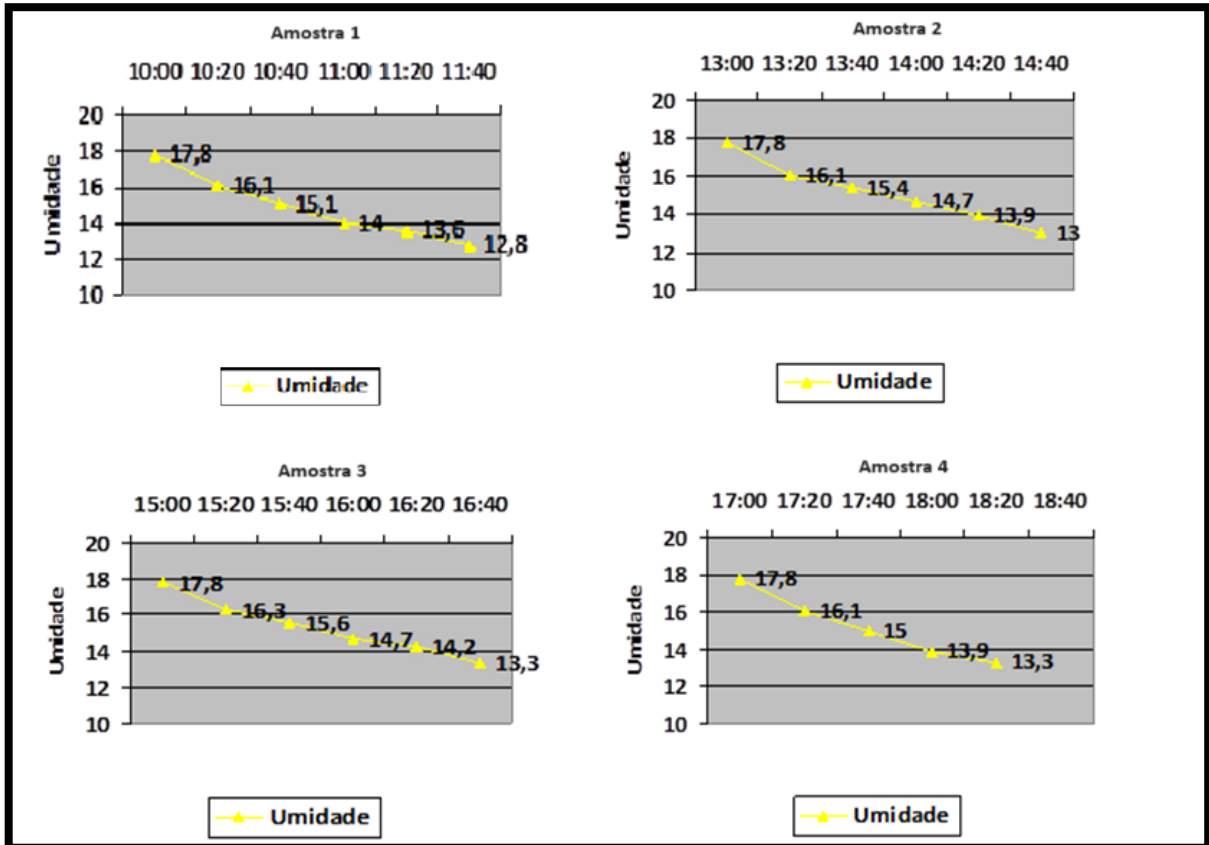
Tabela 9: Informações do teste de eficiência de secagem

Amostra	Umidade Inicial (%)	Umidade Final (%)	Ventilação (%)	Tempo de secagem (Minutos)
1	17,8	12,8 %	50	100
2	17,8	13%	50 e 70	100
3	17,8	13,3%	100	100
4	17,8	13,3%	30	80

Fonte: O autor.

Foi observado na tabela 9 uma grande diferença de tempo de secagem na amostra 4 em relação as outras amostras quando utilizado apenas 30 % da ventilação, também pode ser acompanhado a perda de umidade a cada amostragem realizada na figura 21.

Figura 21. Gráfico de perda de umidade em relação ao Tempo.



Fonte: O Autor

Acredita-se, que esse desempenho, se dê pelo fato de o ar passar com uma velocidade menor pela câmara de aquecimento da fornalha o que possibilita um ganho de temperatura maior comparado as velocidades maiores. Como os testes realizados objetivaram apenas validar o secador desenvolvido, no futuro podem ser realizados novos testes laboratoriais com objetivo de se verificar o principal fator para essa diferença de tempo de secagem.

Levando em conta as condições do ambiente de mínima de 12,3 °C e máxima de 12,8 °C nos testes de secagem, a fornalha foi capaz de gerar 55,9 °C de massa de ar quente. Portanto fica a recomendação que;

A ventilação nunca deverá ser utilizada a baixo de 30%, pois a mesma ventilação que insufla o ar para câmara de secagem, também é responsável por refrigerar o motor elétrico da turbina. Contudo o uso periódico de fluxo de ar muito baixo pode não refrigerar corretamente o motor ocasionando a queima da turbina.

A fornalha sempre deve trabalhar com pelo menos 5% de abertura de ar quando estiver em operação, em caso de fechamento total, não existe troca de calor entre temperatura ambiente e fornalha, gerando desgaste prematuro da ventilação.

Recomenda-se que a temperatura de massa de ar não passe de 60 °C, afim de se aumentar a durabilidade do equipamento e evitar o aumento de temperatura de massa de grão.

## 5.2 Vazão do ar de secagem.

Após os testes realizados em laboratório foi possível obter os seguintes valores de vazão.

Tabela 10. Resultados de Vazão de ar

Potência ventilador (%)	30	50	70	100
Vazão de ar (m <sup>3</sup> /s)	0,015m <sup>3</sup> /s	0,019m <sup>3</sup> /s	0,0239m <sup>3</sup> /s	0,0269m <sup>3</sup> /s

Fonte: Autor

## 5.3 Teste de Uniformidade de temperatura no leito

Através das medições realizadas foi possível obter os seguintes valores de temperaturas.

Tabela 11. Medição da temperatura máxima em diferentes pontos

<b>Vazão 0,015 m<sup>3</sup>/s</b>	<b>Ponto 1</b>	<b>Ponto 2</b>	<b>Ponto 3</b>	<b>Ponto 4</b>
<b>Temp. Max (C°)</b>	39,1	36,9	47,2	55,9
<b>Vazão 0,019 m<sup>3</sup>/s</b>	<b>Ponto 1</b>	<b>Ponto 2</b>	<b>Ponto 3</b>	<b>Ponto 4</b>
<b>Temp. Max (C°)</b>	37,9	34,7	43,6	50,8
<b>Vazão 0,0269 m<sup>3</sup>/s</b>	<b>Ponto 1</b>	<b>Ponto 2</b>	<b>Ponto 3</b>	<b>Ponto 4</b>
<b>Temp. Max (C°)</b>	36,2	32,2	42,3	48,8

Fonte: O Autor

Obtida as informações, foi possível notar que os pontos 1 e 2 apresentaram temperaturas mais baixas que os pontos 3 e 4 em todos os testes realizados, para evitar desuniformidade de secagem é recomendado que quando utilizar o equipamento seja realizada a movimentação do grão no leito de secagem a cada 20 minutos de operação, como foi realizado no teste 1 (Eficiência de secagem), para se evitar que o grão evapore mais umidade nos pontos 3 e 4.

Ainda no teste de uniformidade com base nos valores obtidos na tabela 11, acredita-se que a vazão de 0,015 m<sup>3</sup>/s, tenha influência sobre o resultado do tempo de secagem da amostra 4 do teste 1 (Eficiência de secagem). Pois é notável a temperatura máxima atingida de 55,9 °C em relação a vazão de 0,0269m<sup>3</sup>/s que atingiu a temperatura máxima de 48,8 °C.

#### 5.4 Custos

Para a realização da montagem, foi essencial contar com o suporte de profissionais especializados em tornearia, soldagem e dobra de chapas, resultando em custos relacionados à mão de obra. Estes serviços específicos fazem parte do item Mão de obra da tabela 12.

Tabela 12. Custos de desenvolvimento

Item	Quantidade	Valor Unit.	Valor Total
Mão de Obra	1	110,00	110,00 R\$
Resistência	1	59,99 R\$	59,99 R\$
Ventilação	1	139,90 R\$	139,90 R\$
Base MDF 15mm	0,48m <sup>2</sup>	60,00 R\$	60,00 R\$
Termo higrômetro	1	19,90 R\$	19,90 R\$
Termômetro	1	25,00 R\$	25,00 R\$
Mangueira de alta temperatura	0,3m	60,00 R\$	60,00 R\$
Abraçadeiras	2	10,00 R\$	20,00 R\$
Tintas	2	22,00 R\$	44,00 R\$
Parafusos, Porcas, Arruelas	25	0,40 R\$	10,00 R\$
Chapa Inox 0.6mm	0,16m <sup>2</sup>	Doação	
Chapa perfurada	0,15m <sup>2</sup>	Doação	
Chapa 2mm Aço	0,21m <sup>2</sup>	Doação	
Cantoneiras	2,4m	Doação	
Duto de aço 2 Pol.	0,1m	Doação	
<b>Total</b>		<b>558,79 RS</b>	

Fonte: O Autor



Assim, os valores obtidos foram verificados nos meses de junho e julho de 2024, podendo apresentar variações devido a custos adicionais como frete e logística, os quais podem ser influenciados por diferenças regionais.

Com uma pesquisa dos materiais doados estimasse que se fosse necessário realizar a compra dos mesmos, o custo do projeto teria um acréscimo de aproximadamente 285,00 R\$ levando em consideração que as chapas de inox 0.6mm, de aço 2mm e cantoneiras 2mm apenas são vendidas em peça única com dimensões de 100 x 50 (inox), 40 x 70 cm (aço 2mm) e 3m (cantoneira).

## **6. Considerações finais**

O protótipo desenvolvido pode ser utilizado para secagem de produtos agrícolas.

Os dados de eficiência de secagem foram satisfatórios, e recomenda-se a movimentação dos produtos a serem secos a cada 20 minutos devido a não cobertura do aparelho.

O protótipo construído será doado para o curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Pampa – Campus Alegrete, mantido no Laboratório de Pós Colheita da instituição, onde será possível os alunos do curso interagirem e aprofundarem seus conhecimentos práticos utilizando esta ferramenta.

## 7. Referências

BRASIL. **Ministério da Agricultura e Pecuária. Exportações do agronegócio fecham 2023 com US\$ 166,55 bilhões em vendas.** Governo federal, 2024.

BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. **Drying and storage of grains and oilseeds.** New York: Van Nostrand Reinhold, 1992.

CORTEZ, L.A.B.; MAGALHÃES, P.S.G. **Introdução à engenharia agrícola.** Campinas: Editora da Unicamp, 1992. 393 p.

CAVARIANI, C. **Secagem estacionária de sementes de milho com distribuição radial do fluxo de ar.** 1996. 85f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Esalq-USP.

CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira - Safra 2023/2024.** Governo federal, julho 2024.

DALPASQUALE, V.A., PEREIRA, J.A.M., SINICIO, R., OLIVEIRA FILHO, D. **Secado de granos a altas temperaturas.** Santiago, Chile: Oficina Regional de la FAO para America Latina y el Caribe. 1991. 75p.

DA SILVA, Luís César. **Secagem de grãos. Boletim Técnico: AG**, v. 4, n. 05, 2005.

GARCIA, Danton Camacho et al. **A secagem de sementes. Ciência Rural**, v. 34 , 2004.

MARTINS, Elton Aparecido Siqueira et al. **Dimensionamento e experimentação de um secador de leito fixo para a secagem de produtos agrícolas.** 2015.

MÖHLER, Bruno Cardozo. **Avaliação das características de secagem dos grãos de soja.** 2010.

PEROZIN. **Secador de leito fixo**, Figura 3, disponível em:

<<https://www.perozin.com.br/verprodutos.php?id=423>>. Acesso em: 12 abril de 2024.

PESKE, S. T.; VILLELA, F. Sementes: **Fundamentos Científicos e Tecnológicos**. Pelotas, 2003.

PORTELLA J, Luiz Eichelberger **Secagem de grãos**. EMBRAPA TRIGO, PASSO FUNDO RS, 2001.

SILVA, Juarez de Sousa et al. **Fornalha a lenha para secagem de café e grãos**. 2014.

SILVA, JUAREZ DE DOUSA **Secagem e secadores** 2º ed. Viçosa – MG, 2008.

WEBER, E.A **Armazenagem Agrícola**. Porto Alegre: Kepler Weber Industrial, 1998.

WEBER, E. A. **Excelência em beneficiamento e armazenagem de grãos**. 1ª Ed. Panambi, 2005.