



INSTITUTO FEDERAL
GOIANO
Câmpus Rio Verde

**PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM BACHARELADO EM
AGRONOMIA**

**AVALIAÇÃO DE SECADOR COM ALIMENTAÇÃO POR
CAVACOS DE LENHA E QUALIDADE DOS GRÃOS DE SOJA**

Eduarda Ribeiro Costa

Rio Verde, GO

2021

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO CAMPUS RIO VERDE
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM BACHARELADO EM AGRONOMIA**

**AVALIAÇÃO DE SECADOR COM ALIMENTAÇÃO POR CAVACOS
DE LENHA E QUALIDADE DOS GRÃOS DE SOJA.**

EDUARDA RIBEIRO COSTA

Trabalho de Curso apresentado ao Instituto Federal Goiano
– Campus Rio Verde, como requisito parcial para a
obtenção do Grau de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Osvaldo Resende.

Rio Verde - GO

Novembro, 2021

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

Ca Costa, Eduarda Ribeiro

Avaliação de secador com alimentação por cavacos de lenha e qualidade dos grãos de soja / Eduarda Ribeiro Costa; orientador Osvaldo Resende. -- Rio Verde, 2021.

38 p.

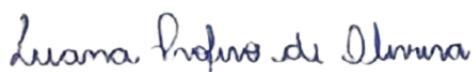
1. Glycine max (L.) Merril. 2. Secador de grãos . 3. Qualidade . 4. Temperatura . I. Resende,

Página da aprovação da banca examinadora

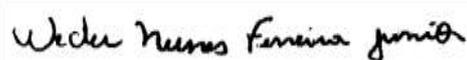
EDUARDA RIBEIRO COSTA

**AVALIAÇÃO DE SECADOR COM ALIMENTAÇÃO POR CAVACOS DE LENHA E
QUALIDADE DOS GRÃOS DE SOJA**

Trabalho de Curso DEFENDIDO e APROVADO em 10 de Novembro de 2021, pela Banca Examinadora constituída pelos membros: Osvaldo Resende, Luana Profiro de Oliveira e Weder Nunes Ferreira Júnior.



Eng. Agron. Luana Profiro de Oliveira



Me. Weder Nunes Ferreira Júnior



Prof. Dr. Osvaldo Resende

Rio Verde – GO

Novembro, 2021

**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 9.610/98, NÃO AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), com ressarcimento de direitos autorais, conforme negação assinada abaixo, de apresentação em formato digital 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 | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC – Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Eduarda Ribeiro Costa

Matrícula: 2017102200240316

Título do Trabalho: Avaliação de secador com alimentação por cavacos de lenha e qualidade dos grãos de soja.

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: parte do documento já foi publicada pela revista Drying Technology.

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 22/11/2021

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;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, 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;
- 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.

Rio Verde – GO, 22/11/2021.

Eduarda Ribeiro Costa

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Osvaldo Resende

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 10/2021 - CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Ao(s) dez dia(s) do mês de novembro de 2021, às 13 horas e 30 minutos, reuniu-se a banca examinadora composta pelos docentes: Osvaldo Resende (Orientador), Weder Nunes Ferreira Júnior (Membro) e Luana Profiro de Oliveira (membro), para examinar o Trabalho de Curso intitulado "**Avaliação de secador com alimentação por cavacos de lenha e qualidade dos grãos de soja**" do(a) estudante **Eduarda Ribeiro Costa**, Matrícula nº 2017102200240316 do Curso de Agronomia do IF Goiano – Campus Rio Verde. A palavra foi concedida ao(a) estudante para a apresentação oral do TC, houve arguição do(a) candidato pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela **APROVAÇÃO** do(a) estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora.

(Assinado Eletronicamente)

Osvaldo Resende
Orientador(a)

(Assinado Eletronicamente)

Weder Nunes Ferreira Júnior
Membro

(Assinado Eletronicamente)

Luana Profiro de Oliveira
Membro

Observação:

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

Documento assinado eletronicamente por:

- **Weder Nunes Ferreira Júnior**, 2018202320140124 - Discente, em 10/11/2021 14:34:14.
- **Luana Profiro de Oliveira**, 2021102310140083 - Discente, em 10/11/2021 14:32:22.
- **Osvaldo Resende**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 10/11/2021 14:30:38.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 08/11/2021. 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: 327148

Código de Autenticação: c8d8293e36



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Rio Verde
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, None, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970
(64) 3620-5600

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, pois sem ele nada disso seria possível, autor da minha vida e do meu destino.

À minha família por sempre acreditar no meu potencial e em especial a minha mãe Quésia Ribeiro Lopes por ser o meu ponto de apoio e minha inspiração.

A minha segunda mãe, Valéria Martins Ferreira Camarota que sempre esteve presente ao longo dessa caminhada me incentivando e motivando a realizar os meus sonhos.

Aos amigos e colegas, pelo incentivo e apoio constante.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, sempre me guiando e dando forças para não desistir, nada disso seria possível sem ele.

A minha mãe Quésia, que sempre me apoiou durante a minha caminhada, segurando a minha mão nos momentos mais difíceis e presente em todas as minhas conquistas.

A minha avó Fátima que sempre acreditou no meu potencial.

A minha segunda mãe, Valéria que esteve presente durante toda essa jornada me impulsionando a ser uma mulher forte e determinada.

Ao meu namorado Walmer Jr, que me ajudou diversas vezes e me incentivou na realização do meu sonho.

Ao Luiz Henrique Camarota e Vailtom Moraes, por terem sido anjos durante a minha trajetória pessoal e profissional, me moldando e incentivando a não desistir.

Aos meus amigos de faculdade e de vida, Thacyelle, Leônidas, Guyanlukia, Gustavo, Thaylane e Alice por todo apoio, choros e risadas compartilhadas durante esses 5 anos.

As minhas amigas Hemily Vitória, Amanda Madalena, Laryssa Lima e Pablinny Lorryne por estarem presente ao longo dessa jornada.

Aos meus parceiros de pesquisa do Laboratório de Pós Colheita de Produtos Vegetais, em especial aos meus grandes amigos Weder Nunes, Diene Souza e Lara Resende por toda a ajuda e apoio durante este período tão importante da minha formação acadêmica.

Ao Professor e meu Orientador Osvaldo Resende e ao Wellytton Darci Quequeto pela orientação, apoio e confiança.

A esta Instituição, seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram a janela que hoje vislumbro um horizonte superior.

A todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização da minha pesquisa e formação acadêmica, deixo registrado o meu muito obrigada.

RESUMO

COSTA, Eduarda Ribeiro. Avaliação de secador com alimentação por cavacos de lenha e qualidade dos grãos de soja. 38p Monografia (Curso de Bacharelado de Agronomia). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2021.

O presente trabalho foi desenvolvido com a parceria das empresas privadas Caramuru Alimentos S/A e a Comber LTDA e apoio do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, com o objetivo de avaliar o desempenho da secagem dos grãos de soja, utilizando um secador com fornalha alimentada automaticamente com cavacos de eucalipto, bem como, avaliar a qualidade dos grãos de soja antes e após a secagem. Foram coletadas 12 amostras antes da secagem e outras 12 amostras após a secagem, totalizando 24 amostras em torno de 1 kg cada uma, em intervalos de 5 minutos durante o processo de secagem. Foram efetuadas as seguintes avaliações experimentais: secador – desempenho, poder calorífero e consumo do combustível. Os grãos foram avaliados quanto ao teor de água, condutividade elétrica, massa específica aparente e massa de mil grãos. A secagem foi conduzida em um secador de fluxo misto com capacidade nominal de 100 toneladas por hora. A temperatura e a umidade relativa do ar ambiente foram monitoradas por meio de um data logger. As temperaturas do ar de secagem, do ar intergranular e do ar de exaustão foram medidas por meio de termopares acoplados a indicadores de temperatura digital e utilizando termômetro infravermelho. O consumo médio de combustível foi de 21,78 kg de cavaco por tonelada de grãos seco. O consumo específico de energia para secar 1,0 kg de grãos foi de 11.871,80 kJ. De maneira geral, a secagem não comprometeu a qualidade final dos grãos de soja.

Palavras-chave: *Glycine max* (L.) Merrill, Secador de grãos, Qualidade, Temperatura.

ABSTRACT

COSTA, Eduarda Ribeiro. Evaluation of wood chip fed dryer and soybean grain quality. 38p Monograph (Bachelor of Agronomy Course). Federal Institute of Education, Science and Technology Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2021.

The present work was developed in partnership with private companies Caramuru Alimentos S/A and Comber LTDA and supported by Federal Goiano Institute - Campus Rio Verde, with the objective of evaluating the performance of the drying of soybeans, using a dryer with a furnace automatically fed with eucalyptus chips, as well as how to evaluate the quality of soybeans before and after drying. Twelve samples were collected before drying and another 12 samples after drying, totaling 24 samples of around 1 kg each, at intervals of 5 minutes, during the drying process. The following experimental evaluations were carried out: dryer – performance, heating power and fuel consumption. The grains were evaluated for moisture content, electrical conductivity, apparent specific gravity and mass of one thousand grains. The drying was carried out in a mixed flow dryer with a nominal capacity of 100 tons per hour. The temperature and relative humidity of the ambient air were monitored using a data logger. Drying air, intergranular air and exhaust air temperatures were measured using thermocouples coupled to digital temperature indicators and using an infrared thermometer. Average fuel consumption was 21.78 kg of chips per ton of dry grain. The specific energy consumption to dry 1.0 kg of grains was 11,871.80 kJ. In general, drying did not compromise the final quality of the soybeans.

Keywords: *Glycine Max* (L.) Merrill, Grain dryer, Quality, Temperature.

LISTA DE FIGURAS E TABELAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Secador com secagem estacionária..... | 21 |
| Figura 2. Secador com secagem contínua..... | 21 |
| Figura 3. Secador com secagem intermitente..... | 22 |
| Figura 4. Funcionamento dos secadores (a) de fluxo concorrente e (b) fluxo contracorrente..... | 23 |
| Figura 5. Secador do tipo fluxo misto ou cascata..... | 23 |
| Figura 6. Secador do tipo seca – aeração..... | 24 |
| Figura 7. Secador com alimentação automatizada de cavaco de lenha de eucalipto utilizado para a secagem dos grãos (7A) e esquema de funcionamento do secador e movimentação do ar de secagem oriundo da fornalha (7B) | 26 |
| Figura 8. Valores da temperatura interna da fornalha obtidos durante a operação de secagem dos grãos de soja..... | 28 |
| Figura 9. Eficiência, temperaturas do ar de secagem, ar de exaustão e ar ambiente durante o período de secagem dos grãos de soja..... | 29 |
| Figura 10. Avaliações para caracterização da qualidade do produto antes e após a secagem. (n $= 3$)..... | 30 |
| | |
| Tabela 1. Características do combustível e do secador durante a secagem dos grãos de soja..... | 28 |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 15 |
| 2. REVISÃO DA LITERATURA..... | 16 |
| 2.1 Importância da cultura da soja | 16 |
| 2.2 Secagem de grãos | 17 |
| 2.3 Tipos de secagem de grãos..... | 18 |
| 2.4 Secador de grãos..... | 19 |
| 2.5 Tipos de secadores de grãos | 20 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS | 25 |
| 4.1. Avaliações do secador..... | 26 |
| 4.2. Avaliações dos grãos..... | 27 |
| 4.3. Análise estatística..... | 27 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 28 |
| 5.1. Fornalha e Secador..... | 27 |
| 5.2. Grãos de soja..... | 30 |
| 6. CONCLUSÃO | 33 |

1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merr.) é uma espécie que se iniciou na Ásia e vem sendo cultivada há séculos. É um dos principais produtos plantados no mundo devido as suas características nutricionais e industriais além da facilidade de se adaptar a diferentes condições climáticas, solos e latitudes (MEDICE, 2007).

Na indústria em geral, a secagem representa uma fração significativa do uso de energia industrial, podendo variar de 27 a 70% dependendo do tipo de produto processado, tornando essencial a sua utilização racional (KUDRA, 2004). A alta demanda energética está associada ao calor necessário para a remoção da água dos grãos, a capacidade de transferência de calor entre o ar de secagem e o produto, assim como as perdas associadas na maioria dos secadores industriais (BRITO et al., 2018).

A secagem pode ser natural ou artificial, sendo a última a mais utilizada pela indústria, pois preserva a integridade dos grãos. É um processo de remoção parcial da umidade deles de maneira mais acelerada, além de propiciar um posterior direcionamento. Porém, elevadas temperaturas podem causar danos irreversíveis aos grãos (MIRANDA et al., 1999).

Para a realização do processo de secagem artificial é necessário aumentar o potencial de secagem do ar. Nesse caso, faz-se necessário fornecer energia na forma de calor, o que promoverá o aumento da temperatura e redução da umidade relativa do ar de secagem, sendo as fornalhas utilizadas basicamente para essa finalidade. Como fonte alternativa de energia, a madeira é o combustível mais utilizado na secagem de grãos no Brasil, principalmente devido ao seu baixo custo e alta disponibilidade (WEBER, 2005). Com o processamento da madeira em menores tamanhos obtém-se o cavaco, que proporciona como vantagens a automação do abastecimento da fornalha, o aumento da combustão devido a maior área de contato, a redução na formação de cinzas, o controle mais preciso e regularidade na temperatura do ar de secagem, a redução da mão de obra e dos riscos de acidentes, bem como a diminuição dos custos (QUEQUETO et al., 2021).

Tendo em vista a que secagem dos grãos proporciona a redução do teor de umidade e a prevenção do aparecimento de fungos e bactérias evitando assim que ocorra o processo respiratório que ocasiona a auto degradação do grão, perda de peso de grãos e presença de micotoxinas (BAUDET et al., 1999; SILVA, 2005), no entanto, ao realizar esse processo é necessário ter cautela pois como se trata de um tratamento térmico, e quando severo, causa danos na integridade benéfica dos grãos, como exemplo a desnaturação, prejudicando os componentes proteicos dos mesmos (NWOKOLO; SMARTT, 1995).

Portanto, o presente estudo objetivou-se avaliar o desempenho da secagem dos grãos de soja, utilizando um secador com fornalha alimentada automaticamente com cavacos de eucalipto, bem como, avaliar a qualidade dos grãos de soja antes e após a secagem.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Importância da cultura da soja

A soja (*Glycine max* L.) originada no nordeste da China, na região de Manchúria, fazendo parte da família Fabaceae, da classe das leguminosas como feijão e ervilha, é a principal cultura do agronegócio brasileiro de grande importância para o país (EMBRAPA, 2017).

Segundo dados da Conab (2021) o Brasil se mantém como o maior produtor da oleaginosa no mundo, sendo a produção de soja da safra 21/22 estimada a 140,75 milhões de toneladas e área de cultivo tende a ultrapassar os 38,2 milhões de hectares para os 39,91 milhões de hectares, tendo pequeno acréscimo de 2,5% em comparação com a safra anterior.

Essa oleaginosa possui grande relevância para a indústria de alimentos devido as suas características nutricionais e proteicas e o seu grão pode ser usado tanto para alimentação de humanos quanto de animais. Composta em média de 40% de proteína, 35% de carboidratos, 20% de óleo e 5% de cinzas, devido a sua alta quantidade de proteína, esta tem sido muito utilizada na produção da proteína isolada de soja, além da extração de óleo vegetal (MÖHLER, 2010).

O agronegócio da soja faz parte do grupo de atividades agrícolas mais importantes do mercado mundial, pois merece destaque como uma das principais *commodities* produzidas no mundo (HIRAKURI; LAZZAROTTO, 2011).

Segundo o MAPA, a área de soja aumentará 9,3 milhões de hectares nos próximos 10 anos e deve chegar a 43,2 milhões de hectares em 2027, sendo a cultura que mais crescerá nos próximos 10 anos. A expansão da soja deve ser feita em áreas onde ainda há disponibilidade de terras, áreas de pastagem e lavouras sem disponibilidade de áreas (MAPA, 2017). Em alguns casos no Brasil, a expansão será predominantemente sob pastagens naturais (CONAB, 2014).

A expansão das áreas de cultivo se dará em áreas de alta produtividade, como a região do Cerrado, que atualmente faz parte do que se chama Matopiba, por incluir terras no Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia (MAPA, 2017).

Além de ser a base do desenvolvimento econômico nas áreas do agronegócio, a soja gera milhares de empregos diretos e indiretos, o desenvolvimento social dos governos locais, a formação e integração das classes médias e cadeias produtivas locais. Além disso, a produção

de soja ocorre principalmente em regiões distantes da capital brasileira, é o motor do desenvolvimento socioeconômico em muitas regiões distantes dos grandes centros e é responsável pela urbanização e desenvolvimento de um grande número de pequenas e médias empresas (HIRAKURI et al., 2018).

2.2 Secagem de grãos

Pode-se definir secagem como o processo de transferência simultânea de calor e massa (água) entre o produto e o ar seco. Esse movimento é causado pela diferença de pressão do vapor d'água entre a superfície do produto a ser seco e o ar circundante. A principal condição para a secagem é que a pressão de vapor na superfície do produto seja superior à pressão de vapor do ar seco (SILVA et al., 2008).

Para a manutenção da qualidade do produto o processo de secagem na pós-colheita é fundamental (DEVILLA et al., 1999; MENEGHETTI, 2008). A redução da quantidade de água em um material visa reduzir a atividade biológica e as mudanças químicas e físicas que ocorrem durante o armazenamento. A secagem é o processo de retirada da água e é utilizada com maior frequência para garantir a qualidade e estabilidade das sementes (RESENDE, 2006).

O processo de secagem em produtos agrícolas tornou-se fundamentalmente importante e aumenta ano após ano com o aumento da produção, tornando o armazenamento do produto mais seguro sem risco de deterioração, permitindo uma colheita precoce, próxima da maturidade fisiológica. Ajuda a manter a germinação das sementes por longos períodos, controla microrganismos e insetos e minimiza a perda de material no campo (SILVA et al., 2008).

Nas últimas décadas, pesquisas sobre secagem tornaram-se necessárias, principalmente com o objetivo de aprimorar técnicas de produção de sementes para novas safras introduzidas em sistemas de produção (GARCIA et al., 2004).

O processo de secagem é de extrema importância quando chega a época de colheita e o grão no campo ainda se encontra úmido (PORTELLA & EICHELBERGER, 2001). Parte do calor do ar fornece o aumento da temperatura do produto (calor sensível) e parte fornece o calor necessário para vaporizar a água nas partículas (calor latente) (TAVARES e VENDRAMIM, 2005).

A preservação das propriedades dos grãos pode ser afetada por diversos fatores, incluindo o meio ambiente, colheita precoce, ataque biológico, contaminação e principalmente processos de secagem inadequados (PUZZI, 1986; HEUERT, 2004). A secagem é muito importante nos sistemas de produção agrícola, o que permite prever a produtividade, armazenar

os produtos por longos períodos sem se deteriorar, manter a viabilidade das sementes e permitir a comercialização dos produtores e manutenção da qualidade dos produtos. (HENDERSON et al., 1997).

2.3 Tipos de secagem de grãos

Os métodos de secagem são classificados quanto ao uso de equipamentos (naturais ou artificiais), frequência de aporte de calor (contínuo ou intermitente) e migração da massa da semente (constante ou contínua) (GARCIA et al., 2004).

A forma de se manter a qualidade dos produtos agrícolas é através da secagem artificial que é considerada o processo mais econômico. Na secagem artificial utiliza-se processos manuais ou mecânicos tanto para o manuseio do produto quanto para a passagem do ar pelas massas do produto. Manualmente, para canteiros de obras e armazéns, a secagem é feita por ventilação natural ou não forçada. No entanto, na maioria dos casos, o ar passará pelo ventilador (WEBER, 2001).

A secagem com ventilação natural requer fácil instalação, mas tem a desvantagem de ser trabalhosa e de operação menos eficiente (BERTI et al., 1999).

De forma artificial, a secagem pode ser feita em estruturas específicas projetadas e construídas para esse fim. Nelas, em geral (exceto por convecção), o ar é forçado a passar pela massa do produto e pode secar diferentes quantidades em um curto espaço de tempo, independentemente das condições de temperatura e umidade relativa do ar circundante (AOSANI, 2007), este é atualmente o sistema mais popular para secagem de grãos. No entanto, mais atenção deve ser dada ao monitoramento e manejo quando usado como semente. Conforme mencionado anteriormente, deve-se ter cuidado, pois a temperatura de secagem pode causar sérios danos, incluindo a morte do embrião da semente. A exposição de sementes com alto teor de água a altas temperaturas durante a secagem artificial pode resultar em má qualidade, redução da germinação, redução da vitalidade das mudas e redução das populações (ROVERI JOSÉ, 2003).

A secagem artificial baseia-se principalmente na passagem de ar pelo produto à temperatura ambiente ou aquecido (HALL, 1980) e pode ser feita utilizando o fluxo de ar sobre o produto e as possibilidades de vácuo, baixa temperatura, micro-ondas etc. Em geral, os métodos de secagem artificial utilizam diferentes condições de temperatura e fluxo de ar, tempo e morfologia do movimento das sementes ou grãos e contato ar-grão, e utilizam diferentes secadores disponíveis comercialmente de acordo com os princípios de operação (VILLELA e SILVA, 1992).

A secagem natural usa energia solar e eólica para remover a água dos grãos usando materiais como lonas, terraços de terra, concreto e pedras de pavimentação. No entanto, deve-se ter cuidado especial para garantir que as sementes não sobreaquecem e sequecem o mais uniformemente possível. Portanto, a secagem natural é geralmente suscetível ao risco de danos mecânicos e térmicos, sendo muitas vezes inadequada para a secagem de sementes devido às condições do ar ambiente (CARVALHO & NAKAGAWA, 2000). Devido à limitação dos métodos naturais que requerem a ocorrência de combinações, surgem os métodos artificiais mais populares, mas entretanto existem vários métodos de secagem artificial que são os principais: semicírculo forçado, circuito com secador, secador infravermelho, etc.

A secagem contínua é um método artificial de aplicação contínua de ar quente a um produto úmido. Essa ação é realizada até que o teor de água do produto atinja o valor desejado (MILMAN, 2002). Com a secagem contínua, a fonte de calor pode ser variável esse método é tido como artificial devido o processo ser realizado com o auxílio de alternativas mecânicas, elétricas ou eletrônicas, forçando o ar através da massa da grãos (CAVARIANI, 1996).

Vários pesquisadores usam a secagem contínua para descrever as taxas de secagem de diferentes produtos. Dentre estes, Silva (2013) trabalhou nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C e observou que quanto maior a temperatura do ar seco, menor o tempo de secagem.

A secagem intermitente é caracterizada pelo fato dos grãos permanecerem em contato com o ar quente por um curto período de tempo e se dispersarem por um período de tempo sem serem expostos ao fluxo de ar quente na câmara de compensação. O período de equalização permite que redistribuição da água nos grãos, reduzindo os gradientes hídricos e de temperatura (VILLELA e PESKE, 1997).

2.4 Secador de grãos

O princípio de secagem realizado por um secador é basicamente uma transferência de massa de calor e vapor. O ar que entra em contato com o grão, denominado ar seco, é aquecido primeiro. Esse aquecimento é causado pela combustão de combustível, que libera energia na forma de calor. O fluxo de ar seco é então acionado por um ventilador e conduzido por um tubo até chegar ao grão.

O ar seco aquecido aquece o grão e desloca a umidade existente no microclima, que é a camada de ar que envolve a superfície do grão. Como o ar seco é o mais seco possível, ocorre a transferência de massa dos vapores do grão. Esse ar seco passou a ser denominado exaustão (SILVA, 2005), pois ao gerar calor e receber umidade do grão, sua temperatura cai e sua umidade relativa aumenta.

Dependendo da empresa que os fabrica, entre outros parâmetros, existem diferentes modelos de secadores com diferentes capacidades e funções de secagem, mas em geral os principais componentes, de acordo com Sulzbacher et al. (2010) são:

-Silo Box: Componente que é colocado em cima de um secador onde o grão é depositado. Sua função é distribuir uniformemente o produto, evitar que o ar seco passe diretamente pelos dutos, tornar a operação ineficaz e representar risco de incêndio.

- Torre de secagem: uma série de calhas em "V" invertido formam uma torre de secagem (câmara), disposta em filas alternadas ou cruzadas dentro da estrutura do secador. Os grãos descem por efeito da gravidade na rampa enquanto o ar seco entra na linha da rampa e sai da rampa ao lado dela.

-Descarga: eixo giratório com lâminas elétricas. Isso permite que você altere a velocidade do grão durante o descarregamento e, portanto, o fluxo do grão.

-Shirt: componente que circula o ar seco e maximiza o ar seco.

-Ventilador: dispositivo que garante que o fluxo de ar seco tenha fluxo e pressão adequados para secar o produto.

-Fornalha: componente que aquece o ar seco, convertendo a energia química do combustível em energia térmica.

Os principais secadores do mercado podem ser assim classificados de acordo com o seu funcionamento, como: estacionário, contínuo e intermitente; e quanto aos fluxos de ar e do grão em: fluxo cruzado, concorrente, contracorrente e misto ou secador do tipo cascata (PORTELLA; EICHELBERGER, 2001).

2.5 Tipos de secadores de grãos

Os principais secadores do mercado podem ser assim classificados de acordo com o seu funcionamento, como: estacionário, contínuo e intermitente; e quanto aos fluxos de ar e do grão em: fluxo cruzado, concorrente, contracorrente e misto ou secador do tipo cascata (PORTELLA; EICHELBERGER, 2001).

De acordo com MARTINS et al., (1999), secagem em secador com funcionamento do tipo estacionário (Figura 1) ocorre quando as partículas permanecem estacionárias e centralizadas enquanto o fluxo de ar seco força a massa de grãos na câmara de secagem a passar pelo duto central perfurado ou pelo fundo perfurado, até que a umidade seja suficiente para preservar o produto.

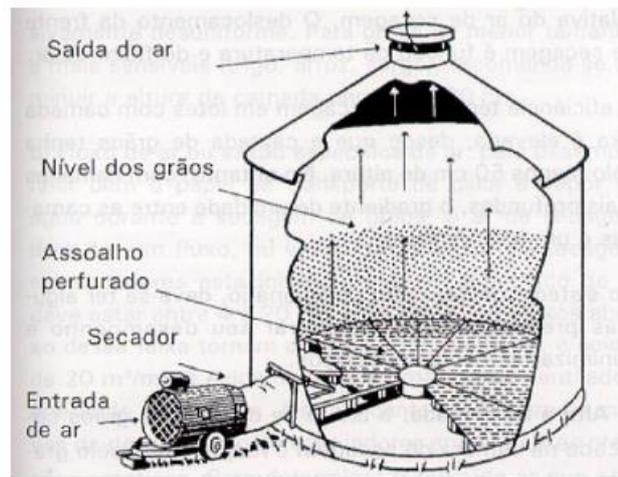


Figura 1 – Secador com secagem estacionária (PORTELLA & EICHELBERGER, 2001).

Na secagem com secador com funcionamento do tipo contínuo (Figura 2) a massa de partículas e o ar seco estão em movimento constante, há sempre um fluxo contínuo de partículas dentro e fora do secador, e o produto passa por um único processo até o grau de umidade desejado (SILVA, 2005). Este processo possui um fluxo de ar seco proporcional ao fluxo de grãos.

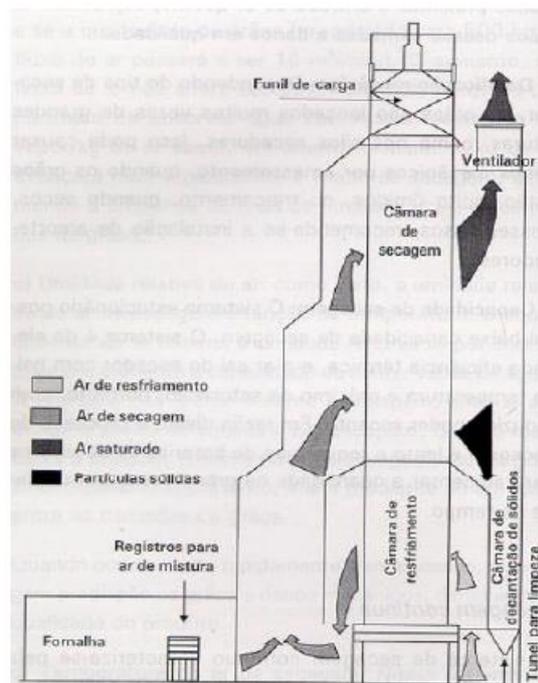


Figura 2 – Secador com secagem contínua (PORTELLA & EICHELBERGER, 2001).

Já em secador com secagem do tipo intermitente (Figura 3), o grão é exposto a uma corrente de ar seco em intervalos regulares de tempo. Se a massa das partículas não for exposta ao fluxo de ar, ocorrerá a homogeneização da umidade e a água se moverá de dentro das

partículas para a superfície. Portanto, a água ainda presente nas partículas tende a evaporar e passar ao ar seco na próxima passagem pela massa dos grãos.

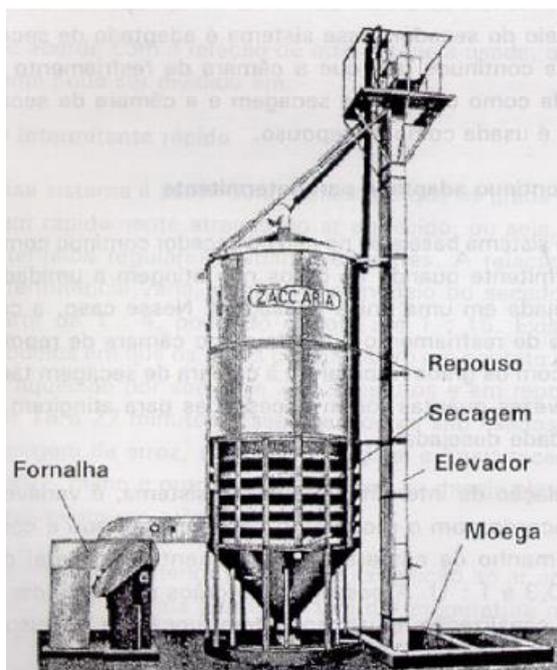


Figura 3 – Secador com secagem intermitente (PORTELLA & EICHELBERGER, 2001).

Em secador de fluxo cruzado, o fluxo de grãos e ar seco é vertical e se cruzam sob um ângulo de 90° na câmara de secagem. O grão é colocado na tremonha superior e baixado pela gravidade enquanto é atingido verticalmente por uma corrente de ar seco. Como vantagem esse tipo de secador apresenta a uma alta capacidade de secagem, é fácil de ser manuseado e operado e apresenta baixo custo inicial. Já como desvantagens apresentam alto risco de superaquecimento dos grãos, tem alto consumo energético, se operado em modo contínuo a secagem é irregular e estável e apresenta uma baixa eficiência de secagem (SILVA et al, 2005).

Em um secador de contra fluxo, o fluxo de ar seco passa pelos grãos na direção oposta ao fluxo do produto. Este tipo de secador é energeticamente eficiente, o grão fica exposto a altas temperaturas por um curto período de tempo e apresenta menos danos mecânicos, mas apresenta maiores custos de manutenção quando utilizado em sistemas de secagem em silo (PORTELLA; EICHELBERGER, 2001).

Ao contrário dos secadores de contra fluxo, os secadores de fluxo simultâneo permitem que a massa de partículas e o ar seco viagem na mesma direção. Como vantagens apresenta uma maior uniformidade de temperatura de secagem e de umidade dos grãos que saem do secador, menos danos físicos (produtos de alta qualidade), alta eficiência energética e alta capacidade de secagem. Devido às altas temperaturas utilizadas na planta, a construção é mais cara e mais suscetível ao fogo, o que gera custos iniciais (PORTELLA; EICHELBERGER,

2001). A diferença entre os secadores de fluxo concorrente e contracorrente pode ser observada na figura 4 abaixo.

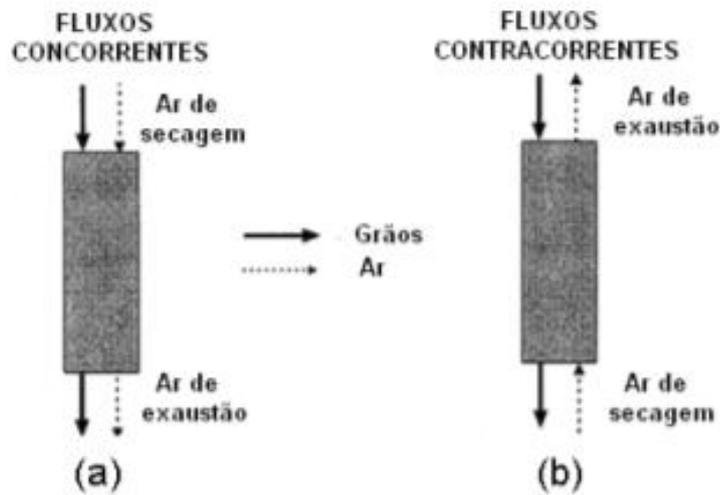


Figura 4 – Funcionamento dos secadores (a) de fluxo concorrente e (b) fluxo contracorrente (BROOKER et al., 1992).

Secadores do tipo fluxo misto ou cascata são mais utilizados pelos produtores brasileiros que possuem unidades de armazenamento devido à sua alta capacidade de secagem de 15-250 toneladas / hora, reduzindo o teor de água em 18% -13%. Este secador utiliza simultaneamente os três tipos de fluxo de ar sobre-seco (cruzamento, contra-corrente, simultâneo) (SILVA, 2005). A Figura 5 mostra o secador de fluxo misto.

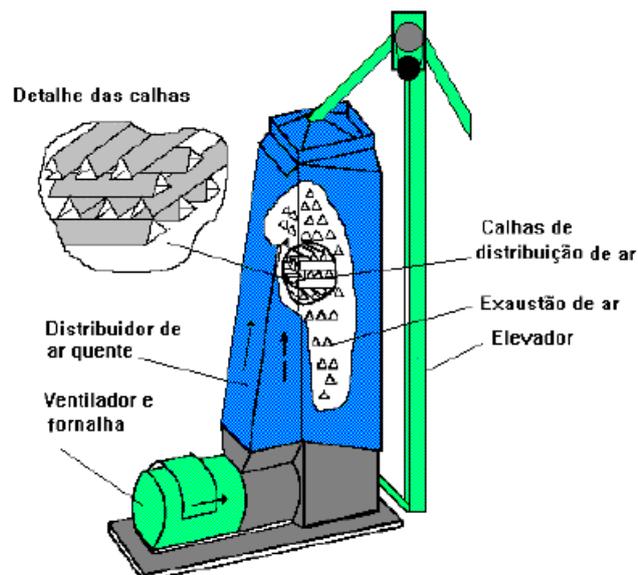


Figura 5 – Secador do tipo fluxo misto ou cascata (BROOKER et al., 1992).

Já o tipo silo secador é um sistema que apresenta uma capacidade de secagem baixa, isso porque os grãos colocados na entrada de ar atingem efetivamente a temperatura do ar seco, enquanto as partículas que saem são mais frias e úmidas, formando um gradiente de temperatura e umidade entre a entrada e a saída do ar, e para homogeneizar as partes irregulares do grão no que diz respeito à umidade, o produto deve ser misturado após o processo de secagem (SYPERRECK, 2005).

O sistema de secagem do tipo seca-aeração utiliza altas temperaturas e os grãos são extraídos do secador em alta temperatura, aproximadamente 2% superior à umidade necessária para armazenamento, e depositado em silo de nivelamento sem ar para uniformizar a umidade. Após um determinado período de tempo, o grão perde 2 pontos percentuais de água após o resfriamento. Esta operação, ilustrada na Figura 6, melhora a capacidade de secagem, economiza energia e reduz a degradação da qualidade do produto (SILVA, 2005).

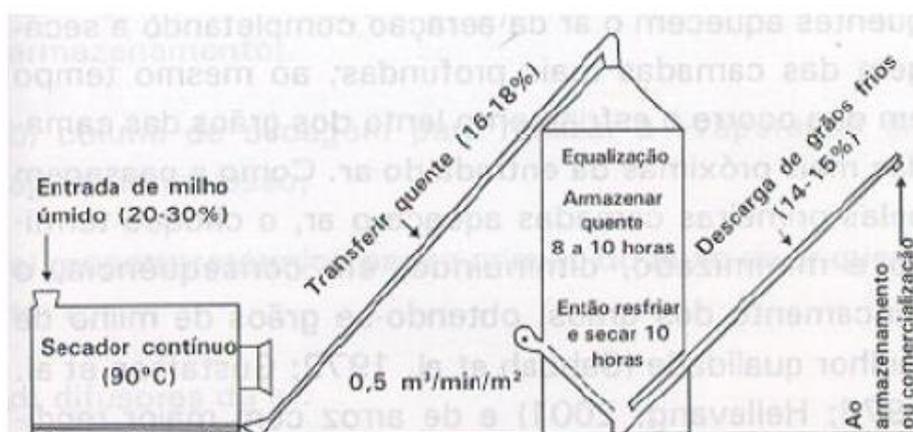


Figura 6 – secador do tipo seca-aeração (PORTELLA & EICHELBERGER, 2001).

2.6 Tipos de combustível para secagem de grãos

Os combustíveis são substâncias ricas em carbono e hidrogênio que na presença de oxigênio, participam de reações químicas nas quais a energia é liberada na forma de calor em condições adequadas de temperatura e pressão (SAGLIETTI, 1991).

Em 1980, o governo brasileiro proibiu o uso de combustíveis fósseis para secar produtos agrícolas por meio do Conselho Nacional do Petróleo. Como resultado, o uso de lenha como combustível aumentou significativamente desde então, o que ocasionou escassez e alta no preço da lenha para este fim (LOPES et al., 2001).

A madeira é uma fonte muito sustentável devido ser renovável e também é um produto importante para produção de combustível para secagem de grãos no Brasil, podendo ser utilizada na forma de lenha ou cavaco. Cavacos são pequenos pedaços de madeira com 5-50 mm de comprimento derivados de aparas de madeira e biomassa residual de madeira e contêm

uma pequena proporção de partículas mais finas e mais longas (GRUNKRAUT, 2012). A qualidade do cavaco depende da tecnologia utilizada para fabricá-lo e principalmente das matérias-primas. Portanto, a caracterização da madeira é fundamental. Isso é feito através da determinação de propriedades técnicas, como teor de umidade, densidade de base, densidade aparente e tamanho de partícula, cinzas e valor calorífico (MOERS et al., 2011).

O material mais utilizado para aquecer o secador é a madeira de eucalipto em metros, mas esse tipo de material faz com que a temperatura do secador flutue e não mantenha a secagem ideal. A dificuldade da mão de obra humana no descarte de toras de madeira em um forno também é um problema, causando desperdício de energia, altos custos e riscos à saúde humana. A eficiência energética pode ser aumentada reduzindo a distribuição granulométrica da biomassa e aumentando a área superficial específica resultante (NOGUEIRA, 2000).

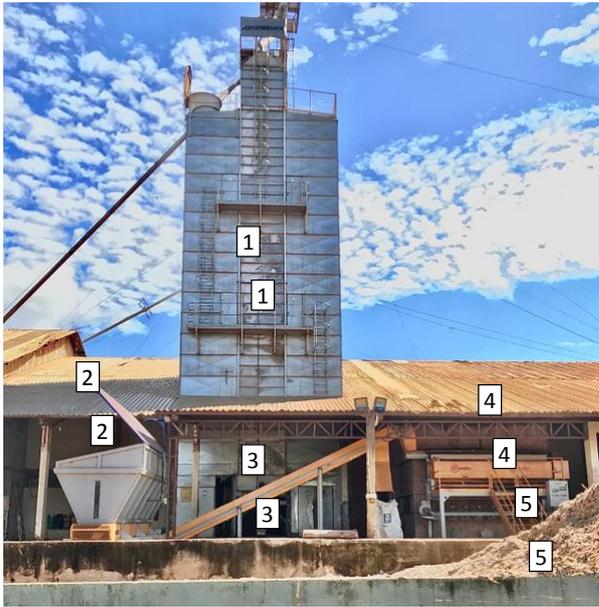
A busca por fontes alternativas de energia vem ganhando cada vez mais atenção graças à redução de custos e ao impacto ambiental. Para aumentar a eficiência e reduzir custos, muitas empresas estão substituindo a lenha de eucalipto em metros por cavacos e restos de madeira anteriormente não utilizados (UNFRIED e YOSHI, 2012).

3. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida com a parceria das empresas privadas Caramuru Alimentos S/A juntamente com a Comber Indústria LTDA., além da parceria e apoio do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde.

Os grãos de soja (safra 2018/2019) foram colhidos mecanicamente e logo após transportados por caminhões até a unidade armazenadora da empresa Caramuru Alimentos S/A situada no município de Montividiu – GO, onde possui o secador com fornalha automática alimentada a cavacos de lenha de eucalipto. Foram coletadas 27 amostras antes da secagem (grãos úmidos), no qual foram retiradas em um duto que alimenta o elevador do secador e 27 amostras após a secagem (grãos secos) que foram retiradas no transportador de descarga do secador (redler), em intervalos de 10 minutos, ambas em torno de 1,0 kg, totalizando 54 amostras.

A secagem dos grãos foi conduzida em um secador de fluxo misto com capacidade nominal de 100 toneladas por hora (Figura 7). A temperatura e a umidade relativa do ar ambiente foram monitoradas por meio de um data logger. A temperatura do ar de secagem foi medida por meio de sensor termopar e a temperatura do ar dentro da fornalha foi verificada utilizando termômetro infravermelho.



Fonte: Figura 7A: autores;

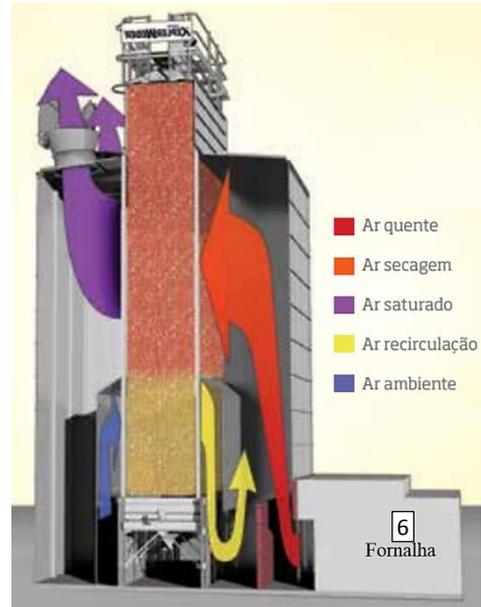


Figura 7B adaptada: kepler.com.br

Figura 7A. Secador com alimentação automatizada de cavaco de lenha de eucalipto utilizado para a secagem dos grãos. 1. Secador modelo KW ADS com torre de colunas; 2. Caixote para depósito de cavacos; 3. Esteira de transporte dos cavacos; 4. Plataforma de alimentação da fornalha e painel de controle; 5. Cavacos de lenha de eucalipto; 6. Fornalha. 7B. Esquema de funcionamento do secador e movimentação do ar de secagem oriundo da fornalha.

4.1. Avaliações do secador

A avaliação do desempenho do sistema foi baseada na metodologia proposta por Bakker-Arkema et al. (1978), sendo o consumo específico de energia (CEE) determinado de acordo com a equação 1:

$$CEE = \frac{(CC \times PCi) + CE}{Pa} \quad (1)$$

em que,

CEE - Consumo específico de energia, kJ kg^{-1} ; CC - Consumo de combustível, kg; PCi - Poder calorífico inferior do combustível, kJ kg^{-1} ; CE - Consumo de energia elétrica, kJ e; Pa - Perda de água, kg.

A eficiência do secador foi obtida por meio das temperaturas do ar de secagem, do ar de exaustão e do ar ambiente pela equação 2:

$$\eta = \frac{T_{as} - T_{ae}}{T_{as} - T_{aa}} \times 100 \quad (2)$$

em que,

η - eficiência de secagem, %; T_{as} - temperatura do ar de secagem; T_{ae} - temperatura do ar de exaustão e T_{aa} - temperatura do ar ambiente.

4.2. Avaliações dos grãos

As análises dos grãos de soja foram realizadas no Laboratório de Pós Colheita de Produtos Vegetais do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde e estes foram avaliados quanto ao:

Teor de água (% , b.u.): A determinação do teor de água foi realizada por gravimetria, utilizando estufa a 105 °C, durante 24 horas em quatro repetições (BRASIL, 2009). Os resultados foram expressos em porcentagem (base úmida).

Massa de mil grãos - foi mensurada a partir de uma amostragem de grãos de cada tratamento. O valor foi obtido por meio da determinação da massa de 100 grãos, em oito repetições, e, posteriormente, estimado para 1000 grãos. Os resultados foram expressos em gramas (g) (BRASIL, 2009).

Massa específica aparente (kg m^{-3}): foi utilizado um recipiente de volume conhecido preenchido com os grãos em uma altura de queda fixa. Após o preenchimento e pesagem, determinou-se a massa específica aparente por meio da relação da massa e volume em balança de peso hectolitro.

Condutividade elétrica: foi adotada a metodologia descrita por Vieira & Krzyzanowski (1999). Foram utilizadas 4 subamostras de 50 grãos de cada tratamento, pesados em balança com resolução de 0,01 g. As amostras foram colocadas para embeber em copos plásticos com 75 mL de água deionizada e mantidas em câmara incubadora tipo B.O.D., com temperatura controlada de 25 °C, durante 24 h. As soluções contendo os grãos foram levemente agitadas para uniformização dos lixiviados, e imediatamente realizada à leitura em condutivímetro digital, sendo os resultados divididos pela massa dos 50 grãos e expressos em $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$ de produto.

4.3. Análise estatística

O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado (DIC), sendo as amostras coletadas antes e depois da secagem. Os resultados médios foram comparados pelo teste t ao nível de 0,05 de probabilidade, utilizando o software SigmaPlot. Para avaliação do secador foi utilizada a estatística descritiva.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Fornalha e Secador

Durante a secagem ocorreram oscilações de temperatura no interior da fornalha ocasionadas pelos intervalos de abastecimento do cavaco que são controlados pelo automatizador conforme regulagem realizada pelo operador do secador (Figura 8). Essas variações de temperatura acontecem até o ar de secagem atingir a temperatura desejada no interior do secador, que irá depender das condições iniciais do produto, do equipamento e do combustível utilizado.

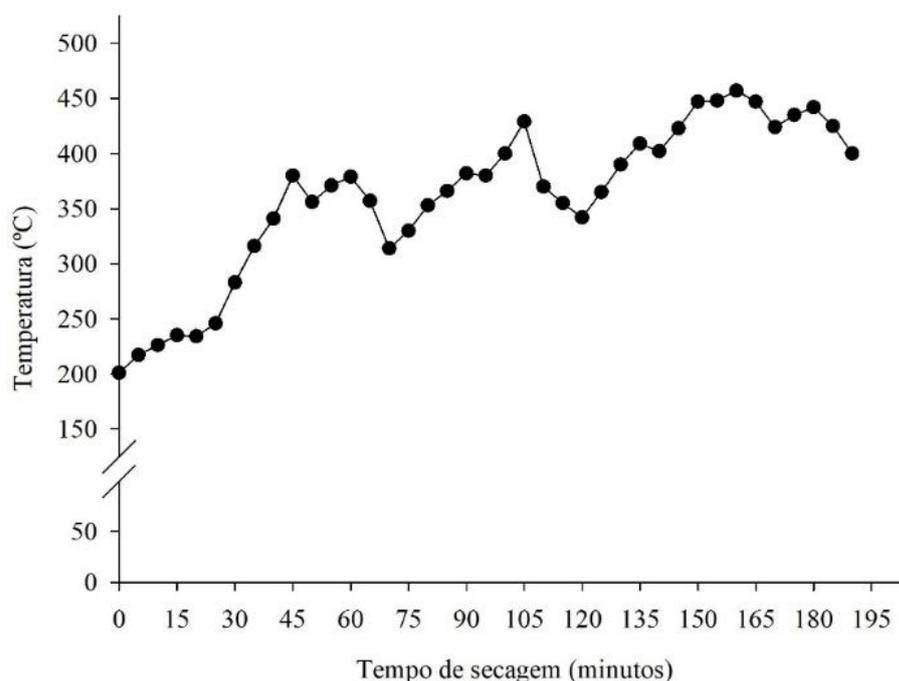


Figura 8. Valores da temperatura interna da fornalha obtidos durante a operação de secagem dos grãos de soja

De acordo com a Tabela 1, para secar 1,0 kg de grãos foram consumidos 11.860,07 kJ de energia específica. O consumo médio de cavaco de lenha foi de 21,78 kg de cavaco por tonelada de produto seco e o teor de água foi de 28,90% (b.u.). Segundo Garstang et al. (2002), a biomassa para a geração de energia deve apresentar teor de água igual ou inferior a 30% (b.u.). O poder calorífico inferior mínimo desejado para biomassa usada em plantas de cogeração de energia é de 7.949,60 kJ kg⁻¹ (BRAND et al., 2014). Logo, o cavaco utilizado para secagem apresentou condições de desempenho energético satisfatórias.

Tabela 1. Características do combustível e do secador durante a secagem dos grãos de soja

| CCt | CC | PCI | CE | Pa | CEE | TA |
|----------|-------|-----------|------------|----------|-----------|-------|
| 3.192,20 | 21,78 | 18.665,87 | 714.906,00 | 5.084,29 | 11.860,07 | 28,90 |

Consumo de Combustível total (CCt, kg), Consumo de Combustível (CC, kg de cavaco ton de produto seco⁻¹), Poder Calorífico Inferior (PCI, kJ kg⁻¹), Consumo de energia elétrica (CE, kJ), Perda de água (Pa, kg), Consumo de Energia Específico (CEE, kJ kg⁻¹) e Teor de água do cavaco (% b.u).

Segundo Queiroz & Valente (2018), além do efeito que a secagem em condições severas tem sobre a qualidade do produto, aumentando a susceptibilidade a quebra, pode representar prejuízos financeiros quando mal dimensionada ou operada. Já Isquierdo et al. (2012), relatam que temperaturas e fluxos de ar de secagem elevados, embora propiciem a redução do consumo de energia, podem ocasionar a deterioração das membranas celulares dos grãos.

Na Figura 9 estão apresentados os valores médios das temperaturas do ar de secagem, ambiente e exaustão durante a secagem dos grãos de soja. O secador apresentou uma eficiência média de 75,61%, resultado esse considerado satisfatório para secadores com fornalha que utilizam sistema de aquecimento de fogo direto (KUDRA, 2012). Em termos energéticos, este valor é atribuído ao fluxo de ar e a transferência de calor que ocorre dentro do secador, entre o ar de secagem e os grãos, de modo que, quanto mais próxima estiver a temperatura de exaustão da temperatura do ar ambiente, maior será a eficiência. Melo et al. (2010), construíram e avaliaram uma fornalha de aquecimento direto abastecida com lenha e obtiveram uma eficiência entre 77,4 a 86,5%, sendo consideradas satisfatórias pelos autores.

Os elevados valores iniciais de eficiência estão relacionados diretamente com a retirada da água livre dos grãos e o aproveitamento do ar de secagem, conseqüentemente, a baixa variação da temperatura do ar de exaustão. Após esse período a eficiência decresce, sendo então necessário aumentar o potencial de secagem do ar por meio da elevação da temperatura, assim é possível remover a água que está associada internamente nos grãos.

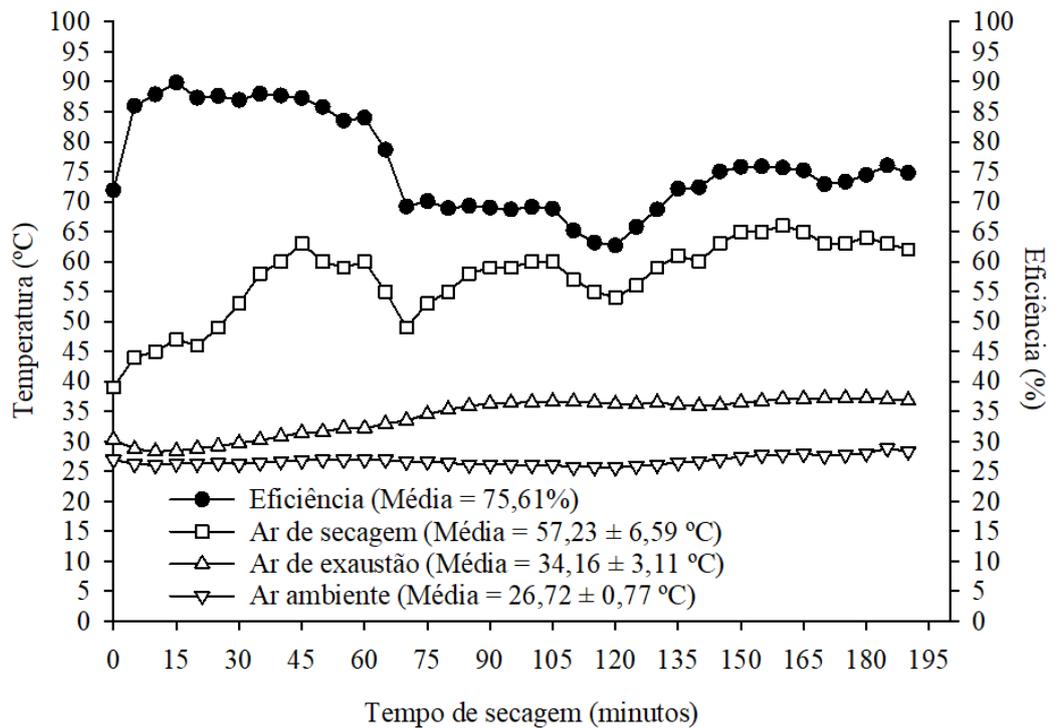


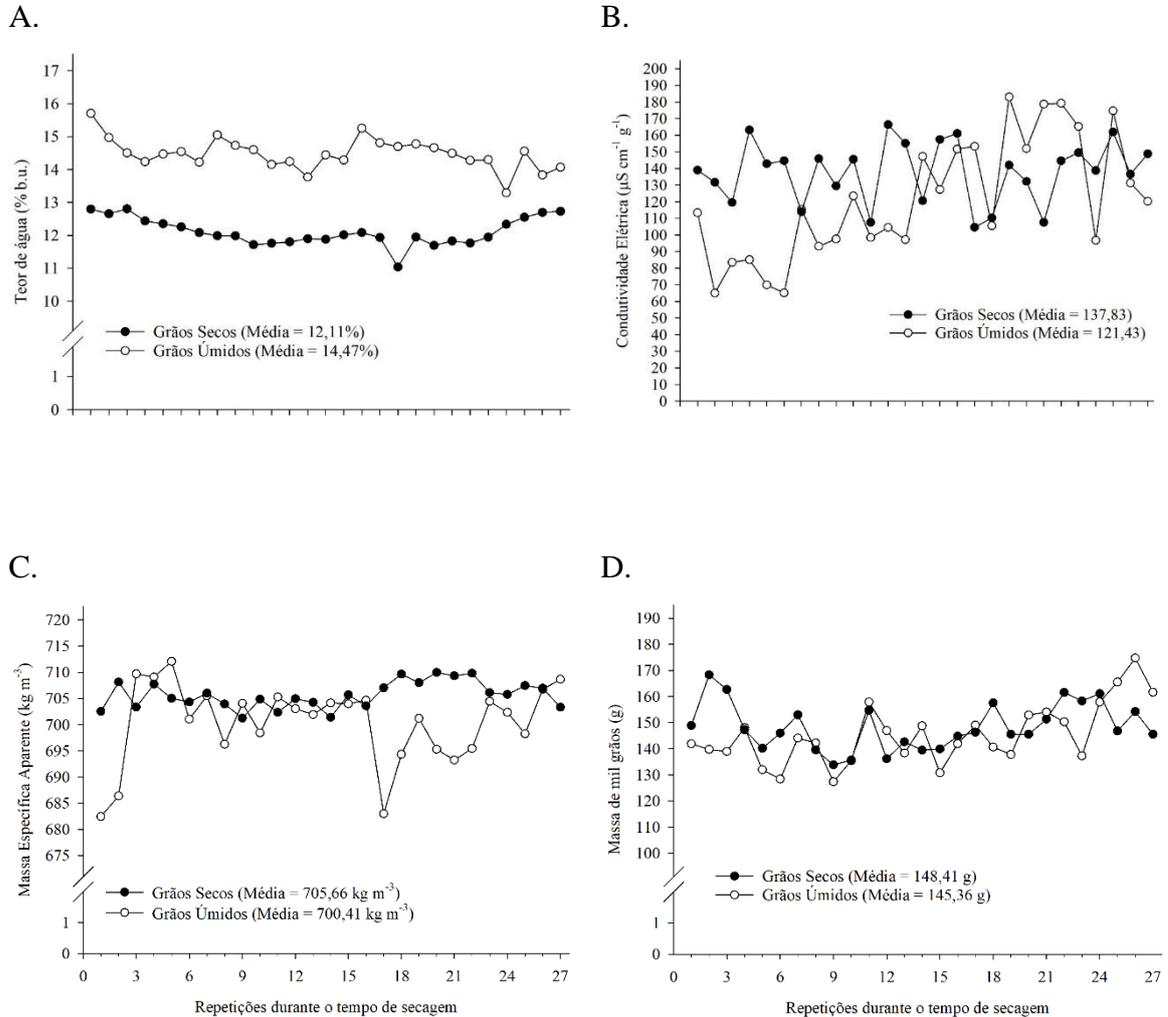
Figura 9. Eficiência, temperaturas do ar de secagem, ar de exaustão e ar ambiente durante o período de secagem dos grãos de soja.

A temperatura do ar de secagem chegou a valores próximos de 70 °C, com média de 57,23 °C (Figura 9), considerada adequada para grãos de soja com finalidade industrial (WEBER, 2005). Já a temperatura do ar de exaustão na maior parte do tempo foi de 34,16 °C. A temperatura média do ar ambiente foi de 26,72 °C, sendo esse ar responsável pela mistura no ciclone com o ar oriundo da fornalha. Aumentar a temperatura de secagem pode influenciar na taxa e no tempo de secagem, conseqüentemente, no consumo energético e custo operacional. No entanto, o fornecimento contínuo e de elevada temperatura do ar aquecido pode provocar alterações estruturais e físico-químicas no produto (GASPARIN et al., 2017).

5.2. Grãos de soja

O valor médio do teor de água dos grãos antes da secagem (úmidos) foi de 14,47% (b.u.) e depois da secagem (grãos secos) foi de 12,11% (b.u.) (Figura 10.A). Para países de clima tropical, onde são predominantes altas temperaturas e precipitações pluviométricas, esse teor de água final está próximo da condição estabelecida segura para o armazenamento de grãos, sendo de 12,0% (b.u.) (SMANIOTTO et al., 2014). O teor de água é o fator de maior significância na prevenção da deterioração do grão durante o armazenamento (BERBERT et al., 2008). Mantendo-se baixo o teor de água e a temperatura do grão, o ataque de

microrganismos e a respiração terão seus efeitos minimizados, portanto, a secagem torna-se fundamental na manutenção da qualidade dos grãos.



Médias seguidas por letras iguais não diferem pelo teste t ao nível de probabilidade de 0,05. ^{NS}Não significativo.

Figura 10. Avaliações para caracterização da qualidade do produto antes e após a secagem. ($n = 3$). A. Teor de água; B. Condutividade elétrica; C. Massa específica aparente; D. Massa de mil grãos.

A redução do teor de água por ocasião da secagem pode alterar, de forma significativa, a qualidade e as propriedades físicas, fisiológicas e químicas dos grãos e sementes, dependendo do método e das condições de secagem em que foram submetidos, comprometendo o valor comercial do produto. Inúmeros trabalhos têm sido realizados com o objetivo de analisar a influência da secagem de grãos e sementes de diversas oleaginosas como, por exemplo: soja (DONDEE et al., 2011; HARTMANN FILHO et al., 2016); cártamo (OBA et al., 2019); pequi (AQUINO et al., 2009); crambe (COSTA et al., 2012); girassol (SACILIK et al., 2007).

Os parâmetros como temperatura e umidade relativa do ar ambiente, a temperatura e fluxo do ar de secagem, o teor de água inicial e final dos grãos, o fluxo do produto no secador, o tipo de combustível e fornalha, entre outros, estão diretamente relacionados com o tempo de secagem e, conseqüentemente, com a qualidade final dos grãos secos (QUEQUETO et al., 2021).

Os valores médios de condutividade elétrica também apresentaram diferença entre antes e após a secagem, elevada variação e oscilação entre as repetições durante o tempo para os grãos úmidos e secos (Figura 10.B). Ressalta-se que o valor médio apresentado pelos grãos úmidos foi de $121,43 \mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$, podendo ser decorrente de danos mecânicos oriundos de processos antecessores, como colheita e transporte dos grãos (MARCONDES et al., 2010). Ademais, é evidente que os danos mecânicos foram intensificados com o processo de secagem dos grãos, promovendo microfissuras a níveis celulares, que aumentaram os valores médios de condutividade elétrica referente a solução de embebição dos grãos secos ($137,83 \mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$).

Os valores médios de massa específica aparente apresentaram diferença entre antes e após a secagem (Figura 10.C), sendo o aumento devido à redução do volume (contração) dos grãos por meio da perda de água durante a secagem. Esse fato ocorre devido ao melhor arranjo dos grãos na ocupação dos espaços intergranulares. Valores elevados de massa específica aparente garantem uma melhor qualidade do produto agrícola para fins de comercialização.

Assim, considerando essa característica, os grãos de soja situaram-se dentro de uma faixa de boa qualidade (WEBER, 2005). Botelho et al. (2015) avaliaram a influência da temperatura (40 a 80 °C) na massa específica aparente de grãos de soja e observaram que essa propriedade reduziu em função do incremento de temperatura, indicando prejuízo à qualidade do produto. A massa específica aparente fornece informações do volume ocupado e massa do produto, o que facilita o planejamento e dimensionamento do volume estrutural das unidades armazenadoras e o funcionamento de equipamentos, como transportadores de grãos.

A massa de mil grãos não apresentou diferença entre antes e após a secagem (Figura 10.D). Devido ao elevado volume de grãos que é processado durante a secagem, as amostras coletadas dos grãos úmidos e secos apresentaram heterogeneidade antes e depois da secagem, assim, dificultando o resultado expresso por esse teste. No entanto, a massa específica aparente pode ser relacionada com a qualidade dos grãos, pois considera a relação entre a massa e o volume ocupado pelos grãos, já o teste de mil grãos é relacionado apenas a massa do produto.

6. CONCLUSÃO

O secador apresentou eficiência média de 75,61% para a secagem dos grãos de soja, considerado satisfatório para sistemas que utilizam fornalha de fogo direto. O consumo médio de cavaco de lenha foi de 21,78 kg de cavaco por tonelada de grãos de soja seco. O consumo específico de energia para secar 1,0 kg de grão foi de 11.871,80 kJ.

De maneira geral, a secagem não comprometeu a qualidade final dos grãos para as características de teor de água, condutividade elétrica, massa específica aparente e massa de mil grãos.

7. REFERÊNCIAS

AOSANI, E. **Temperatura de secagem estacionária e de armazenamento na qualidade de grãos de soja (*Glycine max* (L.) Merrill)**. - Pelotas, 2007.100p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal Pelotas, 2007.

AQUINO, L.P.; FERRUA, F.Q.; BORGES, S.V.; ANTONIASSI, R.; CORREA, J.L.G.; CIRILLO, M. A. Influência da secagem do pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) na qualidade do óleo extraído. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.29, n.2, 2009.

BAUDET, L.; VILLELA, F.; CAVARIANI, C. Princípios de secagem. **Seed news**, p.20-27, 1999.

BAKKER-ARKEMA, F.W.; LEREW, L.E.; BROOK, R.C; BROOKER, D.B. **Energy and capacity performance evaluation of grain dryers**. St. Joseph, Michigan, ASAE, 1978. 13p (ASAE paper, 78 – 3523).

BERBERT, P.A.; SILVA, J.S.; RUFATO, S.; AFONSO, A. D. L. Indicadores da qualidade dos grãos. In: SILVA, J.S. (Ed) **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Viçosa: Aprenda fácil, 63-107, 2008.

BERTI, M.; WILCKENS, R.; HEVIA, F.; SERRI, H.; VIDAL, I.; MENDEZ, C. Fertilización nitrogenada en quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd). **Ciencia e Investigación Agraria**, v. 27, n. 2, p. 107-116, 1999.

BOTELHO, F.M.; GRANELLA, S.J.; BOTELHO, S.C.C.; GARCIA, T.R.B. Influência da temperatura de secagem sobre as propriedades físicas dos grãos de soja. **Engenharia na Agricultura**, v.23, n.3, p.212-219, 2015.

BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de defesa Agropecuária. **Regras para Análise de Sementes**. Brasília, p. 399, 2009.

BRAND, M.A; STÄHELIN, T. S. F., FERREIRA, J. C., & NEVES, M. D. Produção de biomassa para geração de energia em povoamentos de *Pinus taeda* L. com diferentes idades. **Revista Árvore**, v. 38, p. 353-360, 2014.

BRITO, R. C.; BÉTTEGA, R.; FREIRE, J. T. Energy analysis of intermittent drying in the spouted bed. **Drying Technology**, v. 37, n. 12, p. 1498-1510, 2019.

BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. Drying and storage of grain and oilseeds. The AVI Publishing, New York, p.450, 1992.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. Sementes: ciência, tecnologia e produção. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, p. 588, 2000.

CAVARIANI, C. **Secagem estacionária de sementes de milho com distribuição radial do fluxo de ar.** Tese de Doutorado em Produção Vegetal, Centro de Ciências e Tecnologia, USP, São Paulo, SP, Brasil. p.85, 1996.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento, Agricultura e Pecuária. **Quadro de suprimentos.** 2014. Disponível em: file:///C:/Users/Walmir/Downloads/Perspectivas_para_a_Agropecuaria_-_V.2_-_Safr_2014-2015.pdf. Acesso em: 15 set. 2021.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento e Pecuária. **Estimativa indica aumento na produção de grãos na safra 2021/22, com previsão em 288,61 milhões de toneladas.** Disponível em: https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4316-estimativa-indica-aumento-na-producao-de-graos-na-safra-2021-22-com-previsao-em-288-61-milhoes-de-toneladas#:~:text=Conab%20%2D%20Estimativa%20indica%20aumento%20na,288%2C61%20milh%C3%B5es%20de%20toneladas._ Acesso em 06 nov. 2021.

COSTA, L.M.; RESENDE, O.; GONÇALVES, D.N.; SOUZA, K.A.D.; SALES, J. D.F.; DONADON, J.R. The influence of drying on the physiological quality of crambe fruits. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v.34, n.2, p.213-218, 2012.

DONDEE, S.; MEESO, N.; SOPONRONNARIT, S.; SIRIAMORNPNUN, S. Reducing cracking and breakage of soybean grains under combined near-infrared radiation and fluidized-bed drying. *Journal of Food Engineering*, v.104, n.1, p.6-13, 2011.

DEVILLA, I. A.; COUTO, S. M.; QUEIROZ, D. M.; DAMASCENO, G. S.; REIS, F. P. Qualidade de grãos de milho submetidos ao processo de seca-aeração. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 3, n. 2, p. 211-215, 1999.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Origem e história da soja no Brasil.** 2017. Disponível em: <https://blogs.canalrural.com.br/embrapasoja/2017/04/05/origem-e-historia-da-soja-no-brasil/#:~:text=da%20Embrapa%20Soja,A%20soja%20%C3%A9%20uma%20cultura%20de%20grande%20import%C3%A2ncia%20econ%C3%B4mica%20para,fica%20no%20nordeste%20da%20China.&text=Na%20d%C3%A9cada%20de%201940%20a%20soja%20chegou%20ao%20Paraguai%20e,1950%20ao%20M%C3%A9xico%20e%20Argentina.> Acesso em: 24 set. 2021.

GARSTANG, J., WEEKES, A., R., BARTLETT, D. Identification and characterization of factors affecting losses in the large-scale, nonventilated bulk storage of wood chips and development of best storage practices. *Department of Trade and Industry*, p.116, 2002.

GARCIA, D. C.; SOUZA, A. C.; BARROS, A.; PESKE, S.T.; MENEZES, N. L. A. A Secagem de sementes. *Revista Ciência Rural*, v. 34, n. 2, p. 603-608, 2004.

GASPARIN, P.P.; CHRIST, D.; COELHO, S. R. M. Secagem de folhas *Mentha piperita* em leito fixo utilizando diferentes temperaturas e velocidades de ar1. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, p. 242-250, 2017.

GRUNKRAUT, M. **Cavacos**. Coopermiti, 2012. Disponível em: <http://www.coopermiti.com.br/educacao/cavaco.pdf>. Acesso em: 20 set. 2018.

HALL, C.W. *Drying and storage of agricultural crops*. Westport: **The AVI Publishing Company**, p.382, 1980.

HARTMANN FILHO, C.P.; GONELI, A.L.D.; MASETTO, T.E.; MARTINS, E.A.S.; OBA, G.C.; SIQUEIRA, V.C. Qualidade de soja produzida em segunda safra submetida a secagem e armazenamento. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.46, n.3, p.267-275, 2016.

HENDERSON, S.M.; PERRY, R.L.; YOUNG, J.H. **Principles of process engineering**. 4.ed. St. Joseph, Mic: ASAE, p.353, 1997.

HEUERT, K. **Grãos da semente ao consumo**. Ano III, nº15, jun., 2004. p. 29-31.

HIRAKURI, M. H.; CONTE, O.; PRANDO, A. M.; CASTRO, C. de; BALBINOT JUNIOR, A. A. (Ed.). Diagnóstico da produção de soja na macrorregião sojícola 5. Londrina: **Embrapa Soja**, 2018. 120 p. il. color. (Embrapa Soja. Documentos, 405).

HIRAKURI, M. H.; LAZZAROTTO, J. J. Evolução e perspectivas de desempenho econômico associadas com a produção de soja nos contextos mundial e brasileiro. Londrina: **Embrapa-Soja**, 2011.

ISQUIERDO, E.P.; BORÉM, F.M.; OLIVEIRA, P.D. Quality of natural coffee subjected to different rest periods during the drying process. **Ciência e Agrotecnologia**, v.36, n.4, p.439-445, 2012.

KUDRA, T. Energy aspects in drying. **Drying Technology**, v. 22, n. 5, p. 917-932, 2004.

KUDRA, T. Energy performance of convective dryers. **Drying Technology**, v. 30, n. 11-12, p. 1190-1198, 2012.

LOPES, R.P.; SOBRINHO, J.C.; SILVA, J.S.; SILVA, J.N. da. Fontes de energia para secagem de café. Viçosa; **Associação dos Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais/UFV**. 2001. (Boletim técnico 3).

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Brasil projeções do agronegócio 2016/2017 a 2026/2027**. Brasília, 2017.

MARCONDES, M. C.; MIGLIORANZA, É.; FONSECA, I. C. D. B. Qualidade de sementes de soja em função do horário de colheita e do sistema de trilha de fluxo radial e axial. **Engenharia Agrícola**, 30(2), 316-321, 2010.

MARTINS, Ricardo Ramos; FRANCO, José Boaventura da Rosa; DE OLIVEIRA, Paulo Armando V. Tecnologia de secagem de grãos. **Passo Fundo: Editora da EMBRAPA**, 1999.

MEDICE, R.; ALVES, E; ASSIS, R. T; MAGNO JUNIOR, R, G; LEITE, E. A.G.I. Óleos essenciais no controle da ferrugem asiática da soja *Phakopsora pachyrhizi* Sydow & Sydow. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 1, p. 83-90, 2007.

MELO, F. A. O.; SILVA, J. N.; SOUSA, J.; SAMPAIO, C. P.; SILVA, D. F. Desenvolvimento e construção de fornalha para biomassa com sistema de aquecimento direto e indireto do ar. **Acta Scientiarum. Technology**, 32(2), p. 129-136, 2010.

MENEGHETTI, V. L. **Parâmetros industriais e qualidade de consumo do arroz na secagem e no armazenamento**. Pelotas, 2008. 92p. DISSERTAÇÃO (Mestrado em Ciências). Universidade Federal de Pelotas. Pelotas. 2008.

MILMAN, M. J. Equipamentos para pré-processamento de grãos. **Pelotas: Ed. Universitário/UFPel**, 2002. 206 p.

MIRANDA, L. C.; SILVA, W. R.; CAVARIANI, C. Secagem de sementes de soja em silo com distribuição radial do fluxo de ar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 11, p. 2097-2108, 1999.

MOERS, E. M.; VIEIRA, A.C.; FERNANDES, D.; SOUZA, S.N.M.; BARICATTI, R.A. Caracterização da biomassa residual proveniente de resíduos agrícolas para geração de energia. In: **CONGRESSO LATINO AMERICANO DE SUINOCULTURA E SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL**, 1, 2011, Foz do Iguaçu, Anais... Foz do Iguaçu: COLASSA, 11 p.

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

NASCIMENTO, M. D.; BIAGGIONI M. A. M. – Avaliação energética do uso de lenha e cavaco de madeira para a produção de energia em agroindústria Seropédica. Botucatu, 2010.

NOGUEIRA, L.A.H. et al., Dendroenergia: fundamentos e aplicações, Brasília: **ANEEL**,2000; 144p.

NWOKOLO, E.; SMARTT, J. Food and Feed from Legumes and Oilseeds. LONDRES: **Aspen Publishers**, 1995.

OBA, G.C.; GONELI, A.L.D.; MASETTO, T.E.; HARTMANN FILHO, C.P.; MICHELS, K.L.L.S.; ÁVILA, J.P.C. Artificial drying of safflower seeds at different air temperatures: effect on the physiological potential of freshly harvested and stored seeds. **Journal of Seed Science**, v.41, n.4, p.397-406, 2019.

PORTELLA, J.A.; EICHELBERGER, L.; Secagem de grãos. 1ª ed. **Passo Fundo: Editora da EMBRAPA**, 2001.

PUZZI, D. **Abastecimento e armazenagem de grãos**. Campinas, Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, v. 3, n. 2, p. 399-405. 1986.

QUEIROZ, D.M.; VALENTE, D.S.M. Indicadores da qualidade de grãos. In: LORINI, I.; MIKE, L. H.; SCUSSEL, V. M.; FARONI, L. R. A. **Armazenagem de grãos**. 2. ed. Instituto Bio Geneziz, 2018. Cap.3. p.231-278.

QUEQUETO, W. D.; RESENDE, O., TFOUNI, S. A. V.; GOMES, F. M. L.; BORGES, A. X.; SANTOS, M. R. B.; COSTA, E.R.; FERREIRA JUNIOR, W. N.; GLASSENAPP, M.; QUIRINO, J.R.; ROSA, E. S. Drying of soybean grains with direct-fired furnace using wood chips: Performance, quality and polycyclic aromatic hydrocarbons. **Drying Technology**, p. 1-11, 2021.

RESENDE, O.: **Variação das propriedades físicas e mecânicas e da qualidade do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) durante a secagem e o armazenamento.** 2006. 197f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

ROVERI JOSÉ, S. C. B. **Tolerância a alta temperatura de secagem de sementes de milho.** Lavras, 2003, 149p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2003.

SAGLIETTI, J.R.C. **Rendimento térmico de fornalha a lenha de fluxos cruzados.** Botucatu: UNESP, 1991. 102p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, 1991.

SACILIK, K.; TARIMCI, C.; COLAK A. Moisture content and bulk density dependence of dielectric properties of safflower seed in the radio frequency range. **Journal of Food Engineering**, v.78, n.4, p.1111-1116, 2007.

SILVA, L. C. **Fungos e micotoxinas em grãos armazenados.** 2005. Disponível em: <http://www.agais.com/fungos.htm>. Acesso em: 25 de agosto de 2021.

SILVA, J. S.; AFONSO, A. D. L; DONZELLES, S. M. L; NOGUEIRA, R. M.: Secagem e secadores. IN: SILVA, J. S. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas.** Editora UFV, Viçosa, 2008. 560p.

SILVA, W. P.; Da SILVA, L. D.; FARIAS, V. S. O; SILVA, C. M. D. P. S. Water migration in clay slabs during drying: a three-dimensional numerical approach. **Ceramics International**, v. 39, n.1, p. 4017 - 4030, 2013.

SILVA, L. C. **Secagem de grãos.** Boletim técnico, Universidade Federal do Espírito Santo, 2005. Disponível em: http://agais.com/manuscript/ag0405_secagem.pdf. Acesso em: 18 set. 2021.

SMANIOTTO, T.A.S.; RESENDE, O.; MARÇAL, K.A.F.; OLIVEIRA, D.E.C.; SIMON, G.A. Qualidade fisiológica das sementes de soja armazenadas em diferentes condições. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.4, p.446-453, 2014.

SYPERRECK, E. L. **Secagem de milho: custo e benefício entre as fontes de energia lenha e gás.** Monografia de Bacharel Ciências Econômicas, Universidade Estadual do Centro Oeste, Guarapuava, 2005.

SULZBACHER, A. L.; GOLTZ, V.; VILLELA, F.A. **Procedimentos Operacionais na Secagem com Alta Temperatura.** Seed News, Ano XIV, N.6, 2010.

TAVARES, M.A.G.C.; VENDRAMIN, J.D. Bioatividade da erva-de-santa-maria, *Chenopodium ambrosioides* L. (Chenopodiaceae) sobre *Sitophilus zeamais* Mots. (Coleoptera: Curculionidae). **Neotropical Entomology** 34, p. 319-323, abril. 2005.

UNFRIED, L. C E YOSHI, C. V. H, **Sustentabilidade no Abate e Processamento de Aves**, 2012.

VIEIRA, R. D.; KRZYZANOWSKI, F. C. Teste de condutividade elétrica. In: KRZYZANOWSKI, F. C; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Eds.). **Vigor de sementes: Conceitos e testes**. Londrina, ABRATES, p.1-26, 1999.

VILLELA, F. A; PESKE, S.T. Tecnologia pós-colheita para arroz. In: PESKE, S.T.; NEDEL, J.L.; BARROS, A.C.S.A. **Produção de arroz irrigado**. Pelotas: UFPel, p. 351- 412. 1997.

VILLELA, F. A ; SILVA, W.R. Curvas de secagem de sementes de milho utilizando o método intermitente. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.49, n.1, p.145-153,1992.

WEBER, E. A. Secadores. In: Weber, E. A., Armazenagem e conservação dos grãos, Livraria e editora Agropecuária Ltda. Guaíba - RS, 2001, p. 93-186.

WEBER, E.A. Excelência em beneficiamento e armazenamento de grãos. Canoas, RS: **Editora Salles**, 2005, 586 p.