

INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO
Campus Rio Verde - GO

BACHARELADO EM AGRONOMIA

AJUSTE DE MODELOS MATEMÁTICOS NA SECAGEM DE SEMENTES DE GIRASSOL (*Helianthus annuus* L.)

ÉRIKA GONÇALVES ANDRADE

**Rio Verde, GO
2021**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA GOIANO – CÂMPUS RIO VERDE**

BACHARELADO EM AGRONOMIA

**AJUSTE DE MODELOS MATEMÁTICOS NA SECAGEM
DE SEMENTES DE GIRASSOL (*Helianthus annuus* L.)**

ÉRIKA GONÇALVES ANDRADE

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

Orientador: Prof. Dr. Osvaldo Resende

Rio Verde – GO
Julho, 2021

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

AAN553 Andrade, Érika Gonçalves
a Ajustes de modelos matemáticos na secagem das
sementes de girassol (*Helianthus annuus*) / Érika
Gonçalves Andrade; orientador Osvaldo Resende. -- Rio
Verde, 2021.
30 p.

TCC (Graduação em Bacharelado em Agronomia) --
Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2021.

1. Oleaginosa. 2. Modelagem matemática. 3.
Midilli. I. Resende, Osvaldo, orient. II. Título.

**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, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, 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: Érika Gonçalves Andrade

Matrícula: 2016102200240175

Título do Trabalho: Ajustes de modelos matemáticos na secagem das sementes de girassol (*Helianthus annuus*).

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 22/07/2021.

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, 21/07/2021.

Érika Gonçalves Andrade

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 7/2021 - CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Aos 15 dias do mês de julho de 2021, às 15 horas e 00 minutos, reuniu-se a banca examinadora composta pelo docente Osvaldo Resende e pelos doutorandos: Wellytton Darci Quequeto e Tainara Leal de Sousa, para examinar o Trabalho de Curso (TC) intitulado "AJUSTES DE MODELOS MATEMÁTICOS NA SECAGEM DAS SEMENTES DE GIRASSOL

(*Helianthus annuus* L.)", do(a) acadêmico(a) Érika Gonçalves Andrade, Matrícula nº 2016102200240175 do curso de Agronomia do IF Goiano - Campus Rio Verde. Após a apresentação oral do TC, houve arguição da candidata pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela APROVAÇÃO do(a) acadêmico(a). Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata, que segue datada e assinada pelos membros da Banca Examinadora.

(Assinado Eletronicamente)

Osvaldo Resende

Orientador(a)

(Assinado Eletronicamente)

Tainara Leal de Sousa

Membro

(Assinado Eletronicamente)

Wellytton Darci Quequeto

Membro

Observação:

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

Documento assinado eletronicamente por:

- **Wellytton Darci Quequeto, 2018202320140132 - Discente**, em 15/07/2021 16:45:52.
- **Oswaldo Resende, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 15/07/2021 16:45:33.
- **Tainara Leal de Sousa, 2020102321260063 - Discente**, em 15/07/2021 16:44:09.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 15/07/2021. 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: 290836

Código de Autenticação: fddf101318



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Rio Verde

Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, None, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970

(64) 3620-5600

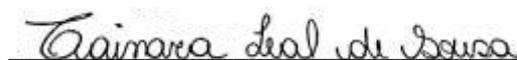
ÉRIKA GONÇALVES ANDRADE

**AJUSTE DE MODELOS MATEMÁTICOS NA SECAGEM
DE SEMENTES DE GIRASSOL (*Helianthus annuus* L.)**

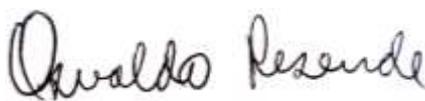
Trabalho de curso DEFENDIDO e APROVADO em 15 de julho de 2021, pela Banca
Examinadora constituída pelos membros:



Ms. Wellytton Darci Quequeto
Instituto Federal Goiano



Ms. Tainara Leal de Sousa
Universidade Federal de Goiás



Prof. Dr. Osvaldo Resende
Instituto Federal Goiano

Rio Verde – GO
Julho, 2021

AGRADECIMENTOS

A Deus, por permitir que eu chegasse até aqui e ter me sustentado nos momentos de dificuldade.

Aos meus pais Evanilda e Joaquim por nunca duvidarem da minha capacidade, por levantarem comigo todos os dias durante toda minha graduação, me motivando e dando forças para seguir dia após dia. Também as minhas irmãs, Evânia, Maria e Antônia que são exemplos na minha vida, me deram conselhos e incentivos para que eu concluísse essa etapa da minha vida.

Ao Prof. Dr. Osvaldo Resende, pela orientação, por todo aprendizado, confiança e ajuda, assim como pela oportunidade de fazer parte da iniciação científica e compor a equipe do Laboratório de Pós-Colheita de Produtos Vegetais (LPCPV).

A todos do LPCPV, sou imensamente grata, em especial ao Wellytton e Weder que contribuíram imensamente para o desenvolvimento deste trabalho e que sempre ofereceram seus conhecimentos para consulta. Juntamente, deixo meus agradecimentos a todos aqueles do Laboratório que de forma direta ou indireta também contribuíram para a construção deste trabalho.

A todos meus amigos que fiz durante o curso, principalmente ao meu grupo do coração: Victória, Manoel, Madalena, Ritiane, Daniel e Pedro, que tornaram minha vida acadêmica mais feliz. Obrigada pela paciência, incentivo e todo conhecimento compartilhado comigo. Deixo também meus agradecimentos a todos meus amigos externos e que construí fora do curso, que não deixaram de se fazerem presentes e me fizeram ser mais forte para encarar as dificuldades encontradas durante essa caminhada.

Agradeço ao Instituto Federal Goiano, por toda estrutura oferecida e todo conhecimento de qualidade proporcionado.

RESUMO

ANDRADE, Érika Gonçalves. **Ajustes de modelos matemáticos na secagem de sementes de girassol (*Helianthus annuus* L.)**. 2021. 30p Monografia (Curso de Bacharelado de Agronomia). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Câmpus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2021.

O girassol é uma oleaginosa que se destaca pelas suas múltiplas finalidades de utilização, apresentando boa capacidade de adaptação a diferentes condições edafoclimáticas, podendo ser agricultável em diferentes localidades. Objetivou-se estudar a cinética de secagem das sementes de girassol em diferentes temperaturas de secagem, e aplicar o ajuste de modelos matemáticos aos dados experimentais. As sementes de girassol (cultivar Altis 99). A secagem das sementes foi realizada em estufa com circulação de ar forçado, ajustada para operar nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C. O acompanhamento da redução da massa durante a secagem foi monitorado por meio de pesagens em intervalos pré-estabelecidos. Aos dados experimentais de razão de teor de água, foram ajustados dez modelos matemáticos, a partir de análise de regressão não-linear pelo método Gauss Newton. A significância dos parâmetros dos modelos foi avaliada pelo teste t adotando o nível de 5% de significância. Foram verificados o grau de ajuste de cada modelo de acordo com as magnitudes do coeficiente de determinação (R^2), do erro médio relativo (P), erro médio estimado (SE), teste de *Qui*-quadrado (χ^2) e os critérios AIC e BIC. Conclui-se que as taxas de remoção de água das sementes de girassol são diretamente proporcionais ao aumento da temperatura de secagem, sendo necessárias nessas condições, tempo de secagem menor. Recomenda-se o modelo de Midilli para descrever as curvas de secagem, visto que, apresentou os melhores coeficientes estatísticos para a maior parte das temperaturas em estudo e devido sua simplicidade de aplicação.

Palavras-chave: oleaginosa, modelagem matemática, Midilli.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	8
2.1 Aspectos gerais da cultura do girassol	8
2.2 Secagem.....	10
3 MATERIAL E MÉTODOS	12
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
5 CONCLUSÕES.....	23
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24

1 INTRODUÇÃO

O girassol (*Helianthus annuus* L.) é uma planta oleaginosa que se destaca pelas suas múltiplas utilizações, sendo agricultável em diferentes condições edafoclimáticas devido sua boa capacidade de adaptação, viabilizando seu cultivo em diversas regiões do Brasil (VIEIRA et al., 2017).

Atualmente, o problema referente aos recursos energéticos, sobretudo os de origem fóssil que exibe potencial de se exaurir, têm intensificado discussões no que concerne a diversificação da matriz energética no mundo, principalmente devido a geração e o consumo de energia global em contínuo crescimento (SILVA et al., 2018). Nesse cenário o óleo de girassol é uma excelente opção, por apresentar alto conteúdo de óleo, cerca de 30 – 50% (FIGUEREDO, 2017). De acordo com pesquisas da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e Instituto de Tecnologia em Alimentos (ITAL), à transesterificação por via etílica do óleo de girassol corresponde a cerca de 70% de rendimento de biodiesel (VENTURA et al., 2010).

Ainda, a grande importância da cultura do girassol no mundo deve-se à excelente qualidade do óleo comestível extraído, que possui alto valor nutritivo (PINA FILHO, 2007). Outro fator interessante no cultivo de girassol, é sua torta que possui cerca de 45% de proteína, ótima opção para alimentação animal (SOARES et al., 2016). No Brasil o cultivo de girassol constitui em uma importante opção para o produtor agrícola em sistemas envolvendo rotação ou sucessão de culturas (LOPES et al., 2009), devido ser uma cultura melhoradora da qualidade do solo, promovendo ciclagem de nutrientes ao longo do perfil do solo, disponibilizando uma grande quantidade de nutrientes pela mineralização dos restos culturais, beneficiando o desenvolvimento e a melhoria do estado nutricional das culturas subsequentes (LEITE et al., 2007). Utilizada na produção de cosméticos, na indústria farmacêutica, ainda existem estudos da utilização do girassol no tratamento de enfermidades, como a cicatrização de feridas (SILVA, 2018). O girassol apresenta inflorescência do tipo capítulo, que se destaca pela sua beleza e exuberância, compondo também o mercado de ornamentação (CURTI, et al., 2012).

A secagem de produtos agrícolas representa o fenômeno de transferência de calor e massa entre o grão e o ar atmosférico, aquecido ou não; se refere a um dos processos mais empregados no prolongamento da vida pós-colheita, bem como seu estudo fornece informações relevantes para elaboração de projeto, operação, simulação de sistemas de secagem e secadores (LA FUENTE et al., 2017; SIQUEIRA et al., 2012).

A modelagem matemática do fenômeno de secagem baseia-se em um sistema de equações

diferenciais que representam os balanços de massa, energia e quantidade de movimento. Associado a estes modelos, uma série de equações empíricas devem ser empregadas para que esse fenômeno altamente não linear possa ser representado (BARBOSA & LOBATO, 2016).

Neste contexto, objetivou-se com o presente trabalho avaliar a cinética de secagem das sementes de girassol em diferentes temperaturas de secagem, e aplicar o ajuste de modelos matemáticos aos dados experimentais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aspectos gerais da cultura de girassol

O girassol (*Helianthus annuus* L.), é uma dicotiledônea anual, que pertence à família Asteraceae (SANTOS et al., 2021). É uma planta que tem origem na América do Norte, precisamente nas regiões ao Norte do México e ao Estado de Nebraska – EUA, e a princípio foi domesticado e semeado pelos ameríndios por todo o continente americano (CÂMARA, 2014). De acordo com Câmara (2014), o girassol foi levado ao continente europeu por volta do século XVI, onde passou a ser utilizado como planta ornamental, somente no século XVIII a cultura foi introduzida na Rússia, e em meados de 1830 iniciou-se a produção de óleo de girassol em escala comercial.

No Brasil, os primeiros cultivos de girassol se iniciaram na região Sul, no século XIX, contudo a cultura não se encontrava adaptada às condições ambientais. No ano de 1937, o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), iniciou os estudos com girassol, mas somente a partir da década de 70 que se verificou crescente interesse pela produção, sobretudo pela viabilidade do óleo vegetal (LIRA, 2016).

Segundo a Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO, 2019), na safra de 2017, a produção mundial dessa oleaginosa foi superior a 50 milhões de toneladas, sendo os maiores produtores a Ucrânia (12,2 milhões de toneladas), seguida da Rússia (10,5 milhões de toneladas) e Argentina (3,5 milhões de toneladas) (FAO, 2019).

O cultivo de girassol no Brasil ainda é pequeno quando comparado ao de outras culturas, apresentando para a safra 2020/2021 de área plantada, 34,4 mil hectares, que comparados com os cultivados na safra anterior equivalem a uma redução de 27%, ainda, quanto à produção, também se espera redução em relação a safra passada (52,1 mil toneladas estimadas para 2020/2021, ante as 74,9 mil toneladas obtidas em 2019/2020), apresentando-se como principal produtora de girassol, a região Centro-Oeste (CONAB, 2021). Nas principais regiões produtoras, a cultura do girassol concorre em área com culturas de verão que contam com um

pacote tecnológico e instrumentos de financiamento e de comercialização difundidos, o que confere a elas preferência na ocupação da área (FEIX & ZANIN, 2018). Todavia, a produtividade agrícola da cultura do girassol no Brasil possui amplo espaço de crescimento, devido a sua adaptabilidade nas várias regiões, resistência a veranicos e baixo custo de produção, tornando excelente opção para plantio em época de safrinha (BACAXIXI et al., 2011).

A planta de girassol apresenta caule ereto, geralmente não ramificado, podendo medir entre 1,0 e 2,5 metros de altura, possuindo cerca de 20 a 40 folhas por planta, que são caracterizadas como ovais, opostas, pecioladas, com nervuras visíveis e ásperas; a flor é chamada de capítulo, onde se desenvolvem as sementes, denominados aquênios, e seus capítulos florais dispõem de um mecanismo que proporciona orientar-se em direção ao sol conforme este movimenta-se (SANTOS, 2014).

É uma planta de polinização cruzada (alógama), sendo feita particularmente por abelhas. O ciclo vegetativo gira em torno de 90 a 130 dias, dependendo da região e das condições climáticas e de semeadura (CASTRO et al., 1996; SILVA, 2018).

A espécie possui sistema radicular pivotante, muito ramificado, que permite que a espécie explore grande volume de solo, tendo a vantagem de absorver nutrientes e água que estão disponíveis nos solos profundos, o que outras plantas não fazem normalmente, sendo este um dos principais fatores que explicam a tolerância e resistência do girassol à seca, bem como também é proporcionado a reciclagem dos nutrientes, que aumenta a quantidade de matéria orgânica no solo, após a colheita (CASTRO et al., 1996; SILVA, 2018; OLIVEIRA & ARRIEL, 2019).

Pelo seu elevado preço médio e rendimento, o principal produto da cadeia produtiva do girassol é o óleo. O teor (38-52%) e a qualidade do óleo, por vezes, superior ao de outras culturas, possibilitam ampla utilização pela indústria (SOUZA, 2018) como comestível, produtos farmacêuticos, química, cosmética e para produção de biocombustíveis, desempenhando um papel fundamental no cenário da economia mundial (USDA, 2017).

O processamento do óleo de girassol para consumo no Brasil envolve uma sequência de etapas que se inicia a partir do recebimento do produto da lavoura e avança para a classificação, a limpeza e a secagem das sementes (FEIX & ZANIN, 2018).

O óleo de girassol é o terceiro mais demandado para a alimentação no Brasil (Pesquisa de Orçamentos Familiares – POF, 2010). Se sobressai por sua excelente composição físico-química e nutricional, possuindo alta relação de ácidos-graxos poli-insaturados/saturados (65,3% / 11,6%, em média), sendo o teor de poli-insaturados predominantemente constituído

pelo ácido linoleico (65%), que, por sua vez, é essencial ao desempenho das funções fisiológicas do organismo, sendo considerado em razão disso um dos óleos vegetais símbolo da vida saudável (SOUZA, 2018).

Porém, a quantidade de óleo de girassol produzida pela indústria nacional é insuficiente para suprir a demanda interna. Assim, boa parte das sementes e óleos de girassol consumidos no Brasil é importada de países vizinhos. Além de ampliar a oferta quantitativa de óleo, a expansão da produção de girassol irá oportunizar a adoção de políticas públicas que orientem o consumidor a valorizar suas características nutricionais (FEIX & ZANIN, 2018).

2.1 Secagem

O setor agrícola apresenta a maior demanda do processo de secagem, com o objetivo de promover aos grãos e sementes maior longevidade e qualidade após a colheita (REIS, 2015).

A secagem dos produtos agrícolas é complexo e envolve simultaneamente a transferência de calor e massa entre o produto e o ar de secagem, visando a redução do teor de água das sementes, que podem alterar de forma considerável a sua qualidade e as propriedades físicas do produto, dependendo do método e das condições de secagem (RESENDE et al., 2008). A principal condicionante para que ocorra a secagem é de que a pressão de vapor d'água na superfície do produto seja maior que a pressão de vapor d'água do ar de secagem (SILVA et al., 2008).

Resende et al. (2008) salientam que a secagem é uma das técnicas que garantem a redução da atividade biológica e mudanças químicas e físicas em função da redução da quantidade de água do material até níveis seguros para armazenagem. A conservação pela secagem baseia-se no fato de que tanto os microrganismos como as enzimas e todo o mecanismo metabólico necessitam de água para suas atividades (MARTINS, 2013). Todavia, antes de iniciar o processo de secagem é indispensável à caracterização do sólido e o controle das condições de operação do secador (temperatura, umidade do ar e teor de água do produto), pois as mesmas influenciam na eficiência da secagem (ALBINI et al., 2015).

O processo de secagem é caracterizado por algumas etapas. Inicialmente a etapa é conhecida como período de indução e estabilização, onde a pressão parcial de vapor da água na superfície do grão é baixa e, em virtude disso, as taxas de transferência de calor e massa também são baixas. Que por sua vez, quando o produto alcança maiores temperaturas, ocorre o aumento dessas taxas. Em seguida, ocorre a etapa de taxa constante, na qual a taxa de migração da água do interior do produto para sua superfície é igual à taxa de evaporação da superfície para o ambiente, ocorrendo até que um teor crítico de umidade seja alcançado. A partir desse ponto,

conforme o teor de água diminui, igualmente ocorre uma gradual diminuição da taxa de secagem (FELLOWS, 2006; ARAÚJO et al., 2020).

A secagem em sementes ocorre naturalmente, ainda no campo, logo após a maturidade fisiológica, na própria planta, sem a interferência do homem. O potencial de secagem nesta circunstância decorre pela combinação da movimentação do ar, feita pela ação do vento e da incidência direta da energia solar, para evaporação de água do produto (SILVA et al., 2008). É tida em alguns casos, como um processo economicamente viável (ELIAS, 2007), contudo é um processo lento e altamente dependente das condições ambientais, que podem afetar a qualidade do produto final.

Já a secagem artificial, pode ser realizada a partir de estruturas específicas, projetadas e construídas para esse fim. Na qual, geralmente, o ar é forçado a passar pela massa do produto, havendo a possibilidade da secagem de quantidades variáveis em curtos períodos (AOSANI, 2007). Permite o controle da temperatura, do fluxo do ar de secagem e do tempo de exposição das sementes ao ar aquecido, fatores fundamentais para garantir a eficiência do processo (GARCIA et al., 2004).

A construção de curvas de secagem é realizada com os dados experimentais obtidos da própria secagem. As características dessas curvas variam de acordo com cada produto (RONCHETTI et al., 2014). Normalmente uma curva de secagem representa a relação entre o teor de água do produto e duração (tempo) de secagem. As curvas de secagem oferecem informações valiosas para entender o mecanismo de migração de água do produto, bem como seus parâmetros cinéticos de secagem (CHEN et al., 2001).

Por se tratar de uma transferência simultânea de calor e de massa, vários modelos matemáticos já foram desenvolvidos para prever o comportamento de diferentes materiais durante a secagem (VIEIRA, 2012).

Os modelos matemáticos reproduzem de maneira satisfatória a estimativa do tempo necessário para redução do teor de água do produto, e os modelos de cálculo da cinética de secagem são aplicados de modo diferente, dependendo do período considerado (CAMICIA et al., 2015). Na literatura são encontrados vários modelos que podem ser ajustados às curvas de secagem.

A partir desta análise, podem ser definidas quais são as melhores condições operacionais em um equipamento de escala industrial, sobretudo do ponto de vista da qualidade do produto após o processo e da economia de recursos energéticos (VIEIRA, 2012).

Reis et al. (2011) também descrevem que as informações contidas nas curvas de secagem são imprescindíveis para o desenvolvimento de processos, o dimensionamento de extratores

de óleos e ainda permitem estimar os gastos energéticos na produção, o que reflete no preço final do produto e na qualidade do óleo produzido.

2 MATERIAL E MÉTODOS

As sementes de girassol (cultivar Altis 99) foram colhidas manualmente em uma propriedade rural, no município de Montividiu – GO. O experimento foi conduzido no Laboratório de Pós-Colheita de Produtos Vegetais (LPCPV) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde.

Inicialmente foram retirados de cada capítulo de girassol, seus aquênios (sementes) e em seguida foi realizada a limpeza com auxílio de um ventilador e 4 bandejas, que ficaram posicionadas horizontalmente uma atrás da outra, se baseando no princípio das sujidades mais leves presentes na massa de sementes serem carregadas para as bandejas mais distantes do ar emitido pelo ventilador, otimizando o processo de limpeza. Utilizou-se na sequência homogeneizador modelo Boerner. Cerca de 10 g de amostra foram separadas para determinação do teor de água, pelo método gravimétrico, utilizando-se estufa a 105 ± 3 °C, durante 24 h, em três repetições (BRASIL, 2009). A secagem das sementes foi realizada em quatro repetições, utilizando bandejas de material inox sem perfurações, contendo aproximadamente 127 g de produto, sendo distribuídos uniformemente. Em seguida, foram submetidas a secagem em estufa com circulação de ar forçado ajustado para operar nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C. Buscou-se trabalhar com amplas faixas de temperaturas de secagem, com base na literatura e visto que essa amplitude pode ser utilizada para sementes e grãos. As médias de umidade relativa do ar foram de 52,07; 37,07; 43,14; 40,24 e 40,24 %, durante a secagem, nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C respectivamente. O acompanhamento da redução da massa durante a secagem foi monitorado com auxílio de uma balança semi analítica com resolução de 0,01 g, através de pesagens das bandejas com as amostras em intervalos pré-estabelecidos, até que as sementes atingissem o equilíbrio higroscópico com as condições do ar de secagem, ou seja, quando a variação de massa fosse constante na segunda casa decimal por três pesagens consecutivas.

Após o processo de secagem, foram obtidas as curvas de secagem a partir dos dados experimentais coletados, relacionando a razão de teor de água (Eq. 1) no decorrer do tempo de secagem, conforme a Eq. 1:

$$RX = \frac{X^* - X_e^*}{X_i^* - X_e^*} \quad (1)$$

em que, RX - razão de teor de água, adimensional; X^* - teor de água do produto (decimal b.s.); X_i^* - teor de água inicial do produto (decimal b.s.); X_e^* - teor de água de equilíbrio do produto (decimal b.s.).

Aos dados experimentais de razão de teor de água, durante a secagem das sementes de girassol, foram ajustados dez modelos matemáticos (Tabela 1).

Tabela 1. Modelos matemáticos utilizados para prever a secagem das sementes de girassol

Designação do Modelo	Modelo	
$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1-a) \cdot \exp(-k \cdot b \cdot t)$	Aproximação da Difusão	(2)
$RX = a \cdot \exp(-k_0 \cdot t) + b \cdot \exp(-k_1 \cdot t)$	Dois Termos	(3)
$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1-a) \cdot \exp(-k \cdot a \cdot t)$	Exponencial de Dois Termos	(4)
$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t)$	Henderson e Pabis	(5)
$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + c$	Logarítmico	(6)
$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t^n) + b \cdot t$	Midilli	(7)
$RX = \exp(-k \cdot t)$	Newton	(8)
$RX = \exp(-k \cdot t^n)$	Page	(9)
$RX = \exp((-a - (a^2 + 4 \cdot b \cdot t)^{0.5}) / 2 \cdot b)$	Thompson	(10)
$RX = 1 + a \cdot t + b \cdot t^2$	Wang & Singh	(11)

Em que, t : tempo de secagem, h; k , k_0 , k_1 : constantes de secagem; a , b , c , n : coeficientes dos modelos.

Os modelos matemáticos foram ajustados, a partir de análise de regressão não-linear pelo método Gauss Newton. A significância dos parâmetros dos modelos foi avaliada pelo teste t adotando o nível de 5% de probabilidade. Foram verificados o grau de ajuste de cada modelo de acordo com as magnitudes do coeficiente de determinação (R^2), erro médio relativo (P), erro médio estimado (SE), e teste de *Qui*-quadrado (χ^2) ao nível de significância de 0,01% e o intervalo de confiança a 99% ($p < 0,01$). O erro médio estimado e relativo, bem como o teste de *Qui*-quadrado para cada um dos modelos, foram calculados conforme as seguintes expressões, respectivamente:

$$SE = \sqrt{\frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad (12)$$

$$P = \frac{100}{n} \sum \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \quad (13)$$

$$\chi^2 = \sum \frac{(Y - \hat{Y})^2}{GLR} \quad (14)$$

Em que, Y: valor experimental; \hat{Y} : valor estimado pelo modelo; n: número de observações experimentais; e, GLR: graus de liberdade do modelo (número de observações menos o número de parâmetros do modelo).

O Critério de Akaike (AIC) e o Critério de Informação de Bayesiano de Schwarz (BIC) foram utilizados como análises auxiliares na escolha do melhor modelo matemático para prever o fenômeno, conforme as seguintes equações:

$$AIC = -2 \log \text{like} + 2p \quad (15)$$

$$BIC = -2 \log \text{like} + p \cdot \ln(n - r) \quad (16)$$

Em que, p: número de parâmetros; *loglike*: valor do logaritmo da função de verossimilhança considerando as estimativas dos parâmetros; n: número de observações experimentais; e r: rank da matriz X (matriz de incidência de efeitos fixos).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1, observa-se o comportamento do teor de água das sementes de girassol durante as diferentes temperaturas do ar de secagem. Conforme a elevação da temperatura do ar de secagem, ocorre a redução do tempo de secagem. Este comportamento já esperado, também foi confirmado por diversos trabalhos como em sementes de abóbora (VIEIRA et al., 2019), andiroba (MENDONÇA et al., 2019), crambe (COSTA et al., 2017), niger (SILVA et al., 2017) e amendoim (ARAUJO et al., 2017).

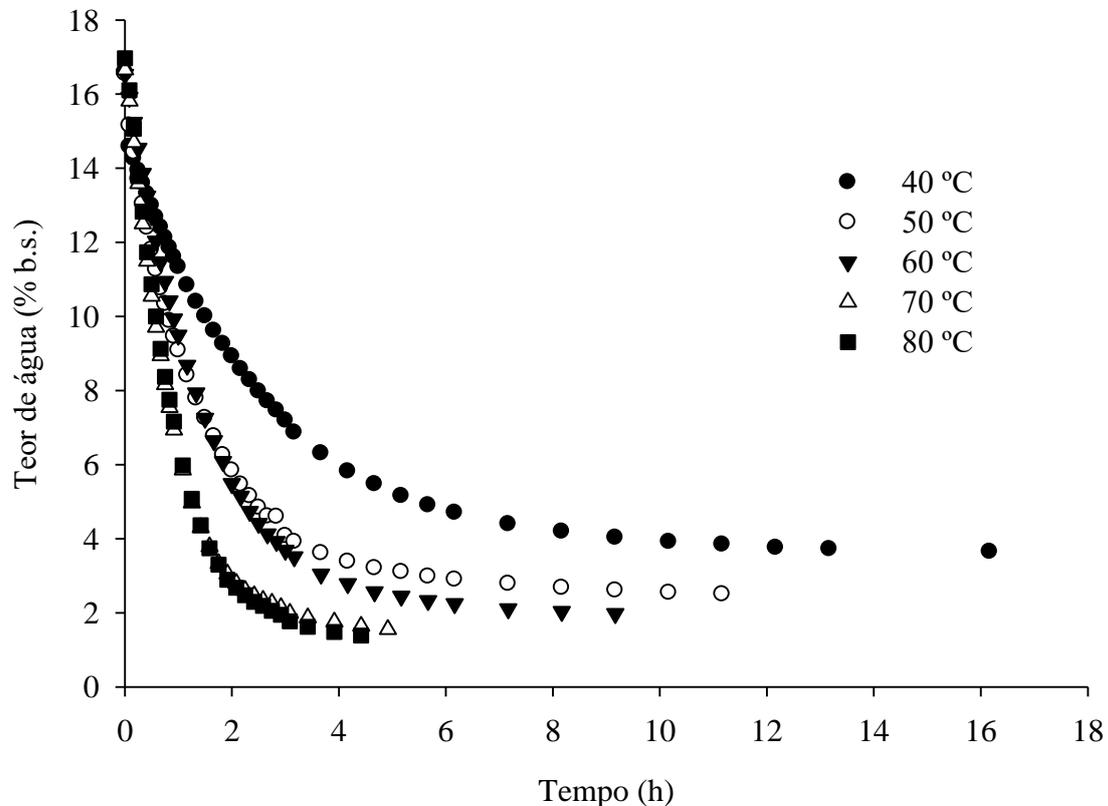


Figura 1. Teor de água (% b.s.) das sementes de girassol ao longo do tempo de secagem à 40, 50, 60, 70, 80 °C.

As sementes de girassol atingiram o teor de água de equilíbrio em torno de 3,64; 2,50; 1,97; 1,55 e 1,38 (% b.s.), no tempo de 16,16; 11,16; 9,16; 4,91 e 4,41 horas para as temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C, respectivamente.

Esse incremento da temperatura do ar de secagem resultante em maior taxa de remoção de água do produto, se deve a uma maior pressão de vapor de água entre o grão e o ar (SMANIOTTO et al., 2017). Outro aspecto que pode ser atribuído para o menor tempo de secagem em temperaturas maiores, é que, com a elevação da temperatura, aumenta-se o nível de vibração molecular das moléculas de água, contribuindo assim, para uma difusão mais rápida da água (GONELI et al., 2009). Visto que em maiores temperaturas as moléculas de água sofrem uma menor resistência, ou seja, fazendo com que a água seja menos ligada às moléculas que constituem a massa seca do material (ALMEIDA et al., 2021).

Na Tabela 2 estão apresentados os valores obtidos da magnitude do coeficiente de determinação e erro médio estimado para os modelos matemáticos ao longo da secagem.

Tabela 2. Coeficientes de determinação (R^2 , %) e valores para o erro médio estimado (SE decimal x 10^{-4}) calculados de acordo com os modelos ajustados para a secagem das sementes de girassol nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C

MODELO	40 °C		50 °C		60 °C		70 °C		80 °C	
	SE	R^2	SE	R^2	SE	R^2	SE	R^2	SE	R^2
Aproximação da Difusão	4,7	98,97	32,3	99,39	12,5	99,79	17,6	99,67	17,9	99,66
Dois Termos	4,6	99,91	3,8	99,92	8,4	99,86	8,3	99,85	7,5	99,86
Exponencial de Dois Termos	43,7	99,15	7,9	99,84	16,6	99,71	13,8	99,74	16,2	99,68
Henderson e Pabis	27,7	99,47	15,2	99,71	15,7	99,73	11,2	99,79	12,4	99,76
Logarítmico	21,1	99,60	5,2	99,90	8,4	99,86	8,8	99,84	8,6	99,84
Midilli	14,6	99,73	2,6	99,95	7,1	99,88	2,9	99,95	2,2	99,96
Newton	140,1	97,25	31,4	99,40	17,0	99,70	17,3	99,67	17,2	99,66
Page	24,9	99,52	5,5	99,90	16,7	99,71	11,9	99,77	14,2	99,72
Thompson	52,6	98,98	6,5	99,88	16,9	99,71	17,6	99,67	17,6	99,66
Wang & Singh	1440,1	72,02	1495,4	88,09	646,4	88,87	423,8	91,97	252,8	95,05

Os coeficientes de determinação (R^2) variam de 0 a 100 (%) e mostram a força da relação entre os dados observados e estimados (MENDONÇA et al., 2019), ou seja, quanto mais próximo de 100, mais elucidativo é o modelo e melhor se ajustará aos dados experimentais (SOZZI & RAMOS, 2015). Observou-se que para o coeficiente de determinação (R^2), o modelo Wang & Sing em todas as temperaturas de secagem testadas e os modelos de Newton, Aproximação da Difusão e Thompson para 40 °C, apresentaram valores inferiores a 99% e, de acordo com Chayjan & Shadidi (2014), os demais modelos indicam uma representação satisfatória no processo de secagem, que é acima de 99%. Contudo, Madamba et al. (1996) ressaltam que o coeficiente de determinação (R^2) não é capaz de, sozinho, determinar satisfatoriamente o melhor modelo tornando-se viável, portanto, uma análise conjunta incluindo outros parâmetros estatísticos.

No comportamento da magnitude do desvio-padrão da estimativa (SE), nota-se a predominância de valores baixos para 50, 60, 70 e 80 °C no modelo de Midilli e 40 °C para Dois Termos. Assim sendo, esses modelos validam a relação de quanto menor o valor encontrado para SE, melhor o ajuste do modelo aos dados experimentais (SIQUEIRA et al., 2013; MOSCON et al., 2017).

Na Tabela 3 se encontram os valores calculados para o teste de *Qui*-quadrado e erro médio relativo para os modelos matemáticos em cada temperatura de secagem.

Tabela 3. Valores para o teste de *Qui*-quadrado (χ^2 , decimal x 10^{-4}) e erro médio relativo (P, %) calculados de acordo com os modelos ajustados para a secagem das sementes de girassol nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C

MODELO	40 °C		50 °C		60 °C		70 °C		80 °C	
	χ^2	P	χ^2	P	χ^2	P	χ^2	P	χ^2	P
Aproximação da Difusão	0,8	10,97	5,5	23,99	2,2	6,18	3,5	15,41	3,6	12,16
Dois Termos	0,8	10,97	0,7	2,68	1,5	5,11	1,7	6,72	1,5	5,05
Exponencial de Dois Termos	7,1	13,86	1,3	14,23	2,9	13,49	2,7	15,88	3,2	14,38
Henderson e Pabis	4,5	12,97	2,6	19,72	2,7	14,60	2,2	14,87	2,4	12,48
Logarítmico	3,5	3,84	0,9	8,46	1,5	4,39	1,7	6,60	1,7	5,73
Midilli	2,4	3,94	0,5	7,15	1,3	6,53	0,6	8,24	0,5	4,99
Newton	22,42	23,74	5,2	24,00	2,9	14,65	3,3	14,23	3,3	11,96
Page	4,1	6,45	9,3	14,54	2,9	15,05	2,3	17,58	2,8	14,09
Thompson	8,5	11,05	1,1	9,95	2,9	13,85	3,4	14,23	3,4	11,95
Wang & Singh	233,7	129,17	252,8	190,22	112,5	90,64	81,6	91,47	49,6	51,40

Em análise do *Qui*-quadrado (χ^2), nota-se a mesma tendência ao modelo de Midilli nas temperaturas de secagem de 50, 60, 70 e 80 °C, e ao modelo Dois Termos para a temperatura de 40 °C, apresentando nessas condições os menores valores, caracterizando de acordo com Gunhan et al. (2005) e Oliveira et al. (2018), melhor ajuste do modelo, por se tratar de uma análise que se avalia a diferença da estimativa do modelo, recomendando-se, portanto, os menores valores deste parâmetro.

A partir destes fatores, pode-se afirmar que os modelos Midilli e Dois Termos apresentaram os melhores ajustes aos dados experimentais para R^2 , SE e χ^2 .

O erro médio relativo (P) indica desvio dos valores observados em relação a curva estimada pelo modelo (KASHANINEJAD et al., 2007). Segundo Mohapatra & Rao (2005) os valores superiores a 10% de erro médio relativo, são tidos inadequados para a descrição adequada do fenômeno. Portanto, quanto menor o valor de P, menores são os desvios entre os valores experimentais e os estimados pelo modelo (SIQUEIRA et al., 2013).

Nesse estudo, foram poucos os modelos que apresentaram valores de erro médio relativo inferiores a 10% e somente os modelos Logarítmico e Midilli exibiram valores de $P < 10\%$ para todas as temperaturas do ar de secagem.

O critério de Akaike (AIC) e o critério de informação Bayesiano de Schwarz (BIC) foram utilizados como critérios auxiliares para a escolha do melhor modelo matemático para prever a curva de secagem das sementes de girassol (Tabela 4).

Tabela 4. Valores dos critérios de informação de Akaike (AIC) e critérios de informação bayesiano de Schwarz (BIC), para os modelos ajustados para prever a cinética de secagem das sementes de girassol

MODELO	40 °C		50 °C		60 °C		70 °C		80 °C	
	AIC	BIC								
Aproximação da Difusão	-261,4	-254,7	-213,6	-203,9	*	*	*	*	*	*
Dois Termos	-259,4	-251,0	-244,9	-236,8	-202,8	-195,0	-164,6	-157,7	-160,9	-154,2
Exponencial de Dois Termos	-172,6	-167,5	-221,0	-216,1	-181,9	-177,3	-152,5	-148,4	-142,2	-138,2
Henderson e Pabis	-190,9	-185,8	-196,9	-192,0	-183,9	-179,2	-154,6	-158,7	-149,5	-145,5
Logarítmico	-200,4	-193,7	-235,4	-229,0	-204,2	-198,0	-164,2	-158,7	-158,5	-153,2
Midilli	-213,6	-205,2	-259,1	-251,1	-208,8	-201,1	-195,0	-188,1	-195,2	-188,6
Newton	-127,5	-124,1	-171,5	-168,3	-182,6	-179,5	-147,5	-144,8	-141,9	-139,2
Page	-195,2	-190,1	-234,5	-229,7	-181,7	-177,0	-156,8	-152,7	-145,8	-141,5
Thompson	-165,2	-160,2	-228,5	-223,7	-181,4	-176,7	*	*	*	*
Wang & Singh	-32,8	-27,8	-27,1	-22,3	-53,8	-49,1	-53,2	-49,1	-65,2	-61,2

*Não foi possível obter os dados para o modelo, pois o mesmo apresentou coeficientes com alto erro de estimativa.

Quanto menores os valores de AIC e BIC, melhor será o ajuste do modelo aos dados experimentais (GOMES et al., 2018). Sendo assim, de acordo com os valores obtidos para AIC e BIC, o modelo de Midilli representa com satisfação a cinética de secagem de das sementes de girassol nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C e o modelo Dois Termos a temperatura de 40 °C. Tendência essa já observada nos parâmetros descritos anteriormente.

Para Moscon et al. (2017), a seleção e a recomendação do melhor modelo se baseia também na simplicidade de aplicação e no número de parâmetros favoráveis. Embora ambos os modelos analisados, Midilli e Dois Termos tenham apresentado maior eficiência em descrever o processo de secagem das sementes de girassol, optou-se por selecionar o modelo de Midilli, tendo por base, além dos coeficientes estatísticos favoráveis a maior parte das temperaturas de secagem estudadas, também a sua maior simplicidade da equação.

Na literatura encontram-se diversos trabalhos em que o modelo de Midilli apresentou uma representação satisfatória do fenômeno em estudo, sendo recomendado a exemplo, para a cinética de secagem de soja (SILVA et al., 2020; BOTELHO et al., 2018; BISSARO, 2018;), pinhão-manso (SIQUEIRA et al., 2012), andiroba (MENDONÇA et al., 2015), amêndoas de macaúba (CARVALHO, 2018).

Na Tabela 5 estão descritos os valores dos coeficientes do modelo de Midilli ajustados aos dados experimentais da secagem em diferentes temperaturas.

Tabela 5. Coeficientes do modelo de Midilli ajustado para a secagem das sementes de girassol

Coeficientes	Temperatura (°C)				
	40	50	60	70	80
	Midilli				
a	0,935875**	0,988648**	1,006805**	1,011233**	1,009135**
k	0,454878**	0,740651**	0,653136**	1,119752**	1,068467**
n	0,868815**	0,908892**	1,046654**	1,102040**	1,108263**
b	0,000616 ^{ns}	0,001977**	0,004493**	0,007498**	0,010839**

**Significativo a 1% pelo teste t. ^{ns}Não significativo pelo teste t.

A constante de secagem “k”, que representa as condições externas de secagem pode ser utilizada como aproximação para caracterizar o efeito da temperatura e está relacionada à difusividade efetiva no processo de secagem no período decrescente e à difusão líquida que controla o processo (MADAMBA et al., 1996; BABALIS; BELESSIOTIS, 2004), ou seja, a constante “k” normalmente tende a aumentar, visto que temperaturas elevadas acarretam maiores taxas de secagem atingindo o teor de água de equilíbrio mais rápido (CÔRREA et al., 2010).

Haja vista, Nascimento et al. (2018), estudaram a secagem de girassol comercial, e os valores para a constante de secagem “k” aumentaram com a elevação do ar de secagem em todos os modelos avaliados. Em contrapartida, Mendonça et al. (2019) estimaram as curvas de secagem de duas espécies de sementes de andiroba e Moscon (2015) estudando as curvas de secagem de quinoa, constataram o mesmo comportamento encontrado no presente trabalho, em que o valor da constante “k” do modelo de Midilli diminuiu ou variou com o aumento da temperatura.

Uma vez que a constante "k" corresponde as condições externas de secagem (AFONSO JÚNIOR, 2001), a oscilação constatada neste estudo, pode ser explicada devido a diferenças no ambiente no momento da secagem, tais como temperatura e umidade relativa do ar, visto que a secagem não aconteceu no mesmo período para todas as temperaturas (MOSCON, 2015). Conforme Goneli et al. (2014), as diferenças nos valores das constantes disponíveis na literatura são explicadas não só pela complexidade dos produtos, mas também pelos diferentes métodos de avaliação, metodologia e processo de secagem, tipo de material, teor de água, composição química e propriedades físicas dos produtos.

Os coeficientes do modelo de Midilli (“a”, “n” e “b”), com a elevação da temperatura do ar de secagem apresentaram aumento nos valores, exceto o coeficiente “a” em que ocorreu redução na temperatura de 80 °C. As variações desses coeficientes se devem mais a ajustes matemáticos do que relacionados a algum fenômeno de secagem, uma vez que o modelo de Midilli é um modelo semi-empírico (MIDILLI et al., 2002).

Verifica-se, na Figura 2, os dados experimentais e estimados da razão de teor de água (RX) empregando-se a equação de Midilli.

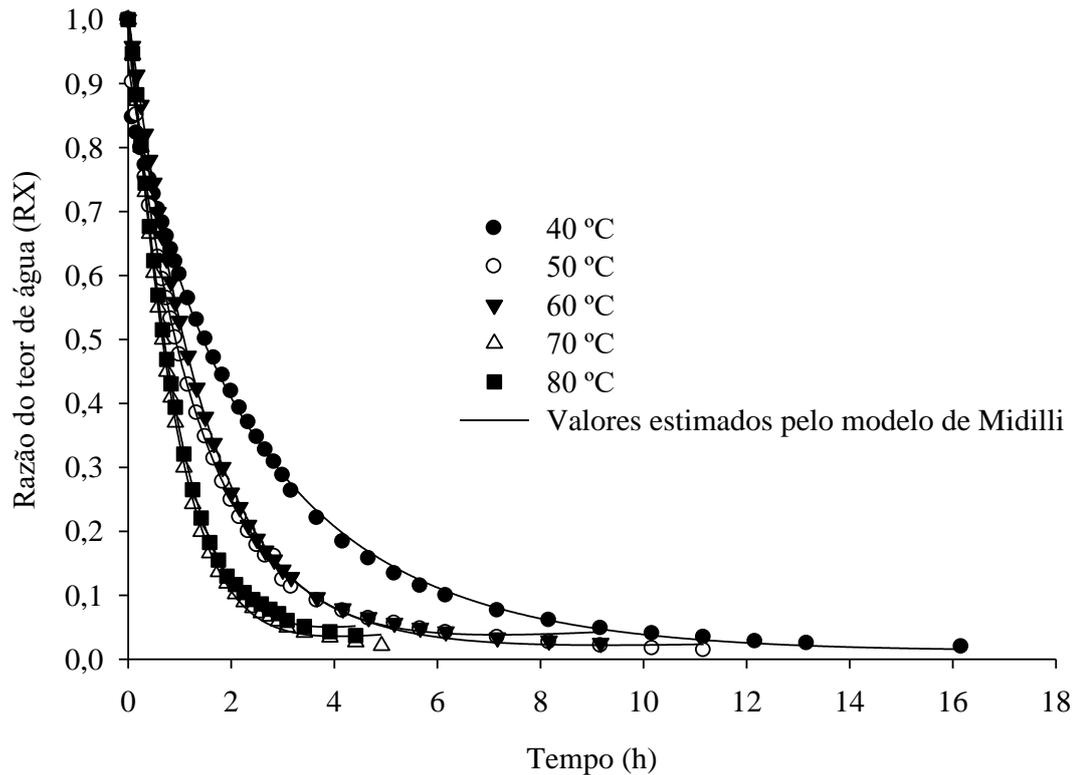


Figura 2. Valores experimentais e estimados pelo modelo de Midilli para a secagem de sementes de girassol nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C.

Visualiza-se a correspondência satisfatória entre os valores experimentais e estimados pelo modelo para as temperaturas ao longo da secagem.

Percebe-se que no início do processo a perda de água é mais rápida, havendo uma maior taxa de secagem, elucidado pela maior inclinação das curvas. Considerando um mesmo valor de razão de teor água, o tempo necessário para remover a água diminui de acordo com o acréscimo da temperatura do ar de secagem. Através das curvas de secagem observa-se também que as perdas de água tendem a se estabilizar, segundo Martins et al. (2014) no final da secagem, a água encontra-se em regiões mais intrínsecas da amostra, necessitando de maior energia para a sua evaporação.

5 CONCLUSÕES

As taxas de remoção de água das sementes de girassol são diretamente proporcionais ao aumento da temperatura de secagem, sendo necessárias nessas condições, tempo de secagem menor.

Recomenda-se o modelo de Midilli para descrever com satisfação as curvas de secagem das sementes de girassol para as temperaturas estudadas.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFONSO JÚNIOR, P. C. **Aspectos físicos, fisiológicos e de qualidade do café em função da secagem e do armazenamento**. 2001. 384 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

ALBINI, G.; FREIRE, F. B.; FREIRE, J. T. Caracterização de grãos de cevada em relação a umidade inicial obtida através do processo de reumidificação. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 2, n. 1, p. 1893-1902, 2015.

ALMEIDA, R. L. J.; SANTOS, N. C.; RIBEIRO, V. H. A.; SILVA, V. M. A.; MUNIZ, C. E. SOUSA; SILVA, R. A.; EDUARDO, R. S.; SANTIAGO, A. M.; GALDINO, P. O.; MOTA, M. M. A. Modelagem matemática aplicada a cinética de secagem da pasta de amido de feijão preto. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 1, p. e37710111921, 2021.

AOSANI, E. **Temperatura de secagem estacionária e de armazenamento na qualidade de grãos de soja (*Glycine max* (L.) Merrill)**. 2007. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Pelotas, Pelotas, 2007.

ARAÚJO, C. S.; MACEDO, L. L.; VIMERCATI, W. C.; DE PAULA R. R.; TEIXEIRA, L. J. Q.; SARAIVA, S. H. Princípios da secagem de alimentos. IN: ROBERTO, C. D.; TEIXEIRA, L. J. Q.; DE CARVALHO, R. V. (org.). **Tópicos Especiais em Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v. 1. Vitória: EDUFES, 2020. p. 233-251. Disponível em: <<https://edufes.ufes.br/items/show/552>>. Acesso em: 04 maio, 2021.

ARAUJO, W. D.; GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; HARTMANN FILHO, C. P.; MARTINS, E. A. S. Modelagem matemática da secagem dos frutos de amendoim em camada delgada. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 3, p. 448-457, 2017.

BABALIS, S. J.; BELESSIOTIS, V. G. Influence of the drying conditions on the drying constants and moisture diffusivity during the thin-layer drying of figs. **Journal of Food Engineering**, v. 65, n. 3, p. 449-458, 2004.

BACAXIXI, P.; RODRIGUES, L. R.; BUENO, C. E. M. S.; RICARDO, H. A.; EPIPHANIO, P. D.; SILVA, D. P.; BARROS, B. M. C.; SILVA, T. F. Teste de germinação de girassol *Helianthus annuus* L. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, v. 10, n. 20, p. 1-5, 2011. Disponível em: <http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/s7YDzJcHEZBp5ip_2013-5-17-15-21-50.pdf>. Acesso em: 02 maio, 2021.

BARBOSA, T. A.; LOBATO, F. S. Determinação da cinética de secagem de produtos alimentícios usando algoritmos genéticos. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 3, n. 3, p. 28-37, 2016.

BISSARO, C. A. **Avaliação da qualidade e do consumo energético no processo de secagem intermitente em sementes de soja**. 2018. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2018.

BOTELHO, F. M.; HOSCHER, R. H.; HAUTH, M. R.; BOTELHO, S. C. C. Cinética de secagem de grãos de soja: Influência varietal. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 26, n.

UFPEL, 2007.

FAO. **Faostat: crops**. 2019. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 01 maio, 2021.

FEIX, R. D.; ZANIN, V. Regulamentação técnica e competitividade da cadeia produtiva do girassol no Brasil. **Revista de Política Agrícola**, v. 27, n. 4, p. 98, 2018.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: Princípios e práticas**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.

FIGUEREDO, I. M. **Biodiesel de soja e girassol: Avaliação da estabilidade oxidativa por rancimat e dsc**. 2017. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Petróleo) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

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

GOMES, F. P.; RESENDE, O.; SOUSA, E. P.; OLIVEIRA, D. E. C.; ARAÚJO NETO, F. R. Drying kinetics of crushed mass of ‘jambu’: Effective diffusivity and activation energy. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 7, p. 499-50, 2018.

GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; AFONSO JÚNIOR, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H. Cinética de secagem dos grãos de café descascados em camada delgada. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v. 11, n. 11, p. 64-73, 2009.

GONELI, A. L. D.; VIEIRA, M. C.; VILHASANTI, A. C. B.; GONÇALVES, A. A. Modelagem matemática e difusividade efetiva de folhas de aroeira durante a secagem. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 1, p. 56-64, 2014.

GUNHAN, T.; DEMIR, V.; HANCIOGLU, E.; HEPBASLI, A. Mathematical modelling of drying of bay leaves. **Energy Conversion and Management**, v. 46, n. 11-12, p. 1667-1679, 2005.

KASHANINEJAD, M.; MORTAZAVI, A.; SAFEKORDI, A.; TABIL, L. G. Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 1, p. 98-108, 2007.

LA FUENTE, C.; ZABALAGA, R.; TADINI, C. Combined effects of ultrasound and pulsed-vacuum on air-drying to obtain unripe banana flour. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 44, p. 123-130, 2017.

LEITE, R. M. V. B. C.; CASTRO, C.; BRIGHENTI, A. M.; OLIVEIRA, F. A.; CARVALHO, C. G. P.; OLIVEIRA, A. C. B. Indicações para o cultivo de girassol nos Estados do Rio Grande do Sul, Paraná, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás e Roraima. **Embrapa Soja - Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, Londrina, 2007. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/470731/indicacoes-para-o-cultivo-de-girassol-nos-estados-do-rio-grande-do-sul-parana-mato-grosso-do-sul-mato-grosso-goias-e-roraima>>. Acesso em: 10 fev. 2021.

LIRA, E. G. **Avaliação de genótipos de girassol em ambientes no cerrado do Distrito Federal**. 2016. 84 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

LOPES, P. V. L.; MARTINS, M. C.; TAMAI, M. A.; OLIVEIRA, A. C. B.; CARVALHO, C. G. P. Produtividade de genótipos de girassol em diferentes épocas de semeadura no oeste da Bahia. **Embrapa Clima Temperado - Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, Pelotas, 2009. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/747137/produktividade-de-genotipos-de-girassol-em-diferentes-epocas-de-semeadura-no-oeste-da-bahia>>. Acesso em: 09 fev. 2021.

MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K. A. Enthalpy-entropy compensation models for sorption and browning of garlic. **Journal of Food Engineering**, v. 28, n. 1, p. 109-119, 1996.

MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K. A. The thin layer drying characteristic of garlic slices. **Journal of Food Engineering**, Montreal, v. 29, n. 1, p. 75-97, 1996.

MARTINS A. D. **Radiação gama e secagem na conservação da qualidade do óleo de frutos de macaúba**. 2013. 89 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

MARTINS, J. J. A.; MARQUES, J. I.; SANTOS, D. C.; ROCHA, A. P. T. Modelagem matemática da secagem de cascas de mulungu. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 6, p. 1652- 1660, 2014.

MENDONÇA, A. P.; SAMPAIO, P. T. B.; ALMEIDA, F. A. C.; FERREIRA, R. F.; NOVAIS, J. M. Determinação das curvas de secagem das sementes de andiroba em secador solar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 4, p. 382–387, 2015.

MENDONÇA, A. P.; SILVA, L. M. M.; SOUSA, F. C.; SILVA, J. R.; ROSA, J. C. Modelagem matemática das curvas de secagem de sementes de duas espécies de andiroba. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 27, n. 4, p. 293-303, 2019.

MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. A new model for single-layer drying. **Drying Technology**, v. 20, n. 7, p. 1503-1513, 2002.

MOHAPATRA, D.; RAO, P. S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, v. 66, n. 4, p. 513-518, 2005.

MOSCON, E. S. **Cinética de secagem e propriedades físicas de quinoa e amaranto e qualidade de sementes de quinoa**. 2015. 72 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

MOSCON, E. S.; MARTIN, S.; SPEHAR, C. R.; DEVILLA, I. A.; RODOLFO JUNIOR, F. Cinética de secagem de grãos de quinoa (*Chenopodium quinoa* W.). **Engenharia na Agricultura**, v. 25, n. 4, p. 318-325, 2017.

NASCIMENTO, A. P. S.; BARROSM S. L.; SANTOS, N. C.; ARAÚJO, A. J. B.; CAVALCANTI, A. S. R. R. M.; DUARTE, M. E. M. Secagem convectiva e influência da

temperatura nas propriedades físico-químicas das amêndoas de girassol comercial. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 20, n. 3, p. 227-238, 2018.

OLIVEIRA, A. R. de; ARRIEL, N. H. C. As principais oleaginosas da agricultura familiar. Agricultura familiar dependente de chuva no Semiárido. **Embrapa Semiárido - Livro técnico (INFOTECA-E)**, 2019 p. 85-128. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/204569/1/Agricultura-familiar-dependente-de-chuva-no-semiarido-2019.pdf>>. Acesso em: 02 maio, 2021.

OLIVEIRA, P. M., OLIVEIRA, D. E. C., RESENDE, O., SILVA, D. V. Study of the drying of mesocarpo of baru (*Dipteryx alata* Vogel) fruits. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 12, p. 872-877, 2018.

PINA FILHO, O. C. **História do Girassol: Girassol (*Helianthus annuus* L.)**, Ceapar Cerrado Sementes LTDA. Goiás, 2007. Disponível em: <<http://www.ceapar.com.br/historico.html%3E>>. Acesso em: 30 maio, 2021.

POF. Pesquisa de Orçamentos Familiares 2008-2009: despesas, rendimentos e condições de vida. **Rio de Janeiro: IBGE**, 2010. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/1719/pia_2013_v32_n2_produto.pdf>. Acesso em: 03 maio, 2021.

REIS, R. D.; BARBOSA, L. S.; LIMA, M. D. L.; REIS, J. D. S.; DEVILLA, I. A.; ASCHERI, D. P. Modelagem matemática da secagem da pimenta Cumari do Pará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 4, p. 347-353, 2011.

REIS, T. G.; PERAZZINI, H.; FREIRE, F. B.; FREIRE, J. T. Análise da secagem de partículas de alumina em secador de leito vibrofluidizado. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 2, n. 1, p. 373-381, 2015.

RESENDE, O.; CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; BOTELHO, F. M.; RODRIGUES, S. Modelagem matemática do processo de secagem de duas variedades de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 10, n. 1, p. 17-26, 2008.

RONCHETI, E. F. S.; BAPTESTINI, F. M.; JUNQUEIRA, M. S.; OLIVEIRA, A. N.; SARTORI, M. A.; SARAIVA, S. H. Desidratação em leito de espuma. In: TEIXEIRA, L. J. Q.; OLIVEIRA, A. N.; SARTORI, M. A. **Tópicos Especiais em Engenharia de Alimentos**. Visconde do Rio Branco, Suprema, 440 p., cap 3, p. 51-64, 2014.

SANTOS, M. I. G.; LIRA, T. P. S.; SILVA, L. E. B.; SANTOS, R. L. V.; SILVA JUNIOR, I. P.; BRITO, D. R. Cortes histológicos dos órgãos vegetativos do girassol (*Helianthus annuus* L.): uma contribuição para o ensino da botânica. **Revista Ambientale**, v. 13, n. 1, p. 38-50, 2021.

SANTOS, Z. M.; **Cultivo de girassol em diferentes épocas no Norte Fluminense: características morfológicas, produtivas e teor de óleo**. 2014. 61 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2014.

SILVA, F. P.; SIQUEIRA, V. C.; QUEQUETO, W. D.; JUNQUEIRA, M. H.; GONELI, A. L.

D. Propriedades físicas dos grãos de niger. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 26, n. 6, p. 507, 2018.

SILVA, F. P.; SIQUEIRA, V. C.; QUINZANI, G. A.; MARTINS, E. A. S.; GONELI, A. L. D. Drying kinetics of niger seeds. **Engenharia Agrícola**, v. 37, n. 4, p. 727-738, 2017.

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

SILVA, J. V. L. **Cultura do girassol: análise da produção em Mato Grosso, Goiás e Rio Grande do Sul**. 2018. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Gestão de Agronegócio) – Universidade de Brasília, Planaltina, 2018.

SILVA, L. P.; SANTOS, S. G. F.; QUEIROZ, J. S.; RODOVALHO, R. S.; BUSO, W. H. D. Drying kinetics of soybean grains. **Revista Científica**, v. 48, n. 2, p. 99-106, 2020.

SIQUEIRA, V. C.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H. Drying kinetics of jatropha seeds. **Revista Ceres**, v. 59, p. 171-177, 2012.

SIQUEIRA, V. C.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H. Mathematical modelling of the drying of jatropha fruit: an empirical comparison. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, p. 278-285, 2013.

SMANIOTTO, T. A. S.; RESENDE, O.; SOUSA, K. A.; OLIVEIRA, D. E. C.; CAMPOS, R. C. Drying kinetics of sunflower grains. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 3, p. 203-208, 2017.

SOARES, L. E.; EMERENCIANO NETO, J. V.; SILVA, G. G. C.; OLIVEIRA, E. M. M.; BEZERRA, M. G. S.; SANTOS, T. J. A.; DIFANTE, G. S. Crescimento e produtividade do girassol sob doses de nitrogênio e fósforo. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 6, n. 2, p. 19-25, 2016.

SOUZA, A. R. E. **Produtividade e teor de óleo de cultivares de girassol sob fertirrigação nitrogenada em duas safras agrícolas**. 2018. 54 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2018.

SOUZA, R. D. S. **Estudo de substâncias químicas em óleos de coco, copaíba, calêndula e girassol utilizados no tratamento de feridas: uma abordagem teórica**. 2019. 52 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2018.

SOZZI, G.; RAMOS, D. S. Avaliação do ágio no preço da energia convencional no mercado brasileiro de contratos de curto prazo: metodologia e aplicação. **Revista Espaço Ciência**, v. 22, p. 24-32, 2015.

USDA. United States Department Of Agriculture. **Oilseeds: World Markets and Trade**, 2017. Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/oilseeds.pdf>>. Acesso em: 03 maio, 2021.

VIEIRA, D. M.; BARROS, S. L.; SILVA, V. M. A.; SANTOS, N. C.; NASCIMENTO, A. P. S.; MELO, M. O. P. Cinética de secagem e sua influência nas dimensões de sementes de abóbora sem casca. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 14, n. 5, p. 665-670, 2019.

VIEIRA, G. N. A. **Caracterização e secagem de grãos de linhaça marrom (*Linum usitatissimum* L.) em leito fixo e fluidizado**. 2012. 67 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.

VIEIRA, M. L.; CEZÁRIO, A. S.; OLIVEIRA, N. C.; PAULA, L. C.; VALENTE, T. N. P.; SANTOS, W. B. R.; RIBEIRO, J. C.; BIANCHINI, E. M. Manejo e adaptação do girassol em solos do cerrado. **Colloquium Agrariae**, v. 13, p. 289-300, 2017.