

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – *CAMPUS* RIO VERDE PROGRAMA DE PÓS-  
GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS

SECAGEM E ARMAZENAMENTO DE GRÃOS DE  
GIRASSOL

Autora: Thaís Adriana de Souza Smaniotto  
Orientador: Prof. Dr. Osvaldo Resende

RIO VERDE - GO  
Março - 2016

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – *CAMPUS* RIO VERDE PROGRAMA DE PÓS-  
GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS

SECAGEM E ARMAZENAMENTO DE GRÃOS DE  
GIRASSOL

Autora: Thaís Adriana de Souza Smaniotto  
Orientador: Prof. Dr. Osvaldo Resende

Tese apresentada como parte das exigências para  
obtenção do título de DOUTORA EM  
CIÊNCIAS AGRÁRIAS - AGRONOMIA, no  
Programa de Pós-Graduação em Ciências  
Agrárias do Instituto Federal de Educação,  
Ciência e Tecnologia Goiano – *Campus* Rio  
Verde – Área de concentração Ciências Agrárias.

RIO VERDE - GO  
Março – 2016



Smaniotto, Thaís Adriana de Souza

S635s

Secagem e armazenamento de grãos de girassol. / Thaís Adriana de Souza Smaniotto. – Rio Verde. – 2016.

75 f.: il.

Tese (Doutorado em Ciências Agrárias - Agronomia) - Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde - 2016.

Orientador: Dr. Osvaldo Resende

#### Bibliografia

1. Girassol-Secagem. 2. Girassol - Propriedades físicas
3. Girassol-Armazenamento. I. Título. II. Instituto Federal Goiano - Câmpus Rio Verde.

CDD:633.85

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – CÂMPUS RIO VERDE  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS  
AGRÁRIAS-AGRONOMIA**

**SECAGEM E ARMAZENAMENTO DE GRÃOS DE GIRASSOL**

Autora: Thaís Adriana de Souza Smaniotto  
Orientador: Osvaldo Resende

TITULAÇÃO: Doutor em Ciências Agrárias-Agronomia - Área de Concentração em  
Produção Vegetal Sustentável no Cerrado

APROVADA em 04 de março de 2016.

Prof. Dr. Valdiney Cambuy  
Siqueira  
Avaliador externo  
UFMS – Dourados

Prof. Dr. José Henrique da Silva  
Taveira  
Avaliador externo  
UEG – Santa Helena

Prof. Dr. Marconi Batista  
Teixeira  
Avaliador interno  
IF Goiano – Câmpus Rio  
Verde

Dra. Daniele Nogueira Dos Reis  
Avaliadora interna  
PNPD/IF Goiano – Câmpus Rio  
Verde

Prof. Dr. Osvaldo Resende  
Presidente da banca  
IF Goiano – Câmpus Rio Verde

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pois me deu vida, saúde e força, presença constante em toda minha caminhada.

Ao meu esposo Everton Smaniotto e minha filha Maria Fernanda, pela paciência, compreensão, carinho e amor.

Ao Professor Osvaldo Resende, pela orientação responsável, dedicação, confiança, pelos ensinamentos transmitidos na realização deste trabalho e apoio constante nesta etapa relevante da minha formação. Minha eterna gratidão!

Aos meus pais, que mesmo longe, sempre me deram muito apoio.

A toda equipe do Laboratório de Pós-Colheita de Produtos Vegetais: Daniel, Gabriely, Jaqueline, Lílian e Weder, pela contribuição direta ou indireta na realização deste trabalho.

Aos colegas Denner e Rafael, pelo apoio na condução dos experimentos.

A colega Kelly Aparecida Sousa, pelo apoio, confiança e amizade.

A minha coorientadora Juliana de Fátima Sales, pelas contribuições e sugestões nesta pesquisa.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – *Campus* Rio Verde, por tornar possível essa conquista.

A CNPQ, pela bolsa concedida.

## BIOGRAFIA DO AUTOR

THAÍS ADRIANA DE SOUZA SMANIOTTO, filha de Lauro Venâncio de Souza e Noemi Becher de Souza, nasceu em Ponta Grossa, estado do Paraná em 12 de junho de 1980.

Em março de 2000, iniciou no curso de Agronomia na Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), graduando-se em 2004. No mesmo ano, ingressou como responsável técnica na empresa C.D. Brasil Fumigações até 2008.

No mês de fevereiro de 2011, iniciou no Programa de Pós-Graduação, em nível de Mestrado, em Ciências Agrárias do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – *Campus* Rio Verde, defendendo a dissertação em fevereiro de 2013.

Em fevereiro de 2014, ingressou o curso de Doutorado em Ciências Agrárias-Agronomia no do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – *Campus* Rio Verde, submetendo-se à defesa da tese em fevereiro de 2016.

## ÍNDICE

	Página
ÍNDICE DE TABELAS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES.....	x
RESUMO.....	xii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
1.1 Girassol.....	1
1.2 Secagem.....	3
1.3 Armazenamento.....	4
1.4 Referências Bibliográficas.....	7
OBJETIVOS.....	11
Capítulo 1. Cinética de secagem dos grãos de girassol	12
Resumo.....	12
Abstract.....	12
Introdução.....	13
Material e métodos.....	14
Resultados e discussão.....	18
Conclusões.....	23
Literatura citada.....	23
Capítulo 2. Propriedades físicas dos grãos de girassol durante a secagem	26
Resumo.....	26
Abstract.....	26
Introdução.....	27

Material e métodos.....	28
Resultados e discussão.....	31
Conclusões.....	37
Literatura citada.....	37
Capítulo 3. Propriedades mecânicas dos grãos de girassol submetidos à compressão em diversos teores de água	40
Resumo.....	40
Abstract.....	40
Introdução.....	41
Material e métodos.....	42
Resultados e discussão.....	45
Conclusões.....	50
Literatura citada.....	50
Capítulo 4. Qualidade dos grãos e do óleo de girassol armazenados em diferentes embalagens	53
Resumo.....	53
Abstract.....	54
Introdução.....	54
Material e métodos.....	55
Resultados e discussão.....	57
Conclusões.....	70
Literatura citada.....	71
CONCLUSÃO GERAL.....	75



## ÍNDICE DE TABELAS

	Página
Capítulo 1 Cinética de secagem dos grãos de girassol.	
Tabela 1. Modelos matemáticos utilizados para prever a secagem de produtos agrícolas.....	16
Tabela 2. Coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e erros médio relativo (P) para os onze modelos analisados, durante a secagem do girassol ( <i>Heliantus annuus</i> ) nas diversas condições de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ).....	21
Tabela 3. Tabela 3. Erros médio estimado (SE) e <i>Qui</i> -quadrado ( $\chi^2$ ) para os onze modelos.....	22
Tabela 4 . Coeficientes do modelo de Wang e Sing ajustados para a secagem do girassol em diferentes condições de temperatura e umidade relativa do ar com as respectivas equações.....	24
Capítulo 3. Propriedades mecânicas dos grãos de girassol submetidos à compressão em diversos teores de água	
Tabela 1. Valores médios dos raios de curvatura dos grãos de girassol (m) para cada teor de água (%b.s.).....	53
Tabela 2. Equações quadráticas ajustadas para os valores do módulo proporcional de deformidade em função do teor de água.....	57
Tabela 3. Equações quadráticas ajustadas para os valores do módulo proporcional de deformidade em função do teor de água.....	58
Capítulo 4. Qualidade dos grãos e do óleo de girassol armazenados em diferentes embalagens	
Tabela 1. Resumo da Análise de variância para Teor de água (TA); Germinação	

(G); Índice de velocidade de germinação (IVG); Plântulas normais (PN); Massa seca (MS); Condutividade elétrica (CE); Teor de óleo (TO); Índice de acidez (IA) e Índice de peróxido (IP).....	70
Tabela 2. Teores de água dos grãos de girassol acondicionados em diferentes embalagens durante o armazenamento.....	72
Tabela 3. Germinação (%) das sementes de girassol acondicionadas em diferentes embalagens durante o armazenamento.....	74
Tabela 4. IVG dos grãos de girassol acondicionados em diferentes embalagens durante o armazenamento.....	75
Tabela 5. Equações linear (1) e quadrática (2) ajustadas para os valores de plântulas normais em função do tempo de armazenamento (TA).....	77
Tabela 6. Condutividade elétrica dos grãos de girassol acondicionadas em diferentes embalagens durante o armazenamento.....	80
Tabela 7. Teor de óleo dos grãos de girassol acondicionados em diferentes embalagens durante o armazenamento.....	81
Tabela 8. Equações lineares ajustadas para os valores de índice de acidez em função do tempo de armazenamento (TA).....	83
Tabela 9. Equações quadráticas ajustadas para os valores de índice de peróxido em função do tempo de armazenamento (TA).....	85
Tabela 10. Valores de índice de iodo dos grãos de girassol acondicionados em diferentes embalagens durante o armazenamento.....	86

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Capítulo 1. Cinética de secagem dos grãos de girassol.	
Figura 1. Valores experimentais da razão de teor de água (RX, decimal) para o girassol ( <i>Heliantus annuus</i> ) nas temperaturas de 35; 50; 65; 80 e 95 °C.....	20
Figura 2. Curvas de secagem com valores experimentais de teor de água e estimados pelo modelo de Wang e Singh para os grãos de girassol nas temperaturas de 35; 50; 65; 80 e 95 °C.....	23
Figura 3. Coeficiente de difusão efetivo ( $m^2.s^{-1}$ ) e representação de Arrhenius para o coeficiente de difusão efetivo em função da temperatura do ar de secagem, obtido durante a secagem dos grãos de girassol.....	25
Capítulo 2. Propriedades físicas dos grãos de girassol durante a secagem	
Figura 1. Desenho esquemático do determinador de velocidade terminal.....	35
Figura 2. Valores experimentais e estimados da massa específica aparente (A) e unitária (B) de grãos de girassol em função do teor de água (% b.u.).....	37
Figura 3. Valores da porosidade intergranular (A.) e velocidade terminal de grãos de girassol de grãos de girassol em função do teor de água (% b.u.).....	38
Figura 4. Valores experimentais e estimados da contração volumétrica da massa (A), índice de contração volumétrica da massa (B), contração volumétrica unitária (C) e do índice de contração volumétrica unitária (D) de grãos de girassol em função do teor de água (% b.u.).....	41
Capítulo 3. Propriedades mecânicas dos grãos de girassol submetidos à compressão em diversos teores de água	

Figura 1. Orientação dos grãos durante o ensaio de compressão na posição natural de repouso.....	50
Figura 2. Representação esquemática da curva de força vs deformação identificando a força de ruptura ( $F_r$ ), a deformação de ruptura ( $\epsilon$ ) e o “bioyield point”.....	51
Figura 3. Raio de curvatura dos grãos de girassol na região de contato entre os produtos e a placa de compressão.....	52
Figura 4. Valores experimentais e estimados da força de ruptura em função do teor de água dos grãos de girassol.....	54
Figura 5. Valores experimentais da deformação de ruptura em função do teor de água dos grãos de girassol.....	55
Figura 6. Valores experimentais e estimados da força máxima de ruptura em função do teor de água para as deformações $4,0 \times 10^{-4}$ ; $8,0 \times 10^{-4}$ ; $1,2 \times 10^{-3}$ ; $1,6 \times 10^{-3}$ e $2,0 \times 10^{-3}$ m.....	56
Figura 7. Valores experimentais e estimados do módulo proporcional de deformidade em função do teor de água.....	58
Capítulo 4. Qualidade dos grãos de girassol armazenados em diferentes embalagens e do óleo extraído	
Figura 1. Germinação dos grãos de girassol acondicionados em diferentes embalagens durante o armazenamento.....	74
Figura 2. Plântulas normais dos grãos de girassol acondicionados em diferentes embalagens durante o armazenamento.....	77
Figura 3. Massa seca das plântulas dos grãos de girassol acondicionados em diferentes embalagens durante o armazenamento.....	78
Figura 4. Índice de acidez do óleo extraído dos grãos de girassol acondicionados em diferentes embalagens durante o armazenamento.....	82
Figura 5. Índice de peróxido do óleo extraído dos grãos de girassol acondicionados em diferentes embalagens durante o armazenamento.....	85

## LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

b.u.	Base úmida.....kg de água/kg de massa total
b.s.	Base seca.....kg de matéria seca/kg de massa seca
Ta	Teor de água .....-
UR	Umidade Relativa ..... %
IVG	Índice de velocidade de germinação.....decimal
CE	Condutividade elétrica .....mS cm <sup>-1</sup> g <sup>-1</sup>
CV	Coeficiente de variação.....-
Ep	Época.....dias
T	Temperatura..... °C
%	Porcentagem.....-
mS	Mili simens.....-
m	Metro.....-
cm	Centímetro.....-
mm	Milímetros.....-
Kg	Kilogramas.....-
g	Gramas.....-
atm	Atmosfera.....-
°C	Graus Celsius.....-
N	Newton.....-
K	Kelvin.....-
mL	Mililitros.....-
mol	mol.....-
Pa	pascal.....-

s	Segundos.....-
J	Joule.....-
K	Temperatura absoluta.....-

## RESUMO

SMANIOTTO, Thaís Adriana de Souza, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano- *Campus* Rio Verde, março de 2016. **Secagem e armazenamento de grãos de girassol**. Orientador: Dr. Osvaldo Resende. Coorientadora: Dr.<sup>a</sup> Juliana de Fátima Salles.

Objetivou-se com o presente trabalho avaliar as propriedades físicas e mecânicas, ajustar modelos matemáticos aos dados experimentais da secagem bem como avaliar a qualidade dos grãos e do óleo bruto extraído de girassol ao longo do armazenamento por 270 dias em diferentes embalagens. Foram utilizados grãos de girassol da cultivar Olisun 3, colhidos de plantações comerciais na cidade de Rio Verde –GO. Foram determinadas a cinética de secagem dos grãos, as propriedades físicas dos grãos (massas específicas aparente e unitária, porosidade intergranular, contração volumétrica da massa e unitária e velocidade terminal), as propriedades mecânicas (força de ruptura, deformação de ruptura, força máxima de ruptura e módulo proporcional de deformidade). Realizou-se também a avaliação da qualidade dos grãos e do óleo bruto extraído dos grãos de girassol (teor de água, condutividade elétrica, germinação total, índice de velocidade de germinação, plântulas normais, massa seca de plântulas normais e análise de teor de óleo, índice de acidez, índice de iodo e índice de peróxido) durante o armazenamento, em diferentes embalagens (sacos de papel, sacos plásticos de polipropileno, garrafas de polietileno de alta densidade (PEAD) e garrafas reutilizadas de polietileno tereftalato (PET)). Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que: a) Os modelos Wang e Sing, Midilli, Logarítmico e Aproximação da Difusão podem ser usados para descrever a secagem dos grãos de girassol. b) O coeficiente de difusão

efetivo para os grãos de girassol aumenta com a elevação da temperatura do ar durante a secagem, e a energia de ativação de  $29,55 \text{ kJ.mol}^{-1}$ . c) A redução do teor de água diminuiu a porosidade intergranular, as massas específicas aparente e unitária, velocidade terminal e contração volumétrica da massa e dos grãos. d) A força necessária para romper os grãos de girassol aumenta à medida que diminuiu o teor de água, com valores entre 15,86 a 46,29 N. e) A força de compressão necessária para deformar o girassol diminuiu com o aumento do teor de água e o módulo proporcional de deformidade aumenta com a redução do teor de água. A deformação de ruptura varia entre 1,1 a 1,23 mm com a secagem dos grãos de girassol. f) As embalagens influenciam na qualidade dos grãos de girassol, sendo a embalagem de papel a que proporcionou os melhores resultados nas características avaliadas. As embalagens PET e PEAD proporcionaram a menor perda de água nos grãos de girassol no decorrer do armazenamento. g) As embalagens e o tempo de armazenamento não influenciaram no teor de óleo e no índice de iodo dos grãos de girassol, todavia, embalagem PET proporcionou maior incremento no índice de acidez e as embalagens PET e PEAD proporcionaram os maiores índices de peróxido ao final do armazenamento.

PALAVRAS-CHAVE: *Helianthus annuus* L., propriedades físicas, propriedades mecânicas, embalagem.



## ABSTRACT

SMANIOTTO, Thais Adriana de Souza, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano- *Campus* Rio Verde, March 2015. **Drying and storage of sunflower grain.** Advisor: Dr. Osvaldo Resende. Co-advisor: Dr. Juliana de Fátima Salles.

The objective of the present study was to evaluate the physical and mechanical properties, adjust mathematical models to experimental data of drying and assess the grain quality and crude oil extracted from sunflower during storage for 270 days in different packages. There were used sunflower seeds from cultivar Olisun 3, collected from commercial plantations in the city of Rio Verde GO. There were determined the grain drying kinetics, the physical properties of the grains (specific density and true masses, intergranular porosity, volume of the dough shrinkage and unitary and terminal speed) and the mechanical properties (tensile strength, break strain, maximum strength break and proportional deformity modulus). Also was held to assess the grain quality and crude oil extracted from sunflower seeds (moisture content, electrical conductivity, total germination, germination speed index, normal seedlings, dry weight of normal seedlings and oil content analysis , (acid value, iodine value, and peroxide value) during storage in various containers (paper bags, plastic polypropylene bags, high density polyethylene bottles (HDPE) bottles reused polyethylene terephthalate (PET)).Based on these results it can be concluded that: a) Wang and Sing models Midilli, logarithmic and Diffusion Approach may be used to describe the drying of sunflower seeds. b) The effective diffusion coefficient for the sunflower seeds increases with increasing air

temperature during drying, and activation energy of 29.55 kJ.mol<sup>-1</sup>. c) reducing the water content decreased inter granular porosity, apparent specific and unitary mass, and volumetric shrinkage terminal velocity of the mass and the grains. d) the force necessary to break the sunflower seeds increases with decreased moisture content, ranging from 15.86 to 46.29 N e) the compressive force required to deform the sunflower decreases with increasing water content and the proportional deformity modulus increases with the decrease of moisture content. The break strain is from 1.1 to 1.23 mm with drying of sunflower seeds. f) packaging influences the quality of sunflower seeds, and the packing paper provided the best results in the evaluated characteristics. PET and HDPE packaging provided the less water loss in sunflower seeds during storage. g) packaging and storage time did not influence the oil content and iodine value of sunflower seeds, however, PET packaging provided greater increase in acid value and PET and HDPE packaging provided higher peroxide levels at the end storage.

**KEY WORDS:** *Heliantus annus* L, Physical properties, Mechanical properties, Packing

## INTRODUÇÃO GERAL

### 1.1 Girassol

O girassol (*Helianthus annuus* L.) é uma dicotiledônea anual, pertence à família Asteraceae e apresenta na inflorescência frutos complexos, secos, indeiscentes, unilocular, com uma única semente ligada ao pericarpo pelo funículo e proveniente de um ovário ínfero, denominados de cipselas (Marzinek et al., 2008).

Originário do sudoeste do México, o girassol foi introduzido na Europa no século XVI, como planta cultivada e reintroduzido na América a partir da Europa no século XIX (Camargo & Amabile, 2001). No Brasil, iniciou no século XIX, na região Sul, provavelmente trazida por colonizadores europeus que consumiam as sementes torradas e fabricavam uma espécie de chá matinal (Pelegri, 1985).

Cultivado principalmente na Rússia, Argentina, Europa Ocidental e Oriental, China e Estados Unidos, tem se observado uma produção crescente no Brasil, já que representa uma alternativa econômica na rotação de cultivares, destacando-se pela demanda comercial e pela excelente qualidade do óleo (Telles & Block, 2010).

A produção mundial de grãos de girassol, para a safra 2014, segundo o USDA (2014) foi de 42,87 milhões de toneladas, correspondendo a 16,79 milhões de toneladas de farelo e 15,96 milhões de toneladas de óleo. No Brasil, segundo o levantamento realizado pela Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB (2015), apresentou uma área plantada de 86,4 mil hectares na safra 2015, resultando em produção de 116,5 mil toneladas. O rendimento médio brasileiro está por volta de 1.500 kg ha<sup>-1</sup>, porém em lavouras mais tecnificadas pode-se alcançar a faixa de 2.400 kg ha<sup>-1</sup>.

O girassol é uma das mais importantes oleaginosas produtoras de óleo vegetal comestível. Além disso, esta cultura apresenta características agrônômicas importantes, como resistência à seca, a altas e baixas temperaturas e adaptação a diferentes condições

edafoclimáticas podendo ser cultivada em todo território brasileiro (Embrapa, 2013). A capacidade de extrair água disponível na camada de zero a dois metros de profundidade foi estimada em aproximadamente 92%, contra 64% do sorgo (Bremner et al., 1986), sendo capaz de tolerar períodos secos e produzir grande quantidade de matéria seca (Sheaffer et al., 1977).

A planta de girassol é amplamente versátil, pode-se explorar praticamente todas as suas partes. A planta pode ser utilizada como adubo verde, forragem e silagem; suas raízes servem como matéria orgânica e para reciclagem de nutrientes, visando a melhoria do solo; seu caule é usado na construção civil, como isolante térmico e acústico (Ungaro, 1982); as folhas podem ser usadas como herbicidas naturais; dos grãos é extraído óleo, utilizado na alimentação humana, no biodiesel e em cosméticos; as cascas são usadas na alimentação animal, e ainda podem ser prensadas na forma de aglomerado para a indústria de móveis. O girassol possui efeito alelopático sobre várias plantas daninhas. Os capítulos fornecem grãos utilizados na alimentação animal e também podem ser cultivados como pasto apícola, para a produção comercial de mel, e, atualmente, ainda são muito usados em paisagismo e decoração (Figueiredo et al., 2008).

A semente de girassol possui cerca de 47,3% de óleo e 24% de proteínas. O óleo de girassol possui características valiosas do ponto de vista culinário, nutricional e físico-químicas, normalmente contém entre 60-75% de ácido linoleico, quantidades superiores a 90% de ácido linoleico e oleico combinados, e ausência ou traços de ácido linolênico (Gunstone, 2005). É um dos óleos que mais atendem ao padrão de qualidade de biodiesel exigido pelo mercado europeu, tendo também seu valor comercial aumentado, pela presença de compostos especiais, que o caracterizam como alimento funcional (Pesagro, 2007).

O uso comercial do óleo de girassol vai desde a alimentação humana, em margarinas e óleos de cozinha, como também pode ser usado em tintas e vernizes e ainda, como combustível para veículos. Diante de tal importância, é fundamental a expansão do cultivo do girassol no Brasil, visando o aumento da produção.

## **1.2 Secagem**

A secagem é provavelmente o mais antigo e o mais importante método de preservação praticado por seres humanos. A remoção da água impede o crescimento e

reprodução de microrganismos que causam degradação e minimiza diversas reações deterioráveis, preservando o produto por mais tempo. É um dos processos de pós-colheita mais utilizados para a manutenção da qualidade de produtos agrícolas como forma de reduzir a atividade biológica e as mudanças químicas e físicas que ocorrem durante o armazenamento (Mujumdar, 1995; Araújo et al., 2014)

A secagem de produtos agrícolas é um fenômeno de redução do teor de água de grãos que envolvem simultaneamente a transferência de energia e massa, que podem alterar de forma substancial a qualidade e as propriedades físicas do produto, dependendo do método e das condições de secagem (Brooker et al., 1992).

A remoção de água é um processo fundamental da tecnologia para a produção de sementes e grãos de alta qualidade, pois permite a redução do teor de água em níveis adequados para o armazenamento, preserva os grãos de alterações físicas e químicas, induzidas pelo excesso de água, e torna possível a manutenção da qualidade inicial durante o armazenamento, possibilitando colheitas próximas da maturidade fisiológica (Baudet et al., 1999).

O conhecimento do teor inicial e final de água (equilíbrio) do material e da relação da água com a estrutura sólida e do transporte da água do interior do material até a sua superfície possibilitam fundamentar e esclarecer o processo de secagem (Fang et al., 2009).

Para o desenvolvimento e aperfeiçoamento de equipamentos utilizados para a secagem de grãos, é de fundamental importância a simulação e a obtenção de informações teóricas a respeito do comportamento de cada produto, durante a remoção de água. Para a simulação, cujo princípio se fundamenta na secagem de sucessivas camadas delgadas do produto, utiliza-se um modelo matemático que representa, satisfatoriamente, sua perda de água durante o período de secagem (Berbert et al., 1995). As curvas de secagem em camada delgada variam com a espécie, variedade, condições ambientais, métodos de preparo pós-colheita, entre outros fatores (Resende et al., 2008)

Uma das mais importantes mudanças físicas que ocorrem nos produtos agrícolas durante a secagem é a redução do seu volume. A perda de água causa danos à estrutura celular do produto, levando à mudança na forma e no decréscimo em sua dimensão (Mayor & Sereno, 2004). Essa mudança é dependente do processo de secagem e do produto a ser secado. Segundo Ramos et al. (2003), a redução do teor de água, durante o

processo de secagem, origina redução no tamanho do tecido celular, fenômeno este que usualmente é chamado de contração volumétrica.

A redução do teor de água dos grãos, além de provocar seu encolhimento, influencia diretamente a alteração das suas propriedades físicas durante a secagem. Desta forma, a correta determinação das propriedades físicas é de suma importância na otimização dos processos industriais, projeto e dimensionamento de equipamentos utilizados nas operações de colheita e pós-colheita (Resende et al., 2007).

A interação de troca de energia e massa entre o fluido e o sólido pode ser influenciada pela configuração do material no equipamento, pelas condições operacionais do secador como temperatura, velocidade e umidade do fluido de secagem, bem como pelas propriedades do sólido, tais como teor de água, temperatura, tamanho, forma, massa específica e porosidade intergranular (McMinn & Magee, 1999).

Adicionalmente, os danos mecânicos têm efeito cumulativo, isto é, as injúrias se somam, pois, a cada novo impacto sofrido pelo grão, este se torna cada vez mais sensível a essas danificações (Andrade et al., 1999; Paiva et al., 2000).

### **1.3 Armazenamento**

Dentre os fatores que afetam a qualidade de grãos, a etapa de pós-colheita é de fundamental relevância para sua manutenção. Esta etapa abrange diferentes processos como: secagem, beneficiamento e condições de armazenamento, que podem amenizar ou intensificar o processo deteriorativo destes grãos. O armazenamento constitui uma etapa em que se deve procurar reduzir ao mínimo a velocidade e a intensidade do processo de deterioração.

Durante o armazenamento, a qualidade dos grãos não pode ser melhorada. Então, a armazenagem tem por objetivo preservar as características físicas, sanitárias e nutricionais, quando as condições de conservação são favoráveis. Diversos estudos têm mostrado que grãos com elevado teor de água podem ser armazenados por longos períodos de tempo, quando submetidos a baixas temperaturas, enquanto grãos com reduzidos teores de água, quando expostos a temperaturas de armazenagem elevadas, apresentam substancial perda de viabilidade (Afonso Júnior et al., 2000).

A deterioração do grão é um processo irreversível, não se pode impedir, mas é possível retardar sua velocidade por meio do manejo adequado e eficiente das condições ambientais durante o armazenamento (Baudet, 2003). O efeito combinado da umidade

relativa e da temperatura em um determinado local de armazenamento determina a atividade de todos os componentes bióticos do sistema, conduzindo ao armazenamento seguro ou a perdas do produto (Elias, 2008).

O teor de água dos grãos e sementes, principalmente durante o período de armazenamento deve ser monitorado. Teores de água inadequados, juntamente com a temperatura, são os principais fatores de deterioração do produto que aceleram a perda da qualidade fisiológica (Thomazin & Martins, 2011). A redução da qualidade das sementes é, geralmente identificada pela diminuição do vigor, aumento de plântulas anormais e decréscimo da germinação (Carvalho & Nakagawa, 2012).

O aumento da umidade relativa e da temperatura acarretam maior taxa respiratória que desencadeia também outros processos, como o aumento das atividades enzimáticas, metabólicas e dos ácidos graxos livres, causando a aceleração da velocidade de deterioração dos grãos (Smaniotto, 2012).

Outro fator que pode interferir na qualidade são as embalagens utilizadas no armazenamento, estas devem ajudar a reduzir a velocidade do processo de deterioração, mantendo o teor de água inicial das sementes armazenadas, com o intuito de diminuir o metabolismo celular (Tonin & Perez, 2006), contribuindo para manutenção de sua qualidade.

Segundo Baudet (2003), pode-se dividir as embalagens quanto as trocas de vapor de água em permeáveis, semipermeáveis e impermeáveis, em função das trocas de vapor d'água que podem ocorrer entre os grãos e o ambiente em que eles estão.

Quando os grãos são armazenados em embalagens permeáveis (papel, algodão e plástico trançado), seu teor de água varia conforme as variações da umidade do ar, pelo fato das mesmas serem higroscópicas. Em embalagens semipermeáveis (sacos plásticos finos ou de polietileno, de 0,075 a 0,125 mm de espessura, e sacos de papel multifoliado laminados com polietileno) há alguma resistência as trocas, porém nada que impeça completamente a passagem da umidade e, em embalagens impermeáveis (sacos de plástico, com mais de 0,125 mm de espessura selados ao calor, pacotes de alumínio e latas de alumínio, quando bem vedados) não há influência da umidade do ar externo sobre a semente (Baudet, 2003; Popinigis, 1985).

As embalagens impermeáveis, além de evitarem a troca de água dos grãos com o ambiente, reduzem a disponibilidade de oxigênio devido a respiração das sementes armazenadas, fato este que reduz a perda de matéria seca. Embora seja uma boa barreira ao oxigênio, a sua permeabilidade ao vapor de água é relativamente alta, e o produto

contido nela é mais exposto à luz, que pode afetar na estabilidade oxidativa do óleo (Baudet, 2003; Tawfik & Huyghbaert, 1999).

Na etapa de armazenagem, grãos armazenados podem sofrer alterações em sua composição química, em razão do ambiente de conservação. Na indústria de produtos oleaginosos, os grãos passam por um período relativamente longo de armazenamento, compensando a sazonalidade entre safras para que não ocorra falta de matéria-prima para extração do óleo (Bordignon, 2009).

Para Lacerda Filho et al. (2008), durante esse processo degradativo, várias reações de decomposição podem ocorrer, ocasionando a produção de hidrocarbonetos, aldeídos, álcoois e cetonas. Entretanto, a produção de ácidos graxos livres, resultante da degradação de lipídios, contribui expressivamente para o aumento do custo de produção de óleos vegetais, causando acentuados prejuízos às indústrias.

A instabilidade química dos lipídios constitui um dos fatores preponderantes para a queda do desempenho das sementes de várias espécies, especialmente das oleaginosas. Peroxidação lipídica e estresse oxidativo têm causado deterioração das sementes de oleaginosas durante seu envelhecimento (José et al., 2010).

Araújo (2008) afirma que a reação da hidrólise de lipídios (lipases) acarreta a formação de glicerol e ácidos graxos e é acelerada com a elevação do teor de água e da temperatura.

O teor de água dos grãos se equilibra com a umidade do ar que os envolve, e este ponto de equilíbrio denomina-se “equilíbrio higroscópico”. Neste processo de equilíbrio de umidade, pode ocorrer perda ou ganho de massa, se ceder ou absorver água do ar, respectivamente. Os grãos com elevado teor de óleo apresentam no equilíbrio higroscópico o teor de água menor comparativamente aqueles com menor conteúdo de óleo. Temperaturas mais elevadas aceleram o estabelecimento deste equilíbrio. Deste modo, os grãos oleaginosos devem ser armazenados com baixo teor de água, que inibem a atividade enzimática e o crescimento de microrganismos. O teor de água ideal de armazenamento do girassol é de 5 a 10% b.u. (Thomazin & Martins, 2011). Grãos armazenados acima destes níveis de teor de água terão deterioração acelerada. Harrington (1973) relata que o teor de água de grãos ideal para armazenamento em embalagens impermeáveis é de 6 a 12%, para sementes amiláceas e de 4 a 9% para oleaginosos. Teores de água superiores a 12%, para amiláceas, e 9% para oleaginosos, fazem com que os grãos armazenados nessas embalagens tenham mais rápida deterioração do que nas embalagens permeáveis.



## 1.4 Referências Bibliográficas

- Afonso Junior, P.C.; Corrêa, P.C.; Faroni, L.R.D. Efeito das condições e período de armazenagem sobre a viabilidade de sementes de soja. *Revista Brasileira de oleaginosas e fibrosas*, v.4, n.1, p.1-7, 2000.
- Andrade, E.T.; Corrêa, P.C.; Martins, J.H.; Alvarenga, E.M. Avaliação de dano mecânico em sementes de feijão por meio de condutividade elétrica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.3, n.1, p.54-60. Campina Grande, 1999.
- Araújo, J. M. A. *Química de alimentos: teoria e prática*. Viçosa, Minas Gerais: Ed. UFV, 4. ed., 2008.
- Araujo, W.D.; Goneli, A.L.D.; Souza, C.M.A.; Gonçalves, A.A.; Vilhasantis, H.C.B. Propriedades físicas dos grãos de amendoim durante a secagem. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, p.279–286, 2014.
- Baudet, L. Armazenamento de Sementes. In: Peske, S. T.; Rosenthal, M. D.; Rota, G. M. (Ed.) *Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos*. Pelotas: Gráfica Universitária-UFPe1, 2003, p. 369-418.
- Baudet, L.M.L.; Vilela, F.A.; Cavariani, C. Princípios de secagem. *Seed News*, Pelotas-RS, n.10, p.20-27, 1999.
- BARGALE-PRAVEEN, C.; Irudayaraj, J.; Marquist, B. Studies on rheological behaviour of canola and wheat. *Journal Agricultural of Engineering Research*, Silsoe, v.61, n.2, p.267-274, 1995.
- Berbert, P.A.; Queiroz, D.M.; Silva, J.S.; Pinheiro Filho, J.B. Simulation of coffee drying in a fixed bed with periodic airflow reversal. *Journal of Agricultural Engineering Research*, London, v.60, n.3, p.167-73, 1995.
- Bordignon, B.C.S. Relação das condições de armazenamento com a qualidade fisiológica de sementes e composição do óleo extraído de cultivares de soja. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2009. 90p. (Mestrado em Produção Vegetal).
- Bremner, P. M., Preston, G. K., St.Groth, C. F. A field comparison of sunflower (*Helianthus annuus* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor*) in a long drying cycle. I. Water extraction. *Australian Journal of Agricultural Research*, v.37, n.5, p.483-493, 1986.

- Brooker, D.B.; Bakker-Arkema, F.W.; Hall, C.W. Drying and storage of grains and oilseeds. New York, the AVI Van Nostrand Reinhold, 1992. 450p.
- Camargo, A.J.A.; Amabile, R.F. Identificação das principais pragas do girassol na região centro-oeste. Comunicado Técnico, 50, Brasília, 2001.
- Carvalho, N.M.; Nakagawa, J. Sementes: ciência, tecnologia e produção. 5.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012. 590p.
- CONAB Acompanhamento da safra Brasileira. 2015. [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15\\_09\\_11\\_10\\_42\\_03\\_boletim\\_graos\\_setembro\\_2015.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_09_11_10_42_03_boletim_graos_setembro_2015.pdf) Acesso em: 14 de março de 2016.
- Elias, M.C. Manejo tecnológico da secagem e do armazenamento de grãos. Editora Universitária / UFPel, Pelotas, 2008. 363 p.
- EMBRAPA. 2013. Disponível em: [http://www.cnpso.embrapa.br/index.php?op\\_page=54&cod\\_pai=38](http://www.cnpso.embrapa.br/index.php?op_page=54&cod_pai=38). Acesso em: 10 de setembro de 2013.
- Fang, S. Z.; Wang, Z. F.; Hu, X. S. Hot air drying of whole fruit Chinese jujube (*Zizyphus jujuba* Miller): thinlayer mathematical modelling. International Journal of Food Science and Technology, v. 44, n. 9, p. 1818-1824, 2009.
- Figueiredo, G.R.G.; Andrade, L.O.; Batista, D.S.; Farias, A.G.; Nobre, R.G.; Rêgo, E.R. Produção de mudas de girassol ornamental (*Helianthus annuus* L. cv. Dobrado Sungold) em diferentes substratos. Revista Educação Agrícola Superior- v.23, n.1, p.105-107, 2008.
- Gunstone, Frank D. Vegetable Oils. In: SHAHIDI, Fereidoon. Bailey's Industrial Oil & Fat Products: Edible Oil & Fat Products Chemistry, Properties & Health Effects. 6. ed. New Jersey: Wiley Interscience, 2005. v.1. Cap. 6, p. 213-268.
- Harrington, J. Packaging seed for storage and shipment. Seed Science & Technology, Zürich, v.1, n.3, p.701-709, 1973.
- José, S. C. B. R.; Salomãos, A.N.; Costa, T.S.A.; Silva, J.T.T.; Curi, C.C.S. Armazenamento de sementes de girassol em temperaturas subzero: aspectos fisiológicos e bioquímicos. Revista Brasileira de Sementes, Londrina, v. 32, n. 4, p. 29-38, 2010.
- Lacerda Filho, A.F.; Silva, J.S.; Devilla, I.A.; Lopes, A.C. Aeração de grãos armazenados. In: SILVA, J.S. (Ed) Secagem e armazenagem de produtos agrícolas, Viçosa: Aprenda Fácil, 2008. p.269-295.

- Liu, M.; Haghghi, K.; Stroshine, R. L.; Ting, E. C. Mechanical properties of soybean cotyledon and failure strength of soybean kernel. Transactions of the ASAE, St Joseph, v.33, n.2, p.559-565, 1990.
- Mayor, L.; Sereno, A. M. Modelling shrinkage during convective drying of food materials: a review. Journal of Food Engineering, Londres, v.61, n.3, p.373-386, 2004.
- Marzinek, J.; De-Paula, O.C.; Oliveira, D.M.T. Cypsela or achene. Refining terminology by considering anatomical and historical factors. Revista Brasileira de Botânica, v.31, n.3, p.549-553, 2008.
- McMinn, W. A. M.; Magee, T. R. A. Principles, methods and applications of the convective drying of foodstuffs. Food and Bioproducts Processing, Rugby, Inglaterra, v. 77, n. 3, p. 175-193, 1999.
- Mujumdar, A. S. Handbook of industrial drying (second ed.). New York: Marcel Dekker, 1995.
- Paiva, L. E.; Medeiros Filho, S.; Fraga, A. C. Beneficiamento de sementes de milho colhidas mecanicamente em espigas: efeitos sobre danos mecânicos e qualidade fisiológica. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 24, n. 4, p. 846-856, 2000.
- Pelegrini, B. Girassol: uma planta solar que das américas conquistou o Mundo. São Paulo: Ícone, 1985. 117p.
- Popinigis, F. Fisiologia da semente. 2.ed. Brasília: AGIPLAN, 1985. 289p.
- Ramos, I. N.; Brandão, T. R. S.; Silva, C. L. M. Structural changes during air drying of fruits and vegetables. Food Science and Technology International, Londres, v. 9, n. 3, p. 201-206, 2003.
- Resende, O.; Correa, P.C.; Goneli, A.L.D.; Botelho, F.M.; Rodrigues, S. Modelagem matemática do processo de secagem de duas variedades de feijão. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais. v.10, n.1, p.17-26, 2008.
- Resende, O. Correa, P.C.; Ribeiro, D.M.; Figueredo Neto, A. Comportamento mecânico nos grãos de feijão submetidos à compressão. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.11, n.4, p.404-409, 2007.
- Resende, O.; Corrêa, P. C.; Goneli, A. L. D.; Cecon, P. R. Forma, tamanho e contração volumétrica do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) durante a secagem. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 15-24, 2005.

- Scheaffer, C. C., McNemar, J. H., Cleark, N. A. Potencial of sunflower of silage in double-cropping systems following small grains. *Agronomy Journal*, v.69, p.543-546, 1977.
- Silva, A.G.; Pires, R.; Moraes, E.B.; Oliveira, A.C.B.; Carvalho, C.G.P. Desempenho de híbridos de girassol em espaçamentos reduzidos. *Semina*, v.30, n.1, p.31-38, 2009.
- Smaniotto, T.A.S. Qualidade da soja armazenada em diferentes condições. Instituto Federal Goiano, 2012, 59p. (Mestrado em Ciências Agrárias).
- Tawfik, M. S.; Huyghebaert, A. Interaction of packaging materials and vegetable oils: oil stability. *Food Chemistry, Ghent*, n. 64, p.451-459, 09 set. 1999.
- Telles, M. M.; Block, J. M.. Caracterización físico química de los granos, la torta y el aceite de tres variedades de girasol (*Helianthus annuus* L.) cultivadas en sistemas orgánicos. *Aceites & Grasas, Florianópolis*, v. 2, n. 20, p.216-222, jun. 2010.
- Thomazin, A.; Martins, L. D. Qualidade física e fisiológica de sementes de girassol (*Helianthus annuus* L.) cultivar MG2 em condições de casa de vegetação e Laboratório. *Enciclopédia Biosfera, Goiânia*, 2011.
- Ungaro, M.R.G. O girassol no Brasil. *O Agrônomo*, Campinas, v.34, p.43-62, 1982.
- USDA - United States Department of Agriculture. Disponível em <http://www.cnpp.usda.gov/default.htm> . Acesso em: 10 setembro 2013.

## OBJETIVOS

Objetivou-se avaliar as propriedades físicas e mecânicas, ajustar modelos matemáticos aos dados experimentais da secagem, bem como avaliar a qualidade dos grãos de girassol e do óleo bruto extraído dos mesmos ao longo do armazenamento por 270 dias em diferentes embalagens.

## CAPÍTULO I

### **Cinética de secagem dos grãos de girassol**

(Normas de acordo com a revista AGRIAMBI)

**Resumo:** Objetivou-se ajustar diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais da secagem dos grãos de girassol, determinar e avaliar o coeficiente de difusão efetivo, bem como obter a energia de ativação para o processo durante a secagem em diversas condições de ar. Os grãos de girassol foram colhidos com teor de água inicial de 0,5267 base seca (b.s.) e foram submetidos à secagem em estufa com ventilação de ar forçada em cinco condições de temperatura: 35, 50, 65, 80 e 95 °C, até atingirem o teor de água de  $0,0934 \pm 0,0061$  (b.s.). Dentre os modelos analisados, Wang e Sing, Midilli, Logarítmico e Aproximação da Difusão apresentaram os melhores ajustes para descrever o fenômeno de secagem. O coeficiente de difusão efetivo aumenta com a elevação da temperatura do ar e a relação entre o coeficiente de difusão efetivo e a temperatura de secagem pode ser descrita pela equação de Arrhenius, que apresenta uma energia de ativação para a difusão líquida na secagem do girassol de  $29,55 \text{ kJ.mol}^{-1}$ .

**Palavras-chave:** *Heliantus annuus*, modelagem matemática, difusividade líquida

### **Drying kinetics of sunflower seeds**

**Abstract:** The objectives of this study were to fit different mathematical models to experimental data of drying sunflower seeds, determine and evaluate the effective diffusion coefficient and obtain the activation energy for the process during drying

under various conditions of air. The sunflower seeds were collected with an initial moisture content of 0.5267 dry basis (db) then were dried in an oven with forced air ventilation in five temperature conditions: 35, 50, 65, 80 and 95 ° C, until reaching the moisture content of  $0.0934 \pm 0.0061$  (bs). Among the analyzed models, Wang and Singh presented the best fit to describe the drying phenomenon. The effective diffusion coefficient of sunflower seeds increased with air temperature elevation and the ratio of the effective diffusion coefficient and the drying temperature can be described by the Arrhenius equation, which has an activation energy of liquid diffusion in Sunflower drying of  $29.55 \text{ kJ.mol}^{-1}$ .

**Key words:** *Heliantus annus*, mathematical modeling, liquid diffusivity

## 1.1 INTRODUÇÃO

Parte da produção de grãos de girassol muitas vezes é colhida com teor de água elevado para obtenção de maiores rendimentos e máximo teor de matéria seca, pois os grãos já atingiram a maturidade fisiológica. Entretanto, grãos com alto teor de água estão sujeitos ao desenvolvimento microbiano, respiram vigorosamente, provocando acréscimo no aquecimento e perda da matéria seca. Portanto, para um processamento e armazenamento adequado é necessária a redução do teor de água em níveis apropriados.

A secagem dos produtos agrícolas é o processo mais utilizado para assegurar sua qualidade e estabilidade considerando que a diminuição da quantidade de água do material reduz a atividade biológica e as mudanças químicas e físicas que ocorrem durante o armazenamento (Resende et al., 2008). Para que este processo seja realizado de forma rápida, segura e econômica é fundamental conhecer e monitorar os fenômenos físicos existentes durante a secagem (Martinazzo et al., 2007).

A utilização de modelos matemáticos nas simulações das operações de secagem tem auxiliado o projeto, o desenvolvimento, a avaliação e a otimização de secadores (Palacin et al., 2005). Para a simulação, cujo princípio se fundamenta na secagem de sucessivas camadas delgadas do produto, necessita-se da utilização de um modelo matemático que representa, com limites satisfatórios de confiança, a perda de água durante o período de secagem (Giner & Mascheroni, 2002).

Na literatura existem diversas equações teóricas, semiteóricas e empíricas para descrever o fenômeno de secagem em camadas finas. Os modelos teóricos consideram a resistência interna, a transferência de energia e a água entre o produto e o ar quente. Os

modelos empíricos, geralmente, baseiam-se em variáveis externas ao produto, como a temperatura, o fluxo e a umidade relativa do ar de secagem (Resende et al., 2009).

Considerando a importância do estudo teórico do processo de secagem dos produtos agrícolas, no presente trabalho, objetivou-se ajustar diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais da cinética de secagem de grãos de girassol e determinar e avaliar o coeficiente de difusão efetivo, bem como obter a energia de ativação para o processo durante a secagem em diversas condições de ar.

## 1.2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Laboratório de Pós-Colheita de Produtos Vegetais, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - *Campus* Rio Verde, GO. Foram utilizados grãos de girassol com teor de água inicial de 0,5267 (b.s.). A secagem foi realizada em diferentes condições controladas de temperatura, 35; 50; 65; 80 e 95 °C e umidades relativas de 37,15; 16,93; 8,35; 4,41 e 2,47 respectivamente. Os grãos foram secos em bandejas sem perfurações contendo 200g de produto, perfazendo em torno de 3 cm de espessura, em delineamento inteiramente ao acaso, com quatro repetições.

Para a determinação das curvas de secagem e ajustes dos modelos, foi estabelecido o teor de água final de  $0,0934 \pm 0,0061$  (b.s.). Os teores de água do produto foram determinados em estufa a  $105 \pm 3$  °C, durante 24 horas, em três repetições, até massa constante (Brasil, 2009).

Para a obtenção do equilíbrio higroscópico do girassol foram utilizadas três repetições contendo 10 g, mantidas nas específicas condições de secagem e pesadas periodicamente até a massa permanecer constante. As razões de teor de água do produto foram determinadas pela Eq.1:

$$RX = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} \quad (01)$$

em que:

RX: razão de teor de água, adimensional;

X: teor de água do produto (decimal b.s.);

X<sub>i</sub>: teor de água inicial do produto (decimal b.s.);

X<sub>e</sub>: teor de água de equilíbrio do produto (decimal b.s.);



Para representação da cinética de secagem dos grãos de girassol foram utilizados os modelos frequentemente usados para descrever a secagem de produtos agrícolas conforme descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Modelos matemáticos utilizados para prever a secagem de produtos agrícolas

Designação do modelo	Modelo	
$RX = 1 + a \cdot t + b \cdot t^2$	Wang e Singh	(02)
$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1 - a) \exp(-k_1 \cdot t)$	Verma	(03)
$RX = \exp\left(\left(-a \cdot (a^2 + 4 \cdot b \cdot t)^{0,5}\right) / 2 \cdot b\right)$	Thompson	(04)
$RX = \exp(-k \cdot t^n)$	Page	(05)
$RX = \exp(-k \cdot t)$	Newton	(06)
$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t^n) + b \cdot t$	Midilli	(07)
$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + c$	Logarítmico	(08)
$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t)$	Henderson e Pabis	(09)
$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1 - a) \exp(-k \cdot a \cdot t)$	Exponencial de Dois Termos	(10)
$RX = a \cdot \exp(-k_o \cdot t) + b \cdot \exp(-k_1 \cdot t)$	Dois Termos	(11)
$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1 - a) \cdot \exp(-k \cdot b \cdot t)$	Aproximação da Difusão	(12)

em que:

t: tempo de secagem, h;

k, k<sub>o</sub>, k<sub>1</sub>: constantes de secagem, h<sup>-1</sup>;

a, b, c, n: coeficientes dos modelos;

Os modelos matemáticos foram ajustados por meio de análise de regressão não linear pelo método Gauss-Newton. Os modelos foram selecionados considerando a magnitude do coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), do teste de qui-quadrado (χ<sup>2</sup>), do erro médio relativo (P) e do erro médio estimado (SE). Considerou-se o valor do erro médio relativo inferior a 10% como um dos critérios para seleção dos modelos, de acordo com Mohapatra & Rao (2005).

$$P = \frac{100}{N} \sum \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \quad (14)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad (15)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{GLR} \quad (16)$$

em que:

Y : valor experimental;

$\hat{Y}$  : valor estimado pelo modelo;

N: número de observações experimentais;

GLR: graus de liberdade do modelo (número de observações experimentais menos o número de coeficientes do modelo).

O modelo da difusão líquida para a forma geométrica de cilindro infinito, com aproximação de oito termos (Equação 17), foi ajustado aos dados experimentais da secagem dos grãos de girassol, considerando a área superficial e o volume, de acordo com a Eq. 17:

$$RX = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4}{\lambda_n^2} \exp \left[ -\frac{\lambda_n^2 \cdot D \cdot t}{4} \cdot \left( \frac{2}{r} \right)^2 \right] \quad (17)$$

em que:

D: coeficiente de difusão líquida,  $m^2 s^{-1}$ ;

n: número de termos;

r: raio equivalente, m; e

$\lambda_n$ : raízes da equação de Bessel de ordem zero.

O raio equivalente dos grãos foi determinado pela Eq. 18:

$$r = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot V_g}{4 \cdot \pi}} \quad (18)$$

em que:

$V_g$ : volume dos grãos,  $mm^{-3}$ ;

O volume de cada grão ( $V_g$ ) foi obtido por meio da medição dos três eixos ortogonais (comprimento, largura e espessura), em quinze grãos, no final da secagem, com auxílio de um paquímetro digital com resolução de 0,01 mm, de acordo com a Eq. 19:

$$V_g = \frac{\pi \cdot A \cdot B \cdot C}{6} \quad (19)$$

em que:

A: comprimento, mm;

B: largura, mm; e

C: espessura, mm.

A relação entre o aumento do coeficiente de difusão efetivo e a elevação da temperatura do ar de secagem foi descrita por meio da equação de Arrhenius.

$$D = D_0 \cdot \exp\left(\frac{-E_a}{R \cdot T_{ab}}\right) \quad (20)$$

em que:

$D_0$ : fator pré-exponencial;

$E_a$ : energia de ativação,  $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ;

R: constante universal dos gases,  $8,134 \text{ kJ} \cdot \text{kmol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ; e

$T_{ab}$ : temperatura absoluta, K.

Os coeficientes da expressão de Arrhenius foram linearizados com a aplicação do logaritmo na seguinte forma:

$$\ln D = \ln D_0 - \frac{E_a}{R} \cdot \frac{1}{T_{ab}} \quad (21)$$

### 1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1, estão apresentadas as curvas de secagem para o girassol nas temperaturas de 35, 50, 65, 80 e 95 °C. Observou-se para as respectivas temperaturas tempos de secagem de 10,3; 6,0; 3,6; 2,0 e 1,8 horas, respectivamente, considerando a redução do teor de água de 0,5267 para 0,0934 (b.s.).

O aumento da temperatura do ar de secagem faz com que haja maior taxa de remoção de água do produto devido ao maior gradiente de água entre o grão e o ar, decrescendo o tempo necessário para reduzir o teor de água até o valor desejado, fato observado por diversos pesquisadores para vários produtos como soja (Oliveira et al., 2014), feijão-caupi (Morais et al., 2013) e pinhão-manso (Siqueira et al., 2013).

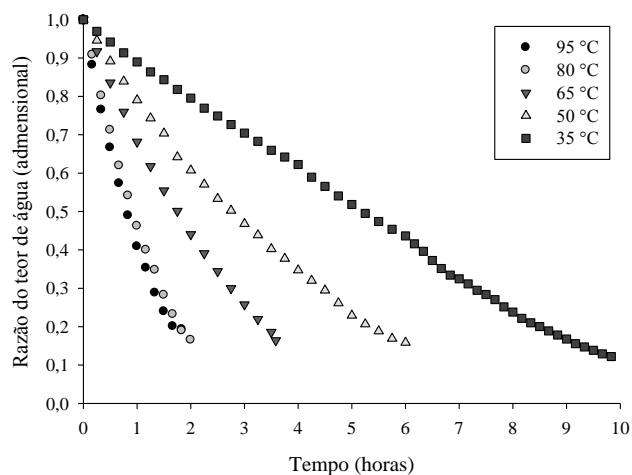


Figura 1. Valores experimentais da razão de teor de água para o girassol nas temperaturas de 35; 50; 65; 80 e 95 °C

Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) apresentaram valores superiores a 95% para todas as temperaturas de secagem, que de acordo com Madamba et al. (1996), indica uma representação satisfatória do modelo (Tabela 2). De acordo com estes pesquisadores, a utilização do coeficiente de determinação como o único critério de avaliação para a seleção dos modelos não lineares não constitui um bom parâmetro para representação do fenômeno de secagem. Então, realizou-se uma análise conjunta dos demais parâmetros estatísticos.

Tabela 2. Coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e erros médio relativo (P) para os onze modelos analisados, durante a secagem do girassol (*Helianthus annuus*) nas diversas condições de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )

Modelos	35 $^{\circ}\text{C}$		50 $^{\circ}\text{C}$		65 $^{\circ}\text{C}$		80 $^{\circ}\text{C}$		90 $^{\circ}\text{C}$	
	P	$R^2$	P	$R^2$	P	$R^2$	P	$R^2$	P	$R^2$
Wang e Singh	2,70	99,88	1,653	99,92	1,01	99,98	1,31	99,96	1,55	99,96
Verma	7,82	98,97	1,275	99,96	2,28	99,89	1,85	99,91	3,88	99,55
Thompson	18,18	95,12	6,847	99,05	7,16	98,94	7,30	98,87	3,89	99,55
Page	6,29	99,15	3,343	99,77	2,63	99,84	1,56	99,94	2,08	99,92
Newton	18,18	95,12	6,845	99,05	7,16	98,94	7,30	98,87	3,88	99,55
Midilli	2,46	99,89	1,276	99,96	0,61	99,99	1,25	99,97	2,06	99,93
Logarítmico	2,78	99,88	1,303	99,96	0,65	99,99	1,79	99,93	2,59	99,86
Henderson e	15,20	96,39	5,781	99,31	5,95	99,25	5,92	99,25	3,17	99,69
Exponencial de dois	18,18	95,12	6,845	99,05	7,16	98,94	7,30	98,87	3,88	99,55
Dois termos	15,20	96,39	1,275	99,96	5,95	99,25	5,92	99,25	1,97	99,93
Aproximação da difusão	7,82	98,97	1,275	99,96	0,68	99,99	7,30	98,87	2,57	99,86

Ainda na Tabela 2, observa-se que os valores do erro médio relativo para os modelos Wang e Singh, Verma, Page, Midilli, Logaritmo e Aproximação da Difusão, foram inferiores a 10% para todas as temperaturas analisadas, que de acordo com Mohapatra & Rao (2005), indica uma representação adequada do fenômeno de secagem.

Em relação ao teste de *Qui*-quadrado ( $\chi^2$ ) (Tabela 3.), os onze modelos analisados se encontram no intervalo de confiança de 99%. Entretanto, comparando a magnitude dos valores, somente os modelos de Wang e Singh, Verma, Page, Midilli, Logaritmo e Aproximação da Difusão apresentaram menores valores em comparação aos demais para todas as temperaturas estudadas. Analisando os valores obtidos referentes ao erro médio estimado (SE) (Tabela 3.), nota-se que os modelos Wang e Singh, Midilli e Logarítmico apresentaram menores valores quando comparados aos demais.

Então, de acordo com esses parâmetros estatísticos, os modelos Wang e Sing, Midilli, Logarítmico e Aproximação da Difusão obtiveram os melhores ajustes aos dados experimentais da secagem do girassol.

Tabela 3. Erros médio estimado (SE) e *Qui*-quadrado ( $\chi^2$ ) para os onze modelos analisados, durante a secagem do girassol (*Heliantus annuus*) nas diversas condições de temperatura (°C)

Modelos	35°C		50°C		65 °C		80°C		90°C	
	SE	$\chi^2 (10^{-3})$	SE	$\chi^2$	SE	$\chi^2 (10^{-3})$	SE	$\chi^2 (10^{-3})$	SE	$\chi^2 (10^{-3})$
Wang e Singh	0,009	0,088	0,008	0,059	0,004	0,019	0,006	0,036	0,006	0,033
Verma	0,028	0,777	0,006	0,031	0,01	0,094	0,009	0,080	0,020	0,409
Thompson	0,060	3,606	0,026	0,662	0,029	0,817	0,031	0,958	0,019	0,368
Page	0,025	0,630	0,013	0,159	0,011	0,122	0,007	0,052	0,008	0,064
Newton	0,059	3,528	0,025	0,634	0,028	0,762	0,029	0,877	0,018	0,334
Midilli	0,009	0,084	0,006	0,032	0,003	0,008	0,005	0,028	0,009	0,076
Logarítmico	0,009	0,091	0,006	0,032	0,003	0,009	0,008	0,066	0,011	0,126
Henderson e Exponencial de dois termos	0,052	2,667	0,022	0,482	0,024	0,583	0,025	0,629	0,016	0,256
Dois termos	0,060	3,605	0,026	0,661	0,029	0,816	0,031	0,957	0,019	0,368
Aproximação	0,053	2,788	0,006	0,032	0,026	0,680	0,028	0,769	0,009	0,073
	0,028	0,777	0,006	0,031	0,003	0,009	0,032	1,053	0,011	0,128

Para a representação gráfica das curvas de secagem (Figura 2), utilizou-se o modelo de Wang e Singh que foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais para representação do fenômeno de secagem. Também pode ser observada a correspondência entre os valores experimentais e estimados e o ajuste satisfatório do modelo para descrição da secagem dos grãos de girassol.

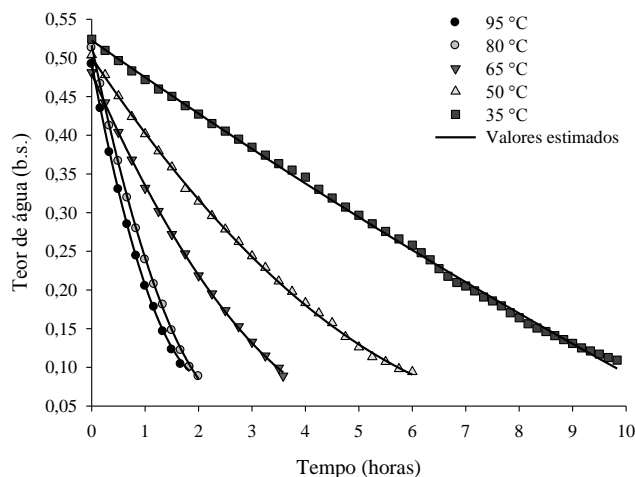


Figura 2. Curvas de secagem com valores experimentais de teor de água e estimados pelo modelo de Wang e Singh para os grãos de girassol nas temperaturas de 35; 50; 65; 80 e 95 °C

Costa et al. (2011) ajustaram modelos aos dados experimentais da secagem de sementes de crambe nas temperaturas de (30, 40, 50, 60 e 70 °C) e a equação de Wang e Singh, dentre os modelos avaliados, foi a que se ajustou melhor aos dados de secagem deste produto. Pereira et al. (2015) também constataram que o modelo de Wang e Singh se mostrou adequado para descrever o processo de secagem dos grãos de soja em diferentes temperaturas (75, 90, 105 e 120 °C).

Na Tabela 4, são apresentados os coeficientes do modelo de Wang e Sing ajustados aos dados experimentais da cinética de secagem do girassol nas diferentes temperaturas. Nota-se que o coeficiente “a” tende a diminuir e “b” a aumentar com a temperatura do ar de secagem e os valores foram significativos para todas as temperaturas estudadas.

Tabela 4. Coeficientes do modelo de Wang e Sing ajustados para a secagem do girassol em diferentes condições de temperatura e umidade relativa do ar com as respectivas equações

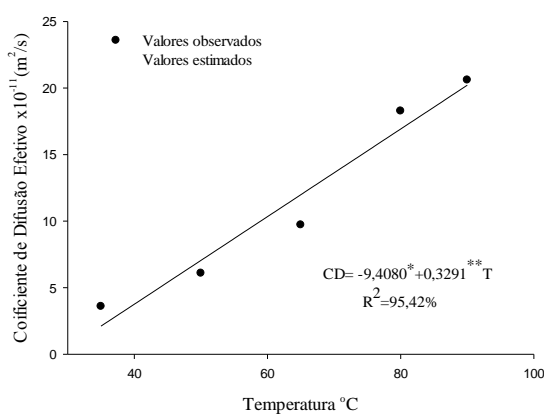
Coeficien tes	Temperatura (°C)				
	35	50	65	80	95
a	-0,104642**	-0,216750**	-0,341480**	-0,641896**	-0,757550**
b	0,001388**	0,012765**	0,030975**	0,110398**	0,169871**

\*\*Significativo a 1% pelo teste t

Na Figura 3A, estão apresentados os valores do coeficiente de difusão efetivo para os grãos de girassol, após a secagem em diferentes temperaturas do ar. Verifica-se que há acréscimo do coeficiente de difusão efetivo dos grãos de girassol com o incremento da temperatura do ar de secagem, concordando com resultados obtidos por outros pesquisadores (Goneli et al., 2007; Resende et al., 2008; Sousa et al. 2011). A difusividade é influenciada pela temperatura do ar de secagem, ou seja, quanto maior a temperatura, menor a resistência do grão na remoção de água, ocasionando em uma maior difusividade. Nota-se ainda que o modelo linear representou satisfatoriamente os dados experimentais.

Os coeficientes de difusão efetivos dos grãos de girassol apresentaram magnitudes entre  $3,59 \times 10^{-11}$  a  $20,60 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ , sendo valores próximos aos encontrados por Sacilik (2007) com sementes de abóbora,  $8,53 \times 10^{-11}$  a  $17,52 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  para as temperaturas de 40, 50 e 60 °C. Diferentemente de Almeida et al. (2009), que durante a secagem do feijão-adzuki verificaram coeficientes de difusão efetivo com magnitudes entre  $0,51 \times 10^{-10}$  e  $2,23 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  para a faixa de temperatura de 30 a 70 °C.

A.



B.

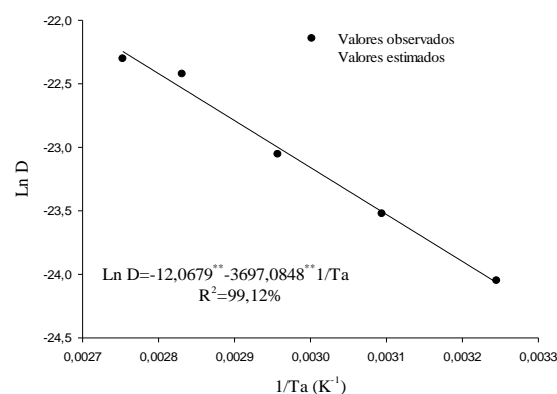


Figura 3. Coeficiente de difusão efetivo ( $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ) e representação de Arrhenius para o coeficiente de difusão efetivo em função da temperatura do ar de secagem, obtido durante a secagem dos grãos de girassol

A dependência do coeficiente de difusão efetivo dos grãos de girassol com relação à temperatura do ar de secagem foi representada pela expressão de Arrhenius, conforme ilustrado na Figura 3B.



A energia de ativação para o fenômeno de secagem do girassol foi de  $30,76 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$  para a faixa de temperatura estudada. Segundo Zogzas et al. (1996), a energia de ativação para produtos agrícolas varia entre 12,7 a  $110 \text{ kJ mol}^{-1}$ , logo, o valor encontrado se situa nesta faixa. Quanto menor a energia de ativação, maior será a difusividade de água no produto, pois a energia de ativação indica a facilidade com que as moléculas de água superam a barreira de energia durante a migração no interior do produto (Corrêa et al., 2007). Os valores de energia de ativação variam para diferentes produtos agrícolas: trigo,  $42,00 \text{ kJ mol}^{-1}$  nas temperaturas de 25 a  $55^\circ\text{C}$  (Goneli et al., 2007), para o feijão-adzuki,  $31,16 \text{ kJ mol}^{-1}$  em temperaturas de 30 a  $70^\circ\text{C}$  (Almeida et al., 2009), para nabo forrageiro, de  $24,78 \text{ kJ mol}^{-1}$  na faixa de temperatura de 30 a  $70^\circ\text{C}$  (Sousa, 2011). Nota-se que a energia de ativação dos grãos de girassol é inferior a dos grãos de trigo e feijão-adzuki, comportamento este relacionado com a ligação mais instável da água com os componentes químicos do girassol, pois se trata de uma oleaginosa, diferentemente do trigo e feijão que são amilácea e aleuro amilácea, respectivamente.

#### 1.4 CONCLUSÕES

1. Os modelos Wang e Sing, Midilli, Logarítmico e Aproximação da Difusão apresentam os melhores ajustes para descrever o fenômeno da secagem dos grãos de girassol, comparado aos demais.
2. O coeficiente de difusão efetivo para os grãos de girassol aumenta com a elevação da temperatura do ar durante a secagem.

#### 1.5 LITERATURA CITADA

- Almeida, D.P.; Resende, O.; Costa, L.M.; Mendes, U.C; Sales, J.F. Cinética de secagem do feijão adzuki (*Vigna angularis*). Global Science and Technology, v.2, p.72-83, 2009.
- Brasil, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de defesa Agropecuária. Regras para análise de sementes. Brasília, 2009. 395p.
- Corrêa, P.C.; Resende, O.; Martinazzo A.P.; Goneli, A.L.G.; Botelho, F. M. Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em camadas delgadas. Engenharia Agrícola, v.27, p.501-510, 2007.

- Costa, L.M.; Resende, O.; Souza, K.A.; Gonçalves, D.N. Coeficiente de difusão efetivo e modelagem matemática da secagem de sementes de crambe. *Revista Brasileira de Engenharia Ambiental*, v.15, p. 1089-1096, 2011.
- Giner, S.A.; Mascheroni, R.H. Diffusive drying kinetics in wheat, part 2: applying the simplified analytical solution to experimental data. *Biosystems Engineering*, v.81, p. 85–97, 2002.
- Goneli, A.L.D.; Corrêa, P.C.; Resende, O.; Reis Neto, S.A. Estudo da difusão de umidade em grãos de trigo durante a secagem. *Ciência Tecnologia de Alimentos*, v.27, p.135-140, 2007.
- Madamba, P.S.; Driesscol, R.H.; Buckle, K.A. The thin layer drying characteristic of garlic slices. *Journal of Food Engineering*, v.29, p.75-97, 1996.
- Martinazzo, A.P.; Corrêa, P.C.; Resende, O.; Melo, E.C. Análise e descrição matemática da cinética de secagem de folhas de capim-limão. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.11, p.301–306, 2007.
- Mohapatra, D.; Rao, P.S. A thin layer drying model of parboiled wheat. *Journal of Food Engineering*, v.66, p.513-518, 2005.
- Morais, S.J.S.; Devilla, I.A.; Ferreira, D.A.; Teixeira, I.R. Modelagem matemática das curvas de secagem e coeficiente de difusão de grãos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). *Revista Ciência Agronômica*, v. 44, p. 455-463, 2013.
- Oliveira, D. E. C.; Resende, O.; Bessa, J.F.V.; Kester, A.N.; Smaniotto, T.A.S. Mathematical modeling and thermodynamic properties for drying soybean grains. *African Journal of Agricultural*. v.10, p.31-38, 2014.
- Palacin, J.J.F.; Filho, A.F.L.; Cecon, P.R.; Montes, E.J.M. Determinação das curvas de secagem de milho nas espigas (*Zea mays* L.). *Engenharia na Agricultura*, v.13, p.300-313, 2005.
- Pereira, T.L.L.; Coradi, P.C.; Fernandes, C.H.P.; Helmich, J.C. Modelagem matemática da secagem de grãos de soja. In: XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2014. Campo Grande-MS.
- 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, p.17-26, 2008.
- Resende, O.; Aarcanjo, R.V.; Siqueira, V.C.; Rodrigues, S. Modelagem matemática para a secagem de clones de café (*Coffea canephora* Pierre) em terreiro de concreto. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v.31, p.189-196, 2009.

- Sacilik, K. Effect of drying methods on thinlayer drying characteristics of hull-less seed pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). *Journal of Food Engineering*, v.79, p.23-30, 2007.
- 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.
- Sousa, K.A.; Resende, O.; Chaves, T.H.; Costa, L.M. Cinética de secagem do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.). *Revista Ciência Agronômica*, v.42, p.883-892, 2011.
- Zogzas, N.P.; Maroulis, Z.B.; Marinos-Kouris, D. Moisture diffusivity data compilation in foodstuffs. *Drying Technology*, v.14, p.2225-2

## CAPÍTULO II

### Propriedades físicas dos grãos de girassol durante a secagem

**Resumo:** Objetivou-se neste trabalho, determinar o efeito do teor de água sobre as propriedades físicas dos grãos de girassol. Foram utilizados grãos com teor de água inicial de 34,1 (% b.u.) e posteriormente submetidos à secagem em estufa com ventilação de ar forçada em três condições de temperatura: 40, 60 e 80 °C. As propriedades físicas analisadas foram: massas específicas aparente e unitária, porosidade intergranular, contração volumétrica da massa e unitária e velocidade terminal. A redução do teor de água influencia as propriedades físicas dos grãos de girassol, proporcionando a diminuição da porosidade intergranular e das massas específicas aparente e unitária em todas as temperaturas de secagem analisadas. As contrações volumétricas da massa e unitária diminuem e os índices de contração aumentam com a secagem dos grãos de girassol em todas as temperaturas avaliadas. A velocidade terminal aumenta à medida que eleva o teor de água dos grãos, sendo mais evidente na temperatura de secagem de 80 °C.

**Palavras –chave:** *Helianthus annuus*, teor de água, contração volumétrica, porosidade intergranular

### Physical properties of sunflower seeds during drying

**Abstract:** The aim of this work was to determine the effect of moisture content on the physical properties of sunflower seeds. Grains used were from cultivar Olisun 3 with initial moisture content of 34.1 (% wb) and then subjected to drying in an oven with forced air ventilation in three temperature conditions: 40, 60 and 80 °C. The physical

properties were analyzed: apparent specific mass and unit, intergranular porosity and volumetric shrinkage of the mass and unit. The reduction of the moisture content influences the physical properties of sunflower seeds, providing a decrease in intergranular porosity and apparent specific mass and drying unit at all temperatures examined. The mass and volumetric contractions of the unit decrease and shrinkage rates increase with drying of sunflower seeds in all studied temperatures. The terminal velocity increases as increases the moisture content of the grains, being more evident on the drying temperature of 80 ° C.

**Key words:** *Helianthus annuus*. water content. volumetric shrinkage. intergranular porosity

## 2.1 INTRODUÇÃO

Dentre os processos pós-colheita utilizados para a manutenção da qualidade de produtos agrícolas, a secagem é um dos mais utilizados, como forma de reduzir a atividade biológica e as mudanças químicas e físicas que ocorrem durante o armazenamento. Segundo Goneli et al. (2011), informações a respeito do tamanho, volume, porosidade e massa específica dos produtos agrícolas são consideradas relevantes para estudos que envolvem transferência de energia e massa e movimentação de ar em massas granulares.

Cada produto apresenta características físicas e químicas únicas, conseqüentemente se comportam de forma distinta durante o processo de secagem. Logo, informações a respeito desta singularidade são expressivas para auxiliar no processamento pós-colheita, além de fornecer um conjunto de dados aos engenheiros e projetistas, que sustentarão a elaboração de máquinas, estruturas, processos de controle para proporcionar melhor eficiência de equipamentos ou operações (Araújo et al., 2014).

As mudanças volumétricas dos produtos são relatadas como sendo as principais causas das alterações das propriedades físicas de grãos agrícolas. O índice de contração volumétrica determina a relação entre o volume dos grãos para cada teor de água e o volume inicial. Este índice possui destacada influência durante o processo de secagem em secadores, pois permite prever o comportamento de redução do volume ocupado pela massa de grãos, conforme ocorre a redução do teor de água (Siqueira et al., 2012a).

A massa específica e a porosidade intergranular existentes na massa de grãos também são parâmetros necessários no dimensionamento eficiente de estruturas de

recepção, movimentação, beneficiamento e armazenamento de grãos. A porosidade intergranular é a relação existente entre o volume ocupado pelo ar existente na massa granular de determinado produto e o volume total ocupado por esta massa. Esta fração de espaços vazios depende diretamente da forma e do tamanho, entre outras características do material. A massa específica aparente é a relação entre a massa de um determinado volume de grãos incluindo os espaços vazios. Segundo Corrêa & Silva (2008) a massa específica aparente pode também ser utilizada para determinar teores de água, danos causados por insetos, bem como a deterioração fúngica nos produtos.

Devido à importância do conhecimento das propriedades físicas dos grãos objetivou-se determinar o efeito do teor de água sobre as propriedades físicas dos grãos de girassol.

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Pós-colheita de Produtos Vegetais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IF Goiano – *Campus* Rio Verde), localizado no município de Rio Verde, GO.

Foram utilizados grãos de girassol, cultivar Olisun 3, com teor de água inicial de 34,1 (% b.u.) e posteriormente submetidos à secagem em estufa com ventilação de ar forçada em três condições de temperatura: 40, 60 e 80 °C. A umidade relativa do ar de secagem foi monitorada por meio de um psicrômetro instalado no interior da estufa. A redução do teor de água ao longo da secagem foi acompanhada pelo método gravimétrico (perda de massa), conhecendo-se o teor de água inicial do produto, até atingir o teor de água final de  $8,0 \pm 1,0$  (% b.u.).

O acompanhamento da redução da massa durante a secagem foi realizado com auxílio de uma balança semianalítica com resolução de 0,01g. Os teores de água foram determinados pelo método da estufa (Brasil, 2009). Durante a secagem, para cada teor de água obtido (34,0; 28,0; 21,0; 16,0; 11,0 e 8,0% b.u.), as amostras foram homogeneizadas e encaminhadas para a determinação de suas propriedades físicas, em três repetições.

As propriedades físicas analisadas foram: massas específicas aparente e unitária, contração volumétrica da massa e unitária, porosidade intergranular e velocidade terminal.

A porosidade intergranular ( $\epsilon$ ) foi determinada conforme recomendação de Donadon et al. (2012); sendo utilizada uma proveta contendo 100 mL de grãos de girassol, na qual foi adicionado um volume conhecido de hexano, com auxílio de uma bureta de 50

mL, para preencher os espaços vazios da massa. A porosidade intergranular foi obtida medindo-se a quantidade de hexano adicionada a massa de produto e os resultados foram expressos em %.

A massa específica aparente ( $\rho_{ap}$ ), expressa em  $\text{kg m}^{-3}$ , foi determinada utilizando uma balança eletrônica de peso hectolitro com resolução de 0,1 g (GEHAKA – BK 4001), utilizando um recipiente com capacidade de 1000 mL. A massa específica unitária ( $\rho_u$ ), expressa em  $\text{kg m}^{-3}$ , foi obtida indiretamente em função da porosidade intergranular e da massa específica aparente de acordo com a Eq.1 descrita por Mohsenin (1986):

$$\rho_u = \frac{\rho_{ap}}{(1 - \varepsilon)} \quad (1)$$

em que:

$\rho_{ap}$ : massa específica aparente,  $\text{kg m}^{-3}$ ;

$\rho_u$ : massa específica unitária,  $\text{kg m}^{-3}$ ;

$\varepsilon$ : porosidade intergranular, decimal.

A contração volumétrica da massa ( $\psi_m$ ) foi determinada utilizando uma proveta de 250 mL. Para cada teor de água, os grãos do girassol foram colocados na proveta com auxílio de um funil com altura pré-estabelecida em 0,36 m e as contrações da massa e unitária ( $\psi_u$ ) durante a secagem foram determinadas pela relação entre o volume para cada teor de água e o volume inicial.

O índice de contração volumétrica da massa ( $\check{I}\psi_m$ ) e unitária ( $\check{I}\psi_u$ ) foram obtidos por meio da seguinte expressão, e os resultados foram expressos em %:

$$I\psi = (\psi_0 - \psi_t) \cdot 100 \quad (3)$$

em que:

$\check{I}\psi$  = índice de contração volumétrica da massa e unitária, %;

$\psi_0$  = contração volumétrica inicial da massa e unitária, decimal;

$\psi_t$  = contração volumétrica no tempo t, decimal.

A velocidade terminal experimental foi avaliada utilizando equipamento de coluna de ar que é composto por um ventilador centrífugo conectado ao tubo de acrílico transparente, com diâmetro de 0,150 m e 2,30 m de comprimento. A 2,15 m da parte superior, instalou-se uma tela perfurada, para colocação do produto. Acoplou-se um reticulador, para uniformizar a distribuição da velocidade do ar na seção transversal do

tubo. O ventilador foi acionado por um motor trifásico de 1,5 cv e o controle da vazão do fluxo de ar foi realizado por meio de diafragma (Figura 1).

A velocidade terminal foi determinada em quatro repetições para cada um dos 6 teores de água para os grãos de girassol previamente secados nas temperaturas de 60 e 80 °C. Para isso, foram pesadas e espalhadas na parte central da tela perfurada 15,0 gramas de amostra (Silva et al., 2003). O fluxo de ar foi regulado até o início do processo de flutuação do produto e então se posicionou um anemômetro em três partes distintas da saída de ar do tubo para realizar as leituras da velocidade do ar.

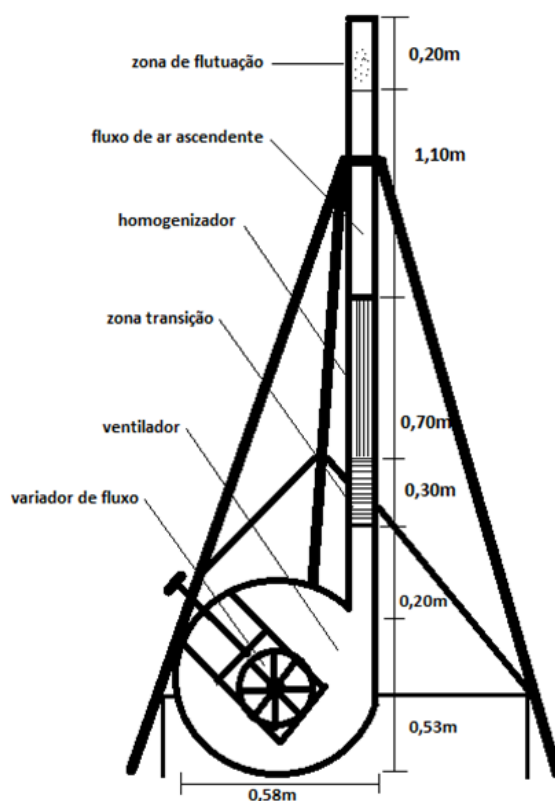


Figura 1. Desenho esquemático do determinador de velocidade terminal

O experimento foi montado segundo esquema fatorial 3 x 6, sendo três temperaturas de secagem (40, 60 e 80 °C) e seis teores de água (34,0; 28,0; 21,0; 16,0; 11,0 e 8,0% b.u.) em delineamento inteiramente ao acaso. Para a velocidade terminal o experimento foi montado segundo o esquema fatorial 2 x 6 sendo duas temperaturas de secagem (60 e 80 °C) e seis teores de água (24,0; 20,0; 16,0; 12,0; 8,0 e 4,0% b.u.) em delineamento inteiramente ao acaso. Os dados foram analisados por meio de regressão.



### 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

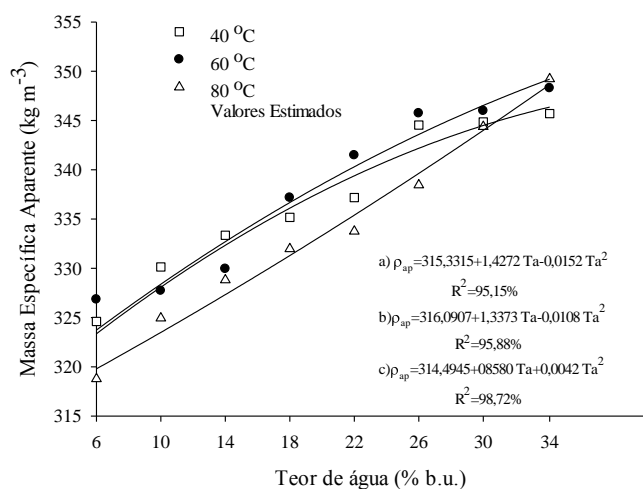
Verificou-se que houve a redução da massa específica aparente dos grãos de girassol com a redução do teor de água, em todas as temperaturas estudadas (Figura 2). A redução da massa específica com o processo de secagem vem sendo observada para diversos produtos agrícolas (Siqueira et al., 2012a; Tavakoli et al., 2009; Resende et al., 2008b).

Araújo et al. (2014) também observaram redução da massa específica aparente ao longo do processo de secagem de sementes de amendoim e relataram que este fato pode ser associado a maior contração na parte interna dos cotilédones, em relação as suas dimensões externas que contraem em menor proporção formando espaços vazios no interior do grão, com isto ocorre menor redução do volume do produto em relação à maior perda de massa (água) durante a secagem, permitindo a redução dos valores da massa específica aparente dos grãos. Os valores da massa específica são satisfatoriamente representados pelas regressões quadráticas.

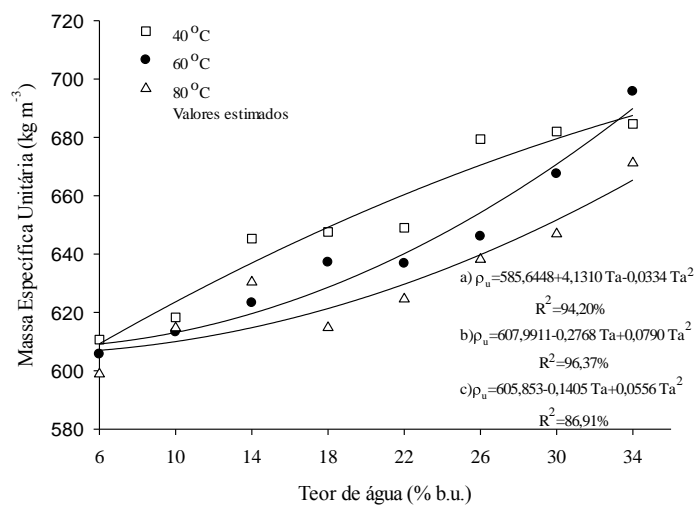
Na Figura 2B, verifica-se um comportamento semelhante ao observado na massa específica aparente, ou seja, a massa específica unitária reduziu com o processo de secagem, provavelmente pelo efeito combinado entre a deformação do grão e a presença de espaços vazios no seu interior, ao mesmo tempo em que ocorre redução da massa. Esses espaços vazios são provenientes da morfologia do fruto, chamados aquênios, na qual a semente se une à parede do fruto por apenas um ponto.

Goneli et al. (2008) observaram o mesmo comportamento trabalhando com sementes de mamona, que apresentam espaços vazios no seu interior e que, a contração volumétrica durante a secagem foi pequena, fazendo com que o volume das sementes permanecesse praticamente constante, enquanto ocorre redução de sua massa durante a secagem.

A.



B.



\*\*Significativo a 1% pelo teste t; \*Significativo a 5% pelo teste t; <sup>ns</sup>não significativo.

Figura 2. Valores experimentais e estimados da massa específica aparente (A) e unitária (B) de grãos de girassol em função do teor de água (% b.u.)

Também foi possível verificar na Figura 2B que a redução dos valores da massa específica unitária dos grãos de girassol pode ser satisfatoriamente representada por modelos de regressão quadráticos.

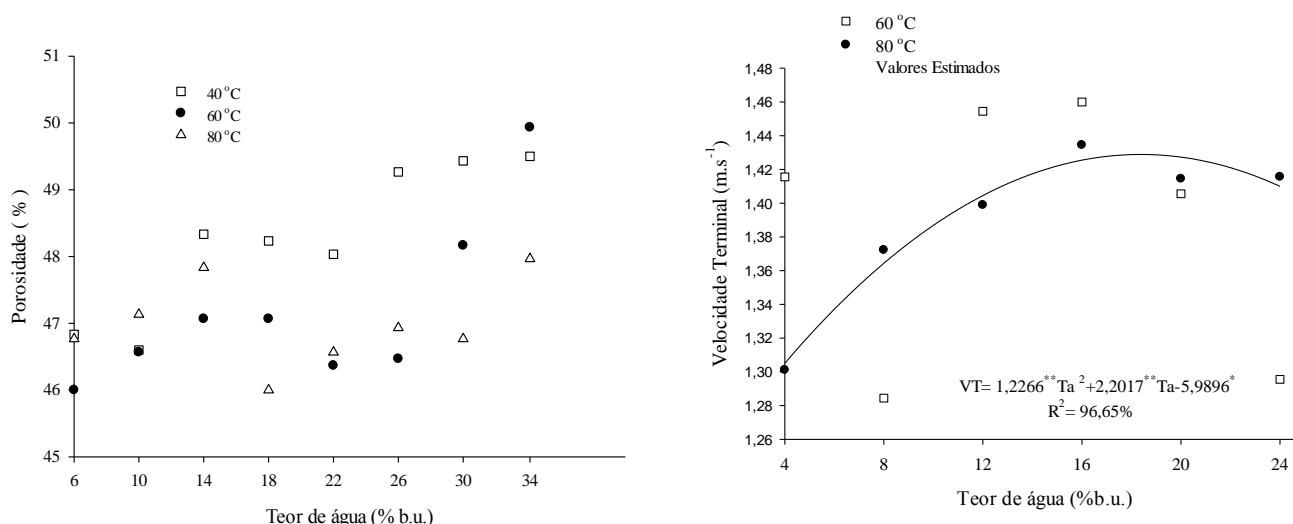
Na Figura 3, são apresentados os valores experimentais e estimados da porosidade da massa de grãos de girassol em função do teor de água. Observa-se que os valores de porosidade intergranular decrescem com a redução do teor de água dos grãos de girassol, em todas as temperaturas estudadas. Não foi possível verificar uma tendência clara em função do teor de água, assim não se ajustou nenhuma equação para representar essa característica.

Os valores encontrados foram 49,5 a 46,8; 49,93 a 46 e 47,9 a 46,7% para as temperaturas de 40, 60 e 80 °C respectivamente. Segundo McMinn & Magee (1997), a redução da porosidade intergranular deve-se às modificações estruturais associadas às alterações celulares do produto, pela retirada de água durante o processo de secagem.

Siqueira et al. (2012b) trabalhando com pinhão manso, Lanaro et al. (2011) com feijão fradinho e Goneli et al. (2008) com mamona, também observaram a redução da porosidade intergranular com o processo de secagem.

A.

B.



\*\*Significativo a 1% pelo teste t; \*Significativo a 5% pelo teste t; <sup>ns</sup>não significativo.

Figura 3. Valores da porosidade intergranular (A.) e velocidade terminal de grãos de girassol em função do teor de água (% b.u.)

Com relação à velocidade terminal, observa-se um acréscimo à medida que se aumenta o teor de água dos grãos, sendo mais evidente nos grãos secos à temperatura de 80 °C (Figura 3B.). Silva et al. (2003) constataram elevação linear na velocidade terminal em grãos de sorgo e milho à medida que aumentava o teor de água nos grãos e relataram que este aumento se deve às alterações das características físicas do produto; confirmando a expectativa de que a maior presença de água na composição do produto contribui de forma decisiva para a alteração direta da relação entre a massa e o volume dos grãos, e aumenta os valores da velocidade terminal.

Verifica-se ainda que a equação quadrática pode ser utilizada para expressar o comportamento da velocidade terminal dos grãos de girassol na temperatura de 80 °C. Revela ainda que a máxima velocidade terminal é de 1,429 m s<sup>-1</sup> e o máximo teor de água 18,4 (% b.u.). Gürsoy & Güzel (2010) trabalhando com grãos de cevada e trigo, encontraram valores de 7,52 - 8,4 e 7,04 - 7,07 m s<sup>-1</sup> para o trigo e cevada respectivamente. Razavi et al. (2007) constataram valor de 8,30 para o teor de água de 4,0 (%b.u.) em sementes de pistache. Logo, firma-se que o girassol possui velocidade terminal relativamente baixa, dificultando assim a separação das impurezas nos processos de separação e limpeza.

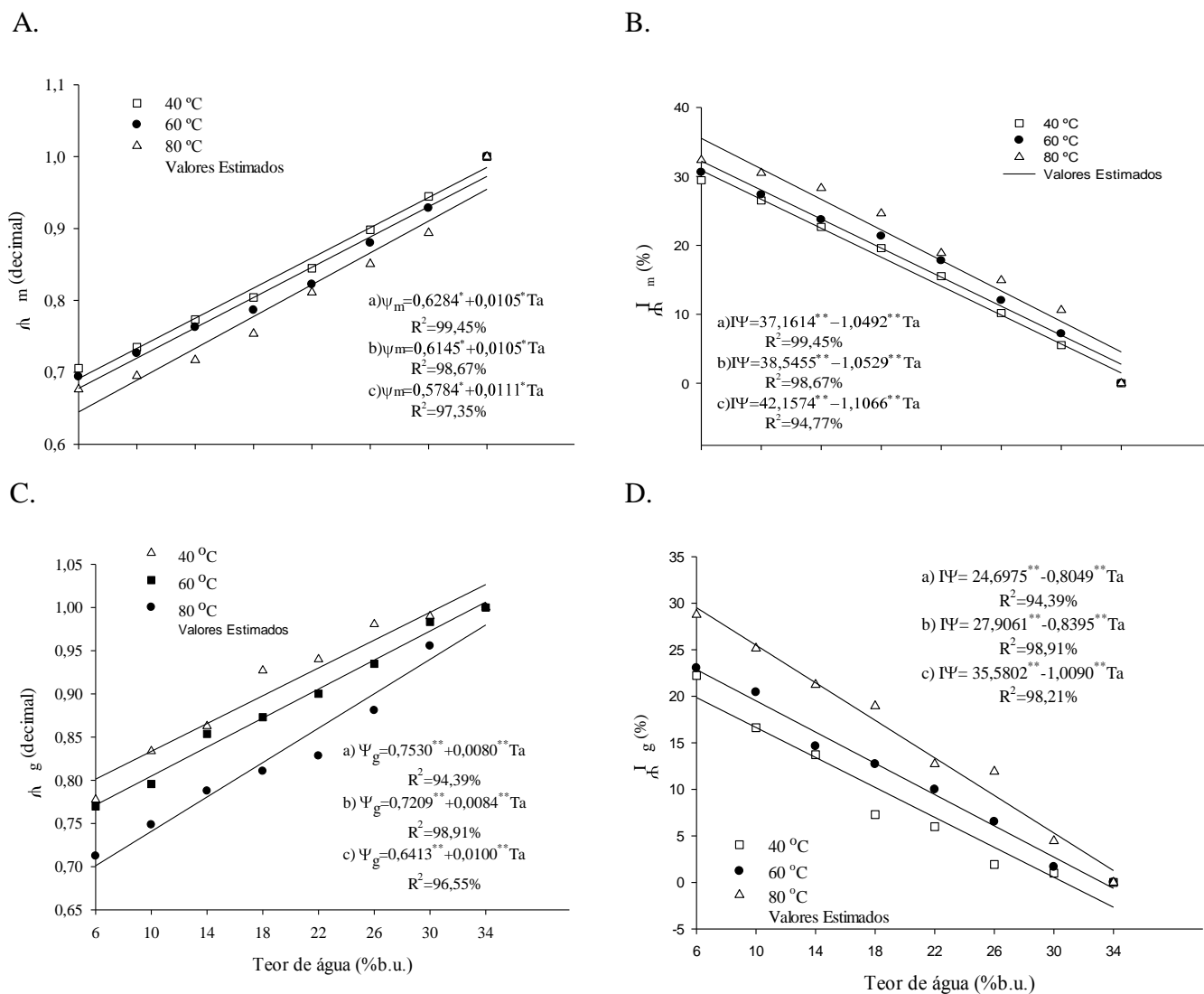
Na temperatura de secagem de 60 °C houve variação nos valores da velocidade terminal iniciando com decréscimo no teor de água de 8,0 (% b.u.) seguido de aumento no teor de água de 16,0 (% b.u.) e posterior redução. Benedetti & Jorge (1992)

verificaram que a velocidade terminal do arroz em casca, feijão, milho, soja e trigo, aumenta com o aumento do teor de água até em torno de 18-22 (% b.u.), e, diminui com teores de água acima desse valor.

Na Figura 4A, são apresentados os valores experimentais e estimados da contração volumétrica da massa de grãos de girassol em função do teor de água. Percebe-se que há decréscimo da contração volumétrica da massa com a redução do teor de água, em todas as temperaturas estudadas, sendo satisfatoriamente representada pelo modelo de regressão linear. Esta diminuição ocorre pela redução do tamanho do tecido celular em consequência do decréscimo do teor de água durante o processo de secagem. A massa dos grãos de girassol teve seu volume reduzido em 29, 31 e 32% com a redução do teor de água para as temperaturas de 40, 60 e 80 °C, respectivamente.

Goneli et al. (2011) trabalhando com mamona observaram redução de 63% da massa de seus frutos em relação ao volume inicial, para o teor de água de 2,50 a 0,13 (b.s). Afonso Júnior et al. (2003) verificaram a diminuição de 35% do volume dos frutos de café cereja com a redução do teor de água de 2,27 até 0,11 (b.s) e Resende et al. (2005) trabalhando com grãos de feijão, verificaram a redução no volume inicial de grãos de 46,1%, com teor de água variando entre 0,92 a 0,13 (b.s).

A contração volumétrica da massa de grãos gera espaços vazios no interior do secador que aumenta a passagem de ar quente nestes locais e pode potencializar o risco de incêndios em secadores.



\*\*Significativo a 1% pelo teste t; \*Significativo a 5% pelo teste t; <sup>ns</sup> não significativo.

Figura 4. Valores experimentais e estimados da contração volumétrica da massa (A), índice de contração volumétrica da massa (B), contração volumétrica unitária (C) e do índice de contração volumétrica unitária (D) de grãos de girassol em função do teor de água (% b.u.)

Na Figura 4B, nota-se acréscimo do índice de contração volumétrica com o processo de secagem, ou seja, houve a diminuição do volume inicial dos grãos de girassol com valores de 29,4; 30,6 e 32,4% para as temperaturas de 40, 60 e 80 °C, respectivamente, satisfatoriamente representada pelo modelo de regressão linear. Resende et al. (2005) verificaram diminuição do volume inicial dos grãos de arroz em casca, sob diferentes condições de temperatura e umidade relativa do ar, entre 7,4 e 17,9%, para o teor de água inicial de 0,272 b.s., sendo seco até o equilíbrio higroscópico.

Também é possível observar na Figura 4B que o aumento da temperatura promoveu maiores valores de contração volumétrica dos grãos de girassol, concordando com os resultados encontrados por Goneli et al. (2007) trabalhando com grãos de trigo em diferentes temperaturas. Para cada acréscimo de 1% (b.u.) de teor de água decresce em média 3,68; 3,82 e 4,05 no valor do índice contração volumétrica da massa para as temperaturas de 40; 60 e 80 °C, respectivamente.

Observa-se que a contração volumétrica unitária decresceu ao longo da secagem em todas as temperaturas estudadas, com valores de 0,78; 0,77 e 0,71 para as temperaturas de 40, 60 e 80 °C, respectivamente (Figura 4C). Esses dados corroboram com os obtidos por Oliveira et al. (2013) trabalhando com grãos de soja, que também verificaram que o modelo linear representou adequadamente o índice de contração quando relacionado com o teor de água. Goneli et al. (2011) verificaram redução no tamanho dos frutos de mamona secos a 40 °C, chegando a aproximadamente 0,55 para o teor de água final de 0,13 (b.s.), a redução de 46% comparado ao seu volume inicial.

Nota-se acréscimo no índice de contração dos grãos de girassol à medida que ocorre a secagem do produto para todas as temperaturas avaliadas ( Figura 4D). A temperatura de 80 °C proporcionou maior índice comparados as demais, com 29% de contração dos grãos em relação ao volume inicial contra 22,2 e 23% para as temperaturas de 40 e 60 °C, respectivamente. Oliveira et al. (2013) verificaram que o índice de contração volumétrica dos grãos de soja diminuiu ao longo da secagem nas duas temperaturas estudadas (50 e 90 °C). Resende et al. (2005) também verificaram redução de 35,8 a 46,1% na faixa de teor de água de 0,92 a 0,13 (decimal b.s.) respectivamente, para grãos de feijão.

Observa-se ainda na Figura 4D que o incremento dos valores da contração unitária dos grãos de girassol pode ser satisfatoriamente representado pelo modelo de regressão linear. Para cada acréscimo de 1% (b.u) de teor de água eleva-se em 3,18; 3,29 e 4,11 no valor do índice contração volumétrica unitária para as temperaturas de 40; 60 e 80 °C, respectivamente.

### 3.4 CONCLUSÕES

1. A redução do teor de água influencia as propriedades físicas dos grãos de girassol, proporcionando a diminuição da porosidade intergranular e das massas específicas aparente e unitária nas três temperaturas de secagem analisadas.

2. As contrações volumétricas da massa e unitária diminuem e os índices de contração aumentam com a secagem dos grãos de girassol em todas as temperaturas avaliadas.

3. A velocidade terminal aumenta à medida que eleva o teor de água dos grãos, sendo mais evidente na temperatura de secagem de 80 °C.

### 3.5 LITERATURA CITADA

Afonso Júnior, P.C.; Corrêa, P.C.; Pinto, F.A.C.; Sampaio, C.P. Shrinkage evaluation of five different varieties of coffee berries during the drying process. *Biosystems Engineering*, v.86, p.481-485, 2003.

Araujo, W.D.; Goneli, A.L.D.; Souza, C.M.A.; Gonçalves, A.A.; Vilhasantis, H.C.B. Propriedades físicas dos grãos de amendoim durante a secagem. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, p.279–286, 2014.

Benedetti, B. C.; Jorge, J. T. Influência do Teor de Umidade Sobre A Velocidade Terminal de Vários Grãos. *Engenharia Agrícola*, Botucatu-SP, v. 12, p. 102-118, 1992.

Braisl, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de defesa Agropecuária. Regras para análise de sementes. Brasília, 2009. 395p.

Corrêa, P.C.; Silva, J.S. Estrutura, composição e propriedades dos grãos. In: Silva, J.S. Secagem e armazenagem de produtos agrícolas. 2ª Edição. Viçosa-MG: Ed. Aprenda Fácil. 2008. p.19-36.

Donadon, J.R; Resende, O.; Castro, C. F. S.; Mendes, U.C.; Gonçalves, D.N. Comparação entre o tolueno e o hexano na determinação da porosidade intergranular de diferentes produtos agrícolas. *Revista Brasileira de Armazenamento*, v. 37, p. 37-40, 2012.

Goneli, A.L.D.; Corrêa, P.C; Resende, O.; Reis Neto, S.A. Estudo da difusão de umidade em grãos de trigo durante a secagem. *Ciência Tecnologia Alimento*, Campinas, v.27, p. 135-140, 2007.

Goneli, A.L.D.; Corrêa, P.C.; Botelho, F.M.; Oliveira, G.H.H.; Santos, E.S. Propriedades físicas dos frutos de mamona durante a secagem. *Revista Brasileira de Armazenamento*, v.33, p.148-155, 2008.

- Goneli, A.L.D.; Corrêa, P.C.; Magalhães, F.E.A.; Baptestin, F.M. Contração volumétrica e forma dos frutos de mamona durante a secagem. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v.33, p.1-8, 2011.
- Gürsoy, S.; Güzel, E. Determination of Physical Properties of Some Agricultural Grains. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, v.2, p. 492-498, 2010.
- Lanaro, N.D.; Bajay, G.; Queiroz, V.M.P.; Pinto, R.C.S.; Leitão, I.G.A.; Lessio, B.C.; Augusto, P.E.D. Determinação de propriedades físicas do feijão fradinho. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v.13, p.27-35, 2011.
- MC Minn, W.A.M.; Magee, T.R.A. Physical characteristics of dehydrated potatoes part I. *Journal of Food Engineering*, v.33, p.37-48, 1997.
- Oliveira, D.E.C.; Resende, O.; Smaniotto, T.A.S.; Siqueira, V.C.; Neto, C.A.J. Alterações morfométricas em grãos de soja durante o processo de secagem. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 34, p. 975-984. 2013.
- Ramos, I.N.; Brandão, T.R.S.; Silva, C.L.M. Integrated approach on solar drying, pilot convective drying and microstructural changes. *Journal of Food Engineering*, Davis, v. 67, p.195-203, 2005.
- Razavi, S.M.A.; Rafe, A.; Akbar, R. Terminal velocity of pistachio nut and its kernel as affected by moisture content and variety. *African Journal of Agricultural Research*, v.2, p. 663-666, 2007.
- Resende, O.; Corrêa, P. C.; Goneli, A. L. D.; Cecon, P. R. Forma, tamanho e contração volumétrica do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) durante a secagem. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v.7, p.15-24, 2005.
- 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. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v.10, p.17-26, 2008.
- Siqueira, V. C.; Resende, O; Chaves, T. H. Propriedades físicas das sementes de pinhão-mansão ao longo da secagem em diferentes temperaturas. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 33, p. 2705-2714, 2012a.
- Siqueira V.C., Resende O., Chaves T.H.; Soares F.A.L. Forma e tamanho dos frutos de pinhão-mansão durante a secagem em cinco condições de ar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, p.864–870, 2012b.



- Silva, F.S.; Corrêa, P.C.; Afonso Junior, P.C.; Goneli, A.L.D. Influência do teor de umidade na velocidade terminal de grãos de sorgo e milheto. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.2, p.143-147, 2003.
- Silva, J. A. G. D.; Schwertner, D. V.; Carbonera, R.; Crestani, M.; Gaviraghi, F.; Schiavo, J.; Arenhardt, E.G. Distância genética em genótipos de girassol. *Revista Brasileira Agrociência*, v.17, p.326-337, 2011.
- Tavakoli, H.; Mohtasebi, S.S.; Rajabipour, A.; Tavakoli, M. Effects of moisture content, loading rate, and grain orientation on fracture resistance of barley grain. *Research in Agricultural Engineering*, v.55, p. 85–93, 2009.

## CAPÍTULO III

### **Propriedades mecânicas dos grãos de girassol submetidos à compressão em diversos teores de água**

**Resumo:** Objetivou-se no presente trabalho verificar a influência do teor de água nos valores da força de ruptura, força máxima e deformação de ruptura, para deformações fixas, bem como determinar o módulo proporcional de deformidade de grãos de girassol submetidos à compressão. Foram utilizados grãos com teores de água variando de 0,429 até 0,064 (b.s.) submetidos a esforços de compressão uniaxial entre duas placas paralelas, aplicados em sua posição natural de repouso, a uma taxa de aplicação de força de  $0,002 \text{ m s}^{-1}$ . A força necessária para romper os grãos de girassol aumentou à medida que diminuiu o teor de água com valores entre 15,86 a 46,29 N. A força de compressão necessária para deformar o girassol diminuiu com o aumento do teor de água, apresentando, para as diversas deformações, valores médios entre 44,88 e 15,46 N e o módulo proporcional de deformidade aumenta com a redução do teor de água, obtendo-se valores, para faixa de teor de água estudada, entre  $0,92 \times 10^7$  a  $3,10 \times 10^7$  Pa.

**Palavras-chave:** *Helianthus annuus* L, Módulo proporcional de deformidade, Secagem

### **Mechanical properties of sunflower seeds subjected to compression at various moisture contents**

**Abstract:** The objective of the present work was to investigate the influence of moisture content on the values of tensile strength, maximum strength and rupture strain for fixed deformations and to determine the proportional deformity modulus of sunflower seeds subjected to compression. Sunflower grains with moisture contents ranging from 0.429 until 0.064( d.b. ), were subjected to uniaxial compressive stress

between two parallel plates, applied in its natural resting position, using a force application rate of  $0.002 \text{ m s}^{-1}$ . The force required to break the sunflower seeds increased as the moisture content decreased, with values of 15.86 to 46.29 N. The compressive force required to deform the sunflower decreases with increasing moisture content, presenting for different deformations, mean values between 44.88 and 15.46 N and proportional deformity modulus increase with lower moisture content, obtaining values for the studied moisture content range between  $0.92 \times 10^7$  to  $3.10 \times 10^7$  Pa.

**Key words:** *Helianthus annuus* L, proportional module deformity, drying

### 3.1 INTRODUÇÃO

A qualidade dos grãos pode ser definida como resultado da interação do período em que a cultura está estabelecida no campo, seu manejo em geral, cultivar, bem como das operações de colheita, secagem, beneficiamento e armazenamento do produto. Nestas últimas etapas, os grãos são submetidos a uma série de processos, que remetem a impactos potencialmente causadores de injúrias mecânicas. Tais danos são provocados por impactos nas sementes, em virtude de vários fatores, como teor de água e tensão aplicada na queda das sementes, dureza e características genotípicas do material, dentre outros. Adicionalmente, os danos mecânicos têm efeito cumulativo, isto é, as injúrias se somam, pois, a cada novo impacto sofrido pelo grão, este se torna cada vez mais sensível a essas danificações (Andrade et al., 1999; Paiva et al., 2000) reforçando a sua suscetibilidade a deterioração, durante o armazenamento.

O conhecimento de todo o processo de produção para a obtenção de grãos com alta qualidade torna-se indispensável, uma vez que rachaduras, trincas e quebras ocorrem nos grãos se os esforços, aos quais são submetidos, excedem a força de resistência do material. Dessa forma, as características mecânicas têm sido estudadas para predição do comportamento dos grãos, em função do teor de água e da temperatura, quando submetidos a diferentes tipos de tensões (Liu et al., 1990).

Dentre as diversas propriedades mecânicas, o módulo de deformidade permite que se realizem comparações de resistência relativa entre os diversos materiais. Para determiná-lo, faz-se a separação da sua deformação total nas duas componentes: elástica e plástica; desse modo, com a obtenção de curvas de força em função da deformação durante a aplicação de cargas ao produto e se considerando a sua deformação total, se obtém o módulo de deformidade total do produto (Resende et al., 2007).

A partir da curva de “força-deformação”, obtida com base no teste de compressão, podem-se obter parâmetros que caracterizam a resposta do material quando submetido a uma carga (Ribeiro et al., 2007), assim como obter informações sobre o ponto de ruptura destes materiais sob ação de determinados esforços.

Dessa forma, objetivou-se por meio do presente trabalho verificar a influência do teor de água nas propriedades mecânicas dos grãos de girassol analisando a força de ruptura, força máxima e deformação de ruptura, bem como determinar o módulo proporcional de deformidade de grãos de girassol submetidos à compressão.

### 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Pós-Colheita de Produtos Vegetais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano (IF Goiano - *Campus* Rio Verde), localizado no município de Rio Verde, GO.

Foram utilizados grãos de girassol da cultivar Olisun 3, colhidos manualmente com teor de água 0,429 ( b.s.), e secos para obtenção dos demais teores de água em estufa com ventilação forçada, mantida à temperatura de 40 °C. A redução do teor de água ao longo da secagem foi acompanhada pelo método gravimétrico (perda de massa), conhecendo-se o teor de água inicial do produto, até atingir o teor de água final de 0,064 ( b.s.), com auxílio de uma balança semianalítica com resolução de 0,01 g.

O teor de água do produto foi determinado pelo método de estufa, a  $105 \pm 3$  °C, durante 24 horas, em três repetições (Brasil, 2009). Para cada teor de água obtido (0,429; 0,35; 0,28; 0,22; 0,16; 0,11 e 0,064 b.s.) as amostras foram homogeneizadas e encaminhadas para os testes de compressão, na temperatura controlada de  $19 \pm 1$  °C.

Os ensaios experimentais de compressão dos grãos, testados individualmente, foram realizados com uma máquina de ensaio universal de teste modelo “TA Hdi Texture Analyser”, utilizando uma célula de carga de 250 N.

Os grãos foram submetidos à compressão uniaxial, entre duas placas paralelas, aplicada em sua posição natural de repouso (Figura 1), a uma taxa de aplicação de força de  $0,002 \text{ m s}^{-1}$ , em dez grãos de girassol.

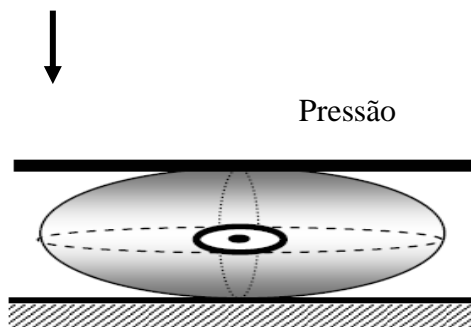


Figura 1. Orientação dos grãos durante o ensaio de compressão na posição natural de repouso.

Após a obtenção das curvas de força vs deformação dos grãos foram extraídas a força e a deformação na ruptura que fornecem o “bioyield point”. Este ponto é definido como sendo a posição na curva em que ocorre aumento da deformação do produto associado a diminuição abrupta da força de compressão (Asae, 1974), Figura 2, indicando o início da ruptura e a desorganização da estrutura do grão.

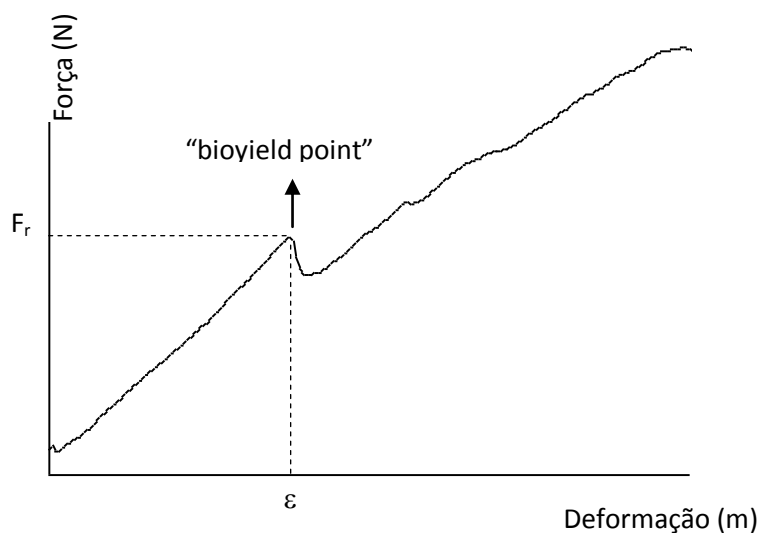


Figura 2. Representação esquemática da curva de força vs deformação identificando a força de ruptura ( $F_r$ ), a deformação de ruptura ( $\epsilon$ ) e o “bioyield point”.

O módulo proporcional de deformidade dos grãos de girassol ( $E_p$ ) foi determinado de acordo com a Eq. 1, sendo obtido para as deformações de  $0,4 \times 10^{-3}$ ;  $0,8 \times 10^{-3}$ ;  $1,2 \times 10^{-3}$ ;  $1,6 \times 10^{-3}$  e  $2,0 \times 10^{-3}$  m, conforme utilizado por Corrêa et al. (2008).

$$E_p = \frac{E}{(1-\mu^2)} = \frac{0,531 \times F}{D^{3/2}} \cdot \left[ 2 \cdot \left( \frac{1}{r} + \frac{1}{R} \right)^{1/3} \right]^{3/2} \quad (1)$$

Em que:

$E_p$  : módulo proporcional de deformidade, Pa;

$E$  : módulo de elasticidade, Pa;

$F$  : força de compressão, N;

$\mu$  : coeficiente de Poisson, variável de 0,2 a 0,5 para produtos agrícolas;

$D$  : deformação total (soma da elástica e plástica), m, e

$r$  e  $R$  : raios de curvatura do corpo nos pontos de contato, m.

Os valores dos raios de curvatura ( $r$  e  $R$ ) dos grãos nos pontos de contato, foram obtidos por meio de ajuste de circunferência à curvatura do corpo, segundo os planos coordenados relevantes a posição de compressão de acordo com Couto et al. (2002), conforme ilustrado na Figura 3.

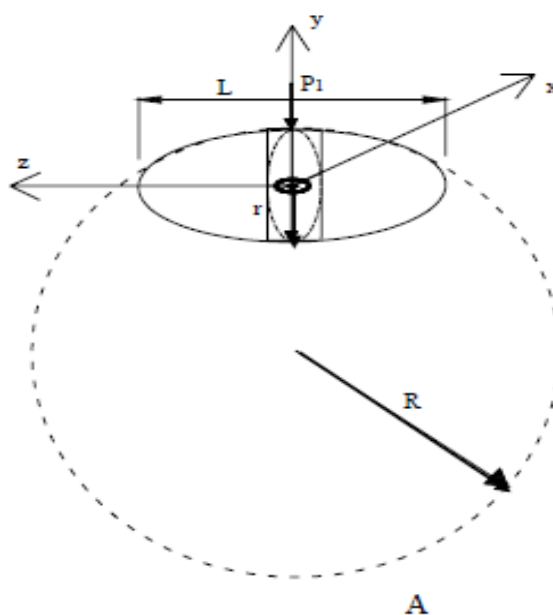


Figura 3. Raio de curvatura dos grãos de girassol na região de contato entre os produtos e a placa de compressão

Os dados da força de ruptura, deformação na ruptura, força máxima de compressão e módulo proporcional de deformidade do girassol foram representados em função do teor de água dos grãos.

O experimento foi montado segundo o esquema fatorial 7 x 5 (7 teores de água e 5 deformações), no delineamento inteiramente ao acaso, com dez repetições. Os dados foram analisados por meio de análise de variância e regressão, realizado no programa Sisvar.

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, estão apresentados os valores médios dos raios de curvatura dos grãos de girassol para cada teor de água, utilizados nos cálculos para determinação do módulo proporcional de deformidade. Verifica-se que os raios de curvatura oscilaram com o teor de água do produto; todavia, sem ocorrência de tendência clara em função desta variável.

Tabela1. Valores médios dos raios de curvatura dos grãos de girassol (m) para cada teor de água (%b.s.)

Teor de água	R	R
0,064	0,00361	0,01175
0,11	0,00359	0,01162
0,16	0,00341	0,01206
0,22	0,00341	0,01145
0,28	0,00336	0,01190
0,35	0,00336	0,01204
0,429	0,00313	0,01191

Na Figura 4, estão apresentados os valores experimentais e estimados da força de ruptura em função do teor de água. Observa-se que a força necessária para romper o grão de girassol aumentou com a redução do teor de água. O mesmo foi constatado por

Altuntas e Yildiz (2007), Jangi et al. (2011) e Resende et al. (2013) trabalhando com feijão-guandu, cevada e arroz, respectivamente. A força de ruptura variou entre 15,86 a 46,29 N para os teores de água 0,429 e 0,064 (b.s.), respectivamente. Tavakoli et al. (2009) relataram que a força necessária para romper grãos de soja variou entre 270,66 a 191,09N para teores de água de 0,0692 a 0,2119 (b.s.). Esses resultados mostram que a força é altamente dependente do teor de água dos grãos. Seifi e Alimardani (2010) avaliaram duas variedades de milho e também relataram que força maior é necessária para romper os grãos com baixo teor de água; os valores da força variaram entre 298,11 a 198,44 N e 321,67 a 218 N para as variedades Sc 704 e Dc 370, respectivamente. Os autores relataram ainda que essa menor força com o acréscimo do teor de água do grão pode ser resultado da textura mais macia dos grãos de milho com elevado teor de água. Ainda na Figura 1, nota-se que a equação linear representou satisfatoriamente a força de ruptura em relação ao teor de água dos grãos de girassol.

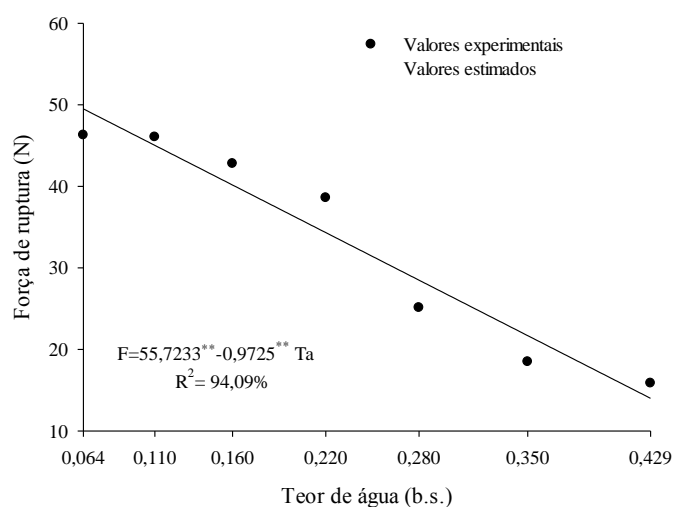


Figura 4. Valores experimentais e estimados da força de ruptura em função do teor de água dos grãos de girassol

Na Figura 5, estão apresentados os valores experimentais da deformação de ruptura em função do teor de água. Observa-se que a deformação de ruptura variou com a secagem dos grãos de girassol. Para a faixa de teor de água de 0,064 a 0,429 (b.s.) a deformação variou entre 0,0011 a 0,0123m. Resende et al. (2013) também relataram variação na deformação de arroz em casca e descascado quanto ao teor de água dos grãos, observaram valores da deformação de 0,21 a 0,26  $\times 10^3$  m e 0,12 a 0,15  $\times 10^3$  m



para arroz em casca e descascado, respectivamente. Nazari Galedar et al. (2009) observaram decréscimo linear da deformação em amêndoas de pistache com o aumento do teor de água. Já Fadavi et al. (2013) trabalhando com grãos de pistache, constataram que as variações de deformação não foram influenciadas pelo aumento do teor de água de 4,54 a 18,8 (% b.s.). Não foi possível estabelecer uma equação para descrever adequadamente a deformação na ruptura em relação ao teor de água dos grãos de girassol.

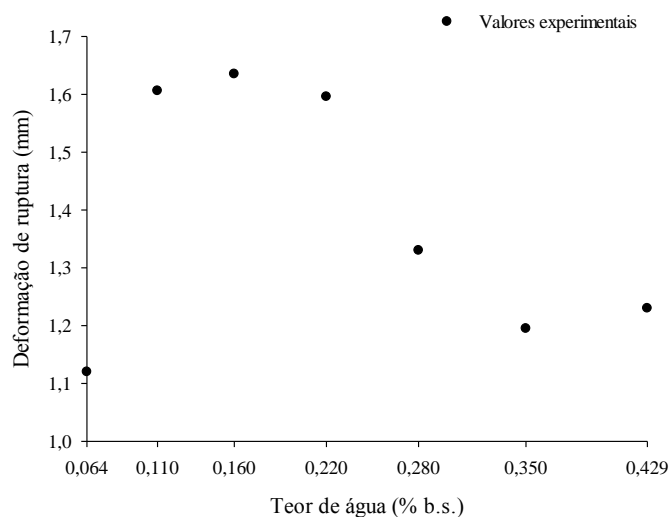


Figura 5. Valores experimentais da deformação de ruptura em função do teor de água dos grãos de girassol

Na Figura 6, estão apresentados os valores experimentais da força máxima de ruptura em função do teor de água para as deformações  $4,0 \times 10^{-4}$ ;  $8,0 \times 10^{-4}$ ;  $1,2 \times 10^{-3}$ ;  $1,6 \times 10^{-3}$  e  $2,0 \times 10^{-3}$  m. Verifica-se que a força de compressão necessária para romper o grão de girassol diminui com o aumento do teor de água. Resultados semelhantes foram encontrados por Ribeiro et al. (2007) e Resende et al. (2007) para grãos de soja e feijão, respectivamente. A força média necessária para as diversas deformações em função do teor de água variou entre 44,88 e 15,46 N. Fernandes et al. (2014) trabalhando com grãos de trigo, encontraram valores entre 139,8 e 21,4 N para os teores de água variando entre 0,14 e 0,26 (b.s.). Desta forma, para teores de água mais elevados, o grão oferece menor resistência à compressão, aumentando proporcionalmente com a redução do teor de água.

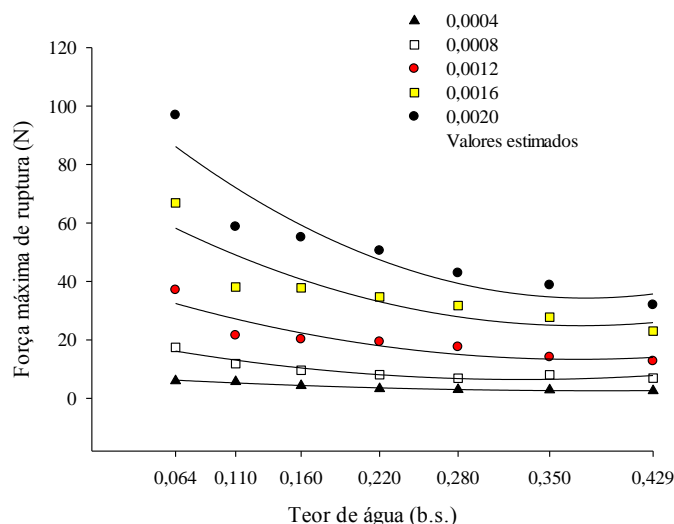


Figura 6. Valores experimentais e estimados da força máxima de ruptura em função do teor de água para as deformações  $4,0 \times 10^{-4}$ ;  $8,0 \times 10^{-4}$ ;  $1,2 \times 10^{-3}$ ;  $1,6 \times 10^{-3}$  e  $2,0 \times 10^{-3}$  m

Na Tabela 2, estão apresentadas as equações quadráticas ajustadas para os valores da força máxima de ruptura em função do teor de água. Observa-se que a regressão quadrática representou satisfatoriamente o incremento da força máxima com a perda de água dos grãos de girassol em todas as deformações analisadas.

Tabela 2. Equações quadráticas ajustadas para os valores do módulo proporcional de deformidade em função do teor de água

Deformação (m)	Equação Quadrática	R <sup>2</sup> (%)
0,0004	$F_{mr} = 7,8148^{**} - 0,2660^{**}Ta + 0,0034^{*}Ta^2$	96,75
0,0008	$F_{mr} = 21,4566^{**} - 0,9112^{*}Ta + 0,0138^{*}Ta^2$	91,78
0,0012	$F_{mr} = 41,2605^{**} - 1,5013^{ns}Ta + 0,0202^{ns}Ta^2$	82,40
0,0016	$F_{mr} = 73,4398^{**} - 2,5986^{ns}Ta + 0,0348^{ns}Ta^2$	80,43
0,0020	$F_{mr} = 109,5037^{**} - 3,9809^{*}Ta + 0,0527^{ns}Ta^2$	86,61

\*\*Significativo a 1% pelo teste t; \*Significativo a 5% pelo teste t; <sup>ns</sup> não significativo.

Na Figura 7, estão apresentados os valores experimentais e estimados do módulo proporcional de deformidade em função do teor de água. Nota-se que os valores do módulo proporcional de deformidade aumentam com a redução do teor de água. Os

valores variam entre  $0,92 \times 10^7$  e  $3,10 \times 10^7$  Pa, resultados estes que corroboram com os obtidos por Ribeiro et al. (2007) para soja e Fernandes et al. (2014) para grão de trigo que constataram uma faixa do módulo proporcional de deformidade de  $1,68 \times 10^7$  Pa a  $5,2 \times 10^7$  e  $8,9 \times 10^7$  a  $51,2 \times 10^7$  Pa, respectivamente. Resende et al. (2007) verificaram que o módulo proporcional de deformidade para grãos de feijão para a faixa de teor de água de 0,13 a 0,42 ( b.s.) foi de  $2,6 \times 10^7$  a  $56,4 \times 10^7$  Pa e Corrêa et al. (2008) relataram valores de  $4,1 \times 10^7$  a  $71,3 \times 10^7$ , para o intervalo de 0,136 a 0,423( b.s.) também com grãos de feijão. Segundo Batista et al. (2003), o valor elevado do módulo de deformidade significa que uma força maior deve ser aplicada ao produto para, então, se obter determinada deformação.

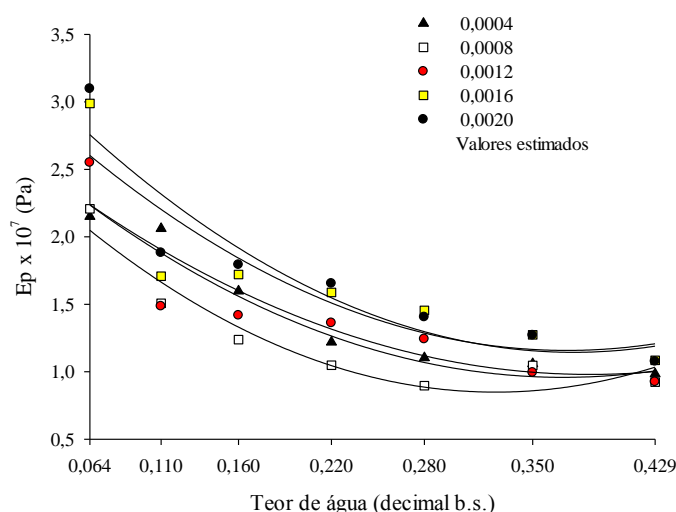


Figura 7. Valores experimentais e estimados do módulo proporcional de deformidade em função do teor de água

Na Tabela 3, estão apresentadas as equações quadráticas ajustadas para os valores do módulo proporcional de deformidade em função do teor de água. Observa-se que a regressão quadrática representou satisfatoriamente o módulo proporcional de deformidade em função do teor de água.

Tabela 3. Equações quadráticas ajustadas para os valores do módulo proporcional de deformidade em função do teor de água

Deformação m	Equação Quadrática	R <sup>2</sup> (%)
0,0004	$E_p=2,7855^{**}-0,0933^{**}T_a+0,0012^{*}T_a^2$	96,80
0,0008	$E_p=2,7058^{**}-0,1139^{*}T_a+0,0017^{*}T_a^2$	91,79
0,0012	$E_p=2,8255^{**}-0,1010^{ns}T_a+0,0014^{ns}T_a^2$	81,55
0,0016	$E_p=3,2656^{**}-0,1133^{ns}T_a+0,0015^{ns}T_a^2$	79,50
0,0020	$E_p=3,4853^{**}-0,1244^{*}T_a+0,0017^{ns}T_a^2$	86,06

\*\*Significativo a 1% pelo teste t; \*Significativo a 5% pelo teste t; <sup>ns</sup>não significativo.

### 3.4 CONCLUSÕES

1. A força necessária para romper os grãos de girassol aumentou à medida que diminuiu o teor de água, com valores entre 15,86 a 46,29 N.
2. A deformação de ruptura varia entre 0,0011 a 0,0123m com a secagem dos grãos de girassol.
3. A força de compressão necessária para deformar o girassol diminui com o aumento do teor de água.
4. O módulo proporcional de deformidade aumenta com a redução do teor de água.

### 3.5 LITERATURA CITADA

Altuntas, E.; Yildiz, M. Effect of moisture content on some physical and mechanical properties of faba bean (*Vicia faba* L.) grains. Journal of Food Engineering, v.78, pag.174-183, 2007.

Andrade, E. T.; Corrêa, P.C.; Alvarenga, E.M.; Martins, J.H. Efeito do impacto mecânico controlado sobre a qualidade fisiológica de sementes de feijão. Engenharia na Agricultura, Viçosa, v. 7, p. 148-159, 1999.

Batista, C. S.; Couto, S. M.; Cecon, P. R.; Peixoto, A. B. Efeito da temperatura do ar de secagem, do teor de umidade e do estágio de maturação no módulo de deformidade de frutos de café (*Coffea arabica* L.). Revista Brasileira de Armazenamento, v. Especial café, p. 42-53, 2003.

Brasil. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Regra para análise de sementes. Brasília- DF, 1992. 365 p.

Corrêa, P.C.; Resende, O.; Ribeiro, D.M.; Jaren, C.; Arazuri, S. Resistance of edible beans to compression. *Journal of Food Engineering*, v.86, p. 172-177, 2008.

Couto, S. A.; Batista, C. S.; Peixoto, A. B.; Devilla, I. A. Comportamento mecânico de frutos de café: Módulo de deformidade. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 6, p. 285-294, 2002.

Fadavi, A.; Hassan-Beygi, S. R.; Karimi, F. Moisture dependent physical and mechanical properties of Syrjan region wild pistachio nut. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. v.12, p. 221-230, 2013.

Fenandes, L.S.; Corrêa, P.C.; Diniz, M.D.M.S.; Leite, D.M.; Vasconcelos, D.S.L. Influência do teor de água nas propriedades mecânicas dos grãos de trigo submetidos à compressão. *Bioscience Journal*, Uberlandia, v. 30, p. 219-223, 2014.

Gupta, R. K.; Das, S. K. Fracture resistance of sunflower seed and kernel to compressive loading. *Journal of Food Engineering*, Dublin, v. 46, p. 1-8, 2000.

Jangi, A.; Mortazavi, S.A.; Tavakoli, M.; Ghanbari, A.; Tavacolipour, H.; Haghayegh, G.H. Comparison of mechanical and thermal properties between two varieties of barley (*Hordeum vulgare* L.) Grains. *Australian Journal of Agricultural Engineering*, v.2, p.132-139. 2011.

Liu, M.; Haghighi, K.; Stroshine, R. L.; Ting, E. C. Mechanical properties of soybean cotyledon and failure strength of soybean kernel. *Transactions of the ASAE*, St Joseph, v.33, n.2, p.559-565, 1990.

Nazari Galedar, M. ; Mohtasebi, S.S.; Tabatabaeefar, A.; Jafari, A.; Fadaei, H. Mechanical behavior of pistachio nut and its kernel under compression loading. *Journal of Food Engineering*, v. 95, p.499-504, 2009.

Paiva, L. E.; Medeiros Filho, S.; Fraga, A. C. Beneficiamento de sementes de milho colhidas mecanicamente em espigas: efeitos sobre danos mecânicos e qualidade fisiológica. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 24, p. 846-856, 2000.

Resende, O.; Corrêa, P. C.; Ribeiro, D. M.; Neto Figueiredo, A. Comportamento mecânico dos grãos de feijão submetidos a compressão. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 11, p. 404–409, 2007.

Resende, O.; Corrêa, p.c.; Oliveira, g.h.h.; Goneli, a.l.d.; Jarén, c. Mechanical properties of rough and dehulled rice during drying. *International Journal of Food Studies*, v.2, p.158-166, 2013.

Ribeiro, D. M.; Corrêa, P. C.; Furtado, B. F.; Goneli, A. L. D.; Resende, O. Propriedades mecânicas dos grãos de soja em função do teor de água. *Engenharia Agrícola*, v. 27, p. 493-500, 2007.

Seifi, M. R.; Alimardani, R. Comparison of moisture-dependent physical and mechanical properties of two varieties of corn (Sc 704 and Dc 370). *Australian Journal of agricultural Engineering*. v.1, p.170-178, 2010.

Tavakoli H.; Rajabipour A.; Mohtasebi S.S. Moisture-Dependent Some Engineering Properties of Soybean Grains. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Manuscript 1110. Vol. XI. 2009.

## CAPÍTULO IV

### **Qualidade dos grãos de girassol armazenados em diferentes embalagens e do óleo extraído**

**Resumo:** Objetivou-se no presente trabalho avaliar a qualidade dos grãos e do óleo de girassol armazenados em diferentes embalagens durante 270 dias. O girassol com teor de água 7,9 (% b.u.) foi acondicionado em embalagens de papel, embalagens plásticas de polipropileno, garrafas de polietileno de alta densidade (PEAD) e garrafas reutilizadas de polietileno tereftalato (PET), as quais foram mantidas em condições ambientes por 270 dias. A cada 90 dias (0, 90, 180 e 270) foram avaliadas quanto ao teor de água, condutividade elétrica, germinação, índice de velocidade de germinação, plântulas normais, massa seca de plântulas normais e análise de qualidade do óleo extraído. As embalagens PET e PEAD minimizaram a perda de água nos grãos de girassol no decorrer do armazenamento, de maneira geral os grãos armazenados na embalagem de papel proporcionaram os melhores resultados nas características avaliadas. As embalagens e o tempo de armazenamento não influenciaram no teor de óleo e no índice de iodo dos grãos de girassol. O armazenamento em embalagem PET resultou em maior incremento no índice de acidez do óleo de girassol ao longo do armazenamento e as embalagens PEAD e PET proporcionaram os maiores índices de peróxido ao final do armazenamento.

**Palavras-chave:** *Helianthus annuus* L., teor de óleo, permeabilidade

**Quality of sunflower seeds stored in different packaging and the extracted oil**

**Abstract:** The objective of this work was to evaluate the grain quality and sunflower oil stored in different packaging for 270 days. Sunflower with moisture content of 7.9 (% wb) was placed in paper bags, plastic bags of polypropylene, high density polyethylene bottles (HDPE) bottles and reused polyethylene terephthalate (PET) which were kept at room conditions for 270 days. Every 90 days (0, 90, 180 and 270) were analyzed for moisture content test, electrical conductivity, germination, germination speed index, normal seedlings, dry weight of normal seedlings and extracted oil quality analysis. PET and HDPE packaging minimized water loss in sunflower seeds during storage, in general the grains stored in paper packaging provided the best results in the evaluated characteristics. The packaging and storage time had no effect on the oil content and the sunflower seeds iodine value. The PET packaging resulted in greater increase in sunflower oil acid value during storage and HDPE and PET packaging provided the highest rates of peroxide at the end of storage.

**Key words:** *Helianthus annuus* L., oil content, permeability

#### 4.1 INTRODUÇÃO

O girassol é uma das mais importantes oleaginosas produtoras de óleo vegetal comestível. Apresenta boa qualidade de coproduto (torta), boa adaptação às diferentes condições edafoclimáticas, além de ser alternativa aos sistemas de rotação e sucessão de culturas, nas regiões produtoras de grãos (Grunvald et al., 2009).

O cultivo do girassol tem como objetivo principal a extração de óleo com alta concentração de ácidos graxos insaturados, tornando-se apropriado ao consumo humano, animal e, também, para a produção de bicompostíveis. Além disso, o girassol permite a obtenção de grãos para produção de óleo na entressafra, diminuindo a capacidade ociosa das indústrias (Silva et al., 2009).

Nas indústrias que processam oleaginosas, os grãos passam por um período relativamente longo de armazenamento, compensando a sazonalidade entre safras para que não ocorra falta de matéria-prima para extração do óleo (Bordignon, 2009). O uso de grãos com qualidade é de suma importância para o desempenho do produto final, mantendo assim as propriedades do óleo dentro de padrões desejados; logo a preocupação com sua conservação é de extrema relevância.



O armazenamento constitui uma etapa em que se deve procurar reduzir ao máximo a velocidade e a intensidade do processo deteriorativo. A deterioração do grão é um processo irreversível, não se pode impedir, mas é possível retardar sua velocidade por meio do manejo adequado e eficiente do teor de água do produto e da temperatura de armazenagem, bem como da umidade relativa do ar (Baudet, 2003).

A qualidade dos grãos armazenados também pode ser influenciada pelo tipo de embalagem utilizada para o seu acondicionamento. Para Popinigis (1985), a embalagem é importante não apenas para o transporte, armazenamento e comercialização, mas também no que se refere a conservação da qualidade das sementes sob determinadas condições ambientais de temperatura e umidade relativa do ar.

As embalagens utilizadas no armazenamento devem ajudar a reduzir a velocidade do processo de deterioração, mantendo o teor de água inicial das sementes armazenadas, com o intuito de diminuir o metabolismo celular (Tonin & Perez, 2006), e contribuir para a manutenção de sua qualidade.

Marcos Filho (2005) relaciona o uso de embalagens e a permeabilidade ao vapor d'água com a manutenção da qualidade de sementes, pois permitem maiores ou menores trocas de vapor d'água entre as sementes e/ou grãos e a atmosfera do ambiente em que estão armazenadas.

O aumento da umidade relativa e da temperatura acarretam maiores taxas respiratórias que desencadeiam também outros processos, como o aumento das atividades enzimáticas, metabólicas e dos ácidos graxos livres, causando a aceleração da velocidade de deterioração das sementes e grãos.

A instabilidade química dos lipídios constitui um dos fatores preponderantes para a queda do desempenho das sementes de várias espécies, especialmente das oleaginosas. A peroxidação lipídica e o estresse oxidativo têm causado deterioração das sementes de oleaginosas durante seu armazenamento (José et al., 2010).

Problemas com a conservação de produtos agrícolas devem ser estudados constantemente, pois visam prolongar ao máximo a qualidade dos materiais armazenados sejam eles semente, grão ou produtos secundários. Logo, objetivou-se avaliar a influência de diferentes embalagens na qualidade das sementes e do óleo extraído durante 270 dias de armazenamento.

## **4.2 MATERIAL E MÉTODOS**

A colheita dos grãos de girassol foi realizada manualmente, quando se verificou o teor de água dos grãos de 7,9 (% b.u.). Posteriormente, foi realizada a limpeza manual do material. Em seguida, 400g de sementes foram acondicionados em diferentes embalagens, papel, embalagens plásticas de polipropileno, garrafas de polietileno de alta densidade (PEAD) e garrafas reutilizadas de polietileno tereftalato (PET) por nove meses, mantidas em condições de ambiente de laboratório. Durante o armazenamento a umidade relativa do ar e a temperatura foram registradas por um datalogger digital. As amostras foram avaliadas a cada 30 dias (0, 90, 120 e 180 dias de armazenamento), em três repetições, quanto ao teor de água, condutividade elétrica, germinação, índice de velocidade de germinação, plântulas normais, massa seca de plântulas normais e análise de qualidade do óleo extraído.

A determinação do teor de água foi realizada por gravimetria, utilizando estufa a 105 °C, durante 24 horas em duas repetições (Brasil, 2009).

O teste de condutividade elétrica foi realizado segundo metodologia descrita por Vieira e Krzyzanowski (1999). Foram utilizados 50 grãos para 4 subamostras de cada tratamento e pesadas com precisão de duas casas decimais (0,01g). As amostras foram colocadas para embeber em copos plásticos com 75 mL de água deionizada e mantidas em câmara do tipo B.O.D. com temperatura controlada a 25 °C, durante 24 horas. As soluções contendo os produtos foram levemente agitadas para uniformização dos lixiviados, e imediatamente procedeu-se a leitura em condutivímetro digital portátil, sendo os resultados divididos pela massa do produto e expressos em  $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$  de sementes.

O teste de germinação foi conduzido com 4 subamostras de 50 sementes de cada lote, em rolos de papel toalha “Germitest”, umedecidos com água destilada, equivalente a 2,5 vezes a massa do substrato seco, visando o umedecimento adequado e, conseqüentemente, a uniformização do teste. Em seguida, foram mantidas em germinador tipo “Mangelsdorf” regulado a temperatura constante de 25 °C. As interpretações foram no 8º dia após a semeadura (DAS) - considerando germinação total também em porcentagem - GT, segundo os critérios estabelecidos nas Regras para Análise de Sementes e o índice de velocidade de germinação (IVG). (Brasil, 2009).

A porcentagem de plântulas normais (PN) foi realizada em conjunto com o teste de germinação, computando-se no 7º DAS e utilizando as seguintes categorias: plântulas com todas as suas estruturas essenciais (sistema radicular e parte aérea) bem desenvolvidas, completas, proporcionais e sadias. Estruturas essenciais: sistema radicular - bem desenvolvido, formado por raiz primária longa e delgada, raiz

secundária e terminando numa extremidade afilada; parte aérea - bem desenvolvida e formada por hipocótilo reto, delgado e alongado; cotilédones - dois cotilédones, com tamanho e forma variada. Gema apical - uma, no ápice da parte aérea (Brasil, 2009).

A avaliação da massa seca de plântulas normais (MS) foi realizada em conjunto com o PN, as plântulas foram colocadas em embalagens de papel kraft e levadas para estufa com circulação de ar forçado, mantida na temperatura de 65 °C por 72 h. O material seco foi pesado, por subamostra, em balança com resolução de 0,01g. A massa obtida foi dividida pelo número de plântulas que compõe a subamostra, obtendo-se a massa seca média por plântula. A média aritmética das quatro subamostras avaliadas constituirá a massa seca da plântula do tratamento (Nakagawa, 1994).

O óleo extraído dos grãos de girassol foi analisado por meio do teor de óleo, índice de acidez, índice de peróxido e índice de iodo.

O teor de óleo foi determinado pela metodologia oficial, descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (2008). Cerca de 100 g de grãos de produto foram separados em quatro porções homogêneas e transferidas para um aparelho de extração, tipo Soxhlet. Foram adicionados cerca de 250 mL de hexano (razão massa: volume de 1:10) e mantidos sob aquecimento constante, durante 8 horas. O solvente foi destilado sob pressão reduzida em um evaporador rotativo e o teor de óleo foi determinado em relação à massa de matéria seca.

O índice de acidez, índice de peróxido e índice de iodo foram determinados pela metodologia oficial, descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (2008).

O experimento seguiu o esquema de parcela subdividida 4 x 4, sendo quatro embalagens (papel, Plástico, PEAD e PET) e quatro tempos de armazenamento (0, 3, 6 e 9 meses), em delineamento inteiramente ao acaso, com três repetições. Os dados foram analisados por meio de regressão e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível 5% de significância, pelo Sisvar (Ferreira, 2010).

### **4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A interação embalagem e época foi significativa a 1% pelo teste de F apenas para IVG e índice de acidez e a 5% para o índice de peróxido. A embalagem e o tempo de armazenamento (época) tiveram efeito significativo em todas as características avaliadas, exceto na condutividade elétrica e no teor de óleo. Apenas a embalagem influenciou na Massa seca (Tabela 1).

Tabela 1.- Resumo da Análise de variância para Teor de água (TA); Germinação (G); Índice de velocidade de germinação (IVG); Plântulas normais (PN); Massa seca (MS); Condutividade elétrica (CE); Teor de óleo (TO); Índice de acidez (IA), Índice de peróxido (IP) e Índice de iodo (IO).

FV	Quadrados Médios										
	GL	TA	G	IVG	PN	MS	CE	TO	IA	IP	IO
Eb	3	4,18*	33,26**	210,44**	204,21**	23x10 <sup>-4</sup> NS	34,43 <sup>NS</sup>	9,379 <sup>NS</sup>	2,44**	71,75**	2,76 <sup>NS</sup>
Ep	3	7,44**	57,89*	618,01**	690,64**	152x10 <sup>-3</sup> *	1,49 <sup>NS</sup>	40,34 <sup>NS</sup>	18,02**	153,31**	2,42 <sup>NS</sup>
Eb X Ep	9	1,32 <sup>NS</sup>	10,11 <sup>NS</sup>	40,62**	94,38 <sup>NS</sup>	20x10 <sup>-4</sup> NS	7,65 <sup>NS</sup>	22,69 <sup>NS</sup>	0,45**	15,53*	0,59 <sup>NS</sup>
CV 1(%)		12,95	2,11	6,37	3,67	18,04	4,22	8,10	7,81	10,29	4,05
CV 2(%)		13,03	2,59	5,26	8,56	15,05	3,66	9,55	9,99	10,10	2,93

\*\* Significativa a 1%, \* Significativa a 5% e <sup>NS</sup> Não significativa pelo teste de F.

Em que:

Eb: Embalagem;

Ep: Época.

Houve oscilação do teor de água durante o armazenamento, chegando ao final dos 270 dias com queda do teor de água em todas as embalagens testadas (Tabela 2).

Com relação às embalagens, observa-se que a maior perda de água foi nos grãos armazenados em papel seguido da embalagem plástica com 6,19 e 6,78 (% b.u.), respectivamente. Essa maior perda de água nestas embalagens está relacionada com a permeabilidade da mesma, pois estas permitem troca de vapor d'água com o ambiente. Os grãos são higroscópicos, sujeitos aos processos de sorção, ou seja, o teor de água está sempre em equilíbrio com a umidade relativa e a temperatura do ar. Siqueira et al. (2012) afirmam que produtos oleaginosos apresentam ligações mais instáveis com a água, portanto são mais hidrofóbicos que os grãos não oleaginosos, facilitando a remoção de água durante o processo de secagem.

As embalagens de PEAD e PET proporcionaram menores decréscimos de teor de água durante o armazenamento, comprovando que estas embalagens promovem menor troca de vapor d'água com o ambiente. A barreira de vapor d'água destas embalagens são de 0,23 e 0,02g de água embalagem<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> para PET e PEAD respectivamente.

Tabela 2. Teores de água dos grãos de girassol acondicionados em diferentes embalagens durante o armazenamento

Embalagens	Tempo de armazenamento (dias)				
	0	90	180	270	Média
Plástico	7,91	6,07	6,63	6,49	6,78 b
Papel	7,91	5,17	6,32	5,33	6,19 c
PEAD	7,91	6,76	7,23	7,27	7,30 a
PET	7,91	6,79	7,12	7,04	7,22 a
Média	7,91	6,19	6,83	6,53	

Significativa a 5% pelo teste de F.

Observa-se que as embalagens influenciaram na germinação das sementes de girassol no final do armazenamento (Tabela 3). Evidencia-se esta diferença, em que a embalagem de papel proporcionou maior preservação da germinação com 95,46%, diferindo das embalagens PET e PEAD, com 88,50 e 87,30%, respectivamente, que não diferiram entre si.

Os grãos armazenados nas embalagens plásticas, por sua vez, apresentaram 93,50% de germinação, não diferindo das embalagens de papel, PET e PEAD. Abreu et al. (2013) relataram que a embalagem de papel proporcionou as melhores percentagens de germinação ao final do armazenamento comparadas as embalagens de plástico e plástico a vácuo em ambiente refrigerado (10 °C). Diferentemente de Silva et al. (2010) que trabalhando com diferentes culturas (arroz, milho e feijão) e diferentes embalagens (PET, plástico com espessura 0,10mm, plástico trançado e papel) verificaram que a embalagem PET e plástico com espessura 0,10 mm proporcionaram menor efeito na queda da germinação ao final do armazenamento.

Bessa et al. (2015) armazenaram frutos de crambe em três diferentes embalagens (laminada, PET e PEAD) e temperaturas e constataram que as sementes armazenadas na embalagem PET proporcionaram maiores médias de percentagem de germinação comparadas aos demais tratamentos no final do armazenamento. Esta conservação na percentagem de germinação dos grãos mantidos em embalagens de papel se deve a

umidade relativa do ambiente baixa no período do armazenamento, pois se trata de embalagens permeáveis, ou seja, permitem trocas gasosas com o ambiente.

Tabela 3. Germinação (%) dos grãos de girassol acondicionados em diferentes embalagens durante o armazenamento.

Embalagens	Tempo de armazenamento (dias)				Média
	0	90	180	270	
Plástico	95,67	95,67	96,50	93,50	95,33ab
Papel	95,67	97,00	96,50	95,43	96,15a
PEAD	95,67	95,33	93,67	87,30	92,92b
PET	95,67	95,00	92,33	88,50	92,92b

Significativa a 5% pelo teste de F.

Verifica-se que a germinação nos primeiros 90 dias se manteve praticamente constante, posteriormente houve queda ao longo do armazenamento (Figura 1). Estes resultados corroboram com os encontrados por Abreu et al. (2013) que relatam a partir do quarto mês de armazenamento a tendência de redução na qualidade das sementes ao longo do tempo, independentemente das condições de armazenamento.

Almeida et al. (2010) observaram queda linear na germinação das sementes de cinco espécies oleaginosas (algodão, amendoim, soja, girassol e mamona), com o aumento do período de armazenamento, em condições ambientais. Silva et al. (2010) observaram que independentemente da cultura (arroz, feijão e milho), da espécie e do tipo de embalagem, a germinação das sementes decresceu ao longo do período de armazenamento; relataram ainda o efeito das embalagens na germinação das sementes a partir do 6º mês de armazenamento.

Lima et al. (2014) relataram que sementes de girassol perderam totalmente seu poder germinativo no sexto mês de armazenamento independentemente do tipo de embalagem utilizado (papel, papel multifoliado, polietileno preto e PET). A equação quadrática descreveu satisfatoriamente a queda da germinação ao longo do tempo.

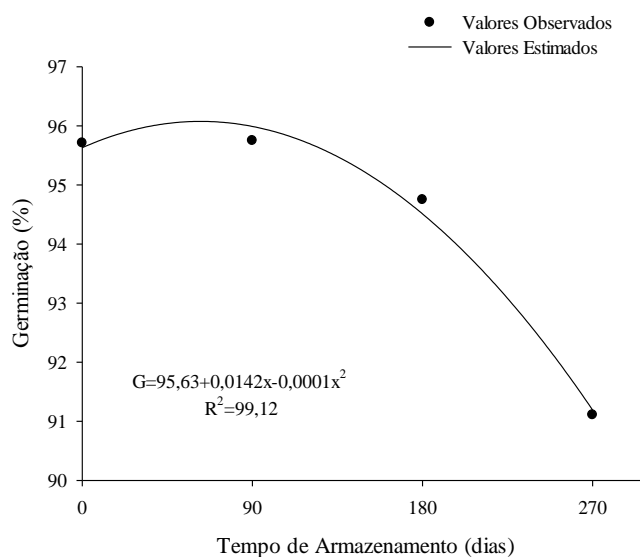


Figura 1. Germinação dos grãos de girassol acondicionados em diferentes embalagens durante o armazenamento.

Observa-se que as embalagens influenciaram no IVG dos grãos de girassol já nos primeiros 90 dias de armazenamento e a embalagem de papel proporcionou os melhores resultados, diferindo apenas das embalagens PEAD e PET (Tabela 4).

Nos 180 dias de armazenamento, a embalagem de papel manteve-se com os melhores resultados diferindo dos demais tratamentos. Ao final dos 270 dias, observa-se o mesmo comportamento, as embalagens de papel com os maiores valores de IVG diferindo das demais. Os grãos de girassol armazenados na embalagem PEAD indicaram os menores valores de IVG no final dos 270 dias de armazenamento não diferindo da embalagem PEAD.

As embalagens impermeáveis, que não permitem a troca de água e conservam o teor de água inicial das sementes durante todo o período de armazenamento, favorecendo a deterioração das sementes, caso o teor inicial de água esteja acima do tolerado para armazenamento seguro naquelas condições. Por isso, os tipos de embalagem utilizados no acondicionamento das sementes durante o armazenamento assumem expressiva importância na preservação de sua viabilidade e vigor (Carvalho & Nakagawa, 2012).

Masetto et al. (2013), armazenaram sementes de crambe em diferentes embalagens: polietileno e plástico rígido com fechamento hermético em condições ambientes e câmara fria e seca durante 180 dias e verificaram a redução no IVG ao longo do armazenamento, para ambas as embalagens e ambientes. Lima et al. (2014) constataram

que o vigor foi anulado a partir do sexto mês de armazenamento em sementes de girassol, independentemente da embalagem utilizada (papel, papel multifoleado, polietileno preto e PET). Smaniotto et al. (2014) armazenaram sementes de soja durante 180 dias e observaram a queda linear no IVG independentemente dos teores de água e temperaturas analisados.

Tabela 4. IVG dos grãos de girassol acondicionados em diferentes embalagens durante o armazenamento.

Embalagens	Tempo de armazenamento (dias)			
	0	90	180	270
Plástico	35,84 a	40,49 ab	25,03 b	24,22 b
Papel	35,84 a	44,07 a	34,79 a	37,18 a
PEAD	35,84 a	39,84 c	22,31 b	19,04 c
PET	35,84 a	35,69 b	22,80 b	21,59 bc

Significativa a 5% pelo teste de F.

Na Figura 3, estão apresentados os valores das plântulas normais das sementes de girassol acondicionadas em diferentes embalagens durante o armazenamento. Tanto o tempo quanto as embalagens influenciaram na percentagem de plântulas normais, porém nota-se que houve diferença entre as embalagens apenas no último mês de armazenamento, e as embalagens de plástico e papel obtiveram as maiores percentagens de plântulas normais.

Bessa et al. (2015) armazenaram sementes de crambe em diferentes embalagens (PET, PEAD e laminada) e ambientes (natural e refrigerado) e não obtiveram diferença das embalagens nas plântulas normais; apenas o ambiente e o tempo interferiram nesta característica. Abreu et al. (2011) relataram que a partir do oitavo mês de armazenamento as sementes de girassol mantidas em embalagens de papel e plástico tiveram queda no vigor, e ressaltou que as sementes armazenadas em embalagens a vácuo se destacaram pela qualidade preservada.



Observa-se ainda que as equações linear e quadrática descrevem satisfatoriamente a queda da percentagem de plântulas normais nas embalagens plástico e PEAD, respectivamente, durante o armazenamento (Tabela 3).

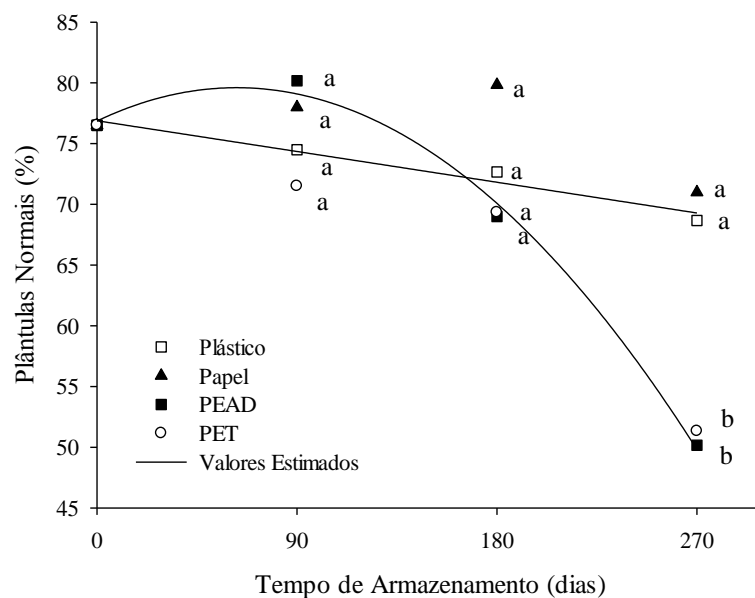


Figura 2. Plântulas normais dos grãos de girassol acondicionados em diferentes embalagens durante o armazenamento.

Na Tabela 5, estão apresentadas as equações ajustadas para os valores de plântulas normais em função do tempo de armazenamento.

Tabela 5. Equações linear (1) e quadrática (2) ajustadas para os valores de plântulas normais em função do tempo de armazenamento (TA)

Embalagem	Equação	R <sup>2</sup> (%)	F	P level
Plástico	(1) $PN=76,88^{**}-0,028^{**}TA$	96,18	50,33	0,019
PEAD	(2) $PN=76,859^{**}+0,0873^{ns}Ep-0,0007^{ns}TA^2$	99,52	103,39	0,06

\*\*Significativo a 1% , \*significativo 5% e <sup>NS</sup> não significativo pelo teste de t.

Apenas o tempo interferiu na massa seca das plântulas de girassol durante o armazenamento (Figura 3). Observa-se decréscimo na massa seca ao longo do tempo, o modelo linear pode ser usado para descrever o fenômeno biológico. Cardoso et al.

(2012) verificaram que a massa seca foi influenciada pelas embalagens utilizadas no acondicionamento de sementes de crambe a partir do terceiro mês de armazenamento e ressaltaram que no nono mês as sementes mantidas em caixa de isopor foram as que apresentaram menor massa seca comparada com as demais embalagens (PET e metálica).

Lima et al. (2014) armazenaram sementes de girassol por nove meses e constataram queda acentuada na matéria seca de plântulas em seis meses de armazenamento em ambiente natural. Dan et al. (2012) estudando armazenamento de sementes de girassol com diferentes inseticidas verificaram queda na massa seca de plântulas após 30 dias de armazenamento.

O processo de deterioração atua sobre o desempenho das sementes de tal forma que o seu aumento, propicia menor crescimento de plântulas, ocasionando na perda de vigor e do poder germinativo.

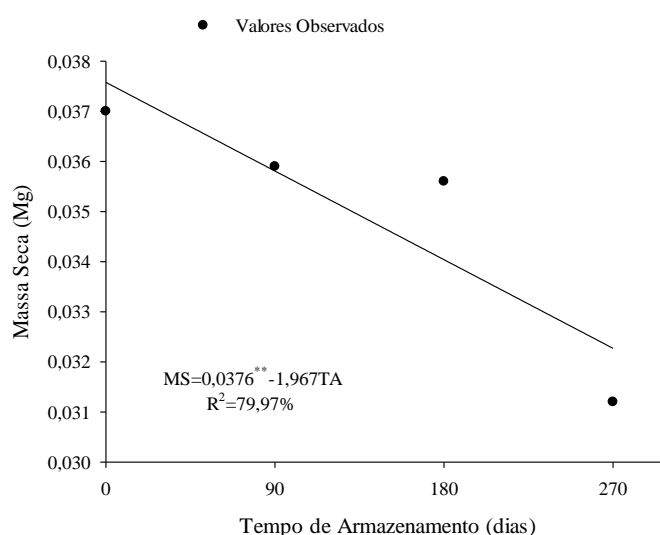


Figura 3. Massa seca das plântulas dos grãos de girassol acondicionados em diferentes embalagens durante o armazenamento.

Nota-se que as embalagens não influenciaram nos valores de condutividade elétrica dos grãos de girassol durante o armazenamento. O mesmo foi constatado com o tempo de armazenamento. (Tabela 6) Embora os resultados obtidos pelos testes de germinação e IVG mostrem o oposto, isto é, diferentes níveis de vigor foram observados entre os tratamentos.

Esse resultado corrobora com Abreu et al. (2011) que armazenou sementes de girassol em diferentes tipos de embalagem (papel, plástico e plástico a vácuo) e

observou que as sementes tiveram qualidade reduzida quando avaliadas pelos testes de germinação e envelhecimento acelerado; entretanto, o teste de condutividade elétrica não detectou esta redução.

É possível que o tempo constante de embebição de 24 h, conforme metodologia de Vieira & Krzyzanowski (2009), não tenha sido suficiente para que as sementes umedecessem e expressassem o real estado de deterioração. Rigo et al. (2012), verificaram valores decrescentes de condutividade elétrica ao longo de quatro meses de armazenamento de milho em duas temperaturas (22 °C e ambiente), tendo sido indicada como causa a elevação do teor de água do milho Já Bessa et al. (2015) armazenaram sementes de crambe em diferentes embalagens (laminada, PET e PEAD) e verificaram acréscimo da condutividade já nos primeiros 90 dias de armazenamento.

Tabela 6. Condutividade elétrica ( $\text{mS cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ ) dos grãos de girassol acondicionadas em diferentes embalagens durante o armazenamento

Embalagens	Tempo de armazenamento (dias)				Média
	0	90	180	270	
Plástico	81,40	86,62	84,50	84,37	84,22
Papel	81,40	78,84	80,97	79,97	80,30
PEAD	81,40	80,54	82,26	83,42	81,91
PET	81,40	81,86	81,26	79,88	81,10
Média	81,40	81,96	82,25	81,91	

Nota-se que não houve diferença das embalagens e do tempo no teor de óleo dos grãos de girassol. Ocorreram oscilações no teor de óleo durante o armazenamento em todas as embalagens avaliadas (Tabela 7).

Resultados semelhantes foram encontrados por Abreu et al. (2013) que não observaram diferenças no teor de óleo de sementes de girassol armazenadas em diferentes embalagens (papel, plástico e plástico a vácuo). Donadon et al. (2015) armazenaram sementes de crambe em diferentes embalagens (PET, laminada e PEAD) e ambientes (refrigerado e natural) e não constataram diferença entre as embalagens utilizadas no teor de óleo do produto.

O valor médio de teor de óleo encontrado foi de 43,83%, segundo Oliveira (2004) o teor de matéria graxa presente no grão de girassol é de 47%. Leite et al. (2013) em um estudo avaliando diversos genótipos de girassol, encontraram valor médio de 39,10% de teor de óleo presente em seus aquênios. Thomaz et al. (2012), relataram uma variação de 51,8 a 37,4% de teor de óleo em sementes de girassol cultivar Hélio 250 colhidos em diferentes épocas de semeadura.

Tabela 7. Teor de óleo (%) dos grãos de girassol acondicionados em diferentes embalagens durante o armazenamento

Embalagens	Tempo de armazenamento (dias)				Média
	0	90	180	270	
Plástico	46,32	44,89	47,30	38,81	44,33
Papel	46,32	41,28	44,43	47,11	44,78
PEAD	46,32	39,13	41,40	44,19	42,76
PET	46,32	42,18	41,23	44,11	43,46
Média	46,32	41,87	43,59	43,55	

Na Figura 4, estão apresentados os valores experimentais e estimados do índice de acidez do óleo extraído dos grãos de girassol acondicionados em diferentes embalagens durante o armazenamento. Houve interferência tanto das embalagens quanto do tempo no índice de acidez do óleo de girassol.

No caso das embalagens, nota-se já nos primeiros 90 dias de armazenamento, em que a embalagem PET apresentou o maior índice de acidez comparada com as demais. Nos 180 dias de armazenamento a embalagem que proporcionou o menor índice de acidez no óleo foi a de plástico, não diferindo das embalagens papel e PEAD, estas por sua vez, diferiram da embalagem PET que propiciou o maior índice de acidez neste período e no final dos 270 dias.

José et al. (2010) observaram que a instabilidade química dos lipídios constitui um dos fatores prevaletentes na queda de desempenho das sementes de várias espécies, especialmente das oleaginosas devido ao alto teor de lipídeos, pois a peroxidação lipídica e o estresse oxidativo causam a deterioração das sementes de oleaginosas, durante o armazenamento.

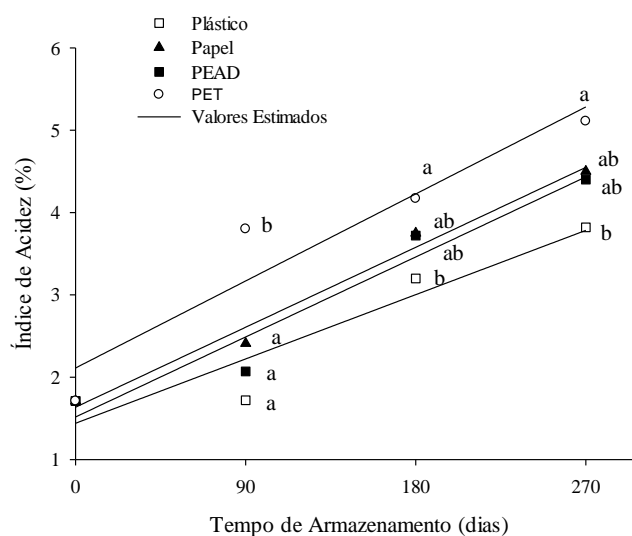


Figura 4. Índice de acidez do óleo extraído dos grãos de girassol acondicionados em diferentes embalagens durante o armazenamento.

Ainda na Figura 4 constata-se acréscimo do índice de acidez ao longo do armazenamento, sendo representado satisfatoriamente pela equação linear (Tabela 6). Belmiro et al. (2010) verificaram aumento nos teores de acidez em sementes de abóbora armazenadas em diferentes teores de água. Atribuíram, possivelmente, a alteração nos lipídios contidos nos grãos de abóbora, provocando a formação de ácidos graxos livres.

Alencar et al. (2010) também observaram acréscimo no índice de acidez do óleo dos grãos de soja armazenados em diferentes temperaturas (20, 30 e 40 °C) e teores de água (11,2; 12,8 e 14,8 % b.u.), de forma mais acentuada quando os grãos se apresentaram com teor de água de 14,8 (% b.u.).

Biaggioni & Barros (2006) verificaram a correlação entre o teste de acidez graxa em sementes de arroz e as classes de vigor em sementes e constataram que esse teste se mostrou exequível para avaliar o vigor das sementes. Correlacionando com este trabalho, pode-se atestar que o vigor e o índice de acidez são inversamente proporcionais, ou seja, o aumento de ácidos graxos livres está diretamente correlacionado com a velocidade e intensidade do processo de deterioração dos grãos e das sementes.

Na Tabela 8, estão apresentadas as equações lineares ajustadas para os valores de índice de acidez em função do tempo de armazenamento.

Tabela 8. Equações lineares ajustadas para os valores de índice de acidez em função do tempo de armazenamento (TA).

Embalagem	Equação Linear	R <sup>2</sup> (%)	F	P level
Plástico	IA=1,441 <sup>**</sup> +0,0087 <sup>**</sup> TA	89,33	16,74	0,054
Papel	IA=1,636 <sup>*</sup> +0,0108 <sup>*</sup> TA	98,41	123,62	0,008
PEAD	IA=1,517 <sup>*</sup> +0,0108 <sup>*</sup> TA	94,39	33,62	0,028
PET	IA=2,112 <sup>*</sup> +0,0117 <sup>*</sup> TA	90,41	18,85	0,049

\*Significativo a 1% e \*\*5% pelo teste de t.

Observa-se que houve interferência das embalagens no índice de peróxido do óleo extraído dos grãos de girassol (Figura 5). O índice de peróxido diminuiu a partir do início do armazenamento para todas as embalagens estudadas, aumentando no final dos 270 dias de armazenamento. Esse acréscimo no final do armazenamento foi mais acentuado para as embalagens PEAD e PET que diferiram das demais.

Bordignon (2009) afirma que durante o processo de oxidação a formação e a degradação de peróxidos são constantes, os valores de peróxido alcançam determinada concentração e diminuem. Donadon et al. (2015) verificaram que as embalagens não influenciaram no índice de peróxido do óleo de grãos de crambe armazenados durante 9 meses, porém constataram acréscimo linear no índice durante o armazenamento.

Furquim et al. (2014) armazenaram sementes de pinhão manso durante quatro meses e verificaram acréscimo no índice de peróxido ao final do armazenamento, os autores relataram que o óleo apresentou elevado potencial de oxidação e rancificação com valores aproximadamente cinco vezes superior ao obtido nos óleos dos grãos que não foram submetidos ao armazenamento.

Alencar et al. (2010), analisando o óleo de soja, também observaram acréscimo do índice de peróxido após os 180 dias de armazenamento para as temperaturas de 20, 30 e 40 °C. Observa-se ainda na Figura 5 que a equação quadrática representa satisfatoriamente o índice de peróxido durante o armazenamento para as embalagens de papel e PEAD.

Embora os peróxidos não apresentem nem sabor nem odor, são rapidamente decompostos, mesmo sob temperatura ambiente, em aldeídos, cetonas, álcoois, hidrocarbonetos, ésteres, furanos e lactonas, ocasionando sabor e odor desagradáveis nos óleos e gorduras (EYS et al., 2004; O'BRIEN, 2004).

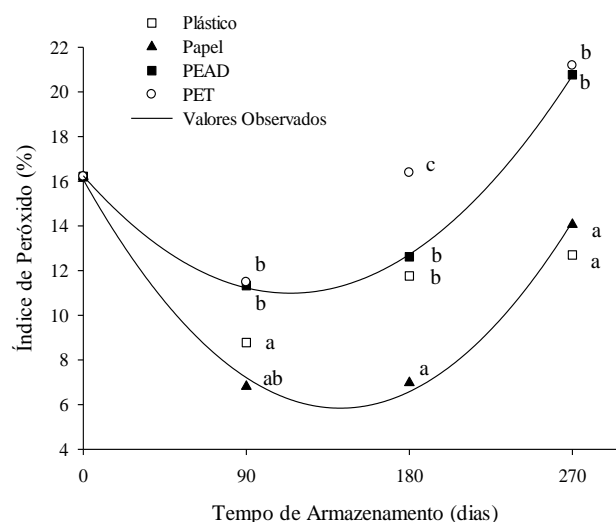


Figura 5. Índice de peróxido do óleo extraído dos grãos de girassol acondicionados em diferentes embalagens durante o armazenamento.

Na Tabela 9, estão apresentadas as equações quadráticas ajustadas para os valores de índice de peróxido em função do tempo de armazenamento.

Tabela 9. Equações quadráticas ajustadas para os valores de índice de peróxido em função do tempo de armazenamento (TA).

Embalagem	Equação Quadrática	R <sup>2</sup> (%)	F	P level
Papel	IP=16,077 ** -0,1443 ** Ep+0,0005 ** TA <sup>2</sup>	99,50	98,75	0,07
PEAD	IP=16,2445 ** -0,092 ** Ep+0,0004 ** TA <sup>2</sup>	99,96	1126,87	0,02

\*\*Significativo a 5% pelo teste de t.

Na Tabela 10, estão apresentados os valores médios do índice de iodo do óleo dos grãos de girassol acondicionados em diferentes embalagens durante o armazenamento. O índice de iodo apresentou pequenas variações durante o armazenamento em todas as embalagens estudadas, porém o tempo e as embalagens não influenciaram durante o armazenamento. Donadon et al. (2015), relataram que as embalagens (PET, laminada e

PEAD) não interferiram no índice de iodo do óleo de crambe armazenado por 270 dias. Outros autores, Pohndorf (2012) e Almeida et al. (2010), relatam um comportamento estável no índice de iodo do óleo extraído de grãos de soja durante o armazenamento, logo, não encontraram efeito do tempo nos tratamentos avaliados. O índice de iodo proporciona a medida do grau de insaturação das gorduras extraídas por éter. Dessa forma, quanto maior for a insaturação de um ácido graxo maior também será sua capacidade de absorção de iodo (Nozaki et al., 2012). De acordo com Graça (2010) valores acima de  $135 \text{ mg g}^{-1}$  ocasionam a produção de um biodiesel inaceitável, logo os índices encontrados neste trabalho estão dentro dos padrões aceitáveis

Tabela 10. Valores de índice de iodo dos grãos de girassol acondicionados em diferentes embalagens durante o armazenamento.

Embalagens	Tempo de armazenamento (dias)				Média
	0	90	180	270	
Plástico	29,60	28,30	27,80	28,03	28,43
Papel	29,60	28,70	29,60	30,13	29,51
PEAD	29,60	28,83	29,30	29,63	29,34
PET	29,60	28,40	28,80	29,00	29,00
Média	29,60	28,55	28,87	29,19	

#### 4.4 CONCLUSÕES

1. As embalagens influenciam na qualidade dos grãos de girassol, sendo que a de papel proporcionou os melhores resultados nas características avaliadas no decorrer do armazenamento.
2. O tempo de armazenamento e as embalagens não influenciaram no teor e no índice de iodo do óleo dos grãos de girassol.
3. A embalagem PET proporcionou maior incremento no índice de acidez do óleo de girassol ao longo do armazenamento e as embalagens PEAD e PET apresentaram os maiores valores de peróxidos ao final do armazenamento.



#### 4.5 LITERATURA CITADA

Abreu, L.A.S.; Carvalho, M.L.M.; Pinto, C.A.G.; Kataoka, V.Y.; Silva, T.T.A. Deterioration of sunflower seeds during storage. *Journal of Seed Science*, v. 35, n. 2, p.240-247, 2013.

Abreu, A. S. Carvalho, M.L.M.; Pinto, C.A.G.; Kataoka, V.Y. Teste de condutividade elétrica na avaliação de sementes de girassol armazenadas sob diferentes temperaturas. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 33, n. 04, p. 635-642, 2011.

Alencar, E.R.; Faroni, L.R.D.; Peternelli, L.A.; Silva, M.T.C.; Costa, A.R. Influence of soybean storage conditions on crude oil quality. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.3, p. 303-308, 2010.

Almeida, F. de A. C.; Jerônimo, E. de S.; Alves, N. M. C.; Gomes, J. P.; Silva, A. S. Estudo de técnicas para o armazenamento de cinco oleaginosas em condições ambientais e criogênicas. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v.12, n.2, p.189- 202, 2010.

Baudet, L. Armazenamento de sementes. In: Peske, S. T.; Rosental, M. D.; Rota, G. R. (ed.). *Sementes: Fundamentos científicos e tecnológicos*. Pelotas: UFPel, 2003. p.369-418.

Belmiro, T. C.; Queiroz, A. J. de M.; Figueiredo, R. M. F. de; Fernandes, T. K. S.; Bezerra, M. C. T. Alterações químicas e físico-químicas em grãos de abóbora durante o armazenamento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.9, p.1000-1007, 2010.

Bessa, J.F.V.; Donadon, J. R.; O. Resende. O.; Alves, R.M.V.; Sales, J. F.; Costa, L.M. Armazenamento do crambe em diferentes embalagens e ambientes: Parte I - Qualidade fisiológica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.19, n.3, p.224–230, 2015.

Biaggioni, M. A. M.; Barros, R. E. Teste de acidez graxa como índice de qualidade em arroz. *Ciência e Agrotecnologia*, v.30, n. 4, p.679- 684, 2006.

Bordignon, B.C.S. Relação das condições de armazenamento com a qualidade fisiológica de sementes e composição do óleo extraído de cultivares de soja. 90f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

Brasil, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de defesa Agropecuária. *Regras para análise de sementes*. Brasília, 2009. 395p.

Cardoso, R. B.; Binotti, F. F. S.; Cardoso, E. D. Potencial fisiológico de sementes de crambe em função de embalagens e armazenamento. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.42, n. 3, p.272-278, 2012.

Carvalho N.M.; Nakagawa J. Sementes: ciência, tecnologia e produção. 5ª ed. Jaboticabal, Funep. 590p. 2012.

Crochemore, M.L. Conservação de sementes de tremoço azul em diferentes embalagens. *Revista Brasileira de Sementes*, Londrina, v.15, n.2, p.227-232, 1993.

Dan, L.G.M.; Goulart, M.M.P.; Dan, H.A.; Silva, A.G.; Barroso, A.L.L.; Braccini, A.L.; Menezes, J.F.S. Desempenho de sementes de girassol tratadas com inseticidas sob diferentes períodos de armazenamento. *Revista Trópica*, v. 6, n.1, p. 30-37, 2012.

Donadon, J. R.; Bessa, J. F.V.; Resende, O.; Castro, C.F.S.; Alves, R.M.V.; Silveira, E.V. Armazenamento do crambe em diferentes embalagens e ambientes: Parte II - Qualidade química. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.19, n.3, p.231–237, 2015.

Eys, J.E.; Offner, A.; Bach, A. Manual of quality analyses for soybean products in the feed industry. Fourqueux: ASA, 2004. 115 p.

Ferreira, D.F. SISVAR - Sistema de análise de variância. Versão 5.3. Lavras-MG: UFLA, 2010.

Furquim, L. C.; Castro, C. F. de S.; Resende, O.; CAMPOS, J. M. C.; Cabral, A. L.; Filho, C. S. F.; Efeito da secagem e do armazenamento das sementes de pinhão-mansô (*Jatropha curcas* L.) na qualidade do óleo. *Revista Científica*, v.1, n.1, p. 54-59, 2014.

Graça, C. M. M.; Determinação do índice de iodo a partir da composição dos óleos. Dissertação (mestrado em química). Universidade de Aveiro. Portugal, 2010.

Grunvald, A. K.; Carvalho; C. G. P. de; Oliveira, A. C. B.; Andrade, C. A. B. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de girassol nos estados do Rio Grande do Sul e Paraná. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 33, n. 5, p. 1195-1204, 2009.

Instituto Adolfo Lutz. Métodos Físico-Químicos para análises de alimentos. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

José, S.C.B.R.; Salomão, A.N.; Costa, T.S.A.; Silva J.T.T.T.; Curi, C.C.S. Armazenamento de sementes de girassol em temperaturas subzero: aspectos fisiológicos e bioquímicos. *Revista Brasileira de Sementes*, v.32. n.4, p.29-38, 2010.

Leite, R. M. V. B. de C.; Júnior, A. de O.; Filho, A. B. B.; Girassol – XX Reunião Nacional de Pesquisa de Girassol. Anais VIII Simpósio Nacional sobre a Cultura do Girassol. 2013.

Lima, D.C.; Dutra, A.S.; Pontes, F. m.; Bezerra, F.T.C. Storage of sunflower seeds. *Revista Ciência Agronômica*, v. 45, n. 2, p. 361-369, 2014.

Marcos Filho, J. *Fisiologia de sementes de plantas cultivadas*. Piracicaba: FEALQ, v. 12, 2005. 495p.

Masetto, T. E.; Gordin, C. R. B.; Quadros, J. B.; Rezende, R. K. S.; Scalon, S. P. Q. Armazenamento de sementes de *Crambe abyssinica* Hochst. ex R.E.Fr. em diferentes embalagens e ambientes. *Revista Ceres*, v.60, n.5, p.646-652, 2013.

Nozaki, V. T.; Munhoz, C. L.; Guimarães, R. C. A.; Hiane, P. A.; Andreu, M. P.; Viana, L. H.; Macedo, M. L. R. Perfil lipídico da polpa e amêndoa da guarirova. *Ciência Rural*, v.42, n. 8, p.1518-1523, 2012.

O'brien, R.D. Fat an oils. In: O'brien R.D. (Ed.). *Fats and oils formulating and processing for applications*. Boca Raton: CRC Press, 2004. p.175-232.

Pohndorf, R. S.; Efeitos da umidade e do resfriamento no armazenamento sobre a qualidade de grãos e do óleo de soja para fins comestíveis e de produção de biodiesel. Rio Grande do Sul: Universidade Federal de Pelotas, 2012, 71p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial).

Popinigis, F. *Fisiologia da semente*. 2.ed. Brasília: AGIPLAN, 1985. 289p.

Siqueira, V.C.; Resende, O.; Chaves, T.H. Difusividade efetiva de grãos e frutos de pinhão-mansão. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 33, n.1, p. 2919-2930, 2012.

Silva, A.G.; Pires, R.; Moraes, E.B.; Oliveira, A.C.B.; CARVALHO, C.G.P. Desempenho de híbridos de girassol em espaçamentos reduzidos. *Semina*, v.30, n.1, p.31-38, 2009.

Silva, F. S.; Porto, A. G.; Pascuali, L. C.; Silva, F. T. C. Viabilidade do armazenamento de sementes em diferentes embalagens para pequenas propriedades rurais. *Revista de Ciências Agro- Ambientais*, v.8, n.1, p.45-56, 2010.

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.

Thomaz, G. L.; Zagonel, J.; Colasante, L. O.; Ramos Nogueira, R. Produção do girassol e teor de óleo nas sementes em diferentes épocas de semeadura no Centro-Sul do Paraná *Ciência Rural*, v. 42, p. 203-208, 2012.

Tonin, G. A.; Perez, S. C. J. G. A. Qualidade fisiológica de sementes de *Ocotea porosa* (Nees et Martius ex. Nees) após diferentes condições de armazenamento e semeadura. *Revista Brasileira de Sementes, Pelotas*, v.28, n.2, p. 26-33, 2006.

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, PR: ABRATES, 1999. Cap. 04, p.1-26.

## CONCLUSÃO GERAL

Os modelos Wang e Sing, Midilli, Logarítmico e Aproximação da Difusão podem ser usados para descrever a secagem dos grãos de girassol.

O coeficiente de difusão efetivo para os grãos de girassol aumenta com a elevação da temperatura do ar durante a secagem, e a energia de ativação de  $29,55 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ .

A redução do teor de água diminuiu a porosidade intergranular, as massas específicas aparente e unitária, velocidade terminal e contração volumétrica da massa e dos grãos.

A força necessária para romper os grãos de girassol aumenta à medida que diminuiu o teor de água, com valores entre 15,86 a 46,29 N. A força de compressão necessária para deformar o girassol diminuiu com o aumento do teor de água e o módulo proporcional de deformidade aumenta com a redução do teor de água. A deformação de ruptura varia entre 1,1 a 1,23 mm com a secagem dos grãos de girassol.

As embalagens influenciam na qualidade dos grãos de girassol, sendo a embalagem de papel a que proporcionou os melhores resultados nas características avaliadas. As embalagens PET e PEAD proporcionaram a menor perda de água nos grãos de girassol no decorrer do armazenamento.

As embalagens e o tempo de armazenamento não influenciaram no teor de óleo e no índice de iodo dos grãos de girassol, todavia, embalagem PET proporcionou maior incremento no índice de acidez e as embalagens PET e PEAD proporcionaram os maiores índices de peróxido ao final do armazenamento.