

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

PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DAS  
SEMENTES DE SORGO GRANÍFERO (*Sorghum bicolor* L.  
Moench) DURANTE A SECAGEM E QUALIDADE  
FISIOLÓGICA DURANTE O ARMAZENAMENTO

Autora: Gabrielly Bernardes Rodrigues

Orientador: Prof. Dr. Osvaldo Resende

RIO VERDE – GO

Julho, 2018

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

PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DAS  
SEMENTES DE SORGO GRANÍFERO (*Sorghum bicolor* L.  
Moench) DURANTE A SECAGEM E QUALIDADE  
FISIOLÓGICA DURANTE O ARMAZENAMENTO

Autora: Gabrielly Bernardes Rodrigues

Orientador: Prof. Dr. Osvaldo Resende

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

RIO VERDE – GO

Julho, 2018

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

PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DAS  
SEMENTES DE SORGO GRANÍFERO (SORGHUM  
BICOLOR L. MOENCH) DURANTE A SECAGEM E  
QUALIDADE FISIOLÓGICA DURANTE O  
ARMAZENAMENTO

Autora: Gabrielly Bernardes Rodrigues  
Orientador: Dr. Osvaldo Resende

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

APROVADA em, 11 de julho de 2018.

Prof. Dr. Daniel Emanuel Cabral de Oliveira  
Avaliador externo  
IF Goiano – Iporá/GO

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

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

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

RG118p Rodrigues, Gabrielly Bernardes Rodrigues  
PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DAS SEMENTES DE  
SORGO GRANÍFERO (*Sorghum bicolor* L. Moench) DURANTE  
A SECAGEM E QUALIDADE FISIOLÓGICA DURANTE O  
ARMAZENAMENTO / Gabrielly Bernardes Rodrigues  
Rodrigues; orientador Oswaldo Resende. -- Rio Verde,  
2018.  
80 p.

Dissertação (Graduação em CIÊNCIAS AGRÁRIAS) -  
Instituto Federal Goiano, Câmpus Rio Verde, 2018.

1. Pós-colheita. 2. teor de água. 3. vigor. I.  
Resende, Oswaldo , orient. II. Título.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela benção da vida, por dar-me forças nos momentos de fraqueza e por se conectar a mim através da fé, ofertando-me amor, motivação e esperança.

A minha mãe, que tem sido companheira fiel desde o início da minha caminhada acadêmica, oferecendo todo amor, compreensão, paciência, amizade e suporte para que eu pudesse seguir em frente em todos os obstáculos que encontrei pelo caminho.

A minha irmã Vanessa e minhas sobrinhas Geovana e Isadora, que me proporcionam tantos momentos de felicidade.

Ao professor Osvaldo Resende, por todos esses anos de orientação, sempre regados de muita compreensão, respeito, amizade e paciência em todas as minhas fases de evolução.

A todos os meus familiares e amigos, que mesmo indiretamente sempre me apoiaram.

Aos colegas do Laboratório de Pós- Colheita de Produtos Vegetais: Weder, Kelly, Daniel, Diene, Gleyckelle e Jaqueline pela amizade e auxílio constante em todo esse tempo que passamos juntos. Minha eterna gratidão por Deus ter me preparado tantas pessoas que me ajudaram em todos os momentos em que necessitei.

Em especial, agradeço de coração a Lígia que tanto me ajudou na montagem e condução dos experimentos, não medindo esforços em me acompanhar em todos os momentos em que precisei de colaboração.

Ao Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, pela oportunidade de capacitação para o mercado de trabalho.

A CAPES pelo auxílio financeiro concedido desde o meu ingresso no Programa de Pós-graduação, recurso este que me possibilitou dar continuidade de forma integral aos estudos.

## BIOGRAFIA DO AUTOR

GABRIELLY BERNARDES RODRIGUES, filha de Divino Bernardes Rodrigues e Maria Aparecida de Sousa, nascida em Jaraguá – GO, em 3 de dezembro de 1993.

Em março de 2013, iniciou-se o curso de Agronomia no Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, graduando-se em agosto de 2016. No mesmo ano, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias/Agronomia, em nível de mestrado.

## ÍNDICE

	Página
ÍNDICE DE TABELAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE SIMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES.....	xi
RESUMO.....	xii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUÇÃO GERAL.....	16
1.1. Sorgo granífero.....	18
1.2. Secagem.....	19
1.3. Armazenamento.....	21
1.4. Referências bibliográficas.....	23
OBJETIVOS.....	27
Capítulo 1. Propriedades físicas das sementes de sorgo granífero	28
Resumo.....	29
Abstract.....	29
Introdução.....	29
Material e métodos.....	31

Resultados e discussão.....	34
Conclusões.....	39
Literatura citada.....	40
Capítulo 2. Propriedades mecânicas das sementes de sorgo granífero submetidos a compressão em diferentes teores de água.	43
Resumo.....	43
Abstract.....	44
Introdução.....	44
Material e métodos.....	45
Resultados e discussão.....	48
Conclusões.....	55
Literatura citada.....	56
Capítulo 3. Qualidade fisiológica das sementes de sorgo granífero ao longo do armazenamento.	58
Resumo.....	58
Abstract.....	59
Introdução.....	59
Material e métodos.....	61
Resultados e discussão.....	63
Conclusões.....	71
Literatura citada.....	72
CONCLUSÃO GERAL.....	76

## ÍNDICE DE TABELAS

	Página
Capítulo 1. Propriedades físicas das sementes de sorgo granífero.	
Tabela 1. Resumo da análise de variância para Massas específicas aparente ( $\rho_{ap}$ ) e unitária ( $\rho_u$ ), Porosidade ( $\epsilon$ ), Contração volumétrica da massa ( $\psi$ ) e Velocidade terminal (VT). Onde: Temperatura (T), Teor de água (Ta) e interação (T x Ta) entre os dois fatores.....	34
Tabela 2. Média dos valores de massa específica aparente e unitária em função das diferentes temperaturas de secagem.....	35
Capítulo 2. Propriedades mecânicas das sementes de sorgo granífero submetidos a compressão em diferentes teores de água.	
Tabela 1. Valores médios dos raios de curvatura das sementes de sorgo granífero (m) para cada teor de água (%b.s.) .....	49
Tabela 2. Valores da deformação total (D), módulo de elasticidade (E), força (F) tangente e secante nas temperaturas de 60, 80 e 100 °C.....	50
Tabela 3. Equações ajustadas aos valores experimentais do módulo proporcional de deformidade das sementes de sorgo sacarino ( $E_p$ ) em função do teor de água (Ta) e da deformação (D), para as temperaturas de secagem.....	53
Capítulo 3. Qualidade fisiológica das sementes de sorgo granífero ao longo do armazenamento.	
Tabela 1: Resumo da Análise de variância para Teor de água (TA); Emergência (EM); Índice de velocidade de emergência (IVE); Condutividade elétrica (CE) e	

Envelhecimento acelerado (EA); Comprimento de plântulas (CP), Comprimento radicular (CR) e Massa seca (MS). Onde os fatores de variação são: Temperatura (T), Épocas de armazenamento (Ea) e a interação (T x Ea) entre os tratamentos.....	63
Tabela 2. Equações quadráticas ajustadas para os valores obtidos na avaliação de comprimento de plântulas (cm) das sementes de sorgo granífero armazenadas em sacos de papel kraft por 180 dias.....	69

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Capítulo 1. Propriedades físicas das sementes de sorgo granífero.	
Figura 1. Desenho esquemático do determinador de velocidade terminal.....	33
Figura 2. Valores experimentais e estimados da massa específica aparente (A) e unitária (B) de sementes de sorgo granífero em função do teor de água (% b.u.) .....	35
Figura 3. Valores experimentais e estimados da porosidade intergranular de sementes de sorgo granífero em função do teor de água (% b.u.) .....	36
Figura 4. Valores experimentais e estimados da contração volumétrica da massa (A) e índice de contração volumétrica da massa de sementes de sorgo granífero (B) de sementes de em função do teor de água (% b.u.) .....	37
Figura 5. Valores experimentais da velocidade terminal das sementes de sorgo granífero em função do teor de água (% b.u.) para a temperatura de 80 °C.....	39
Capítulo 2. Propriedades mecânicas das sementes de sorgo granífero submetidos a compressão em diferentes teores de água.	
Figura 1. Orientação das sementes durante o ensaio de compressão na posição natural de repouso do sorgo granífero.....	46

Figura 2. Raio de curvatura das sementes de sorgo granífero na região de contato entre os produtos e a placa de compressão.....	48
Figura 3. Valores experimentais e estimados da força de ruptura em função do teor de água das sementes de sorgo granífero.....	51
Figura 4: Valores máximos médios de força de compressão para as temperaturas de secagem de 60 (A), 80 (B) e 100 (C) °C em função do teor de água.....	52
Figura 5: Valores médios do módulo proporcional de deformidade das sementes de sorgo sacarino ( $N\ m^{-2}$ ), em função do teor de água (decimal b.s.) e da deformação para as temperaturas de secagem de 60, 80 e 100 °C.....	54
Capítulo 3. Qualidade fisiológica das sementes de sorgo granífero ao longo do armazenamento.	
Figura 1. Dados de Temperatura (°C) e Umidade relativa (%) do ambiente de armazenamento das sementes de sorgo granífero.....	64
Figura 2. Teor de água das sementes de sorgo granífero armazenadas em sacos de papel kraft por 180 dias.....	65
Figura 3. Dados de plântulas normais avaliadas pelo teste de Emergência das sementes de sorgo granífero armazenados em sacos de papel kraft por 180 dias.....	66
Figura 4. Envelhecimento acelerado (A) e Condutividade elétrica (B) das sementes de sorgo granífero armazenados em sacos de papel kraft por 180 dias.....	67
Figura 5. Comprimento de plântulas das sementes de sorgo granífero armazenados em sacos de papel kraft por 180 dias.....	69
Figura 6. Comprimento de raiz das sementes de sorgo granífero armazenados em sacos de papel kraft por 180 dias.....	70
Figura 7. Massa seca das sementes de sorgo granífero armazenados em sacos de papel kraft por 180 dias.....	71

## LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

b.u.	Base úmida.....	kg de água kg de massa total <sup>-1</sup>
b.s.	Base seca.....	kg de matéria seca kg de massa seca <sup>-1</sup>
CC	Comprimento do caule.....	cm
CE	Condutividade elétrica .....	mS cm <sup>-1</sup> g <sup>-1</sup>
cm	Centímetro.....	-
CP	Comprimento da plântula.....	cm
CR	Comprimento da raiz.....	cm
CV	Coefficiente de variação.....	-
EM	Emergência de plântulas.....	%
EA	Envelhecimento acelerado.....	%
Ep	Época de armazenamento .....	dias
g	Gramas.....	-
M	Metros.....	-
mm	Milímetros.....	-
MS	Massa seca.....	g
mS	Mili simens.....	-
mL	Mililitros.....	-
Pa	pascal.....	-
T	Temperatura.....	°C
Ta	Teor de água.....	-
UR	Umidade Relativa .....	%
%	Porcentagem.....	-

## RESUMO

RODRIGUES, GABRIELLY. BERNARDES; Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, julho de 2018. **Propriedades físicas e mecânicas das sementes de sorgo granífero (*Sorghum bicolor* L. moench) durante a secagem e qualidade fisiológica durante o armazenamento.** Orientador: Dr. Osvaldo Resende.

O sorgo granífero é uma planta cultivada no Brasil que pode substituir o milho durante a segunda safra, com a finalidade de obtenção de grãos para produção de ração animal. A secagem é uma operação comumente realizada na pós-colheita dos grãos, onde parte do conteúdo de água é removido, visando a maior estabilidade e segurança no período de armazenagem. O armazenamento constitui uma etapa importante para abastecer a indústria em períodos de entressafra, de forma que esse processo não comprometa a qualidade e estabilidade do produto armazenado. Diante disso, objetivou-se avaliar as propriedades físicas e mecânicas em diferentes teores de água, bem como a qualidade fisiológica das sementes de sorgo granífero após a secagem e ao longo do armazenamento. As sementes foram colhidas com teor de água de aproximadamente 34% (b.u.) e submetidas a secagem em estufa com circulação forçada de ar, mediante diferentes temperaturas 60, 80 e 100 °C. Onde foram realizadas as seguintes análises: porosidade intergranular, massas específicas aparente e real, contração volumétrica, velocidade terminal, força de ruptura e pelo módulo proporcional de deformidade das

sementes em diferentes teores de água. Posteriormente, outro lote de sementes com aproximadamente 21% (b.u.) foi preparado e submetido a secagem em estufa com circulação forçada de ar, mediante diferentes temperaturas 40, 50, 60 e 70 °C, para avaliação da qualidade fisiológica das sementes durante o armazenamento. Após a secagem, foram avaliados o teor de água, índice de velocidade de emergência, crescimento de plântulas, envelhecimento acelerado e condutividade elétrica, ao longo de seis meses de armazenamento em ambiente de laboratório. Os experimentos foram montados em delineamento inteiramente casualizado. Para as propriedades físicas e mecânicas foram utilizados o esquema fatorial 3x6 (temperaturas x teores de água) e 3x6x5 (temperaturas x teores de água x deformações), respectivamente. Para a qualidade fisiológica o experimento foi montado em parcela subdividida 4 x 4 (temperaturas x tempo), com três repetições. Os dados foram analisados por meio de regressão. A redução do teor de água das sementes influencia sensivelmente as propriedades físicas e mecânicas, visto que ao longo do processo de redução de água houve um aumento na contração das sementes em todas as temperaturas de secagem avaliadas e maior resistência das sementes a compressão e ruptura. A velocidade terminal sofre um decréscimo a medida que o teor de água das sementes é reduzido. Em relação a qualidade fisiológica, foi observado que altas temperaturas de secagem resultam em prejuízos na formação radicular e desenvolvimento das plântulas de sorgo e o tempo de armazenamento promoveu redução do vigor das sementes, sendo possível observar efeitos negativos à qualidade a partir dos 60 dias de armazenagem.

**Palavras-chave:** Pós-colheita, teor de água, vigor.

## ABSTRACT

RODRIGUES, GABRIELLY. BERNARDES; Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, July 2018. **Physical and mechanical properties of sorghum seeds (*Sorghum bicolor* L. moench) during drying and physiological quality of grain sorghum seeds during storage.** Advisor: Dr. Osvaldo Resende.

Grain sorghum is a plant grown in Brazil that can replace maize during the second harvest, with the purpose of obtaining grains for the production of animal feed. Drying is a commonly performed post grain harvest operation, where part of the moisture content is removed, aiming for greater stability and safety in the storage period. Storage is an important step to supply the industry in off-season so that this process does not compromise the quality and stability of the stored product. The objective of this study was to evaluate the physical and mechanical properties in different moisture contents, as well as the physiological quality of seeds of sorghum after drying and storage. The seeds were harvested with a moisture content of approximately 34% (b.u.) and subjected to oven drying with forced air circulation, at different temperatures of 60, 80 and 100 °C. Where the following analyzes were carried out: intergranular porosity, apparent and actual specific masses, volumetric contraction, terminal velocity, rupture force and proportional modulus of seed deformity at different moisture contents. Later, another batch of seeds with approximately 21% (b.u.) was prepared and subjected to oven drying with forced air circulation, at different temperatures 40, 50, 60 and 70 °C, to evaluate the physiological quality of the seeds during storage. After drying, moisture content, emergence velocity index, seedling growth, accelerated aging and electrical conductivity were evaluated over six months of storage in a laboratory environment. The experiments were assembled in a completely randomized design. For the physical and mechanical properties were used the factorial scheme 3x6 (temperatures x moisture

contents) and 3x6x5 (temperatures x moisture contents x deformations), respectively. For the physiological quality, the experiment was set up in a subdivided plot 4 x 4 (temperatures x time), with three replicates. Data were analyzed by means of regression. The reduction of the moisture content of the seeds significantly influenced the physical and mechanical properties, since during the process of moisture reduction there was an increase in the seed contraction at all the drying temperatures evaluated and the seeds resistance to compression and rupture. The terminal velocity decreases as the moisture content of the seeds is reduced. Regarding the physiological quality, it was observed that high drying temperatures resulted in losses in root formation and development of sorghum seedlings and the storage time promoted reduction of seed vigor, and it was possible to observe negative effects on quality from 60 days storage.

**Key-words:** Post-harvest, moisture content, vigor.

## INTRODUÇÃO

A espécie do sorgo é oriunda da África e vem sendo domesticada por meio da intervenção humana para atender as suas necessidades (ROSA, 2012). Apresenta características agronômicas como: rusticidade, se adequando a diferentes ambientes onde outras culturas não se estabelecem, tolerância ao déficit hídrico e a altas temperaturas, menor custo de produção e boa produtividade (LANDAU & NETTO, 2015).

Agronomicamente é dividido em quatro grupos que se distinguem por suas características e finalidade de produção: granífero, sacarino, forrageiro e vassoura. O sorgo granífero apresenta porte baixo (até 1,70 m) e produz panículas maiores, onde o principal produto de interesse comercial é os grãos. Já o sorgo sacarino exibe um alto porte, produzindo plantas superiores a dois metros, apresentam colmos doces e suculentos, a panícula é aberta e produz poucos grãos; este tipo de sorgo é destinado a produção de açúcar, álcool e também na alimentação animal por meio da produção de silagem. O sorgo forrageiro apresenta estrutura similar ao sacarino, no entanto, a finalidade deste é a produção de silagem, feno ou pastejo. O sorgo vassoura por fim, apresenta importância regionalizada (Sul e Sudeste do Brasil), destina-se a produção artesanal e vassouras (RIBAS, 2008).

No Brasil o sorgo é amplamente cultivado em diversas regiões. No estado do Rio Grande do Sul é implantado como cultura de verão, já no Centro Oeste em sucessão

a plantios de verão, sendo uma opção para segunda safra. De acordo com dados do Conab (2017) referente a safrinha do ano de 2017, o estado de Goiás lidera o ranking com 44,1% de participação da produção total do país, seguido por Minas Gerais com 27,6% e Mato Grosso ocupando o terceiro lugar e cerca de 11% de participação na produção.

Diversos fatores possuem a capacidade de influenciar os índices de produção, dentre eles, a correta realização da secagem e armazenagem das sementes, a escolha de um material genético que apresente boa qualidade do ponto de vista físico e fisiológico, somado à adequadas práticas culturais, esse conjunto de informações são importantes para obtenção de um *stand* de plantas viáveis e saudáveis, que possam alcançar índices satisfatórios de produtividade, ainda que em pequenas áreas de produção.

É de extrema importância conhecer todos esses fatores que causam influência na qualidade do lote. Nesse sentido, o propósito com esse trabalho é avaliar as características físicas, conhecer a sua capacidade de resistência a impactos e danificações e o vigor dessas sementes, compondo um conjunto de dados imprescindíveis que visam assegurar a qualidade e estabilidade do produto ao longo das etapas de pós-colheita até a semeadura em campo, com base nessas informações somadas a outras variáveis, é possível prever e garantir ao produtor final uma adequada produtividade e rentabilidade de produção.

## 1.1 Sorgo Granífero

O sorgo pertence à família das gramíneas, gênero *Sorghum*, espécie *Sorghum bicolor* L. Moench. É uma planta C4, de dias curtos e altas taxas fotossintéticas, se desenvolve bem em ambientes com temperatura em torno de 33 e 34 °C. Apresenta boa tolerância ao déficit hídrico e também ao excesso de água do solo, sensível ao frio e boa adaptação em uma ampla faixa de condições do solo (MAGALHÃES et al., 2008).

Possui sistema radicular profundo e ramificado, o que possibilita eficácia na extração de água e nutrientes da solução do solo; o caule é dividido em nós e entrenós, as folhas situam-se ao longo de todo o caule, sua inflorescência é denominada de panícula, onde estão os frutos (sementes) denominados de cariopse (SILVA, 2010).

Os sorgos em geral são classificados quanto ao porte e a proporção de grãos. No tipo granífero, a planta chega a medir 1,70 m de altura, sendo considerado de médio porte. A quantidade de grãos pertencentes a panícula é a principal característica nesse

tipo de sorgo, essa característica é determinante para a qualidade de silagens e rações (ROCHA JUNIOR. et al., 2000). Necessita de 450 a 500 mm de água durante seu ciclo e apresenta dois períodos críticos de exigência hídrica, a germinação (20 – 25 dias após a semeadura) e a floração (MAGALHÃES et al., 2008).

Devido a sua versatilidade e fácil adaptação a diferentes locais de produção, o sorgo granífero vem se tornando uma alternativa ao plantio de milho por oferecer similar valor nutritivo (CHIELLE et al., 2013). Apresenta finalidades de consumo na alimentação animal, na produção de rações e humana na fabricação de farinhas, cervejas, panificação e amido industrial (MARTINKOSKI & VOGEL, 2013).

O consumo deste cereal na população africana e asiática chega a suprir 70% das necessidades de ingestão calórica diária, em outros países a busca pela farinha de sorgo tem crescido devido a sua característica de ser isento ao glúten, que atende a necessidade de alimentação de pessoas celíacas. No Brasil, a produção de sorgo é destinada praticamente para a produção de ração animal, principalmente para animais ruminantes (QUEIROZ et al., 2009).

Pelo fato das sementes de sorgo não apresentarem proteção externa e se manterem expostas na panícula, a planta produz diversos compostos fenólicos os quais atuam como protetores contra a herbivoria, pássaros, patógenos e outros competidores (MAGALHÃES et al., 2008).

Dentre as substâncias produzidas pelo metabolismo da planta, o tanino é um composto que auxilia na proteção, no entanto, é antinutricional no consumo por animais monogástricos, já que esta substância é antidigestiva devido a formação de complexas ligações entre as moléculas de proteínas, carboidratos e outros nutrientes, reduzindo o valor nutricional do alimento, a palatabilidade e também a digestibilidade (MAGALHÃES et al., 2008). Nas variedades de sorgo que apresentam tanino, esse composto está concentrado na testa da semente, localizada abaixo do pericarpo (AWIKA & ROONEY, 2004).

Existem diversas cultivares disponíveis no mercado, que variam em relação a presença/ausência de taninos, ciclo, porte, região de melhor adaptação, resistência a pragas e doenças, resistência ao acamamento, entre outras características. Essas características juntamente ao vigor possibilitam a melhor opção de escolha ao produtor para que possa implantar a semente em campo obtendo resultados positivos de acordo com a finalidade de produção.

## 1.2 Secagem

Para a produção de sementes com alta qualidade fisiológica e vigor, a colheita antecipada é um recurso que possibilita esse objetivo, devido a exposição minimizada a fatores bióticos e abióticos encontrados no campo, no entanto, essa colheita será realizada com o teor de água ainda elevado, tornando-se necessário o processo de remoção de parte do conteúdo de água por meio da secagem (MATHIAS et al., 2017).

A secagem constitui uma das etapas pós-colheita dos produtos agrícolas que visa a remoção de parte da água contida nas sementes para as próximas etapas de processamento. É entendida como um processo simultâneo de transferência de calor e massa entre o produto e o ar de secagem, onde a água sofre uma movimentação decorrente da diferença de vapor d'água entre a superfície do produto e o ar que o envolve permitindo a sua saída (SILVA et al, 2008). A secagem de sementes/grãos deverá preservar o aspecto físico (aparência), químico (nutricional) e viabilidade (vigor).

A necessidade da secagem ocorre por meio de diferentes aspectos: retirar o produto rapidamente do campo, sem necessariamente estar no nível adequado de teor de água, impedindo o ataque de patógenos; reduzir as perdas em campo; disponibilizar área para novos cultivos; permitir o armazenamento seguro por longos períodos; a manutenção da qualidade e viabilidade do lote armazenado, diminuindo a incidência e a proliferação de organismos patogênicos (SILVA et al, 2008).

O produto deve permanecer em campo até que a colheita mecanizada possa ser realizada sem a ocorrência de maiores danificações físicas. Nesta fase, o teor de água ainda está inadequado para permitir o armazenamento seguro, apresentando a necessidade de se realizar a secagem artificial. Nesse sentido, a colheita das sementes deve ser administrada quando o teor de água situa-se entre 14 a 17% (b.u.). Este material deverá ser encaminhado para a secagem artificial onde passará pela redução do teor de água até atingir entre 12 e 13% (b.u.), que é a faixa estável para armazenagem do sorgo (ROSA, 2012).

Cada produto agrícola apresenta um comportamento durante a secagem, características físicas (tamanho, forma e presença de estruturas protetoras), camada de produto, temperatura de secagem, umidade relativa, teor de água, entre outros aspectos são influenciados nesta etapa. O sorgo granífero por se tratar de uma semente pequena

sem a presença de estruturas protetoras apresenta a secagem mais rápida quando comparado a outros produtos que possuem tamanhos maiores (SILVA et al., 2008).

Essa redução do teor de água promove intensas modificações estruturais e conformacionais nas sementes alterando as suas propriedades físicas e resistência mecânica e por obter significativa influência na estabilidade de armazenamento está sendo amplamente estudado nas pesquisas relacionadas a práticas de pós-colheita (GRANELLA et al., 2015).

O estudo das propriedades físicas e mecânicas dos produtos vegetais é um dos pré-requisitos para otimização de diversas etapas da produção agrícola. A partir desse conhecimento é possível projetar e dimensionar máquinas e equipamentos destinados a semeadura, colheita, transportadores, secagem, armazenamento e aeração, além disso, o estudo a cerca dessas características das sementes possibilita a otimização na condução de diferentes processos como: estimativa da velocidade de secagem, desempenho das máquinas de limpeza, aeração, classificação, expurgo, dimensionamento da capacidade estática de silos, correias transportadoras, moegas, dutos e rampas de descargas de sementes, entre outros (SILVA et al., 2008).

As principais propriedades físicas estudadas são: forma e volume, ângulo de repouso, massa específica, porosidade, contração volumétrica e velocidade terminal.

Ao estudar as propriedades mecânicas, sabe-se que desde a semeadura até a comercialização das sementes, essas estruturas são submetidas ao uso de maquinários e intensas movimentações durante as etapas de produção, resultando em danificações estruturais como: rachaduras, abrasões, trincas e quebras, acarretando diversos problemas físicos.

As sementes danificadas favorecem a maior intensidade no processo de deterioração durante o armazenamento, pois facilitam a ação de insetos secundários e microrganismos. Além disso, ocorre intensificação da perda de matéria seca, e, conseqüentemente, perda da qualidade nutricional do alimento, além de reduzir a viabilidade e o potencial de armazenagem do produto. Quando se trata de sementes, essas injúrias são ainda mais prejudiciais, pois além dos efeitos negativos no potencial de armazenamento, há um decréscimo da qualidade fisiológica das mesmas, acarretando redução intensa da porcentagem de germinação, emergência, vigor e menor desempenho de formação do estande de plantas em campo (RIGO, 2013).

De acordo com França Neto et al. (1998) os danos mecânicos nas sementes podem ser visíveis ou imediatos e invisíveis ou latentes, sendo que os imediatos são prontamente observados por meio de tegumentos quebrados e cotilédones separados, enquanto, nos latentes, há trincas microscópicas ou danos internos no embrião, sob os quais não é possível observar a olho nu.

As propriedades mecânicas são baseadas em um conjunto de análises geométricas e de características superficiais do produto como firmeza, fibrosidade, resistência e elasticidade (CHITARRA & CHITARRA, 2005). Utilizando o teste de compressão obtêm-se parâmetros que predizem a resposta do material quando submetido a uma determinada carga. Conhecer a resistência das sementes é indispensável para reduzir possíveis danificações e manter a qualidade do produto até a comercialização.

Considerando todas essas variáveis explanadas, torna-se imprescindível a busca por conhecimentos que possibilitem o embasamento teórico em relação ao estudo da secagem, propriedades físicas e mecânicas desses materiais biológicos, uma vez que esse conhecimento refletirá na garantia e sucesso do processo de armazenamento, possibilitando a oferta de produtos com qualidade para a produção agrícola.

### **1.3 Armazenamento**

O armazenamento de sementes é uma etapa de extrema importância comercial, no sentido de abastecer a indústria principalmente em períodos de entressafra, quando ocorre a menor oferta de matéria-prima. A principal finalidade desta etapa é preservar a qualidade do produto retirado do campo por longos períodos, reduzindo ao máximo o processo deteriorativo. A velocidade e a intensidade desses processos de alterações químicas, bioquímicas, físicas e fisiológicas dependem da qualidade intrínseca das sementes, do sistema de armazenamento e dos fatores ambientais (ELIAS et al., 2017).

A qualidade das sementes é um conjunto de características construídas ainda no campo, onde fatores inerentes a variedade juntamente a condições ambientais ao longo do seu desenvolvimento e métodos de colheita refletem fortemente no produto final que será destinado para as seguintes etapas de processamento (FONSECA, 2007). Alguns fatores podem influenciar intensamente a dinâmica do armazenamento, como: teor de

água das sementes, temperatura, umidade relativa, disponibilidade de oxigênio, presença de insetos, sementes quebradas, presença de impurezas, entre outros.

As sementes são organismos vivos, portanto, apresentam atividade respiratória. Quando armazenadas com alto teor de água, o metabolismo desses organismos se intensifica, permitindo maior taxa de respiração. Quando associado a alta temperatura o processo de deterioração é ainda mais acelerado, pois ocorre maior liberação de água e calor para a massa de grãos e sementes, tornando o ambiente propício para o desenvolvimento microbiológico e reprodução de insetos, resultando em grandes perdas de ordem qualitativa e quantitativa (ULLMANN et al., 2015). Dessa forma, a qualidade e estabilidade do lote armazenado depende da adequada condução dessa etapa, por meio de um ambiente estável e apropriado.

De acordo com Elias et al. (2017) as perdas quantitativas são as mais facilmente notáveis pois afetam na redução do conteúdo da matéria seca dos grãos e sementes. Já as qualitativas são ocasionadas devido às reações químicas enzimáticas e/ou não enzimáticas, à presença de materiais estranhos, impurezas e aos resíduos metabólicos dos organismos associados, ocasionando perdas de valor nutricional e comercial, podendo existir formação de substâncias tóxicas na massa de grãos e sementes, se o armazenamento não for satisfatoriamente administrado.

O sorgo é passível de um longo armazenamento, sem causar perdas significativas de qualidade. O ambiente deve ser seco, ventilado, protegido contra ação de insetos e roedores. Além disso, deve-se evitar a presença de insetos e pragas que podem danificar o produto em qualquer ambiente e sistema de armazenamento (ROSA, 2012).

A redução da qualidade fisiológica das sementes é observada por meio da redução dos valores de porcentagem de germinação, aumento de plântulas anormais e redução do vigor das plântulas (TOLEDO et al., 2009). São utilizados diversos testes a nível de laboratório que possibilitam realizar a estimativa dessa qualidade e o efeito de processos de deterioração, como: porcentagem de germinação, condutividade elétrica, envelhecimento acelerado, tetrazólio, emergência, entre outros. O objetivo da realização destas análises é conhecer o potencial fisiológico das sementes para a formação de plantas saudáveis e vigorosas quando submetidas às condições de campo por meio da seleção de lotes com material genético superior.

Por meio da necessidade de elevar a produtividade em campo e assegurar a qualidade do produto durante os processos pós-colheita, pesquisas sobre diferentes

métodos de secagem, armazenamento e sua influência na qualidade final das sementes se tornam cada vez mais importantes.

#### **1.4 Referências Bibliográficas**

ARAÚJO, W. D.; GONELI, A. L. D.; SOUZA, C. M. A. de; GONÇALVES, A. A.; VILHASANTI, H. C. B. Propriedades físicas dos grãos de amendoim durante a secagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.3, p.279–286, 2014.

AWIKA, J. M.; ROONEY, L. W. Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. **Phytochemistry**, v. 65, n.9, p.1199-1221, 2004.

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

CAVALCANTE MATA, M. E. R. M.; DUARTE, M. E. M. Porosidade intergranular de produtos agrícolas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.4, n.1, p.79-93, 2002

CHIELLE, Z. G.; GOMES, J. F.; ZUCHI, J.; GABE, N. L.; RODRIGUES, L. R. Desempenho de genótipos de sorgo silageiro no Rio Grande do Sul na safra 2011/2012. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.12, n.3, p.260-269, 2013.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio, 2 ed., UFLA, Lavras, 2005. 785 p.

CORRÊA, P. C.; SILVA, J. de S. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Estrutura, composição e propriedades dos grãos. 2. ed. Viçosa: Aprenda fácil, 2008. 560p.

ELIAS, M. C.; OLIVEIRA, M. de; VANIER, N. L. **Tecnologias de pré-armazenamento, armazenamento e conservação de grãos**. UFPEL, Pelotas, 1 ed. 2017.

FERNANDES, L. S.; CORRÊA, P. C.; DINIZ, M. D. M. S.; LEITE, D. M.; VASCONCELLOS, D. de S. L. Influência do teor de água nas propriedades mecânicas dos grãos de trigo submetidos à compressão. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 1, p. 219-223, 2014.

- FONSECA, M. J. de O. **Cultivo do sorgo**. Embrapa Milho e Sorgo, Sistemas de produção, 2, versão eletrônica, 3 ed. 2007.
- FRANÇA-NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C.; COSTA, N.P. **O teste de tetrazólio em sementes de soja**. Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 1998. 72p. (Documentos, 116).
- GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; MAGALHÃES, F. E. A.; BAPTESTINI, F.M. Contração volumétrica e forma dos frutos de mamona durante a secagem. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.33, n.1, p.1-8, 2011.
- LANDAU, E. C.; NETTO, D. A. M.; **Expansão potencial da produção de sorgo granífero no Brasil no sistema de rotação com soja considerando o zoneamento de risco climático 2015/16**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, ISSN 1679-0154, 125. Embrapa Milho e Sorgo, 2015.
- MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; RODRIGUES, J. A. S. **Cultivo do Sorgo: Ecofisiologia**. Embrapa Milho e Sorgo, Sistemas de produção 2, ISSN n° 1679-012X Versão eletrônica, 4° edição, 2008.
- MARTINKOSKI, L.; VOGEL, G. F. Utilização de sorgo como alternativa na produção de silagem. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.8, n.5, p.177-187, 2013.
- MATHIAS, V.; PEREIRA, T.; MANTOVANI, A.; ZILIO, M.; MIOTTO, P.; COELHO, C. M. M.; Implicações da época de colheita sobre a qualidade fisiológica de sementes de soja. **Revista Agroambiente**, v.11, n.3, p.223-231, 2017.
- MOHSENIN, N. N. **Physical properties of plant and animal materials**. New York: Gordon and Breach Publishers, 1986. 841p.
- PASQUALI, G. A. M. **Níveis de inclusão de sorgo e adição de enzimas exógenas em dietas para frangos de corte**. 2014. 76 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2014.
- QUEIROZ, V.A.V.; VIZZOTTO, M.; CARVALHO, C.W.P.; MARTINO, H.S.D. **O Sorgo na Alimentação Humana**. Circular Técnica, Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, Sete Lagoas, 2009.
- RESENDE, O. **Variação das propriedades físicas e mecânicas e da qualidade do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) durante a secagem e o armazenamento**. 2006. 180 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

- RIBAS, P. M. **Cultivo do sorgo: Importância econômica**. Embrapa Milho e Sorgo. Brasília. Sistemas de produção, 2. ISSN 1679-012X Versão eletrônica – 4º edição. 2008.
- RIBEIRO, D. M.; CORRÊA, P. P.; 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, n. 2, p.462 – 467, 2007.
- RIBEIRO, V. S.; SOBRAL, M. C.; ALMEIDA, M. M.; SILVA, G. F. Propriedades físicas de produtos agrícolas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.4, n.1, p.1-6, 2002.
- RIGO, G. A. **Qualidade fisiológica de sementes de soja em função da danificação mecânica**. 2013. 36 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Sementes). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2013.
- ROCHA JUNIOR, V. R.; GONÇALVES, L. C.; RODRIGUES, J. A. S.; BRITO, A. F.; RODRIGUEZ, N. M.; BORGES, I. **Avaliação de sete genótipos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) para produção de silagens. I – características agrônômicas**. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnista, v. 52, n.5, p. 1-7, 2000.
- ROSA, W. J. **Cultura do Sorgo**. Material técnico, EMATER, 2012.
- SANTOS, B. de A. P.; VIANA, C. D.; MURTA, L. V. F.; OLIVEIRA, M. T. de; ROMUALDO, M. A. de F.; FERNANDES, M. R. R.; LOPES, V. S.; Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento de Minas Gerais. **Sorgo**. Material técnico, MAPA, 2017.
- SILVA, J. S.; AFONSO, A. D. L.; DONZELLES, S. M. L.; NOGUEIRA, R. M. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas: Secagem e secadores**. 2º ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2008. 107 p.
- SILVA, T. T. de A.; **Qualidade de sementes de sorgo (*Sorghum bicolor* L.) durante a maturação, secagem e armazenamento**. 2010. 125 f. Tese (Doutorado em Agronomia / Fitotecnia). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.
- SMANIOTTO, T. A. de S.; RESENDE, O.; MARÇAL, K. A. F.; OLIVEIRA, D. E. C. de; SIMON, G. A. Qualidade fisiológica de sementes de soja armazenadas em diferentes condições. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n. 4, p. 446-453, 2014.
- SMANIOTTO, T. A. de S.; **Secagem e armazenamento de grãos de girassol**. 2016. 96 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias). Instituto Federal Goiano, Rio Verde, 2016.

SMANIOTTO, T. A. de; RESENDE, O.; SOUSA, K. A. de; CAMPOS, R. C.; GUIMARÃES, D. N.; RODRIGUES, G. B. Physical properties of sunflower seeds during drying. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, n.1, p.157-164, 2017.

TIECKER JUNIOR, A.; GUIMARÃES, L. E.; FERRARI FILHO, E.; CASTRO, B. de; PONTE, E. M. D.; DIONELLO, R. G.; Qualidade físico-química de grãos de milho armazenados com diferentes umidades em ambientes hermético e não hermético. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.13, n.2, p. 174-186, 2014.

TOLEDO, M. Z.; FONSECA, N. R.; CÉSAR, M. L.; SORATTO, R. P.; CAVARIANI, C.; CRUSCIOL, C. A. C. **Qualidade fisiológica e armazenamento de sementes de feijão em função da aplicação tardia de nitrogênio em cobertura**. Pesquisa Agropecuária Tropical, v.39, n.2, p.124-133, 2009.

ULLMANN, R.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H.; OLIVEIRA, D. E. C. de; COSTA, L. M.; Qualidade fisiológica das sementes de sorgo sacarino submetidas à secagem em diferentes condições de ar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.1, p.64–69, 2015.

## OBJETIVOS

### Geral

Analisar as propriedades físicas e mecânicas das sementes de sorgo granífero para diversos teores de água, bem como avaliar a qualidade fisiológica das sementes submetidas a diferentes condições de secagem durante seis meses de armazenamento.

### Específicos

Determinar e analisar a porosidade intergranular, contração volumétrica e o índice de contração volumétrica, massas específicas aparente e unitária e velocidade terminal das sementes de sorgo granífero ao longo da redução do teor de água em diferentes temperaturas de secagem;

Verificar a influência do teor de água nos valores da força máxima de compressão e determinar o módulo proporcional de deformidade das sementes submetidas a compressão na posição natural de repouso;

Determinar a força de ruptura necessária para o rompimento do tegumento das sementes de sorgo granífero;

Avaliar o efeito das diferentes temperaturas e tempos de armazenamento na qualidade fisiológica das sementes de sorgo granífero.

## CAPÍTULO I

### **Propriedades físicas das sementes de sorgo granífero submetidas a diferentes temperaturas de secagem**

(Normas de acordo com a revista Agrarian)

**Resumo:** O sorgo granífero no Brasil é cultivado com a finalidade de obtenção de grãos para fabricação de rações, silagens e feno para alimentação animal, visto que pode ser uma alternativa a produção de milho, por apresentar valor similar do ponto de vista nutricional, sendo cultivado em épocas onde a cultura do milho não se torna uma opção viável ou quando se deseja reduzir os custos de produção. Objetivou-se determinar e analisar as propriedades físicas das sementes de sorgo granífero ao longo da redução do teor de água em diferentes temperaturas de secagem. As sementes foram colhidas manualmente, quando se verificou que o teor de água se situava em 34% (b.u.). Após a homogeneização e preparação das amostras, as sementes foram submetidas à secagem em estufa com ventilação de ar forçada em três condições de temperatura: 60; 80 e 100 °C, até atingir o teor de água final de 9% (b.u.). As propriedades físicas analisadas foram: massas específicas aparente e unitária, porosidade intergranular, contração volumétrica da massa e velocidade terminal. A redução do teor de água das sementes influencia sensivelmente as propriedades físicas, visto que ao longo do processo de

redução de água houve um aumento na contração das sementes em todas as temperaturas de secagem avaliadas. A velocidade terminal diminui a medida que o teor de água das sementes é reduzido.

**Palavras-chave:** *Sorghum bicolor*, teor de água, velocidade terminal.

### Physical properties of seeds of sorghum

**Abstract:** The grain sorghum in Brazil is cultivated with the purpose of obtaining grains for the production of feed, silage and hay for animal feed, since it can be an alternative to corn production, because it presents similar value from the nutritional point of view, being cultivated in times when maize is not a viable option or when it is desired to reduce production costs. The objective of this study was to determine and analyze the physical properties of sorghum seeds during the reduction of moisture content at different drying temperatures. Seeds were harvested manually, when the moisture content was found to be 34% (b.u.), after the homogenization and preparation of the samples, the seeds were submitted to drying in forced air ventilation in three temperature conditions: 60; 80 and 100 °C until the final moisture content of 9% (b.u.) was reached. The physical properties analyzed were: apparent and unit specific masses, intergranular porosity, bulk volumetric contraction and terminal velocity. The reduction of the moisture content of the seeds strongly influences the physical properties, since during the water reduction process there was an increase in the seed contraction at all the drying temperatures evaluated. The terminal velocity decreases as the moisture content of the seeds is reduced.

**Key words:** *Sorghum bicolor*, moisture content, terminal velocity

## 1.1 INTRODUÇÃO

As sementes apresentam propriedades físicas variáveis e cada cultura exhibe características particulares, com alterações dentro de uma mesma espécie, e diferenças entre cultivares e variedades. Informações como: forma, tamanho, volume, porosidade intergranular, massa específica, velocidade terminal entre outras, são ferramentas indispensáveis envolvendo este estudo.

Na maioria das espécies, a forma, o tamanho e o volume das sementes são as características que mais sofrem alteração durante o processo de secagem. Smaniotto et al. (2017) observaram decréscimo da contração volumétrica da massa de grãos ao longo da secagem, isso se deve a diminuição do tamanho do tecido celular em função da redução de água presente no grão. Segundo os autores, esta contração volumétrica da massa de grãos, forma espaços vazios no interior dos secadores gerando maior passagem de ar quente nestes locais potencializando riscos de incêndio.

A porosidade intergranular pode ser compreendida como a porcentagem do volume total ocupado pelo ar em uma massa de grãos. Esses espaços vazios dependem diretamente da forma, tamanho e do volume dos grãos, além do teor de água e quantidade de impurezas presente na massa. A massa formada por grãos com superfície rugosa apresenta a porosidade maior quando comparada a uma massa formada por grãos com superfície lisa, isso ocorre devido a sua superfície de contato e a maneira como estes se acomodam na massa de grãos (ARAÚJO et al., 2014). O conhecimento da porosidade de uma massa de grãos fornece importantes informações para o dimensionamento de silos e contêineres, caixas, embalagens e unidades transportadoras, além de auxiliar no estudo envolvendo transferência de energia e massa, assim como a movimentação de ar em uma massa de grãos (GONELI et al., 2011).

De acordo com Mohsenin (1986), a massa específica é a razão entre a massa e o volume ocupado por esse produto, sendo real ou aparente. O diferencial entre elas é que a massa específica aparente inclui o volume dos espaços vazios existentes entre os grãos, enquanto a massa específica real considera apenas o volume ocupado pela massa de um grão, desconsiderando os espaços vazios. A aplicação desse conceito ocorre por meio da comercialização do produto, dimensionamento de silos, secadores, depósitos, transportadores e também como um parâmetro de qualidade dos grãos (CORRÊA & SILVA, 2008).

A velocidade terminal se baseia em um corpo em queda livre, sofrendo a ação de uma corrente de ar ascendente e com densidade inferior à do material, está sujeito à ação de três tipos de força: a força gravitacional, a força devido ao empuxo do fluido e a força de resistência ao arraste do material. Quando essas grandezas vetoriais se equilibram, o corpo passa a deslocar-se com velocidade constante, designada velocidade terminal (MOHSENIN, 1986). A velocidade terminal possui relevante importância em sistemas de separação, classificação e limpeza, transportadores pneumáticos, secagem, aeração, entre outros.

O estudo relacionado aos atributos físicos de sementes possui ampla importância nas diversas etapas de produção, desde a semeadura até a comercialização do produto. Dessa forma, objetivou-se determinar e analisar as propriedades físicas das sementes de sorgo granífero ao longo da redução do teor de água em diferentes temperaturas de secagem.

## 1.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Pós-colheita de Produtos Vegetais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - *Campus* Rio Verde (IF Goiano - *Campus* Rio Verde). Foram utilizadas sementes de sorgo granífero (Híbrido DKB 540) produzidas no município de Jataí – GO.

As sementes foram colhidas manualmente, quando se verificou o teor de água em torno 34% (b.u.), após a homogeneização e preparação das amostras, as sementes foram submetidas à secagem em estufa com ventilação de ar forçada em três condições de temperatura: 60; 80 e 100 °C em três repetições. A umidade relativa do ar ambiente foi monitorada por um data logger, onde foi verificado a média de 50,93%.

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  $9\% \pm 0,06$  (b.u.). O acompanhamento da redução da massa durante a secagem foi realizado com auxílio de uma balança analítica com resolução de 0,01g. Os teores de água do sorgo granífero foram determinados pelo método de estufa (BRASIL, 2009).

Durante a secagem, para cada teor de água obtido (34, 29, 24, 19, 14 e 9% b.u.), as amostras foram homogeneizadas e encaminhadas para a determinação das propriedades físicas, em três repetições.

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

A porosidade intergranular ( $\epsilon$ ) foi determinada utilizando-se uma proveta contendo 100 mL de sementes, na qual foi adicionado o hexano, conforme recomendação de Donadon et al. (2012), com auxílio de uma bureta de 50 mL, para preencher os espaços vazios da massa. A porosidade foi obtida medindo-se a quantidade de hexano adicionada na massa de produto e os resultados foram expressos em %.

A massa específica aparente ( $\rho_{ap}$ ), expressa em  $\text{kg m}^{-3}$ , foi determinada, utilizando-se uma balança eletrônica de peso hectolitro com resolução de 0,1 g (GEHAKA – BK 4001), e um recipiente com capacidade de 1 L.

A massa específica real ( $\rho_u$ ), expressa em  $\text{kg m}^{-3}$ , foi obtida indiretamente em função da porosidade intergranular e da massa específica aparente, de acordo com a equação 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 real,  $\text{kg m}^{-3}$ ;

$\varepsilon$ : porosidade intergranular, decimal.

A contração volumétrica da massa ( $\psi$ ) foi determinada utilizando-se uma proveta de 250 mL. Para cada teor de água as sementes de sorgo granífero foram colocadas na proveta com auxílio de um funil com altura pré-estabelecida em 0,36 m, e a contração da massa foi obtida verificando-se a redução do volume durante a secagem por meio da seguinte expressão:

$$\psi = \frac{V_t}{V_0} \quad (2)$$

em que,

$\psi$ : contração volumétrica da massa, decimal;

$V_0$ : volume inicial, mL;

$V_t$ : volume no tempo t, mL.

O índice de contração volumétrica ( $I\psi$ ) foi obtido por meio da seguinte expressão, e os resultados foram expressos em %:

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

em que,

$I\psi$  : índice de contração volumétrica da massa, %;

$\psi_0$ : contração volumétrica inicial da massa, decimal;

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

A velocidade terminal experimental foi avaliada utilizando-se o equipamento de coluna de ar (Figura 1) que é composto por um ventilador centrífugo conectado a um tubo de acrílico transparente, com diâmetro de 0,150 m e 2,30 m de comprimento. À 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 e o controle da vazão do fluxo de ar foi realizado por meio de registro. Esta análise foi realizada somente em sementes secas a 80 °C devido ao fato de as diferentes temperaturas de secagem não comumente apresentar influência nos resultados obtidos por Smaniotto et al. (2017) se tornando ineficiente a utilização de diferentes temperaturas de secagem.

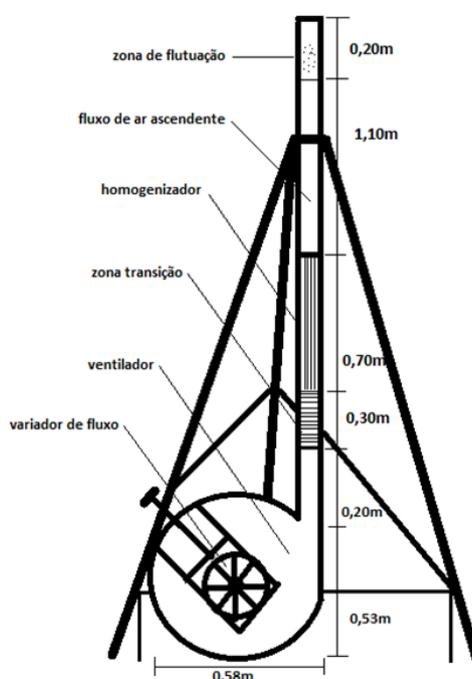


Figura 1. Desenho esquemático do determinador de velocidade terminal (SMANIOTTO, 2016).

A velocidade terminal foi determinada em quatro repetições para cada um dos 6 teores de água para as sementes de sorgo granífero. Para isso, foram pesadas e espalhadas na parte central da tela perfurada 15,0 gramas de amostra (SILVA et al., 2003). Para realização das leituras da velocidade do ar, o fluxo de ar foi regulado até o início do processo de flutuação do produto e então posicionou-se um anemômetro (Instrutherm AD-250) de pás rotativas na em cinco pontos distintos da saída de ar do tubo, um ponto na parte central e quatro pontos nos centros dos quadrantes.

O experimento foi montado segundo esquema fatorial 3x6, sendo 3 temperaturas de secagem (60; 80 e 100 °C) e 6 teores de água (34, 29, 24, 19, 14 e 9% b.u.) em delineamento inteiramente casualizado. Com exceção da velocidade terminal que foi avaliada somente na temperatura de 80 °C e os 6 teores de água determinados para as demais propriedades físicas. Os dados foram analisados por meio de regressão.

### 1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

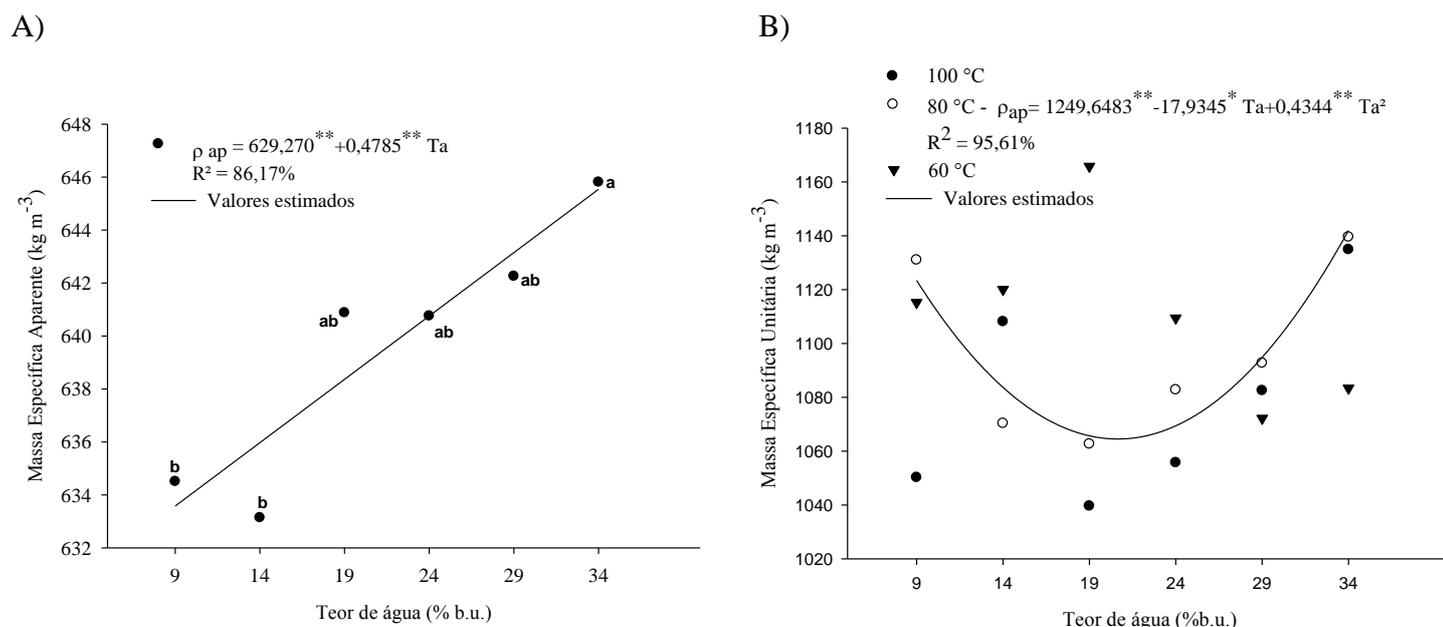
A Tabela 1 informa o resumo da análise de variância para todas as propriedades físicas estudadas. Nota-se que houve interação entre a temperatura do ar de secagem e os diferentes teores de água nas análises de massa específica unitária, porosidade e contração volumétrica da massa de sementes. Já para a massa específica aparente houve efeito isolado dos dois fatores avaliados. A velocidade terminal foi influenciada pelos diferentes teores de água estudados.

Tabela 1. Resumo da análise de variância para: Massas específicas aparente ( $\rho_{ap}$ ) e unitária ( $\rho_u$ ), Porosidade ( $\epsilon$ ), Contração volumétrica da massa ( $\psi$ ) e Velocidade terminal (VT). Onde: Temperatura (T), Teor de água (Ta) e interação (T x Ta) entre os dois fatores.

FV	GL	Quadrados médios				
		$\rho_{ap}$	$\rho_u$	$\epsilon$	$\Psi$	VT
T	2	262,20*	4766,37**	25,46**	0,019**	
Ta	5	209,27**	1735,77**	5,88 <sup>ns</sup>	0,088**	1,01**
T x Ta	10	94,26 <sup>ns</sup>	4340,43**	10,53**	0,001*	
CV (%)		1,12	1,12	3,82	2,35	3,09
Erro		51,02	149,60	2,51	0,0003	0,02

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

Observa-se que houve a redução da massa específica aparente das sementes de sorgo granífero ao longo da diminuição do teor de água (Figura 2A), promovendo uma variação nos valores de 645,81 a 634,51 kg m<sup>-3</sup>, onde o modelo linear descreveu satisfatoriamente o resultado encontrado (Figura 2A).



\*\*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 sementes de sorgo granífero em função do teor de água (% b.u.).

De acordo com Martins et al. (2017) trabalhando com grãos de cártamo, essa redução dos valores de massa específica aparente está associado à maior perda de massa em relação ao volume, proporcionando maior contração da parte interna do tegumento em função das dimensões externas que se contraíram em menor proporção. Quando avaliado o efeito isolado da temperatura, percebe-se um decréscimo dos valores somente para a massa específica unitária com o aumento da temperatura de secagem (Tabela 2).

Tabela 2. Média dos valores de massa específica aparente e unitária em função das diferentes temperaturas de secagem.

	Temperatura		
	60 °C	80 °C	100 °C
Massa específica aparente	635,16 a	641,56 a	641,96 a
Massa específica unitária	1111,01 a	1096,51 b	1078,53 c

A massa específica é considerada uma importante característica física dos produtos vegetais, por ser frequentemente associada na avaliação da qualidade de uma massa de sementes e grãos. Botelho et al. (2015) avaliando a influência da temperatura na massa específica aparente de grãos de soja, observaram resultados contrários aos

encontrados nesse estudo, onde a massa específica dos grãos de soja reduziu em função do incremento de temperatura, indicando prejuízo a qualidade deste produto.

Siqueira et al. (2012) em um estudo das propriedades físicas das sementes de pinhão-mansão ao longo da secagem em diferentes temperaturas e Smaniotto et al. (2017) observaram que a redução do teor de água favorece a redução da massa específica aparente corroborando com os resultados obtidos no presente trabalho.

Em relação a massa específica unitária (Figura 2B) somente houve representação e ajuste de modelo em função do teor de água para a temperatura de 80 °C, indicando acentuado declínio partindo do maior teor de água (34 % b.u.) até atingir os 19 (% b.u.) e um acréscimo para os menores teores de água estudados. Araujo et al. (2015) relatam que ao longo do processo de secagem pode ocorrer uma maior redução do volume em relação a diminuição da massa, onde os valores da massa específica podem aumentar; o que possivelmente seria a explicação para o comportamento observado nos teores de água de 14 e 9 (% b.u.) das sementes de sorgo granífero.

Na Figura 3 estão apresentados os valores encontrados para a porosidade intergranular das sementes de sorgo granífero, onde nota-se um efeito similar ao encontrado na massa específica unitária, isto porque estas duas propriedades físicas são fortemente correlacionadas. No entanto, os valores experimentais não confirmaram uma tendência clara do comportamento da porosidade intergranular ao longo da redução do teor de água nas diferentes temperaturas estudadas, exceto para a temperatura de 80 °C que foi descrita por meio de uma equação quadrática.

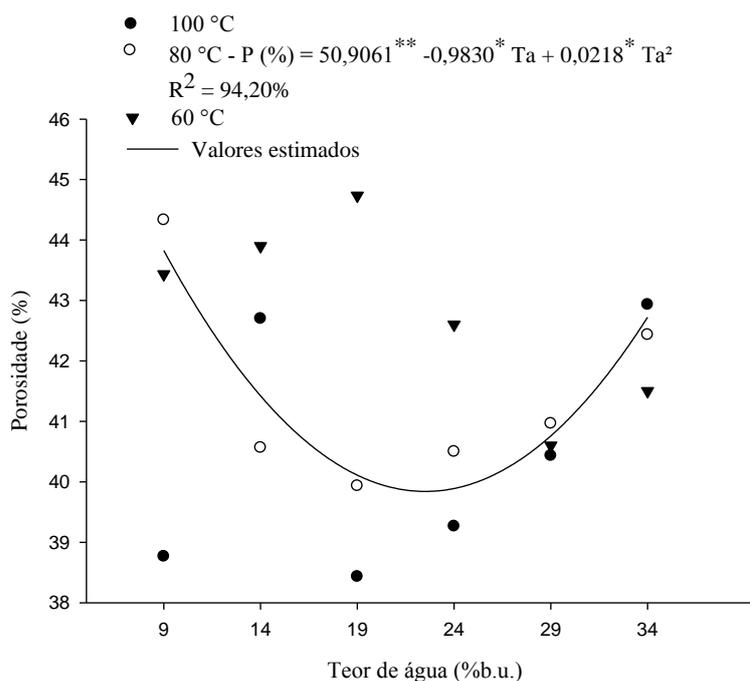
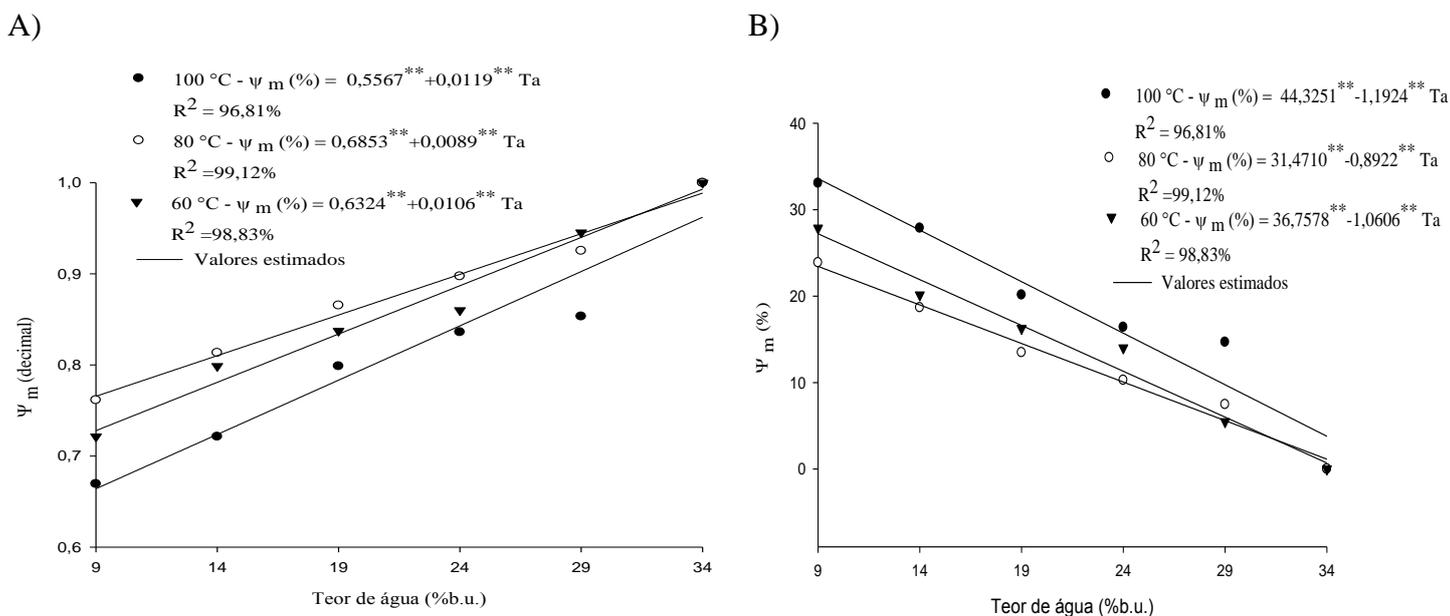


Figura 3. Valores experimentais e estimados da porosidade intergranular de sementes de sorgo granífero em função do teor de água (% b.u.)

Essa redução inicial da porosidade da massa das sementes de sorgo granífero, é comumente encontrada na literatura para outras culturas como: frutos de amendoim (ARAUJO et al., 2015), sementes de pinhão-manso (SIQUEIRA et al., 2012), girassol (SMANIOTTO et al., 2017) e mamona (GONELI et al., 2011). Isto ocorre devido a contração volumétrica da massa, onde o formato e o tamanho das sementes são modificadas, promovendo uma nova organização entre si e redução desses espaços intergranulares.

A Figura 4A ilustra o comportamento da contração volumétrica da massa de sementes de sorgo granífero, evidenciando que houve um decréscimo linear dos valores ao longo da secagem para todas as temperaturas estudadas. Na Figura 4B verifica-se que o índice de contração foi de aproximadamente 27; 23 e 33% nas temperaturas de 60, 80 e 100 °C, respectivamente. Esses valores são primordiais no estudo sobre secagem e secadores, pois permite prever o comportamento da redução do volume ocupado pela massa de sementes conforme ocorre a redução do teor de água, evitando que os secadores trabalhem com uma massa menor de sementes ao qual ele comporta (SIQUEIRA et al., 2012).



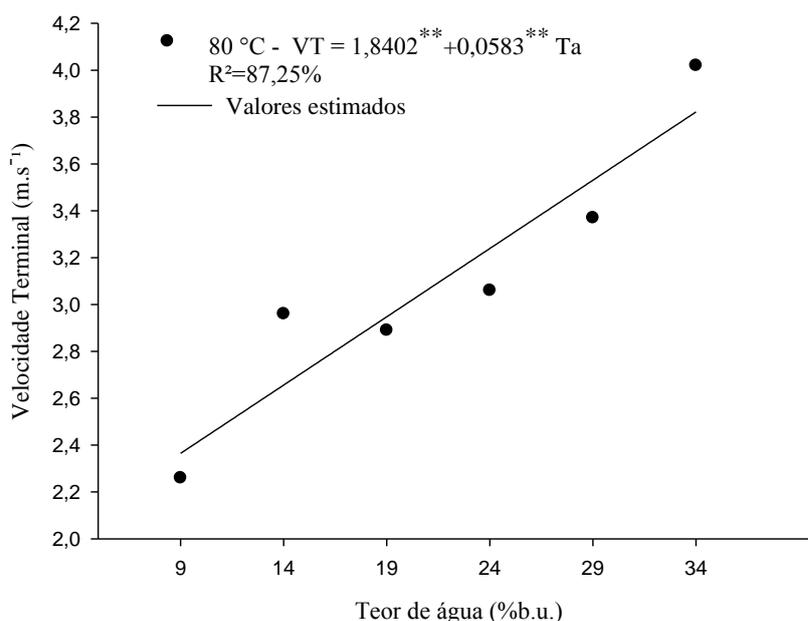
\*\*Significativo a 1% pelo teste t; \*Significativo a 5% pelo teste t; <sup>ns</sup> não significativo.

Figura 4. Valores experimentais e estimados da contração volumétrica da massa (A) e índice de contração volumétrica da massa de sementes de sorgo granífero (B) de sementes de em função do teor de água (% b.u.)

A temperatura de 100 °C propiciou maior contração comparativamente as demais, sugere-se que isso ocorra devido a acelerada remoção de água na secagem, com menor tempo para remover uma maior taxa de água. De acordo com Siqueira et al. (2012b), com a elevação da temperatura do ar, observa-se uma maior diferença entre a pressão parcial de vapor d'água do ar de secagem e do produto, fazendo com que a água seja retirada com maior facilidade e rapidez.

Corroborando com os dados encontrados no presente estudo, Smaniotto et al. (2015), Oliveira et al. (2013), Oliveira et al. (2014) e Coradi et al. (2016), os quais trabalharam com grãos de soja, feijão-adzuki e milho, respectivamente, verificaram que a influência da temperatura do ar na contração volumétrica dos grãos está associada com a energia de vaporização da água que é incrementada com o acréscimo da temperatura do ar e do produto, resultando em uma maior rapidez no processo de secagem.

Com relação a Figura 5 A, verifica-se um decréscimo linear dos valores da velocidade terminal a temperatura de 80 °C ao longo da redução do teor de água, variando de 4,02 a 2,26 m s<sup>-1</sup>. Possivelmente, essa redução se deve a alterações das características físicas do produto, como: massa, área e volume, confirmando a hipótese de que quanto maior o teor de água presente na semente, maior será sua massa em relação ao volume, que oferece maior resistência ao deslocamento quando imersos ao fluxo de ar e contribui para um acréscimo nos valores da velocidade terminal.



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

Figura 5. Valores experimentais da velocidade terminal das sementes de sorgo granífero em função do teor de água (% b.u.) para a temperatura de 80 °C.

Silva et al. (2003) verificaram que os grãos de sorgo apresentaram uma velocidade terminal maior comparativamente aos grãos de milho, no entanto, ambos tiveram uma redução linear dos valores experimentais de velocidade terminal. Os autores sugerem que os grãos de sorgo apresentaram superioridade em relação a massa e, portanto, maior resistência ao deslocamento.

Smaniotta et al. (2017) também observaram redução da velocidade terminal com o declínio do teor de água, onde o valor máximo encontrado para os grãos de girassol foi de 1,429 m s<sup>-1</sup> para o teor de água de 18,4 (% b.u.).

## 1.4 CONCLUSÕES

A redução do teor de água ao longo da secagem artificial das sementes de sorgo granífero promove redução dos valores de massa específica aparente, sendo o mesmo comportamento constatado também para a velocidade terminal.

Os valores da contração volumétrica da massa de sementes de sorgo sofrem decréscimo linear com a redução dos teores de água em todas as temperaturas de secagem avaliadas, enquanto que o índice de contração volumétrica da massa de sementes aumenta com o mesmo processo.

A temperatura de 100 °C causa maior índice de contração volumétrica da massa se sementes de sorgo.

### 1.5 LITERATURA CITADA

ARAUJO, W. D.; GONELI, A. L. D.; SOUZA, C. M. A. de; GONÇALVES, A. A.; VILHASANTI, H. C. B. Propriedades físicas dos grãos de amendoim durante a secagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.3, p.279-286, 2014.

ARAUJO, W. D.; GONELI, A. L. D.; ORLANDO, R. C.; MARTINS, E. A. S.; HARTMANN FILHO, C. P. Propriedades físicas dos frutos de amendoim durante a secagem. **Revista Caatinga**, v.28, n.4, p. 170-180, 2015.

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

BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de defesa Agropecuária. **Regras para Análise de Sementes**. Brasília, 2009. 395p.

CORADI, P. C.; MILANE, L. V.; ANDRADE, M. G. O.; CAMILO, L. J.; SOUZA, A. H. S. Secagem de grãos de milho do cerrado em um secador comercial de fluxos mistos. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 10, n.1, p. 14-26, 2016.

CORRÊA, P. C.; SILVA, J. de S. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Estrutura, composição e propriedades dos grãos. 2. ed. Viçosa: Aprenda fácil, 2008. 560p.

DONADON, J. R.; RESENDE, O.; CASTRO, C. F. S.; MENDES, U. C.; GONCALVES, D. N. Comparação entre o tolueno e o hexano na determinação da porosidade intergranular de diferentes produtos agrícolas. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v. 37, n.1, p. 37-40, 2012.

GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; MAGALHÃES, F. E. A.; BAPTESTINI, F.M. Contração volumétrica e forma dos frutos de mamona durante a secagem. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.33, n.1, p.1-8, 2011.

MARTINS, E. A. S.; GONELI, A. L. D.; HARTMANN FILHO, C. P.; MAUAD, M.; SIQUEIRA, V. C.; GONÇALVES, A. A. Propriedades físicas dos grãos de cártamo. Parte I: Características geométricas e gravimétricas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.21, n.5, p. 344-349, 2017.

- MENDES, U. C.; RESENDE, O.; DONADON, J. R.; ALMEIDA, D. P.; ROCHA, A. C. da; OLIVEIRA, D. E. C. de. Efeito da secagem nas propriedades físicas dos grãos de feijão-adzuki. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 37, n. 6, p. 3871-3880, 2016.
- MOHSENIN, N. N. **Physical properties of plant and animal materials**. New York: Gordon and Breach Publishers, 1986. 841p.
- OLIVEIRA, D. E. C. de; RESENDE, O.; MENDES, U. C.; SMANIOTTO, T. A. de S. DONADON, J. R. Modelagem da contração volumétrica do feijão-adzuki durante a secagem. **Revista Científica**, v.42, n.1, p.23-31, 2014.
- OLIVEIRA, D. E. C. de, RESENDE, O.; SMANIOTTO, T. A. de S.; CAMPOS, R. C. Qualidade fisiológica de sementes de milho submetidas a diferentes temperaturas na secagem artificial. **Global Science and Technology**, v.9, n.2, p.25-34, 2016.
- OLIVEIRA, D. E. C. de, RESENDE, O.; SMANIOTTO, T. A. de S.; SIQUEIRA, V. C.; JOSÉ NETO, C. A. Alterações morfométricas em grãos de soja durante o processo de secagem. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 3, p. 975-984, 2013.
- OLIVEIRA, J. A.; SILVA, T. T. de A.; PINHO, E. V. de R. V.; ABREU, L. A. de S. Secagem e armazenamento de sementes de sorgo com alto e baixo teor de tanino. **Revista Brasileira de Sementes**, v.33, n.4, p.699-710, 2011.
- 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.
- SIQUEIRA, V. C.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H. Determination of the volumetric shrinkage in jatropha seeds during drying. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 34, n. 3, p. 231-238, 2012a.
- SIQUEIRA, V. C.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H. Drying kinetics of Jatropha seeds. **Revista Ceres**, v. 59, n. 2, p. 171-177, 2012b.
- 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**, v. 33, n. 1, p. 2705-2714, 2012.
- SMANIOTTO, T. A. de S. **Secagem e armazenamento de grãos de girassol**. 2016. 96 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias). Instituto Federal Goiano, Rio Verde, 2016.
- SMANIOTTO, T. A. de S.; RESENDE, O.; SOUSA, K. A. de; CAMPOS, R. C.; GUIMARÃES, D. N.; RODRIGUES, G. B. Physical properties of sunflower seeds during drying. **Semina: Ciências Agrárias**, v.38, n.1, p.157-164, 2017.

SMANIOTTO, T. A. de S.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D. E. C. de, SIQUEIRA, V. C.; SOUSA, K. A. Ajuste de modelos matemáticos a contração volumétrica unitária e da massa dos grãos de soja. **Revista Agroambiente**, v.9, n.4, p.397-404, 2015.

## CAPÍTULO II

### **Propriedades mecânicas das sementes de sorgo granífero submetidos à compressão em diferentes teores de água**

(Normas de acordo com a Revista Brasileira de Ciências Agrárias)

**Resumo:** Objetivou-se verificar a influência da secagem em diferentes temperaturas nas características mecânicas das sementes de sorgo granífero submetidas a compressão na posição natural de repouso. Foram utilizadas sementes secas nas temperaturas de 60, 80 e 100 °C com diferentes teores de água (0,515; 0,408; 0,315; 0,234; 0,162 e 0,099 (b.s.)) submetidas a esforços de compressão uniaxial entre duas placas paralelas, aplicados em sua posição natural de repouso, a uma taxa de aplicação de força de 0,001 m s<sup>-1</sup>. A força necessária para romper as sementes de sorgo granífero aumentou à medida que diminuiu o teor de água com valores entre 47,17 a 78,44 N, 61,81 a 69,66 N e 52,07 a 70,89 N para as temperaturas de 60, 80 e 100 °C, respectivamente. A força de compressão necessária para deformar o sorgo granífero reduziu com o aumento do teor de água e o módulo proporcional de deformidade se eleva com a diminuição do teor de água, obtendo-se valores, para faixa de teor de água estudada, entre 87 x 10<sup>-7</sup> a 354,99 x 10<sup>-7</sup> Pa; 132,63 x 10<sup>-7</sup> a 465,98 x 10<sup>-7</sup> Pa e 80,18 x 10<sup>-7</sup> a 429,85 x 10<sup>-7</sup> Pa para as temperaturas de 60, 80 e 100 °C, respectivamente.

**Palavras-chave:** *Sorghum bicolor*, força de ruptura, força de compressão.

### **Mechanical properties of sorghum seeds submitted to compression at different moisture contents**

**Abstract:** The objective of this study was to verify the influence of drying at different temperatures on the mechanical characteristics of sorghum seeds submitted to compression in the natural resting position. Dry seeds were used at temperatures of 60, 80 and 100 °C with different moisture contents (0.515, 0.408, 0.315, 0.234, 0.162 and 0.099 (bs)) submitted to uniaxial compression efforts between two parallel plates applied in their position resting rate at a force application rate of 0.001 m.s<sup>-1</sup>. The strength required to break the seeds of sorghum increased as the moisture content decreased from 47.17 to 78.44N, 61.81 to 69.66N and 52.07 to 70.89N for the temperatures of 60, 80 and 100 °C, respectively. The compression force required to deform granitic sorghum reduced with increasing moisture content and the proportional modulus of deformity increased with the decrease of moisture content, obtaining values for the range of studied moisture content between 87 x 10<sup>-7</sup> at 354.99 x 10<sup>-7</sup> Nm<sup>-2</sup>; 132.63 x 10<sup>-7</sup> at 465.98 x 10<sup>-7</sup> Nm<sup>-2</sup> and 80.18 x 10<sup>-7</sup> at 429.85 x 10<sup>-7</sup> Nm<sup>-2</sup> for the temperatures of 60, 80 and 100 °C, respectively.

**Key words:** *Sorghum bicolor*, burst strength, compression force.

## **2.1 INTRODUÇÃO**

Ao longo do processo de produção as sementes são submetidas a fortes impactos. Etapas como colheita, manuseio, transporte e armazenamento podem causar danificações como: rachaduras, trincas e quebras, resultando em uma série de problemas nas etapas subsequentes (AMARAL et al., 2018). As sementes danificadas oferecem maior deterioração durante o armazenamento, pois facilitam a ação de insetos secundários e microrganismos. Além disso, ocorre intensificação da perda de matéria seca, e, conseqüentemente, perda da qualidade fisiológica, viabilidade e do potencial de armazenagem do produto

O teste de compressão é um simples experimento onde um corpo convexo é comprimido entre duas placas paralelas, o qual é realizado com o intuito de obter os

dados de “força-deformação”. Realiza-se esse teste para obtenção dos parâmetros que predizem a resposta do material quando submetido a uma determinada carga (GONELI, 2008). Conhecer a resistência das sementes é indispensável para reduzir possíveis danificações e manter a qualidade do produto até o processamento. Dessa forma, o estudo em relação às propriedades mecânicas se faz necessário com o intuito de conhecer o comportamento e a resistência que cada produto agrícola em determinada condição.

Diversos fatores podem influenciar as propriedades mecânicas das sementes, entre eles, temperatura de secagem, teor de água, rigidez e a região da semente na qual a força é submetida (MOHSENIN, 1986). Fernandes et al. (2014) observaram que a força de compressão necessária para deformar o grão de trigo diminui com o aumento do teor de água, a força variou entre 139,8 e 21,4 N. Dessa forma, sementes com teores de água mais elevados oferecem menor resistência a compressão.

Ribeiro et al. (2007) avaliando as características mecânicas de grãos de soja em diversas posições, verificaram que a força de compressão necessária para deformar o grão em 2 mm reduziu com o acréscimo do teor de água, para a posição P<sub>1</sub> (posição natural de repouso), a força média variou entre 302,72 e 72,5 N; para a posição P<sub>2</sub> (sobre o hilo), 127,64 e 41,19 N, e para a posição P<sub>3</sub> (posição vertical do grão), houve variação entre 110,86 e 21,72 N, em função dos diferentes teores de água.

Assim, objetivou-se verificar a influência da secagem em diferentes temperaturas nas características mecânicas das sementes de sorgo granífero submetidas a compressão na posição natural de repouso.

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Pós-colheita de Produtos Vegetais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - *Campus* Rio Verde (IF Goiano - *Campus* Rio Verde). Foram utilizadas sementes de sorgo granífero (Híbrido DKB 540) produzidas no município de Jataí – GO.

As sementes foram colhidas manualmente, quando verificou-se o teor de água em torno de 0,515 (b.s.), após a homogeneização e preparação das amostras, as sementes foram submetidas à secagem em estufa com ventilação de ar forçada em três condições de temperatura: 60; 80 e 100 °C. A umidade relativa do ar foi monitorada por um psicrômetro instalado no interior da estufa.

A redução do teor de água ao longo da secagem foi realizada pelo método gravimétrico (perda de massa), conhecendo-se o teor de água inicial do produto, até atingir o teor de água final de 0,099 (b.s.). O acompanhamento da redução da massa durante a secagem foi realizado com auxílio de uma balança analítica com resolução de 0,01g.

Durante a secagem, para cada teor de água obtido (0,515; 0,408; 0,315; 0,234; 0,162 e 0,099 (b.s.)), as amostras foram homogeneizadas e encaminhadas para a determinação das propriedades mecânicas, em três repetições.

Para condução do experimento, os diversos teores de água foram obtidos pela secagem realizada em estufa com ventilação forçada, mantida as temperaturas de 60; 80 e 100 °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 0,099 (b.s.), com auxílio de uma balança analítica 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 as amostras foram homogeneizadas e encaminhadas para o teste de compressão.

Os ensaios experimentais de compressão das sementes, 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.

As sementes foram submetidas à compressão uniaxial, entre duas placas paralelas, aplicada em sua posição natural de repouso (Figura 1), a uma taxa de aplicação de força de  $0,001 \text{ m s}^{-1}$ , em quinze sementes de sorgo granífero (OLIVEIRA et al., 2017).

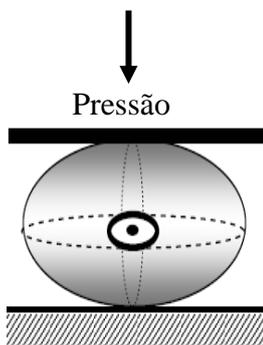


Figura 1. Orientação das sementes durante o ensaio de compressão na posição natural de repouso do sorgo granífero.

Após a obtenção das curvas de força vs deformação das sementes 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 um aumento da deformação do produto associado a uma diminuição da força de compressão (ASAE, 1974), indicando o início da ruptura e a desorganização da estrutura dos produtos.

O módulo proporcional de deformidade das sementes de sorgo granífero ( $E_p$ ) foi determinado de acordo com a Equação 1, sendo obtido para as deformações de  $0,1 \times 10^{-3}$ ;  $0,2 \times 10^{-3}$ ;  $0,3 \times 10^{-3}$ ;  $0,4 \times 10^{-3}$ ;  $0,5 \times 10^{-3}$ ;  $0,6 \times 10^{-3}$ ;  $0,7 \times 10^{-3}$ ;  $0,8 \times 10^{-3}$ ;  $0,9 \times 10^{-3}$ ;  $1,0 \times 10^{-3}$  m, adaptadas das deformações utilizadas por Batista et al. (2003).

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

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.

A inclinação da curva força-deformação para um ponto qualquer é considerada a tangente (T), obtida por meio da equação 2.

$$T = d + 2e \cdot x + 3f \cdot x^2 \quad (2)$$

A tangente máxima é obtida no ponto de inflexão da curva, em que  $x = -e/3f$ , sendo considerada um indicador de dureza do produto (RESENDE, 2007).

A secante (S), inclinação da reta que passa pela origem e por um ponto qualquer da curva, é expressa por meio da seguinte equação:

$$S = d + e \cdot x + f \cdot x^2 \quad (3)$$

A secante máxima corresponde ao ponto onde o valor de deformação é  $x = -e/2f$ , descrevendo a elasticidade em diferentes níveis de deformação (RESENDE, 2007).

Os valores dos raios de curvatura ( $r$  e  $R$ ) das sementes 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.

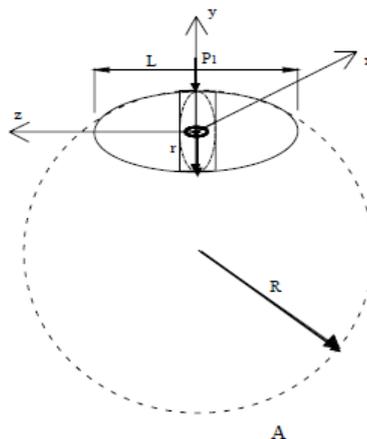


Figura 2. Raio de curvatura das sementes de sorgo granífero (*Sorghum bicolor* L. Moench) na região de contato entre os produtos e a placa de compressão, sendo L (largura) e P1 (força aplicada na posição natural de repouso).

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

O experimento foi montado segundo o esquema fatorial triplo 3 x 6 x 10 (3 temperaturas de secagem, 6 teores de água, e 10 deformações), no delineamento inteiramente casualizado, com quinze repetições. Os dados foram analisados por meio de regressão.

## 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 mostra os valores médios dos raios de curvatura das sementes de sorgo granífero para as diferentes temperaturas de secagem e teores de água utilizados para determinação do módulo de deformidade proporcional. Nota-se que houve oscilações dos valores dos raios entre os diferentes teores de água, não demonstrando um comportamento claro para as diferentes temperaturas de secagem.

Tabela1. Valores médios dos raios de curvatura das sementes de sorgo granífero (m) para cada teor de água (%b.s.)

Teor de água decimal (b.s.)	Temperatura					
	60 °C		80 °C		100 °C	
	R	R	R	r	R	r
0,515	0,00325	0,00384	0,00384	0,00258	0,00402	0,00333
0,408	0,00329	0,00382	0,00380	0,0029	0,00377	0,00331
0,315	0,00335	0,00371	0,00381	0,00281	0,00398	0,00344
0,234	0,00314	0,00381	0,00388	0,0028	0,00401	0,00319
0,162	0,00303	0,00391	0,00397	0,00293	0,00380	0,00336
0,099	0,00269	0,00379	0,00376	0,00272	0,00373	0,0031

Os raios de curvatura (R, r) são obtidos por meio de suas dimensões físicas, dessa forma, o tamanho da semente exerce importante influência nessas estimativas. Essa variação observada nos dados dos raios nos diferentes teores de água pode ter sido ocasionada mediante a heterogeneidade da forma e no tamanho das sementes de sorgo. Oliveira et al. (2017) avaliando as propriedades mecânicas dos frutos de baru e Fernandes et al. (2014) trabalhando com grãos de trigo obtiveram resultados similares.

Na Tabela 2 estão apresentados os valores de deformação total (D), módulo de elasticidade (E), força máxima de compressão (F), tangente e secante nos diferentes teores de água e temperaturas de secagem avaliados.

Tabela 2. Valores da deformação total (d), módulo de elasticidade (e), força máxima de compressão (f) tangente e secante nas temperaturas de 60, 80 e 100 °C

Teor de água decimal (b.s.)	D	E	F	Tangente (N mm <sup>-1</sup> )	Secante (N mm <sup>-1</sup> )
60 °C					
0,515	29,20	-128,40	360,66	127,12	70,54
0,408	37,52	-159,10	417,53	156,20	86,76
0,315	41,46	-149,66	483,31	160,22	93,12
0,234	40,47	-130,49	363,27	139,71	82,28
0,162	76,64	-431,93	1316,81	414,11	221,76
0,099	121,70	-769,23	2295,30	719,07	377,42
80 °C					
0,515	42,46	-206,04	583,83	200,02	109,12
0,408	40,11	-161,68	441,48	162,31	91,34
0,315	52,31	-299,90	846,21	281,35	149,11
0,234	71,83	-431,29	1245,82	403,58	212,82
0,162	127,48	-833,90	2502,78	776,15	405,51
0,099	147,30	-967,62	3029,83	908,90	476,59
100 °C					
0,515	26,99	-120,60	377,24	121,88	68,01
0,408	25,77	-101,33	314,79	105,36	60,13
0,315	34,51	-144,74	394,12	143,81	80,30
0,234	49,35	-254,68	732,09	244,95	132,38
0,162	124,28	-787,47	2570,68	750,92	397,39
0,090	142,27	-920,98	3133,83	882,80	467,42

Nota-se que em todas as temperaturas de secagem os valores dos respectivos coeficientes analisados tendem a aumentar com a redução do teor de água. Além disso, nota-se também que os menores valores encontrados em geral foram para a temperatura de 60 °C, indicando que altas temperaturas de secagem podem promover alterações nas características de dureza e elasticidade dos grãos.

Observa-se que nas temperaturas de 80 e 100 °C os valores de secante máxima apresentaram a mesma tendência dos valores de tangente máxima, no entanto, com

menor magnitude. De acordo com Goneli (2008) a secante máxima além de indicar o valor máximo da curva força-deformação em que a tangente passa pela origem, indica também o ponto onde a curva começa a sofrer declínio, que representa o momento em que o comportamento do produto passa de elástico para plástico. Para Henry et al. (2000) o valor máximo da secante representa a habilidade de resistir a deformação do material antes do valor elástico máximo ser encontrado.

Para todas as temperaturas de secagem avaliadas houve um acréscimo dos valores de força de ruptura em função da redução do teor de água, conforme apresentado na Figura 4. Esses valores variaram entre 78,45 a 47,18 N para a temperatura de 60 °C, 66,66 a 61,82 N para 80 °C e 70,90 a 52,08 N para 100 °C.

Resende et al. (2013) avaliando grãos de arroz com casca e descascados observaram comportamento similar, onde a redução do teor de água de 0,30 para 0,12 b.s. resultou no aumento da força de ruptura de 48 para 79,5 N para arroz com casca e 37,2 para 70,6 N para grãos de arroz descascados. Essa variação da força necessária para causar rompimento na estrutura física de sementes e grãos está diretamente associada ao teor de água do material biológico, bem como, sua resistência física.

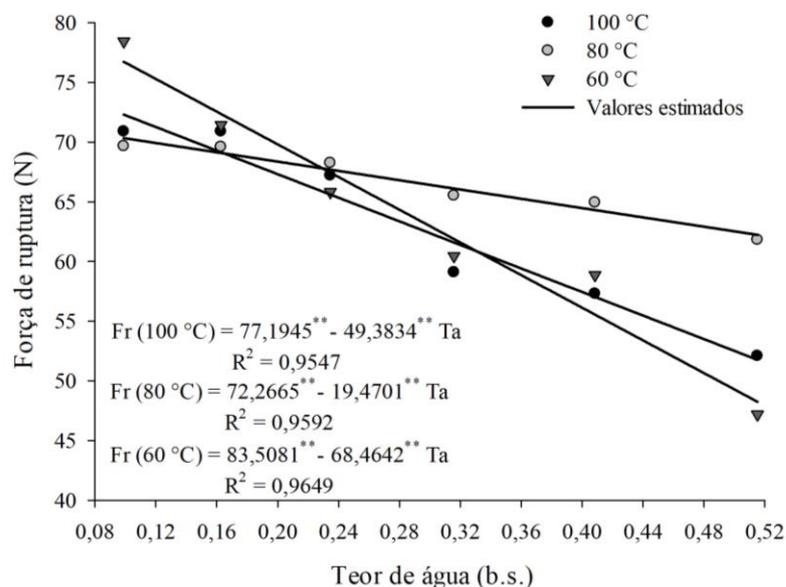


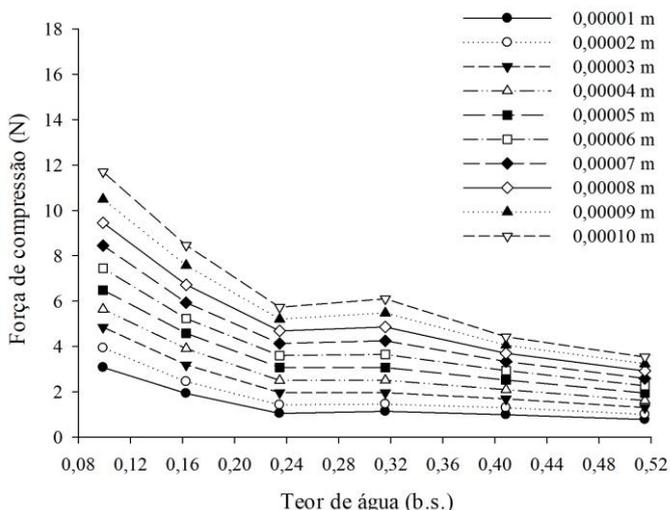
Figura 3. Valores experimentais e estimados da força de ruptura em função do teor de água das sementes de sorgo granífero.

Estes resultados indicam que quanto maior o teor de água das sementes de sorgo, menor a sua resistência a compressão e ruptura, essa resistência aumenta linearmente em decorrência da redução do teor de água. De acordo com Gupta e Das

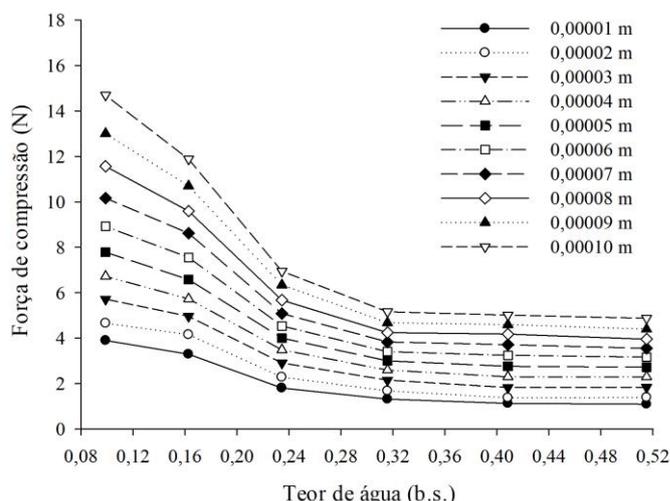
(2000) esse comportamento se deve a alterações na organização da matriz celular do produto, que ocorre com a redução do teor de água devido ao processo de secagem, promovendo maior rigidez no tegumento das sementes, logo conferindo maior proteção física. Dessa forma, sementes que apresentam menor teor de água em sua constituição se tornam mais rígidas, necessitando de maiores forças para causar algum tipo de danificação mecânica.

Os valores médios de força máxima de compressão nas três temperaturas de secagem e diferentes teores de água para diversas deformações (Figura 5). Os resultados corroboram com aqueles da Figura 4, ou seja, quanto menor o teor de água contido nas sementes, maior a força de compressão necessária para promover deformações no tegumento das sementes de sorgo na posição natural de repouso, com isso maior a resistência física das sementes a essas danificações. Além disso, observa-se também que os valores de força de deformação são proporcionais ao aumento da deformação, isto é, quanto maior a pressão exercida nas sementes, maior será a deformação causada no produto. Esses resultados concordam com Fernandes et al. (2014), Henry et al. (2000a) e Resende et al. (2007) avaliando grãos de trigo, soja e feijão, respectivamente.

A)



B)



C)

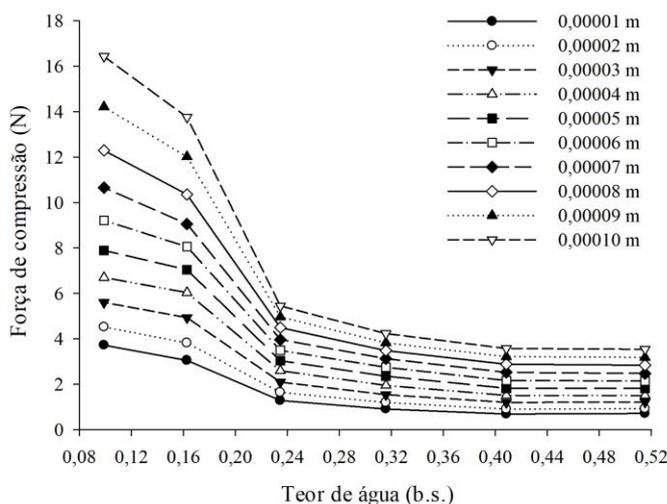


Figura 4: Valores máximos médios de força de compressão para as temperaturas de secagem de 60 (A), 80 (B) e 100 (C) °C em função do teor de água

Na Tabela 3 estão as equações de regressão ajustadas aos valores experimentais do módulo proporcional de deformidade do sorgo granífero, em função do teor de água e da deformação para cada temperatura avaliada juntamente ao coeficiente de determinação ( $R^2$ ) que apresentaram valores superiores a 75%, mostrando-se satisfatórias para representação dos dados.

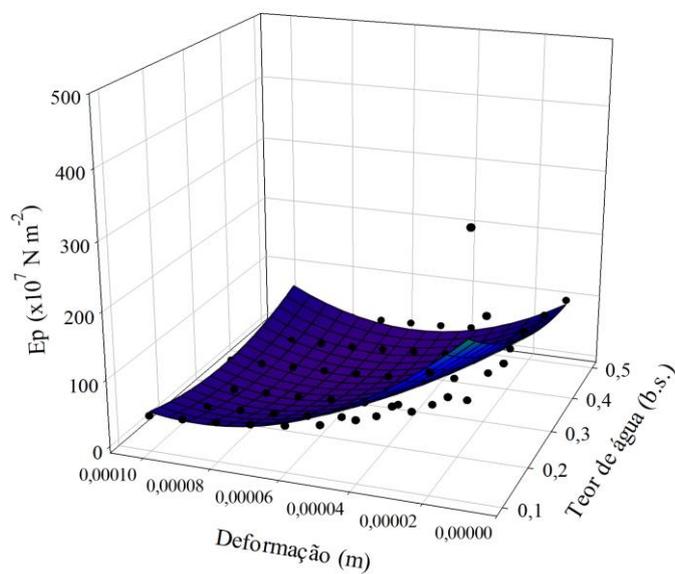
Tabela 3. Equações ajustadas aos valores experimentais do módulo proporcional de deformidade das sementes de sorgo sacarino ( $E_p$ ) em função do teor de água ( $T_a$ ) e da deformação ( $D$ ), para as temperaturas de secagem

Temperatura (°C)	Modelo	$R^2$ (%)
60	$E_p = 328,710 - 740,374 T_a - 5491117,579 D + 626,523 T_a^2 + 29958447225,534 D^2 + 3698308,165 T_a D$	0,7769**
80	$E_p = 477,537 - 1060,6707 T_a - 8264745,671 D + 879,416 T_a^2 + 45399715991,174 D^2 + 5556825,206 T_a D$	0,8003**
100	$E_p = 441,182 - 1171,008 T_a - 6820791,310 D + 1014,723 T_a^2 + 35654616708,231 D^2 + 5578583,307 T_a D$	0,7789**

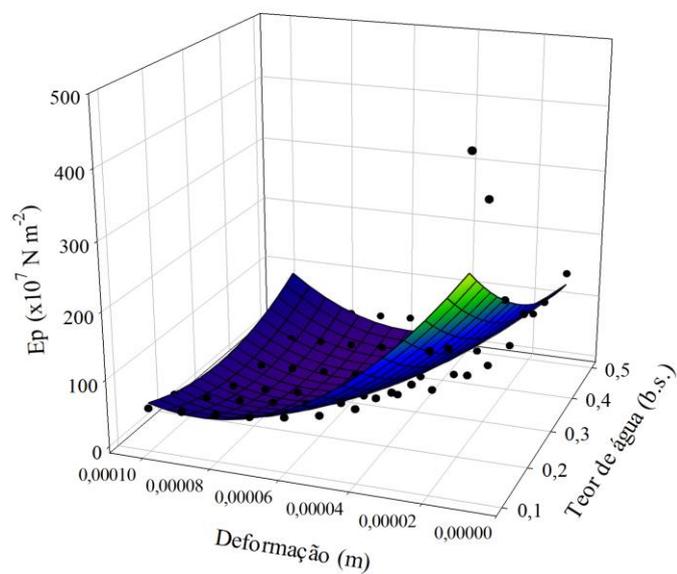
\* Significativo a 1% pelo teste F.

A Figura 6 apresenta os valores do módulo de deformidade proporcional das sementes de sorgo que foram obtidos a partir dos dados de força de compressão. Os valores elevados do módulo de deformidade denotam que uma força maior deve ser aplicada ao produto para, então, se obter determinada deformação (BATISTA et al., 2003).

A)



B)



C)

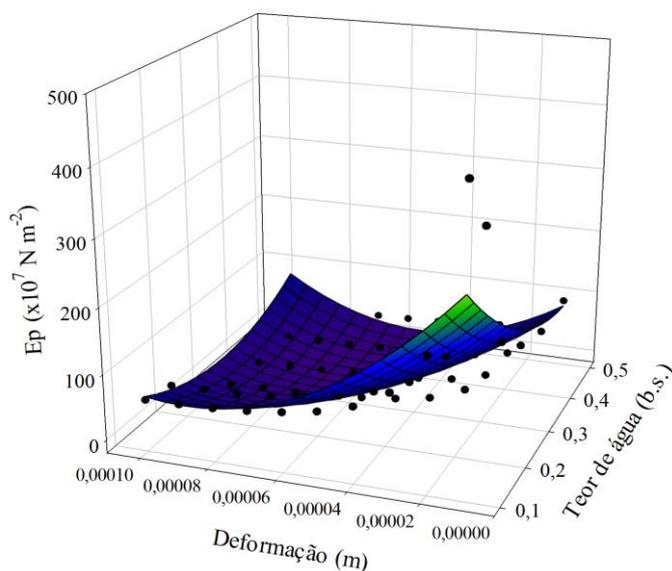


Figura 5: Valores médios do módulo proporcional de deformidade das sementes de sorgo sacarino ( $\text{N m}^{-2}$ ), em função do teor de água (decimal b.s.) e da deformação para as temperaturas de secagem de 60, 80 e 100 °C.

Nota-se que em todas as temperaturas avaliadas, o módulo de deformidade proporcional tende a aumentar de acordo com a redução do teor de água. No entanto, requer forças linearmente decrescentes de acordo com a deformação causada nas

sementes de sorgo granífero em posição natural de repouso. Os valores do módulo proporcional de deformidade variaram entre  $12,43 \times 10^{-7}$  a  $42,72 \times 10^{-7}$  Pa;  $18,65 \times 10^{-7}$  a  $55,56 \times 10^{-7}$  Pa e  $12,46 \times 10^{-7}$  a  $59,96 \times 10^{-7}$  Pa para as temperaturas de 60, 80 e 100 °C, respectivamente. Esses resultados corroboram com os observados por Fernandes et al. (2014) onde encontraram valores do módulo proporcional de deformidade alternando entre  $8,9 \times 10^7$  a  $51,2 \times 10^7$  Pa com teor de água variando de 0,26 a 0,14 b.s.

Resende et al. (2007) trabalhando com grãos de feijão em três posições distintas de compressão, obtiveram o módulo proporcional de deformidade de 4,1 a  $71,3 \times 10^7$  Pa para a posição P1; 2,6 a  $56,4 \times 10^7$  Pa para a posição P2 e 1,7 a  $48,7 \times 10^7$  Pa para a posição P3. Oliveira et al. (2017) avaliando frutos de baru verificaram que para os teores de água estudados, os valores do módulo de deformidade proporcional variaram de  $0,96 \times 10^6$  a  $31,14 \times 10^6$ ; de  $0,84 \times 10^6$  a  $34,46 \times 10^6$  e de  $0,5 \times 10^6$  a  $12,15 \times 10^6$  Pa para 60, 80 e 100 °C, respectivamente. Para Batista et al. (2003) valores elevados do módulo proporcional de deformidade significa que uma maior força deverá ser imposta ao produto para que obtenha determinada deformação.

## 2.4 CONCLUSÕES

A redução do teor de água causa um aumento linear nos valores de secante e tangente.

A força de compressão necessária para causar ruptura no tegumento das sementes de sorgo granífero diminui com o aumento do teor de água, para os diversos níveis de deformações, apresentando valores entre 47,17 a 78,44 N; 61,81 a 69,66 N e 52,07 a 70,89 para as temperaturas de 60, 80 e 100 °C, respectivamente.

O módulo proporcional de deformidade aumenta com a redução do teor de água e da deformação do produto, obtendo-se valores entre  $87 \times 10^{-7}$  a  $354,99 \times 10^{-7}$  Pa;  $132,63 \times 10^{-7}$  a  $465,98 \times 10^{-7}$  Pa e  $80,18 \times 10^{-7}$  a  $429,85 \times 10^{-7}$  Pa para as temperaturas de 60, 80 e 100 °C, respectivamente.

Por meio dos valores obtidos para o módulo de deformidade e força de compressão, implica-se que sementes com menor teor de água poderão ter um melhor desempenho quando submetidas a pressões nas etapas de colheita e pós-colheita.

## 2.5 LITERATURA CITADA

AMARAL, D. R.; DOBIS, F. S.; CARVALHO, T. C. de. Avaliação da qualidade física e fisiológica de sementes de soja durante o beneficiamento. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v.11, n.2, p.43-52, 2018.

ASAE, AGRICULTURAL ENGINEERS YEARBOOK OF STANDARDS. **American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, MI, 1974.

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**, Viçosa, Especial café, n.6, p.42-53, 2003.

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

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, n.2, p.285-294, 2002.

FERNANDES, L. S.; CORRÊA, P. C.; DINIZ, M. D. M. S.; LEITE, D. M.; VASCONCELLOS, D. de S. L. Influência do teor de água nas propriedades mecânicas dos grãos de trigo submetidos à compressão. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 1, p. 219-223, 2014.

GONELI, A. L. D. **Variação das propriedades físico-mecânicas e da qualidade da mamona (*Ricinus communis* L.) durante a secagem e o armazenamento**. 2008. 186f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

GUPTA, R. K.; DAS, S. K. Fracture resistance of sunflower seed and kernel to compressive loading. **Journal of Food Engineering**, v. 46, n. 2, p. 1-8, 2000.

HENRY, Z. A.; SU, B.; ZHANG, H. Resistance of soya beans to compression. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.76, n.2, p.175-181, 2000.

MOHSENIN, N. N. **Physical properties of plant and animal materials**. New York: Gordon and Breach Publishers, 1986. 841p.

OLIVEIRA, D. E. C. de, RESENDE, O., DEVILLA, I. A. Mechanical properties of baru fruit (*Dipteryx alata* Vogel). **Semina: Ciências Agrárias**, v.38, n.1, p. 185-196, 2017.

RESENDE, O. **Variação das propriedades físicas e mecânicas e da qualidade do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) durante a secagem e o armazenamento.** 2006. 180 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

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, n. 4, p. 404–409, 2007.

RESENDE, O.; CORRÊA, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H. de; GONELI, A. L. D.; JÁREN, C. Mechanical properties of rough and dehulled rice during drying. **International Journal of Food Studies**, v. 2, n.2, p. 158-166, 2013.

RIBEIRO, D. M.; CORRÊA, P. P.; 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, n. 2, p.462 – 467, 2007.

### CAPÍTULO III

#### **Qualidade fisiológica das sementes de sorgo granífero ao longo do armazenamento**

(Normas de acordo com a revista Brasileira de Milho e Sorgo)

**Resumo:** Objetivou-se no presente estudo avaliar o efeito das diferentes temperaturas de secagem e tempos de armazenamento na qualidade fisiológica das sementes de sorgo granífero. Foram utilizadas sementes de sorgo granífero colhidas manualmente após a maturação, com teor de água de aproximadamente 21% b.u., no município de Jataí – GO. Posteriormente, foram encaminhadas para o processo de secagem em estufa com circulação forçada de ar utilizando-se temperaturas controladas de 40, 50, 60 e 70 °C até a obtenção do teor de água final de  $12 \pm 1\%$  (b.u.). As sementes foram acondicionadas em embalagens de papel kraft por seis meses, mantidas em condições de ambiente de laboratório. As avaliações realizadas foram: teor de água, condutividade elétrica, emergência em areia, índice de velocidade de emergência, comprimento de plântulas, massa seca de plântulas e envelhecimento acelerado. Análises como: emergência, envelhecimento acelerado e comprimento de plântulas sofreram redução dos valores ao longo do armazenamento, enquanto na condutividade elétrica ocorreu um aumento nos diferentes tempos de armazenamento.

**Palavras-chave:** *Sorghum bicolor*, secagem, germinação.

### Physiological quality of grain sorghum seeds throughout storage

**Abstract:** The objective of this study was to evaluate the effect of different temperatures and storage times on the physiological quality of the seeds of sorghum. Seeds of sorghum were harvested manually after maturation, with moisture content of approximately 21% b.u., in the municipality of Jataí - GO. Afterwards, they were sent to the oven drying process with forced air circulation using controlled temperatures of 40, 50, 60 and 70 °C until the final moisture content of 12±1% (b.u.) was obtained. The seeds were packaged in kraft paper for six months, kept under laboratory conditions. The evaluations were: moisture content, electrical conductivity, sand emergence, emergence speed index, seedling length, seedling dry mass and accelerated aging. Stability, accelerated aging and seedling lengths were reduced during storage, where as in the electrical conductivity an increase in the different storage times was observed.

**Key words:** *Sorghum bicolor*, drying, germination.

## 3.1 INTRODUÇÃO

A semente é considerada o insumo agrícola de maior importância, pois a partir dela que se inicia toda a cadeia de produção agrícola. Diante disso, existe um grande avanço tecnológico desenvolvido por meio de estudos e pesquisas que buscam por novas cultivares melhoradas que atendam todos os requisitos de comercialização e que possam suprir as necessidades do consumidor (CARVALHO et al., 2016).

Na escolha pela semente ideal, uma série de características devem ser consideradas pelo produtor rural, entre elas, a capacidade de produção. Para alcançar elevada produtividade é necessária a obtenção de um material que apresente adequada qualidade fisiológica. Uma das ferramentas essenciais para obter esses resultados é a análise de sementes. Avaliar a qualidade de um lote em termos de estimar com que sucesso as sementes estabelecerão um *stand* adequado de plântulas em campo, sob uma

larga faixa de condições ambientais, é de suma importância para atingir a eficiência na agricultura moderna (ARTHUR & TONKIN, 1991).

A qualidade fisiológica tem sido estudada, visto que as sementes podem sofrer alterações degenerativas de origem bioquímica, física e fisiológica após a retirada do campo comprometendo certos parâmetros, principalmente o vigor. Dessa forma, a qualidade da semente está relacionada com o grau de pureza varietal, vigor e sanidade. Esse conjunto de características somado a outras práticas de manejo, como, adubação, controle fitossanitário, disponibilidade hídrica, entre outros, são determinantes no sucesso em culturas de expressão econômica (BINOTTI et al., 2008).

Após a colheita no campo, normalmente as sementes são submetidas à secagem e, posteriormente, ao armazenamento até a comercialização do material. Nessa etapa pós-colheita, fatores como, teor de água inicial e de armazenamento, temperatura de secagem, temperatura e umidade relativa do ar e as características inerentes as próprias sementes são decisivas na manutenção da qualidade ao longo do tempo (KONG et al., 2008; MALAKER et al., 2008).

Sabe-se que o processo de deterioração dos materiais vegetais não pode ser completamente evitado, visto que ao longo do tempo de armazenamento os produtos agrícolas tendem a perder qualidade devido a respiração (SMANIOTTO et al., 2014). No entanto, com adequadas práticas de manejo durante as etapas pós-colheita, é possível que esse processo deteriorativo seja minimizado, contribuindo para a longevidade do material resultando em uma maior estabilidade da qualidade.

Diversos testes são realizados com o intuito de prever o efeito destes fatores no vigor das sementes, contribuindo para a formação de lotes com características semelhantes que possam originar plântulas saudáveis e adequadas para estabelecimento em campo.

Além dessas respostas fisiológicas, o conhecimento mediante a higroscopicidade das sementes é de extrema importância, uma vez que estes materiais apresentam a capacidade de absorver e ceder água para o ambiente de armazenamento tendendo ao equilíbrio. Por meio desta ferramenta de estudo é possível definir os teores de água adequados para evitar o início da atividade microbiana e os limites de secagem do produto que será destinado para a armazenagem (ULLMANN et al., 2016).

Diante do exposto, o objetivo nesse trabalho foi avaliar o efeito das diferentes temperaturas de secagem e tempos de armazenamento na qualidade fisiológica das sementes de sorgo granífero.

### 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas sementes de sorgo granífero (Híbrido DKB 550) colhidas manualmente após a maturação, com teor de água de aproximadamente 21% b.u., no município de Jataí – GO. Posteriormente, foram encaminhadas para o processo de secagem em estufa com circulação forçada de ar utilizando-se temperaturas controladas de 40, 50, 60 e 70 °C.

As sementes foram secadas em bandejas sem perfuração contendo 0,4 kg de produto perfazendo uma camada de 4 cm de espessura, em quatro repetições, totalizando 1,6 kg de produto para cada tratamento. As bandejas foram pesadas periodicamente, até o ponto final da secagem de  $12 \pm 1\%$  (b.u.). A temperatura e a umidade relativa do ar da sala de secagem foram monitoradas por meio de um data logger.

As sementes foram acondicionadas em embalagens de papel kraft por seis 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 60 dias (0, 60, 120 e 180 dias de armazenamento), em três repetições, quanto ao teor de água, condutividade elétrica, emergência em areia, índice de velocidade de emergência, comprimento de plântulas, massa seca de plântulas e envelhecimento acelerado.

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

O teste de condutividade elétrica foi realizado segundo metodologia descrita por Vieira e Krzyzanowski (1999). Foram utilizadas 50 sementes para 4 subamostras de cada tratamento e 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 procederá 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 emergência foi conduzido com quatro repetições de 50 sementes de cada tratamento, as quais foram semeadas em canteiro de areia em casa de vegetação com nebulização intermitente três vezes ao dia contendo, como substrato, areia grossa, a uma profundidade de 2 cm, conforme NAKAGAWA (1999).

Na emergência foram consideradas emergidas as plântulas que apresentaram os primórdios foliares a 1 cm do substrato, com contagem a partir do 1º até o 14º dia após a semeadura (DAS) quando foram avaliados a emergência total - EM (ao 14º DAS) e o índice de velocidade de emergência (IVE) calculado segundo Maguire (1962).

O comprimento de plântulas foi realizado com 4 sub-amostras de 20 sementes em linhas intercaladas para cada lote, em rolos de papel “Germitest”, umedecidos com água destilada, equivalente a 2,5 vezes a massa do substrato seco. Os rolos foram acondicionados em sacos plásticos posicionados verticalmente em B.O.D. por dez dias a 25 °C. Ao final deste período, foi efetuada a medida das partes das plântulas normais emergidas (raiz primária e hipocótilo) utilizando-se uma régua. Os resultados médios por plântulas foram expressos em centímetros (NAKAGAWA, 1999).

A avaliação da massa seca de plântulas normais (MS) foi realizada em conjunto com o crescimento de plântulas, que 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. 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).

Para o teste de envelhecimento acelerado foi utilizado o procedimento proposto pela AOSA (1983) e descrito por Marcos Filho (1999), sendo distribuídas inicialmente, 200 sementes que foram colocadas sobre tela acoplada à caixa gerbox com 40 mL de água destilada. As caixas foram tampadas e mantidas por 72 horas em câmara BOD com temperatura de 41 °C. Decorrido o período de exposição, 4 repetições de 50 sementes foram submetidas ao teste de germinação, conforme descrito por Brasil (2009). Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais obtidas do 4º ao 10º dia após a semeadura.

O experimento segue o esquema parcela subdividida 4 x 4, sendo quatro temperaturas (40; 50; 60 e 70 °C) e quatro tempos de armazenamento (0, 2, 4 e 6 meses), em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições. Os dados foram analisados por meio de análise de variância e regressão. Os modelos foram selecionados com base na significância da equação, pelo teste F, na significância dos coeficientes de regressão utilizando-se o teste de “t”, adotando-se o nível de 5% de significância, no

coeficiente de determinação ( $R^2$  ou  $r^2$  para regressão linear simples) e no conhecimento da evolução do fenômeno biológico.

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme descrito na Tabela 1, a interação entre as diferentes temperaturas de secagem e os tempos de armazenamento apresentou efeito somente para as avaliações biométricas de comprimento radicular e comprimento de plântulas das sementes de sorgo granífero, bem como o efeito isolado das temperaturas de secagem só foi observado nestas avaliações. Enquanto as demais análises demonstraram diferença para os tempos de armazenamento.

Tabela 1: Resumo da Análise de variância para Teor de água (TA); Emergência (EM); Índice de velocidade de emergência (IVE); Condutividade elétrica (CE); Envelhecimento acelerado (EA); Comprimento de plântulas (CP), Comprimento radicular (CR) e Massa seca (MS). Onde os fatores de variação são: Temperatura (T), Épocas de armazenamento (Ea) e a interação (T x Ea) entre os tratamentos.

FV	GL	Quadrados médios							
		TA	EM	IVE	CE	EA	CP	CR	MS
T	3	5x10 <sup>-6</sup> ns	6,84 ns	0,5263 ns	24,09 ns	5,10 ns	11,58**	6,36**	1357x10 <sup>-3</sup> ns
Ea	3	994x10 <sup>-4</sup> **	83,06**	21,37**	2430,23**	71,69*	427,36**	254,01**	10750x10 <sup>-2</sup> **
T x Ea	9	6x10 <sup>-6</sup> ns	2,93 ns	0,3528 ns	12,96 ns	4,17 ns	2,68**	2,32**	1542 x10 <sup>-3</sup> ns
CV1(%)		2,92	6,01	10,88	13,88	5,91	4,70	9,51	22,22
CV2(%)		3,32	5,74	7,80	11,38	5,18	6,97	10,03	17,15
Erro 1		11x10 <sup>-4</sup>	23,75	1,58	21,31	19,91	0,43	0,46	0,0017
Erro 2		15x10 <sup>-4</sup>	21,65	0,81	14,33	15,33	0,96	0,51	0,0010

\*\* Significativa a 1%, \* Significativa a 5% e ns Não significativa pelo teste de F.

O comportamento do ambiente de armazenamento nos meses de agosto de 2016 a janeiro de 2017 (Figura 1). Para as avaliações realizadas nos quatro tempos de armazenamento (0, 2, 4 e 6), coincidindo com os meses de julho, setembro, novembro e janeiro, respectivamente. A média geral da temperatura e umidade relativa observada ao longo dos seis meses de armazenamento foi de 26,66 °C e 57,46%, respectivamente.

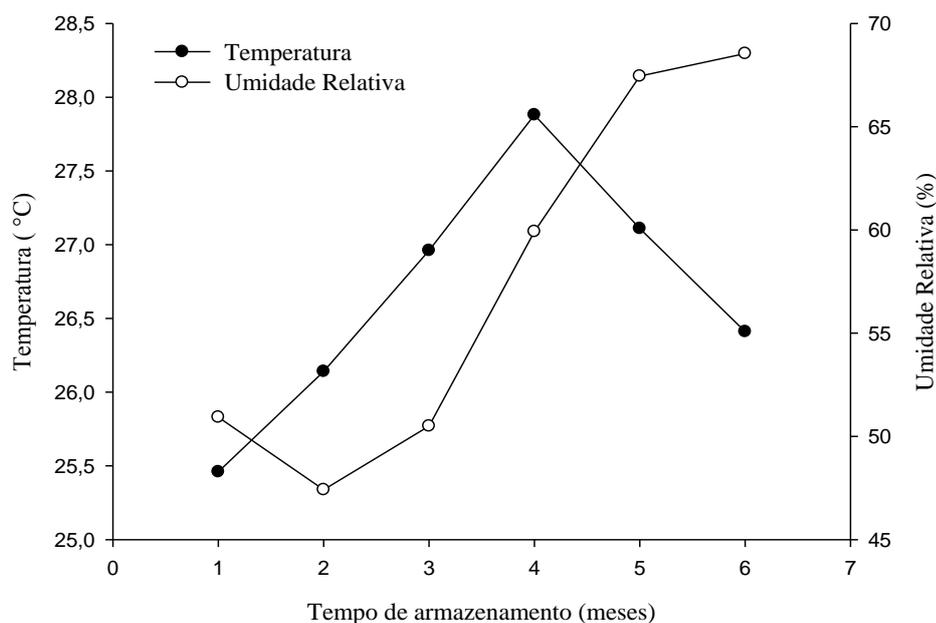


Figura 1. Dados de Temperatura (°C) e Umidade relativa (%) do ambiente de armazenamento das sementes de sorgo granífero

Observa-se um aumento da temperatura do ar entre os meses de agosto a novembro, com diminuição até janeiro de 2017. A umidade relativa do ar ambiente aumentou ao longo do tempo de armazenamento, em função do período de chuva observado no fim do mês de outubro de 2016 se estendendo até janeiro do ano seguinte.

Observa-se uma redução acentuada dos valores do teor de água das sementes de sorgo granífero aos 60 dias, esse comportamento se altera aos 120 dias e se mantém crescente até o fim do armazenamento (Figura 2).

Sabe-se que as sementes possuem a capacidade de se equilibrar com o microclima as quais estão inseridas, e para isso podem perder ou absorver água. Dessa forma, as alterações observadas no teor de água das sementes de sorgo ao longo dos 180 dias de armazenamento se devem as mudanças climáticas do ambiente, envolvendo oscilações de temperatura e umidade relativa do ar, além da alta permeabilidade da embalagem de papel kraft que permite trocas de vapor d'água entre as sementes e o ambiente externo, conforme descrito na Figura 1.

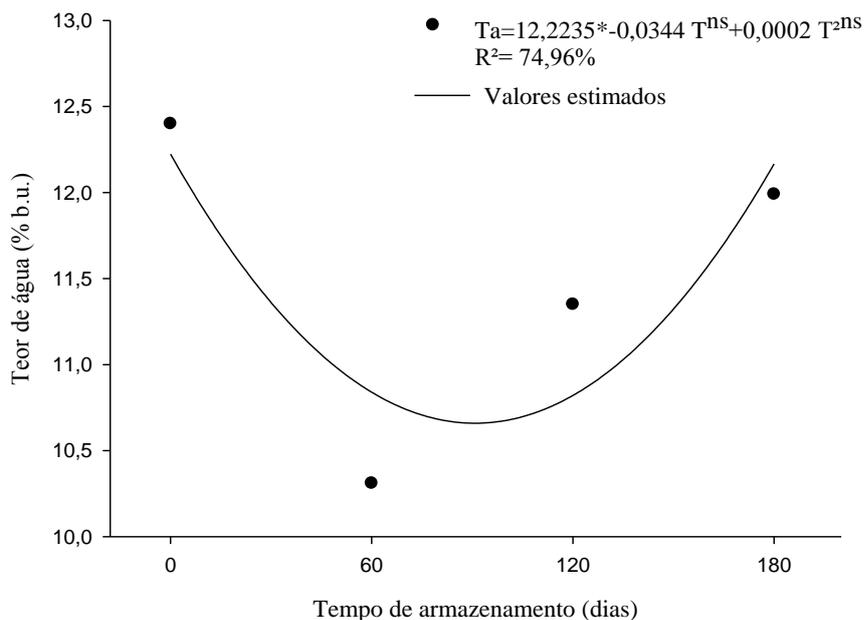


Figura 2. Teor de água das sementes de sorgo granífero armazenadas em sacos de papel kraft por 180 dias.

Utilizando as isotermas de sorção descritas por Ullmann et al. (2016) para sementes de sorgo sacarino, ajustadas as médias de temperatura e umidade relativa encontradas ao longo dos seis meses de armazenamento, obtêm-se o valor de 11,91% de teor de água de equilíbrio para o armazenamento seguro das sementes de sorgo granífero.

Em relação a porcentagem de plântulas avaliadas durante a emergência em casa de vegetação (Figura 3) observa-se que ocorre uma redução dos valores percentuais em função do tempo.

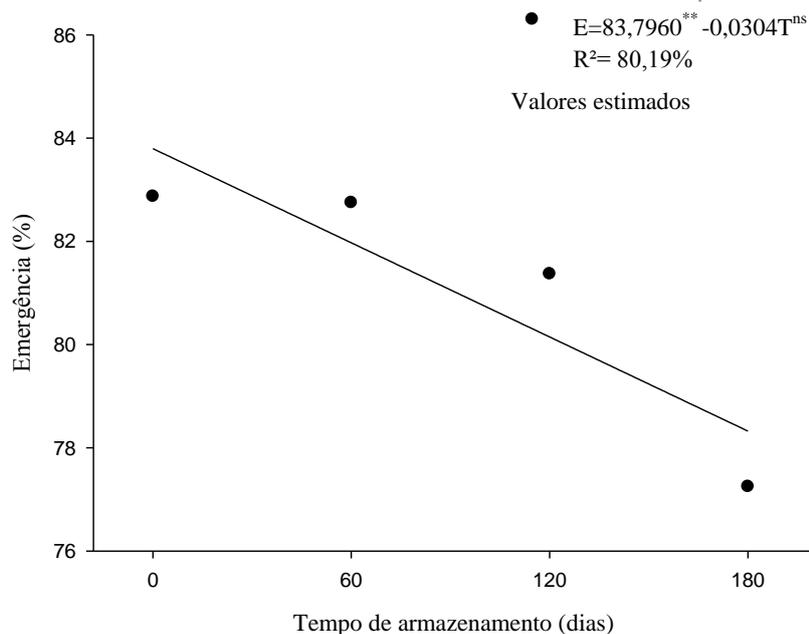


Figura 3. Dados de plântulas normais avaliadas pelo teste de Emergência das sementes de sorgo granífero armazenados em sacos de papel kraft por 180 dias.

A prática da secagem pode causar fissuras nas sementes que são observadas ao longo do armazenamento (efeito latente). Tais danos resultam em redução na qualidade física e fisiológica, podendo diminuir a porcentagem de plântulas emergidas. Essa redução observada ao longo do período de armazenamento das sementes, também pode estar atribuída a um processo de deterioração por meio da respiração, onde são utilizadas suas reservas energéticas para manutenção viável de suas estruturas de propagação até que o processo de germinação seja desencadeado (MENEZES et al., 2012).

O acondicionamento das sementes em ambientes em que são expostas a altas temperaturas do ar ambiente auxilia na intensificação da respiração, por acelerar o seu metabolismo e atividade enzimática ocasionado pela disponibilidade de água para que essas reações ocorram. Dessa forma, quanto maior o tempo de armazenamento em condições não favoráveis, maior e mais intensa a deterioração, resultando em queda no vigor das estruturas germinativas das sementes, acarretando em menor formação de plântulas viáveis.

De acordo Zucareli et al. (2015) avaliando feijão carioca em diferentes ambientes, verificaram que para o efeito ao longo das épocas o aumento do tempo de

armazenamento reduziu a emergência das plântulas no campo, para ambos os ambientes testados (câmara seca e ambiente natural), no entanto, houve maior taxa de declínio para armazenamento em condições não controladas.

Oliveira et al. (2011) trabalhando com duas cultivares de sorgo, obtiveram resultados diferentes, observando um acréscimo na porcentagem de emergência no sexto mês de armazenamento, os autores sugerem que isso ocorreu em decorrência da redução da porcentagem de sementes dormentes.

Os valores encontrados para o índice de velocidade de emergência foram de 10,45; 10,44; 13,03 e 12,40% para os tempos de 0, 60, 120 e 180 dias de armazenamento, respectivamente.

Houve um decréscimo linear na porcentagem de germinação das sementes expostas ao processo de envelhecimento acelerado ao longo do período de armazenamento (Figura 4A).

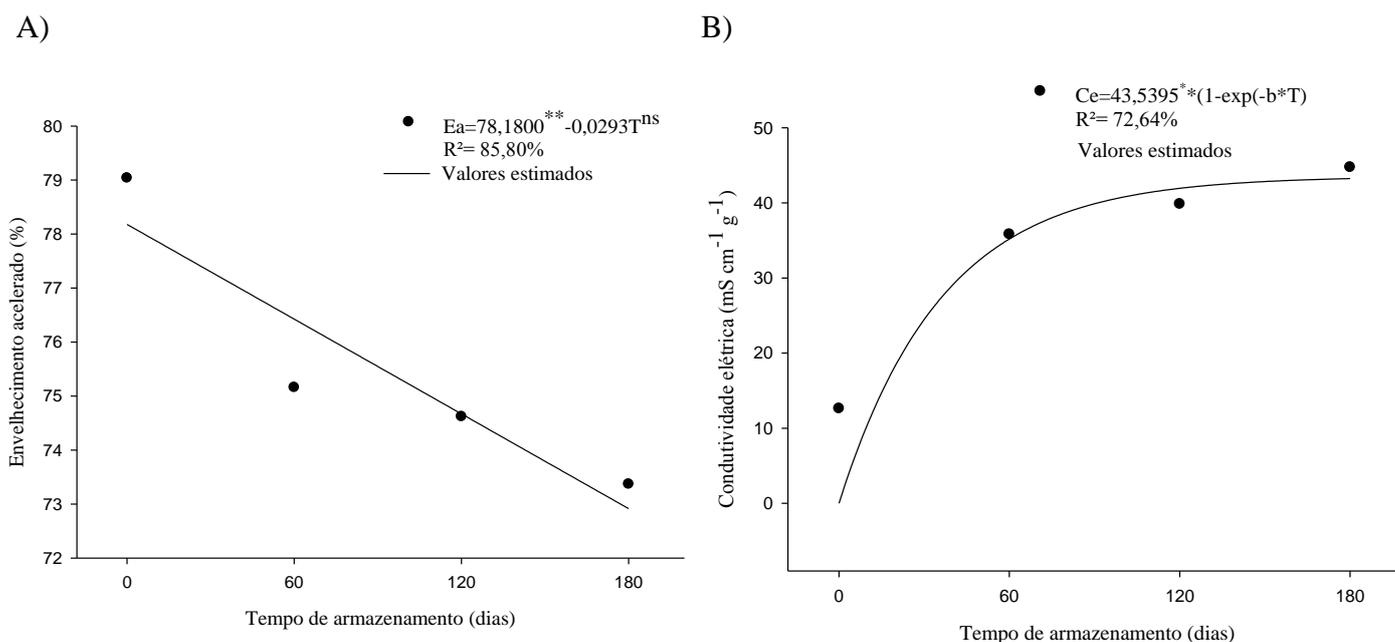


Figura 4. Envelhecimento acelerado (A) e Condutividade elétrica (B) das sementes de sorgo granífero armazenados em sacos de papel kraft por 180 dias.

O envelhecimento acelerado considera o verdadeiro potencial de germinação de sementes submetidas a condições de estresses abióticos, permitindo conhecer o real vigor. Isso por que as sementes mais vigorosas possuem mecanismos mais eficientes de reparo, principalmente devido à ação de moléculas antioxidantes, como as peroxidases, a superóxido dismutase e a catalase (MARCOS FILHO, 2015).

Segundo Marcos Filho (2005) com o passar do tempo a redução do potencial fisiológico não se restringe somente à diminuição da capacidade de germinação, que se torna mais lenta, assim como se acentua a sensibilidade às adversidades ambientais caracterizando a redução do vigor das sementes. Fujikura & Karssen (1995) relatam que a deterioração das sementes tende a aumentar com o incremento da temperatura e umidade relativa, causando danos nas membranas, proteínas e ácidos nucleicos.

Araujo et al. (2017) trabalhando com sementes de leucena e Zucareli et al. (2015) em um estudo com sementes de feijão carioca, encontraram resultados semelhantes aos obtidos nesse trabalho, confirmando que o tempo de armazenamento é capaz de reduzir a germinação de sementes expostas ao envelhecimento acelerado. Rocha et al. (2017) corroborando com os demais autores, detectaram que houve uma redução de 12% da germinação das sementes de soja expostas ao teste desde durante 120 dias de armazenamento.

De acordo com a Figura 4B, nota-se um comportamento crescente da condutividade elétrica das sementes de sorgo granífero ao longo do período de armazenamento. Os valores médios encontrados foram de 12,62; 35,82; 39,85 e 44,74  $\text{mS cm}^{-1} \text{g}^{-1}$  nos tempos de 0, 60, 120 e 180 dias, respectivamente.

Ullmann et al. (2015) estudando a secagem de sorgo sacarino, relatam que o aumento da condutividade elétrica expressa uma maior desorganização das células das membranas das sementes, tornando-as mais susceptíveis a danificações externas, como condições ambientais e ações patogênicas, causando grave comprometimento fisiológico afetando seu vigor. Diante disso, o aumento observado no presente estudo provavelmente ocorreu devido a maior lixiviação de eletrólitos movido por pequenos danos causados na estrutura das sementes ao longo do tempo em que foram armazenadas, como causa dessas pequenas danificações pode-se apontar a temperatura e umidade relativa do ar ambiente causando maior absorção e redução do teor de água e ações de microrganismos.

Silva et al. (2010), Zuchi et al. (2013) e Smaniotto et al. (2014) trabalhando com soja, Zucareli et al. (2015) com feijão, também encontraram resultados similares, reforçando que o armazenamento pode contribuir para o aumento da condutividade elétrica das sementes.

Para o comprimento de plântulas nota-se o efeito da interação entre temperatura do ar de secagem e tempos de armazenamento (Figura 5). Observa-se que o comprimento de plântulas foi fortemente afetado pelas temperaturas mais altas de

secagem, causando redução do crescimento, enquanto as temperaturas inferiores permitem um desenvolvimento maior. O ponto de máxima da curva foi de 22,09; 12,53; 15,31 e 7,54 cm para as temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C, respectivamente. Em relação ao tempo de armazenamento, observa-se uma sutil redução somente no período final.

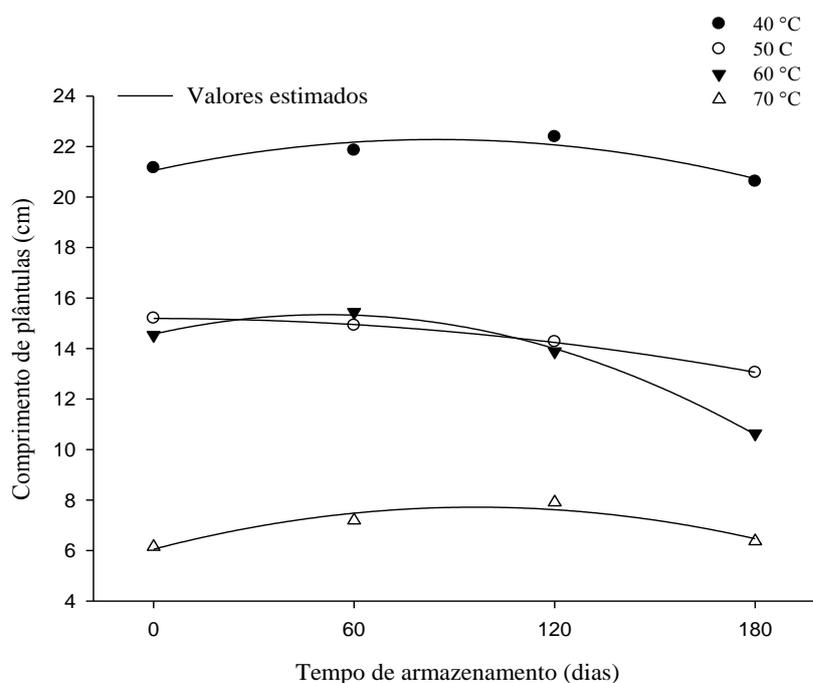


Figura 5. Comprimento de plântulas das sementes de sorgo granífero armazenados em sacos de papel kraft por 180 dias.

Tabela 2. Equações quadráticas ajustadas para os valores obtidos na avaliação de comprimento de plântulas (cm) das sementes de sorgo granífero armazenadas em sacos de papel kraft por 180 dias

Temperatura °C	Equações	R <sup>2</sup>
40	$Cp=21,0520^{*}+0,0289T^{ns}-0,0002T^{2ns}$	87,07%
50	$Cp=15,1900^{**}-8,3333T^{ns}-6,5278T^{2ns}$	99,93%
60	$Cp=14,5690^{**}+0,0299T^{ns}-0,0003T^{2ns}$	99,77%
70	$Cp=6,0530^{*}+0,0345T^{ns}-0,0002T^{2ns}$	90,34%

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

Oliveira et al. (2015) observaram comportamento similar avaliando sementes de feijão-caupi armazenadas por 180 dias, os autores reforçam que a medida que o armazenamento avança, prejuízos ao vigor das sementes são observados, isto ocorre devido ao processo natural de deterioração que é inevitável e irreversível.

Azevedo et al. (2003) analisando a influência das embalagens e as condições de armazenamento de sementes de gergelim, verificaram que o armazenamento em ambiente natural realizado em sacos de papel kraft (embalagem permeável) permitem perdas mais acentuadas na viabilidade das sementes ao longo do processo de armazenagem, isto ocorre devido a maior influência das condições climáticas causando redução expressiva de qualidade.

Em relação ao comprimento de raiz, é possível verificar que a interação dos fatores avaliados afetou de forma expressiva o desenvolvimento do órgão radicular (Figura 6), ou seja, altas temperaturas de secagem reduziram o comprimento das raízes, e esse efeito deletério foi potencializado com o avanço do armazenamento.

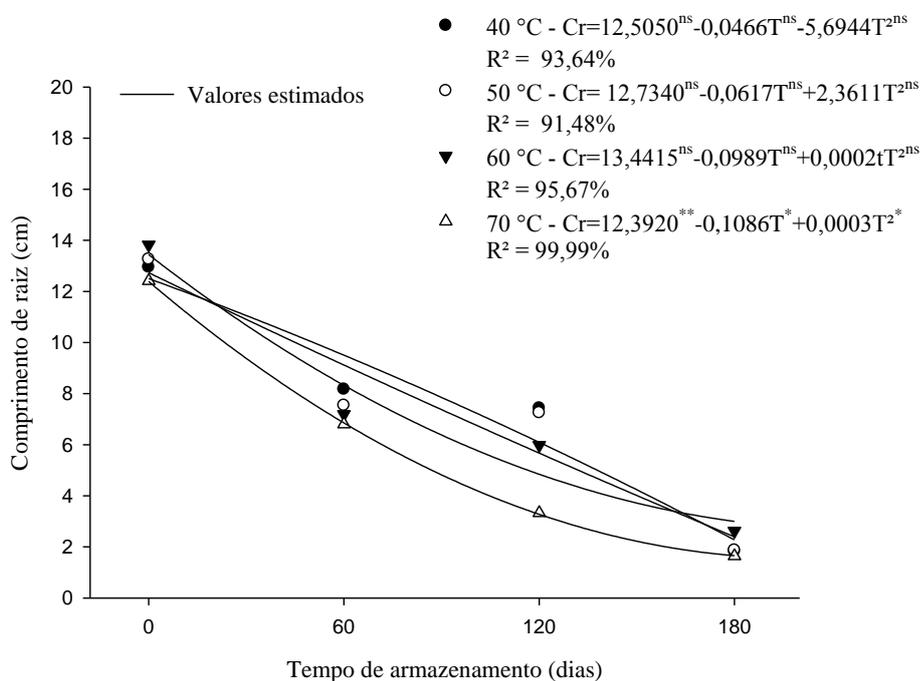


Figura 6. Comprimento de raiz das plântulas de sorgo granífero armazenados em sacos de papel kraft por 180 dias.

Isso demonstra que a secagem das sementes quando realizada em temperaturas excessivamente altas prejudicam a formação do sistema radicular da planta, e que este efeito é potencializado em sementes armazenadas.

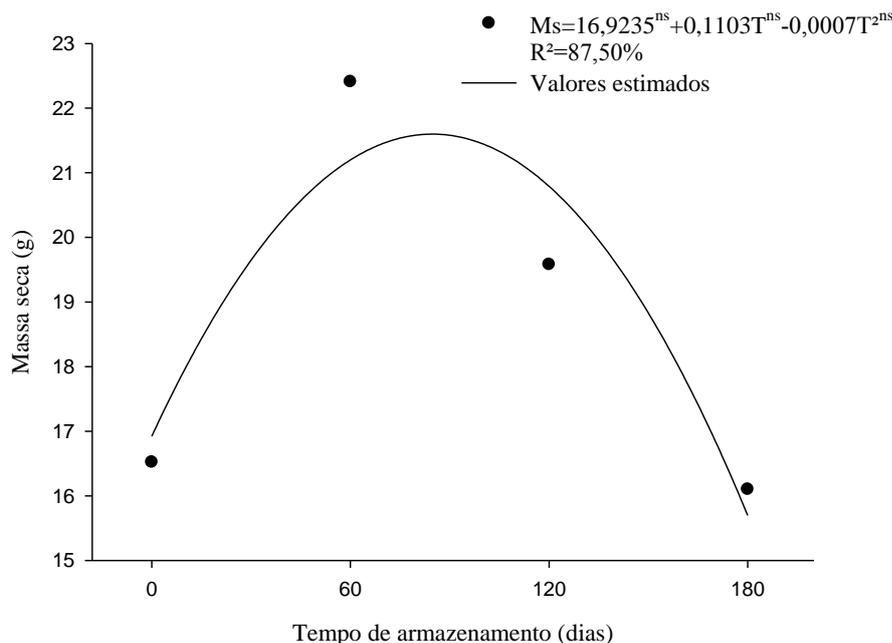


Figura 7. Massa seca das plântulas provenientes de sementes de sorgo granífero armazenados em sacos de papel kraft por 180 dias.

Para a massa seca de plântulas normais de sorgo granífero, nota-se que houve um ponto máximo na curva com o valor de 21,27 g de massa seca aos 79 dias de armazenamento, após esse período é perceptível um decréscimo dos valores e essa redução se mantém até o fim do armazenamento (Figura 7). Essa diminuição é proveniente da redução do desenvolvimento das plântulas, conforme pode-se confirmar por meio das Figuras 5 e 6.

Essas medidas biométricas e de biomassa, juntamente aos demais testes de vigor evidenciam os sinais de deterioração das sementes ao longo do período de armazenamento desfavorecendo a formação de plântulas viáveis resultado da perda de qualidade. Bewley et al. (2013) retratam que esses declínios no vigor são resultados do processo de deterioração das sementes, por meio do envelhecimento e desestruturação do sistema de membranas e perda da permeabilidade devido ao ataque de seus constituintes celulares por radicais livres.

### 3.4 CONCLUSÕES

Temperaturas elevadas de secagem resultam em prejuízos na formação radicular e comprimento das plântulas de sorgo.

Os valores de porcentagem de emergência das sementes de sorgo vão reduzindo ao longo do tempo de armazenamento, sendo possível observar forte decréscimo após os 120 dias de armazenagem.

A condutividade elétrica sofre intenso aumento a partir dos 60 dias de armazenamento, mantendo o mesmo comportamento crescente de seus valores até os 180 dias.

O armazenamento em condições de ambiente natural promove redução da qualidade fisiológica e do vigor das sementes em todas as características avaliadas, sendo que aos 60 dias já é possível observar os efeitos provenientes da deterioração.

Diante disso, não é recomendado a armazenagem de sementes de sorgo em embalagens permeáveis sob condições naturais por tempo maior que sessenta dias.

### 3.5 LITERATURA CITADA

Association of Official Seed Analysts - AOSA. **Seed vigor testing handbook**. East Lasing: AOSA, 1983. 93p.

ARAUJO, F. dos S.; FÉLIX, F. C.; FERRARI, C. dos S.; BRUNO, R. de L. A.; PACHECO, M. V. Adequação do teste de envelhecimento acelerado para avaliação do vigor de sementes de leucina. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.12, n.1, p.92-97, 2017.

ARTHUR, T. J.; TONKIN, J. H. B. **Testando o vigor da semente**. Inf. Abrates, Londrina, v. 1, p. 38-41, 1991.

AZEVEDO, M. R. de Q. A.; GOUVEIA, J. P. G. de; TROVÃO, D. M. de M.; QUEIROGA, V. de P. Influência das embalagens e condições de armazenamento no vigor de sementes de gergelim. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.3, p.519-524, 2003.

BEWLEY, J. D.; BRADFORD, K. J.; HILHORST, H. W. M.; NONOGAKI, H. **Mobilization of stored reserves**. Seeds: Springer-Verlag, 2013. p 183–246.

. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.) Vigor de sementes: conceitos e testes. Londrina: ABRATES, 1999. p. 3.1-3.24.

BINOTTI, F. F. da S.; HAGA, K. I.; CARDOSO, E. D.; ALVES, C. Z.; SÁ, M. E. de; ARF, O. **Efeito do período de envelhecimento acelerado no teste de condutividade elétrica e na qualidade fisiológica de sementes de feijão**. Acta Science Agronomy, v. 30, n.2, p. 247 – 254, 2008.

- BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de defesa Agropecuária. **Regras para Análise de Sementes**. Brasília, 2009. 395p.
- CARVALHO, I. R.; SOUZA, V. Q. de; FOLLMANN, D. N.; NARDINO, M.; SCHIMIDT, D.; PELISSARI, G.; BARETTA, D. Desempenho fisiológico de cultivares de soja com regulação hídrica por Manitol. **Revista Agrarian**, v.9, n.31, p.34-43, 2016.
- FUJIKURA, Y.; KARSSSEN, C.M. Molecular studies on osmoprimed seeds of cauliflower: a partial amino acid sequence of a vigour-related protein and osmopriming-enhanced expression of putative aspartic protease. **Seed Science Research**, v.5, n.3, p.177-181, 1995.
- KONG, F.; CHANG, S. K. C.; LIU, Z.; WILSON, L. A. Changes of soybean quality during storage as related to soymilk and tofu making. **Journal of Food Science**, v.73, n.3, p.134-144, 2008.
- MAGUIRE, J. D. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v.2, n.1, p.176-177, 1962.
- MALAKER, P. K.; MIAN, I. H.; BHUIYAN, K. A.; AKANDA, A. M.; REZA, M. M. A. Effect of storage containers and time on seed quality of wheat. **Journal of Agricultural Research**, v.33, n.3, p.469-477, 2008.
- MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: FEALQ, 2005. 495p.
- MARCOS FILHO, J. Testes de vigor de sementes: uma visão geral do passado, presente e perspectiva do futuro. **Revista Scientia Agrícola**, v.72, n.4, p.363-374, 2015.
- MARCOS FILHO, J. **Teste de envelhecimento acelerado**. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.) **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. p. 3.1-3.24.
- MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Padrões para produção e comercialização de sementes de sorgo granífero e sorgo forrageiro**. Instrução Normativa, n.25, 2005.
- MENEZES, N. L. de; PASQUALLI, L. L.; BARBIERI, A. P. P.; VIDAL, M. D.; CONCEIÇÃO, G. M. Temperaturas de secagem na integridade física, qualidade fisiológica e composição química de sementes de arroz. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.42, n.4, p.430-436, 2012.

NAKAGAWA, J. **Testes de vigor baseados na avaliação das plântulas.** In: Vieira, R. D.; Carvalho, N.M. (ed.) Testes de vigor em sementes. FUNEP: Jaboticabal, 1994. p.44-85.

NAKAGAWA, J. **Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas.** In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Ed.). Vigor de sementes: conceitos e testes. Londrina: ABRATES, 1999. p.2.1-2.24.

OLIVEIRA, J. A.; SILVA; T. T. de A.; PINHO, E. V. de R. V.; ABREU, L. A. de S. Secagem e armazenamento de sorgo com alto e baixo teor de tanino. **Revista Brasileira de Sementes**, v.33, n.4, p.699-710, 2011.

OLIVEIRA, L. M. de; SCHUCH, L. O. B.; BRUNO, R. de L. A.; PESKE, S. T. Qualidade de sementes de feijão-caupi tratadas com produtos químicos e armazenadas em condições controladas e não controladas de temperatura e umidade. **Semina: Ciências Agrárias**, v.36, n.3, p.1263-1276, 2015.

OLIVEIRA, D. E. C. de, RESENDE, O.; SMANIOTTO, T. A. de S.; CAMPOS, R. C. Qualidade fisiológica de sementes de milho submetidas a diferentes temperaturas na secagem artificial. **Global Science and Technology**, v.9, n.2, p.25-34, 2016.

ROCHA, G. C.; RUBIO NETO, A.; CRUZ, S. J. S.; CAMPOS, G. W. B.; CASTRO, A. L. de O.; SIMON, G. A. Qualidade fisiológica de sementes de soja tratadas e armazenadas. **Revista Científica**, v.1, n.5, p.50-65, 2017.

SARATH, K. L. L., GONELI, A. L. D.; HARTMANN FILHO, C. P.; MASETTO, T. E.; OBA, G. C. Physiological potential of peanut seeds submitted to drying and storage. **Journal of Seed Science**, v.38, n.3, p.233-240, 2016.

SILVA, F. S. da; PORTO, A. G.; PASCUALI, L. C.; Silva, F. T. C. da. Viabilidade do armazenamento de sementes em diferentes embalagens para pequenas propriedades rurais. **Revista de Ciências Agroambientais**, v.8, n.1, p.45-56, 2010.

SMANIOTTO, T. A. de S.; RESENDE, O.; MARÇAL, K. A. F.; OLIVEIRA, D. E. C. de; SIMON, G. A. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.4, p.446-453, 2014.

ULLMANN, R; RESENDE, O.; CHAVES, T. H.; OLIVEIRA, D. E. C. de; COSTA, L. M. Qualidade fisiológica de sementes de sorgo sacarino submetidas a secagem em diferentes condições de ar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.1, p. 64-69, 2015.

ULLMANN, R; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D. E. C. de; COSTA, L. M; CHAVES, T. H. Higroscopicidade das sementes de sorgo sacarino. **Revista Engenharia Agrícola**, v.36, n.3, p.515-524, 2016.

VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M.; SADER, R. **Testes de vigor e suas possibilidades de uso**. In: VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M. (Ed.). Teste de vigor em sementes. Jaboticabal: FUNEP, 1994. p.31-47.

VIEIRA, R. D.; KRZYZANOWSKI, F. C. **Teste de condutividade elétrica**. In: Krzyzanowski, F. C.; Vieira, R. D.; França Neto, J. B. (ed.). Vigor de sementes: Conceitos e testes, Londrina: ABRATES, 1999. Cap. 4, p.1-26.

ZUCARELI, C.; BRZEZINSKI, C. R.; ABATI, J.; WERNER, F.; RAMOS JÚNIOR, E. U.; NAKAGAWA, J. Qualidade fisiológica de sementes de feijão carioca armazenadas em diferentes ambientes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.8, p. 803-809, 2015.

ZUCHI, J.; FRANÇA NETO, J. B.; SEDIYAMA, C. S.; LACERDA FILHO, A. F.; REIS, M. S. Physiological quality of dynamically cooled and stored soybean seeds. **Journal of Seed Science**, v.35, p.353-360, 2013.

## CONCLUSÃO GERAL

O acréscimo da temperatura aliado a redução dos teores de água resulta em maiores valores no índice de contração volumétrica da massa de sementes de sorgo granífero.

A massa específica aparente e a velocidade terminal das sementes de sorgo granífero sofrem um declínio com a redução do teor de água.

Os teores de água das sementes de sorgo influenciam sensivelmente as análises das propriedades físicas e mecânicas de maneira geral.

A força de compressão necessária para causar ruptura no tegumento das sementes de sorgo granífero diminui com o aumento do teor de água, para os diversos níveis de deformações, apresentando valores entre 47,17 a 78,44 N; 61,81 a 69,66 N e 52,07 a 70,89 para as temperaturas de 60, 80 e 100 °C, respectivamente.

O módulo proporcional de deformidade aumenta com a redução do teor de água e da deformação do produto, obtendo-se valores entre  $87 \times 10^{-7}$  a  $354,99 \times 10^{-7}$  Pa;  $132,63 \times 10^{-7}$  a  $465,98 \times 10^{-7}$  Pa e  $80,18 \times 10^{-7}$  a  $429,85 \times 10^{-7}$  Pa para as temperaturas de 60, 80 e 100 °C, respectivamente.

Por meio dos valores obtidos para o módulo de deformidade e força de compressão, implica-se que sementes com menor teor de água poderão ter um melhor desempenho quando submetidas a pressões nas etapas de colheita e pós-colheita.

Altas temperaturas de secagem resultam em prejuízos na formação radicular e desenvolvimento das plântulas de sorgo.

O armazenamento em condições de ambiente natural promove redução da qualidade fisiológica e do vigor das sementes em todas as características avaliadas, sendo que aos 60 dias já é possível observar os efeitos provenientes da deterioração. Nessas condições, para manter a viabilidade do armazenamento e longevidade das sementes se faz necessário o monitoramento constante de todas as variáveis avaliadas, podendo realizar a tomada de decisões assertivas e assim estender o tempo de armazenamento preservando a qualidade do produto até a comercialização do mesmo.

Não é recomendado que o armazenamento das sementes de sorgo granífero seja realizado em embalagem de papel em condições de ambiente natural, por apresentar alta permeabilidade, podendo causar alterações no teor de água das sementes, mediante as variações climáticas, resultando em maior deterioração do produto.