

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

**HIGROSCOPICIDADE E QUALIDADE FISIOLÓGICA DE
SEMENTES DE MAMONA SUBMETIDAS AO
BENEFICIAMENTO E ARMAZENAMENTO**

Autora: Anailda Angélica Lana Drumond
Orientadora: Prof^ª. Dra. Juliana de Fátima Sales

RIO VERDE - GO
Agosto - 2018

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

**HIGROSCOPICIDADE E QUALIDADE FISIOLÓGICA DE
SEMENTES DE MAMONA SUBMETIDAS AO
BENEFICIAMENTO E ARMAZENAMENTO**

Autora: Anailda Angélica Lana Drumond
Orientadora: Prof^ª. Dra. Juliana de Fátima Sales
Coorientadores: Prof. Dr. Jacson Zuchi
Prof. Dr. Osvaldo Resende

Tese apresentada como parte das exigências para
obtenção do título de DOUTORA EM
CIÊNCIAS AGRÁRIAS - AGRONOMIA, no
Programa de Pós-Graduação em Ciências
Agrárias - Agronomia do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia Goiano -
Câmpus Rio Verde – (Área de Concentração em
Produção Vegetal Sustentável no Cerrado).

RIO VERDE - GO
Agosto – 2018

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

DD795h Drumond, Anailda Angélica Lana
HIGROSCOPICIDADE E QUALIDADE FISIOLÓGICA DE
SEMENTES DE MAMONA SUBMETIDAS AO BENEFICIAMENTO E
ARMAZENAMENTO / Anailda Angélica Lana
Drumond;orientadora Juliana de Fátima Sales; co-
orientadora Jacson Zuchi. -- Rio Verde, 2018.
89 p.

Tese (Doutorado em Ciências Agrárias - Agronomia)
-- Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2018.

1. Ricinus communis L.. 2. tamanho de sementes.
3. massa específica. 4. conservação de sementes. 5.
equilíbrio higroscópico. I. Sales, Juliana de Fátima,
orient. II. Zuchi, Jacson, co-orient. III. Título.

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

**HIGROSCOPICIDADE E QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE
MAMONA SUBMETIDAS AO BENEFICIAMENTO E ARMAZENAMENTO**

Autora: Anailda Angélica Lana Drumond
Orientadora: Prof^a. Dr^a. Juliana de Fátima Sales

TITULAÇÃO: Doutorado em Ciências Agrárias – Agronomia – Área de Concentração
em Produção Vegetal Sustentável do Cerrado

APROVADA em 20 de agosto de 2018

Prof. Dr. Gessimar Nunes Camelo
Avaliador Externo
IFMT – Campo Novo do
Parecis/MT

Prof. Dra. Carla Gomes Machado
Avaliadora Externa
UFG – Jataí/GO

Prof. Dr. Osvaldo Resende
Avaliador Interno
IF Goiano – Rio Verde/GO

Prof. Dr. Jacson Zuchi
Avaliador Interno
IF Goiano – Rio Verde/GO

Prof. Dra. Juliana de Fátima Sales
Presidente da Banca
IF Goiano – Rio Verde/GO

AGRADECIMENTOS

Ao Senhor Deus, por me agraciar com a vida, saúde e inteligência.

Aos meus pais Joana e Edelton, que sempre primaram pela minha educação e ofereceram a oportunidade de estudar. Aos meus irmãos Anailton e André, que estiveram comigo desde o início, sempre apoiando. Ao meu marido Jarbas e meus filhos Gabriel e Giovana, que me deram força e suportaram todas as tempestades. Todos entenderam minhas faltas, afastamentos e momentos de reclusão para estudar.

Ao Instituto Federal Goiano - *Campus* Rio Verde e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia, pela oportunidade de fazer parte do corpo discente e aprimorar meus conhecimentos.

À minha orientadora Juliana de Fátima Sales, pelo aprendizado, pela confiança, ombro amigo e conselhos, uma respeitada profissional da área de sementes, mas também um pouco psicóloga. Aos meus coorientadores Jacson Zuchi (conselheiro, amigo e bondoso – minha eterna gratidão) e Osvaldo Resende, por todos os ensinamentos e presença primordial do início ao fim, em prontidão.

À Empresa Sementes Goiás LTDA., pela parceria e apoio técnico, bem como por ter cedido todas as amostras de sementes necessárias ao trabalho. Também se manteve com total abertura para visitas aos campos de produção e Unidade de Beneficiamento.

Às minhas amigas Carla Patrícia, Ana Paula, Raphaela, Adriana e Michele, do Clube das Marmotas, por tornarem os dias mais leves e divertidos. Em especial, pelo apoio incondicional que a Marmota Carla Patrícia me ofereceu ao se tornar minha irmã de alma. Sou extremamente grata a todas, cada uma com seu pedacinho no meu coração.

Aos colegas do Laboratório de Sementes e Laboratório de Pós-Colheita de Produtos Agrícolas, pelo auxílio e contribuição nos trabalhos e análises. Alguns se tornaram mais que colegas e tiveram participação decisiva na jornada, em especial, a menina Moara e o pai Gessimar (vulgo prosa ruim). Não poderia deixar de citar Melícia,

Gabrielle, Lilia, Kelly, Lívia, Pablo, Alana, Geovane, Natielly, Stella, Guilherme, Jaqueline Bessa, Weder, Sandriane e Filipe.

Aos colegas da pós-graduação de todas as disciplinas. Nesse momento estou realmente me lembrando de todos, com um sorriso no rosto, pois nós temos muitas histórias para contar, principalmente os grupos do zap-zap, altas risadas, desespero, listas e muitos áudios para estudar. Valeu a pena cada crédito compartilhado com cada um de vocês, cada qual com um perfil diferente, e deu tudo certo. E tinha que dar... somos sobreviventes, imagina fazer pós-graduação juntamente com seus ex-alunos de graduação e vê-los superando você, isso é incrível. Agradeço a todos.

À Nilcyneia, Professora e Diretora da UEG, *Campus* Santa Helena de Goiás, minha amiga, pela compreensão, apoio e auxílio em todos os momentos em que precisei me ausentar dos trabalhos de docente no *Campus*. Muita gratidão e admiração!

Aos professores, mestres da arte de ensinar, cada um com seu estilo e didática. Ah! esses são campeões na luta diária, no trabalho árduo e, às vezes, ingrato. Mas sempre com mais pontos positivos na balança. Minha primeira inspiração de trabalho foi uma professora, Tia Julieta, da Escola Pica-Pau Amarelo, com sua educação e humildade. Então, sim, os professores merecem destaque especial nesta jornada pelas 30 horas do dia dedicadas ao ensino, pesquisa e extensão num país denominado “Paraíso Fiscal”, que dispensa comentários quando se trata de educação.

BIOGRAFIA DA AUTORA

Anailda Angélica Lana Drumond, filha de Joana de Lana Gomes e Edelson Alvarenga Drumond, nascida em Ipatinga – Minas Gerais, no dia 14 de agosto de 1980. Era para ser farmacêutica, mas os caminhos a levaram para o universo da agropecuária, mais especificamente, ao fascínio pelas plantas. Assim, iniciou a graduação em Agronomia, na Universidade Federal de Lavras, em novembro de 1998, e concluiu o curso em julho de 2003. Logo em seguida, ingressou no Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Viçosa, no Departamento de Fitotecnia, a nível de mestrado, em agosto de 2003, que foi finalizado em agosto de 2005. Trabalhou com assistência técnica para grãos (soja, milho, feijão e sorgo) e olerícolas (batata, cenoura, beterraba, cebola) por dois anos na empresa Via Agrícola Ltda., em Uberaba, Minas Gerais. Em 2007, mudou-se para Santa Helena de Goiás, Goiás, onde ministrou aulas na Universidade Estadual de Goiás para o curso de Engenharia Agrícola, durante nove anos. Em agosto de 2015, foi aprovada para iniciar o curso de doutorado no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia, na área de Tecnologia de Sementes, submetendo-se à defesa de tese para obtenção do título de Doutora em Ciências Agrárias – Agronomia, em agosto de 2018.

Santo seja o mês de agosto, final do inverno, início da primavera! Mudanças bruscas e marcantes de estações, assim como a personalidade desta autora.

ÍNDICE

	Página
ÍNDICE DE TABELAS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES.....	x
RESUMO.....	xii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUÇÃO GERAL.....	16
1.1. A cultura da mamona	18
1.2. O beneficiamento e armazenamento influenciando a qualidade fisiológica das sementes.....	19
1.3. Higroscopicidade das sementes.....	23
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25
OBJETIVO GERAL	30
CAPÍTULO I - Qualidade fisiológica de sementes de mamona após o beneficiamento	31
RESUMO.....	31
ABSTRACT.....	32
1.1. INTRODUÇÃO	32
1.2. MATERIAL E MÉTODOS	34
1.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
1.4. CONCLUSÕES.....	46
1.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46
CAPÍTULO II - Qualidade fisiológica de sementes de genótipos de mamona armazenadas em duas temperaturas.....	50
RESUMO.....	50
ABSTRACT.....	51
2.1. INTRODUÇÃO	51

2.2. MATERIAL E MÉTODOS	52
2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
2.4. CONCLUSÕES.....	65
2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
CAPÍTULO III - Higroscopicidade de sementes de mamona (<i>Ricinus communis</i> L.) ...	70
RESUMO.....	70
PALAVRAS-CHAVE	70
3.1. INTRODUÇÃO	71
3.2. MATERIAL E MÉTODOS	72
3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	75
3.4. CONCLUSÕES.....	81
3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81
CONCLUSÃO GERAL.....	85

ÍNDICE DE TABELAS

	Página
CAPÍTULO I. Qualidade fisiológica de sementes de mamona após o beneficiamento....	31
Tabela 1. Teor de água de sementes de mamona, dos genótipos EVF102 e EVF103, de tamanhos 8 e 9 mm, para cada nível de separação por massa específica (D1, D2, D3 e D4).....	37
Tabela 2. Resumo da análise de variância, com valores de F, para as variáveis germinação (G), índice de velocidade de germinação (IVG), emergência (E), índice de velocidade de emergência (IVE), condutividade elétrica (CE) e envelhecimento acelerado (EA) das sementes de mamona de dois genótipo, dois tamanhos e 5 classes de massa específica...38	38
Tabela 3. Massa de 1000 sementes de mamona do genótipo EVF102 e EVF103 beneficiadas por tamanho (8 e 9 mm) e massa específica (D1, D2, D3 e D4).....	39
Tabela 4. Médias da porcentagem de germinação das sementes de mamona dos genótipos EVF102 e EVF103, separadas em tamanhos 8 e 9 mm e cinco classes de massa específica (SD, D1, D2, D3 D4).....	40
Tabela 5. Médias do índice de velocidade de germinação das sementes de mamona dos genótipos EVF102 e EVF103, separadas em tamanhos 8 e 9 mm e cinco classes de massa específica (SD, D1, D2, D3 D4).....	41
Tabela 6. Médias da emergência das sementes de mamona dos genótipos EVF102 e EVF103, separadas em tamanhos 8 e 9 mm e cinco classes de massa específica (SD, D1, D2, D3 D4).....	42

Tabela 7. Médias do índice de velocidade de emergência (IVE) das sementes de mamona dos genótipos EVF102 e EVF103, separadas em tamanhos 8 e 9 mm e cinco classes de massa específica (SD, D1, D2, D3 D4).....	43
Tabela 8. Médias da condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$) das sementes de mamona separadas em tamanhos 8 e 9 mm e cinco classes de massa específica (SD, D1, D2, D3 D4).....	44
Tabela 9. Médias do envelhecimento acelerado (%) das sementes de mamona dos genótipos 102 e 103, separadas em tamanhos 8 e 9 mm e cinco classes de massa específica (SD, D1, D2, D3 D4).....	45
CAPÍTULO III. Higroscopicidade de sementes de mamona (<i>Ricinus communis</i> L.).....	
Tabela 1. Modelos matemáticos utilizados para prever a higroscopicidade de produtos vegetais.....	74
Tabela 2. Parâmetros dos modelos de equilíbrio higroscópico para sementes de mamona EVF103, com seus respectivos erros médios estimados (SE) e relativo (P), qui-quadrado (χ^2), coeficientes de determinação (R^2) e critérios de informação AIC e BIC.....	76
Tabela 3. Parâmetros dos modelos de equilíbrio higroscópico para sementes de mamona EVF103, com seus respectivos erros médios estimados (SE) e relativo (P), qui-quadrado (χ^2), coeficientes de determinação (R^2) e critérios de informação AIC e BIC.....	78

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
CAPÍTULO II. Qualidade fisiológica de sementes de genótipos de mamona armazenadas em duas temperaturas.....	50
Figura 1. Porcentagem de germinação (A), Índice de velocidade de germinação (B), Porcentagem de emergência (C), Índice de velocidade de emergência (D), Condutividade elétrica (E), Envelhecimento acelerado (F) de sementes de mamona do genótipo EVF 106, armazenadas por 300 dias em temperaturas de 10 e 20 °C. As médias seguidas por letras iguais minúsculas, no mesmo tempo de armazenamento, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).....	55
Figura 2. Porcentagem de germinação (A), Índice de velocidade de germinação (B), Porcentagem de emergência (C), Índice de velocidade de emergência (D), Condutividade elétrica (E), Envelhecimento acelerado (F) de sementes de mamona do genótipo EVF 701, armazenadas por 300 dias em temperaturas de 10 e 20 °C. As médias seguidas por letras iguais minúsculas, no mesmo tempo de armazenamento, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).....	58
Figura 3. Porcentagem de germinação (A), Índice de velocidade de germinação (B), Porcentagem de emergência (C), Índice de velocidade de emergência (D), Condutividade elétrica (E), Envelhecimento acelerado (F) de sementes de mamona do genótipo 712, armazenadas por 300 dias em temperaturas de 10 e 20 °C. As médias seguidas por letras iguais minúsculas, no mesmo tempo de armazenamento, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).....	60
CAPÍTULO III. Higroscopicidade de sementes de mamona (<i>Ricinus communis</i> L.).....	65

Figura 1. Isotermas de adsorção de água para as sementes de mamona do genótipo EVF103 (A), estimadas pelo modelo de Copace, e EVF106 (B), estimadas pelo modelo Oswin Modificado, para diferentes condições de temperatura e umidade relativa do ar.....79

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

a	Coeficiente do modelo matemático	
aw	Atividade de água	
b	Coeficiente do modelo matemático	
b.s.	Base seca	
b.u.	Base úmida	
B.O.D.	<i>Biological Oxygen Demand</i>	
c	Coeficiente do modelo matemático	
CE	Condutividade Elétrica	$\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$
cm	centímetro	
D1	Classe de Densidade 1 (maior massa)	
D2	Classe de Densidade 2 (massa intermediária)	
D3	Classe de Densidade 3 (menor massa)	
D4	Classe de Densidade 4 (descarte)	
E	Emergência	
EA	Envelhecimento Acelerado	
g	grama	
G	Germinação	
h	horas	
ha	hectare	
IVG	Índice de Velocidade de Germinação	
IVE	Índice de Velocidade de Emergência	
kg	quilograma	
l	litros	
mL	mililitros	

mm	milímetros
MMS	Massa de Mil Sementes
SD	Sem classificação por massa específica
T	Temperatura
UBS	Unidade de Beneficiamento de Sementes
Xe	Teor de água de equilíbrio
%	Porcentagem
°C	Graus Celsius

RESUMO

DRUMOND, ANAILDA ANGÉLICA LANA. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde – GO, agosto de 2018. **Higroscopicidade e qualidade fisiológica de sementes de mamona submetidas ao beneficiamento e armazenamento.** Orientadora: Professora Dra. Juliana de Fátima Sales.

A mamona (*Ricinus communis* L.) é uma oleaginosa de ampla variabilidade genética, com alto grau de óleo nas sementes, que pode ser utilizado na fabricação de biodiesel, produção de próteses ósseas, verniz, tintas, vidros à prova de balas, plásticos resistentes, entre outros produtos. É importante conhecer as características biológicas e físicas das sementes de mamona de genótipos selecionados pelo melhoramento, pois isto influencia aspectos agrônômicos de transporte e armazenamento, bem como a classificação das sementes no beneficiamento. Objetivou-se com este trabalho avaliar a higroscopicidade e a qualidade fisiológica de sementes de genótipos de mamona sob diferentes procedimentos de beneficiamento e armazenamento, bem como determinar as isotermas de equilíbrio higroscópico pelo processo de adsorção, sob diferentes teores de água, umidades relativas e temperaturas. Assim, foram conduzidos três experimentos utilizando genótipos de mamona com as sementes colhidas de forma mecânica. No primeiro estudo, as sementes dos genótipos EVF102 e EVF103 foram classificadas por tamanho (máquinas de ar e peneiras) e massa (mesa densimétrica) formando lotes (SD, D1, D2, D3 e D4), que foram submetidos a avaliações de qualidade física e fisiológica. No segundo experimento, as sementes foram colocadas em B.O.D a 10 °C e 20 °C, nas quais foram colocados dataloggers para registro da temperatura e umidade, em embalagem de polipropileno de baixa densidade, com avaliações da qualidade realizada aos zero, 60, 120, 180, 240 e 300 dias de armazenamento. No terceiro estudo, as isotermas de adsorção

foram determinadas utilizando-se o método estático indireto e a atividade de água (a_w) foi determinada por meio do equipamento Hygropalm Model Aw1 para os teores de água entre 3,4 a 8,44% b.s. e temperaturas de 10, 20, 30 e 40 °C. Aos dados experimentais do teor de equilíbrio foram ajustados modelos matemáticos para representação de higroscopicidade de produtos agrícolas. Sementes do genótipo EVF102 de tamanho 8 mm, classificadas pela mesa densimétrica, apresentaram maior qualidade fisiológica considerando a germinação, índice velocidade de germinação e emergência. Sementes do genótipo EVF103, separadas por tamanho, não apresentaram diferença na qualidade fisiológica. As sementes dos genótipos EVF102 e EVF103, da classe D4 (descarte) apresentaram menor qualidade fisiológica baseando-se na emergência, condutividade elétrica e envelhecimento acelerado. Sementes de mamona do genótipo EVF106 apresentam melhor qualidade fisiológica quando armazenadas a 10 °C. Sementes de mamona do genótipo EVF701 podem ser armazenadas a 10 °C e 20 °C por 300 dias. Sementes de mamona do genótipo EVF712 apresentam redução de qualidade fisiológica durante 300 dias de armazenamento, independentemente da temperatura. O modelo Copace (EVF103) e Oswin Modificado (EVF106), segundo os parâmetros estatísticos e os critérios de informação AIC e BIC, representam a higroscopicidade das sementes de mamona na faixa de temperatura de 10 a 40 °C. Para uma atividade de água constante o teor de água das sementes de mamona dos genótipos EVF103 e EVF106 reduz com o aumento da temperatura. As isotermas de adsorção das sementes de mamona (EVF103 e EVF106) exibem o tipo III de curva.

PALAVRAS-CHAVE: *Ricinus communis* L., tamanho de sementes, massa específica, conservação de sementes, equilíbrio higroscópico.

ABSTRACT

DRUMOND, ANAILDA ANGÉLICA LANA. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde – GO, agosto de 2018. **Hygroscopicity and physiological quality of castor bean seeds submitted to processing and storage.** Advisor: Prof^a Dra. Juliana de Fátima Sales.

Castor oil (*Ricinus communis* L.) is an oilseed with a wide genetic variability, with a high degree of oil in the seeds, which can be used in the biodiesel manufacture, bone prosthesis production, varnish, paints, bulletproof glass, resistant plastics, among other products. It is important to know the biological and physical characteristics of the castor bean seeds of genotypes selected by the improvement, since this influences agronomic aspects of transportation and storage, as well as the classification of the seeds in the processing. The objective of this work was to evaluate the hygroscopicity and physiological quality of seeds of castor bean genotypes under different processing and storage procedures, as well as to determine the isotherms of hygroscopic equilibrium by the adsorption process under different water contents, relative humidity and temperature. Thus, three experiments were conducted using castor bean genotypes with the seeds harvested mechanically. In the first study, the seeds of the genotypes EVF102 and EVF103 were classified by size (air and sieves) and mass (table densimetric) forming batches (SD, D1, D2, D3 and D4), which have been submitted to physical quality assessments and physiological. In the second experiment, the seeds were placed in BOD at 10 °C and 20 °C, in which dataloggers were placed for temperature and humidity recording in a low density polypropylene package with quality evaluations performed at zero, 60, 120, 180, 240 and 300 days of storage. In the third study, the adsorption isotherms were determined using the indirect static method and the water activity (a_w) was determined using the Hygropalm Model Aw1 equipment for water contents between 3.4 and 8.44% b.s. and temperatures of 10, 20, 30 and 40 °C.

To experimental data of the balance content were adjusted mathematical models to represent the hygroscopicity of agricultural products. Seeds of the genotype EVF102 of size 8 mm, classified by the densimetric table, presented higher physiological quality considering the germination, rate of germination and emergence. Seeds of the genotype EVF103, separated by size, showed no difference in physiological quality. Seeds of the genotypes EVF102 and EVF103, class D4 (discard) presented lower physiological quality based on emergence, electrical conductivity and accelerated aging. Castor seeds of genotype EVF106 present better physiological quality when stored at 10 °C. Castor seeds of the genotype EVF701 can be stored at 10 °C and 20 °C for 300 days. Castor seeds of the EVF712 genotype present reduced physiological quality during 300 days of storage, regardless of temperature. The Copace model (EVF103) and Modified Oswin (EVF106), according to the statistical parameters and the AIC and BIC information criteria, represent the hygroscopicity of the castor bean seeds in the temperature range of 10 to 40 °C. For a constant water activity the water content of the castor bean seeds of the genotypes EVF103 and EVF106 reduces with increasing temperature. The adsorption isotherms of castor bean seeds (EVF103 and EVF106) exhibit curve type III.

KEYWORDS: *Ricinus communis* L., seed size, specific mass, seed conservation, hygroscopic equilibrium.

INTRODUÇÃO GERAL

A mamona (*Ricinus communis* L.) é uma valiosa cultura oleaginosa que fornece quase todo o suprimento mundial de ácidos graxos hidroxila (Torres et al., 2015). É usada na produção de lubrificantes, tintas, sabões e produtos farmacêuticos. Várias características favoráveis desta cultura não comestível, como alto teor de óleo (37-60% do peso seco das sementes) (Wang et al., 2010), óleo rico em ácido 12-hidroxioléico, 18:1OH (80-90% do total de ácidos graxos) (Wang et al., 2011) e alta produção de óleo (1250-2500 L ha⁻¹) (Severino et al., 2012) fazem da mamona uma oleaginosa atraente como matéria-prima na agroindústria.

O fornecimento regular de grãos de mamona destinadas ao uso comercial para extração do óleo requer a obtenção de sementes com qualidades fisiológica, física e sanitária que garantam um estande inicial adequado e um desenvolvimento vigoroso das plantas, uma vez que essas características são fundamentais para garantir uma boa produtividade. A disponibilidade de sementes de alta qualidade é um dos entraves à produção de mamona em larga escala (Santos Neto, 2008).

A semeadura requer padrões físicos uniformes para as sementes. As tecnologias de pós-colheita, como o beneficiamento, são indispensáveis para garantir a manutenção da qualidade das sementes, necessitando ser manipuladas de forma correta para que não sejam danificadas, e os esforços durante a produção e a colheita não sejam desperdiçados. A classificação das sementes por tamanho e massa específica aprimora a qualidade de um lote de sementes, porém, para mamona, há poucas informações a respeito da influência daquelas características físicas na qualidade fisiológica das sementes.

As sementes oleaginosas apresentam menor potencial de armazenamento que as amiláceas, pela menor estabilidade química dos lipídios em relação ao amido, visto uma pequena elevação na temperatura ser suficiente para a decomposição dos lipídios e elevação da taxa de deterioração. Desta forma, é recomendado que as sementes de mamona sejam armazenadas com teor de água baixo (8 a 10% b.u.) e em condições de umidade relativa do ar e temperatura mais baixas (Santos, 2010).

Sementes são materiais higroscópicos, ou seja, podem absorver ou ceder água para o ar ambiente em função da sua pressão de vapor d'água até um ponto de equilíbrio entre as pressões de vapor das sementes e do ar, o qual é denominado teor de água de equilíbrio.

As isotermas de sorção são curvas que permitem estudar o comportamento dos produtos agrícolas em teores de água variados e diferentes umidades relativas do ar, a uma dada temperatura (Resende et al., 2006).

Por meio das isotermas de sorção, é possível determinar a estabilidade física, química e microbiana de vários produtos (Sogi et al., 2003), bem como as faixas de atividade de água nos produtos que reduzam a possibilidade de desenvolvimento de fungos e outros patógenos, além de manter a qualidade do produto armazenado (Goneli et al., 2008). Tendo como referência o estudo de uma isoterma, pode-se manejar adequadamente o produto, visando à manutenção de seu teor de água até níveis recomendados para um armazenamento seguro (Resende et al., 2006).

O suporte técnico para o cultivo da mamona exige o desenvolvimento de diversos estudos para compreender melhor os aspectos relacionados à produção, colheita, beneficiamento e armazenamento das sementes, que são fundamentais para o funcionamento de um sistema de produção em larga escala.

Diante disso, considerando que pesquisas sobre diferentes procedimentos de beneficiamento e armazenamento são importantes para possibilitar o estabelecimento de um programa de produção de sementes de mamona, tornou-se necessária a realização de testes e experimentos envolvendo diferentes aspectos destes processos e sua relação com a qualidade fisiológica das sementes.

Além disso, as cultivares de mamona utilizadas por agricultores e órgãos de pesquisa são provenientes dos programas de melhoramento de empresas brasileiras e estes materiais, em sua maioria, têm porte médio a alto, o que pode dificultar os tratamentos culturais

e a colheita dos grãos ou sementes. Assim, a introdução de novos genótipos gera a necessidade de aclimatação desses materiais, bem como pesquisas sobre a tecnologia envolvida nos processos de produção e pós-colheita das sementes de mamona.

1.1. A cultura da mamona

A mamoneira (*Ricinus communis* L.) pertence à família Euphorbiaceae, tem provável origem na África, tendo sido introduzida no Brasil durante a colonização portuguesa pelos escravos africanos (Santos et al., 2007). Pode ser encontrada em quase toda extensão do território nacional, vegetando de forma espontânea, principalmente às margens de áreas urbanas (Carneiro, 2013).

A cultura é importante pela sua composição de óleo única, até 94% da qual compreende o ácido ricinoleico (ácido 12-hidroxi-cis-9-octadecenóico) (Gong et al., 2005), que confere propriedades únicas ao óleo e ao biodiesel dele produzidos (Conceição et al., 2007; Salimon et al., 2010; Anjani, 2012).

O óleo de *Ricinus communis* é utilizado na indústria química mundial, mas sua produção é limitada pela oferta insuficiente de sementes de mamona (Severino et al., 2012). Índia, Brasil e China são os maiores produtores de oleaginosas do mundo e, recentemente, a produção de biodiesel tem recebido grande atenção no Brasil, onde o Programa de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) identificou a mamona como a espécie ideal para a produção de biodiesel, que, além disso, poderia ajudar a promover o desenvolvimento social nas regiões semiáridas do Brasil (Cesar e Batalha, 2010).

O Brasil, de acordo com o décimo levantamento do atual ciclo agrícola da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab, 2018), cultiva 31,6 mil hectares de mamona, o que representa um aumento de 12,9% em relação à safra anterior. Maior produtor nacional da cultura, a Bahia deve ter o aumento de área atribuído, principalmente, à cotação do mercado. A previsão é que o produto seja cultivado em 27 mil hectares, com incremento de 28% sobre a área cultivada da safra anterior, e produção esperada de 17 mil toneladas.

As plantas de mamona têm hábito arbustivo e produção de frutos, que são cápsulas tricocas, denominadas bagas, comumente compostas por três sementes, arrançadas em racemos (Beltrão et al., 2001). É uma planta anual (ciclo 150 a 250 dias),

mas com ecótipos semiperenes (5 anos), sendo mais bem adaptada a regiões de clima tropical e subtropical (Barbosa, 2010), com maturação desuniforme de sementes dentro dos racemos e entre estes, o que interfere na qualidade das sementes durante as etapas de processamento pós-colheita.

A mamona é uma espécie oleaginosa de alto valor, tanto econômico como social. No Brasil, é uma cultura produzida tradicionalmente em pequenas e médias propriedades, gerando emprego e renda em razão de suas inúmeras possibilidades de aplicação na área industrial, além da perspectiva de potencial energético na produção de biodiesel, tornando-se um agronegócio bastante promissor (Barbosa, 2010).

A mamona vem conquistando cada vez mais posição de destaque no ramo oleoquímico, sobretudo pelo baixo custo de produção, ser ecologicamente correto e pela rica composição em ácido ricinoleico, um importante ácido graxo para a produção de lactonas, compostos aromáticos usados na produção de alimentos e cosméticos. Em razão da toxicidade pela presença da proteína ricina, o fruto é impróprio ao consumo humano e animal, assim, o aproveitamento se restringe à produção de óleo (Lopes, 2013).

Além disso, existem oportunidades para o cultivo de mamona na região dos cerrados brasileiros, uma vez que ela apresenta características de produção favoráveis nestas condições e pode ser mais uma alternativa a ser utilizada em sistema de rotação de culturas, principalmente na época de safrinha, quando a pluviosidade é baixa. Somado ao cenário animador para o biodiesel, o novo percentual de 8%, adicionado ao diesel, incentiva a produção de biodiesel, reduz as importações de óleo diesel e favorece a agricultura familiar e o agronegócio brasileiro (Ministério de Minas e Energia, 2016).

Assim, há necessidade de aumento da produção de grãos de mamona em função da alta demanda desta oleaginosa, pois o fornecimento de sementes de alta qualidade se tornou um insumo escasso e, ao mesmo tempo, essencial para o aumento da produtividade e o estabelecimento da cultura (Santos, 2010).

1.2. O beneficiamento e armazenamento influenciando a qualidade fisiológica das sementes

A qualidade das sementes é máxima por ocasião da maturidade fisiológica, podendo ser afetada por diversos fatores durante o processo de produção. A manutenção desta qualidade no decorrer do tempo vai depender diretamente da longevidade intrínseca

à espécie bem como das condições de processamento e armazenamento (Marcos Filho, 2015).

A avaliação da qualidade fisiológica de sementes evolui à medida que os testes são aperfeiçoados, alcançando precisão e reprodutibilidade de resultados, o que apoia a tomada de decisões nas fases de produção e comercialização dos lotes, evitando o beneficiamento, transporte, comercialização e semeadura de lotes de sementes de qualidade inadequada (Krzyzanowski e França Neto, 1991).

A qualidade fisiológica ou potencial fisiológico refere-se ao desempenho da semente quanto à germinação e ao vigor, ou seja, aspectos relacionados à sua capacidade de gerar uma planta perfeita e vigorosa em campo e à sua longevidade durante o armazenamento (Marcos Filho, 2015).

A qualidade fisiológica de sementes pode ser aprimorada com o beneficiamento (Melo et al., 2016a; Melo et al., 2016b). Este processo permite a remoção de sementes mal formadas, de baixa massa, com pouco tecido de reserva e contaminadas, ocorrendo a seleção daquelas com maior germinação e vigor.

Jeromini (2017) destaca que, para a remoção das impurezas que vêm do campo e o aprimoramento da sua qualidade, os lotes de sementes são submetidos ao processo de beneficiamento. O beneficiamento de sementes é definido como um conjunto de operações feitas por máquinas específicas no intuito de aprimorar a qualidade física, fisiológica e, em alguns casos, sanitária dos lotes. Consiste na remoção de material inerte, sementes com características indesejáveis ou de sementes de outras espécies cultivadas ou invasoras.

A remoção de material indesejado de um lote depende do tipo de sementes, da natureza e da quantidade de impurezas, das características desejadas no material beneficiado, do tipo de equipamento utilizado durante as operações feitas na Unidade de Beneficiamento de Sementes (UBS) bem como da habilidade e do conhecimento dos operadores. Todos esses eventos irão favorecer o desempenho fisiológico e contribuir para a redução do envelhecimento das sementes (Carvalho e Nakagawa, 2012; Marcos Filho, 2015).

Desta forma, há necessidade do uso de máquinas específicas para a separação de materiais pelo tamanho, massa ou densidade. Neste caso, as máquinas de ar e peneiras,

juntamente com a mesa densimétrica, são utilizadas com resultados eficientes, resultando em lotes distintos de sementes de alta qualidade (Jeromini, 2017).

A máquina de ar e as peneiras fazem as separações com base em diferenças físicas entre os materiais presentes no lote, como tamanho e massa específica (Carvalho; Nakagawa, 2012). Esta máquina remove do lote impurezas mais grossas e mais finas que a semente, por meio de tamanho de malhas, vibração das peneiras e da ventilação (Nery et al., 2012; Melo et al., 2016a; Melo et al., 2016b).

A mesa gravitacional tem como princípio de separação a massa específica, possibilitando a remoção de materiais não desejáveis mais leves ou mais pesados que a semente (Hessel et al., 2012). Durante a operação, esta máquina faz com que as impurezas sejam separadas das sementes por estratificação. Os materiais mais leves são mantidos no extrato superior pela corrente de ar e fluem para baixo, sendo descarregados na extremidade inferior da mesa; os materiais pesados são conduzidos e descarregados na extremidade superior; e aqueles de massa intermediária são descarregados na região mediana da mesa (Hessel et al., 2012; Melo et al., 2016a; Melo et al., 2016b).

Entre as principais características físicas que influenciam a qualidade fisiológica das sementes, estão o tamanho (comprimento, largura e espessura) e a massa específica aparente (Zonta, 2011). Estas características também definem os parâmetros da secagem, dimensionamento e seleção de equipamentos para beneficiamento assim como contribuem para estabelecer condições de armazenamento das sementes.

Em estudo desenvolvido por Zuchi et al. (2010), observou-se que o tamanho das sementes de mamona influenciou seu desempenho fisiológico, sendo que nas cultivares IAC 226 e BRS 188 Paraguaçu as sementes menores apresentaram maior velocidade e porcentagem final de germinação, o que não ocorreu para as cultivares IAC 80 e Al Guarany 2002.

Santos Neto et al. (2012) avaliaram a classificação de sementes de mamona em mesa densimétrica e verificaram melhoria na qualidade física, fisiológica e sanitária de lotes comerciais. Para estes autores, a resposta fisiológica dos diferentes lotes de sementes de mamona à classificação varia em função de sua densidade inicial. Ainda, as sementes de mamona classificadas em mesa densimétrica na descarga superior apresentam melhor qualidade física, fisiológica e sanitária em relação àquelas provenientes da descarga inferior.

O armazenamento é outro processo que pode interferir de forma significativa na qualidade das sementes e assume papel importante no Brasil tendo em vista as condições climáticas tropicais e subtropicais. O conhecimento prévio do potencial de armazenamento de um lote de sementes é muito importante para a indústria sementeira, pois é nessa fase que se necessita cuidados especiais visando à preservação da qualidade e atenuando a velocidade do processo de deterioração, o que gera o problema de descarte do lotes.

O principal objetivo do armazenamento de sementes é estocar a produção, mantendo a qualidade, principalmente dos atributos fisiológicos e sanitários. A constituição química, as características de tegumento, a quantidade de reservas, as alterações fisiológicas, o arranjo celular interno da semente e as condições de temperatura e umidade relativa do ar são os fatores que influenciarão a intensidade de deterioração durante o período de armazenagem (Zuchi, 2018).

O armazenamento é uma etapa obrigatória num programa de produção de sementes, sendo a temperatura e a umidade relativa do ar fatores que alteram a qualidade fisiológica das sementes armazenadas. A longevidade também pode ser afetada pelo genótipo e pela composição química, visto sementes oleaginosas serem mais propensas à deterioração do que as amiláceas (Braccini et al., 2001; Carvalho & Nakagawa, 2012; Marcos Filho, 2015).

A qualidade da semente é fator de extrema importância para que se obtenha a produtividade esperada, e o armazenamento é uma prática fundamental que pode ajudar na manutenção da qualidade fisiológica da semente, sendo também um método por meio do qual se pode preservar a viabilidade das sementes e manter seu vigor até a futura semeadura (Azevedo et al., 2003; Parrela et al., 2010).

Para Cardoso et al. (2012), o processo de deterioração é inevitável, mas pode ser retardado pela redução da temperatura e umidade relativa do ar, assim como, em conjunto com as características da semente, estas condições fazem com que ocorra redução do metabolismo, com conseqüente decréscimo na deterioração das sementes.

Em nível biológico, a redução da qualidade fisiológica das sementes se inicia logo após a maturidade fisiológica, ocasião em que a semente se desvincula nutricionalmente da planta mãe. Entre as reações de deterioração, podem ser ressaltadas a acidificação do conteúdo lipídico das reservas, a peroxidação e a redução da integridade

das membranas, menor controle osmótico das células, morte celular, perda da capacidade de retomada de crescimento e incapacidade para gerar plântulas normais (Zuchi, 2018).

A manutenção da qualidade fisiológica de sementes de mamona das cultivares IAC-80, IAC-226 e Guarani por 12 meses é possível nas seguintes condições: criopreservação (-196 °C) como condição ideal, em embalagens plásticas ou papel multifoliado sob refrigeração em armazéns convencionais, assim como em embalagens plásticas sob condições de vácuo. Entretanto, independentemente das condições de armazenamento avaliadas, o teor de óleo decresce e a incidência dos fungos *Aspergillus* spp e *Penicillium* spp. é incrementada ao longo do tempo (Santos, 2010).

Ao estudar sementes de mamona da cultivar IAC-2028, em condições ambientais de laboratório (temperaturas variando entre 6,4 e 36 °C, umidade relativa entre 11,2 e 100%), Fanan et al. (2009) relataram manutenção satisfatória da qualidade fisiológica das sementes durante 12 meses de armazenamento, com porcentagem de germinação acima de 80%, emergência superior a 75% e melhores índices de velocidade de emergência.

1.3. Higroscopicidade das sementes

O armazenamento adequado das sementes contribui para reduzir ao mínimo o processo de deterioração, bem como garante a manutenção do estoque regulador para os anos subsequentes de baixa produção. Como todo material higroscópico, as sementes cedem ou absorvem água do ar que as envolve em função da sua pressão de vapor, pois, quando há equilíbrio entre as pressões de vapor do ar e da semente, é atingido o teor de água de equilíbrio (Costa et al., 2015).

As curvas de teor de água de equilíbrio podem ser obtidas experimentalmente por meio dos métodos dinâmico e estático (Corrêa et al., 2005). No método dinâmico, o grão é submetido a fluxos de ar sob condições controladas de temperatura e umidade relativa até que seja atingido o equilíbrio. No método estático, o equilíbrio higroscópico entre o produto e o ambiente sob condições controladas é atingido sem movimentação do ar (Chen, 2000; Corrêa et al., 2005).

O método estático indireto se baseia na determinação da atividade de água (aw) dos produtos agrícolas, que é a água disponível para reações microbiológicas. Neste

método, quando o equilíbrio higroscópico é alcançado, a atividade de água do produto é igual à umidade relativa do ar dividida por cem. Desta forma, podem ser utilizados os valores de umidade relativa do ar, temperatura e atividade de água para determinar os teores de água de equilíbrio.

A utilização de equações matemáticas para estimar o teor de água de equilíbrio higroscópico apresenta a vantagem de predição de valores de atividade de água do produto em condições ambientais de difícil determinação experimental. A relação entre o teor de água de um produto e a umidade relativa de equilíbrio, a uma determinada temperatura, pode ser expressa por meio de curvas características de teor de água de equilíbrio, denominadas isotermas. Numerosos são os modelos com capacidade de prever uma isoterma (Resende et al., 2006).

As curvas de equilíbrio higroscópico e as isotermas de sorção são importantes para definir limites de desidratação do produto, bem como estimar as mudanças de teor de água sob determinada condição de temperatura e umidade relativa do ar do ambiente. Além disso, permitem definir os teores de água adequados para que não ocorra o início da atividade de microrganismos, que podem provocar a deterioração do produto durante o armazenamento (Ayranci & Duman, 2005).

Na determinação das isotermas de dessorção das sementes de arroz em casca pelo método estático indireto, Oliveira et al. (2014) observaram que o teor de água de equilíbrio é diretamente proporcional à atividade de água e decresce com o aumento da temperatura para um mesmo valor de atividade de água, sendo o tradicional modelo de Henderson selecionado para representar as isotermas de sorção do produto.

Por outro lado, Sousa et al. (2013) determinaram as isotermas de sorção das sementes de nabo forrageiro pelos métodos estático e dinâmico e verificaram que, segundo a técnica de identidade de modelos, é possível ajustar uma única equação de Copace aos dados experimentais para os dois métodos analisados.

Em estudos desenvolvidos na determinação das isotermas de dessorção para frutos de crambe pelo método estático-gravimétrico, verificou-se que os modelos de Copace e Oswin Modificado são os que melhor representam a higroscopicidade dos frutos de crambe, assim como o teor de água de equilíbrio é diretamente proporcional à atividade de água e decresce com o aumento da temperatura para um mesmo valor de atividade de água (Costa et al., 2013).

Desta forma, durante as etapas de processamento e armazenamento, podem ocorrer mudanças físicas, químicas e microbiológicas que, dependendo da interação entre estes fatores e o ambiente, podem ocasionar perdas consideráveis na qualidade das sementes. Assim, faz-se necessário o conhecimento das relações existentes entre o produto armazenado, a temperatura e a umidade relativa do ar, objetivando ações e estudos com a finalidade de amenizar estas possíveis alterações (Resende et al., 2006).

Um dos grandes desafios atuais da pesquisa agrícola se relaciona com o beneficiamento e a conservação das sementes da mamona para poderem ser utilizadas em programas de melhoramento, conservação de germoplasma, ao longo de safras para suprir a demanda do mercado e manter a qualidade fisiológica das sementes.

Deste modo, foram desenvolvidos estudos para avaliação da qualidade fisiológica das sementes de mamona durante o beneficiamento e armazenamento, bem como para a determinação do equilíbrio higroscópico em diferentes condições de umidade relativa e temperaturas entre 10 e 40 °C, impulsionando a obtenção de sementes com elevados padrões de qualidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anjani, K. Castor genetic resources: a primary gene pool for exploitation. *Industrial Crops and Products*, v. 35, 1-14, 2012.
- Azevedo, M. R. Q. A.; Gouveia, J. P. G.; Trovão, D. M. M.; Queiroga, V. P. Influência das embalagens e condições de armazenamento no vigor de sementes de gergelim. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, p.519-524, 2003.
- Ayranci, E.; Dumann, O. Moisture sorption isotherms of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) and its proteins isolate at 10, 20 e 30 °C. *Journal of Food Engineering*. v.70, p.83-91, 2005.
- Barbosa, L. *Metodologias estatísticas na análise de germinação de sementes de mamona*. 2010. 108 f. Tese (Doutorado em Agronomia (Energia na Agricultura)) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.
- Baudet, L. M. L.; Villela, F. A.; Cavariani, C. Princípios de secagem. *Seed News*, s/v, p.20-27, 1999.

- Beltrão, N.E.M.; Silva, L.C.; Vasconcelos, O.L.; Azevedo, D.M.P.; Vieira, D.J. Fitologia. In: Azevedo, D.M.P.; Lima, E.F. (Ed.). *O agronegócio da mamona no Brasil*. Embrapa Serviço de Comunicação Tecnológica, 2001. p. 37-61.
- Braccini, A.L.; Braccini, M.C.L.; Scapim, C.A. *Mecanismos de deterioração das sementes: aspectos bioquímicos e fisiológicos*. Informativo ABRATES, v.11, n.1, p.10-15, 2001.
- Cardoso, R. B.; Binotti, F. F. S.; Cardoso, E. D. Potencial fisiológico de sementes de crambe em função de embalagens e armazenamento. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.42, p.272-278, 2012.
- Carneiro, J.F. *Caracterização morfoagronômica de sementes de mamoneira (Ricinus communis L.)*. Paraíba, UEPB. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Biológica e da Saúde, 2013.
- Carvalho, N.M.; Nakagawa, J. *Sementes: Ciência, tecnologia e produção*. 6ª Edição. Jaboticabal: Funep, 2012. 590p.
- Chen, C. A rapid method to determine the sorption isotherms of peanuts. *Journal Agricultural Engineering Research*, v.75, p.401-408, 2000.
- Cesar, A.D.S.; Batalha, M.O. Biodiesel production from castor oil in Brazil: a difficult reality. *Energy Policy*, 38, p.4031-4039, 2010.
- Conceição, M.M.; Candeia, R.A.; Silva, F.C.; Bezerra, A.F.; Fernandes, V.J.; Souza, A.G. Thermo analytical characterization of castor oil biodiesel. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, v.11, 964-975, 2007.
- Conab – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos. v.5, Safra 2017/18, n.10, Décimo levantamento, Julho, 2018.
- Corrêa, P.C.; Goneli, A.L.D.; Resende, O.; Martinazzo, A.P.; Botelho, F.M. Comparação entre os métodos estático e dinâmico na determinação do equilíbrio higroscópico das espigas de milho. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v.7, p.153-161, 2005.
- Costa, L.M.; Resende, O.; Oliveira, D.E.C. Determinação das isoterms de equilíbrio higroscópico de frutos de crambe pelo método dinâmico. *Bioscience Journal*, v.31, n.2, p.382-391, 2015.

- Costa, L.M.; Resende, O.; Oliveira, D.E.C. Isotermas de dessorção e calor isostérico dos frutos de crambe. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, n.4, p.412–418, 2013.
- Fanan, S.; Medina, P.F.; Camargo, M.B.P.; Ramos, N.P. Influência da colheita e do armazenamento na qualidade fisiológica de sementes de mamona. *Revista Brasileira de Sementes*, v.31, n.1, p.150-159, 2009.
- Goneli, A.L.D. *Variação das propriedades físico-mecânicas e da qualidade da mamona (Ricinus communis L.) durante a secagem e o armazenamento*. Viçosa, UFV, 2008. Dissertação (doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.
- Gong, Q.; Li, P.; Ma, S.; Indu Rupassara, S.; Bohnert, H.J. Salinity stress adaptation competence in the extremophile *Thellungiella halophila* in comparison with its relative *Arabidopsis thaliana*. *Plant Journal*, v.44, 826-839, 2005.
- Hessel, C. L. E.; Villela, F. A.; Aumonde, T. Z.; Pedó, T. *Mesa densimétrica e qualidade fisiológica de sementes de brachiária*. Informativo ABRATES, Londrina, v. 22, n. 3, p. 73-76, 2012.
- Jeromini, T.S. *Etapas de beneficiamento na qualidade física, fisiológica e sanitária de sementes de Brachiaria brizantha*. Unesp, Jaboticabal. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2017.
- Krzyzanowski, F.C. & França Neto, J.B. Testes de vigor em sementes. In: Encontro sobre avanços em tecnologia de sementes, 1991, Pelotas. *Anais...* Pelotas: FAEM-UFPel, 1991. p. 97-103.
- Lopes, D. B. Comparação do perfil das lactonas produzidas por biotransformação microbiana e biocatálise enzimática a partir dos óleos de mamona e linhaça. Unicamp, SP. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Universidade de Campinas, Campinas, 2013.
- Marcos Filho, J. *Fisiologia de Sementes de Plantas Cultivadas*. FEALQ. Piracicaba, 2015. 660p.
- Melo, L. F.; Martins, C. C.; Da Silva, G. Z.; Boneti, J. E. B.; Vieira, R. D. Beneficiamento na qualidade física e fisiológica de sementes de capim-mombaça. *Revista Ciência Agrônômica*, v.47, n.4, p.667-674, 2016a.

Melo, L. F.; Martins, C. C.; Silva, G. Z.; Sanches, M. F. G. Processing in the quality of Tanzania grass seeds. *Engenharia Agrícola*, v.36, n.6, p.1157-1166, 2016b.

Ministério De Minas E Energia, 2016. Sancionada lei que eleva percentual de biodiesel ao óleo diesel para 8%. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias>>. Online. Acesso em: 24/03/2016.

Nery, M. C. Nery, F. C.; Silva, D. R. G.; Soares, F. P. *Produção de sementes forrageiras*. Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciência do Solo. Boletim Técnico, n.88, p.1-47, 2012.

Santos Neto, A.L. *Qualidade de sementes de mamona beneficiadas e tratadas com fungicidas*. Lavras, UFLA, 2008. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

Santos Neto, A.L.; Carvalho, M.L.M.; Oliveira, J.A.; Fraga, A.C.; Souza, A.A. Use of densimetric table to improve the quality of commercial castor bean seeds. *Revista Brasileira de Sementes*, v.34, n.4, p.549-555, 2012.

Oliveira, D.E.C.; Resende, O.; Campos, R.C.; Donadon, J.R. Obtenção e modelagem das isotermas de dessecção e do calor isostérico para sementes de arroz em casca. *Científica, Jaboticabal*, v.42, n.3, p.203-210, 2014.

Parrella, N.N.L.D. Castricini, A.; Durães, N.N.L.; Parrella, R.A.C. Armazenamento de sementes salvas de milho. In: Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 28, 2010. Goiânia. *Resumos*. Goiânia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, p. 3462-3465, 2010.

Resende, O.; Correa, P.C.; Goneli, A.L.D.; Ribeiro, D.M. Isotermas e calor isostérico de secção de feijão. *Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.26, n.3, p.626-631, 2006.

Salimon, J.; Noor, D.A.M.; Nazrizawati, A.T.; Firdaus, M.Y.M.; Noraishah, A. Fatty acid composition and physicochemical properties of Malaysian castor bean *Ricinus communis* L. seed oil. *Sains Malaysiana*, v.39, 761-764, 2010.

Santos, H.O. Conservação de Sementes de Mamona (*Ricinus communis* L.). Lavras, UFLA, 2010. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

Santos, R.F.; Kouri, J.; Barros, M.A.L.; Marques, F.M.; Firmino, P.T.; Requião, L.E.G. *Aspectos econômicos do agronegócio da mamona*. In: Azevedo, D.M.P; Beltrão, N.E.M. (Ed.). O Agronegócio da Mamona no Brasil. 2 Ed. Campina Grande: Embrapa Algodão, Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2007.

Severino, L.S.; Auld, D.L.; Baldanzi, M.; Candido, M.J.D.; Chen, G.; Crosby, W.; Tan, D.; He, X.H.; Lakshamma, P.; Lavanya, C.; Machado, O.L.T.; Mielke, T.; Milani, M.; Miller, T.D.; Morris, J.B.; Morse, S.A.; Navas, A.A.; Soares, D.J.; Sofiatti, V.; Wang, M.L.; Zanutto, M.D.; Zieler, H. A review on the challenges for increased production of castor. *Agronomy Journal*, v.104, p.853-880, 2012.

Sogi, D.S.; Shivhare, U.S.; Garg, S.K.; Bawa, A.S. Water sorption isotherm and drying characteristics of tomato seeds. *Biosystems Engineering*, v.84, p.297-301, 2003.

Sousa, K.A.; Resende, O.; Costa, L.M. Isotermas de dessecção das sementes de nabo forrageiro obtidas pelos métodos dinâmico e estático. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, n.2, p.216-222, 2013.

Torres, F.E.; Teodoro, P.E.; Gomes, A.C.; Hernandez, F.B.; Fernandes, R.L.; Ribeiro, L.P.; Adaptability, agronomic performance and genetic divergence of castor genotypes grown in the Cerrado-Pantanal ecotone. *Revista de Ciências Agrárias*, v.58, n.1, p.43-45, 2015.

Wang, M.L., Morris, J.B., Pinnow, D.L., Davis, J., Raymer, P., Pederson, G.A. A survey of the castor oil content, seed weight and seed-coat colour on the United States Department of Agriculture germplasm collection. *Plant Genetic Resources: Characterisation Utilisation*, v.8, p.229-231, 2010.

Wang, M.L., Morris, J.B., Tonniss, B., Pinnow, D., Davis, J., Raymer, P., Pederson, G.A. Screening of the entire USDA castor germplasm collection for oil content and fatty acid composition for optimum biodiesel production. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v.59, p.9250-9256, 2011.

Zonta, J. B. *Secagem, beneficiamento e armazenamento de sementes de pinhão manso (Jatropha curcas L.)*. Viçosa, UFV. 2011. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2011.

Zuchi, J. Armazenagem de sementes. *Revista Seed News*, v.12, n.4, p.34-37, 2018.

Zuchi, J.; Panozzo, L.E.; Heberle, E.; Dias, D.C.F.S. Qualidade fisiológica de sementes de mamona classificadas por tamanho. *Revista Brasileira de Sementes*, v.32, n.3, p.177-183, 2010.

OBJETIVO GERAL

Avaliar a influência da massa específica e tamanho das sementes bem como do armazenamento na qualidade fisiológica das sementes de mamona e compreender as variáveis físicas envolvidas no equilíbrio higroscópico das sementes de genótipos de mamona.

CAPÍTULO I

Qualidade fisiológica de sementes de mamona após o beneficiamento

RESUMO: As sementes de mamona são matéria-prima para extração de óleo utilizado em diversas aplicações farmacêuticas e industriais. Para assegurar a produção de sementes com qualidade necessita-se a aplicação apropriada de tecnologias de pós-colheita, como o beneficiamento. Assim, objetivou-se avaliar a qualidade fisiológica de sementes de dois genótipos de mamona, classificadas por massa específica e tamanho. Sementes de mamona dos genótipos EVF102 e EVF103 foram colhidas mecanicamente e classificadas, na Unidade de Beneficiamento da Sementes Goiás Ltda, em peneiras de crivos cilíndricos e em mesa densimétrica. As avaliações da qualidade fisiológica foram conduzidas no Laboratório de Sementes do Instituto Federal Goiano em delineamento experimental inteiramente casualizado, com 4 replicatas, em esquema fatorial 2 x 2 x 5 (2 genótipos x 2 tamanhos x 5 massas específicas). Foram avaliados os parâmetros massa de mil sementes, teste de germinação, índice de velocidade de germinação, teste de emergência, índice de velocidade de emergência; condutividade elétrica, envelhecimento acelerado. Sementes do genótipo EVF102 de tamanho 8 mm, classificadas pela mesa densimétrica, apresentaram maior qualidade fisiológica considerando a germinação, índice velocidade de germinação e emergência. Sementes do genótipo EVF103, separadas por tamanho, não apresentaram diferença na qualidade fisiológica.

PALAVRAS-CHAVE: *Ricinus communis* L, Tamanho, Massa específica, Mesa Densimétrica

Physiological quality of mamone seeds after processing

ABSTRACT: Castor bean seeds are raw material for extraction of oil used in pharmaceutical and industrial sectors. Appropriate application of post-harvest technologies as processing is required for ensuring the production of quality seeds. Thus, this study aimed to evaluate the seed physiological quality from two genotypes of castor beans classified by specific mass and size. Castor seeds of the EVF102 and EVF103 genotypes were mechanically harvested and classified in the Unidade de Beneficiamento de Sementes Goiás Ltda. (Goiás Seed Processing Co.) in cylindrical sieves and in a densimetric table. Seed physiological quality evaluations were carried out in the Seed Laboratory of the Goiano Federal Institute in a completely randomized experimental design, with 4 replicates, in a 2 x 2 x 5 factorial scheme (2 genotypes x 2 sizes x 5 specific masses). The following parameters were evaluated: (a) mass of one thousand seeds; (b) germination test; (c) germination speed index; (d) sprout test; (e) sprout speed index; (f) electrical conductivity; and (g) accelerated aging. Seeds 8 mm size from the EVF102 genotype, classified by the densimetric table, showed higher physiological quality, considering the germination, germination speed index, and sprout. Seeds of the EVF103 genotype, separated by size, showed no difference in physiological quality.

KEY-WORDS: *Ricinus communis* L, Size, Specific mass, densimetric table.

1.1. INTRODUÇÃO

A mamona, *Ricinus communis* L. (Euphorbiaceae), é uma cultura importante cultivada principalmente em regiões tropicais e subtropicais (Ribeiro et al, 2015). O óleo extraído de suas sementes é usado, principalmente, para aplicações farmacêuticas e industriais devido à sua composição química, rica em ácido ricinoleico (Severino et al., 2012).

No Brasil, o estado da Bahia é o maior produtor de mamona e as estimativas para a safra 2017/18 são de aumento da área, alcançando 31,6 mil hectares, o que representa acréscimo de 12,9% em relação à safra passada. Essa tendência é atribuída ao clima

favorável e às cotações do produto no mercado, principalmente, nos últimos três anos (Conab, 2018).

A obtenção de sementes com qualidade fisiológica, física e sanitária, que garantam estande adequado e com desenvolvimento vigoroso das plantas é um dos entraves à produção de mamona em larga escala (Neto, 2008). Adicionalmente, Machado et al. (2010) afirmam que há escassez e a baixa qualidade das sementes, pois o cultivo ainda é feito com sementes dos próprios agricultores, que apresentam alto grau de heterogeneidade e grande diversidade das cultivares.

Para a remoção das impurezas que vem do campo e aprimoramento da sua qualidade, os lotes de sementes são submetidos ao processo de beneficiamento. O beneficiamento de sementes é definido como um conjunto de operações feitas por máquinas específicas afim de aprimorar a qualidade física, fisiológica e em alguns casos sanitária do lote (Marcos Filho, 2015).

A máquina de ar e peneiras faz as separações com base em diferenças físicas entre os materiais presentes no lote, como tamanho e massa específica (Carvalho; Nakagawa, 2012). Esta máquina retira do lote impurezas mais grosseiras e mais finas que a semente, por meio de tamanho de malhas, vibração das peneiras e da ventilação (Nery et al., 2012; Melo et al., 2016a; Melo et al., 2016b).

A mesa densimétrica tem como princípio de separação a massa específica, possibilitando a remoção de materiais não desejáveis mais leves ou mais pesados que a semente (Hessel et al., 2012). Durante a operação, esta máquina faz com que as impurezas sejam separadas das sementes por estratificação. Os materiais mais leves são mantidos no extrato superior pela corrente de ar e fluem para baixo sendo descarregados na extremidade inferior da mesa, os pesados são conduzidos e descarregados na extremidade superior e aqueles de massa intermediária são descarregados na região mediana da mesa (Hessel et al., 2012; Melo et al., 2016a; Melo et al., 2016b).

A classificação por tamanho e massa específica é de suma importância para aprimorar a qualidade dos lotes, entretanto, em relação às sementes de mamona, se tem poucas informações a respeito da influência das características físicas na qualidade fisiológica das sementes, bem como da eficiência do processo de beneficiamento em melhorar a qualidade final dos lotes de sementes de mamona.

Assim sendo, objetivou-se neste trabalho avaliar a qualidade fisiológica de sementes de dois genótipos de mamona, beneficiadas em máquinas de ar e peneiras e mesa densimétrica, para classificação por tamanho e massa específica.

1.2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Sementes do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – IF Goiano – *Campus* Rio Verde. Foram utilizadas sementes de mamona dos genótipos (EVF102 e EVF103) cultivados em campos de produção da Empresa Sementes Goiás Ltda.

Os frutos foram colhidos de forma mecânica ((Plataforma PLM 08L, específica para colheita de mamona), passaram pelo processo de beneficiamento padrão na UBS (Unidade de Beneficiamento de Sementes) da empresa, na seguinte sequência: máquina descascadora dos frutos, máquina de pré-limpeza, limpeza (ar e peneiras) e classificação das sementes. Durante o beneficiamento procedeu-se a amostragem das sementes de mamona.

As sementes foram classificadas em peneiras de crivos circulares, com diâmetro de 8 e 9 mm. Posteriormente, os lotes de cada tamanho foram classificados, separadamente, quanto à massa específica, para obtenção de quatro classes, denominadas D1, D2, D3 e descarte (D4), conforme a calha de saída da mesa densimétrica. Adicionou-se a quinta classe de massa específica (SD), a qual foi considerada um amostra sem beneficiamento pela mesa densimétrica.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC), com 4 repetições, em esquema fatorial 2 x 2 x 5 (2 genótipos x 2 tamanhos x 5 massas específicas).

Os seguintes tratamentos foram formados para cada genótipo:

- Sementes sem classificação de massa específica (SD) e peneira ≥ 9 mm;
- Sementes da classe D1 (mais pesada) e peneira ≥ 9 mm;
- Sementes da classe D2 (massa intermediária) e peneira ≥ 9 mm;
- Sementes da classe D3 (mais leve) e peneira ≥ 9 mm; Descarte da peneira de 9 mm (D4);

- Sementes sem classificação de massa específica (SD) e peneira entre 8 e 9 mm;
- Sementes da classe D1 (mais pesada) e peneira entre 8 e 9 mm;
- Sementes da classe D2 (massa intermediária) e peneira entre 8 e 9 mm;
- Sementes da classe D3 (mais leve) e peneira entre 8 e 9 mm;
- Descarte da peneira de 8 mm (D4).

Os teores de água das sementes de mamona foram determinados pelo método gravimétrico, utilizando uma estufa a 105 ± 3 °C por 24 horas, com duas repetições de 12 gramas (Brasil, 2009).

A massa média de 1000 sementes foi determinada, separando-se oito repetições de 100 sementes com contadores mecânicos para cada tratamento. Posteriormente, as sementes de cada repetição foram pesadas em balança com resolução de quatro casas decimais. Após anotados os valores de cada repetição, foram feitas a média e proporção para 1000 sementes (Brasil, 2009).

Após a separação e classificação dos lotes de sementes, avaliou-se a qualidade fisiológica pelos seguintes testes:

Teste de germinação e índice de velocidade de germinação - a semeadura foi realizada em folhas de papel germitest, umedecidos com água destilada, em quantidade equivalente a 2,5 vezes a massa do substrato seco com quatro repetições de 50 sementes. Os rolos foram mantidos em B.O.D. (*Biochemical Oxygen Demand*) regulada à temperatura alternada de 20-30 °C, com fotoperíodo de 12/12 h (Brasil, 2009). A porcentagem de germinação foi avaliada aos 7 e 14 dias, quando foram computadas as plântulas normais (aquelas que apresentam todas as estruturas essenciais desenvolvidas, sem nenhum tipo de dano); plântulas anormais (apresentam lesões ou falta de partes das estruturas essenciais), sementes duras (não apresentam sinais de embebição e permanecem duras quando pressionadas com o dedo indicador) e mortas (as sementes se apresentam com aspecto apodrecido). O resultado foi expresso em porcentagem de plântulas normais conforme Brasil (2009). O índice de velocidade de germinação (IVG) foi calculado pelo somatório do número de sementes germinadas, com radículas de tamanho maior ou igual a 1 cm, registrado a cada dia, dividido pelo número de dias decorridos entre a semeadura e as contagens diárias (Maguire, 1962).

Teste de emergência e índice de velocidade de emergência - foram utilizadas 200 sementes divididas em quatro repetições de 50 sementes. A semeadura foi feita em leito de areia a 3 cm de profundidade em casa de vegetação, com sistema de irrigação por aspersão automatizado para manter o substrato a 60% da capacidade de campo. A avaliação da emergência das plântulas foi feita até estabilização e considerou-se apenas as plântulas normais, sendo o resultado expresso em porcentagem final de emergência. O índice de velocidade de emergência (IVE) de plântulas foi avaliado com observações diárias, após a instalação do teste de emergência, contando-se o número de plântulas emergidas por dia (com os dois cotilédones acima do nível da areia), dividindo esse número pelo número de dias transcorridos entre a data da semeadura, de acordo com Maguire (1962).

Envelhecimento acelerado - Realizado pelo método do “gerbox”, segundo metodologia Marcos Filho (2015), com quatro repetições de 50 sementes. Em cada gerbox foram colocadas 50 sementes sobre a tela e, no fundo do gerbox, colocados 40 mL de água destilada. Posteriormente, foram colocadas em B.O.D. regulada a temperatura de 42 °C, onde permaneceram por 72 horas. Transcorrido esse período, cada repetição de 50 sementes foi semeada, conforme descrição para o teste de germinação, no qual as plântulas normais foram avaliadas aos 7 dias, conforme Brasil (2009).

Condutividade elétrica - Para a avaliação da condutividade elétrica da solução de embebição de sementes, foi utilizado o teste da “condutividade de massa” ou sistema de copo. Este teste foi feito com quatro amostras de 25 sementes cada, que foram pesadas em balança analítica, com resolução de duas casas decimais. Em seguida, as sementes foram colocadas para embeber em um recipiente plástico contendo 75 mL de água deionizada e, então, mantidas em B.O.D. regulada a 25 °C, durante 24 horas. Após este período, foi realizada a leitura da condutividade elétrica na solução de embebição, utilizando um condutímetro Tecnal TEC-4MP. Os resultados foram expressos em $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$ de sementes (Vieira & Krzyzanowski, 1999).

Todos os dados foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo Teste de Tukey a 5% de significância. Para análise dos dados utilizou-se o Sistema de Análise de Variância – SISVAR (Ferreira, 2011).

1.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de água das sementes variou entre 5,03 a 6,56% e o descarte apresentou os maiores teores de água (Tabela 1). A uniformidade do teor de água, entre os diferentes tratamentos, proporciona segurança na avaliação da qualidade das sementes, imprescindível para a obtenção de resultados consistentes (Vieira et al., 2002).

Esses valores são uniformes e adequados antes dos testes, uma vez que as variações estavam dentro dos limites toleráveis, ou seja, 2 a 3 pontos percentuais (Marcos-Filho, 1999), o que não deve ter modificado o comportamento fisiológico das sementes durante o armazenamento (Machado et al., 2010).

O teor de água é o principal fator determinante do potencial de armazenamento, e sua manutenção em níveis considerados seguros é fundamental para evitar a deterioração da semente durante a armazenagem (Antonello et al., 2009; Silva et al., 2010; Silva et al., 2011; Juvino et al., 2014).

Tabela 1. Teor de água de sementes de mamona dos genótipos EVF102 e EVF103, de tamanhos 8 e 9 mm, para cada nível de separação por massa específica (D1, D2, D3 e D4)

Genótipo	Classe de Beneficiamento	Teor de água (% base seca)
102	8	5,82
	9	5,61
	D1 8	5,49
	D1 9	5,43
	D2 8	5,39
	D2 9	5,56
	D3 8	5,35
	D3 9	5,73
	D4 8	7,03
	D4 9	6,49
103	8	5,30
	9	5,45
	D1 8	5,35
	D1 9	5,37
	D2 8	5,34
	D2 9	5,36
	D3 8	5,68

D3 9	5,50
D4 8	6,68
D4 9	6,65

A interação entre os três fatores analisados foi significativa para todas as variáveis, exceto condutividade elétrica (CE) (Tabela 2).

Tabela 2. Resumo da análise de variância com valores de F para as variáveis germinação (G), índice de velocidade de germinação (IVG), emergência (E), índice de velocidade de emergência (IVE), condutividade elétrica (CE) e envelhecimento acelerado (EA) das sementes de mamona de dois genótipo, dois tamanhos e 5 classes de massa específica

FV	GL	Valores de F						
		M ₁₀₀₀	G	IVG	E	IVE	CE	EA
G	1	52,356*	27,358*	46,041*	9,357*	4,306*	50,625*	12,257*
T	1	484,604*	0,051 ^{ns}	36,544*	0,068 ^{ns}	3,816 ^{ns}	22,428*	29,231*
M	4	388,838*	40,069*	24,254*	66,062*	6,425*	51,288*	42,863*
G vs T	1	2,246 ^{ns}	23,816*	16,575*	7,121*	20,708*	0,322 ^{ns}	25,972*
G vs M	4	3,057*	7,457*	24,847*	8,550*	19,347*	1,471 ^{ns}	13,591*
T vs M	4	11,845*	2,020 ^{ns}	15,197*	10,634*	7,068*	11,773*	10,906*
G vs T vs M	4	2,329 ^{ns}	8,505*	19,505*	7,531*	2,719*	1,741 ^{ns}	7,447*
CV (%)	-		29,03	25,99	8,83	24,06	19,12	17,05

* Significativo ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey; ns - não significativo; CV = coeficiente de variação; FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; G = genótipo; T = tamanho; M = massa específica.

A mesa densimétrica promoveu a uniformização da massa específica das sementes, pois as calhas de saída (D1 e D2) apresentaram massa de 1000 sementes maior em relação às sementes sem beneficiamento, assim como o descarte da mesa densimétrica obteve as menores massas específicas para os genótipos EVF 102 e EVF 103 (Tabela 3).

As sementes do genótipo EVF 103 de tamanho 9 mm apresentaram maior massa específica após o beneficiamento (Tabela 3). Neto et al. (2012) mostraram que as sementes de mamona de dois lotes da porção superior da mesa densimétrica apresentam massa de 1000 sementes superior às outras porções.

Já Conrad et al. (2017) observaram diferenças na massa de mil sementes de soja (PMS) entre as posições de coleta de amostras, influenciadas diretamente pelo tamanho da peneira, como também as sementes classificadas pela mesa densimétrica apresentaram maior PMS. Gadotti et al. (2012) comentaram que era possível obter sementes de melhor qualidade em relação àquelas distribuídas nas áreas superiores da mesa densimétrica.

Carvalho e Nakagawa (2012) ressaltaram que as sementes não são formadas ao mesmo tempo, sendo as últimas geralmente menores ou menos densas, resultando em sementes menos vigorosas. No entanto, as condições ideais são gradualmente esgotadas quando novos racemos são emitidos e novas sementes são formadas (Marcos-Filho, 2015).

Tabela 3. Massa de 1000 sementes de mamona do genótipo EVF102 e EVF103 beneficiadas por tamanho (8 e 9 mm) e massa específica (D1, D2, D3 e D4)

Genótipo	Massa específica				
	SD	D1	D2	D3	D4
EVF102	37,72 Bb	42,10 Ab	41,25 Ab	37,86 Bb	23,89 Cc
EVF 103	40,75 Ba	45,64 Aa	44,50 Aa	41,14 Ba	23,99 Cc
Tamanho (mm)	SD	D1	D2	D3	D4
8	35,13 Bb	40,41 Ab	39,55 Ab	36,67 Bb	17,54 Cb
9	43,33 Ba	47,33 Aa	46,20 Aa	42,32 Ba	30,34 Ca

Letras minúsculas na coluna e letras maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. SD = sem separação por massa específica; D1, D2 e D3 = classes de separação por massa específica (maior, intermediária, menor, respectivamente) e D4 = descarte.

Sementes de tamanho 8 mm do genótipo EVF102 apresentaram germinação maior quando classificadas por massa específica (D1, D2 e D3), contudo, para sementes de tamanho 9 mm do genótipo EVF103, não houve diferenças na germinação, com exceção da classe D3 (Tabela 4).

Em contrapartida, Faria et al. (2013) estudaram as sementes de *Brosimum gaudichaudii* TRÉCUL e verificaram que as sementes maiores, considerando uma única espécie, são potencialmente mais vigorosas que as menores e menos densas, e originam plântulas mais desenvolvidas, como observado também em estudo com *Sideroxylon obtusifolium* (Roem. & Schult.) Penn. (Silva, 2015).

Sementes do genótipo EVF102 das classes de massa específica D2 e D3 tiveram germinação maior, como também houve menor germinação na classe de descarte, mostrando que a mesa densimétrica pode ser eficiente. A germinação da classe D1 (maior massa específica) se mostrou igual ao descarte nas sementes de tamanho 9 mm (Tabela 4).

Ressalta-se que a correta regulagem das máquinas é fundamental para evitar perdas e aprimorar a qualidade física e fisiológica das sementes produzidas, que serão comercializadas (Gadotti; Villela; Baudet, 2011; Melo et al., 2016a; Melo et al., 2016b).

A germinação das sementes do genótipo EVF103 de tamanho 8 mm foi maior quando não classificadas por massa específica (SD), o que também foi constatado nas sementes de tamanho 9 mm, pois a germinação da classe descarte (D4) não diferiu da classe D1 (Tabela 4). Foi verificada ainda maior porcentagem de germinação das sementes do genótipo EVF102 de tamanho 8 mm após a classificação pela mesa densimétrica (D2 e D3).

Sementes do genótipo EVF 102, tamanho 8 mm, das classes D1, D2 e D3, tiveram maior porcentagem de germinação em relação às sementes do genótipo EVF 103 (Tabela 4).

A porcentagem de germinação dos genótipos avaliados se encontra abaixo dos padrões de comercialização, que é recomendado acima de 85% (PINTO, 2005). Estes genótipos exibem baixa germinação pois não possuem registro comercial no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e se encontram em processo de seleção e aclimação no Brasil.

Tabela 4. Médias da porcentagem de germinação das sementes de mamona dos genótipos EVF102 e EVF103, separadas em tamanhos 8 e 9 mm e cinco classes de massa específica (SD, D1, D2, D3 D4)

Genótipo	Tamanho	Massa específica				
		SD	D1	D2	D3	D4
EVF102	8	28 BCb <i>B</i>	34 Ba* <i>A</i>	66 Aa* <i>A</i>	65 Aa* <i>A</i>	13 Ca <i>A</i>
	9	43 Aa <i>A</i>	11 Bb <i>A</i>	38 Ab <i>A</i>	48 Ab <i>A</i>	16 Ba <i>A</i>
EVF103	8	42 Aa* <i>A</i>	8 Ca <i>B</i>	27 ABa <i>B</i>	21 BCb <i>B</i>	7 Ca <i>A</i>
	9	35 ABa <i>A</i>	20 Ba <i>A</i>	39 Aa <i>A</i>	40 Aa <i>A</i>	18 Ba <i>A</i>

Letras minúsculas iguais na coluna e letras maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Letras maiúsculas iguais na coluna, em itálico, entre genótipos, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância (*diferença entre genótipos com mesmo tamanho de sementes). SD = sem separação por massa específica; D1, D2 e D3 = classes de separação por massa específica (maior, intermediária, menor, respectivamente) e D4 = descarte.

O índice de velocidade de germinação (IVG) das sementes do genótipo EVF102 com tamanho de 9 mm foi maior na classe SD, D3 e D4, mostrando que o processo de separação por massa específica não refletiu em melhor vigor das sementes (Tabela 5).

O IVG das sementes de tamanho 8 mm foi superior para os dois genótipos considerando a classe D1, assim como, após a classificação na mesa densimétrica, as sementes do genótipo EVF102 de tamanho 8 mm apresentaram maiores IVGs – classes D1, D2 e D3 (Tabela 5). Sementes do genótipo EVF102, tamanho 8 mm, das classes SD, D2, D3 e D4 tiveram maior IVG em relação as sementes do genótipo EVF103 (Tabela 5).

Tabela 5. Médias do índice de velocidade de germinação das sementes de mamona dos genótipos EVF102 e EVF103, separadas em tamanhos 8 e 9 mm (Tam) e cinco classes de massa específica (SD, D1, D2, D3 D4)

Genótipo	Tam	Massa específica				
		SD	D1	D2	D3	D4
EVF102	8	3,50 Ba*A	3,50 BaB	7,75 Aa*A	7,75 Aa*A	3,50 Ba*A
	9	4,25 Aa*A	1,50 BbA	1,75 BbA	4,50 AbA	3,75 AaA
EVF103	8	1,25 CaB	7,25 Aa*A	0,25 CaB	4,25 BaB	2,00 CaB
	9	1,75 BaB	2,25 BbA	1,50 BaA	5,00 AaA	2,50 BaA

Letras minúsculas iguais na coluna e letras maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Letras maiúsculas iguais na coluna, em itálico, entre genótipos, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância (*diferença entre genótipos com mesmo tamanho de sementes). SD = sem separação por massa específica; D1, D2 e D3 = classes de separação por massa específica (maior, intermediária, menor, respectivamente) e D4 = descarte.

A emergência das sementes de mamona dos genótipos EVF102 e EVF103 de tamanho 8 mm, classificadas por massa específica, foi superior ao descarte (classe D4), assim como sementes de tamanho 9 mm do genótipo EVF103 obtiveram valores de emergência maiores (Tabela 6).

Tabela 6. Médias da emergência das sementes de mamona dos genótipos EVF102 e EVF103, separadas em tamanhos 8 e 9 mm e cinco classes de massa específica (SD, D1, D2, D3 D4)

Genótipo	Tamanho	Massa específica				
		SD	D1	D2	D3	D4
EVF102	8	84 AaA	81 AaA	94 AaA	93 Aa*A	38 BbB
	9	84 AaA	54 BbB	80 AbB	86 AaA	63 BaA
EVF103	8	87 AaA	89 AaA	86 AaA	76 AbB	54 Ba*A
	9	83 AaA	87 Aa*A	92 Aa*A	89 AaA	61 BaA

Letras minúsculas iguais na coluna e letras maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Letras maiúsculas iguais na coluna, em itálico, entre genótipos, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância (*diferença entre genótipos com mesmo tamanho de sementes). SD = sem separação por massa específica; D1, D2 e D3 = classes de separação por massa específica (maior, intermediária, menor, respectivamente) e D4 = descarte.

O IVE das sementes do genótipo EVF102, com tamanho 8 mm, foi maior para classe SD e D2. A classificação pela mesa densimétrica (D1, D2, D3 e D4), considerando o tamanho de sementes 9 mm (EVF102 e EVF103) e tamanho 8 mm (EVF103), não separou sementes com melhores índices de velocidade de emergência, pois as sementes da classe descarte (D4) também apresentaram maiores IVEs (Tabela 7).

Sementes do genótipo EVF102, tamanho 8 mm, das classes SD e D2 tiveram maior IVE em relação as sementes do genótipo EVF103 (Tabela 5). Sementes desse genótipo apresentaram maiores IVEs para o tamanho 9 mm nas classes D3 e D4 (Tabela 7).

Adicionalmente, Bispo et al. (2017) relataram que o tamanho das sementes interfere diretamente no crescimento de plântulas de angico, tanto em condições controladas, quanto em casa de vegetação, assim como em sementes de *Melanoxylon brauna* Schott. (Flores et al., 2014), *Brosimum gaudichaudii* TRÉCUL (Faria et al., 2013) e *Sideroxylon obtusifolium* (Roem. & Schult.) Penn. (Silva, 2015), que apresentaram estreita relação entre tamanho e vigor.

Tabela 7. Médias do índice de velocidade de emergência (IVE) das sementes de mamona dos genótipos EVF102 e EVF103, separadas em tamanhos 8 e 9 mm (Tam) e cinco classes de massa específica (SD, D1, D2, D3 D4)

Genótipo	Tam	Massa específica				
		SD	D1	D2	D3	D4
EVF102	8	26,0 Aa*A	14,4 BaA	26,4 Aa*A	14,2 Ba A	3,70 Ca
	9	12,5 Ab	13,2 AaA	13,4 AbA	12,0 Aa	7,10 Aa
EVF103	8	13,0 Aa	13,3 AaA	15,3 Aa	16,8 Aa A	16,2 Aa*A
	9	10,8 BaA	14,8 ABaA	18,2 AaA	20,1 Aa*A	21,4 Aa*A

Letras minúsculas iguais na coluna e letras maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Letras maiúsculas iguais na coluna, em itálico, entre genótipos, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância (*diferença entre genótipos com mesmo tamanho de sementes). SD = sem separação por massa específica; D1, D2 e D3 = classes de separação por massa específica (maior, intermediária, menor, respectivamente) e D4 = descarte.

Sementes de tamanho 9 mm, não beneficiadas na mesa densimétrica, apresentaram menor CE. As sementes sem classificação por massa específica (SD) não

diferiram daquelas classificadas na mesa densimétrica, classes D1, D2 e D3 (Tabela 8). Lopes et al. (2011) comentam que a condutividade pode ser afetada pelas danificações mecânicas, que são consequência de regulagens não adequadas das máquinas, ou equipamentos que fazem operações de colheita e beneficiamento das sementes.

De acordo com os resultados do teste de condutividade elétrica das sementes de soja, Neves et al. (2016) identificaram maior lixiviação dos solutos em razão das lesões mecânicas ocorridas durante a secagem e processamento. No entanto, houve melhora do vigor das sementes após o processamento na mesa de gravidade, o que não foi verificado para sementes de mamona, por não terem ocorrido diferenças entre as CE após o beneficiamento.

Tabela 8. Médias da condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$) das sementes de mamona separadas em tamanhos 8 e 9 mm e cinco classes de massa específica (SD, D1, D2, D3 D4)

Tamanho	Massa específica				
	SD	D1	D2	D3	D4
8	95,2 Ab	72,6 Aa	75,8 Aa	81,2 Aa	183,0 Bb
9	74,8 Aa	75,4 Aa	80,2 Aa	70,7 Aa	113,4 Ba

Letras minúsculas na coluna e minúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. SD = sem separação por massa específica; D1, D2 e D3 = classes de separação por massa específica (maior, intermediária, menor, respectivamente) e D4 = descarte.

Sementes de tamanho 8 mm, do genótipo EVF102, tiveram maior vigor, avaliado pelo teste de envelhecimento acelerado, antes de passarem pela mesa densimétrica (classe SD). A germinação das sementes, após o envelhecimento acelerado, do genótipo EVF103, de tamanho 8 mm e classe SD, foi semelhante às classes D1 e D2 e superior às classes D3 e descarte (Tabela 9).

Sementes do genótipo EVF103, tamanho 9 mm, das classes SD e D2, tiveram maior vigor, pelo teste de envelhecimento acelerado, em relação às sementes do genótipo EVF102 (Tabela 9).

O teste de envelhecimento acelerado mostra que, após as sementes de soja serem processadas na mesa de gravidade, houve aumento na porcentagem de plântulas normais, fato positivo para sua qualidade fisiológica (Neves et al., 2016). Isto não foi observado

para as sementes dos genótipos EVF102 e EVF103, que mantiveram a qualidade após o processamento pela mesa densimétrica (classes D1 e D2).

Em outras espécies cultivadas, o beneficiamento apresenta inúmeras vantagens. Em sementes de arroz, Pereira et al. (2012) observaram melhoria gradativa da qualidade física do lote, após a passagem em cada máquina, ao longo do beneficiamento. Em sementes de milho, Ferreira & Sá (2010) observaram melhoria da qualidade das sementes com o beneficiamento.

Zuchi et al. (2010) observaram que o tamanho das sementes de mamona influenciou seu desempenho fisiológico, sendo que nas cultivares IAC 226 e BRS 188 Paraguaçu as sementes menores apresentaram maior velocidade e porcentagem final de germinação, o que não ocorreu para as cultivares IAC 80 e Al Guarany 2002.

Tabela 9. Médias do envelhecimento acelerado (%) das sementes de mamona dos genótipos 102 e 103, separadas em tamanhos 8 e 9 mm e cinco classes de massa específica (SD, D1, D2, D3 D4)

Genótipo	Tamanho	Massa específica				
		SD	D1	D2	D3	D4
EVF102	8	84 AaA	70 AaA	74 AaA	64 ABaA	45 BaA
	9	58 AbB	71 AaA	57 AbB	70 AaA	32 BaA
EVF103	8	85 AaA	74 ABaA	67 ABaA	58 BaA	35 CaA
	9	74 Aa*A	73 AaA	77 Aa*A	71 AaA	20 BbA

Letras minúsculas iguais na coluna e letras maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Letras maiúsculas iguais na coluna, em itálico, entre genótipos, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância (*diferença entre genótipos com mesmo tamanho de sementes). SD = sem separação por massa específica; D1, D2 e D3 = classes de separação por massa específica (maior, intermediária, menor, respectivamente) e D4 = descarte.

Neves et al. (2016) também concluíram que o beneficiamento melhora os atributos da qualidade de sementes de soja ao longo das diferentes etapas e que a mesa densimétrica exerce papel importante no aprimoramento da qualidade fisiológica e sanitária do lote favorecendo o vigor das sementes.

1.4. CONCLUSÕES

Sementes do genótipo EVF102 de tamanho 8 mm, classificadas pela mesa densimétrica, apresentaram melhor qualidade fisiológica considerando a germinação, índice velocidade de germinação e emergência.

Sementes do genótipo EVF103, separadas por tamanho, não apresentaram diferença na qualidade fisiológica.

As sementes dos genótipos EVF102 e EVF103, da classe D4 (descarte) apresentaram menor qualidade fisiológica baseando-se na emergência, condutividade elétrica e envelhecimento acelerado.

1.5. AGRADECIMENTOS

Ao Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Rio Verde, pela oportunidade de aprimorar os conhecimentos. A Empresa Sementes Goiás LTDA pela parceria em fornecer as sementes de mamona, como também o acesso às pesquisas científicas e visitas aos campos de produção e usina de beneficiamento das sementes (UBS). Ao CNPq, CAPES e FINEP pelo financiamento dos materiais e equipamentos de laboratório para condução dos experimentos.

1.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Antonello, L.M.; Muniz, M.F.B.; Brand, S.C.; Rodrigues, J.; Menezes, N.L.; Kulczynski, S.M. Influência do tipo de embalagem na qualidade fisiológica de sementes de milho crioulo. *Revista Brasileira de Sementes*, v.31, n.4, p.75-86, 2009.

Bispo, J.S.; Costa, D.C.C.; Gomes, S.E.V.; Oliveira, G.M.; Matias, J.R.; Ribeiro, R.C.; Dantas, B.F. Size and vigor of *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan seeds harvested in Caatinga áreas. *Journal of Seed Science*, v.39, n.4, p.363-373, 2017.

Brasil. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Coordenação de Laboratório Vegetal. *Regras para análise de sementes*. Brasília, 2009.

Carvalho, N. M.; Nakagawa, J. *Sementes: Ciência, tecnologia e produção*. 6ª Edição. Jaboticabal: Funep, 2012. 590p.

Conab – Companhia Nacional De Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos. Safra 2017/18, v.5, n. 8. Oitavo Levantamento, Junho, 2018.

Conrad, V.A. D.; Radke, A.K.; Villela, F.A. Atributos físicos e fisiológicos em sementes de soja no beneficiamento. *Magistra*, v.29, n.2, p.56-63, 2017.

Faria, R.A.P.G.; Coelho, M.D.F.B.; Figueiredo, M.C. Tamanho da semente e sombreamento no desenvolvimento inicial de *Brosimum gaudichaudii* TRÉCUL. *Revista Caatinga*, v.26, n.1, p.9-15, 2013.

Ferreira, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.

Ferreira, R.L.; Sá, M.E. Contribuição de etapas do beneficiamento na qualidade fisiológica de sementes de dois híbridos de milho. *Revista Brasileira de Sementes*, v.32, p.99-110, 2010.

Flores, A.V.; Borges, E.E.L.; Gonçalves, J.F.C.; Guimarães, V.M.; Ataíde, G.M.; Barros, D.P.; Pereira, M.D. Efeito do substrato, cor e tamanho de sementes na germinação e vigor de *Melanoxylon brauna*. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v.34, n.78, p.141-147, 2014.

Gadotti, G.I.; Baudet, L.; Villela, L. Several regulations in gravity table in quality of tobacco seeds. *Revista Brasileira de Sementes*, v.32, n.2, p.361-368, 2012.

Gadotti, G. I.; Villela, F. A.; Baudet, L. Influência da mesa densimétrica na qualidade de sementes de cultivares de tabaco. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 33, n. 2, p. 372-378, 2011.

Hessel, C. L. E.; Villela, F. A.; Aumonde, T. Z.; Pedó, T. *Mesa densimétrica e qualidade fisiológica de sementes de brachiária*. Informativo ABRATES, Londrina, v.22, n.3, p.73-76, 2012.

Juvino, A.N.K.; Resende, O.; Costa, L.M.; Sales, J.F. Vigor da cultivar BMX Potência RR de soja durante o beneficiamento e períodos de armazenamento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, n.8, p.844-850, 2014.

Lopes, M.M.; Prado, M.O.D.; Sader, R.; Barbosa, R.M. Efeitos dos danos mecânicos e fisiológicos na colheita e beneficiamento de sementes de soja. *Bioscience Journal*, v.27, n.2, p.230-238, 2011.

Machado, C.G., C.C. Martins, S.C.S. Cruz, J. Nakagawa; F.R.D. Pereira. Quality of castor bean seeds (*Ricinus communis* L.) affected by raceme and fruit position during storage. *Semina-Ciências Agrárias*, v.31, p. 301–312. 2010.

- Maguire, J. D. Speed of germination: aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science. Madison*, v.2, n.2, 1962.
- Marcos Filho, J. *Fisiologia de Sementes de Plantas Cultivadas*. FEALQ. Piracicaba, 2015. 660p.
- Marcos Filho, J. *Testes de vigor: importância e utilização*. In: Krzyzanowski, F. C.; Vieira, R. D.; França Neto, J. B. (Ed.). *Vigor de sementes: conceitos e testes*. Londrina: Abrates, 1999.
- Melo, L. F.; Martins, C. C.; Silva, G. Z.; Boneti, J. E. B.; Vieira, R. D. Beneficiamento na qualidade física e fisiológica de sementes de capim-mombaça. *Revista Ciência Agronômica*, v.47, n.4, p.667-674, 2016a.
- Melo, L. F.; Martins, C. C.; Silva, G. Z.; Sanches, M. F. G. Processing in the quality of *Tanzania grass seeds*. *Engenharia Agrícola*, v.36, n.6, p.1157-1166, 2016b.
- Nery, M. C. Nery, F. C.; Silva, D. R. G.; Soares, F. P. *Produção de sementes forrageiras*. Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciência do Solo. Boletim Técnico, n.88, p. 1-47, 2012.
- Neto, A. L. S. *Qualidade de sementes de mamona beneficiadas e tratadas com fungicidas*. Lavras, UFLA, 2008. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.
- Neves, J. M. G.; Oliveira, J. A.; Silva, Humberto P.; Reis, R. G. E.; Zuchi, J.; Vieira, A. R. Quality of soybean seeds with high mechanical damage index after processing and storage. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.20, n.11, p.1025-1030, 2016.
- Oliveira, F. N.; Torres S. B.; Vieira, F. E. R.; Paiva, E. P.; Dutra, A. S. Qualidade fisiológica de sementes de girassol avaliadas por condutividade elétrica. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v.42, n.3, p.279-287.2012.
- Pereira, C.E.; Albulquerque, K.S.; Oliveira, J.A. Qualidade física e fisiológica de sementes de arroz ao longo da linha de beneficiamento. *Semina: Ciências Agrárias*, v.33, p.2995-3002, 2012.
- Pinto, L. C. G. *Instrução normativa n.º 25, de 16 de dezembro de 2005*. Padrões de Sementes e de Campo. Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento Gabinete do Ministro Anexo VII – Mamona. 2005. Disponível em: http://www.apassul.com.br/arquivo/in25_novos_padroes/anexo7-mamona.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2017.

- Ribeiro, P.R.; Willems, L.A.J.; Mudde, E.; Fernandez, L.G.; Castro, R.D.; Ligterink, W.; Hilhorst, H.W.M. Metabolite profiling of the oilseed crop *Ricinus communis* during early seed imbibition reveals a specific metabolic signature in response to temperature. *Industrial Crops and Products*. v.67, p.305–309, 2015.
- Severino, L.S.; Auld, D.L.; Baldanzi, M.; Cândido, M.J.D.; Chen, G.; Crosby, W. A review on the challenges for increased production of castor. *Agronomy Journal*, v.104, n.1, p.853-880. 2012.
- Silva, K.B. Qualidade fisiológica de sementes de *Sideroxylon obtusifolium* (Roem. & Schult.) Penn. classificadas pelo tamanho. *Revista Brasileira de Biociências*, v.13, n.1, p.1-4, 2015.
- Silva, R.P.; Teixeira, I.R.; Devilla, I.A.; Rezende, R.C.; Gisele Silva, G.C. Qualidade fisiológica de sementes de soja (*Glycine max* L.) durante o beneficiamento. *Semina: Ciências Agrárias*, v.32, n.4, p.1219-1230, 2011.
- Silva, F.S.; Porto, A. G.; Pascuali, L. C.; Silva, F. T. C. Viabilidade do armazenamento de sementes em diferentes embalagens para pequenas propriedades rurais. *Revista de Ciências Agro-Ambientais*, v.8, n.1, p.45- 56, 2010.
- Vieira, R.D.; Penariol, A.L.; Perecin, D.; Panobianco, M. Condutividade elétrica e teor de água inicial das sementes de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.37, n.9, p.1333-1338, 2002.
- 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, p.1-26, 1999.
- Zuchi, J.; Panozzo, L.E.; Heberle, E.; Dias, D.C.F.S. Qualidade fisiológica de sementes de mamona classificadas por tamanho. *Revista Brasileira de Sementes*, v.32, n.3, p.177-183, 2010.

CAPÍTULO II

Qualidade fisiológica de sementes de genótipos de mamona armazenadas em duas temperaturas

(Normas de acordo com a Revista Acta Scientiarum Agronomy)

RESUMO: O ambiente e o tempo de armazenamento podem influenciar a qualidade das sementes armazenadas, principalmente das oleaginosas, como a mamona, pois possuem alto conteúdo de lipídeos e são mais propensas a deterioração. Objetivou-se, neste trabalho, avaliar a qualidade fisiológica de sementes de três genótipos de mamona armazenadas a 10 e 20 °C por 300 dias. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com 4 replicatas, em esquema de parcela subdividida 2 x 6 (2 temperaturas x 6 períodos de armazenamento). As sementes foram colocadas dentro de embalagens de polipropileno de baixa densidade, e armazenadas em câmara climática a 10 e 20 °C, nas quais registraram-se a temperatura e umidade relativa do ar. Foram realizadas avaliações da qualidade fisiológica (germinação, índice de velocidade de germinação, emergência, índice de velocidade de emergência, condutividade elétrica e envelhecimento acelerado), no início e após 60, 120, 180, 240 e 300 dias de armazenamento. Sementes de mamona do genótipo EVF 106 apresentam melhor qualidade fisiológica quando armazenadas a 10°C. Sementes de mamona do genótipo EVF 701 podem ser armazenadas a 10 °C e 20°C por 300 dias. Sementes de mamona do genótipo EVF 712 apresentam redução de qualidade fisiológica durante 300 dias de armazenamento, independentemente da temperatura.

PALAVRAS-CHAVE: conservação de sementes, dormência, *Ricinus communis* L. temperatura.

Physiological quality of castor bean seed genotypes stored at two temperatures

ABSTRACT: The environment and storage time may influence the quality of stored seeds, mainly oilseeds, such as castor bean, because they have a high content of lipids and are more subject to deterioration. The objective of this study was to evaluate the physiological quality of seeds of three castor bean genotypes stored at 10 and 20 °C for 300 days. The experimental design was completely randomized, with 4 replications, in a subdivided plot of 2 x 6 (2 temperatures x 6 storage periods). The seeds were placed in polypropylene packages of low density, and stored in a climatic chamber at 10 and 20 °C, in which the temperature and relative humidity of the air were registered. Physiological quality (germination, germination rate index, emergence, rate of emergence, electrical conductivity and accelerated aging) were evaluated at baseline and after 60, 120, 180, 240 and 300 days of storage. Castor seeds of the genotype EVF 106 show better physiological quality when stored at 10°C. Castor seeds of genotype EVF 701 can be stored at 10 ° C and 20 ° C for 300 days. Castor seeds of genotype EVF 712 present a reduction of physiological quality during 300 days of storage, regardless of temperature.

KEYWORDS: seed conservation, dormancy, *Ricinus communis* L. temperature.

2.1. INTRODUÇÃO

A mamoneira (*Ricinus communis* L.) é uma planta que produz sementes oleaginosas com 40 a 60% de óleo (David et al., 2013), não comestíveis, sendo largamente utilizadas na indústria química e setor de bioenergia (Merkouropoulos et al., 2016). Suas sementes contêm altos níveis de ricina, ricinina e certos alérgenos, que são altamente tóxicos para humanos e animais (Severino et al., 2012).

A produção de mamona no Brasil está, atualmente, restrita a algumas regiões de grande tradição de cultivo, como o Estado da Bahia, maior produtor nacional. Entretanto, a produtividade tem sido muito baixa em decorrência do baixo emprego de tecnologia, como sementes melhoradas, fertilização, manejo fitossanitário e irrigação (Embrapa,

2018). As estimativas para a safra 2017/18 são de aumento da área, alcançando 33,9 mil hectares, o que representa acréscimo de 21,1% em relação à safra passada. Essa tendência é atribuída ao clima e às cotações do produto no mercado, principalmente nos últimos três anos (Conab, 2018).

Existem oportunidades para o cultivo de mamona na região dos cerrados brasileiros, pelas características de produção favoráveis no sistema de rotação de culturas, principalmente na época de safrinha, quando a pluviosidade é baixa. Nesse sentido, Torres et al. (2015 a, b) observaram a adaptabilidade fenotípica de cultivares de mamona para a região ecótono Cerrado-Pantanal, demonstrando a viabilidade do cultivo da cultura nesta área. No entanto, há necessidade de fornecimento de sementes de alta qualidade para o aumento da produtividade e o estabelecimento da cultura (Santos, 2010).

Sementes oleaginosas são mais propensas à deterioração durante o armazenamento, pois a intensidade e a velocidade do processo de deterioração estão ligadas à sua composição química (Pereira et al., 2013). A longevidade da semente também depende do teor de água, das condições ambientais, da embalagem, da atividade dos microrganismos, entre outros fatores (Marcos Filho, 2015).

As condições de armazenamento são determinantes para garantir a qualidade fisiológica das sementes, e o controle do ambiente, temperatura e umidade relativa do ar contribui para diminuir o processo de deterioração (Almeida et al., 2010; Bewley et al., 2013; Neves et al., 2014).

Assim sendo, conhecer o comportamento das sementes durante o armazenamento é essencial para tomar decisões sobre seu manuseio. Portanto, objetivou-se avaliar a qualidade fisiológica de sementes de mamona de três genótipos (EVF106, EVF701 e EVF712), armazenadas a temperaturas de 10 e 20 °C, durante 300 dias.

2.2. MATERIAL E MÉTODOS

Sementes de três genótipos de mamona, EVF 106, EVF 701 e EVF 712, foram obtidas de cultivo em campos de produção localizados na Fazenda 2P (18.00' 28.90", S/50.57' 59.52" O), da empresa Sementes Goiás LTDA., a 30km da cidade de Rio Verde, Goiás.

O plantio foi feito no início de março e a colheita, na última semana de setembro de 2015, totalizando um ciclo de 210 dias. A colheita mecânica dos frutos (Plataforma PLM 08L) foi feita após a maturidade fisiológica, quando as plantas apresentavam 100% de senescência (secagem natural), com teor de água entre 6 e 7% b.u.

Os frutos passaram por pré-beneficiamento em máquina descascadora e as sementes seguiram para máquina de ar e peneiras para retirada das impurezas, após, permaneceram armazenadas em big-bags, por três meses, em armazém a 12 °C na Unidade de Beneficiamento das Sementes Goiás LTDA.

As sementes foram encaminhadas para o Laboratório de Sementes do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, onde se procedeu, de forma manual, à retirada dos resíduos vegetais, sementes quebradas e sem tegumento. As sementes dos genótipos de mamona avaliados não passaram pelo processo de superação de dormência, pois não estão registrados no país e não apresentam relatos científicos para análise dessa característica.

Amostras contendo 1600 sementes dos genótipos EVF 106, EVF 701 e EVF 712 foram embaladas em sacos de polipropileno de baixa densidade (embalagem semipermeável), para cada tempo de armazenamento, que foi considerado como subparcela e constituído de 6 níveis: zero, 60, 120, 180, 240 e 300 dias. As temperaturas de armazenamento foram consideradas parcelas, constituídas de duas B.O.D. (*Biochemical Oxygen Demand*) separadas, reguladas a 10 e 20 °C, nas quais foram colocados dataloggers para registro da temperatura ($10 \pm 0,5$ °C; $20 \pm 0,5$ °C) e umidade relativa do ar ($45 \pm 3\%$; $53 \pm 2\%$).

O armazenamento das sementes iniciou-se em janeiro de 2016, sendo considerado tempo zero. O teor de água das sementes foi determinado pelo método da gravimetria, utilizando estufa com circulação forçada de ar a 105 ± 3 °C por 24 h, com duas repetições (Brasil, 2009).

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado em esquema de parcela subdividida 2 x 6 (2 temperaturas x 6 períodos de armazenamento) com quatro repetições, tendo os genótipos sido avaliados separadamente. Em cada período, foram feitas avaliações da qualidade fisiológica das sementes:

Teste de germinação e índice de velocidade de germinação - a semeadura foi feita em folhas de papel germitest, umedecidas com água destilada, em quantidade equivalente a 2,5 vezes a massa do substrato seco, com quatro repetições de 50 sementes. Os rolos

foram mantidos em B.O.D. regulada à temperatura alternada de 20-30 °C, com fotoperíodo de 12/12 h (Brasil, 2009). A porcentagem de germinação foi avaliada aos 7 e 14 dias, quando foram computadas as plântulas normais, aquelas que apresentam todas as estruturas essenciais desenvolvidas, sem nenhum tipo de dano; as plântulas anormais, aquelas que apresentam lesões ou falta de partes das estruturas essenciais; as sementes duras, aquelas que não apresentam sinais de embebição e permanecem duras quando pressionadas com o dedo indicador; e as sementes mortas, aquelas que se apresentam com aspecto apodrecido. O resultado foi expresso em porcentagem de plântulas normais conforme Brasil (2009). O índice de velocidade de germinação (IVG) foi calculado pelo somatório do número de sementes germinadas, com radículas de tamanho maior ou igual a 1 cm, registrado a cada dia, dividido pelo número de dias decorridos entre a semeadura e as contagens diárias (Maguire, 1962).

Teste de emergência e índice de velocidade de emergência - foram utilizadas 200 sementes divididas em quatro repetições de 50 sementes. A semeadura foi feita em leito de areia a 3 cm de profundidade em casa de vegetação, com sistema de irrigação por aspersão, que funcionava por 15 minutos a cada 4 h. A avaliação da emergência das plântulas foi feita até a estabilização e consideradas apenas as plântulas normais, sendo o resultado expresso em porcentagem final de emergência. O índice de velocidade de emergência (IVE) de plântulas foi avaliado com observações diárias após a instalação do teste de emergência, contando o número de plântulas emergidas por dia (com os dois cotilédones acima do nível da areia), dividindo esse número pelo número de dias transcorridos entre a data da semeadura, de acordo com Maguire (1962).

Envelhecimento acelerado – Feito pelo método do “gerbox”, segundo metodologia Marcos Filho (2005), com quatro repetições de 50 sementes. Em cada gerbox, foram colocadas 50 sementes sobre a tela e, no fundo do gerbox, colocados 40 mL de água destilada. Posteriormente, as sementes foram colocadas em B.O.D. regulada à temperatura de 42 °C, onde permaneceram por 72 h. Transcorrido esse período, cada repetição de 50 sementes foi semeada conforme descrição para o teste de germinação, sendo as plântulas normais e anormais, sementes duras e mortas avaliadas aos 7 e 14 dias, conforme Brasil (2009).

Condutividade elétrica - Para a avaliação da condutividade elétrica da solução de embebição de sementes, foi utilizado o teste da “condutividade de massa” ou sistema de

copo. Este teste foi feito com quatro amostras de 25 sementes cada, que foram pesadas em balança analítica, com resolução de duas casas decimais. Em seguida, as sementes foram colocadas para embeber em um recipiente plástico contendo 75 mL de água deionizada e, então, mantidas em B.O.D. regulada a 25 °C, durante 24 h. Após este período, foi feita a leitura da condutividade elétrica na solução de embebição, utilizando um condutivímetro Tecnal TEC-4MP. Os resultados foram expressos em $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ de sementes (Vieira & Krzyzanowski, 1999).

Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando houve significância ($P < 0,05$), foram analisados modelos de regressão, selecionados com base no coeficiente de determinação ($R^2 \geq 70\%$) ou conforme ajuste ao fenômeno biológico. Aplicou-se o teste de Tukey às médias, de acordo com a característica do fator experimental. Para análise dos dados, foi utilizado o Sistema de Análise de Variância – Sisvar (Ferreira, 2011).

2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de água inicial das sementes dos genótipos EVF106, EVF701 e EVF712 foi 6,92; 6,39 e 6,55% (b.u.), respectivamente. A Tabela 1 mostra as médias de teores de água das sementes durante o armazenamento. Esses valores são uniformes e adequados antes dos testes, uma vez que as variações estavam dentro dos limites toleráveis, ou seja, 2 a 3 pontos percentuais (Marcos-Filho, 1999).

Tabela 1. Teores de água médios das sementes de mamona dos genótipos EVF 701, EVF 712 e EVF 106, nas temperaturas de 10 e 20 °C, durante o armazenamento por 300 dias.

Genótipo	Temperatura (°C)	Tempo de armazenamento (dias)					
		0	60	120	180	240	300
701	10	6,55	6,19	6,09	6,71	5,64	5,87
	20		6,00	5,65	6,73	6,86	6,62
712	10	6,39	6,50	5,85	6,25	6,56	6,42
	20		6,12	5,28	5,43	5,13	5,80
106	10	6,92	5,75	6,37	7,45	6,35	6,77
	20		6,44	6,10	6,31	4,71	6,29

A interação entre os fatores estudados foi significativa para todas as variáveis analisadas para o genótipo EVF106 (Tabela 2). A porcentagem de germinação e o índice de velocidade de germinação do genótipo EVF701 e todas as variáveis, exceto emergência, do genótipo EVF712 apresentaram interação dupla significativa entre a temperatura e tempo de armazenamento (Tabela 2).

Tabela 2. Resumo da análise de variância, com valores de F, para as variáveis: porcentagem de germinação (PG), índice de velocidade de germinação (IVG), emergência (E), índice de velocidade de emergência (IVE), condutividade elétrica (CE), plântulas normais do envelhecimento acelerado (EA) dos genótipos 106, 701 e 712 de mamona.

FV	GL	Valores de F					
		106					
		PG	IVG	E	IVE	CE	EA
T	5	9,978*	53,630*	18,411*	158,99*	167,464*	21,853*
Tp	1	48,889*	244,83*	134,59*	514,97*	395,791*	36,075*
T x Tp	5	36,659*	50,114*	14,585*	23,56*	50,626*	31,606*
CV (%)	-	18,45	13,93	6,20	5,49	6,20	31,66
FV	GL	701					
		PG	IVG	E	IVE	CE	EA
T	5	25,389*	20,287*	4,293*	41,537*	50,739*	7,672*
Tp	1	2,289 ^{ns}	13,988*	2,233 ^{ns}	0,637 ^{ns}	14,211*	0,269 ^{ns}
T x Tp	5	12,394*	12,921*	0,336 ^{ns}	2,112 ^{ns}	0,491 ^{ns}	2,608 ^{ns}
CV (%)	-	13,18	18,40	4,73	6,82	7,65	39,76
FV	GL	712					
		PG	IVG	E	IVE	CE	EA
T	5	25,389*	6,891*	10,637*	32,558*	80,325*	22,234*
Tp	1	2,289 ^{ns}	2,819 ^{ns}	1,128 ^{ns}	48,190*	16,677*	22,234*
T x Tp	5	12,394*	16,799*	1,922 ^{ns}	6,837*	17,312*	4,656*
CV (%)	-	13,18	17,60	4,74	16,72	6,65	24,62

*Significativo ao nível de 5% de significância pelo Teste de F; ns - não significativo. FV (Fonte de Variação); GL (Graus de Liberdade); T (Tempo); Tp (Temperatura); CV (Coeficiente de Variação).

A germinação das sementes do genótipo EVF106, armazenadas a 10 °C, aumentou após 154 dias de armazenamento, sendo que nas sementes armazenadas a 20 °C ocorre o inverso, e a germinação se reduz após 71 dias de armazenamento (Figura 1A). A diferença entre as médias de germinação para as temperaturas 10 e 20 °C ocorre após 120 dias de armazenamento, sendo expressiva nas avaliações de sementes armazenadas por 300 dias (Figura 1A).

A temperatura e a umidade relativa do ar do local de armazenamento são os principais fatores que afetam a qualidade fisiológica da semente. A umidade relativa do ar controla o teor de água da semente, enquanto a temperatura afeta a velocidade dos processos bioquímicos (Goldfarb & Queiroga, 2013).

A elevação moderada da temperatura, como consequência do processo respiratório, já é suficiente para a decomposição dos lipídios e a elevação da taxa de deterioração (Marcos Filho, 2015), o que pode ter ocasionado redução na germinação das sementes armazenadas a 20 °C.

O índice de velocidade de germinação (IVG) das sementes do genótipo EVF106, armazenadas a 10 °C, se reduziu até os 144 dias de armazenamento (Figura 1B). Após esse período, o IVG aumentou similarmente à porcentagem de plântulas normais, Figura 1A, assim como as sementes armazenadas à temperatura de 10 °C, que apresentaram IVG maior nos tempos de armazenamento 180, 240 e 300 dias (Figura 1B).

O armazenamento pode ter propiciado a superação da dormência fisiológica das sementes ao longo do tempo, pois alguns genótipos da mamoneira têm esse tipo de dormência. Machado et al. (2010) observaram que 9,3% das sementes de mamona da cultivar Al Guarany 2002 estavam dormentes após a colheita, que diminuiu para 5,5% quando armazenadas por 12 meses à temperatura ambiente.

David et al. (2013) comentam que os baixos valores obtidos para a primeira contagem da germinação, emergência e índice de velocidade de emergência, especialmente para as sementes provenientes dos racemos secundário e terciário, também se estreitam em razão da ocorrência de dormência nas sementes de mamona.

O aumento da germinação e IVG pode estar relacionado também com a deterioração da carúncula das sementes de mamona ao longo do armazenamento, visto esta estrutura dificultar a entrada de água para embebição e retardar a germinação. Mendes et al. (2009) ainda afirmam que a remoção da carúncula contribui para acelerar a germinação das sementes recém-colhidas, tendo efeito positivo sobre o crescimento inicial das plântulas. Fogaça et al. (2017) identificaram que a remoção da carúncula afetou positivamente as características avaliadas nos testes de qualidade fisiológica de sementes.

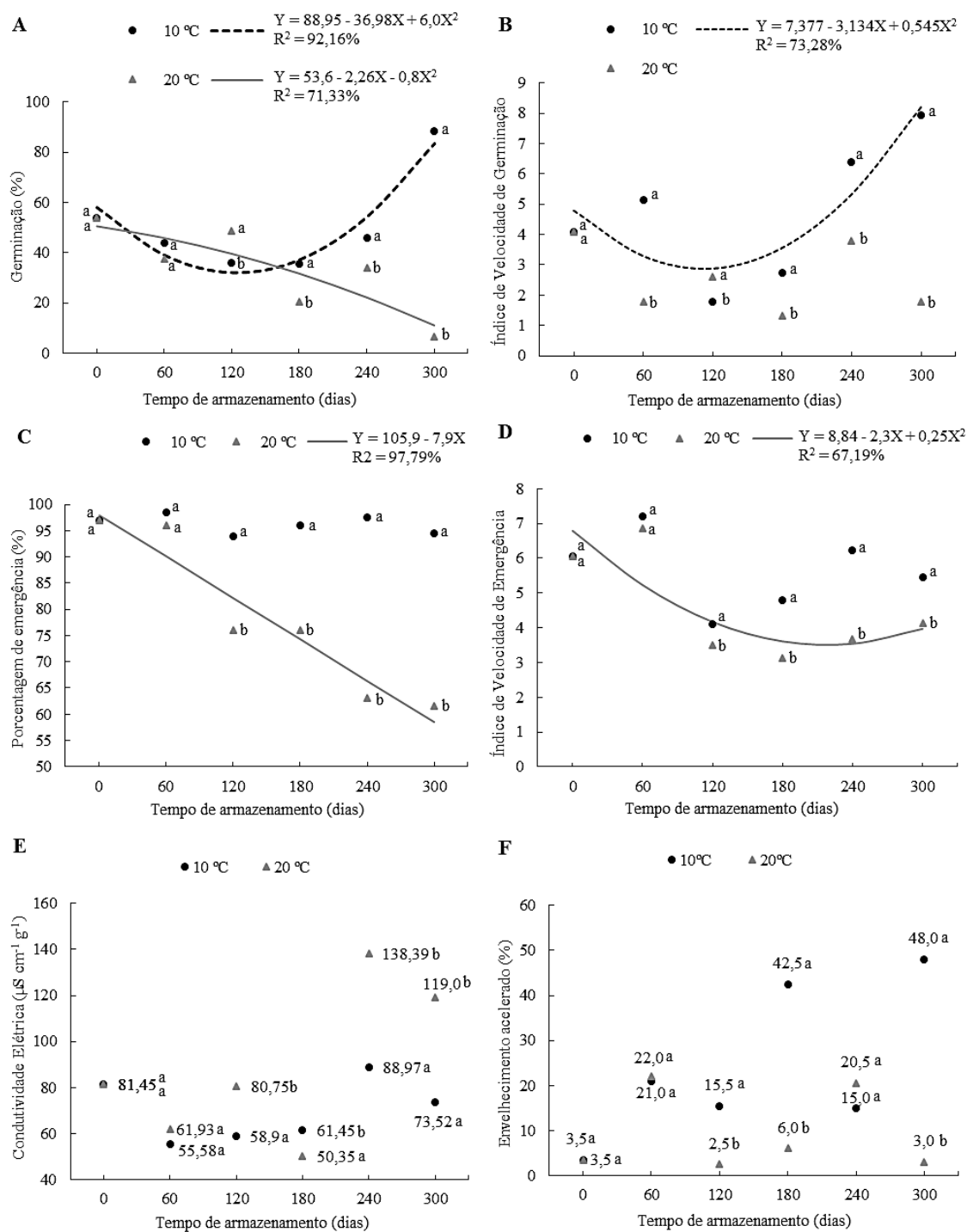


Figura 1. Porcentagem de germinação (A), Índice de velocidade de germinação (B), Porcentagem de emergência (C), Índice de velocidade de emergência (D), Condutividade elétrica (E), Envelhecimento acelerado (F) de sementes de mamona do genótipo EVF 106, armazenadas por 300 dias em temperaturas de 10 e 20 °C. As médias seguidas por letras iguais minúsculas, no mesmo tempo de armazenamento, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

A emergência das sementes de mamona do genótipo EVF106 reduziu linearmente durante o armazenamento a 20 °C (Figura 1C), com decréscimo de 13,4% a cada 60 dias de armazenamento. A temperatura de armazenagem das sementes de 10 °C manteve maior emergência das plântulas ao longo de 300 dias (Figura 1C). Segundo Bewley et al. (2013), a redução do percentual de emergência de plântulas é um reflexo do processo de envelhecimento natural das sementes, que está relacionado aos danos no sistema de biomembranas, compostas por fosfolipídeos.

A peroxidação de lipídeos é uma das causas mais frequentes de deterioração e perda da viabilidade das sementes. Frequentemente, isto ocorre pela atividade do oxigênio em ácidos graxos poli-insaturados presentes nas membranas das sementes, o que afeta-lhes a qualidade (Abreu et al., 2013).

A velocidade de germinação e emergência das sementes é influenciada pelo ambiente de armazenamento, assim como pela qualidade inicial das sementes armazenadas (Marcos Filho, 2015). Adicionalmente, o índice de velocidade de emergência (IVE) de plântulas do genótipo EVF106, armazenadas a 20 °C, reduziu até 230 dias de armazenamento, assim como a temperatura de 10 °C proporcionou médias superiores após 120 dias (Figura 1D).

As sementes do genótipo EVF106, quando armazenadas a 10 °C, apresentam menores valores de CE no período inicial do armazenamento entre 60 e 120 dias (Figura 1E). A temperatura de 20 °C proporcionou maiores valores de CE aos 240 e 300 dias, sugerindo que as sementes reduzem vigor.

Os resultados do teste de condutividade elétrica podem ser influenciados pela temperatura de armazenamento, sugerindo que a deterioração das sementes em temperatura baixas parece não estar relacionada com a perda de integridade das membranas celulares, uma vez que, à temperatura de 10 °C, os danos causados às membranas não ocorrem na mesma intensidade que no armazenamento à temperaturas entre 20 e 25 °C (Fessel et al. 2006; Panobianco, Vieira, Perecin, 2007).

A germinação e índice de velocidade de emergência de sementes do genótipo EVF701, não apresentaram interação significativa. A emergência, condutividade elétrica e envelhecimento acelerado tiveram significância para o fator tempo de armazenamento, considerando o genótipo EVF 701.

A temperatura de 20 °C proporcionou maior germinação aos 240 e 300 dias de armazenamento das sementes do genótipo EVF701 (Figura 2A). Também, nestes mesmos tempos, há diferença entre os IVGs, considerando as temperaturas do ambiente de armazenamento. Observou-se ainda que, após 176 dias, as sementes armazenadas a 20 °C apresentam germinação mais rápida (Figura 2B). O IVG das sementes armazenadas a 10 °C diminui até 293 dias de armazenamento. A emergência das plântulas da cultivar EVF701 foi maior aos 157 dias de armazenamento e, posteriormente, houve redução (Figura 2C).

As sementes de pinhão manso, armazenadas em diferentes embalagens e ambientes, foram avaliadas por Zonta et al. (2014), que observaram redução na qualidade fisiológica e recomendam o uso de ambiente refrigerado, com temperatura entre 18-20 °C, independentemente da embalagem utilizada. A qualidade de sementes de mamona cultivar IAC-226, armazenadas por um período de 12 meses, foi avaliada por Santos et al. (2016), que identificaram velocidade de emergência maior para as sementes armazenadas em nitrogênio líquido durante 12 meses. Ainda, sementes armazenadas em câmara fria e embaladas à vácuo tiveram menor emergência.

A condutividade elétrica das sementes do cultivar EVF701 aumentou após 180 dias independentemente da temperatura de armazenagem (Figura 2E). O fator temperatura mostrou que, efetivamente, a temperatura de armazenamento de 20 °C proporciona valores de CE superiores à temperatura de 10°C, respectivamente, valores médios de 111,65 e 108,38 $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$.

Esses dados são superiores aos valores da condutividade elétrica das sementes de mamona variedade crioula carrapatinho, que originavam do racemo primário, sem carúncula (excrecência do tegumento próximo a micrópila), e apresentaram valores médios de 45,29 $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ (Fogaça et al. 2017).

A germinação das sementes do genótipo EVF701 aumentou ao longo do armazenamento, independentemente da temperatura do ambiente (Figura 2F). O acréscimo na germinação também pode ser atribuído à superação da dormência fisiológica promovida pelo envelhecimento, pois comportamento semelhante foi observado nas sementes de leucena recém coletadas, nas quais sementes imaturas poderiam estar presentes (Araújo et al. 2017).

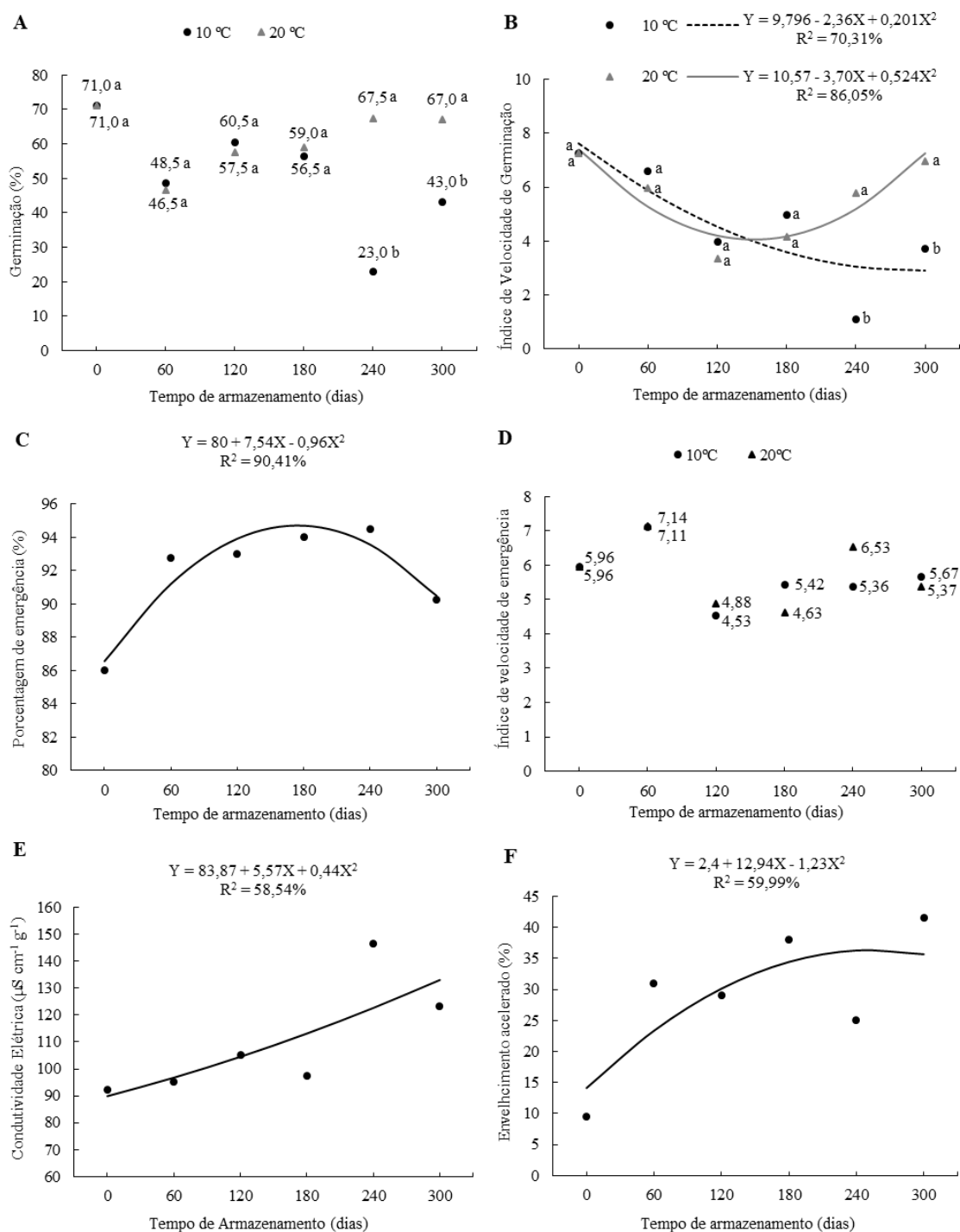


Figura 2. Porcentagem de germinação (A), Índice de velocidade de germinação (B), Porcentagem de emergência (C), Índice de velocidade de emergência (D), Condutividade elétrica (E), Envelhecimento acelerado (F) de sementes de mamona do genótipo EVF701, armazenadas por 300 dias em temperaturas de 10 e 20 °C. As médias seguidas por letras iguais minúsculas, no mesmo tempo de armazenamento, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

Maior porcentagem de germinação, após o envelhecimento acelerado, também foi verificada em sementes recém-coletadas de outras espécies de Fabaceae como *Anadenanthera falcata* (Benth.), Speg (Stallbaun et al., 2015) e *B. forficata* (Guareschi et al., 2015), corroborando os resultados desta pesquisa. Adicionalmente, Nobre et al. (2014) afirmam que as sementes de mamona podem apresentar dormência ainda na planta, sendo que sua intensidade e persistência dependem da cultivar e do estado de maturação no momento da colheita.

A interação entre os fatores foi significativa para todas as variáveis analisadas das sementes do genótipo EVF712, exceto para a emergência, que apresentou efeito apenas para o fator tempo. A germinação das sementes aumentou até os 167 dias para temperatura de 10 °C e 173 dias para 20 °C, após esse período, houve redução (Figura 3A). Maior germinação e IVG foi observada aos 120 e 240 dias nas sementes armazenadas a 20 °C, e aos 300 dias de armazenamento houve inversão, tendo a temperatura de 10 °C apresentado médias superiores (Figuras 3A e 3B).

A emergência se reduziu até os 202 dias de armazenamento, independentemente da temperatura (Figura 3C). O IVE também apresentou redução até os 217 dias para temperatura de 10 °C e houve diferença no IVE, entre as temperaturas, aos 240 dias (Figura 3D). O armazenamento na temperatura de 20 °C proporcionou aumento na condutividade elétrica até os 300 dias, assim como, nesse tempo, a temperatura de 10 °C se diferenciou de 20 °C (Figura 3E). Também a germinação das sementes do genótipo EVF712 apresentou médias superiores quando armazenadas a 10 °C, tendo havido diferença na germinação entre as temperaturas aos 120 e 300 dias.

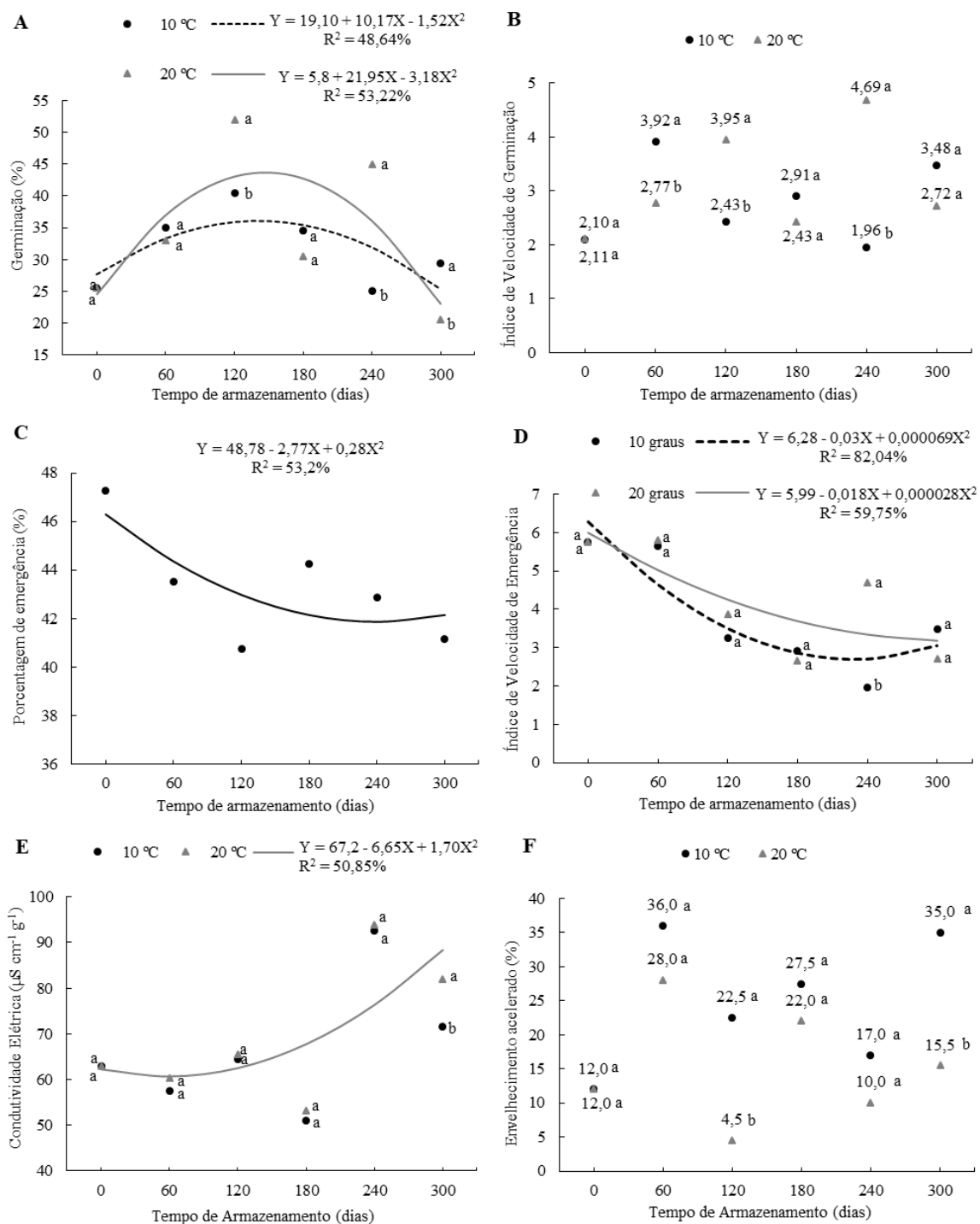


Figura 3. Porcentagem de germinação (A), Índice de velocidade de germinação (B), Porcentagem de emergência (C), Índice de velocidade de emergência (D), Condutividade elétrica (E), Envelhecimento acelerado (F) de sementes de mamona do genótipo EVF712, armazenadas por 300 dias em temperaturas de 10 e 20 °C. As médias seguidas por letras iguais minúsculas, no mesmo tempo de armazenamento, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

Vieira et al. (2017) verificaram que as sementes de *Jatropha curcas*, assim como outras sementes com alto teor de óleo, geralmente mostram redução linear ao longo do tempo na germinação e vigor da semente após o armazenamento a 15 °C por 240 dias. Coradi et al. (2015) constataram que as condições de 20 °C e 60% de UR do ar foram mais favoráveis para a conservação da qualidade das sementes de girassol, ao longo do tempo de armazenamento, que foi afetada negativamente após três meses armazenadas.

2.4. AGRADECIMENTOS

Ao Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Rio Verde, pela oportunidade de aprimorar os conhecimentos. A Empresa Sementes Goiás LTDA pela parceria em fornecer as sementes de mamona, como também o acesso às pesquisas científicas e visitas aos campos de produção e usina de beneficiamento das sementes (UBS). Ao CNPq, CAPES e FINEP pelo financiamento dos materiais e equipamentos de laboratório para condução dos experimentos.

2.5. CONCLUSÕES

Sementes de mamona do genótipo EVF106 apresentam melhor qualidade fisiológica quando armazenadas a 10 °C.

Sementes de mamona do genótipo EVF701 podem ser armazenadas a 10 °C e 20 °C por 300 dias.

Sementes de mamona do genótipo EVF712 apresentam redução de qualidade fisiológica durante 300 dias de armazenamento, independentemente da temperatura.

2.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abreu, L.A.S.; Carvalho, M.L.M.; Pinto, C.A.G; Kataoka, V.Y.; Silva, T.T.A. (2013). Deterioration of sunflower seeds during storage. *Journal of Seed Science*, 35(2), 240-247. <http://dx.doi.org/10.1590/S2317-15372013000200015>.

Almeida, F.A.C.; Jerônimo, E.S.; Alves, N.M.C.; Gomes, J.P.; Silva, A.S. (2010). Study of Techniques for the Storage of Five Oilseeds in Environmental and Cryogenic

Conditions. *Brazilian Journal of Agroindustrial Products*, 12 (1), 189-202. Disponível em: < <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20113122475>>

Araújo, F.S.; Felix, F.C.; Ferrari, C.S.; Bruno, R.L.A.; Pacheco, M.V. (2017). Adequação do teste de envelhecimento acelerado para avaliação do vigor de sementes de leucena. *Agrária*, 12(1), 92-97. DOI:10.5039/agraria.v12i1a5422

Bewley, J.D.; Bradford, K. J.; Hilhorst, H.W.M.; Nonogaki, H. (2013). *Seeds – physiology of development, germination and dormancy*. 3rd ed. New York: Springer. DOI: 10.1007/978-1-4614-4693-4

Brasil. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Coordenação de Laboratório Vegetal. (2009). *Regras para análise de sementes*. Brasília, Mapa/ACS, 2009. 399 p. ISBN 978-85-99851-70-8

Conab – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos. (2018). 5(6), SAFRA 2017/18. Sexto levantamento.

Coradi, P.C.; Fernandes, C.H.P.; Peralta, C.C.; Pereira, T.L. Effects of drying and storage conditions in the quality of sunflower seeds. (2015). *Pesquisa Agropecuária Pernambucana*, 20(1), 26-35. DOI: 10.12661/pap.2015.005

David, A.M.S.S.; Araújo, E.F.; Araújo, R.F.; Resende, M.A.V.; Dias, D.C.F.S.; Nobre, D.A.C. (2013). Physiological quality of castor bean seeds originating from different racemes in the plant. *Journal of Seed Science*, 35(2), 248-254. DOI: 10.1590/S2317-15372013000200016

Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Desenvolvimento do sistema de produção de mamona* (Projetos). (2018). Embrapa Algodão. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-projetos/-/projeto/209589/desenvolvimento-do-sistema-de-producao-de-mamona>

Ferreira, D. F. *Sisvar: a computer statistical analysis system*. (2011). *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, 35(6), 1039-1042. DOI: 10.1590/S1413-70542011000600001

Fessel, S.A.; Vieira, R.D.; Cruz, M.C.P.; Paula, R.C.; Panobianco, M. (2006). Electrical conductivity testing of corn seeds as influenced by temperature and period of storage. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41(10), 1551-1559. DOI: 10.1590/S0100-204X2006001000013

Fogaça, J.J.N.L.; Silva, R.A.; Santos, J.L.; Nunes, R.T.C.; Ferreira, L.L.; Morais, O.M. (2017). Qualidade fisiológica de sementes de mamona crioula var. Carrapatinho em

- função da posição do rácemo. *Revista de Ciências Agrárias*, 40(1), 88-94. DOI: 10.19084/RCA16086
- Goldfarb, M.; Queiroga, V.P. (2013). Considerações sobre o armazenamento de sementes. *Tecnologia & Ciência Agropecuária*, 7(3), 71-74.
- Guareschi, D.G.; Lanzarini, A.C.; Lazarotto, M.; Gonzatto, C.; Barbieri, G. (2015). Envelhecimento acelerado de sementes e qualidade de plântulas de *Bauhinia forficata* Link em diferentes substratos e tamanhos de tubetes. *Revista Agro@ambiente On-line*, 9(1), 65-71. DOI: 10.18227/1982-8470ragro.v9i1.2175
- Machado, C.G., C.C. Martins, S.C.S. Cruz, J. Nakagawa; F.R.D. Pereira. (2010). Quality of castor bean seeds (*Ricinus communis* L.) affected by raceme and fruit position during storage. *Semina-Ciências Agrárias*, 31(1), 301-312. DOI: 10.5433/1679-0359.2010v31n2p301
- Maguire, J.D. (1962). Speed of germination: aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, 2(2), 176-177. DOI: 10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x
- Marcos Filho, J. (2015). *Fisiologia de Sementes de Plantas Cultivadas*. FEALQ. Piracicaba, 660p. ISBN 85-7133-038-7
- Mendes, R.C.; Dias, D.C.F.S.; Pereira, M.D.; Berger, P.G. (2009). Tratamentos pré-germinativos em sementes de mamona (*Ricinus communis* L.). *Revista Brasileira de Sementes*, 31(1), 187-194. DOI: 10.1590/S0101-31222009000100021
- Merkouropoulos, G.; Kapazoglou, A.; Drosou, V.; Jacobs, E.; Krolzig, A.; Papadopoulos, C.; Hilioti, Z. (2016). Dwarf hybrids of the bioenergy crop *Ricinus communis* suitable for mechanized harvesting reveal differences in morpho-physiological characteristics and seed metabolic profiles. *Euphytica*, 210(2), 207-219. DOI: 10.1007/s10681-016-1702-6
- Neves, G.; Serigatto, E.M.; Dalchiavon, F.C.; Silva, C.A. (2014). Viability and Longevity of Seeds *Tabebuia aurea* Benth. & Hook. under Different Storage Methods. *Bioscience Journal*, 30(1), 737-742. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/18104>>
- Nobre, D.A.C.; Silva Neta, I.C.; David, A.S.S.; Gonçalves, N.P.; Amaro, H.T.R. (2014). Desempenho físico e fisiológico de sementes de mamona produzidas no norte de Minas Gerais. *Agrarian*, 7(24), 218-225. DOI: 10.30612/agrarian.v7i24.2063

- Panobianco, M.; Vieira, R.D.; Perecin, D. (2007). Electrical conductivity as an indicator of pea seed aging of stored at different temperatures. *Scientia Agricola*, 64(2), 119-124. DOI: 10.1590/S0103-90162007000200003
- Pereira, M.D.; Dias, D.C.F.S.; Borges, E.E.L.; Martins Filho, S.; Dias, L.A.S.; Soriano, P.E. (2013). Physiological quality of physic nut (*Jatropha curcas* L.) seeds during storage. *Journal of Seed Science*, 35(1), 21-27. DOI: 10.1590/S2317-15372013000100003
- Santos, H.O.; Carvalho, M.L.M.; Caldeira, C.M.; Coelho, S.V.B.; Pinho, E.V.R.V.; Oliveira, J.A. (2016). Physiological and biochemical aspects of castor beans seeds deterioration stored in different packaging conditions and temperatures. *Journal of Seed Science*, 38(3), 241-247. DOI: 10.1590/2317-1545v38n3165298
- Santos, H.O. (2010). Conservação de Sementes de Mamona (*Ricinus communis* L.). Lavras, UFLA, 2010. Dissertation (Master) – Universidade Federal de Lavras, Lavras. Disponível em: < <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/4240>>
- Severino, L.S.; Auld, D.L.; Baldanzi, M.; Cândido, M.J.D.; Chen, G.; Crosby, W. (2012). A review on the challenges for increased production of castor. *Agronomy Journal*, 104(1), 853-880. DOI: 10.2134/agronj2011.0210
- Stallbaun, P.H.; Souza, P.A.; Martins, R.C.C.; Matos, J.M.M.; Moura, T.M. (2015). Testes rápidos de vigor para avaliação da viabilidade de sementes de *Anadenanthera falcata*. *Enciclopédia Biosfera*, 11(21), 1.834-1.846. Disponível em: < <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2015b/agrarias/testes%20rapidos%20de%20vigor.pdf>>
- Torres, F.E.; Teodoro, P.E.; Gomes, A.C.; Hernandez, F.B.; Fernandes, R.L.; Ribeiro, L.P. (2015a). Adaptability, agronomic performance and genetic divergence of castor genotypes grown in the Cerrado-Pantanal ecotone. *Revista de Ciências Agrárias*, 58(1), 1-5. DOI: 10.4322/rca.1700
- Torres, F.E.; Teodoro, P.E.; Ribeiro, L.P.; Correa, C.C.G.; Hernandez, F.B.; Fernandes, R.L.; Gomes, A.C.; Lopes, K.V. (2015b). Correlations and path analysis on oil content of castor genotypes. *Bioscience Journal (Online)*, 31(1), 1363-1369. DOI: 10.14393/BJ-v31n5a2015-26391

Vieira, H.D.; Dardengo, A.O.; Oliveira, M.T.R.; Berbert, P.A.; Deminicis, B.B. (2017). Evaluation of storage potential of *Jatropha curcas* L. seeds. *American Journal of Plant Sciences*, 8(1), 3013-3023. DOI: 10.4236/ajps.2017.812204

Vieira, R. D.; Krzyzanowski, F. C. (1999). Teste De Condutividade Elétrica. In: Krzyzanowski, F. C.; Vieira, R. D.; França Neto, J. B. (Ed.). *Vigor de sementes: conceitos e testes*. Londrina: Abrates, 1-26.

Zonta, J.B.; Araújo, E.F.; Araújo, R.F.; Zonta, J.H.; Dias, L.A.S.; Ribeiro, P.H. (2014). Armazenamento de sementes de pinhão manso em diferentes embalagens e ambientes. *Bioscience Journal*, 30(2), 599-608. DOI: 10.1590/S0101-31222012000400015

CAPÍTULO III

Higroscopicidade de sementes de mamona (*Ricinus communis* L.)

RESUMO: O equilíbrio higroscópico das sementes de mamona (*Ricinus communis* L.) auxilia o manejo adequado do produto visando a conservação de seu teor de água nos níveis recomendados para um armazenamento seguro. Objetivou-se, neste trabalho, determinar as isotermas de adsorção de água de sementes de mamona (EVF103 e EVF106) para obter informações da quantidade de água que este produto adsorve nas temperaturas de 10, 20, 30, 40 °C e atividades de água entre 0,20 e 0,89, assim como ajustar diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais. Para obtenção do equilíbrio higroscópico foi utilizado o método estático indireto, com uso do equipamento Hygropalm Model Aw 1, analisando sementes de mamona dos genótipos EVF103 e EVF106. O modelo Copace (EVF103) e Oswin Modificado (EVF106), segundo os parâmetros estatísticos e os critérios de informação AIC e BIC, representam a higroscopicidade das sementes de mamona na faixa de temperatura de 10 a 40 °C. Numa mesma atividade de água, o teor de água das sementes de mamona dos genótipos EVF103 e EVF106 reduz com o aumento da temperatura.

PALAVRAS-CHAVE: teor de água de equilíbrio, isotermas de adsorção, modelagem matemática.

Higroscopicity of seeds castor bean (*Ricinus communis* L.)

ABSTRACT: The castor bean seeds (*Ricinus communis* L.) hygroscopic balance aids the proper product handling, aiming to retain its moisture content at the recommended levels for safe storage. This study aimed to define the water adsorption isotherms of castor bean seeds (EVF103 and EVF106) to find the proper amount of water absorbed by this product at 10°C, 20°C, 30°C, and 40°C temperatures, and water activities from 0.20 to 0.89 values, as well as adjusting different mathematical models to the experimental data. The indirect static method utilizing the Hygropalm Model Aw 1 equipment was used to find the hygroscopic balance, analyzing the castor bean seeds of the EVF103 and EVF106 genotypes. The Copace model (EVF103) and Modified Oswin (EVF106), according to the statistical parameters and the AIC and BIC information criteria, represent the hygroscopicity of the castor bean seeds in the temperature range of 10 to 40 °C. In the same water activity, the water content of the castor bean seeds of the genotypes EVF103 and EVF106 reduces with increasing temperature.

3.1. INTRODUÇÃO

A mamoneira (*Ricinus communis* L.) é uma planta que produz sementes oleaginosas com 40 a 60% de óleo (David et al., 2013), não comestíveis, sendo largamente utilizadas na indústria química e setor de bioenergia (Merkouropoulos et al., 2016). Suas sementes contêm altos níveis de ricina, ricinina e certos alérgenos, que são altamente tóxicos para humanos e animais, mas contém composição única de ácido graxo ricinoleico, o qual confere propriedades exclusivas para produção industrial (Severino et al., 2012; Ribeiro et al., 2014).

As sementes oleaginosas são mais propensas a deterioração durante o armazenamento, pois a intensidade e a velocidade do processo de deterioração estão ligadas à sua composição química (Pereira et al., 2013). A longevidade da semente também depende do teor de água, das condições ambientais, da embalagem, da atividade dos microrganismos, entre outros fatores (Marcos Filho, 2015).

Como todo material higroscópico, as sementes cedem ou absorvem água do ar que as envolve em função da pressão de vapor deste, visto que quando há equilíbrio entre as

pressões de vapor do ar e semente se atinge o teor de água de equilíbrio (Costa et al., 2015).

A utilização de equações matemáticas para estimar o teor de água de equilíbrio higroscópico apresenta a vantagem de predição de valores de atividade de água do produto em condições ambientais de difícil determinação experimental. A relação entre o teor de água de um produto e a umidade relativa de equilíbrio, a uma determinada temperatura, pode ser expressa por meio de curvas características de teor de água de equilíbrio, denominadas isotermas. Numerosos são os modelos com capacidade de prever uma isoterma (Resende et al., 2006).

Assim, de acordo com Ayranci & Duman (2005), as isotermas de sorção são importantes para definir limites de desidratação do produto, bem como estimar as mudanças de teor de água sob determinada condição de temperatura e umidade relativa do ar do ambiente. Além disso, permitem definir os teores de água adequados para que não ocorra o início da atividade de microrganismos que podem provocar a deterioração do produto durante o armazenamento.

Desta forma, conhecer o comportamento das sementes durante o armazenamento é essencial para tomar decisões sobre o seu manuseio. Portanto, objetivou-se avaliar a higroscopicidade de sementes de mamona de dois genótipos (EVF103 e EVF106) por meio de isotermas de adsorção utilizando o método estático indireto de determinação da atividade de água.

3.2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Pós-colheita de Produtos Vegetais e no Laboratório de Sementes do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde, Rio Verde, GO.

Sementes de dois genótipos de mamona, EVF 103 e EVF106, foram obtidas de cultivo em campos de produção localizados na Fazenda 2P (18.00' 28.90", S/50.57' 59.52" O) da empresa Sementes Goiás LTDA. A colheita das sementes foi feita mecanicamente (Plataforma PLM 08L, específica para colheita de mamona), as quais passaram por máquina de pré-limpeza e apresentavam, inicialmente, teor de água de $6,64 \pm 0,55\%$ b.s. (EVF103) e $7,44 \pm 0,35\%$ b.s. (EVF106).

As sementes dos dois genótipos foram submetidas à secagem em estufa com ventilação forçada, regulada para 40 °C, no sentido de uniformizar o teor de água inicial para 3,63 % b.s. Este procedimento foi feito utilizando 2 kg de sementes de cada genótipo, divididos em 4 bandejas contendo 500 g. A secagem foi acompanhada por perda de massa através de pesagens sequenciais até o teor de água final desejado.

Posteriormente, foi feito o reumedecimento das sementes para os teores de água 5,26; 6,38; 7,53 e 8,70 % b.s. por meio do acompanhamento dos ganhos de massas das respectivas amostras. Para cada teor de água, foram utilizados 400 g de sementes, colocadas em cestos perfurados para permitir a passagem do vapor de água pela massa de sementes. As amostras permaneceram em B.O.D. (*Biochemical Oxygen Demand*) a 25 °C e $85 \pm 5\%$ até alcançarem a massa relacionada para cada teor de água.

Durante a secagem e o reumedecimento, o teor de água das sementes foi monitorado por gravimetria, utilizando método da estufa a 105 ± 3 °C, durante 24 h, em duas repetições de, aproximadamente, 12 gramas (Brasil, 2009).

As isotermas de adsorção das sementes de mamona foram determinadas, utilizando o método estático indireto, e a atividade de água (a_w), determinada por meio do equipamento Hygropalm Model Aw1. Para cada teor de água, foram utilizadas três amostras de, aproximadamente, 30 g, as quais foram colocadas individualmente no recipiente do equipamento e acondicionadas em B.O.D. (*Biochemical Oxygen Demand*), regulada a 10, 20, 30 e 40 °C.

Aos dados experimentais do teor de equilíbrio foram ajustados modelos matemáticos frequentemente utilizados para representação de higroscopicidade de produtos agrícolas, cujas expressões estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Modelos matemáticos utilizados para prever a higroscopicidade de produtos vegetais

Designação do Modelo	Modelo	
$X_e^* = a-b \cdot \ln [-(T+c) \cdot \ln (aw)]$	Chung-Pfost	(1)
$X_e = \exp [a-(b \cdot T) + (c \cdot aw)]$	Copace	(2)
$X_e = \exp [a-(b \cdot T) - \ln(aw)]^{1/c}$	Halsey Modificado	(3)
$X_e = a \cdot (aw \cdot b) / Tc$	Sabbah	(4)
$X_e = \exp \{a-(b \cdot T) + [c \cdot \exp(aw)]\}$	Sigma Copace	(5)
$X_e = [\log (1-aw) / (a \cdot (T \cdot b))]^{1/c}$	Cavalcanti Mata	(6)
$X_e = \{\ln (1-UR) - a \cdot (T+b)\}^{1/c}$	Henderson Modificado	(7)
$X_e = [\ln (1-aw) / (-a \times T+273,16)]^{1/c}$	Henderson	(8)
$X_e = (a+b \cdot T) / (1-aw) / aw]^{1/c}$	Oswin Modificado	(9)
$X_e = (a \cdot b \cdot aw) \cdot [(c/T)/(1-b \cdot aw+(c/T) \cdot b \cdot aw) \cdot (1-b \cdot aw)]$	GAB Modificado	(10)

Em que: X_e : teor de água de equilíbrio, % b.s.; aw : atividade de água, decimal; T : temperatura ($^{\circ}C$), e a, b, c : coeficientes do modelo.

Para o ajuste dos modelos matemáticos, foi feita análise de regressão não linear pelo método de Gauss Newton. Para verificar o grau de ajuste de cada modelo, foram considerados a significância do coeficiente de regressão pelo teste de t , adotando o nível de 1% de significância, a magnitude do coeficiente de determinação (R^2), os valores do erro médio relativo (P), do erro médio estimado (SE), o teste de Qui-quadrado (X^2) ao nível de significância de 1% e o intervalo de confiança de 99% ($P < 0,01$).

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

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

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

em que,

Y : valor experimental;

\hat{Y} : valor estimado pelo modelo;

N : número de observações experimentais; e

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

O critério de informação de Akaike (AIC) e o critério de informação de Schwarz Bayesian (BIC) foram utilizados como critério secundário para a escolha do melhor modelo matemático para prever o fenômeno. O AIC nos permite usar o princípio da parcimônia na escolha do melhor modelo, ou seja, de acordo com esse critério, o modelo mais parametrizado nem sempre é o melhor (Bunham & Anderson, 2004).

O AIC é usado para comparar modelos não aninhados ou quando três ou mais modelos estão sendo comparados, sendo que valores mais baixos de AIC refletem melhor ajuste (Akaike, 1974). Sua expressão é dada por:

$$AIC = -2\loglike + 2p \quad (16)$$

Em que p é o número de parâmetros e \loglike o valor do logaritmo como função da probabilidade considerando as estimativas dos parâmetros.

O BIC também considera o grau de parametrização do modelo e, da mesma forma, quanto menor o valor do BIC (Schwarz, 1978), melhor o ajuste do modelo. É um critério assintótico cuja adequação está fortemente relacionada à magnitude do tamanho da amostra. Em relação à sanção aplicada na quantidade de parâmetros, será mais rigorosa que a AIC para amostras pequenas. Sua expressão é dada por:

$$BIC = -2\loglike + p \cdot \ln(n) \quad (17)$$

Em que n : número de observações usadas para ajustar a curva.

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Tabelas 2 e 3 estão apresentados os coeficientes dos modelos ajustados aos dados observados de equilíbrio higroscópico das sementes de mamona (EVF103 e EVF106) obtidos por adsorção, para as diferentes condições de temperatura e umidade

relativa do ar, com seus respectivos valores do coeficiente de determinação (R^2) do desvio padrão da estimativa (P) e do erro médio relativo (SE), juntamente com os critérios de informação AIC e BIC.

Tabela 2. Parâmetros dos modelos de equilíbrio higroscópico para sementes de mamona EVF103, com seus respectivos erros médios estimados (SE) e relativo (P), qui-quadrado (χ^2), coeficientes de determinação (R^2) e critérios de informação AIC e BIC.

Modelos	Parâmetros	SE***	P (%)	χ^2 ***	AIC	BIC	R^2 (%)
Chung-Pfost	a = 39,1726** b = 9,2031** c = 32,4697**	0,786	9,99	0,6182	42,4622	45,5525	79,94
Copace	a = 0,0959 ^{ns} b = 0,02926** c = 4,6576**	0,710	8,82	0,5039	42,3475	39,2571	83,65
Halsey Modificado	a = 1,2470** b = 0,0192** c = 0,6746**	0,768	9,44	0,5896	41,7606	44,8510	80,87
Sabbah	a = 171,1117 ^{ns} b = 2,3664** c = 0,5753**	0,770	9,56	0,5936	47,6657	50,7560	80,74
Sigma Copace	a = -1,9732 ^{ns} b = 0,0286** c = 2,6495**	0,693	7,99	0,4799	41,7984	44,8798	80,84
Cavalcanti Mata	a = -0,0731** b = 0,3660** c = 0,6539**	0,829	10,33	0,6868	44,1577	47,2480	77,72
Henderson Modificado	a = 0,0043** b = 33,5289** c = 0,6096**	0,700	8,845	0,489	38,7780	41,8684	84,13
Henderson	a = 0,0002 ^{ns} b = 1,4596**	1,301	17,39	1,6938	41,3643	44,4547	40,83
Oswin Modificado	a = 9,3943** b = -0,1448** c = 0,9590**	0,758	9,17	0,5751	41,3643	44,4547	81,34
GAB Modificado	a = 6,7227** b = 0,9449** c = 18,7556 ^{ns}	0,924	11,743	0,853	44,2759	47,3662	72,31

**Significativo a 0,01 de probabilidade pelo teste de t; ^{ns}não significativo.

Para as sementes do genótipo EVF103 verifica-se que, dentre os modelos ajustados, os de Cavalcanti Mata, Henderson e GAB Modificado apresentaram erro

médio relativo (P) acima de 10%, que, segundo Rosa et al. (2010) é um indicativo de que esse modelo não é adequado para representação do fenômeno estudado.

Os modelos exibiram altos valores do coeficiente de determinação (superiores a 80%), exceto Chung-Pfost, Cavalcanti Mata e GAB Modificado, tendo o modelo Sigma Copace apresentado os maiores valores de 80,84 e 86,67% para os genótipos EVF103 e EVF106, respectivamente.

Entretanto, o coeficiente de determinação (R^2) e o erro médio relativo (P) não são suficientes para aferir o ajuste de um modelo de equilíbrio higroscópico (Avira et al., 2004). Sendo assim, avalia-se o erro médio estimado (SE), verificando que o modelo de Sigma Copace apresentou o menor valor. A capacidade de um modelo representar adequadamente um determinado processo físico é inversamente proporcional ao valor do erro médio estimado (Draper & Smith, 1998).

Em relação ao teste qui-quadrado (χ^2), todos os modelos analisados estão dentro do intervalo de confiança de 95% e os modelos Sigma Copace e Henderson Modificado (EVF103), Sigma Copace, Copace e Oswin Modificado (EVF106) apresentaram os menores valores. Quanto menor o qui-quadrado, melhor o ajuste do modelo aos dados experimentais (Günhan et al., 2005).

O modelo Sigma Copace apresentou os menores valores de SE, χ^2 e P e poderia ser selecionado para representar as isotermas de adsorção das sementes de mamona dos genótipos EVF103 e EVF106 para a faixa de temperatura de 10 a 40 °C.

Contudo, alguns destes parâmetros possuem ressalvas, exigindo a adoção de critérios adicionais na seleção de modelos para reforçar e apoiar a tomada de decisão. Nesse contexto, o Critério de Informação de Akaike (AIC) e o Critério de Informação Bayesiano (BIC) consistem em avaliar os modelos de acordo com o princípio da parcimônia, uma vez que o número de parâmetros nos modelos se altera (Gomes et al., 2018). A indicação do melhor modelo pode ser mais concisa, visto que estes critérios consideram outros fatores, como a análise do grau de parametrização dos modelos comparados (Silveira, 2010).

Tabela 3. Parâmetros dos modelos de equilíbrio higroscópico para sementes de mamona EVF106, com seus respectivos erros médios estimados (SE) e relativo (P), qui-quadrado (χ^2), coeficientes de determinação (R^2) e critérios de informação AIC e BIC.

Modelos	Parâmetros	SE***	P (%)	χ^2 ***	AIC	BIC	R^2 (%)
Chung-Pfost	a = 19,4561** b = 2,9197** c = 170,4701**	0,833	11,52	0,6947	35,4268	37,6866	85,37
Copace	a = 0,8370** b = 0,0023** c = 1,6850**	0,681	9,36	0,4631	30,2334	32,4932	90,25
Halsey Modificado	a = 2,9327** b = 0,0055** c = 1,9687**	0,874	11,80	0,7644	37,0507	39,3105	83,90
Sabbah	a = 11,0889** b = 0,8767** c = 0,0427**	0,783	10,75	0,6128	38,1050	40,3648	87,09
Sigma Copace	a = 0,0926 ^{ns} b = 0,0025** c = 0,9546**	0,597	6,91	0,3561	34,4837	36,7435	86,67
Cavalcanti Mata	a = -0,0360** b = 0,3968** c = 1,0292**	0,847	11,96	0,7169	37,1146	39,3744	83,32
Henderson Modificado	a = 0,0002** b = 217,7906** c = 1,7425**	0,744	10,034	0,553	32,5166	34,7764	88,36
Henderson	a = 0,00013** b = 1,7426**	1,175	18,51	1,3805	43,6729	45,3678	67,70
Oswin Modificado	a = 5,3983** b = -0,0134** c = 2,5823**	0,657	9,20	0,4312	29,3866	31,6464	90,92

Significativo a 0,01 de probabilidade pelo teste de t; ^{ns}não significativo; *decimal

O modelo Henderson Modificado apresentou menor AIC e Copace menor valor de BIC, considerando as sementes do genótipo EVF103. No entanto, o BIC é um critério assintótico cuja adequação está fortemente relacionada à magnitude do tamanho da amostra. Em relação à sanção aplicada na quantidade de parâmetros, BIC será mais rigoroso que o AIC para amostras pequenas (Schwarz, 1978). Desta forma, o modelo Copace foi escolhido para representar as isotermas de adsorção das sementes de mamona de EVF103, segundo o critério BIC (Figura 1A).

Para as sementes do genótipo EVF106 o modelo Oswin Modificado apresentou os menores valores dos critérios AIC e BIC, indicando ser o modelo mais adequado

(Figura 1B). De acordo com os resultados de Ferreira Júnior et al. (2018), o modelo de Oswin Modificado se ajustou melhor aos valores experimentais obtidos pelo método estático para determinar o teor de umidade de equilíbrio higroscópico de sementes de *Hymenaea stigonocarpa* Mart.

O modelo Oswin Modificado também foi mais adequado para descrever as isotermas de sementes de pimentão amarelo (*Capsicum chinense* L) (Ferreira, Silva, & Rodovalho, 2011), entre outras espécies (Corrêa, Reis, G.H.H. Oliveira, A.P.L.R. Oliveira, & Botelho, 2015; Silva & Rodovalho, 2016).

A Figura 1 apresenta os valores experimentais do teor de água de equilíbrio das sementes de mamona do genótipo EVF103 (A) e EVF106 (B), obtidos por adsorção, e os valores estimados pelos modelos de Copace e Oswin Modificado, respectivamente. Constata-se, que as isotermas de adsorção das sementes de mamona são classificadas como do tipo III (IUPAC, 1985), assim como observado para as sementes de crambe (Sousa et al., 2015), pinhão-manso (Chaves et al., 2015), nabo forrageiro (Sousa et al., 2013) e frutos de *Coffea canephora* (Corrêa et al., 2014).

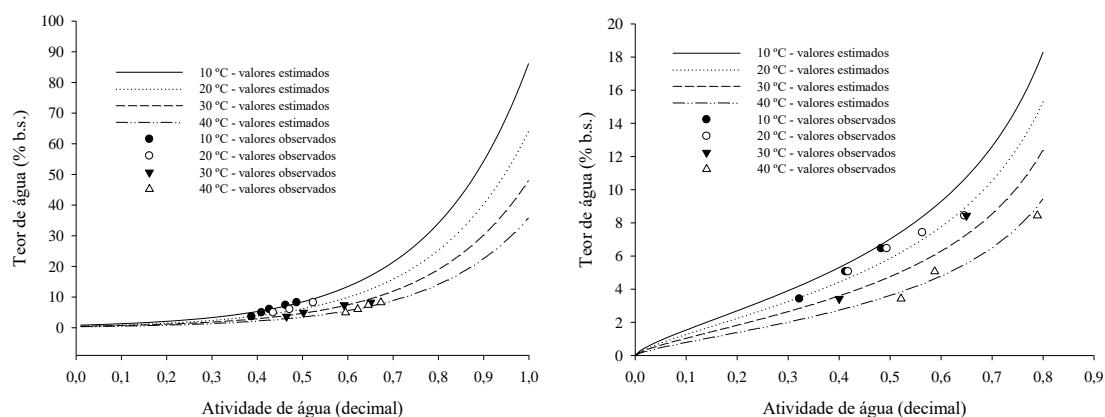


Figura 1. Isotermas de adsorção de água para as sementes de mamona do genótipo EVF103 (A), estimadas pelo modelo de Copace, e EVF106 (B), estimadas pelo modelo Oswin Modificado, para diferentes condições de temperatura e umidade relativa do ar.

Com o aumento da temperatura para um mesmo teor de água, houve um aumento na atividade de água e, para uma atividade de água constante, os valores de umidade de equilíbrio diminuíram conforme a temperatura aumentou, seguindo a mesma tendência da maioria dos produtos agrícolas (Resende et al., 2006; Goneli et al., 2014; Caetano et

al., 2012; Silva & Rodovalho, 2012; Costa et al., 2013; Corrêa et al., 2014; Hassini et al., 2015).

O comportamento higroscópico representado pelas curvas isotérmicas é eficaz para o manejo das condições ambientais de armazéns a fim de que o teor de água do produto conserve-se em níveis adequados, que reduzam a possibilidade de desenvolvimento de fungos e outros patógenos e preserve as características física, química e fisiológica do produto durante o armazenamento (Silva et al., 2015).

Santos et al. (2010) estudando as isotermas de equilíbrio higroscópico das sementes de pinhão-manso verificaram que o modelo de Henderson foi o que melhor representou as isotermas de dessorção do produto. Entretanto, Chaves et al. (2015) observaram que o modelo Sigma Copace apresentou maior coeficiente de determinação e menores valores de χ^2 , P e SE, sendo recomendado para predição do fenômeno.

Por outro lado, para os grãos de mamona, Goneli (2016) recomendou o modelo Halsey modificado para representação do teor de água de equilíbrio pelos processos de adsorção e dessorção. Em outras oleaginosas, como a colza, linhaça e girassol, Lazouk et al. (2015) recomendaram o modelo de GAB, considerando os valores de R^2 e P, que descreveu o comportamento higroscópico destas espécies e apresentou teor de água de equilíbrio máximo de 8,3% b.s. para atividade de água 0,7.

Portanto, pelas isotermas obtidas, podem ser manejadas adequadamente as sementes de mamona, pois Chaves et al. (2015) salientam que a manutenção do teor de água em níveis seguros para o armazenamento, entre 7,0 e 8,0% (b.s.), controla-se a atividade de água e minimiza-se, dessa forma, os processos que desencadeiam o desenvolvimento de microrganismos, insetos, bem como atividades metabólicas no produto. Também, de acordo com Brooker et al. (1992), a faixa ótima para armazenamento de sementes oleaginosas se situa entre 6,0 e 10,0 % (b.s.).

Neste sentido, os teores de água recomendados para armazenamento seguro ($a_w = 0,7$) de sementes de mamona do genótipo EVF103 são, no máximo, 21,4; 15,9; 11,9; 8,9% b.s., e para sementes do genótipo EVF106 são 12,6; 10,6; 8,5; 6,5% b.s. para as respectivas temperaturas de 10, 20, 30 e 40 °C.

A atividade de água descrita por modelos matemáticos contribui para prever fenômenos que envolvem a troca de vapor de água e manter a qualidade das sementes de mamona. Além disso, estudos sobre isotermas ajudam a compreender as relações entre o

teor de água e umidade relativa do ar, em dada temperatura, nas operações de pós-colheita como secagem e armazenamento (Cavalcante et al., 2018).

Ainda, o critério de informação de Akaike (AIC) e o critério de informação de Schwarz bayesian (BIC) colaboraram na escolha do melhor modelo matemático para estimar as isotermas de adsorção de *Ricinus communis* L., assim como Ferreira Júnior et al. (2018) verificaram que esta metodologia pode ser incluída no critério de seleção de modelos para estimar as isotermas de sorção de produtos vegetais.

3.4. AGRADECIMENTOS

Ao Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Rio Verde, pela oportunidade de aprimorar os conhecimentos. A Empresa Sementes Goiás LTDA pela parceria em fornecer as sementes de mamona, como também o acesso às pesquisas científicas e visitas aos campos de produção e usina de beneficiamento das sementes (UBS). Ao CNPq, CAPES e FINEP pelo financiamento dos materiais e equipamentos de laboratório para condução dos experimentos.

3.5. CONCLUSÕES

O modelo Copace (EVF103) e Oswin Modificado (EVF106), segundo os parâmetros estatísticos e os critérios de informação AIC e BIC, representam a higroscopicidade das sementes de mamona na faixa de temperatura de 10 a 40 °C.

Para uma atividade de água constante o teor de água das sementes de mamona dos genótipos EVF103 e EVF106 reduz com o aumento da temperatura.

As isotermas de adsorção das sementes de mamona, genótipos EVF103 e EVF106, exibem o tipo III de curva.

3.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Avira, N. A.; Ajibola, O. O.; Oni, S. A. Sorption equilibrium and thermodynamic characteristics of soya bean. *Biosystems Engineering*, v.78, p.179-190, 2004.

Akaike, H. A new look at the statistical model identification. *IEEE Transaction on Automatic Control*, 19, p.716-723, 1974.

- Ayranci, E.; Dumann, O. Moisture sorption isotherms of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) and its proteins isolate at 10, 20 e 30° C. *Journal of Food Engineering*. v.70, p.83-91. 2005.
- Brasil. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Coordenação de Laboratório Vegetal. *Regras para análise de sementes*. Brasília, 2009. 395p.
- Brooker, D. B.; Bakker-Arkema, F. W.; Hall, C. W. *Drying and storage of grains and oilseeds*. Westport: The AVI Publishing Company, 1992. 450p.
- Caetano, G. De S.; Sousa, K. A. De; Resende, O.; Sales, J. De F.; Costa, L. M. Higroscopicidade de sementes de caju-de-árvore-do-cerrado. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.42, p.437-445, 2012.
- Cavalcante, M.D.; Plácido, G.R.; Oliveira, D.E.C.; Freitas, B.S.M.; Cagnin, C.; Oliveira, D.S. Isotherms and isostatic heat of foam-mat dried yellow mombin pulp. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.22, n.6, p.436-441, 2018.
- Chaves, T. H.; Resende, O.; Oliveira, D. E. C. De; Smaniotto, T. A. De S.; Sousa, K. A. Isotermas e calor isostérico das sementes de pinhão-mansô. *Engenharia na Agricultura*, v.23, p.9-18, 2015.
- Corrêa, P. C.; Botelho, F.M.; Botelho, S. C. C.; Goneli, A.L.D. Isotermas de sorção de água de frutos de *Coffea canephora*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, p.1047-1052, 2014.
- Costa, L. M.; Resende, O.; Oliveira, D. E. C. Determinação das isotermas de equilíbrio higroscópico de frutos de crambe pelo método dinâmico. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v.31, n.2, p.382-391, 2015.
- Costa, L. M.; Resende, O.; Oliveira, D. E. C. De; Sousa, K. A. de. Isotermas e calor isostérico de sementes de *Buchenavia capitata* (Vahl) Eichler. *Revista Ciência Agronômica*, v.46, p.516-523, 2015.
- Costa, L. M.; Resende, O.; Oliveira, D. E. C. Isotermas de dessorção e calor isostérico dos frutos de crambe. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, p.412-418, 2013.
- David, A. M. S. S.; Araújo, E. F.; Araújo, R.F.; Resende, M. A. V.; Dias, D. C. F. S.; Nobre, D. A. C. Physiological quality of castor bean seeds originating from different racemes in the plant. *Journal of Seed Science*, v.35, n.2, p.248-254, 2013.

- Draper, N. R.; Smith, H. *Análise de regressão aplicada*. 3.ed. Nova York: John Wiley & Sons, 1998. 712p.
- Ferreira Júnior, W.N.; Resende, O.; Oliveira, D. E. C.; Costa, L.M. Isotherms and Isothermic Heat Desorption of *Hymenaea stigonocarpa* Mart. Seeds. *Journal of Agricultural Science*, v. 10, n. 10, p.504-512, 2018.
- Gomes, F. P.; Resende, O.; Sousa, E. P.; Oliveira, D. E. C., & Araújo Neto, F. R. Drying kinetics of crushed mass of 'jambu: Effective diffusivity and activation energy. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.22, n.7, p.499-505, 2018.
- Goneli, A. L. D.; Corrêa, P. C.; Oliveira, G. H. H. De; Resende, O.; Mauad, M. Moisture sorption isotherms of castor beans. Part 1: Mathematical modeling and hysteresis. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.20, p.751-756, 2016.
- Goneli, A. L. D.; Vieira, M. do C.; Vilhasanti, H. da C. B.; Gonçalves, A. A. Modelagem matemática e difusividade efetiva de folhas de aroeira durante a secagem. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.44, p.56-64, 2014.
- Goneli, A. L. D. *Variação das propriedades físico-mecânicas e da qualidade da mamona (Ricinus communis L.) durante a secagem e o armazenamento*. Viçosa, UFV, 2008. Tese (doutorado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.
- Günhan, T.; Demir, V.; Hancioglu, E.; Hepbasli, A. Mathematical modelling of drying of bay leaves. *Energy Conversion and Management*, v.46, p.1667-1679, 2005.
- Hassini, L.; Bettaieb, E.; Desmorieux, H.; Torres, S. S.; Touil, A. Isothermas de dessecção e propriedades termodinâmicas das sementes de pêssego espinhoso. *Cultivos e Produtos Industriais*, v.67, p.457-465, 2015.
- IUPAC- International Union of Pure and Applied Chemistry. Reporting physisorption data for gas/ solid systems. *Pure and Applied Chemistry*, v.57, n.4, p.603-619, 1985.
- Marcos Filho, J. *Fisiologia de Sementes de Plantas Cultivadas*. FEALQ. Piracicaba, 2015. 660p.
- Lazouk, M-A.; Savoie, R.; Kaddour, A.; Castello, J.; Lanoisellé, J-L.; Hecke, E.V.; Thomasset, B. Oilseeds sorption isotherms, mechanical properties and pressing: Global view of water impact. *Journal of Food Engineering*, n.153, p.73-80, 2015.
- Merkouropoulos, G.; Kapazoglou, A.; Drosou, V.; Jacobs, E.; Krolzig, A.; Papadopoulos, C.; Hilioti, Z. Dwarf hybrids of the bioenergy crop *Ricinus communis* suitable for

- mechanized harvesting reveal differences in morpho-physiological characteristics and seed metabolic profiles. *Euphytica*, v. 210, n.2, p.207-219, 2016.
- Pereira, M.D.; Dias, D.C.F.S.; Borges, E.E.L.; Martins Filho, S.; Dias, L.A.S.; Soriano, P.E. Physiological quality of physic nut (*Jatropha curcas* L.) seeds during storage. *Journal of Seed Science*, v.35, p.21-27. 2013.
- Resende, O.; Corrêa, P. C.; Goneli, A. L. D.; Ribeiro D. M. Isotermas e calor isostérico de sorção do feijão. *Ciência e Tecnologia dos Alimentos*, v.26, p.626-631, 2006.
- Ribeiro, P. R.; Dekkers, B. J. W.; Fernandez, L. G.; Castro, R. D.; Ligterink, W.; Hilhorst, H. W. M. *Seed Science Research*, v.24, n.4, p.341-352, 2014.
- Rosa, G. S.; Moraes, M. A.; Pinto, L. A. A. Moisture sorption properties of chitosan. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, v.43, p.415-420, 2010.
- Silva, H. W.; Costa, L. M.; Resende, O.; Oliveira, D. E. C.; Soares, R. S.; Vale, L. S. R. Higroscopicidade das sementes de pimenta (*Capsicum chinense* L.). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.19, p.780-784, 2015.
- Silva, H. W.; Rodovalho, R. S. Isotermas de dessorção das sementes de pimenta malagueta. *Global Science and Technology*, v.5, p.32-39, 2012.
- Sousa, K. A.; Resende, O.; Costa, L. M. Isotermas de dessorção das sementes de nabo forrageiro obtidas pelos métodos dinâmico e estático. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, n.2, p.216-222, 2013.
- Severino, L. S.; Auld, D. L.; Baldanzi, M.; Cândido, M. J. D.; Chen, G.; Crosby, W. A review on the challenges for increased production of castor. *Agronomy Journal*, v.104, p.853-880, 2012.
- Schwarz, G. *Estimating the dimension of a model*. *Annals of Statistics*, n.6, p.461-464, 1978.
- Silva, H. W., & Rodovalho, R. S. Adsorption isotherms and vaporization latent heat of malagueta pepper seeds. *Científica*, 44(1), 5-13, 2015.
- Silva, H. W., Costa, L. M., Resende, O., Oliveira, D. E. C., Soares, R. S., & Vale, L. S. R. Higroscopicidade das sementes de pimenta (*Capsicum chinense* L.). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19(8), 780-784, 2015.
- Silveira, F. G. *Classificação multivariada de modelos de crescimento para grupos genéticos de ovinos de corte*. (2010). (Unpublished master's thesis, Universidade Federal de Viçosa, Brazil).

CONCLUSÃO GERAL

- 1) Sementes do genótipo EVF102 de tamanho 8 mm, classificadas pela mesa densimétrica, apresentaram maior qualidade fisiológica considerando a germinação, índice velocidade de germinação e emergência.
- 2) Sementes do genótipo EVF103, separadas por tamanho, não apresentaram diferença na qualidade fisiológica.
- 3) As sementes dos genótipos EVF102 e EVF103, da classe D4 (descarte) apresentaram menor qualidade fisiológica baseando-se na emergência, condutividade elétrica e envelhecimento acelerado.
- 4) Sementes de mamona do genótipo EVF106 apresentam melhor qualidade fisiológica quando armazenadas a 10 °C.
- 5) Sementes de mamona do genótipo EVF701 podem ser armazenadas a 10 °C e 20 °C por 300 dias.
- 6) Sementes de mamona do genótipo EVF712 apresentam redução de qualidade fisiológica durante 300 dias de armazenamento, independentemente da temperatura.
- 7) O modelo Copace (EVF103) e Oswin Modificado (EVF106), segundo os parâmetros estatísticos e os critérios de informação AIC e BIC, representam a higroscopicidade das sementes de mamona na faixa de temperatura de 10 a 40 °C.
- 8) Para uma atividade de água constante o teor de água das sementes de mamona dos genótipos EVF103 e EVF106 reduz com o aumento da temperatura.
- 9) As isotermas de adsorção das sementes de mamona (EVF103 e EVF106) exibem o tipo III de curva.